自然科学研究機構 核融合科学研究所

平成 26 年度外部評価報告書

NIFS Peer Review Reports in FY2014

2015 年 3 月

March, 2015



核融合科学研究所 運営会議外部評価委員会

NIFS Administrative Council External Peer Review Committee

目　　次

第１章　これまでの経緯 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

第２章　項目別の評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
［１］研究計画 ・・ 4
［２］重水素実験準備体制 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 14
［３］安全管理計画 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
［４］社会の理解 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 29

第３章　評価のまとめと提言 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33

１．評価のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
２．提言 ・・ 38

第４章　おわりに ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39

資料編
　１　平成２６年度　重水素実験実施計画　報告書
　２　平成２６年度　外部評価プレゼン資料

参考資料
　１　平成２６年度 外部評価「重水素実験実施計画」の評価結果一覧
　２　平成２６年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会及び専門部会
　　構成名簿
　３　核融合科学研究所運営会議外部評価委員会規則
　４　平成２６年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会日程

第１章　これまでの経緯

核融合科学研究所は、大学共同利用機関として大学における核融合研究を推進するため、大型ヘリカル装置（Large Helical Device。以下、「LHD」という。）を主装置として平成元年に設立された。核融合コミュニティの総意と期待を背負って計画された LHD は、我が国独自のアイデアであるヘリオトロン型磁場を超伝導で発生することを特長とし、高出力の加熱によりヘリカル方式による高性能プラズマを生成させるとともに、環状型磁場閉じ込め核融合炉の実現を見据えた物理的・工学的課題を解明することを目指し実験研究を進めている。一方これと並行して、本質的に複雑性を持つ核融合プラズマの解析には、大規模シミュレーションを用いた理論的研究が必須であり、核融合科学研究所では専用の最新鋭スーパーコンピュータを導入してこれを全国の核融合理論研究者に対し共同利用を通じて提供し、先導的な研究を進めてきた。

この間において、国内学術研究体制の変更があり、核融合科学研究所は平成 16 年度より大学共同利用機関法人自然科学研究機構の一機関として全国共同利用・共同研究をより一層推進することになった。法人化に当たっては、６年間の中期計画を掲げ、その進捗状況について毎年評価を受けるという制度が導入された。この年度評価は主として運営全般のものであるが、核融合科学研究所においては研究成果については外部の有識者による評価を受けることが重要と判断し、運営会議の下に外部評価委員会を組織して研究面の評価を毎年実施している。評価項目は運営会議で決定し、運営会議所外委員に加えて評価項目に対応した専門家を委員として構成した外部評価委員会で評価を行うものである。評価委員会は評価結果を運営会議に報告し、核融合科学研究所はその結果を尊重して次年度以降の研究活動の改善に役立てている。

核融合科学研究所では平成 22 年度からの第２期中期目標期間の開始に当たり、プラズマ・核融合研究分野での COE（Center Of Excellence。以下、「COE」という。）としての求心力を一層強化するため、LHD 計画研究、数値実験炉研究、核融合工学研究の３分野で研究プロジェクトを構成し、核融合炉実現に向けこれらの成果を統合していく研究計画をスタートさせた。このために平成 22 年度には所内研究組織の改編を行い、全研究教育職員を一つの研究部にまとめた上で、研究プロジェクトへの参画を自由とする体制を取った。これにより、LHD 計画研究・数値実験炉研究・核融合工学研究の３つの研究プロジェクト間の連携がこれまで以上に緊密となり、新しい課題に対して臨機応変に対応できるようになった。

運営会議では、研究プロジェクト制度の成果を確かめるため、先ず平成 23 年度に LHD 計画プロジェクト、平成 24 年度に数値実験研究プロジェクト、平成 25 年度に核融合工学研究プロジェクトの外部評価を実施した。そして、本年度においては「重水素実験実施計画」を対象として外部評価を実施することとした。そこで外部評価委員として運営会議の所外委員 10 名と外国人委員４名の外に５名の専門委員を加えて外部評価委員会及び専門部会を

構成し、評価作業を行った。

平成 26 年９月 12 日に開催した第１回外部評価委員会及び専門部会において、本年度の外部評価の進め方について協議し、評価の観点及び具体的な評価項目を決定した。その内容を章末に示す。平成26年11月29日に開催した第２回外部評価委員会及び専門部会では、核融合科学研究所の各担当者から、この評価の観点及び評価項目を踏まえたビューグラフや活動報告書などの資料（資料編参照）を用いての詳しい説明を受け、質疑応答が行われた。その後、平成 27 年１月 29 日に第３回外部評価委員会及び専門部会を開催し、研究所との更なる質疑応答も含め外部評価委員会及び専門部会で定めた評価の観点と項目に沿った評価作業とその取りまとめを行った。評価案が出揃った段階で平成 27 年２月 24 日に第４回外部評価委員会及び専門部会を開催し、最終報告書を取りまとめた。外部評価委員会及び専門部会の日程を参考資料４に示す。

本報告書は、「第１章 これまでの経緯」、「第２章 項目別の評価」、「第３章 評価のまとめと提言」、「第４章 おわりに」の４章で構成されている。

核融合科学研究所運営会議において承認された後、核融合科学研究所長から自然科学研究機構長に提出されることになる。その後、機構の教育研究評議会及び経営協議会で承認を受けた後、文部科学省に提出する「平成 26 事業年度に係る業務の実績に関する報告書」及び「自然科学研究機構年度計画（平成 27 年度)」の参考資料となる予定である。本報告書は印刷物や研究所ホームページを通じて公開される。

「重水素実験実施計画」の評価の観点は、大学共同利用機関法人自然科学研究機構の今後定める第３期中期計画において、核融合科学研究所が主要な計画として推進する、大型ヘリカル装置（LHD）の重水素実験の実施に向けた研究計画及び安全管理計画、並びにその準備状況の評価に必要不可欠なものから成っており、妥当性の評価と達成度の評価を基本とする。

なお、平成21 年度に実施された、安全管理に関する外部評価での重水素実験時の安全管理計画に関する「提言」を踏まえ、以下の２点も今回の評価において留意するものとされた。

１．重水素実験時に責任者となる人々の養成と教育訓練が適切に行われているか。
２．放射線安全管理のための安全委員会、安全監視委員会、放射線管理室等の組織、緊急時の体制等を適切に構築しているか。

本年度実施した「重水素実験実施計画」の評価項目は、以下のとおりである。

［１］研究計画
（１）重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。
（２）環状プラズマの総合的理解の推進に寄与し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を

高める計画となっているか。

（３） 計画の実施に当たり、幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制となっているか。

〔２〕重水素実験準備体制

（１）平成 28 年度の重水素実験開始に向けて、設備・施設の整備は適切に計画されているか。

（２）重水素実験開始に向けた準備体制は適切か。安全設備も含めた施設・機器の整備は適切に進められているか。

〔３〕安全管理計画

（１） 安全管理に関する基本的な考え方は、地元の意見も踏まえた重水素実験実施計画の策定に際して、妥当なものか。

（２）安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

（３）重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

（４）運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

（５）重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

（６）重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

［４］社会の理解

（１）地元市民に対して、重水素実験の安全性に対する理解の増進を適切に進めているか。

（２）重水素実験計画の推進にあたり、自治体と連携を図っているか。

（３）広く核融合研究の重要性と安全性を社会に発信しているか。

第２章　項目別の評価

本章では重水素実験実施計画における研究成果と関連した共同研究活動について、第１章で掲げられた具体的な評価項目に従って、各委員から示された評価を集約して記述する。括弧内の数字は意見の内容がほぼ同じであった件数である。外国人からの意見については原文のまま英文で記している。

［１］研究計画

Research Plan

（１）　重水素実験の目的は適切か。またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

- 重水素実験により、閉じ込め改善による高性能化、同位体効果、高速イオンの閉じ込め性能に関する研究が進展し、環状プラズマの総合的理解に寄与することが期待され、その目的は適切である。閉じ込め改善や加熱機器の増強により運転領域を拡大するとともに、中性子計測や高精度計測の整備、閉ダイバータの整備により新たな研究領域へと拡大する研究計画であり、重水素実験に向けて安全を確保する体制の整備が進んでいることと併せて、極めて高く評価する。（７名）
- 重水素実験の目的は、LHD 計画の目的に整合しており、適切である。その目的に沿った実験計画が策定されており、安全確保の体制についても、これまでの実験実施体制を踏まえて、適切なものとなっていると判断し、高く評価する。（７名）
- 加熱機器の増強、高精度計測器の整備、適切な研究スケジュール等、よく工夫されているが、これらの整備に必要な予算が確保されなければならない。（２名）
- 重水素実験の目的自体は適切なものと判断され、評価する。（１名）
- 平成 10 年の実験開始以来、目標とするプラズマパラメーターの達成に向け、加熱機器等の装置の整備とともに精力的に実験を行い、着実にパラメータ領域の拡大が図られてきたが、目標とするプラズマパラメーターの達成には更なる閉じ込め性能の向上が必要であり、このために重水素ガス実験に切り替えることは非常に意義があり、高く評価する。（１名）
- 重点研究課題を設定し、同位体効果による閉じ込めの改善と物理、高ベータ領域の拡大、高エネルギー粒子閉じ込め、閉ダイバータの最適化等を挙げているが、いずれも

ヘリカル型核融合炉の設計にとって必須の課題である。（１名）

- 重水素実験に向けたハードの整備や研究計画の検討、更に安全確保の実施体制は順調に進んでおり、この点は高く評価できる。今後は、具体的な実験計画策定に向けた議論を更に深めていってもらいたい。（１名）
- 各研究課題について、重水素を使うことにより解決される事項と、計画している加熱システムの増強や計測装置の追加整備により解決される事項の切り分け、またこれらの周辺設備の段階的整備と各段階で得られるであろう成果の整理をより明確にすると、今後の整備計画の優先度を考える上で更に有効と思われる。（１名）
- 数値目標に関しては、同時に加熱装置の性能アップが提案されているため、重水素化の効果が見えてこない。ルートマス比程度の向上は既に多くの装置で実証されているわけで、デモ炉に向けて何が問題で重水素燃料により何が分かり、どのような改善が期待できるか、分かりやすいシナリオの説明がほしい。(報告書にはある程度書かれているが、スライドでは見えてこない。)（１名）
- 閉じ込め時間への質量効果や PWI 粒子循環における質量効果を明らかにする事が重要である。H/D 混合比、He、Ar プラズマの経験も踏まえて質量効果を同位体効果を切り分けて研究が進む事を期待する。（１名）
- ヘリカル系の閉じ込め改善に係る同位体効果を学術として検証し、トロイダルプラズマの包括的理解に貢献する必要がある。（１名）
- 重水素実験に伴って期待されるアイソトープ効果も含め、重水素実験に向けた検討も進められ、ITER や JT-60SA などトカマク型装置の研究進展とも合わせてトーラス系重水素プラズマの理解が進むことが期待される。（１名）
- 重水素により実験領域は拡大されるが、期待する高性能化や同位体効果が得られない可能性も考えられるので、その場合の研究の展開についても議論しておく必要がある。（１名）
- 現状より核融合条件に近いプラズマを早期に達成し、ヘリカル系核燃焼実験を高精度で予測できるモデル構築に寄与していただきたい。（１名）
- LHD 計画の基本理念は、核融合炉に外挿しうる高性能プラズマを実現して、その性質を学術として体系化することにより、(A) ヘリカル型核融合炉の設計を確実なものとすることにあり、同時に (B) トカマク方式を含めた環状磁場閉じ込めの学理を体系化することにある、となっている。本実験計画の重水素実験の目的については、LHD 計画の基本理念にそって適切に設定されている。しかし、(A) ヘリカル型核融合炉の設計を確実なものにするという視点では、若干弱い面がある。個別の課題（１）～（６）については詳細な検討があるが、複数課題の両立性については、それぞれのところで少し記述があるものの、更なる記述がほしい。（１名）
- 安全の確保については、所長自ら安全を最優先させるとの発言をされており、実施体制も所長のリーダーシップの下に、適切なものとなっていると判断する。（１名）

- これまでの水素プラズマ実験を背景に十分に検討された研究計画であり、法規制より厳しい条件を設定して、その安全を確保する努力をしている。（１名）
- 安全性に関しては十分すぎるぐらいの配慮がされている。地元対策として必要なのであろうが、あまり厳しくすると、先例として他の RI 施設にまで波及するおそれがあるので、十分な配慮を期待する。（１名）
- この研究を進めるにあたっての安全対策、実施体制も適切であり、今後、更に専門家も含めた検討を加えることで十分な対策が確保できると判断する。（１名）
- 実験の実施体制においては、放射線管理室長の権限を一層高める必要があるであろう。（１名）
- 安全の確保のための体制が硬直化しないよう留意する必要があると思われる。（１名）
- After long period of preparation by NIFS, the agreement on the use of deuterium in LHD was reached among neighboring cities and prefecture in FY2013. Therefore, it is very timely and important to review and check on the goal and research plan of the deuterium experiment, in addition to the preparation system and safety management issues before actual initiation of experiment in FY2016. The most of stated objectives of the deuterium experiment are appropriate and addressing important scientific goal of the LHD Project, however a few points need more structured approach for final scientific outcome in comparison with other helical systems and tokamaks. (e.g., Isotope effect) The preparation of the research plan and the implementation system was given very detailed consideration by NIFS staffs with many input from experts and collaborators, so that the targeted goals could be achieved with very high probability in safe manner. Especially, the three-year long preparatory stage is planned to verify implementation before actual deuterium experiment, so that the “learning curve” effects could greatly enhance safety as well as achievement of goals.
- My specialty is in the areas of tritium safety and processing, radiation protection of workers, public and the environment, and radioactive waste management. There are many other members of the review team who are immensely qualified to provide insight and opinion in regard to the research objectives. My review for all of the topics in this report for the Deuterium Experiment Implementation Plan will be restricted to the areas I have mentioned. The research plan is comprehensive and compatible with the required safety parameters that are required by the regulating agency and public comment. There are many safety processes described later in my report which fully support the experimental goals. The systems and processes as planned, designed and installed at various stages provide the equivalent to performing deuterium-tritium experimentation in the U.S. Therefore these systems

will fully support D-D research.

- Goals of the deuterium experiment are very well defined. These are sufficiently ambitious and provide the long term objectives for the LHD operation. The plan contains a multi-stage approach worked out in great detail. However, the new era in helical confinement to be explored by deuterium experiment definitely warrants for increased funding, not a flat or slightly decreased budget as envisaged at present. Therefore, it is recommended that the NIFS Administrative Council brings to light the novelty of the deuterium experiment and advocates the enhancement of a support by the government. So far, the confinement improvements due to isotope effect of deuterium have been observed only on experiments carried out in tokamaks. Therefore, it is of crucial importance for the future of fusion energy to investigate the impact of deuterium on helical confinement employing the LHD device. In detail, main subjects in the LHD deuterium experiment include confinement improvements due to the isotope effect, improvement of the MHD stability and the expansion of previously discovered high – beta regime and confinement of high-energy ions. Technically, the deuterium experiment implies the upgrade of the LHD device including the significant NBI upgrade, ECH and ICH upgrades and the LHD in-vessel components upgrade consisting of the new armor and the closed helical divertor with many installed cryo-pumps. Upgrade plan for diagnostics mandatory for the success of the deuterium experiment is worked out in detail. Nuclear safety considerations are on the top of agenda for the preparation of the deuterium experiment and implemented by the reorganization of the administrative and technological routines employed by the leadership. Radiation control on LHD becomes both necessary and vital. Neutron yield rate is expected to remain at the level of 1.91×10^{16}/s and the Tritium integrated yield at the level of 1.0×10^{8} Bq. Neutron diagnostic system, tritium removal system, access control system and integrated radiation monitoring system are crucial parts of the safety concept developed at NIFS. Upgrade of the vacuum pumping system appears vital for control of the divertor performance and the control of coupling of the edge plasma to the core confinement, probably important for the success of deuterium experiment. Hence, the installation of as many cryo-pumps as possible given the restriction imposed by the budget is beneficial for the goals of the deuterium experiment.
- Deuterium operation on LHD is the next logical step after a series of remarkable record values achieved with hydrogen plasmas. The experiments are planned to start 2016 and a major goal is to achieve T_i=10keV with $2 \cdot 10^{19} m^{-3}$ density, which

may well be feasible with the available ion heating power of more than 35 MW [PNBI 18 MW (60/80 keV) and NNBI (70% performance) ~10 MW (180 keV) plus 8 MW ICRH] with the additional (planned) 6 MW ECRH. The research plan is split into three phases (1y commissioning operation, 5y target parameters, 3y scenario integration) starting with the FY 2016. This plan clearly makes sense but the goals are getting increasingly difficult: While DD-operation will clearly have a positive impact on performance parameters, in particular T_i, integrated scenarios with long-pulse discharges (last 3y phase 2022-2024) still remain a major challenge to LHD. Notably, long-pulse discharges at high heating power will require a fully water-cooled in-vessel component system including the divertor, which would imply a major upgrade of LHD.

Expected plasma parameters were presented (M2-2/slide 7) that are based on a quite significantly improved energy confinement time. This assumption is based on the isotope effect that was previously observed in tokamak devices (M2-2/slide 4). It is, however, not yet proven that the isotope effect is also observed in stellarators/heliotrons. It is well known that neoclassical transport is different in stellarators, mainly because of the role of helically trapped particles and the lack of closed drift orbits. Even if the isotope effect is rather the outcome of turbulent transport effects, also here there are strong differences between tokamaks and stellarators. In order to be cautious, the “expected” plasma parameters should be seen from a different perspective, rather as a limiting case if the isotope effect turns out to be as large as in a tokamak device. There is no doubt, however, that research on the isotope effect in stellarators/heliotrons is very much needed by the community. The data base for tokamaks is much better than for stellarators/heliotrons and LHD is well positioned to make a strong contribution to this field.

It is also a good decision to investigate more thoroughly the fast ion confinement in LHD using the new high accuracy neutron diagnostic.

The actual implementation of the safety system has very little impact on the research goals. Safety aspects will be addressed in the answers to various questions below.

以上より、この重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制に対して、極めて高く評価するが８名、高く評価するが９名、評価するが２名であった。

（2） 環状プラズマの総合的理解の推進に寄与し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を高める計画となっているか。

Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

- 閉じ込め改善による運転領域の更なる拡大とともに、閉じ込め物理や同位体効果、低衝突領域での高ベータ化、更には高エネルギーイオンの閉じ込め等の研究がより一層進展し、環状プラズマの総合的理解の推進に大いに寄与することが期待でき、高く評価できる。(10 名)
- 閉じ込め改善と物理、MHD 安定性の改善と高ベータの拡大、高エネルギーイオンの閉じ込め、ダイバータ最適化、プラズマ壁相互作用、ICRF 加熱の多様化等、環状プラズマの総合的理解の推進に寄与し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を高める計画となっているので極めて高く評価する。(３名)
- 重水素による実験領域の拡大により、イオン温度 10keV という超高温プラズマの定常維持が期待され、また中性子分布計測により高速イオンの閉じ込めや高速イオン誘起 MHD 現象が明らかになると考えられる。このように、核融合炉により近いパラメータ領域での系統的な研究の遂行は環状プラズマの総合的理解に貢献すると考えられ、高く評価する。(２名)
- 中性粒子ビーム入射装置の改造並びに重水素プラズマにおけるイオンサイクロトロン波加熱手法の拡大により、高イオン温度プラズマや長時間プラズマの高性能化が期待され、高く評価する。(２名)
- ヘリカル系における同位体効果を明らかにし、プラズマの閉じ込め改善実験を行うことは意義が大きい。リサイクリング、非局所輸送、イオン熱輸送への効果など、ヘリカルプラズマの物理を学術的、体系的に理解し、ヘリカル型核融合炉の設計・製作に必須のデータベースの蓄積が図られる必要がある。またトカマクとの共通点・相違点を体系的に研究し、環状プラズマの総合的理解に寄与できる。(２名)
- 核融合反応によって生成される中性子と高速イオンの計測により、閉じ込め特性や不安定性励起に関する物理現象の理解が深まることが期待され、高く評価する。(２名)
- 同位体効果を乱流輸送の観点のみでなく、中性粒子分布や不純物量の違いといった間接的な影響を明確にしていく努力も必要であろう。一方、大型の核融合実験システムにおいて、燃料粒子バランスの高精度の理解を進めるとの観点から、システム内での水素同位体の総捕捉量、いわゆる水素同位体収支を把握することは、炉設計上、極めて重要な課題であり、特に FFHR の設計研究のデータベースを獲得してほしい。(２名)
- 重水素放電ではより高密度になることがトカマクでは知られているので、LHD においても今まで以上の高密度放電が得られる可能性があり、その学術的な価値は高いので、

高密度領域も更に追求してほしい。（１名）

- 閉ダイバータや摂動磁場印加により、周辺プラズマにおける輸送現象の理解が進展し、コアプラズマの粒子制御に寄与することが期待され、高く評価する。（１名）
- 同位体効果が十分ではない場合に向けて、多様な閉じ込め改善手法を解明し、モデリングによって予測しておくことが望まれる。（１名）
- トカマクで見出される閉じ込め改善の質量比依存性、A^{α}（A: 質量比、$\alpha > 1$)、に対比して、ヘリカル糸での依存性、A^{α}（$\alpha \sim 0$）依存を念頭に置いた計画になっており、
（1）D/H のリサイクリング、(2) D/H の core collisional/乱流輸送
(3) Zonal Flow への質量効果などの視点で取り組もうとしている点は期待できる。
Zeff の質量比依存性をこれまでの H, He, Ar の経験に基づいて整理し、内挿する必要がある。（１名）
- 重水素実験ではプラズマの閉じ込め性能の向上がトカマク型装置と同様に期待されるが、プラズマ閉じ込めの同位体効果は未解明な課題であり、これを明らかにすることは将来の核融合炉で燃料として使用する重水素・トリチウムによるプラズマ性能を見通すことを可能にするものであり、学術的意義も高く、高く評価する。（１名）
- 重水素ビームでは質量が大きくなるので入射速度が遅くなるように、従来のペレット入射装置を用いれば重水素ペレットも同様に入射速度が落ちるのではないだろうか。そこに対する言及が全くないところが若干気になる。また、高温のイオン温度が達成されれば、そこに重水素ペレットを入射して、炉心プラズマでの重水素ペレット入射実験ができることになり、炉への外挿性を知ることができて学術的な価値が高くなる。（１名）
- ダイバータはクライオポンプを用いているので、He 排気機能が無いとされているが、He 排気のできないダイバータ実験では炉実現へのデータベース構築は困難になる。そこで Ar フロストによる He 排気の可能性に関する更なる検討が必要ではないだろうか。（１名）
- 計画は前半６年、後半３年で計画されており、加熱装置や輸送システムのレベルアップとリンクしたものとなっていると評価する。ただし、前半と後半のそれぞれの期間の目指すものやその意義が研究計画からは読み取りにくい。（１名）
- For preparing LHD deuterium experiment, NIFS conducted upgrade for heating systems,divertor and so on. Extensive upgrade would provide the range of LHD experiments further into improved confinement regimes. In addition to these improvements, the deuterium experiment specific issues such as trace tritium study, neutron measurements, particle transport study in PWI would be very valuable to promote comprehensive understanding of toroidal plasma. Also, the study of isotope effect in helical systems and its comparison to other helical Systems as well as tokamaks would provide insight for its understanding.

- Highlights of contributions bound to result from the deuterium experiment encompass the achievement of Tio= 10 keV with deuterium beam injection and the enhancement of confinement due to the isotope effect. Although the record value of beta of the order of 5% has been already achieved at the LHD device in hydrogen albeit in a highly collisional regime it remains to be confirmed during the deuterium operation. Therefore, the extension of the performance to the low-collisional regime is desirable. Since MHD studies are required for the maintenance of a stable plasma profound understanding of MHD physics might be expected through DD experiments. High-energy ions occurring primarily due to fast ion – plasma interactions are the main source of neutrons in deuterium experiments. Therefore, measurements of the neutron profile enable the study of the fast ion confinement affected by changes in the magnetic configuration and the MHD stability. The development of the closed divertor provides fundamental experience for the particle and impurity control by divertor pumping and the reduction of heat and particle load in a divertor. Combination of the closed helical divertor and the stochastic region in LHD will facilitate the edge plasma control during the deuterium operation. Tritium study including the tritium mass balance and safety handling technology are novel components of the deuterium experiment on LHD. In summary, the plan is both highly ambitious and flexible promising comprehensive understanding of physical fundamentals and merits full support of the fusion community focused on the achievement of fusion energy.
- LHD has a long record in contributing to the understanding of toroidal plasma confinement, as evident by numerous international publications and invitations to conference presentations. It can be expected that the D-D operation LHD significantly extends the operation regime which also opens new fields for future research. This is in particular:
  a. Isotope effect in stellarators/heliotrons
  b. Beta limit at high magnetic fields (>1T)
  c. Fast ion confinement at high average beta
  d. Divertor operation at high upstream densities (detachment, high recycling etc)
  e. Tritium diagnostics and handling

  Other fields as PWI will also benefit from the extended operation window.

以上より、この学術的な価値を高める計画に対して、極めて高く評価するが４名、高く評価するが 13 名、評価するが２名であった。

（３）　計画の実施に当たり、幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制となっているか。

Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

- 重水素実験に向けて LHD 計画共同研究をベースに全日本的な中性子計測開発チームが構成されていること、微量トリチウム除去に関する研究が大学との共同研究により推進されていることなど、本計画を通じて、今後原型炉を目指す上での全日本的な体制のベースが構築されており、極めて高く評価できる。（６名）
- LHD では現在でも大学との共同研究が活発に実施されており、重水素実験においても、共同利用・共同研究を更に活性化が図れるよう努力している点は高く評価できる。（６名）
- 重水素実験に向けた研究計画及び安全管理計画に関する研究会を、核融合ネットワークやプラズマ・核融合学会専門委員会との共催の形で開催するとともに、学会の場においてもシンポジウムや招待講演等の場において、幅広い研究者と議論を行ってきたことを高く評価する。（４名）
- 重水素実験に向けた共同研究を国内外の研究機関との連携として実施し、中性子計測、トリチウム回収、プラズマ壁相互作用等の分野で成果を上げ、全国的な研究ネットワークが形成されていることを高く評価する。（４名）
- 幅広い研究者が参加できる共同利用・共同研究体制が維持され、重水素実験における研究計画は、共同研究をベースにして検討されてきたことを評価する。（３名）
- 共同研究の募集は Web で広く行われている。その応募テーマは複数の委員による採点、採点結果を元にした採否の議論も適切に行われていると判断される。今後とも日本の核融合研究の推進に貢献してほしい。（１名）
- 共同研究者独自の計測器等の LHD 本体への取り付けのように、研究所が管理する安全との適合性が大きな障害となる可能性が指摘されている。地元との合意等、変更することが困難な設定を除き、実験の進行に従って、安全管理の適合性を見直す余地を残す必要がある。（１名）
- 重水素実験では、DD 中性子などの放射線に関連した研究も可能となるので、今後はより幅広い分野との共同研究を推進し、研究のすそ野を広げる努力に努めていただきたい。（１名）
- 今までは重水素実験ができるかできないかが明確ではなかったので、幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制が積極的にとれていたとは言いがたい側面がある。今回重水素実験に関して地元との協定ができたので、これからは更に本格的に幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制をとっていくことを期待している。（１名）

- D ビームによる DD 反応の核反応生成物の発生は分布関数に依存し、理論的研究との対応が重要となるので、一般共同研究のテーマに掲げ、幅広く研究者が参画しやすくする工夫が必要であると考えられる。特にこれは炉に関連したテーマであるために今まで LHD に参加していなかった研究者にも門戸を広げる意味で重要であろう。（１名）
- 重水素実験により、今までのどの計測器が使えなくなり、新たに使えるのはどの計測器かが分かるような表を作り、もっと明確に共同研究者に知らせる工夫が望まれる。（１名）
- 放射線従事者となる所外研究者が増えることが予想される。特に所外からの共同研究者は所属機関で従事者登録ができない場合もあり、対処をお願いしたい。（１名）
- 重水素実験では放射化物等の問題はあるが、NIFS 外の研究者の分析試料や持ち込まれた測定機器の取り扱いについては、共同研究の推進の観点から検討されることが必要である。（１名）
- During preparatory stage, NIFS conducted many workshops and symposia for disseminating information on the deuterium experiments. NIFS also conducted many collaborations with universities and institutes on neutronic diagnostics, tritium related issues, as well as PWI from FY2010. Extensive effort by NIFS allowed to achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers in Japan. It would however, have been useful and helpful to work with international community with experience in other helical systems and tokamaks in deuterium experiments.
- Indeed these plans provide for extensive collaboration. At a first level, NIFS is involved with the Super Science High School which provides educational partnership activities for fusion research. Over 800 students have participated to date. There is also an internship program for high school and technical college students at NIFS. At a higher level, the NIFS program was selected to participate in the national Research Enhancement Strategy Office and now have three newly-hired Research Administrators (RA). The RA's focus on three areas: collaborative research enhancement, development of early career research, and public relations enhancement. Task groups support the activities of the RAs, and working together with NIFS committees are moving forward with related projects. There are 170 universities and institutes in Japan directly involved with NIFS at a domestic level. There are six bilateral research agreements with Australia, China, EU, Korea, Russia and the U.S. and three multilateral with the IEA. These agreements involve 18 universities and institutes. In 2013 alone over 120 foreign researchers visited and collaborated at NIFS. The research agreements and commitment to research by NIFS along with the new RA's will certainly continue

this trend of domestic and international collaboration.

- The implementation of the plan is facilitated by the strong support of the LHD program established during many years of the LHD operation. Many Japanese universities are traditionally involved in the LHD experiment providing the depth and the breadth to research carried out there. Specifically, all Japan neutron diagnostics development, neutron flux monitor development, research on environmental tritium and polymer membrane, desorption of deuterium from after exposed W to be deployed for the D operation at LHD deserve a special commendation. LHD deuterium experiment project promotes research activities in universities through collaborations amounting to the impressive number of 40.
  In summary, 47 papers have been published jointly by NIFS and many Japanese universities along these lines. Japanese universities involved in the LHD program have participated in developing the plan of collaborative use and research thereby providing the feedback appreciated by a wide range of researchers which will be involved in deuterium experiments.
- During a number of internal workshops and local conferences, the research plan has been discussed with the collaborators. Hence, the program seems to be well aligned with the research interests of the collaboration partners in Japan. The extensive know-how on neutron diagnostics and Tritium handling available in Japanese universities is well integrated into the LHD collaborative research program.

以上より、この共同利用・共同研究体制に対して、極めて高く評価するが８名、高く評価するが８名、評価するが３名であった。

［２］重水素実験準備体制

Deuterium Experiment Preparation System

（１） 平成 28 年度の重水素実験開始に向けて、設備・施設の整備は適切に計画されているか。

Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

- 重水素実験に向けた実験装置、安全管理機器及び施設・建物の整備計画が策定され、重点項目の整備に着手していることを高く評価する。（９名）
- 重水素実験に向けて、管理区域設定のための施設・建物の改修整備、NBI の改造、中性

子計測装置の開発・整備、トリチウム除去装置の設計・建設を適切に計画するとともに、それらの整備実施計画を３段階に分けて的確に進めていることを極めて高く評価する。（５名）

- 重水素実験でのプラズマの性能向上にあたり加熱パワーの増力やダイバータ構造の最適化は必須である。具体的には、NBI 加熱機器の増力や閉構造ダイバータの構築などが進められており、プラズマの高性能化に向けた準備が着実に進められている点を高く評価する。（１名）
- 安全に関しての設備・施設整備については必要な許認可等を含め、地元との協定締結後からすぐに準備を開始し、適切な対策を取っている。安全管理機器整備、建物整備（貫通孔、管理区域整備）、体制の構築（マニュアル整備含む）、管理区域管理など必要な準備が進められている点は評価できる。（１名）
- ハード面として、ダイバータ、加熱・計測機器の放射化対策、中性子シールド対応にも全面的な見直しを行っており、中性子計測システム、トリチウム除去装置、モレキュラーシーブ等、適切な対策を取っていると判断できる。（１名）
- トリチウムは水の形にしてしまうと、いろいろな物質の表面に吸着する。サンプリングロからイオンチェンバーまでの距離が長いと、レスポンスが悪くなるし、イオンチェンバー内、特に電極の絶縁体に付着すると BG の上昇に繋がり、トリチウム水の蒸気圧を測定していることになりかねないので、トリチウム水を作らないような配慮が必要であろう。（１名）
- 安全サイドの規制、防護の準備は必要であるが、法規制、地元との協議を踏まえて過剰とならないような検討も必要である。（１名）
- 放射線発生装置の中のプラズマ発生装置及び非密封放射性同位元素取扱施設として、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律による承認使用に係る変更の承認を原子力規制委員会より得なければならないので、申請手続き等、実験準備体制の構築には万全を期してほしい。設備・施設の整備に必要な予算の確保は大丈夫であろうか。（１名）
- 将来計画の一つとして、中心加熱のツールを増強することも考えられるのではないか。特に高密度プラズマ運転は重要であり、接線 NBI の高エネルギー化が必要ではないか。水素の 180 keV では不足ではないか。（１名）
- The preparation of equipment and facilities for the deuterium experiments are well planned in the areas of machine upgrade, neutron related issues, tritium related issues, and safety issues. It is also noted that the operation and safety related manuals are well prepared and documented to meet the legal license procedure.
- The preparation of equipment and facilities is well planned and has progressed according to schedule and in some instances is ahead of schedule. There are upgrades to heating systems which are in support of the research. There are many

new systems in support of increased neutron production and tritium production. The removal of unsuitable diagnostic systems is well defined and has undergone a design review. The removal of these diagnostics will reduce the amount of activated material and provide space for ease of access. The improved neutron diagnostics systems will ensure that the steady state operations are well understood for both research measurements but also very important to the determination of tritium production. The closed helical diverter will contribute greatly toward the recovery of gases to the processing systems. There are two distinct tritium removal systems; one in support of operations and the second in support of maintenance activities. The design of these systems is current state of the art for effective tritium recovery at a design level of 95%. There are additional equipment installations for access control and radiation monitoring which I will provide comment in safety section.

- Preparation plan is outlined in great detail up to the year 2016 and contains many different aspects including legal licenses, installation of safety equipment, the equipment for NIFS buildings and facilities and safety management systems. The major highlights for the start of deuterium operation are the installation of the closed divertor, upgrade of the heating system and the upgrade for diagnostics system. Upgrade of the neutral beam injection system for deuterium experiments is an important component of the proposed plan. Strategy of NBI for deuterium operation is based on the positive-ion based NBIimportIncreasing beam energy from 40 to 60/80 keV and their power is increased from 6MW to 9 MW is the major player in enhancement of the LHD capabilities. Negative-ion based NBI employs no significant upgrade and may be even decreased at the initial phase of D-operation. Hopefully, the beam power will be recovered by the optimization of grids after the D-operation. Neutron diagnostics will be implemented employing the state of the art achievements of the latter obtained on JT-60 U, TFTR and JET. Measurement of fusion output resulting in an estimate of the amount of tritium is important for the success of deuterium experiment. Studies on beam-ion behavior including the global confinement properties and slowing down of beam ions, radial profile of beam ions including beam deposition and the impact of Alfvenic modes on the radial transport of beam ions and confinement study of MeV tritons isotropic in velocity space will contribute to generic value of D-operation. Tritium Removal System is the pioneering effort to master the fusion technology in future. Two types of tritium recovery are installed in order to provide experience in handling of tritium. Molecular sieve type for exhausted gas in vacuum pumping and polyimide membrane for purged gas in the maintenance are employed. All these steps are

highly commendable.

- Most important for D-D operation are (a) installation of a neutron monitoring system, (b) preparation of the NBI heating for D-operation and (c) appropriate Tritium handling. In addition, instruments and diagnostic systems that are not compatible with D-D-operation have either to be removed or reinforced to cope with the neutron flux. All those measures were carefully started by the LHD team. The schedule for the above works as presented during the review meeting (M2-3 slides 4 and 5) is not very detailed but looks reasonable.
  The Tritium removal/recovery system is a lot of effort and requires dedicated Tritium handling. If this is required by the Japanese authorities there is no alternative. The German laws allow one to release the Tritium into the atmosphere, if Tritium monitoring is ensured and certain emission limits are guaranteed. It is beyond my knowledge if this would be possible in Japan.

以上より、この設備・施設の整備計画に対して、極めて高く評価するが６名、高く評価するが 12 名、評価するが１名であった。

（２）　重水素実験開始に向けた準備体制は適切か。安全設備も含めた施設・機器の整備は適切に進められているか。
Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate?
Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

- 重水素実験の許認可に向けた準備は適切に進められている。また中性子計測、トリチウム管理などの設備・施設は適切に整備されており、これらの点は高く評価できる。（８名）
- 重水素実験開始に向けて責任体制を明確にした重水素実験推進本部が構築され、その指揮のもと、マニュアル類の整備、施設の整備・改修並びに安全設備の整備が遅滞なく実施されており、極めて高く評価できる。（６名）
- 安全管理体制の確立や機器整備の一元的な推進を図るために重水素実験推進本部を設置し、トップダウンによる迅速な決定と実行が可能な体制がとられているのは高く評価する。（２名）
- 安全設備は他の放射線施設に比較しても十分であり、また、トリチウムの回収装置や日本アイソトープ協会への引き取りについても整備されている。（１名）
- 中性子ストリーミングが起きる貫通孔の処理、トリチウム除去装置と中性子計測シス

テムは現在整備中であり、管理区域への入退室管理システム、排気、排水設備の改修も進行している。このように、安全設備も含めた施設・機器の整備は適切に進められているので極めて高く評価する。（１名）

- 整備項目をリストアップし、各責任体制を確定しスケジュールを立て実施する事で、中性子に対して脆弱な機器への対策や不適切な機器の撤去を漏れなく遂行している。また、チェックリストをはじめ、動作マニュアル、放射化対策へのマニュアル類の整備も実施されている。（１名）
- 安全という点では十分すぎるレベルと判断する。運営面でコンプライアンスは必要であるが、必要以上の自己規制は学問の進展を遅らせ、税金の無駄遣いになりかねないので、慎重に進めてほしい。（１名）
- 重水素実験時の敷地周辺（例えば、現在の守衛所と入所の方法、外部から乗り越えられない壁等）の規制に関しても設定しておく必要がある。（１名）
- 重水素実験で使えなくなる計測機器もあるので、他の計測器などで物理的データを補完できるような手段を適切に手当てしておく必要があろう。（１名）
- 特に、重水素実験推進本部によるトップダウンの責任体制が実質的に機能しなければならないし、併せて所長のリーダーシップが強く求められる。（１名）
- 安全管理機器として重要なトリチウム除去装置と中性子計測システムの整備を強力に推進してほしい。（１名）
- 現場からの意見が本部に速やかに届くシステム構築が重要である。（１名）
- 研修についての富山大学との連携の記載が「訓練」の節にあるが、その他にも、準備の計画・実施にあたり、活用した外部機関との協力の実績やこれからの予定についてもその取組を説明することで、より信頼感のある取組みとの理解が進むと思われる。（１名）
- 各研究者が管理している計測装置等が重水素実験開始後も正常に動作するかどうかに懸念がある。安全に直接かかわらない機器であっても、いざ中性子が出たら、「動かなくなりました」、「測定できなくなりました」、では社会、地域の理解は得られないと思う。このような懸念のある機器は取り外すとのことであるが、それを研究者任せにせず、管理を一元的かつ適切に行われると良いと思う。（１名）
- The preparation of equipment and facilities for the deuterium experiments are well implemented in machine upgrade, neutron related issues, tritium related issues, and safety issues. Especially refurbishment of the LHD buildings was completed well advance, and the construction for needed service plants are well in progress.
- The NIFS team has developed a detailed plan and schedule to install new systems while also evaluating and improving existing systems.The topics are comprehensive and include neutron shielding, tritium removal (air and water), radiation monitoring, cooling water, diagnostic systems, access control, ventilation and air

balance, vacuum pumping systems, seismic improvements and even painting and coating of surfaces. A separate detailed plan and schedule exists for each task area. The diagnostic equipment evaluation is well defined and removals have progressed well. The installation of new shielding to prevent radiation streaming is well designed and nearly complete. I was able to tour all of the LHD support facilities in all different phases of completion. The new spaces for source material control, radioactive material/waste storage and tritium processing areas are well designed for any adverse condition. There is ample space for the systems providing for safe operation and maintenance. The radiation monitoring systems and access control systems are nearly complete. They are also state of the art modern systems. Licenses are also in progress or complete for the acceptance of the fission sources and Californium calibration source. The proper process is being followed to adhere to Japanese regulation.

- The preparation system for the initiation of deuterium experiment will be managed by the division for deuterium experiment consisting of division directors of NIFS including the safety-related divisions, which enables fast decision making and the top-down implementation of them. Under the D-experiment management division, the LHD upgrade team carries out the design and construction for individual items including the safety management, according to the planned preparation schedule for the initiation of the deuterium experiment. Removal of devices which are weak against radiation is ongoing carefully examining the check list and manual preparation for D operation and the radiation safety. However, the installment of nuclear safety culture is a long term project and cannot be rushed by time constraints considerations. Therefore, the extended time period envisaged for the preparation of the D operation appears to be adequate.
- The D-operation is appropriately prepared. This includes the establishment of a division in charge of all issues related to the D-D-operation and a safety management system. As it looks, all measures on radiation protection as required by the regulation authorities either have already been implemented or are scheduled according to the licensing process (M2-3 slide 23).

以上より、この準備体制及び施設・機器の整備に対して、極めて高く評価するが９名、高く評価するが９名、評価するが１名であった。

［３］安全管理計画

Safety Management Planning

（１）　安全管理に関する基本的な考え方は、地元の意見も踏まえた重水素実験実施計画の策定に際して、妥当なものか。

Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

- 重水素実験にかかる安全性の基本的考え方は、発生する放射性物質、トリチウムの量と、その管理など安全管理にまで十分な配慮が行われていると評価する。基本的な考え方は研究者のみならず、近隣の住民への影響にも及び、排水管理、トリチウム除去装置などの設置はもとより継続的な環境モニターの配慮も行われている。(11 名)
- 地元との協議の結果であろうが核融合研独自に国が定める規制値よりも低い規制値をもうけることは、現在の規制値が危険であるとも取られかねない。また、他の研究施設に影響を及ぼし、学術の発展を阻害し、税金の無駄使いにもなりかねない。十分な議論をするとともに、その低い規制値の趣旨を公に分かりやすく説明する必要がある。（７名）
- 低濃度トリチウムの測定技術の開発や、大気中、河川、植物、環境中のトリチウム量の推移を観測し変化値についても経年的に観測を続けている点は、地元への対応のみならず、学術としても評価できる。（４名）
- 重水素実験の安全管理計画を策定するにあたり、関係法令の遵守とともに、環境中へのトリチウム排出に対して法令に基づく濃度限度よりも厳しい研究所管理値を設定し、その低減を積極的に図るとともに極低レベルトリチウム測定法の研究開発等に努めてきた点を高く評価する。（１名）
- 地元対策として独自の規制は必要だったかもしれないが、科学的知識とデータは尊重されるべきであり、実績を積みながら将来計画を立てる必要がある。（１名）
- 法律・規則で定められた規制値（敷地境界、トリチウム放出量）と自己規制値を区別して、後者はあくまでも地元との約束への配慮のためのものと明示するようにしてもらいたい。（１名）
- 核融合科学研究所での管理実績は、他研究機関や将来建設する同様の施設へも影響力を持つことを踏まえ、法令での縛り、地元との約束、研究所としての管理制限の区別を明確に認識し、研究所としての管理制限については安全を担保しつつ、不要に厳しくすることの無い適切な設定や運用に配慮いただけるよう、検討いただきたい。また、法令等での規制値については、それ以下であれば十分に安全が担保されるという認識の下、将来その値を下げる必要性が生じ得ることを想起させるような説明を公衆にさ

れることの無いよう、留意されたい。（１名）

- 重水素実験に際しては十分に地元市民に説明したと思われる。法令の定める規制値よりも低い管理値を設定しているのは、地元の安心のためであることを理解した。なお、低濃度のトリチウムを測定・管理する研究目標を管理値に設定すると、研究目標を達成してからでないと重水素実験が開始できない状態になることを懸念する。（１名）
- NIFS has chosen the basic concept for safety management in a way that the level of implementation seemed excessive in comparison with regular and standard practice for the deuterium experiments. However, it was explained that the chosen concept was based on an Arbitration Proposal and local opinion.
  It is understandable that the sensitivity of local resident on the issues of radiation safety, but the scientific knowledge and database should be honored within reasonable level of implementation, for future. Therefore, the needs for future planning seems very important improving situation after accumulation of real experimental data.
- The NIFS management has gone well beyond regulation to meet the concerns of local residents. Specifically, through arbitration with the Environmental Dispute Coordination Committee, the NIFS Safety Management Plan Evaluation Committee. In some cases the limits are 2 orders of magnitude below the legal limit. The safety management planning and interaction with the public for a deuterium research experiment is unprecedented, in my opinion.

以上より、この安全管理に関する基本的な考え方に対して、極めて高く評価するが３名、高く評価するが 12 名、評価するが２名であった。

（２）　安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。
Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

- トリチウム除去システム、空気や冷却水管理、管理区域の設定などの重水素実験を安全に遂行・維持管理するための機器やシステムは適切に計画されており、この点は極めて高く評価できる。(12 名)
- 低濃度トリチウムのモニターの開発、呼気測定用機器、可搬型トリチウム除去装置の開発、環境モニターの開発などは今後の核融合研究にも資するもので、高く評価する。（３名）

- 機器の放射化を極力抑えるために、各機器ごとに中性子照射に対する耐性、対策を行い、装置周辺部の放射線レベルを抑えるための全面的な見直しを実施している。また、壁の貫通孔の中性子ストリーミングを減らすための対策など、中性子に対する配慮も評価する。（３名）
- 特に、材料研究のための施設を準備したことは高く評価できる。（１名）
- 放射性物質取扱い施設としての法的な準備は進められつつあり評価する。放射化物を管理区域外へ持ち出すことは禁止するのは当然であるが、これは所内の非管理区域への話と理解する。他大学等の RI 施設で受け入れ可能なものについても禁止するのは、共同研究推進を考えると厳しすぎる。特に、実験後の壁材などの化学分析には特別な装置が必要な場合もあると思う。そのような装置をすべて NIFS の管理区域内に準備できる予算とスペースが確保できるでしょうか。（１名）
- 放射線安全管理は、管理情報を一元的に監視・管理するための放射線総合監視システム、放射線に関わる一次データを測定するための各種放射線の測定機器及び重水素実験前の環境の状態を測定し実験後の変化を評価するための環境放射線計測などから構成されており、重水素実験を安全に遂行できるように安全管理機器・設備等が計画されており評価できるが、各種測定データの信憑性に対する判断は極めて重要であり、これらに関わり得る人員の体制を十分に検討すべきである。（１名）
- For preparing safe deuterium experiment, NIFS planned and executed well in the areas of the safety management equipment, facilities and experiment equipment.
- Yes. The safety management and measurement facilities are well designed and are again in excess of what would normally be required of this facility in Europe, Canada, or the U.S. Fission chambers are being installed to measure neutron and gamma levels at several locations and are critical to the integrated radiation monitoring system. There are several monitors used for monitoring personnel upon exit from the area. Exit from all controlled areas is only allowed through a central point. Personnel cannot access the area unless their combined dosimeter/security device is scanned and doors are opened to permit access. The monitoring is extensive, there are hand/foot monitors, tritium surface monitors, beta/gamma surface monitors, portable tritium monitors, and even a tritium expiration device to measure the tritium in your exhaled breath. Beyond all of the monitoring, hand washing is required before exit. There are extensive tritium-in-air measuring devices for measuring levels in ventilation systems, stack exhaust and room conditions. Shielding is being installed to reduce the activation levels of the concrete and steel below the machine. A dedicated stand-alone system has been designed and installed to collect all moisture/water from the entire controlled envelope. All water is pumped to central tanks and measure prior to determining

whether to release from control as radioactive waste. There is a detailed plan, facility, and packaging designed to manage the potential 8 categories of radioactive waste. All details have been considered and addressed. As previously discussed, two tritium processing systems are also in design. There is an extensive environmental monitoring system in place which provides for real-time measurements and an extensive sampling program. Tritium is being measured in air, water, plant and soil and the results have been trended over many years. This information is critical toward providing evidence in the future to the public.

- The basic concept of the safety management is developed including the minimization of occurring tritium, limiting the quantity of tritium remaining in a vacuum vessel which does not exceed a maximum level, even if a gross quantity is released, keeping the level of the radiological generations as low as possible and addressing any leak of the tritium component in water with maximum attention. Neutron and tritium measure and control employ the fission chamber detectors in order to estimate the quantity of neutrons precisely. Neutron and gamma ray protection of the LHD components is obtained by covering concrete with 5 cm thick borated polyethylene. Provisions for tritium are carefully observed including the exhaust gas processing system and MS and PM type tritium removal systems.
  Air ventilation system of the LHD building, drainage facility and storage of the recovered water are the integral parts for the safe accomplishment of the deuterium experiment. In summary, the robust hardware warrants for the reliable accomplishments of nuclear safety during the D operation.
- A large variety of measures have been implemented to shield neutrons, to minimize activation, and to minimize the release of activated Argon and Tritium into the atmosphere. Also drain water and water from Tritium recovery is carefully stored for later handling by JRIA. An extremely careful access control system is implemented around the torus hall. The measuring and (background) monitoring equipment satisfies highest standards. I recommend NIFS to develop a clear understanding of the total Co-content of LHD and all peripheral components. This would help (a) to estimate the total mass of activated material after operation and (b) to understand better the access conditions to and into LHD after D-D-operation. The development of a realistic Monte-Carlo code for neutron radiation would be an extremely helpful tool, too.

以上より、この安全管理機器・設備、実験機器等の計画に対して、極めて高く評価するが９名、高く評価するが７名、評価するが３名であった。

（３） 重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

- 安全衛生管理規則をはじめ、放射線障害予防規程、各装置の維持管理細則など重水素実験を安全に遂行するための多くの規則を策定し、準備が進められている点は評価できる。
  また、排気、排水、環境それぞれの対象物に対して放射線量の管理基準を明確に定義し、管理体制を整えている。
  さらに、緊急時のバックアップ電源、連絡手段の確保についても配慮されている。とくに緊急時での連絡体制の手順、体制、連絡事項の整理など必要な項目について準備が進められている。(11 名)
- 実績を積みながら改訂していく必要がある。(１名)
- 概ね適正に策定されている。ただし、放射化の有無を判定するための基準、例えば中性子束をゼロとみなす値、を規則類に記載した方がよい。(１名)
- 中性子によって機器等が放射化する領域にあっても、クリアランスレベル以下のものはありうる。建物内の区域で定義すると、重水素実験時間がほとんどない時期、あるいは発生量が非常に小さい時にその領域にあったものまでも、放射化物となってしまう。明確にしてもらいたい。例えば「表面線量測定を行い、クリアランスレベル以上のものを放射化物とする」など。(１名)
- 放射化物や照射試料などの持ち出しについては、十分に共同利用者を含めて議論してから、その取り扱いを予防規程に明記すべきである。(１名)
- The level of formulated regulation and update of existing regulation in NIFS was viewed as well planned and implemented for safety of deuterium experiment.
  It is however, important to consider implementing continuous improvement process of safety by using “lessons learned” after accumulation of safe experiments. The excessive control level is useful initially, but it is also important to assure the scientific knowledge and database in standard practice is based on experience of scientific and engineering communities for long periods.
- NIFS regulations are being modified to comply with the increased hazards from the deuterium experiments. NIFS has developed emergency notification procedures and protocols with the local government according to the appropriate severity of the event. NIFS has also developed radiological control levels for personnel and the environment that are considerably more conservative/restrictive than legal requirements. This will provide added levels or protection to ensure legal limits are

not attained. They have also developed basic new procedures to address work activities for tritium and activated materials. Some of the supporting materials in regard to this question were not in English so I cannot comment further. Overall, the regulatory approach is again beyond the legal requirements and is being implemented to better protect the public and public sentiment and relations.

- The already existing NIFS regulations are very stringent. These are formulated in numerous documents which are presently revised in order to fit the D operation phase. New Rules specific for deuterium operation on LHD are introduced along the lines of the general hierarchy of Japanese laws related to radiation. However, to instill these new rules into the nuclear culture is a time consuming process. Therefore, a frequent reminder must be recommended in order to keep the stuff alert and fully prepared for fast response to a stress situation. In summary, the legal part of the preparatory work is sufficient and must be implemented rigorously in future.
- As it looks, all efforts were made to satisfy the internal and authority rules.

以上より、この規則類の適切な策定に対して、極めて高く評価するが４名、高く評価するが 11 名、評価するが４名であった。

（４） 運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency measures manual being formulated appropriately?

- 装置ごとに重水素実験に伴って発生する中性子照射に対する対策等についてマニュアルを整備し、装置ごとにチェックする体制が整えられている。
  運転時マニュアルも含め、緊急時における機器ごとに対処すべき点を記したマニュアルなども整備されている。
  緊急時の対応策としての防災マニュアルも整備済みであり、適切に準備が進められている。（10 名）
- 緊急時マニュアルなどは、作成するだけに終わらず、定期的な訓練等を通して、実のある運用がなされることを期待いたします。実際に施行後改善すべき点があった場合に改訂し、更に適切となることを望む。（４名）
- マニュアルの有用性などを多角的に継続的に検証し、実効的なマニュアルとして確立することが望まれる。さらに、基本的なマニュアルの英文化も必要である。緊急時マニュアルについては、何を緊急時と定義するかなど運用に照らして、様々なケーススス

タディを行うことが必要である。（２名）

- 災害発生時の緊急連絡網については、連絡を図示して誰がどこの部署に連絡するのかを明確にしておくことが望ましい。電話番号付きで一つの図にまとめておくことが良いと考えられる。（２名）
- 現実にはマニュアルの想定とは異なる事態も起こりうることを想定し、全員がどのようなことが起こりうるかを自ら考え、リアルにイメージして、また遠慮せずにものを言える雰囲気を作っておくことが重要であろう。実験装置全体を良く理解したうえで行動がとれるようにしておくことが望まれる。（１名）
- トリチウム水は日本アイソトープ協会に引き渡すとなっているが、少なくとも、５年ぐらい前は引き取ってくれなかった。確認が必要である。（１名）
- NIFS is preparing three important manuals such as “Facility Operation Manual”,“Radiation Management Manual for Facility”, and “Emergency Manual” for ensuring Safe deuterium experiments. It deemed appropriate to become proper manual set, and it will become better with revisions when NIFS staffs accumulate experience.

  It would be useful to prepare English version when the Japanese Manuals are in complete form, for helping foreign collaborators and staffs.
- These manuals are in the process of revision to address each aspect of equipment and operation as it pertains to deuterium operation. I cannot comment further, the materials are not in English.
- All manuals are formulated appropriately and in great detail. However, a synopsis of different manuals must be disseminated among the personal for daily reading at least during the initial phase of the deuterium experiment. NIFS management level is consistent with Law General Rules existing in Japan. In summary, the message of the keeping the safety level at maximum standards must be very high on the agenda of the leadership at all levels.

以上より、このマニュアル等の適切な策定に対して、極めて高く評価するが３名、高く評価するが 11 名、評価するが３名、妥当であるが１名であった。

（５）　重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

- 所長をトップとする安全衛生委員会や、管理者と産業医を含めた委員会を組織し、所

外に安全監視委員会を設置予定など、安全に関する体制が整備されている。(12 名)

- 柔軟に見直し、改善をする体制を整えておく必要がある。外部からの共同研究者を含めた検討が必要である。(２名)
- 現場において安全管理の実際に指揮する人材の確保が急務である。(１名)
- 所外からの共同研究者は所属機関で従事者登録ができない可能性があり、対処をすることが望ましい。(１名)
- やや組織が複雑のような感じを受ける。(１名)
- NIFS prepared the organization and the system for safety management, in appropriate form to implement safety issues for the deuterium experiment. It is also important to make organization and system to adopt “lessons learned” during operation.
- Yes. There is a large and formal organizational structure that provides for overall safety management reporting to the Director General. A separate Safety and Health Committee also meets monthly and reports. In addition, there is a Division Director of Health and Safety Promotion who directs 10 offices for safety functional area. These areas are environmental safety, health control, fire and disaster prevention, machinery and equipment control, high pressure gas control, hazardous material control, electrical equipment and work control, safety handbook publishing, new experiment safety, and radiation control. The radiation control office is being greatly expanded to account for the additional radiological controls necessary to support the deuterium operations. A separate Radiation Safety Committee is being organized as well as a Safety Committee comprised of local residents.
- As a rule, the Director General (DG) must have the full responsibility for safety, including radiation protection and radiation safety. The organizational chart given in M2-4 shows that there is a staff section (“radiation protection supervisors”) that leads a radiation protection committee. This staff section supports the DG in his responsibility. Under the DG, there is the “division of health and safety promotion”, led by a director. This division is organized in a complex manner, with a “Chief of Radiation Control Office” directly under the division director and several managers reporting to him. Since this organization is still “under planning” (as indicated in the chart) I recommend NIFS to consider a simpler organization with clear line responsibilities. It makes sense to have radiation safety ROs (RO = responsible officer) for each component that requires precise know-how. But these should report to the division director directly. In addition, it is not clear to me how the division connects to the staff section. Is it foreseen that the radiation protection supervisors

conduct regular audits? A clear work flow, clear responsibilities and a clear hierarchy would help to establish sound processes for radiation protection.

- NIFS organization is paying a lot of attention to the safety management.
  This includes NIFS detailed handling of very small amount of sealed radioisotopes, procedures for in-vessel works and port work in order to prevent the tritium exposure. This includes NIFS management at the level 1 & 2 and employs the extensive radiation management equipment. The organization and the system for safety management appear adequate for the D operation phase.

以上より、この組織、体制等の構築に対して、極めて高く評価するが６名、高く評価するが８名、評価するが５名であった。

（６） 重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。
Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

- 国内、海外共同研究者に対しての安全教育、英語マニュアルの整備など教育体制と方針と実施について準備が着実に進められている。トリチウム取扱者への訓練と研修、消防署、地区への通報、災害時に対する防災訓練を行っている。さらに、責任者養成として、第一種放射線取扱主任者の修得を所員に推奨し、免許保有者の人数を増やしているなど、高く評価する。(14 名)
- トリチウム取扱いの経験を積むべく、富山大学水素同位体科学研究センターでの実地研修を実施するなど、安全に関する教育・訓練を主体的かつ積極的に実施しており、極めて高く評価できる。(５名)
- 他機関の利用者で放射線業務従事者の取得を NIFS が代行する計画があるが、もし、その人の被ばく管理を NIFS が行えば、その記録は永久保管する必要がある。(１名)
- NIFS executed education and training for the safe execution of the deuterium experiment, appropriately.
- Yes. The required education and training has been identified and partially planned. Routine safety and radiation safety classes are scheduled biannually. All co-researchers are required to take Safety Training and if working in LHD controlled areas will also have to be registered as a radiation worker by their home institution. Safety education for foreign co-researchers is available in English in the NIFS Safety handbook and Worker Safety sheets are also in English and are

signed to acknowledge completion. A separate course is required for access to LHD systems which is called "the tritium safely handling course" which is held in the Hydrogen Isotope Research Center in Toyama University. Safety managers and other key personnel are also taking a course which includes examination for the safe handling of radioactive material.

- General Safety Lectures and Radiation Safety Lectures are held twice a year for all workers including students in order to renew the permission for working in the next fiscal year. Also, the safety education is provided to visiting and even foreign researchers working on the D operation carried out at the LHD. Managers responsible for safety are constantly updated at the tritium safety handling course spending time at different locations and in different capacities. In summary, the system of education and training is adequate to fulfil the goals of deuterium operation. Yet, the final jury on safety precautions remains to be confirmed.
- A reasonable training and instruction systems seems to be implemented.

以上より、この教育・訓練及び安全管理責任者の養成の適切な計画に対して、極めて高く評価するが９名、高く評価するが８名、評価するが２名であった。

［４］社会の理解

Understanding by Society and Citizens

（１） 地元市民に対して、重水素実験の安全性に対する理解の増進を適切に進めているか。

Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

- 地元市民に対しての安全性に対する理解増進を図るため、市民説明会を 10 年近く開催しており、毎年 20－30 カ所、延べ 4,000 名を超える近隣の市民に対し、重水素実験、研究所の成果を説明し相互理解をすすめている点や、説明会で出た意見なども研究所ホームページを通じてオープンにしている点は極めて高く評価できる。
  また、広報誌やリーフレットを通じた広報、サイエンスフェア、地元のイベントにも積極的に参加していること、特に 2013 年には科学的な工作教室（科学教室）を開催し 1,000 名を超える参加者があった点も評価できる。
  多くの機会を作って、研究所活動、安全性についての理解を進めることができたことは高く評価できる。(14 名)
- 安全性に対する理解とは、あるリスクレベルの受け入れを意味し、ゼロリスクを意味

するものではないと思われる。安全性に対する理解が深まり、かつ、重水素実験に対する信頼を得れば、管理値を法令が定める規制値に近づける努力をすべきではないか。（１名）

- From year 2006, NIFS held public forum to disseminate information on deuterium experiments and its safety issue. Also, the publications such as leaflets and magazines are used to enhance public understanding of issues. It needs to be recognized continuous effort that made public agreement possible.
- Yes. An extensive amount of interaction, learning, and dialogue has been conducted with the public, especially local residents. On average, there have been 24 public forums each year since 2006. These forums have been held in Toki, Tajimi, and Mizunami. In addition web pages have been developed for the public to access when forums are not available. NIFS has also published many information documents for the public and participated at many local festivals to share information and talk about science. NIFS has also sponsored many hands-on workshops for school children to promote science.
- NIFS has conducted various events and activities for the purpose of informing the public about our research activities. These include open campus and fusion fiesta in Tokyo, open lecture for local residents and release of information by mailing lists and NIFS tours and educational numerous contributions and press releases. To this end, NIFS should try to obtain the permission to inform directly the Japanese government and parliament about the fusion research and the works carried out at NIFS. In summary, the outreach activities are successful for the progress of NIFS research. This is borne out by finally obtaining the permission to carry out long overdue deuterium experiments.
- There are numerous NIFS activities on public understanding of safety and radiation protection. This seems to be appropriate.

以上より、この地元市民への重水素実験の安全性に対する理解の増進に対して、極めて高く評価するが 14 名、高く評価するが４名、妥当であるが１名であった。

（２）　重水素実験計画の推進にあたり、自治体と連携を図っているか。
Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

- 平成９年頃から地元土岐市、多治見市、瑞浪市との協議を続けながら研究活動、安全への姿勢などについて理解を深め、平成 25 年に地元と協定締結を行った。土岐市プラ

ズマ研究委員会との活動として、小中高の先生も含めて地域放射線測定を続けている点は高く評価できる。(14 名)

- 土岐市プラズマ研究委員会の活動はユニークであり、小，中，高等学校の教員との連携が重要であるので、今後も継続が望まれ、密に連携を図っていっていただきたい。(２名)
- 重水素実験計画の推進にあたっては地元自治体との連携が不可欠であり、協定締結後も定期的な説明・報告会を実施、また地元自治体との情報伝達訓練や所内に地域連携室を設置して連携を図る体制となっている点は評価できる。(１名)
- From the beginning of NIFS inauguration, the initiative of public agreement was launched through local governments such as Gifu Prefecture, Toki City, Tajimi City and Ena City. The agreement was concluded successfully in year 2013, so that it needs to be recognized as successful communication with local governments.
- Yes. In 1998 NIFS began the public process to gain acceptance for deuterium experiments. In 2013, through many public forums, education, meetings and negotiations they successfully gained mutual understanding and completed a Letter of Agreement to Councils and Citizens. They also conduct collaborative research with "Toki-City plasma research committee" to perform measurement of environmental radio-activities which promotes trust while, promoting the understanding of the safety of the deuterium experiment.
- Local governments have finally endorsed the deuterium experiment. NIFS leadership deserves the credit for this major accomplishment bound to have an impact on the helical reactor studies in future. Hopefully, the seriousness and stringent approach adopted by NIFS in carrying out the deuterium experiments will satisfy the confidence shown by local governments in granting the permission to carry out the D experiments. In summary, the trust of local governments must be verified by the novelty of results obtained during the deuterium operation.
- As far as I can see: yes.

以上より、この自治体との連携に対して、極めて高く評価するが 11 名、高く評価するが７名、高く評価するが１名であった。

（３）　広く核融合研究の重要性と安全性を社会に発信しているか。
Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

- 研究所ではオープンキャンパスを毎年実施。毎回 2,000－4,000 名が参加する大きな催

しとなっている。また、東京地区でのアピールとして未来科学館を会場に Fusion フェスタ in Tokyo を実施し定着してきた。平成 26 年度には 2,000 名を超える参加者を得るなど核融合研究を市民に知ってもらうための大きなイベントとなってきている点は評価できる。その他にも、市民学術講演会を実施や、メールマガジンやメールニュースの発行、核融合研の施設見学では 4,000 名を超える方々に公開するなど、広報活動に力を入れている。さらに、SSH 活動への協力、中高生インターンシップ等への協力を通じ次代を担う若い世代へも積極的に広報を行っている点は高く評価できる。(12 名)

- 全国の大学、研究所も協力し、全国各所での科学イベントへ参加することも重要である。(１名)
- In addition to local community, NIFS conducted vigorous effort to widen communication with public in general, such as “Fusion Festa in Tokyo”, open lectures during Toki Conference etc. It is good and hard effort by NIFS and NIFS staffs to communicate.
- Yes. NIFS has historically conducted a great deal of educational outreach. Since 1998, they have held an annual open campus with many events and demonstrations. They conduct a Fusion Festa in Tokyo annually as well with many events for the public. They also publish many articles and scientific topics for the public and science community.
- NIFS has done its best to communicate the importance of deuterium operation to the society resulting in success of the granting process. The safety requirements must be given the highest priority in order to deliver safely Scientific results of highest quality for fusion research aimed at a construction of the helical reactor.
- As far as I can see: yes.

以上より、この核融合研究の重要性と安全性の社会への発信に対して、極めて高く評価するが８名、高く評価するが 11 名であった。

第３章　評価のまとめと提言

第２章で記載された意見及び外部評価委員会及び専門部会での論議を基に、評価の要点をまとめ、重水素実験実施計画の推進に重要ないくつかの提言をする。

１．評価のまとめ

［１］研究計画
Research Plan

（１）　重水素実験の目的は適切か。またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

重水素実験により、閉じ込め改善による高性能化、同位体効果、高速イオンの閉じ込め性能に関する研究が進展し、環状プラズマの総合的理解に寄与することが期待され、その目的は適切である。閉じ込め改善や加熱機器の増強により運転領域を拡大するとともに、中性子計測や高精度計測の整備、閉ダイバータの整備により新たな研究領域へと拡大する研究計画であり、重水素実験に向けて安全を確保する体制の整備が進んでいることと併せて、高く評価する。

今後、具体的な実験計画策定に向けた議論を更に深めるとともに、ヘリカル系における閉じ込め改善に対する同位体効果を学術として検証し、トロイダルプラズマの包括的理解に貢献する必要がある。本研究を進めるにあたっての安全対策、実施体制は適切であるが、今後、更に専門家も含めた検討を加えるなど、安全管理体制の継続的な見直しを図りつつ推進することが望ましい。

（２）　環状プラズマの総合的理解の推進に寄与し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を高める計画となっているか。

Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

閉じ込め改善と物理、MHD 安定性の改善と高ベータの拡大、高エネルギーイオンの閉じ込め、ダイバータ最適化、プラズマ壁相互作用、ICRF 加熱の多様化等を通して、環状プラズマの総合的理解の推進に貢献し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を高める計画となっ

ていることを高く評価する。

閉ダイバータや摂動磁場印加により、周辺プラズマにおける輸送現象の理解が進展し、コアプラズマの粒子制御に寄与することが期待され、高く評価する。

同位体効果による閉じ込め改善が十分ではない場合に向けて、多様な閉じ込め改善手法を解明し、モデリングによって予測しておくことが望まれる。

（３）　計画の実施に当たり、幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制となっているか。

Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

重水素実験に向けた共同研究を国内外の研究機関との連携として実施し、中性子計測、トリチウム回収、プラズマ壁相互作用等の分野で成果を上げ、全国的な研究ネットワークが形成されていることを高く評価する。

重水素実験に向けた研究計画及び安全管理計画に関する研究会を、核融合ネットワークやプラズマ・核融合学会専門委員会との共催の形で開催するとともに、学会の場においてもシンポジウムや招待講演等の場において、幅広い研究者と議論を行ってきたことを高く評価する。

［２］重水素実験準備体制

Deuterium Experiment Preparation System

（１）　平成 28 年度の重水素実験開始に向けて、設備・施設の整備は適切に計画されているか。

Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

重水素実験に向けて、管理区域設定のための施設・建物の改修整備、NBI の改造、中性子計測装置の開発・整備、トリチウム除去装置の設計・建設を適切に計画するとともに、それらの整備実施計画を３段階に分けて的確に進めていることを高く評価する。

（２）　重水素実験開始に向けた準備体制は適切か。安全設備も含めた施設・機器の整備は適切に進められているか。

Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate?
Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

重水素実験開始に向けて責任体制を明確にした重水素実験推進本部が設置され、その指揮のもと、マニュアル類の整備、施設の整備・改修並びに安全設備の整備が遅滞なく実施されており、高く評価する。

［３］安全管理計画

Safety Management Planning

（１）　安全管理に関する基本的な考え方は、地元の意見も踏まえた重水素実験実施計画の策定に際して、妥当なものか。

Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

安全に関する基本的な考え方は十分なものと判断する。微量トリチウムの環境動向をモニターする体制をとるのも、学術の点で評価できる。なお、コンプライアンスは大切であるが、過度に自己規制をかけることは学術の発展を阻害するとともに、他の RI 施設の運営にも影響するので、その趣旨を十分明らかにし、スタンダードにならないように進める必要がある。

（２）　安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されていると判断され高く評価する。なお、トリチウム水の引き取りは日本アイソトープ協会と密に連携しながら進めて行ってもらいたい。

（３）　重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

安全に遂行するために規則類が十分整備されている点を高く評価する。なお、放射化物の取り扱いについては十分検討されたい。材料、部位によっては放射化物は研究対象であ

り、法律に従った移動は可能であることを明確にする必要がある。

（４）　運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency measures manual being formulated appropriately?

安全に遂行するためのマニュアルは基本的に整備されており高く評価する。なお、緊急時の連絡先は具体的に部署、電話番号まで書いて置いた方が良いと言えよう。また、放射化物の取り扱いには、より正確な評価を旨として、具体的測定法も含めたマニュアルを整備する必要があると思われる。

（５）　重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

安全管理の組織は十分整備されており高く評価する。ただし、組織の肥大化による硬直が起こらないよう、運営を開始してからも適宜見直しながら運用する必要もあろう。

（６）　重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

法律で定められた講習会の他に、富山大学水素同位体科学研究センターとの連携により、実際にトリチウムの取り扱いを経験するなどの活動は高く評価される。緊急時の連絡などの訓練も行われ、安全に重水素実験を遂行するための人材養成は適切に計画されていると思われる。

［４］社会の理解

Understanding by Society and Citizens

（１）　地元市民に対して、重水素実験の安全性に対する理解の増進を適切に進めているか。

Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

安全性に対する理解増進を図るため、市民説明会を 10 年近く開催しており、毎年 20－30 カ所、延べ 4,000 名を超える近隣の市民に対し、重水素実験、研究所の成果を説明し相互理解をすすめている点や、説明会で出た意見なども研究所ホームページを通じてオープンにしている点は極めて高く評価できる。また、広報誌・リーフレットを通じた広報や、サイエンスフェア・地元のイベントにも積極的に参加していること、特に 2013 年には科学的な工作教室（科学教室）を開催し 1,000 名を超える参加者があった点も高く評価できる。

（２） 重水素実験計画の推進にあたり、自治体と連携を図っているか。
Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

平成９年頃から地元土岐市、多治見市、瑞浪市との協議を続けながら研究活動、安全への姿勢などについて理解を深め、平成 25 年に県及び地元３市と協定締結を行った。また、土岐市プラズマ研究委員会との共同活動として、小中高の教員も含めて地域放射線測定を続けている点は極めて高く評価できる。

協定締結後も定期的な説明・報告会を実施、また地元自治体との情報伝達訓練や所内に地域連携室を設置して連携を図る体制となっているのも高く評価できる。

（３） 広く核融合研究の重要性と安全性を社会に発信しているか。
Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

核融合科学研究所ではオープンキャンパスを毎年実施し、毎回 2,000－4,000 名が参加する大きな催しとなっている。また、地元だけでなく、地元以外へのアピールとして日本科学未来館を会場に Fusion フェスタ in Tokyo を実施し定着してきた。平成 26 年度には 2,000 名を超える参加者を得るなど核融合研究を市民に知ってもらうための大きなイベントとなってきている点は高く評価できる。その他にも、市民学術講演会の実施や、メールマガジンやメールニュースの発行、核融合研の施設見学では 4,000 名を超える方々に公開するなど、広報活動に力を入れている。さらに、SSH 活動への協力、中高生インターンシップ等への協力を通じ次代を担う若い世代へも積極的に広報を行っている点は高く評価できる。

２．提言

今回の評価において重水素実験実施計画について論議した結果、今後の進め方に関して、提言を以下にまとめた。

（１） 重水素実験に伴う閉じ込め改善及び加熱機器や計測機器の整備を踏まえ、具体的な実験計画策定に向けた議論を更に深めるとともにモデリングを充実させることにより、トロイダルプラズマの包括的理解に貢献することを期待する。重水素実験に向けた共同研究により形成された中性子計測、トリチウム回収、プラズマ壁相互作用等の全国的な研究ネットワークを今後も継続・維持することを期待する。

（２） 重水素実験を当初の予定通りに開始すべく、新たに設置された重水素実験推進本部の下で、重水素実験に向けた整備実施計画の策定並びに設備の整備、施設の改修、安全管理体制の確立等を遅延なく完了させることを期待する。

（３） 核融合科学研究所は大学における核融合科学の研究を取りまとめる立場であり、重水素実験を安全に成功裏に完結することはきわめて大切である。特に、法令の遵守、地元の意見の尊重、学術の発展のバランス良い感覚を維持しながら、柔軟に対応していくべきと思われる。また実際の安全管理に関しては、主任者の選任期間を重複させ適切に交代するなど、丁寧かつ堅実に進めることが望まれる。

（４） 核融合科学研究所が長年にわたって行ってきた地元市民への説明、自治体との連携活動への努力は高く評価でき、今後も安全管理に対する実績と不断の実践を通じて、核融合に対する理解と支援を得るべく務めることが望まれる。

第４章　おわりに

核融合科学研究所では平成 22 年度からの第２期中期目標期間の開始に当たり、プラズマ・核融合分野での COE としての求心力を一層強化するため、LHD 計画研究、数値実験炉研究、核融合工学研究の３分野で研究プロジェクトを構成し、核融合炉実現に向けて、これらの成果を統合していく研究計画をスタートさせた。このために平成 22 年度には所内研究組織の改編を行った。全研究教育職員が一つの研究部にまとめられ、３つのプロジェクトへの参画を自由にする体制を取っており、LHD 計画研究、数値実験炉研究及び核融合工学研究との連携が推進され、課題に対して臨機応変に対応できることが期待される。

核融合科学研究所運営会議では、先ず平成 23 年度に LHD 計画プロジェクト、平成 24 年度に数値実験研究プロジェクト、平成 25 年度に核融合工学研究プロジェクトの外部評価を実施した。そして、本年度においては「重水素実験実施計画」を対象として外部評価を実施することとした。外部評価委員として運営会議の所外委員 10 名と外国人委員４名の外に５名の専門委員を加えて外部評価委員会及び専門部会を構成し、評価作業を行った。

平成 26 年９月 12 日に開催した第１回外部評価委員会及び専門部会において、本年度の外部評価の進め方について協議し、以下の視点に関して評価することとした。

［１］研究計画
- （１）重水素実験の目的の適切性、また目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制
- （２）学術的な価値を高める計画
- （３）共同利用・共同研究体制

［２］重水素実験準備体制
- （１）設備・施設の整備計画
- （２）準備体制及び施設・機器の整備

［３］安全管理計画
- （１）安全管理に関する基本的な考え方
- （２）安全管理機器・設備、実験機器等の計画
- （３）規則類の適切な策定
- （４）マニュアル等の適切な策定
- （５）組織、体制等の構築
- （６）教育・訓練及び安全管理責任者の養成の適切な計画

［４］社会の理解
- （１）地元市民への重水素実験の安全性に対する理解の増進
- （２）自治体との連携
- （３）核融合研究の重要性と安全性の社会への発信

その後、平成 26 年 11 月 29 日に開催した第２回外部評価委員会及び専門部会では、核融合科学研究所の担当者から、評価の観点及び評価項目に沿って詳しい説明を受け、質疑応答が行われた。さらに、平成 27 年１月 29 日に第３回外部評価委員会及び専門部会を開催し、研究所との更なる質疑応答も含め外部評価委員会で定めた評価の観点と項目に沿った評価作業とその取りまとめを行った。評価案が出揃った段階で平成 27 年２月 24 日に第４回外部評価委員会及び専門部会を開催し、最終報告書を取りまとめた。

今回の重水素実験実施計画に対する外部評価の結果としては、上記すべての項目に対して、ほとんどすべての項目に対して高く評価できるとの結論となった。特に安全性に対する理解の増進や自治体との連携に関しては極めて高く評価できる。これは研究所側の不断の努力の賜物と言え、今後も継続的な活動を期待する。規則類やマニュアル等の適切な策定や整備、更に組織・体制等の構築が進んでいる点は高く評価できるが、より一層の努力を期待したい。

なお、平成 27 年１月 29 日の第３回外部評価委員会及び専門部会では、安全管理に関する考え方及び放射化物の取り扱いに関しての議論を深めた。研究所側の安全管理に関する考え方の説明を受けるとともに、これまでの関係自治体や周辺住民との交渉の経緯などに関して、追加資料により説明を受けた。また放射化物の取り扱いについても基本的な考え方をまとめて、後日報告を受けた。これらの説明や資料を踏まえて議論した結果、安全管理や放射化物取り扱いに関する基本的な考え方は妥当であるとの結論に至った。

最後に、重水素実験実施計画の今後の進め方に関する提言を下記のようにまとめた。

（１） 重水素実験に伴う閉じ込め改善及び加熱機器や計測機器の整備を踏まえ、具体的な実験計画策定に向けた議論を更に深めるとともにモデリングを充実させることにより、トロイダルプラズマの包括的理解に貢献することを期待する。重水素実験に向けた共同研究により形成された中性子計測、トリチウム回収、プラズマ壁相互作用等の全国的な研究ネットワークを今後も継続・維持することを期待する。

（２） 重水素実験を当初の予定通りに開始すべく、新たに設置された重水素実験推進本部の下で、重水素実験に向けた整備実施計画の策定並びに設備の整備、施設の改修、安全管理体制の確立等を遅延なく完了させることを期待する。

（３） 核融合科学研究所は大学における核融合科学の研究を取りまとめる立場であり、重水素実験を安全に成功裏に完結することはきわめて大切である。特に、法令の遵守、地元の意見の尊重、学術の発展のバランス良い感覚を維持しながら、柔軟に対応していくべきと思われる。また実際の安全管理に関しては、主任者の選任期間を重複させ適切に交代するなど、丁寧かつ堅実に進めることが望まれる。

（４） 核融合科学研究所が長年にわたって行ってきた地元市民への説明、自治体との連携活動への努力は高く評価でき、今後も安全管理に対する実績と不断の実践を通じて、核融合に対する理解と支援を得るべく務めることが望まれる。

資　料　編　１

平成２６年度　重水素実験実施計画報告書

平成26年度

重水素実験実施計画　報告書

平成２７年２月

自然科学研究機構　核融合科学研究所

目　次

１．はじめに　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
　１．１　大型ヘリカル装置計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１
　１．２　重水素実験の位置付け　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２
　１．３　安全管理計画と協定書　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３
　１．４　評価の観点と留意点　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５

２．重水素実験計画の概要　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・６
　２．１　重水素実験の目的と重点研究課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・６
　２．２　目標プラズマ性能　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９
　　２．２．１　予想プラズマパラメータ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９
　　２．２．２　中性子発生率　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０
　２．３　設備整備計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１６
　　２．３．１　本体　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１６
　　２．３．２　加熱機器　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２０
　　２．３．３　計測機器　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２４
　　２．３．４　安全管理機器　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３３
　２．４　研究スケジュール　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・３７
　２．５　安全実施体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４０
　２．６　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４２

３．研究計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４３
　３．１　研究課題　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４３
　　３．１．１　高温度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４４
　　３．１．２　高ベータ・ＭＨＤ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・４８
　　３．１．３　高エネルギー粒子の閉じ込め　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５２
　　３．１．４　ダイバータ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５４
　　３．１．５　プラズマ・壁相互作用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５６
　　３．１．６　加熱・定常　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・５９
　　３．１．７　同位体効果と高性能化がもたらす物理課題　・・・・・・・・・・・６３
　３．２　共同利用・共同研究体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・６８
　　３．２．１　共同研究を通じた研究計画の策定　・・・・・・・・・・・・・・・・６８
　　３．２．２　共同研究を通じた研究計画の推進　・・・・・・・・・・・・・・・・７２
　３．３　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７４

４．重水素実験準備体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７５
　４．１　設備・施設整備計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７５
　　４．１．１　整備項目とスケジュール　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７５
　　４．１．２　整備実施計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・７７
　４．２　重水素実験開始に向けた準備状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８１
　　４．２．１　準備体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８１

４．２．２　施設の整備状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８３
４．２．３　機器の整備状況　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・８９
４．２．４　申請手続き　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・９８
４．３　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０１

５．安全管理計画　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０３
５．１　安全管理に関する基本的な考え方　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０３
５．２　安全管理設備　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０４
５．２．１　安全管理計画の全体像　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０４
５．２．２　中性子・ガンマ線対策　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１１１
５．２．３　トリチウム対策　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１１３
５．２．４　換気・排気、廃液・排水、放射性廃棄物の取り扱い　・・・・・・・・１２０
５．２．５　放射化物の取り扱い　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１３０
５．２．６　管理区域の設定と入退管理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１３０
５．２．７　放射線安全管理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１３６
５．３　規則類の整備　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１５５
５．３．１　法体系・規則体系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１５５
５．３．２　作業手順　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１６１
５．３．３　実験実施要項　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１６４
５．３．４　地元自治体への連絡基準、公表事項　・・・・・・・・・・・・・・・１７５
５．４　マニュアル類の整備　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１７８
５．４．１　ＬＨＤ運転マニュアル　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１８０
５．４．２　放射線管理マニュアル　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１８４
５．４．３　緊急時・災害時マニュアル　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１８８
５．５　安全管理体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１９７
５．５．１　放射線管理関連法令　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１９７
５．５．２　安全管理体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１９９
５．６　教育・訓練　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２０１
５．６．１　教育体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２０１
５．６．２　訓練　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２０３
５．６．３　安全管理責任者の養成　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２０６
５．７　安全管理計画のまとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２０８

６．社会の理解　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２１７
６．１　理解の増進　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２１７
６．１．１　市民説明会　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２１７
６．１．２　広報活動　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２１８
６．２　自治体との連携　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２１
６．２．１　協定書の締結　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２１
６．２．２　連携活動　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２３
６．３　社会への発信　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２６
６．３．１　イベント　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２２６

６．３．２　広報活動　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３０
６．３．３　プレス発表　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３３
６．４　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３５

参考資料　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３７
１．一般共同研究及びＬＨＤ計画共同研究における重水素実験関連共同研究課題のリスト
・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・２３８
２．共同研究に基づく重水素実験関連研究課題の論文リスト　・・・・・・・・・・・・・２５５

1. はじめに

1.1 大型ヘリカル装置計画

我が国独自のアイデアであるヘリオトロン方式に基づく大型ヘリカル装置（Large Helical Device: LHD）は、定常無電流という特長を持つヘリカル型磁場閉じ込め装置として、平成10年の実験開始以来、世界に先駆けた高性能プラズマ実験を遂行している。LHDは、昭和61年の学術審議会報告「大学における今後の核融合研究において」に基づき、大学共同利用機関である核融合科学研究所に建設された世界最大の超伝導核融合プラズマ実験装置であり、閉じ込め磁場を発生するコイルの全てを超伝導とし、ヘリカルダイバータのための広い空間を確保するなど、定常プラズマ研究へ向けた先進的な機能を有している。

LHDは、ヘリカル型磁場配位により、核融合炉に外挿しうる高性能定常プラズマを実現し、その性質を学術として体系化することにより、ヘリカル型核融合炉に向けた物理的、工学的研究課題を解明することを目的とする。LHD計画では、重要研究課題として次の5つが掲げられている。

［1］炉心プラズマに外挿しうる高nτTプラズマにおける輸送の研究
［2］平均ベータ（β）値5%以上の高βプラズマにおける電磁流体的特性の研究
［3］ダイバータの設置による無電流プラズマの長時間放電実験と定常運転に必要な制御データの取得
［4］高エネルギー粒子の振る舞いの研究
［5］トカマクとの相補的研究によるトロイダルプラズマの総合的理解

これらの研究課題を遂行し、LHD計画の目的を達成するために、以下に示すような目標プラズマパラメータが設定されている。

核融合三重積（nτT）: $\langle T \rangle = 3\text{-}4$ keV, $\langle n \rangle = 1\times10^{20}$ m^{-3}, $\tau_E = 0.1\text{-}0.3$ s
高イオン温度 : $T_i(0) = 10$ keV, $\langle n \rangle = 2\times10^{19}$ m^{-3}
高ベータ（β）: $\langle \beta \rangle \geqq 5\%$, B = 1-2 T

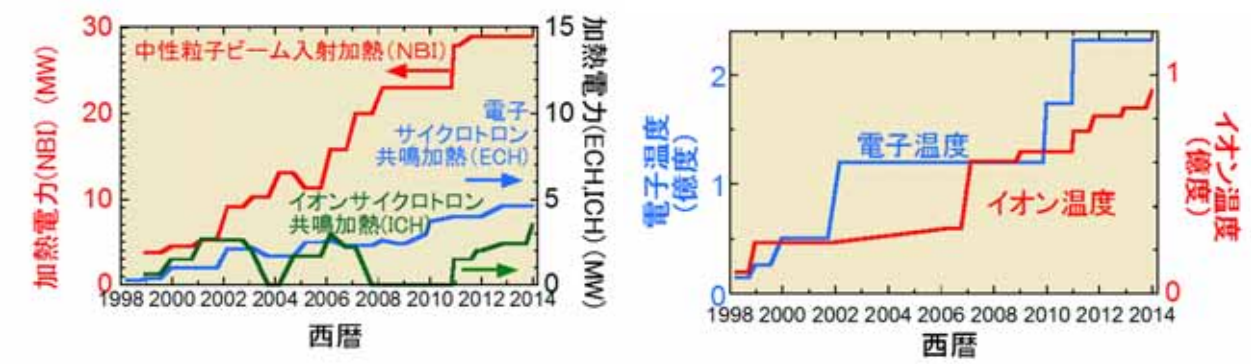


図1.1-1 加熱機器の整備の進展（左）とイオン温度、電子温度のパラメータの進展（右）

平成10年の実験開始以来、これらの目標プラズマパラメータの達成に向けて、加熱機器等の装置の整備を進めつつ、プラズマの高性能化へ向けた学術研究を展開してきた。図1.1-1に、加熱機器の整備の進展とイオン温度、電子温度のパラメータの進展を示す。加熱機器の整備と閉じ込め改善などの学術研究の進展により、着実にパラメータ領域の拡大が

図られてきたが、目標プラズマパラメータの達成には、さらなる閉じ込め性能の向上が必要である。また、表1.1-1に、LHDの到達パラメータとそれに対応した目標プラズマパラメータを示す。イオン温度は9,400万度（8.1 keV）に到達し、電子温度に関しては、密度は低いものの2億度を超えている。また、10^{21} m^{-3}を超える超高密度プラズマの生成、磁場強度0.425 Tにおけるベータ値5.1%の達成、1時間近くに及ぶ高性能プラズマの定常維持など、目標プラズマパラメータの達成に向けて、研究が進展している。しかし、1億2,000万度（10 keV）のイオン温度などの最終目標値の達成には、さらなるプラズマの高性能化が必要である。

表 1.1-1 LHD の到達パラメータとそれに対応した目標プラズマパラメータ

プラズマ性能	大型ヘリカル装置 達成値	大型ヘリカル装置 最終目標値	核融合炉 設計条件の目安
イオン温度	9,400万度 （密度10兆個/cc）	1億2,000万度 （密度20兆個/cc）	1億2,000万度以上 100兆個/cc以上 閉じ込め1秒以上
電子温度	2億3,000万度 （密度2兆個/cc） 1億5,000万度 （密度10兆個/cc）	1億2,000万度 （密度20兆個/cc）	
密度	1,200兆個/cc （温度300万度）	400兆個/cc （1,500万度）	
ベータ値 （プラズマ圧力/ 磁場圧力）	5.1% （磁場0.425 T） 3.7% （磁場1T）	5% （磁場1-2 T）	5%以上 （磁場5 T以上）
定常運転	54分（500kW） 48分（1200kW）	1時間（3 MW）	定常（1年）

1.2 重水素実験の位置付け

将来のヘリカル型定常核融合炉の実現に向け、LHDにおいて、1億2,000万度のイオン温度をはじめとするプラズマの高性能化を達成してデータベースの蓄積を図り、その学理の体系化を行う必要がある。そのためには、現在、水素ガスを用いたプラズマ実験から、格段のプラズマ性能の向上が期待される重水素ガスによる実験に切り替えることが最も有効な手段である。

水素の同位体である重水素を用いることにより、プラズマの閉じ込めが改善することが多くのトカマク型装置で示されている。図1.2-1に、JT-60トカマク装置における重水素実験によるプラズマ性能の向上を示す。重水素を用いることにより、水素による実験の時に比べて、イオン温度やエネルギー閉じ込め時間等のプラズマ性能が向上していることがわかる。また、表1.2-1には、水素実験と比べた重水素実験によるプラズマ性能の向上度を各種トカマク型装置について示す。いずれの装置においても、質量比の平方根に相当する1.4倍程度の向上が見られている。このように、重水素実験を実施することにより、装置性能を増強することなく、より高性能なプラズマを実現することが可能である。また、質量の違いに代表されるプラズマ閉じ込めの同位体効果は未解明な課題であり、それに取り組むことは、将来の核融合炉で燃料として使用する重水素・トリチウムによるプラズマ性能を見通すことを可能にするとともに、学術研究としてもその意義は高い。

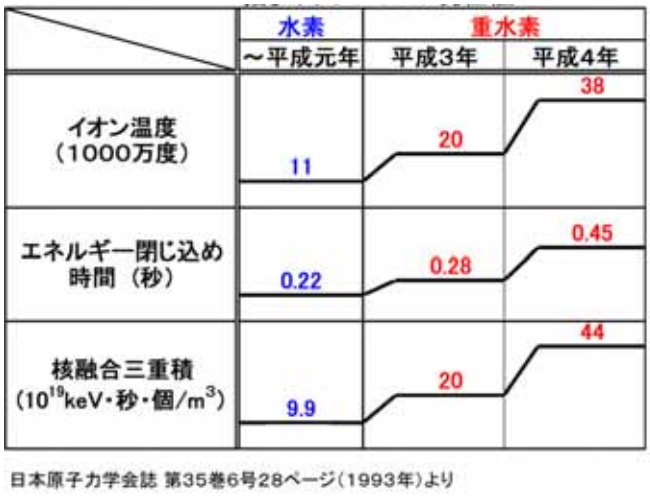


図1.2-1　JT-60トカマク装置における重水素実験によるプラズマ性能の向上

表 1.2-1　各種トカマク型装置における重水素実験による向上度

実験装置名	国	重水素による向上度
JFT-2M	日	1.1～1.4
JT-60U	日	1.2～2
Alcator C	米	1.5
DIII-D	米	1.4～2
ISX-B	米	1.4
TFTR	米	1.2
ASDEX	独	1.3～2
ASDEX-U	独	1.5
TEXTOR	独	1.4
JET	英	1.2～1.4
FTU	伊	1.4

このように重水素実験は、ヘリカル系閉じこめ配位を用いた核燃焼実験装置の設計を確実なものとするデータベースと理解を築くこと、およびトカマク概念との代替性・補完性を学術基盤から問う、というLHD計画の基本理念の飛躍的な進展に直接つながるものである。

一方、LHD重水素実験研究計画は、文部科学省　研究環境基盤部会　学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会による報告書「超高性能プラズマの定常運転の実証」（平成25年9月6日）において、「重水素ガスを使った実験により、核融合燃焼条件に近い領域の超高性能定常プラズマを生成し、定常性と運転制御性に優れた原型炉を可能とする理工学の総合的体系化という目標の達成」に向けて、「積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきである」との評価を受けている。

なお、LHD計画はプラズマの高性能化とその学術研究を目的としており、トリチウム（三重水素）を燃料として用いた核燃焼実験は土岐サイトでは実施するものではない。

1.3　安全管理計画と協定書

重水素実験を行うと、使用した重水素ガスの最大でも1万分の1程度と小さな割合ではあるが、重水素同士が核融合反応を起こし、放射性物質であるトリチウムと放射線である中性子を発生する。また、中性子により僅かではあるが放射化物が生成される。そのため、実験を安全に遂行し、これらが環境へ影響を与えないようにするため、法令に基づいて管理区域を設定して適切に放射線管理を行うとともに、排気・排水および敷地境界の線量には研究所管理値を設定するなど、安全管理計画を策定して必要な設備・施設を整備するとともに、安全管理体制を整えなければならない。そして、地域の市民に、重水素実験とその安全管理計画について十分に説明して理解を得るとともに、関係自治体（土岐市、多治見市、瑞浪市および岐阜県）と協定書を結ぶ必要がある。

安全管理計画では、LHDの重水素実験は、前半6年、後半3年の合計9年間を計画し、トリ

表 1.3-1　LHD の重水素実験における年次計画

	前半6年間		後半3年間	
年　度	初年度	第2～6年度	第7～9年度	第10年度以降
事　項	予備的実験 (許認可検査)	プラズマ 高性能化実験	総合性能実験	ポストLHD 計画へ転換
年間トリチウム 最大発生量	370億ﾍﾞｸﾚﾙ(1ｷｭﾘｰ) (各年度積算量)		555億ﾍﾞｸﾚﾙ (1.5ｷｭﾘｰ) (各年度積算量)	---
年間トリチウム 最大放出量	37 億ﾍﾞｸﾚﾙ(0.1ｷｭﾘｰ) (各年度)			---
年間中性子 最大発生量	2.1×10^{19} 個 (各年度積算量)		3.2×10^{19} 個 (各年度積算量)	---

チウムおよび中性子の年間の最大発生数は、前半の6年が各年2.1×10^{19}個、後半3年が各年3.2×10^{19}個としている。なお、トリチウムの発生量を放射能量に換算すると、前半の6年は年間37 GBq(1 Ci)、後半3年は年間55.5 GBq(1.5 Ci)となる。発生したトリチウムは、真空排気装置に接続されたトリチウム除去装置により水素や重水素とともに酸化して、水の形で可能な限り除去・回収する計画である。回収しきれなかったトリチウムは大気中に放出されるが、その研究所管理値は、9年の重水素実験期間を通して、年間3.7 GBq(0.1 Ci)以下としている。表1.3-1に、LHDの重水素実験におけるトリチウムおよび中性子発生量の年次計画を示す。

安全管理計画は、法令の遵守に加えて、

1)発生するトリチウム量をできるだけ少なくする

2)真空容器内に留まるトリチウム量は、全量が放出されても規制値を超えない量とする

3)環境に影響を及ぼす可能性が考えられる放射性物質の生成は、規制値を超えない量とする

4)トリチウム含有水の保管は、漏洩に関して厳重に注意を払う

ことを安全に係わる基本的な考え方として策定している。安全管理計画は、放射線、プラズマ、リスクコミュニケーション、トリチウム、地震等の専門家委員とジャーナリスト、地元有識者で構成された第三者委員会としての重水素実験安全評価委員会でその内容が審議され、平成19年11月に、安全計画は妥当という評価を受けるとともに、第三者による監視委員会の設置などが提言された。その後、平成23年3月の東日本大震災を受けて再検討した安全管理計画が再度審議され、平成24年2月に、再検討された安全管理計画は妥当という評価がなされ、それを確実に実行に移すことが肝要であるとの答申が出された。

一方、重水素実験を地元の合意の下で進めるために、また、自治体としては重水素実験を含めた研究所の行う活動の安全性を市民に担保するために、周辺環境の保全等に関する協定書を関係自治体と締結することが、重水素実験計画を実施するために必要であった。そのためには、重水素実験の安全性に対する地域市民の理解と信頼関係の確立が必須であり、市民説明会をはじめとする広報活動を平成18年より積極的に行ってきた。その結果、重水素実験の安全性に対して地域市民から一定の理解を得ることができ、平成25年3月に、

関係自治体（土岐市、多治見市、瑞浪市および岐阜県）と協定書を締結するとともに、重水素実験開始に対する同意を得た。

協定書の締結と重水素実験開始の同意を受け、安全管理計画に従って、重水素実験の開始に向けた設備、施設等のハードウェアの整備、運転マニュアル、放射線管理マニュアル等のソフトウェアの整備、法令に基づいた申請手続き等を現在進めている。

1.4 評価の観点と留意点

今回の外部評価は、協定書の締結を受けて実施に向けて準備を進めているLHD重水素実験計画について、その研究計画および安全管理計画、ならびにその準備状況に対する評価を、それらの妥当性と達成度の観点から受けるものである。そのため、本報告書では、評価の観点に沿って記述することを基本としている。第2章では、評価の観点[1]の研究計画に一部関連して、重水素実験計画の目的と課題、目標プラズマパラメータとそれに必要な設備整備計画、研究スケージュール、安全実施体制など、重水素実験計画の概要を示す。そして、第3章では、評価の観点[1]の研究計画に沿って、第4章では、評価の観点[2]の重水素実験準備体制に沿って、第5章では、評価の観点[3]の安全管理計画に沿って、そして、第6章では、評価の観点[4]の社会の理解に沿って、それぞれ記述する。

なお、留意点として挙げられた2点のうち、責任者の養成と教育訓練に関しては第5.5節で、放射線安全管理のための組織、緊急時の体制等に関しては第5.4節でそれぞれ記述する。

2. 重水素実験計画の概要

2.1 重水素実験の目的と重点研究課題

大型ヘリカル装置(Large Helical Device: LHD)計画は、我が国独自のアイデアであるヘリオトロン型磁場を用いた世界最大の超伝導ヘリカル装置を建設し、世界に先駆けてヘリカル方式の炉心プラズマのための重要な物理的、工学的研究課題を解明することを目的として、平成元年の核融合科学研究所の設立に合わせて開始した。LHDは、8年に及ぶ建設を予定通り完遂して平成10年に実験を開始し、これまでの16年間に、水素、ヘリウム等を用いた高温プラズマに関する研究を積み上げてきており、9,400万度のイオン温度、5.1%のベータ値、2,300万度のプラズマの48分間の定常維持等、ヘリカル型核融合炉に向けたプラズマの高性能化とその学理の体系化を推進している。

LHD計画の基本理念は、核融合炉に外挿しうる高性能プラズマを実現して、その性質を学術として体系化することにより、ヘリカル型核融合炉の設計を確実なものとすることにあり、同時に、トカマク方式を含めた環状磁場閉じ込めの学理を体系化することにある。そのため、格段のプラズマ性能の向上が期待される重水素を用いた実験は、LHD計画の基本理念の達成に必須であり、また、未解明な課題である閉じ込め改善における同位体効果という学術的課題の解明にも大きく寄与するものである。一方、LHD計画当初には、ヘリカル系における磁場に垂直方向の高エネルギー粒子の閉じ込めに対して懸念があったが、研究の進展に伴い、高エネルギー粒子の閉じ込めが良好な磁場配位が明確になってきた。重水素実験では、よりエネルギーの高い高エネルギーイオンが発生することから、核融合炉を見通した高エネルギー粒子の閉じ込めに関する研究を進めることが可能である。

以上のことより、LHD計画における重水素実験の目的は以下の通りである。

[1] 閉じ込め改善による高性能化を実現して、現状より核融合条件に近いプラズマの研究を遂行し、それにより、新たな研究領域の開拓や実験の多様性を拡大すること。
[2] 閉じ込め物理の質量依存性(同位体効果)に関する研究を行い、重水素・三重水素プラズマによる核燃焼実験を十分な確度で予測できるモデルを構築すること。
[3] ヘリカル系の高エネルギーイオンの閉じこめ性能が核燃焼プラズマを展望できることを示すこと。

これらの目的を達成するために、重水素実験において取り組むべき重点研究課題として、以下の6項目を挙げている。

(1) 閉じ込めの改善と物理
　重水素実験における閉じ込め改善によるプラズマの高性能化、および閉じ込め物理の同位体効果の同定などを含めたトロイダルプラズマの包括的理解
(2) MHD安定性の改善と高 β 領域の拡大
　重水素実験による閉じ込め改善および加熱パワーの増大による高ベータ領域の拡大、および高温無衝突領域でのMHD平衡安定性による β 限界の研究

(3) 高エネルギーイオンの閉じ込め

ICRFにより加速された高エネルギーイオンや、ごく微量発生する14 MeV中性子の高精度測定によるトレーサとしての1 MeVトリトンを利用した閉じこめ性能の研究など、核燃焼プラズマに外挿できる高エネルギーイオンの閉じ込めの研究

(4)ダイバータ最適化

閉構造ダイバータによる粒子・熱制御の研究と定常プラズマの高性能化

(5)プラズマ・壁相互作用

プラズマ・壁相互作用における同位体効果の研究による将来の核燃焼プラズマの粒子挙動の予測

(6) 多様な実験手法の拡大

ICRF加熱実験におけるH-minority/D-majority、および^{3}He-minority/D-majorityによるイオン加熱実験

重点研究課題は、核融合炉条件に近いパラメータ領域で取り組むことが肝要であり、それにより核融合炉へ外挿できるモデルを確立することが可能となる。そのため、重水素実験における目標プラズマパラメータを、LHD計画の最終目標となる以下のように設定する。

1) 密度2×10^{19} m^{-3}における中心イオン温度10 keVの達成
2) 10^{20} m^{-3}・s・keVを超える核融合三重積の達成
3) 磁場1 Tにおけるベータ値5%の達成

以上の重点研究課題および目標プラズマパラメータは、重水素の使用によるプラズマの高性能化を基盤として設定されているが、その遂行に当たり、本体・加熱・計測機器の増強・整備が、安全管理機器の整備とともに必要である。設備整備計画については2.3節で述べるが、ここでは重水素実験において重要な加熱電力の増強シナリオについて示す。

これまでのLHD計画における大きな成果の1つに、良好な閉じ込めとMHD安定性の両立が磁気軸内寄せ配位において実現したことが挙げられる。この磁場配位は、当初懸念されていた高エネルギー粒子の閉じ込めにも効果があり、ICRF加熱実験および垂直NBI加熱実験により確認された。一方、重水素実験における主要な目標プラズマパラメータであるイオン温度1億2,000万度(10 keV)を考慮すると、イオン加熱によるイオンの輸送研究を可能とする加熱増強が必要である。そこで、NBIの重水素ビーム化にあたり、低エネルギー垂直NBIを主体として増強し、同時に、ICRFによるD(H)およびD(^{3}He)加熱も用いたイオン加熱を中心とした整備を計画した。以上のことより、重水素実験へ向けた加熱電力の増強は、垂直NBIの増設・増強を主として行い、入射エネルギー60-80 keV、入射電力18 MWの重水素垂直NBIを整備する。一方、接線NBIは、現状の入射エネルギー180 keVを変えずに重水素化する。これにより、高密度プラズマの中心加熱は制限されるが、Two-energy-component torus(TCT)効果の抑制に効果があるとともに、2×10^{19} m^{-3}以下の低密度における加熱効率の向上とイオン加熱比率の向上が期待される。なお、高密度プラズマ実験は、現状と同じように水

素ビームを使用することにより可能である。

以上のNBI加熱電力増強計画に基づき、重水素実験で予想されるプラズマ性能について、次節で報告する。

2.2 目標プラズマ性能

2.2.1 予想プラズマパラメータ

2.3.2及び3.1.1節に記されているように、重水素実験では、重水素ビームによるNBI加熱が計画され、バルクのイオン加熱効率の増加により、従来の閉じ込め性能の延長上で、9 keVを超える高イオン温度プラズマの生成が可能と予想されている。さらに、期待される同位体効果を活用することにより、LHDの目標パラメータである10 keVを達成できるものと見込まれている。

同位体効果を考慮に入れた重水素プラズマの閉じ込め性能の理解と適切な理論・モデルの構築そのものが重水素実験での大きな研究課題となっているが、重水素実験での到達パラメータ予測を行うために、ステラレーターヘリオトロンプラズマにおけるエネルギー閉じ込め時間のスケーリングとしてISS95 [2.2.1-1]の1.5～2倍を仮定して評価がなされている[2.2.1-2]。そこに記されている主な予想パラメータを再掲(加熱条件などは文献 [2.2.1-2]を参照)すると、密度2×10^{19} m^{-3}において中心温度10.3 keVとなり目標パラメータ10 keVを実現できること、また、密度1×10^{19} m^{-3}において蓄積エネルギー3.8 MJとなり、体積平均温度で2 keVを超えるような高温プラズマで3%を超えるβ値(3 Tにおいて)を実現できることが示されている。

次節に記載する中性子発生量の評価に関しては、広いパラメータ領域における中性子発生量の系統的変化を把握することを目的として、上記と同様にエネルギー閉じ込め時間のスケーリングとしてISS95 [2.2.1-1]の1.5～2倍を仮定している。また、イオン温度と電子温度が等しく、密度分布は$(1-\rho^8)^2$を、温度分布は$(1-\rho^2)^2$という条件が仮定されている。ここでρは規格化小半径である。

近年LHD実験輸送解析に広く用いられてきているTASK3D-a [2.2.1-3]に、中性子発生量評価ルーチンを組み込み、加熱パターン、密度・温度分布の変化に追随して、放電全時間にわたる中性子発生量の評価を簡便かつ迅速に行えるようにする作業が進んでいる。また、実験前に、当該放電からの中性子発生量を事前に予測するためのツール開発も、TASK3D-pに当該ルーチンを組み込むことで整備が進んでいる。TASK3D-pは予測型統合輸送コードであり、重水素プラズマに適した熱輸送係数が必要となる。3.1.6節に記載されているように、同位体効果に関しては閉じ込め時間のスケーリングの観点からは認識されているが、分布まで含めた輸送モデルとしては確立されていないのが実情である。一方策として、複数のLHD高イオン温度放電の多数タイミングに対してTASK3D-aで求められたイオン熱輸送係数を統計回帰処理することによって、その分布まで含めて一定の誤差範囲で再現することができる簡便な回帰式を導出し、それを利用するという試みも行われている。この手法も含めて、到達温度などのパラメータ予測精度を上げていくための取り組みが急務である。

[2.2.1-1] U. Stroth, et al., Nucl. Fusion **36** (1996) 1063.
[2.2.1-2] 大型ヘリカル装置における重水素実験計画(平成20年4月)
[2.2.1-3] M. Yokoyama, et al., Plasmas Fusion Res. **8** (2013) 2403016.

2.2.2　中性子発生率

重水素プラズマにおいては下記に示すDD反応が起こり、ほぼ同量の中性子と三重水素（トリチウム）が生成される。

$$D + D \rightarrow n\ (2.45\ MeV) + {}^{3}He\ (0.82\ MeV) \quad ---(2.2.2\text{-}1)$$
$$D + D \rightarrow p\ (3.02\ MeV) + T\ (1.01\ MeV) \quad ---(2.2.2\text{-}2)$$

重水素プラズマから発生する中性子の大部分は、(2.2.2-1)式に示される反応によって発生するDD中性子である。また、(2.2.2-2)に示されるDD反応の結果、トリチウムが少量ではあるが生成し、プラズマ中の重水素と下記に示すDT反応を起こして中性子を発生する。

$$D + T \rightarrow n\ (14.03\ MeV) + {}^{3}He\ (3.56\ MeV) \quad ---(2.2.2\text{-}3)$$

図2.2.2-1に示される様にDD反応は粒子の運動エネルギーが高くなるほど断面積が大きくなる。よって、DD中性子の発生量は高エネルギー重水素イオンが多く発生する大電力NBI加熱によるプラズマで顕著になる。また、プラズマ中のイオンが加熱され、比較的高いイオン温度が期待されるICH加熱においても中性子が発生する。次節（2.2.2.1~2.2.2.2節）において詳述するNBI並びにICH加熱シナリオで予想される1放電あたりの中性子発生量について、表2.2.2-1に纏める。

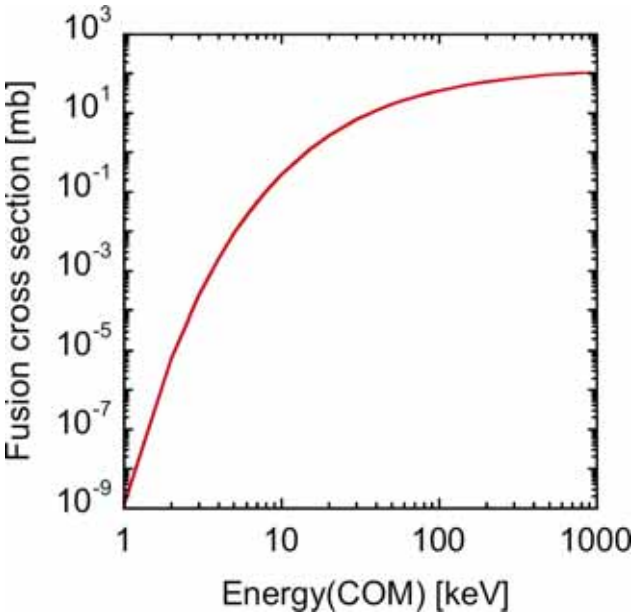


図 2.2.2-1　D(d,n)反応の断面積［2.2.2-1］
（横軸は重心系における運動エネルギー）

表2.2.2-1 中性子発生量の予測結果

Operation regime	Discharge duration (s)	Neutron yield	Tritium yield
Discharge with maximum neutrons production rate NBI 80 keV, 18 MW 180 keV, 14 MW etc.	3	5.7×10^{16}	0.10 GBq (2.7×10^{-3} Ci)
Discharge with average neutrons production rate NBI 80 keV, 10.8 MW 180 keV, 8.4 MW etc.	3	9.8×10^{15}	0.017 GBq (4.7×10^{-4} Ci)
ICRF steady-state	3,600	1.0×10^{17}	0.17 GBq (4.6×10^{-3} Ci)

[2.2.2-1] H.S. Bosch and G.M. Hale, Nuclear Fusion **32** (1992) 611.

2.2.2.1 NBI加熱

○最大中性子発生率放電

中性子が最も多く発生する条件は、NBI を中心とした加熱能力が最大となる以下に示す場合に得られると考えられる。

- 磁場強度: 3 T
- NBI 加熱: 180 keV: 14 MW(重水素) (ポート通過パワー)
  80 keV : 18 MW(重水素) (ポート通過パワー)

中性粒子ビームの突き抜け損失を考慮し、軌道損失は垂直の場合 18%、接線の場合はないものとする。また、以下に示す ICH 及び ECH による加熱条件とプラズマパラメータに関する仮定をする。

- ICH 加熱と ECH 加熱 : 合わせて 3 MW
- 閉じ込め時間 : ISS95 則の 2 倍
- 電子とイオンの温度は等しいとする。
- 密度は平坦な分布$(1-\rho^8)^2$、温度はパラボラ分布$(1-\rho^2)^2$、NBI 加熱吸収分布は$1-\rho^2$とする。
- 高エネルギーイオンの速度分布関数は等方的なフォッカープランク(FP)解析解$(1/(v^3+v_c^3))$を用いる [2.2.2.1-1]。

これらの仮定を元にしたプラズマパラメータと中性子発生率の計算結果を図 2.2.2.1-1 に示す。

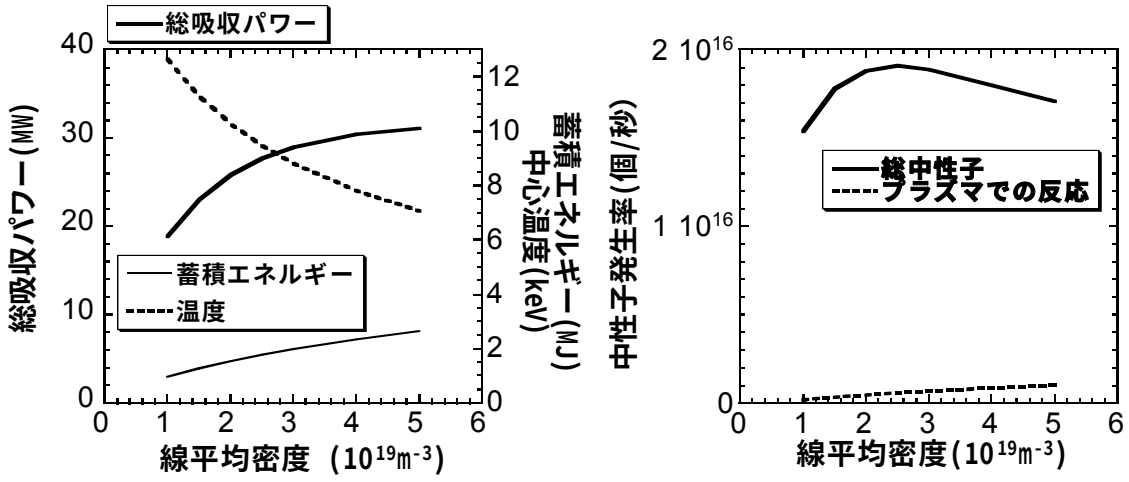


図 2.2.2.1-1 最大加熱条件時の線平均密度に対する総吸収加熱パワーとその時のプラズマパラメータ(左図)、及び中性子発生率(右図)

図 2.2.2.1-1(右図)に示されるように最大中性子発生率は密度が 2.5×10^{19} m^{-3} で見られる。これらの結果より、最大中性子発生率が想定される運転条件は前述した加熱条件に加えて、下記のようになる。

- 線平均密度 2.5×10^{19} m^{-3}
- 総加熱吸収パワー 27.7 MW

・ 中心温度 9.46 keV
・ 蓄積エネルギー 1.77 MJ
・ 中性子発生率 1.91×10^{16} 個/秒
（このうち熱中性子反応は 5.98×10^{14} 個/秒）

となる。また、3 秒間の放電1回で生じる中性子発生量は 5.7×10^{16} 個、トリチウム量は 0.10 GBq (2.7×10^{-3} Ci) となる。

○標準放電

最大中性子発生率放電において想定している条件は加熱入力が最適化された理想的な状態であり、平均的に見て、この 6 割程度の加熱入力が多くの実験に供せられると考えられる。180 keV 接線入射については、1 機のみを重水素運転とする。すなわち、入射加熱パワーとして、80 keV 垂直入射 10.8 MW、180 keV 接線入射は軽水素ビームが 5.4 MW、重水素ビームが 3 MW とする。さらに、ICH、ECH については、複数の加熱を組み合わせる複合加熱にも特殊な有効条件と研究開発要素があるため、ここでは用いないものとする。更に、磁場配位の閉じ込め特性などを調べるために配位を変化させるので、様々な閉じ込め改善度が存在しうる。ここでは、平均的にはISS95 則に対する改善度は 1.5 を仮定し、磁場は 3 T とする。密度を変化させた時のプラズマパラメータと中性子発生率の計算結果を図 2.2.2.1-2 に示す。

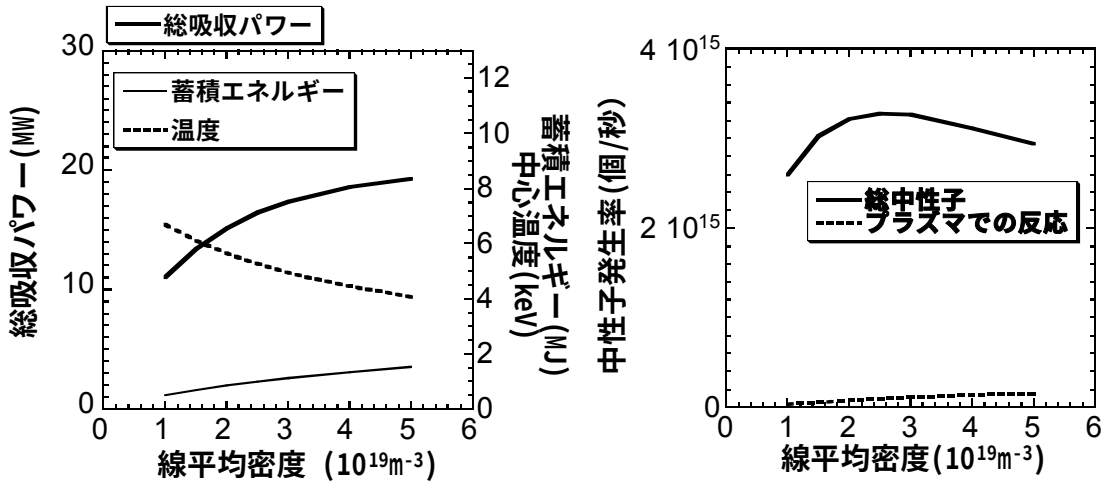


図 2.2.2.1-2 標準放電時の線平均密度に対する総吸収加熱パワーとその時のプラズマパラメータ(左図)および中性子発生率(右図)

これらの条件では、中性子発生率は密度に対する依存性は比較的に小さい。この場合の最大値は前述した最大中性子発生を想定した条件と同じく 2.5×10^{19} m^{-3} の密度で生じ、中性子発生率は最大中性子発生を想定した時の 6 分の 1 程度となる。

・ 線平均密度 2.5×10^{19} m^{-3}
・ 総加熱吸収パワー 13.5 MW
・ 中心温度 5.28 keV

・　蓄積エネルギー　　0.99 MJ

・　中性子発生率3.28×10^{15} 個/秒　（このうち熱中性子反応は 9.69×10^{13} 個/秒）

また、3 秒間の放電1回で発生する中性子の総量は 9.8×10^{15} 個であり、生じるトリチウム量は 0.017 GBq (4.7×10^{-4} Ci) となる。

○DT/DD 中性子発生比

LHD 重水素実験においては、トリチウムを外部から導入するような実験は行わないが、前述したように、(2.2.2-2)式に示す DD 反応によりトリチウムが発生する。ここで発生した少量のトリチウムがプラズマ中の重水素と反応して DT 中性子を発生するので、DT 中性子の発生量についても評価する。2 つの DD 反応の分配比は、ほぼ 1 対 1 であるので、トリチウムの発生分布は DD 中性子の発生分布を基に評価する。トリチウムの速度分布関数については、DD 中性子の発生量の評価と同様にして、FP 解析解を用いて評価する。このようにして求めたトリチウムの空間ならびに速度分布関数を基に、プラズマ中の重水素イオンと反応して出来る DT 中性子の発生量を評価した。このようにして求めた LHD プラズマで発生する DD 中性子と DT 中性子の発生率及び発生率比の一例を図 2.2.2.1-3 に示す。図 2.2.2.1-3 右図からも分かるように、DD 中性子と DT 中性子の発生率比はプラズマパラメータに対して鈍感で、DT 中性子の発生率は DD 中性子の発生率の 1.8-2%程度である。

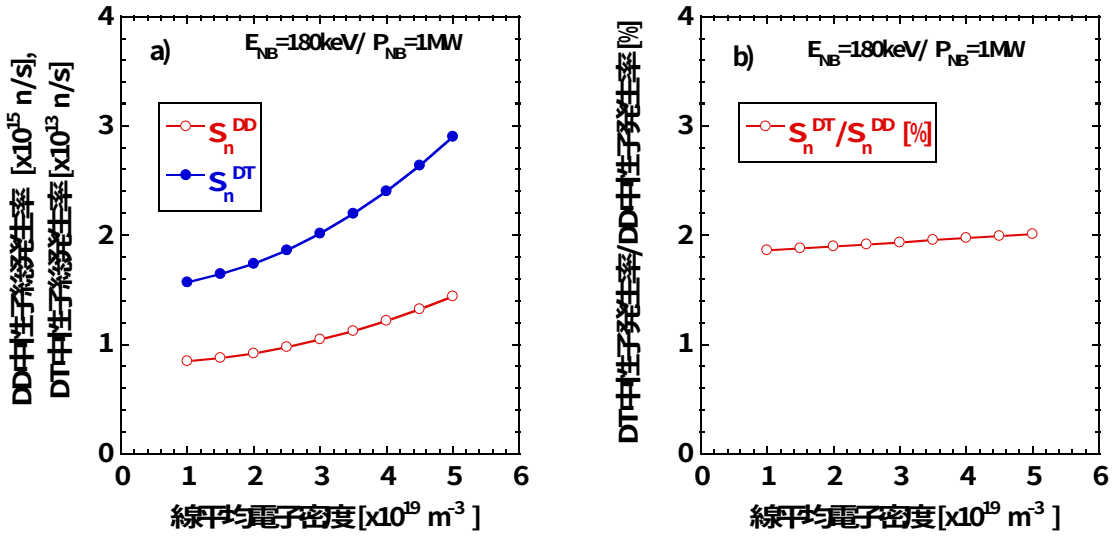


図 2.2.2.1-3　LHD プラズマの電子及びイオン温度を 5 keV、中性粒子ビームのエネルギーを 180 keV、及び加熱電力を 1 MW とした時の(左)DD 中性子及び DT 中性子の総発生率、並びに(右)DT 中性子と DD 中性子の発生率比の線平均密度依存性

[2.2.2.1-1] J.A. Rome, et al., Nucl. Fusion **16** (1976) 55.

2.2.2.2 ICRFによる定常加熱

水素マイノリティの標準的なICRF加熱実験では、重水素はバルクプラズマであって高エネルギーに加速されないと考えられるため、バルクプラズマでのDD反応を考慮すればよいと考えられる。しかしながら、加熱モードによっては高エネルギーの重水素が発生することは否定できないため、特に放電時間を10秒までに限った条件から研究を進め、加熱機構を明らかにしつつ、全体計画に支障をきたさない範囲で長時間化を図る。想定される長時間放電として、3 MWでの1時間放電($\langle n_e \rangle = 5\times10^{19}$ m^{-3}, $T_e = T_i = 2.7$ keV)について、バルクプラズマ中でのDD熱核融合反応を考えると中性子発生率は2.9×10^{13} 個/秒であり、1時間で、1.0×10^{17} 個となる。LHDの重水素実験については、全ての放電に対して1放電あたりの中性子発生量が最大中性子発生率放電における中性子発生量(5.7×10^{16} 個)を超えない様にすることを目安としているので、長時間ICRF運転を実行するにあたっては中性子発生量を実時間でモニターし、発生量の総量で制限を掛ける。ICRFによる重水素放電は、中性子発生量がイオン温度に敏感な領域で行うので、ICRF保持放電における中性子発生量の実験データの蓄積を充分に行う必要がある。

2.3 設備整備計画

2.3.1 本体

2.3.1.1 真空容器内機器

LHDでは、重水素実験における加熱パワーの増強、効果的な中性粒子制御を目指した真空容器内機器の高性能化を図った。また、真空容器内機器の温度監視を行う熱電対の制御盤を中性子の影響の少ない位置に移動し、実験時の動作及び精度の信頼性を高める対策を行った。

新設された垂直入射中性粒子入射加熱装置(NBI)によるプラズマ加熱では、高パワー加熱ビームの一部がプラズマに吸収されずに透過し、対向する真空容器壁に高い熱負荷を与える。そのために、ビームによる高熱負荷から真空容器表面を保護する「対向壁」を設置した。これはビームの照射面を、優れた熱伝導特性を有する炭素繊維複合材とモリブデンの“タイル”で覆うものである。対向壁は、真空容器保護板部、ダイバータ部で構成される。図2.3.1.1-1に真空容器保護板部の改造個所を示す。

中性粒子の制御を通じてプラズマの高性能化を目指す「閉ダイバータ」の設置も行った。磁場で閉じ込められたプラズマは、唯一、ダイバータと呼ばれる領域を介して固体表面と接している。主プラズマから漏れ出た高温プラズマは、ダイバータレッグを通ってその温度を低下させ、等方性黒鉛のターゲット板(ダイバータ板)表面で中性化し、気体分子となってプラズマ周辺部に拡散する。閉ダイバータは、粒子の拡散をバッフルで制限し、内蔵ポンプで効率よく排気する装置である。図2.3.1.1-2にダイバータの断面図、図2.3.1.1-3にトーラス内側に設置された閉ダイバータの写真を示す。プラズマ(ダイバータレッグ)が接触する等方性黒鉛のタイルは、表面で中性化し反射する粒子

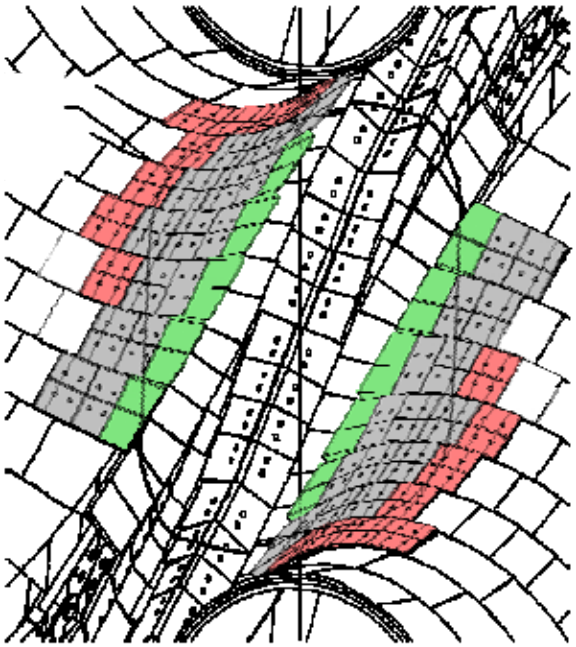


図 2.3.1.1-1 ビーム対向壁として改造した真空容器保護板。この他にもダイバータ部の改造も行った。

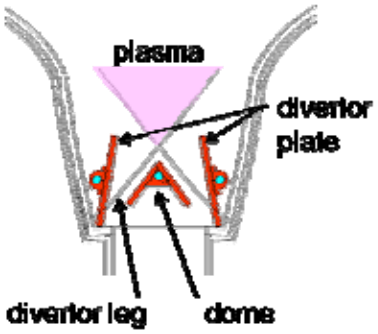


図 2.3.1.1-2 閉ダイバータの断面図

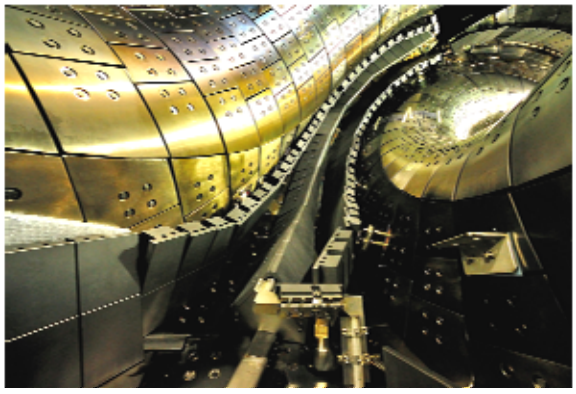


図 2.3.1.1-3 トーラス内側に設置された閉ダイバータ

ができるだけプラズマに入らないような角度を持っており、中央部のドームとともに閉構造を形成している。ドームの内側にはクライオポンプが設置され、閉構造部に圧縮された中性粒子を排気する。LHDのダイバータ粒子束は、トーラス内側に集中することがこれまでの研究で分かっているため、閉ダイバータは不連続なモジュール構造とした。現在までに、ドーム構造は10セクション中、9モジュールの設置が完了した。クライオポンプについては、順次取付中である。

2.3.1.2 ガスパフ装置

重水素実験に向け、平成26年度にガスパフ装置の改造を行った。旧装置では少数のピエゾバルブ及びマスフローコントローラで多様なガスを使用するため、実験中にガス交換を行っていたが、重水素実験開始後は実験中のガス交換作業をなくすため、今回の改造ではバルブの数を増やし、使用するガスをバルブ毎に固定することとした。ピエゾバルブ等を備えたマニホールドは、重水素実験時の中性子照射量を減らす目的で、ポート直下から外側に向けて数m移動した。また、ヘリウム、ネオン、窒素、アルゴンの高圧ガスを安定に供給するため、それぞれ専用の昇圧機を新たに整備した。

ガス入射ポートは3.5L、5.5L、及び9.5Lの3箇所であり、基本的に各ポートから水素、重水素、ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、及びその他のガスを入射できる（図2.3.1.2-1参照）。ガス入射には、ピエゾバルブ、マスフローコントローラ、及びソレノイドバルブを用いる。各ピエゾバルブには流量計（マスフローメータ）が装備されており、1秒程度の時定数で流量を実時間計測可能である。

超伝導コイルがクエンチした際にプラズマの発生を抑制するため、真空容器内に多量のガスを導入する緊急ガスパフ用として大流量ピエゾバルブを計4台、専用で備えている。

3.5Lポートと9.5Lポートには、それぞれ最大3,000 sccm （約5 Pa·m^3/s）及び最大300 sccm（約 0.5 Pa·m^3/s）のマスフローコントローラが、水素、重水素、ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴンの専用系統として6台ずつ、計12台配置されている。

3.5Lポートには超音速ガスパフ（SuperSonic Gas Puff, SSGP）装置も備えられている。高速応答ソレノイドバルブと全長2.4 mの長尺ラバールノズルを組み合わせ、プラズマ直近からの1,000 Pa·m^3/s台の大流量ガス入射を可能としている。入射ガスは水素、重水素、ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴンの6種から選択する。

ピエゾバルブ、マスフローコントローラ、及びSSGPのいずれについても、従来通り、密度信号等を用いたフィードバック制御が可能である。

今回の改造では、中性粒子ビーム入射装置（NBI）や、ガスパフ同様、プラズマへの粒子供給を行うペレット入射装置等にガスを供給するためのガスユーティリティも拡充した。AからDまでの各ステージに取り合いが設けられており、水素、重水素（実ガスは平成28年度より導入予定）、ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、及びその他のガス（クリプトンやキセノン等）を低圧（0.1 MPaG（ゲージ圧=絶対圧-1 atm））で、更に水素、重水素（実ガスは平成28年度より導入予定）、ヘリウム、窒素、ネオン、及びアルゴンについては高圧（最大8 MPaG）でも供給可能である。重水素の供給により、今後は従来の軽水素ペレットに加え重水素ペレットの

入射も可能となる。ペレットの速度は射出ガス（ヘリウム）の音速に大きく依存するため、重水素ペレットの場合でも質量増加に伴う速度減少の割合はほとんど無視できる程度である。本体室地下2階では、NBIに水素、重水素（実ガスは平成28年度より導入予定）、及びアルゴンを0.4 MPaGで供給している。

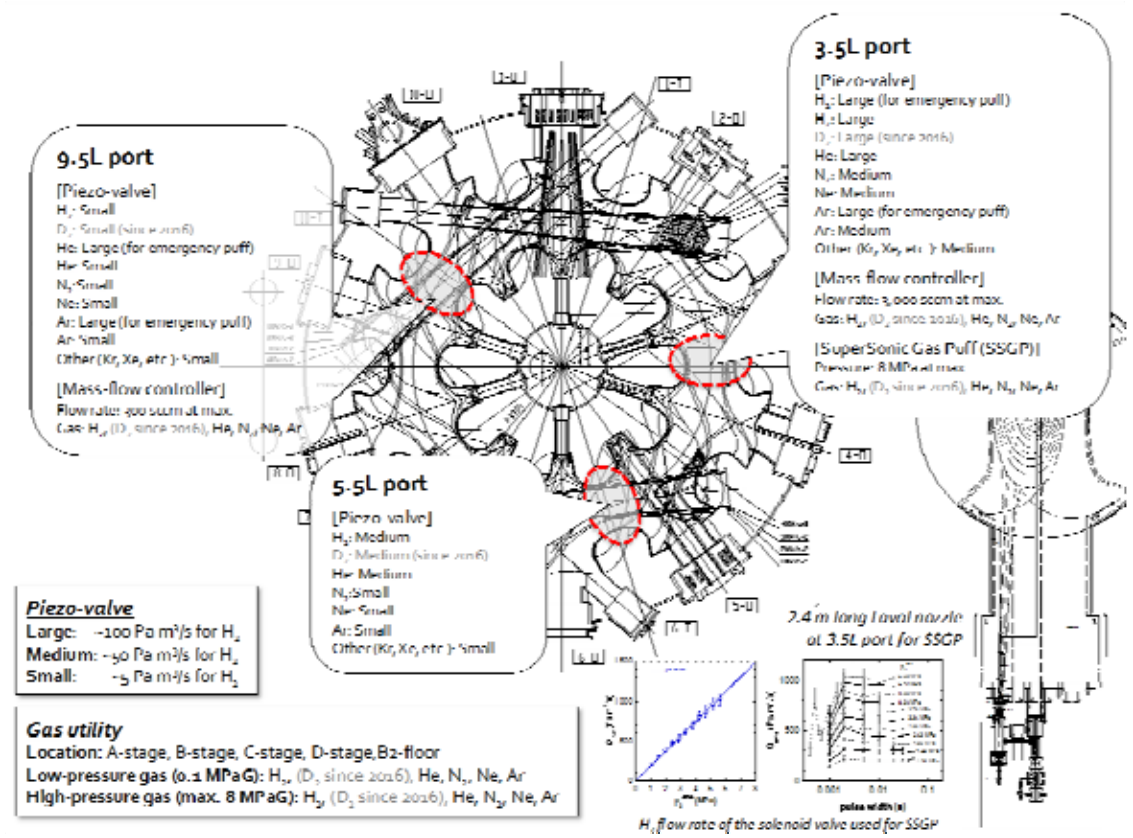


図 2.3.1.2-1　ガスパフ装置配置図

2.3.1.3　真空排気装置

LHD本体の真空排気装置は、プラズマ真空容器を排気するための「真空容器系排気装置」、断熱真空容器を真空排気するための「断熱真空容器系排気装置」、計測機器の補助排気をするための「中間ステージ共通排気装置」、各真空ポンプから排気塔までを接続する「室外排気配管」で構成される。重水素実験を行うに当たって以下に述べる整備を行ってきた。

まず、真空容器系排気装置と断熱真空容器系排気装置を独立した別系統とした。これは真空容器から排出されるトリチウムが断熱真空容器へ流入することを防ぐために行われたものである。従前は粗引きポンプを共有していたが、それぞれ専用の粗引きポンプを用意し配管を敷設して別系統とした。また同様にポンプから排気塔までの室外排気配管も別配管とし、室外排気配管側からトリチウムが流入する可能性を排除した。

次に油回転ポンプをドライポンプに更新した。放射化された油回転ポンプのオイルは放射

性廃棄物となるため、オイルを使用しないドライポンプへの更新は放射性廃棄物の減量に繋がる。平成27年度にはドライポンプに完全更新する予定で、年間約200 L発生していた油回転ポンプの廃油がなくなる計画である。

以上に加え、2基のトリチウム除去装置に接続する実験ガス系排気配管とパージ空気系排気配管と呼ばれる2系統の室外排気配管を新たに敷設した。

2.3.1.4 冷却水供給システム

重水素実験で LHD 本体および周辺機器が使用する冷却水は、放射線管理区域内のみで循環するシステムとした(閉ループ)。放射線管理区域内で循環する全ての冷却水は，放射線管理区域外に設置されたクーリングタワーから供給される冷却水と、熱交換器を介して接するが、決して混合しない設計となっている(図 2.3.1.4-1)。

冷却水の純化システム(フィルター及びイオン交換樹脂)は、従前のシステムでは本体室地下(放射化区域)に設置してあったが、放射性廃棄物減量の観点から、平成 25 年度に非放射化区域である冷却水設備室(1)及び加熱トレンチに移設した。

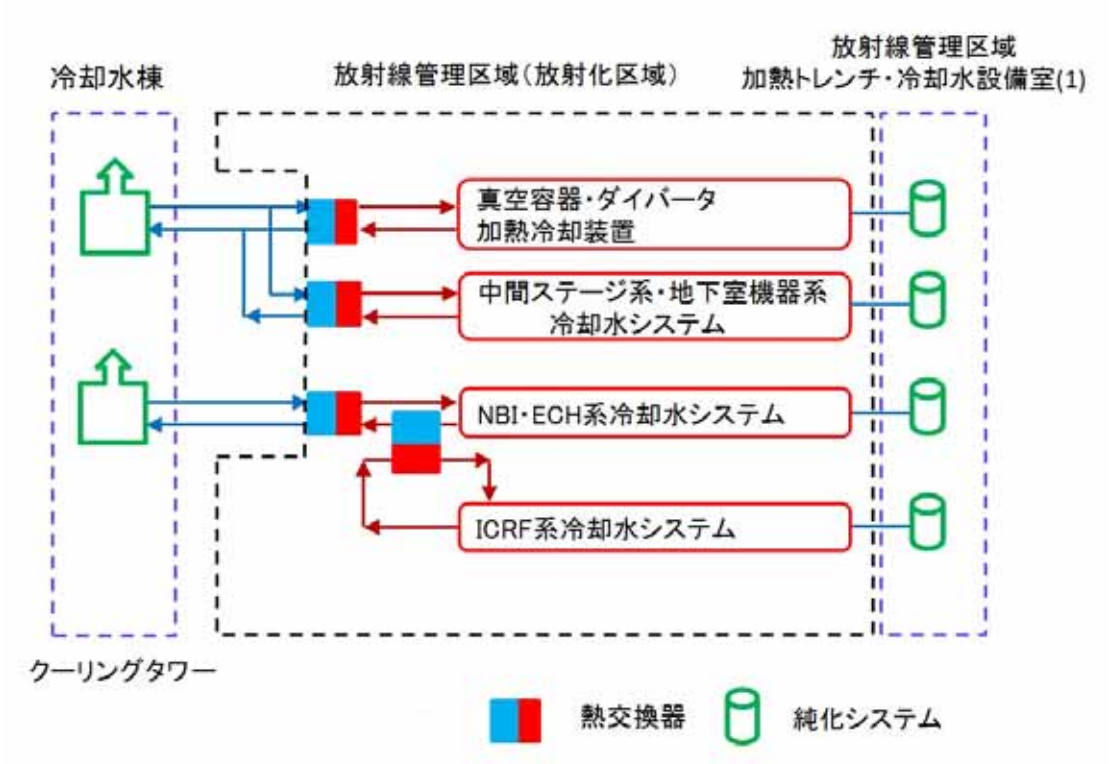


図 2.3.1.4-1 冷却水供給システム

2.3.2 加熱機器

2.3.2.1 中性粒子ビーム入射(Neutral Beam Injector : NBI)装置

LHDには負イオン源を用いた3台の高エネルギー接線NBI(tangential-NBI:t-NBI)と正イオン源を用いた2台の垂直NBI(perpendicular-NBI:p-NBI)が設置されている(図2.3.2.1-1)。現在は、どちらも軽水素ビームを用いて入射しており、入射エネルギー及び入射電力は1台あたり、t-NBIが180 keV/5 MWであり、p-NBIが40 keV/6 MWである。重水素化するにあたって、負イオン源NBIについては電源等の増強を行わずに、入射エネルギー及び電力ともに現状維持を目指す。しかしながら、後述する重水素化に伴うビーム光学系の変化によって、重水素実験開始当初は入射電力が軽水素時の70%程度に落ち込むことが予想される。正イオン源NBIについては、2台のうち1台は60 keVで入射し、もう1台は80 keVで入射する。入射電力は、2台とも9 MWを予定している。

NBIで使用するガス種を軽水素から重水素に変更するに当たって留意すべき点は、①中性化効率の変化、及び②ビーム光学系の変化である。また、負イオン源に対しては、負イオン生成・引出のメカニズムについて未解明な点があるので、③負イオン生成効率の変化が懸念される。

軽水素から重水素に変更する際の中性化効率については、Berknerら [2.3.2.1-1]の評価をもとに考えると、エネルギーを変化させない負イオン源NBIはほぼ変化しない。正イオン源NBIについては、入射エネルギーを40 keVから80 keVに増加させる場合は1核子あたりのエネルギーが変化しない為、中性化効率は変化しない。40 keVから60 keVに増加させる場合は1核子あたりのエネルギーとしては40 keVから30 keVとなり、中性化効率は60%から70%程度に増加する。

ビーム発散角を最小にするビーム引出の最適条件はチャイルド-ラングミュア則に従い、その最適条件は空間電荷制限電流(J_{si})で規格化したビーム電流密度(J/J_{si})に依存する。ここで空間電荷制限流で規格化したビーム電流をパービアンス(Perv.)と呼び、それは次式の様に

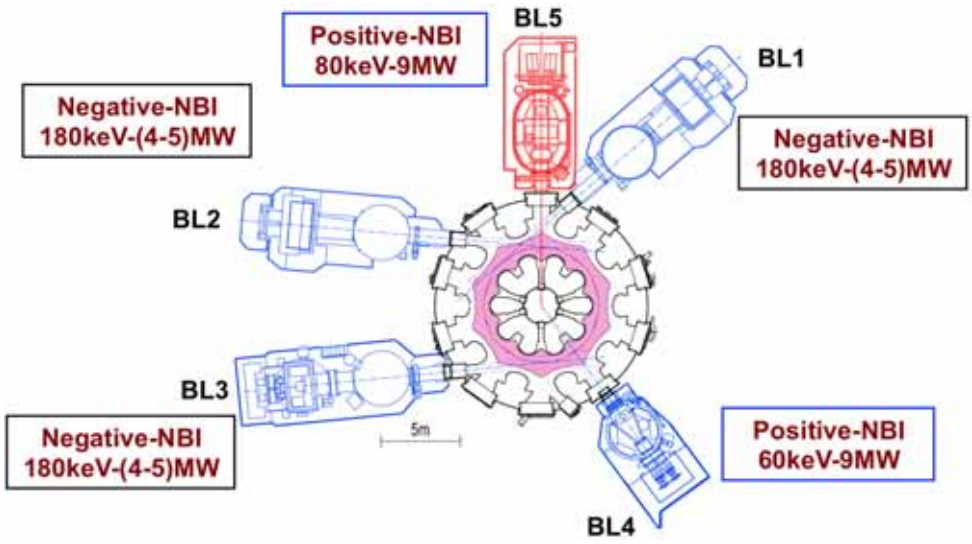


図 2.3.2.1-1 LHD における NBI の配置図

示される。

$$\mathrm{Perv.} \equiv J/J_{sl} = J\Big/\left(\frac{4\varepsilon_0}{9}\sqrt{\frac{2Ze}{m_i}}\frac{V^{3/2}}{d_s^{\,2}}\right) \propto \left(\frac{J m_i^{0.5} d_s^{\,2}}{V^{1.5}}\right) \qquad \text{---(2.3.2.1-1)}$$

この式からもわかるように、ビームの加速電圧(V)、イオン源の電極間ギャップ距離(d_s)を変更せずに、パービアンス一定のビーム引出最適条件の下、重水素ビームを引き出すと、ビーム電流は軽水素引出時の約0.7倍となる。

負イオン源NBIについては、負イオンの生成・引出のメカニズムが前述したとおりに不明な点があるので、当面は電極構造などには変更を加えず、現状のままとする。重水素実験開始後に得られる重水素ビーム引出の知見を基に、イオン源の最適化を進める予定である。このため、重水素実験開始当初は、入射電力は30%の減少が見込まれ、1台あたり3.5 MW程度となることが予想される。

一方、正イオン源を使用したNBIについては、軽水素入射時には、加速電圧40 kVでビーム電流が1イオン源あたり75 A近傍のパービアンス値0.296 [A/kV$^{1.5}$]を、電極ギャップ幅約5 mmにて達成している。これを重水素入射時には、80 kV/57 A及び、60 kV/75 A程度を達成する必要がある(パービアンス値としては、それぞれ0.112 [A/kV$^{1.5}$], 0.228 [A/kV$^{1.5}$]に対応)。イオン源の耐圧を考慮すると、加速電圧を増加させるには、電極間の電界を一定にする必要がある。現在は、イオン源電極間ギャップ距離5 mmに対して、加速電圧40 kV及び減速電圧3 kVが印加されている。よって、80 kV及び60 kVで運転するには、ギャップ距離をそれぞれ9.6 mm及び7.3 mm以上にする必要があり、この条件で前述したパービアンス値を達成する必要がある。(2.3.2.1-1)式において、パービアンスのギャップ距離依存性が示されているが、この式は電極の厚さを無視した表式であり、実際には電極の有限厚さを考慮する必要がある。このため、最適パービアンスのギャップ距離依存性については、実験的に評価する必要がある。

図2.3.2.1-2にNBIテストスタンドにおいて調べた最適パービアンスのギャップ距離依存性を示す。実験では、テストスタンドの電源の制約からビーム引出領域を半分に制限した為、得られた最適パービアンス値も半分になっている(参考の為に図2.3.2.1-2の右側の縦軸にフルサイズに相当する値を示す)。図からもわかるように、80 kV時のギャップ距離に対応する9.6 mmにおいて最適パービアンス値0.148 [A/kV$^{1.5}$]を達成し、目標とする0.112 [A/kV$^{1.5}$]を満たす。60 kV時のギャップ距離においては、最適パービアンス値0.2 [A/kV$^{1.5}$]程度となり、若干不足する。しかしながら、中性化効率の増分を考慮すると目標とする最適パービアンス値は、

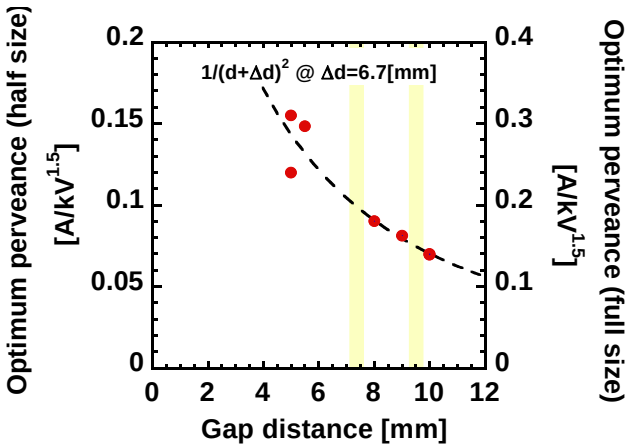


図 2.3.2.1-2 LHD-NBI 正イオン源の最適パービアンスのギャップ距離依存性

0.195(=0.228×60%/70%)となり、正イオン源NBIは目標とする入射電力9 MWを満たすことが示された。

[2.3.2.1-1] K. H. Berkner et al., Nucl. Fusion **15** (1975) 249.

2.3.2.2 電子サイクロトロン共鳴波加熱(Electron Cyclotron Heating : ECH)装置

ECH装置は、LHDの電子サイクロトロン周波数帯の周波数を持つEC波を出力する大電力発振管(ジャイロトロン)、EC波をLHDまで伝送するための導波管伝送路、EC波をビームとしてプラズマ中の加熱位置に向けて入射するための入射アンテナ、およびジャイロトロン運転やECH装置各機器の制御に必要な電源・制御装置などから成る(図2.3.2.2-1)。

2014年度における装置の状況は、

- ジャイロトロン: 1 MW以上の発振出力の77 GHz管3本と154 GHz管2本、0.45 MW出力の82.7 GHz管1本、0.2 MW出力の84 GHz定常管が1本の計7本
- 導波管伝送路: 内径88.9 mmの真空引き伝送路が5系統(77及び154 GHz用)、内径88.9 mmの大気伝送路が1系統(82.7 GHz用)、内径31.75 mmの真空引き伝送路が1系統(84 GHz用)の計7系統
- 入射アンテナ: 5.5-Uポートにミラー2セット(77及び82.7 GHz用)、2-Oポートにミラー4セット(77及び154 GHz用各2セット)、1.5-Lポートにミラー1セットと導波管アンテナ1セット(ともに84 GHz用)の計8セット

である。

今後更にもう1組の1 MW大電力ジャイロトロン、真空引き導波管、入射ミラーアンテナを準備する計画がある。

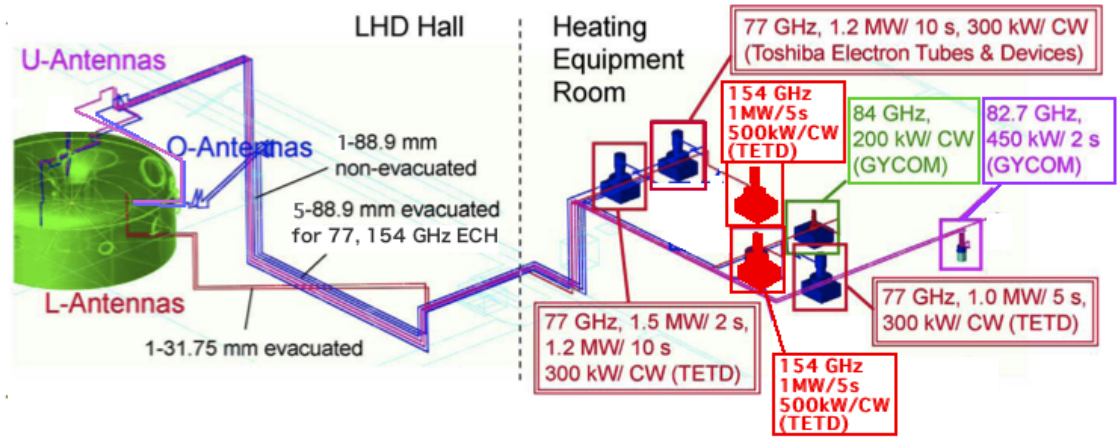


図 2.3.2.2-1 ECH システムの概要

2.3.2.3 イオンサイクロトロン周波数帯加熱(Ion Cyclotron Range of Frequency : ICRF)装置

ICRF加熱装置は、LHDのイオンサイクロトロン周波数帯(25~100 MHz)の高周波によりプ

ラズマの加熱等を行うための装置であり、大電力高周波を発生させる発振器、高周波を発振器からLHDまで伝送する同軸管伝送路、LHDの真空容器内に設置されプラズマへ高周波を入射するためのアンテナ等から成る。実験の進展等に伴い装置の配備状況は異なるが、平成26年度における装置の状況は以下の通りである。

- 発振器: パルス出力で1 MW以上、定常出力で0.5 MW以上の発振が可能である大電力定常発振器6台が同時運転可能である。
- 同軸管伝送路: 大電力定常伝送用の同軸管伝送路6系統及び大電力定常用に開発された液体スタブインピーダンス整合器6台を設置。
- 入射アンテナ: 3.5U/Lポートにトロイダル方向に2つ並んだHAS(HAsu-Seigyo)アンテナ、4.5U/Lポートにポロイダル方向に2つ並んだFAIT(Field-Aligned Impedance-Transforming)アンテナ、7.5U/Lポートにポロイダル方向に2つ並んだPA(Poloidal Array)アンテナの合計6本のアンテナがある(図2.3.2.3-1)。

周波数は、変更時の労力や安全性を考慮し、今後は38.5 MHzに固定する予定である。この周波数では、LHDの標準的な配位である磁気軸3.6 m、磁場強度2.75 Tのプラズマに対して最も有効な加熱が可能である。

今後、最も古い7.5U/LポートのPAアンテナを撤去予定であるが、実験の進展に伴い、発振器出力の合成あるいは新規アンテナの導入により、入射電力を維持する予定である。

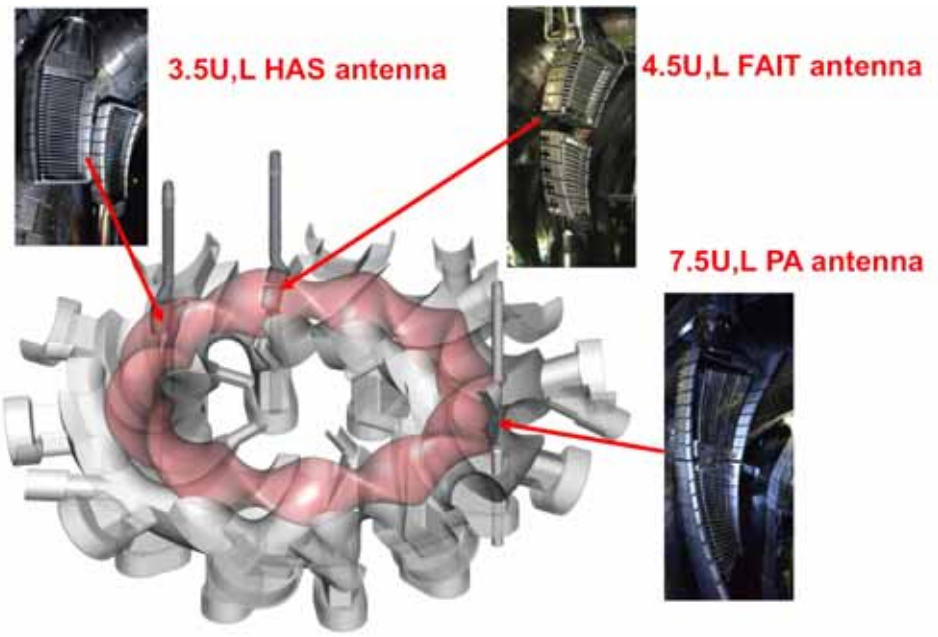


図 2.3.2.3-1 LHD における ICRF アンテナの配置(平成 26 年度)

2.3.3 計測機器

大型ヘリカル装置(LHD)の計測計画では、トムソン散乱計測や遠赤外線レーザー計測等の基幹計測機器については、LHD実験計画の後半において重水素実験を実施するにあたり、計測システムを大幅に変更することなく対応できるように計画の当初から配慮してきた。LHDにおける重水素実験計画を進めるにあたり、中性子フラックスモニタ等、年間中性子総発生量が設定されるLHDの運転において今後必須となる計測機器の整備に加え、近年、水素フェーズにおける閉じ込め物理の理解の進展から実際に重水素実験時に求められる新たな計測機器の議論が進んでおり、LHDプラズマの更なる高性能化に向けて必要となる計測機器を整備する計画である。新たに整備を計画している計測機器を表2.3.3-1に纏める。

表2.3.3-1 LHD重水素実験において必要な計測機器とその概要

節	計測機器名	概要
2.3.3.1	中性子・ガンマ線計測システム	重水素プラズマで発生する中性子の総発生率・量を測定し中性子総発生量の把握を通じて、トリチウム総発生量の管理を行う。また、中性子の発生・エネルギー分布、あるいはガンマ線分布を詳細に計測することにより高エネルギー粒子挙動の解明を行う。
2.3.3.2	高エネルギー粒子計測システム	重水素プラズマにおいて発生する高エネルギー粒子の発生及び損失場所、及びそれらのエネルギー分布を測定することにより、高エネルギー粒子の閉じ込め物理の解明を行う。
2.3.3.3	高精度輸送計測システム	高温プラズマの研究では、熱及び粒子の輸送が重要な計測課題となっている。特に重水素実験では、異常輸送及び同位体効果の解明を目指した研究を計画しており、中性粒子密度の空間分布計測や、同位体比測定のためのバルクプラズマ荷電交換分光、GAMスペクトロスコピー等を計画している。
2.3.3.4	ダイバータ計測システム	プラズマ中心部の高温プラズマの保持のためには、周辺部における熱・粒子の制御が重要である。このために周辺プラズマパラメータ計測装置を整備する。
2.3.3.5	定常・高速データ収集処理システム	重水素実験では、定常実時間でのデータ集録及び大容量データの高速処理を実現して、効率・機動性の高い実験運転を可能にする。

2.3.3.1　中性子・ガンマ線計測システム

LHD重水素実験における放射線安全及び高エネルギー粒子物理研究の拡大に向けて、中性子計測機器の検討及び開発を進めてきた。現行の核融合実験で発生する中性子は、主としてビームープラズマ反応に由来する中性子が支配的であることから、LHD重水素実験においてもNBIの入射パターンに応じて中性子総発生率が何桁も変わりうる。また、トロイダルアルヴェン固有モード（TAE）の回帰的バースト等により中性子総発生率が短い時間で大きく変化する可能性がある。これらのことから核融合実験で使用する中性子フラックスモニタ（NFM）には、広いダイナミックレンジと高速時間応答を併せ持つ能力が求められる。

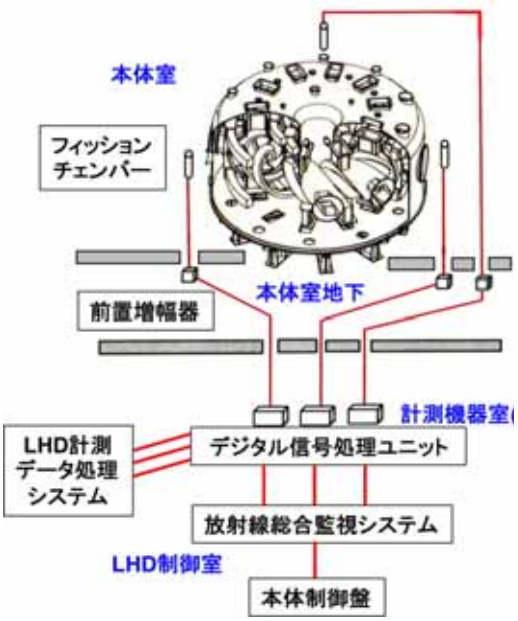


図 2.3.3.1-1 FC 系システムの配置図

LHDの重水素運転において必要不可欠となるNFMは、中・高中性子発生率放電用にフィッションチェンバー（FC）、前置増幅器及びデジタル信号処理ユニットから成るシステム、低中性子発生率放電用にFCに比して熱中性子に対して感度が高い^{3}He比例計数管（2台）及び^{10}B塗布型計数管（1台）、前置増幅器及びデジタル信号処理ユニットから成るシステムの2系統で構成され、これを1セットとし、3セットをLHDへ実装する計画である［2.3.3.1-1，2］。中性子総発生量の把握という点では、主としてFC系システムがその役割を担う。LHDへのFC系システムの配置概念図を、図2.3.3.1-1に示す。

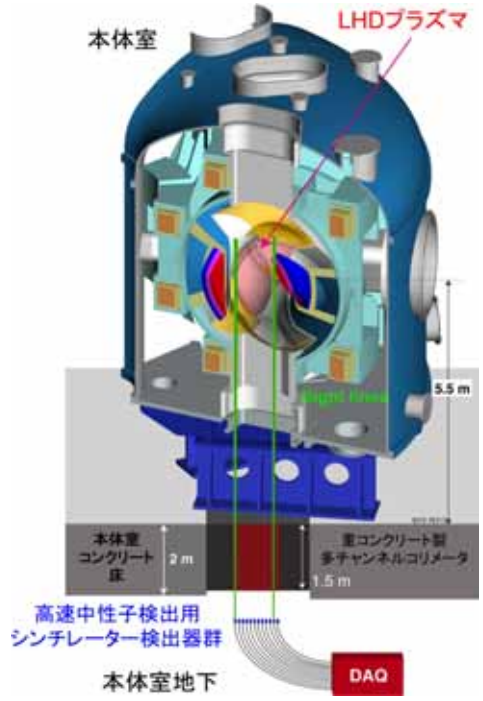


図 2.3.3.1-2　中性子プロファイルモニタの設置予定図

FC用に、先端デジタル信号処理技術に基づく高速・広ダイナミックレンジ信号処理ユニットプロトタイプを平成25年度に製作し、京都大学臨界集合体実験装置にて動作確認試験を行った。この試験を通じて実機製作に向けた技術的な見通しを得た後、平成26年度からデジタル信号処理ユニットの実機製作に着手している。

以上の技術研究開発に加え、名古屋大学・瓜谷章教授研究室との共同研究として、NFMの設置位置検討、及びその場絶対較正にかかる時間の見積もり等において必要となる3次元中性子輸送モンテカルロコードMCNPによるLHD装置近傍の中性子場の評価も実施して

いる [2.3.3.1-3~6]。

FC系の信号処理ユニットにはパルスモードとキャンベルモードを併用したデジタル信号処理法を採用し、パルス計数率において9桁半に及ぶ広いダイナミックレンジを実現している。一方の高感度^{3}He/^{10}B系システムは、パルス計数モードのみで動作する。両系統を併用することで、NFMシステム全体としてパルス計数率において十数桁のダイナミックレンジを有するシステムとして整備する。NFM信号出力から中性子総発生率を得るためには、中性子発生率が既知の中性子源を用いたその場絶対較正を行う必要がある。これに向けた整備状況については、4.2.3節において詳述する。

NFMに加え、中性子プロファイルモニタも重水素実験開始当初より稼働させる計画である。プロファイルモニタは、高エネルギーイオンの径方向分布情報を提供する。特に、TAE等のMHD不安定性による高エネルギー粒子の径方向輸送の研究に重要な役割を果たす。これまでの開発研究の結果に基づいて、高速中性子検出器には、スチルベンシンチレータを採用することにした。また、高計数率環境下において光電子増倍管のゲイン変動を抑制するための所謂アクティブディバイダ及び信号処理には中性子起因パルスとガンマ線起因パルスをオンラインで自動弁別可能なFPGAを採用したデジタル信号処理ユニットを新たに開発し、短い時間で中性子発生率が大きく変動しうる核融合実験に最適化したMHz帯で動作する中性子プロファイルモニタの整備に向けた研究を進めている [2.3.3.1-7]。中性子コリメータには、MCNP計算による設計を基に、2.5-Lポート下の床穴に重量コンクリートで造られた直円筒コリメータ(長さ1.5 m、直径3 cm)を設けることとし、平成26年度、設置工事に着手した。図2.3.3.1-2に、中性子プロファイルモニタの全体構成図を示す。

その他、NFMの測定の信頼性を担保する目的で、ポート2ヶ所(2.5-L及び8-O)に照射端を有する放射化箔システム、共役粒子同時計数型中性子エネルギースペクトロメータ[2.3.3.1-8]、中性子スペクトロメータと中性子イメージャーの機能を併せ持つ核融合中性子の検出に最適化した原子核乾板システムの開発 [2.3.3.1-9,10]、指向性を有する高速中性子検出器、即発ガンマ線プロファイルモニタ等の検討及び開発を名古屋大学を始めとする国内大学との共同研究により進めている。

[2.3.3.1-1] M. Isobe, et al., “Fusion product diagnostics planned for LHD deuterium experiment”, Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D310.
[2.3.3.1-2] M. Isobe, et al., “Wide dynamic range neutron flux monitor having fast time response for the Large Helical Device”, Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E114.
[2.3.3.1-3] N. Nishio, et al., “A study on neutron monitoring system of LHD based on Monte Carlo simulations”, Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D306.
[2.3.3.1-4] N. Nishio, et al., “Study on the calibration of LHD neutron monitoring system”, Plasma and Fusion Research, **6** (2011) 2405115.
[2.3.3.1-5] Y. Nakano, et al., “Study on in-situ calibration for neutron flux monitor in Large Helical Device based on Monte Carlo calculations”, Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E116.

[2.3.3.1-6] Y. Nakano, et al., “Study on in-situ calibration for neutron monitor in the helical type fusion experimental device based on Monte Carlo calculations”, Plasma and Fusion Research, **9** (2014) 3405141.
[2.3.3.1-7] K. Ogawa, et al., “Progress in Development of Neutron Profile Monitor for Large Helical Device”, Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E110.
[2.3.3.1-8] H. Tomita, et al., “Development of Neutron Spectrometer toward Deuterium Plasma Diagnostics in Helical Confinement System”, Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D309.
[2.3.3.1-9] Y. Nomura, et al., “Design Consideration on Compact Neutron Pinhole Camera with Nuclear Emulsion for Energetic-ion Profile Diagnostics”, Plasma and Fusion Research, **6** (2011) 2402148.
[2.3.3.1-10] H. Tomita, et al., “Development of Fusion Neutron Pinhole Imaging using Nuclear Emulsions for Energetic Ion Diagnostics”, Plasma and Fusion Research, **8** (2013) 2406095.

2.3.3.2 高エネルギー粒子計測システム

重水素実験では、高エネルギー粒子のヘリカル磁場中での振る舞いを研究し、炉心プラズマでのアルファ粒子を対象としたシミュレーション実験が重点研究課題の一つとして掲げられている。同実験を行った際に高エネルギー粒子の挙動を精査する目的で、シンチレータ型損失高エネルギー粒子プローブ(SLIP)の拡張、荷電交換高速中性粒子分析器(NPA)としての人工ダイヤモンド検出器アレイの導入、及び協同トムソン散乱計測システムの強化等を計画している。2.3.3.1節で述べた中性子計測機器と組み合わせることで、高エネルギー粒子挙動の全体像を把握することが可能となる。

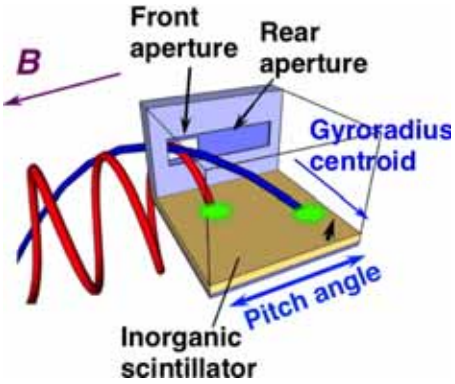
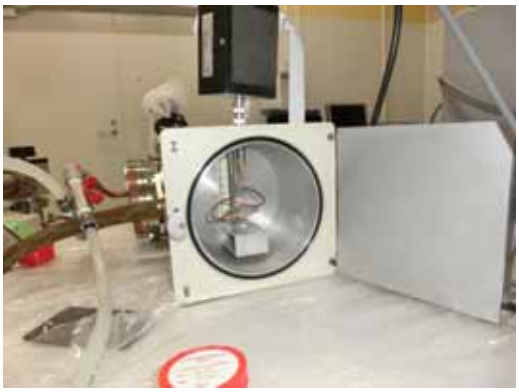


図 2.3.3.2-1 シンチレータ型損失高エネルギー粒子プローブの検出原理概念図


図 2.3.3.2-2 人工CVDダイヤモンド検出器開発の様子

SLIP開発は、これまで日米科学技術協力事業の枠組みの下、プリンストンプラズマ物理研究所のDouglass S. Darrow博士との共同研究の形で進めてきた [2.3.3.2-1,2,3]。SLIPは、真空容器内に存在する磁力線を利用した磁気スペクトロメータとして機能する。SLIPでは、図2.3.3.2-1に示すように、荷電粒子用シンチレータが金属ボックスの底に設置され、ボックスの一側面にラーマー半径の大きな高エネルギーイオンのみが通過できるアパチャーが設けられている。エネルギーが比較的低い高エネル

ギーイオンは、アパチャー近くのシンチレーター板に衝突する一方、エネルギーの高いイオンはアパチャーから遠方に衝突する。また、高エネルギーイオンは、ピッチ角に応じて、2つのアパチャーの中心を結ぶ線に対して垂直方向に分散することから、高エネルギーイオンの衝突によるシンチレータ板上の2次元発光分布を測定することにより、SLIPに到達した損失高エネルギーイオンのエネルギー及びピッチ角の時間変化を同時に測定することができ、その情報を基に、粒子軌道計算から検出した高エネルギーイオンがプラズマ系内のどの位置を通過してきたものなのかを把握することができる。現状、LHDに装備されているSLIPは1台であり、今後、同プローブの多チャンネル化を計画している。それにより、損失高エネルギーイオン束の空間分布を測定し、シミュレーションで予測されるそれと合致するかについて調べるとともに、MHD不安定性による損失位置の違い、或いは摂動磁場印加時における損失位置の違い等について精査し、将来の核融合炉に外挿できる高エネルギー粒子の損失過程に関する研究を行う。

高エネルギー粒子を対象とする研究においては、NPAは、核融合実験における基本計測に位置付けられる。現行のLHD実験では、固体NPAにシリコン半導体検出器アレイが用いられているが [2.3.3.2-3, 4]、耐放射線性の点で脆弱であることが知られており、重水素実験に向けて耐放射線性に優れた固体NPAの開発が急務となっていることから、北海道大学大学院工学研究院量子理工学部門の金子純一准教授のグループと共同で人工CVDダイヤモンドに基づくNPAの開発を進めている [2.3.3.2-5]（図2.3.3.2-2）。人工ダイヤモンドは耐放射線性に優れていることに加え、MeV領域までの高速中性粒子のエネルギー分布測定が可能であり、重水素実験では人工ダイヤモンド検出器をアレイ化して用いる計画である。

その他、高エネルギーイオン荷電交換分光計測、所謂FIDA [2.3.3.2-6,7]による高エネルギーイオンの空間分布測定を強化する。2.3.3.1で述べた中性子プロファイルモニタは、核融合反応断面積の関係からエネルギーの高いイオンの分布を提供する一方で、FIDAは荷電交換反応を利用するため比較的中・低速の高エネルギーイオンを守備範囲とする。よって、両システムを相補的に利用することで、コア部の高エネルギーイオンの閉じ込めの情報を広い速度空間にわたって引き出すことが可能となる。また、高エネルギーイオンの速度分布関数の測定に向けて協同トムソン散乱計測 [2.3.3.2-8,9]についてもシステムの強化を図る。

[2.3.3.2-1] M. Isobe, et al., “Escaping fast ion diagnostics in compact helical system heliotron/torsatron”, Review of Scientific Instruments, **70** (1999) 827.
[2.3.3.2-2] K. Ogawa, et al., “Installation of Bidirectional Lost Fast-Ion Probe in the Large Helical Device”, Journal of Plasma Fusion Research SERIES, **8** (2009) 655.
[2.3.3.3-3] M. Isobe, et al., “Fast-particle diagnostics on LHD”, Fusion Science and Technology, **58** (2010) 426.
[2.3.3.2-4] M. Osakabe, et al., “Development and energy calibration of Si-FNA for LHD fast ion measurement”, Review of Scientific Instruments, **72** (2001) 788.

[2.3.3.2-5] J.H. Kaneko, et al., “Growth and evaluation of self-standing CVD diamond single crystals on off-axis (001) surface of HP/HT type IIa substrates”, Diamond & Related Materials, **26** (2012) 45.
[2.3.3.2-6] M. Osakabe, et al., “Fast ion charge exchange spectroscopy measurement using a radially injected neutral beam on the large helical device”, Review of Scientific Instruments, **79**, (2008) 10E519.
[2.3.3.2-7] T. Ito, et al., “Fast ion charge exchange spectroscopy adapted for tangential viewing geometory in LHD”, Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D327.
[2.3.3.2-8] S. Kubo, et al., “Collective Thomson scattering of a high power electron cyclotron resonance heating beam in LHD”, Review of Scientific Instruments, **81**, (2010) 10D535.
[2.3.3.2-9] M. Nishiura, et al., “Spectrum response and analysis of 77 GHz band collective Thomson scattering diagnostic for bulk and fast ions in LHD plasmas”, Nuclear Fusion, **54**, (2014) 023006.

2.3.3.3 高精度輸送計測システム

重水素実験は世界の主要な核融合実験装置で行われているが、現状、輸送における同位体効果は、理論の予想と大きく異なり、LHD実験で取り組むべき重要課題の一つである。また、LHDのこれまでの研究において、局所輸送では、理解が困難な現象が見出されていることから、非局所輸送に与える同位体効果に注目すべきである。重水素実験においては、1)中性粒子密度分布の計測、2)精度の高い同位体比の計測、3)帯状流・マクロ乱流の計測、4)マイクロ波イメージング計測が重要と考えられ、これらを対象とする計測機器の整備・拡張を計画している。ここでは、代表例として、上記計測器の主として1)及び2)について詳述する。

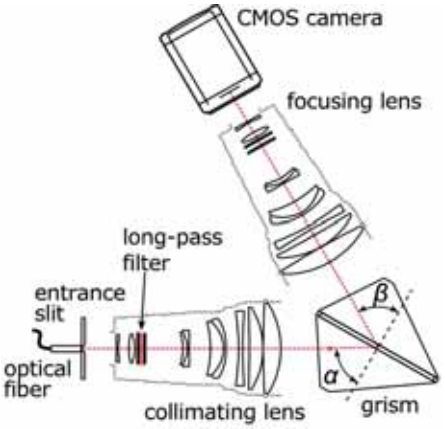


図 2.3.3.3-1 広ダイナミックレンジ計測システム

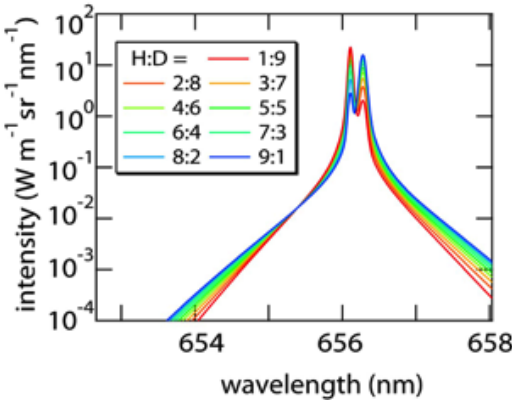


図 2.3.3.3-2 異なる水素／重水素比に対して模擬したスペクトル

重水素実験では、プラズマ中の陽子と重陽子の密度比が重要なパラメータである。陽子及び重陽子は電子を持たないため、電子遷移に伴う発光を生じない。コアプラズマ内にわずかに存在する中性原子からの発光を観測し、そのような原子を生じさせる原子過程の基礎データを用いてイオン密度を導出することが原理的には可能である。水素原子及び重水素原子の代表的な可視域発光線であるバルマー α 線を利

用し、その発光線強度から陽子および重陽子密度の空間分布を計測するシステムの開発を行った。ドップラー広がりによりガウス関数に近いプロファイルを持つ発光線の裾野部分はプラズマの高温部での発光に対応することが最近のLHDでの研究で明らかになっている。プラズマコア部での水素と重水素の混合比を求めるためには、ピークとともにこの裾野部分の高精度計測が必要であり、可能な限りダイナミックレンジの大きい計測システムを開発した。カメラレンズとグリズムとよばれる透過型グレーティングをプリズムで挟んだ構造の回折素子を用い、高効率で分散の大きい分光器を構築した（図2.3.3.3-1）。検出器には低ノイズのCMOSカメラを採用し、6桁のダイナミックレンジを達成した。この計測システムを用いて、異なる水素／重水素比のプラズマからの発光線計測を模擬したものを図2.3.3.3-2に示す。ここに見られるように、裾野部分の重なりは大きいが、混合比によってわずかな形状の変化が見られる。今後は何らかの逆変換の手法を用いて、更に空間分布を求める解析手法の開発が必要となる。

また、近年、NBIをモジュレーションすることでプラズマ周辺部からの強いHα光を差し引いて、荷電交換分布によるバルクプラズマのイオン温度の計測に成功している。重水素実験では、荷電交換分光計測（図2.3.3.3-3）により、ドップラーシフトゼロの荷電交換分光線の速度空間分布を計測することで、図2.3.3.3-4に示されるように、見かけのドップラーシフトとドップラー幅（温度）から水素と重水素の比が評価できることから、本手法も適用する計画である。その他、測地線音響モード（GAM）周波数やTAE周波数は、イオン質量密度の関数で表現されることから、これらの周波数測定から水素／重水素比の評価を行うことを予定している。

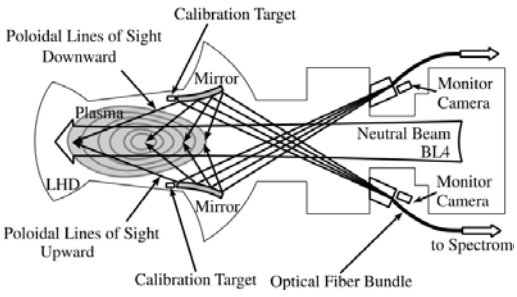


図 2.3.3.3-3 LHD における荷電交換分光計測システム

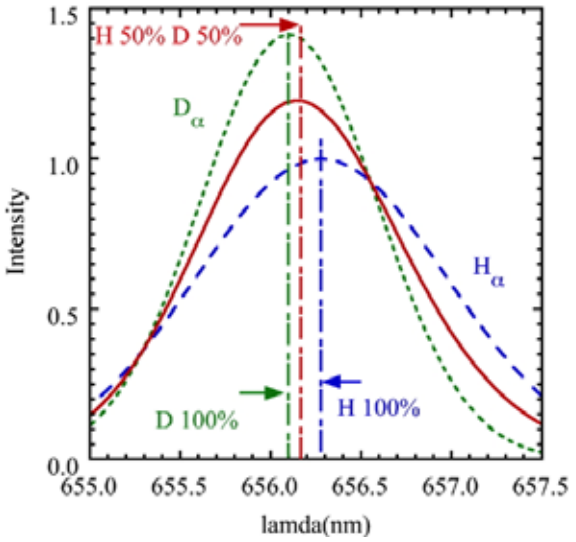


図 2.3.3.3-4 水素及び重水素のドップラーシフトとドップラー幅

2.3.3.4 ダイバータ計測システム

主プラズマ閉じ込めの高性能化を目的とした重水素実験の一環として、ヘリカルダイバータの閉構造化を進めている。閉構造化により、ダイバータ板から発生した不純物やリサイクリング粒子がプラズマ周辺部へ侵入することを妨げる。ペレット入射による主プラズマへの直接燃料補給と組み合わせることで、主プラズマの閉じ込め性能向上を狙っている。ドーム構造内側にはクライオポンプを設けてリサイクリング粒子を効率的に排気する。これにより、高性能プラズマの長時間保持を可能とする。

上記における一連の過程には、最外殻磁気面近傍からダイバータ板へ至るプラズマ輸送、ダイバータ室周辺におけるプラズマ特性、プラズマ・壁相互作用ならびに中性粒子・不純物挙動が相互に密接に関連することから、これらを総合的に理解することを目的としてダイバータ計測システムを構築している。必要な計測対象と手法を表 2.3.3.4-1 に、概略を図 2.3.3.4-1 に示す。

表 2.3.3.4-1 ダイバータ計測システムの計測対象と計測手法(計画含む)

計測対象	計測手法
電子密度	分光、干渉計、トムソン散乱、粒子ビームプローブ、静電プローブ
電子温度	分光、トムソン散乱、粒子ビームプローブ、静電プローブ
イオン温度	分光、静電プローブ(イオンセンシティブプローブ)
不純物	分光、フィルタ付き CCD カメラ、方向性マテリアルプローブ
プラズマ流	分光、静電プローブ(マッハプローブ)
放射パワー	ボロメータ、イメージングボロメータ
中性粒子	高速イオンゲージ、レーザー誘起蛍光分光
ダイバータ温度	熱電対、IR カメラ

本システム中には既にLHDに整備済みのものを複数含むが、その大部分は測定範囲が局所的である。したがって、ヘリカル装置特有の3次元性および摂動磁場印加に伴い現れるような非対称性を捉えるためには、トロイダル・ポロイダル方向への測定範囲の拡張が不可欠である。高性能プラズマから取得する多地点データをシミュレーション研究と組み合わせることにより、将来の核融合炉設計に資することができる。

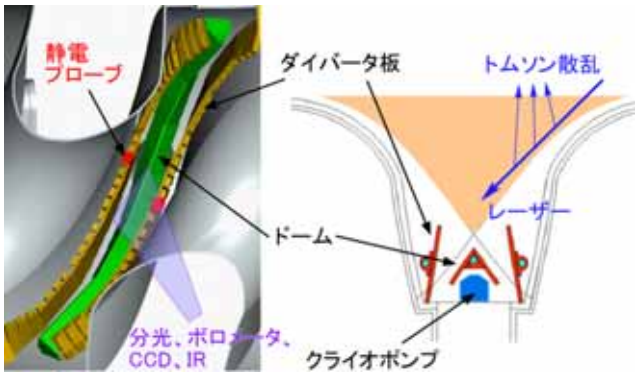


図 2.3.3.4-1 閉構造ダイバータおよびダイバータ計測システムの一部

2.3.3.5　定常・高速データ収集処理システム

重水素実験では実験回数が制限されるため、より効率・機動性の高いデータ集録運転を行う必要がある。そのために、計測データ集録・解析システム（以下、データ処理系）では、データ生成直後、ほぼリアルタイムに大容量の高速データ処理を可能にする、広帯域（ギガビット級）リアルタイム収集・解析・保存システムの開発を行ってきた。その結果、データ収集速度は従来の約500倍、1計測ノードあたり約650 MB/sを達成するとともに、100ノード超の計測ノードが同時稼働して一斉にデータ保存を行っても、処理に遅れが生じない大規模並行分散系の開発に成功、すでにLHD実験に供している [2.3.3.5-1]。これによりLHD実験の計測データ量は、平成25年に892 GB/回と、次世代実験炉ITERに匹敵するまで増え世界記録を樹立している（図2.3.3.5-1参照）。

他方、重水素実験が始まるとLHD本体室への入室が制限され、保守機会が大幅に減ることから、計測関連機器を基本的にすべて遠隔制御・監視可能にする必要がある。多数ノードを運用する本データ処理系では、その集中（中央）管理も不可欠なため、全ノードの集録運行状況をチャネル単位でリアルタイムに監視でき、かつOn/Off/起動/停止/モード変更などの遠隔操作が可能なエージェント指向システムを開発、実運用に供している。これにより、LHDデータ処理系の稼働率（信頼度）はチャネル・ベースでほぼ99.99%（10^{-4}）に達し、高い信頼性を実現した [2.3.3.5-2]。

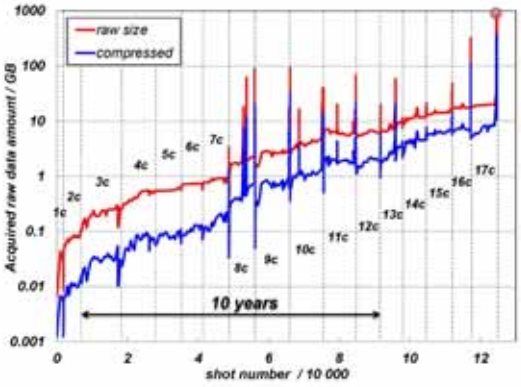


図 2.3.3.5-1　LHD における取得データ量の増加の様子(赤二重丸◎は世界記録)

データ解析の自動化についても、さまざまな実験データの出現に同期して、各々一連の自動解析が行えるAutoAnaシステムを開発、計算機クラスター上で運用を開始している。これによって実験データ解析・モデル計算・数値シミュレーションの融合が可能となり、より高次元の実験運用を実現している [2.3.3.5-3]。

[2.3.3.5-1] H. Nakanishi, et al., “Improved Data Acquisition Methods for Uninterrupted Signal Monitoring and Ultra-Fast Plasma Diagnostics in LHD”, Plasma and Fusion Research, **7** (2012) 2405007.

[2.3.3.5-2] H. Nakanishi, et al., “Data acquisition system for steady-state experiments at multiple sites”, Nuclear Fusion, **51** (2011) 113014.

[2.3.3.5-3] M. Emoto, et al., “Development of the Integrated Transport Analysis Unifying Experiment and Simulation Data”, Journal of Plasma and Fusion Research, **90** (2014) 562-567.

2.3.4 安全管理機器

重水素実験に向け、放射線(能)測定に関する安全管理機器の整備を進めている。市販の放射線安全管理汎用機器を用いて実施できるものについては市販品を活用し、核融合科学研究所の現場状況に即して整備しなければならないものに関しては、開発を進めている。



図 2.3.4.1-1 放射化箔システムのカプセル送出回収装置と制御盤

2.3.4.1 中性子計測

(a) 中性子計測

DD反応による中性子発生量を評価することは、トリチウム発生量を把握することにも繋がり、安全管理の立場において最重要課題であることから、中性子計測は、重水素実験を開始する上で必要不可欠の測定であると言える。中性子測定には、図2.3.3.1-1に示したように、通常、磁場閉じ込め核融合実験で広く用いられているフィッションチェンバーを本体室の3箇所に設置する準備を進めている。また、計数値から中性子総発生率・量を得るために、中性子発生率が既知のCf-252 中性子源をLHD真空容器内を周回させながら計測を行うことによるその場絶対較正実験の準備も進めている。更に、較正係数値の信頼性を高めるために、放射化箔に基づく中性子絶対束測定システム(図2.3.4.1-1)についても準備を進めている。その場較正実験については、実際にLHD真空容器内に周回軌道を設置し、線源を載せる移動体を周回させる試験を行っている。

(b) 作業環境における中性子線量評価

本体室、本体室地下に隣接したエリアである、本体室南側入口外、計測機器室(2)、液化機室、加熱装置室では、放射線モニタリングシステム(RMSAFE)の中性子レムエリアモニタ(図2.3.4.1-2)によって中性子線量を測定している。RMSAFEは平成4年より整備、稼働を続



図 2.3.4.1-2 RMSAFE エリアモニタ



図 2.3.4.1-3 可搬型中性子用サーベイメータ

けているが、経年変化による不具合がみられていた。今後の円滑運用のため、平成25年度に機器の更新作業を行った。また、現在準備として可搬型の中性子用サーベイメータ(図2.3.4.1-3)の点検、及び較正を行っている。

(c) 敷地境界における中性子線量評価

敷地境界における中性子線量評価は、RMSAFEによって行っている(図2.3.4.1-4)。RMSAFEの敷地境界にあるモニタリングポストで、中性子線検出器(^{3}He比例計数管)を設置しているのは、WA、WF、WM、WNの4基である。また、実験棟近傍の(IA、IB、IC、IE、IF)の5基にも中性子検出器を設置している。RMSAFEは、上記のように平成25年度に更新作業をおこない、現在正常に稼働していることを確認している。



図 2.3.4.1-4　RMSAFE の敷地内モニタリングポスト位置

2.3.4.2　放射線量測定

中性子以外の放射線量の測定についても、本体室内、大型ヘリカル実験棟管理区域境界、敷地境界の3区域で、RMSAFEのX(γ)線検出器での測定を行っている(図2.3.4.2-1)。

また、電子ポケット線量計、ガラス線量計を用いて1月間あたりの線量測定も行っている。

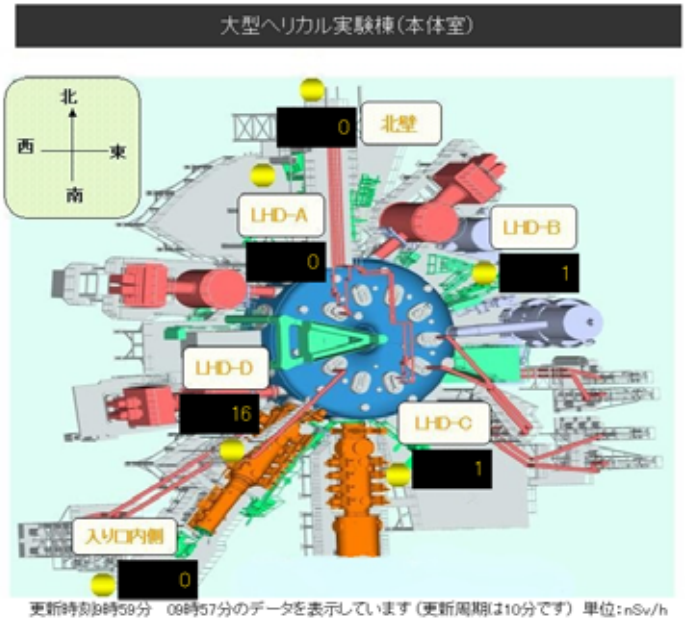


図 2.3.4.2-1　RMSAFE の本体室内モニタリングポスト位置とガンマ線空間線量率

2.3.4.3 表面汚染密度

本体室内の表面汚染密度の監視として、管理区域内の各部屋の出入り口付近を中心にスミヤによる表面汚染密度の測定も試験的に始めている。測定は、低バックグランドβ線自動測定装置(LBC-4211B)、オートウェルガンマシステム(アロカ AccFLEX γ7001)を用いている。

2.3.4.4 空気中および排気中の放射性同位元素濃度

空気中および排気中放射能濃度をリアルタイムでモニターするため、排気塔(建屋から放出される排気ガス中の放射能濃度監視)とLHD本体室内(本体室内での作業環境中の放射能濃度監視)にガスモニタとダストモニタを設置している(図2.3.4.4-1)。

ガスモニタは通気型電離箱とし、ダストモニタはステップろ紙送り方式で、タイマ制御でろ紙を自動で送り空気中ダストをろ紙に捕集し、プラスチックシンチレータで測定するものである。ガスモニタシステムは整備が整い、実際の運用に問題がないことを確かめるため、及び重水素実験開始前のバックグランドデータ採取のため運用を開始している。



図 2.3.4.4-1 室内ガスモニタ測定部及びダストモニタ(左図)、通気型電離箱ガスモニタ(右図)

2.3.4.5 排水中の放射性同位元素濃度

排水は一旦貯留槽に貯留して、β線水モニタ、γ線水モニタによる測定を行い、管理値以下であることを確認している。加えて、サンプリングを行い、液体シンチレーションカウンター(1220 QUANTULUS)及びオートウェルガンマシステム(AccuFLEX 7001)で更に詳細な測定を行い、問題がないことを確認したのちに排水を行っている。なお、管理値及び規制値を超える排水については、公益社団法人日本アイソトープ協会に処理・処分を依頼することとしている。これらの機器に関しては、既に整備が整い、実験前のバックグランドデータの蓄積を行うとともに、運用方法の検討のため運用を開始している。図2.3.4.5-1に、排水管理装置の貯留槽及び監視画面を示す。



図 2.3.4.5-1　排水管理装置の貯留槽と監視画面

2.3.4.6　放射化

放射化物については、低バックグランド高純度ゲルマニウム（HPGe）半導体測定装置（図 2.3.4.6-1）などを用いてγ線の測定を行い、核種と放射能強度を考慮して適切に保管し、管理する計画である。



図 2.3.4.6-1　低バックグランド HPGe 半導体測定装置

2.4 研究スケジュール

重水素実験の研究期間は9年間で計画しており、各年度の実験は、表1.3-1に示されているトリチウムおよび中性子の年間の最大発生数で規定され、前半の6年間は各年2.1×10^{19}個、後半の3年間は各年3.2×10^{19}個である。研究計画の策定にあたり、年間総中性子発生量の制限の観点から、以下に示す放電条件を標準放電(2.2.2.1節参照)として放電回数の大略を算定する。

加熱パワー: 19.2 MW
線平均密度: 2.5×10^{19} m^{-3}
中心温度: 5.28 keV
蓄積エネルギー: 0.99 MJ
中性子発生率: 3.28×10^{15} 個/秒

この標準放電は、最大中性子発生放電の6分の1程度の中性子発生量を見込む放電であり、多種多様な実験の平均として適当であると考えられる。1ショット3秒とすると、前半6年間は約2,100ショット、後半3年間は約3,200ショットを各年の実験に供することができる。以下、重水素実験における研究スケジュールの概略を示す。なお、具体的な研究計画については、第3章で記述する。

(1)準備期間

重水素実験の実施に向けて、垂直入射NBIの重水素化対応をはじめとする加熱機器の整備、中性子計測システム等の計測機器の整備、トリチウム除去装置等の安全管理機器の整備などのハードウェアの整備、および運転マニュアル、放射線管理マニュアル等のソフトウェアの整備など、適切な準備を行う。

(2)初年度

中性子・トリチウムの取り扱い、および計測・加熱機器の重水素実験対応についてのコミッショニングを行うための予備実験を実施する。法令に基づく監督官庁の認可後、使用前に受ける施設検査(本検査に合格しなければ使用できない)のための運転を行う。これにより、コンクリート壁の遮蔽性能、トリチウム除去装置、環境測定用計測機器等が所期の性能を発揮し、かつ、所定の安全性確保上の態勢も十分機能していることを確認する。

上記目的のため、施設検査を含めて標準条件で1,000ショット程度の重水素実験を行う。予備実験、施設検査に引き続き、以下の研究に着手する。

① NBIを中心として、重水素プラズマ加熱実験の基盤整備
② プラズマ輸送に対する同位体効果を検証するための閉じ込めデータベースの作成に着手
③ ダイバータを中心に排気特性等にかかわる研究に着手

また、実験終了前の1～2ヶ月は軽水素(通常の水素)放電を行い、重水素の置換履歴および重・軽水素運転の比較のためのデータを収集する。

(3)2年度目～6年度目

垂直重水素NBIの加熱パワー増強のための調整および接線NBIの重水素化を進めて、プラズマの高性能化を図る。中性子およびガンマ線計測機器の整備および既存計測器の重水素実験対応を進めて、同位体効果の物理に取り組むとともに、以下の課題についての研究を進める。

① 閉じ込めデータベースの構築
② ダイバータ運転の最適化および閉じ込め改善と輸送障壁の形成
③ ICRF/ECH加熱
④ 高エネルギーイオンの閉じ込め・MHD
⑤ 新しい概念の実験

(4)7年度目～9年度目

年間の中性子発生量の研究所管理値を1.5倍とし、プラズマの最高性能化を図り、重水素実験計画の目的の達成とまとめを行う。それに際して、以下の3事項に留意する。

① 重水素実験開始後6年間で得られた知見を体系的に総合して、総合機能への統合を図る。もって、ヘリカル系核融合炉の展望を明らかなものとする。
② ICRF加熱を中軸とし、ダイバータ機能の応用と合わせて高性能プラズマの長時間保持を実証する。
③ 重水素実験終了後のLHDの再利用までを考慮しつつ、学術的な応用実験を取り上げて、以降の展開を図る。

(5)10年度以降

重水素実験終了後は、基礎研究、応用研究、大学院生教育等の新しい目的を持って、LHDの活用を図る。また、これが容易となるようトリチウム除去、放射化物低減のための必要な後処理を行う。放射化したLHDはクリアランスレベル以下となるまで、適切に管理する。

図2.4-1に、重水素実験の研究スケジュールの概略図を示す。

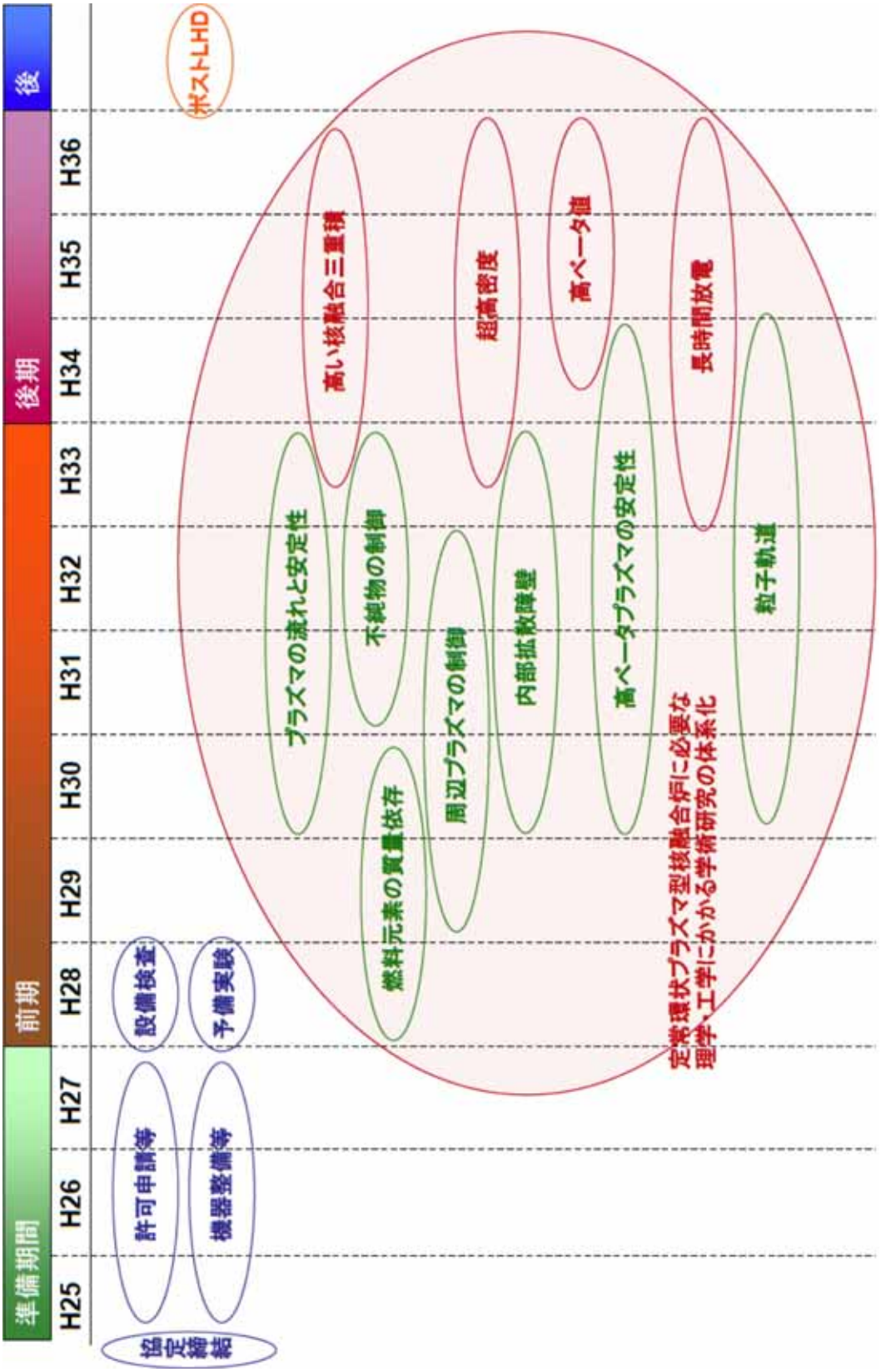


図 2.4-1　重水素実験の研究スケジュールの概略図

2.5 安全実施体制

核融合科学研究所では、大型ヘリカル装置計画、数値実験炉研究、核融合工学研究の3つのプロジェクトから成るプロジェクト体制により研究を推進しており、専門が近い研究者からなる7つの研究系と六ヶ所研究センターで構成されたヘリカル研究部から研究者が、各プロジェクトに参加している。大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクトにあっては、研究総主幹が研究を総括し、実験統括主幹がハードウェアの整備・運転を総括することによって、プロジェクトの円滑な遂行を図ることとしている。重水素実験はこのLHD計画プロジェクトの責任により実施されるが、実験安全に関しては、5.4節に示す安全衛生推進部を中心とした研究所の労働安全衛生管理体制および放射線安全管理組織により管理され、安全の確保が図られる体制となっている。

LHD計画では、LHD実験会議がその運営責任を担っている。LHD実験会議はLHD計画研究総主幹が議長を務め、メンバーは10名程度の実験責任者［LHDの実験を担当する研究総主幹、実験統括主幹、研究主幹および主幹代理］とテーマグループリーダー、技術部長と5課長、核融合理論シミュレーション研究系研究主幹、安全衛生推進部長、そして所外の共同研究者と核融合研究コミュニティを代表する7～8名の所外の研究者から構成されている。また、共同研究委員会をはじめとした所内の各種委員会と連携し、所の方針や規定に則って運営を行っている。LHDの運転期間中は週1回、保守期間中は隔週の開催を原則としている。LHDでは、各研究課題を共通するテーマで分類し、それにマシンタイムを配分するという、テーマグループ制により実験を遂行している。LHD実験会議では、所内の研究者および所外の共同研究者からの実験提案を、このテーマグループ制に基づいて検討し、マシンタイムの配分、実験条件の確認等をはじめとして、加熱機器や計測機器の調整を行っている。その際、安全衛生推進部長が安全の観点からチェックを行う体制となっており、さらに、重水素実験に向けて、放射線管理室長をメンバーに加えて、実験遂行に対する放射線安全管理に関するチェック機能を強化する予定である。

実験は、LHD実験会議のメンバーである実験責任者が実験当日の安全や緊急対応に責任を持ち、テーマグループのリーダーとサブリーダーがプラズマ放電条件の決定等に裁量と責任を持つことによって実施される。実験は前もって決められた年間スケジュールに沿って行われるが、装置や実験条件の変更が必要な場合は、LHD実験会議において事前に調整を行う。重水素実験に伴い発生する放射線量により実験条件等の変更が必要となる状況も予想されるが、その場合も同様にLHD実験会議において事前に調整を行う。具体的な実験内容と実験条件は、前週に週間予定としてまとめ、実験総主幹あるいは実験統括主幹がこの内容を確認・承認し、実験グループメンバーに周知する。

実験当日は、朝の実験前打ち合わせにおいて、実験責任者が実験予定表に基づいて実施の確認を行う。図2.5-1に示すように、実験予定表には、実験条件およびその日の予定の詳細に加えて、当日の担当体制、安全体制を記載し、打合せの場でその内容を確認する。緊急時の本部責任者、現場責任者、連絡員、記録係等の体制と役割も合わせて確認する。また、放射線担当者が明記されており、重水素実験では、放射線発生量、管理区域内の線量管理、入退管理等、放射線管理にかかる実験の安全な遂行に責任を持つ。

自然科学研究機構　核融合科学研究所（ＬＨＤ）

プラズマ実験予定表

作　成　者
坂本隆一

実　験　日	本　日　の　実　験　テ　ー　マ
2014年 11月12日(水)	SOL&PPC／閉ダイバータ実験

実　験　番　号	担当実験研究グループ	担当実験テーマリーダー	担当実験ﾃｰﾏｻﾌﾞﾘｰﾀﾞｰ
886	プラズマ物理工学; 周辺・PWI・定常・加熱物理・原子分子	坂本隆一 [2148]	吉村泰夫／後藤基志／時谷政行／笠原寛史／上田良夫／蓮尾昌裕 [2204, 2290, 2143, 2203]

実験スケジュール

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	励磁			[プラズマ物理工学]						消磁				

実験体制

斜字は緊急時の役割
情報は2445へ

（実験担当責任者）山田弘司/長山好夫 [2140, 2153]
制御室本部責任者

（実験テーマ担当者）*記録確認*
(プラズマ物理工学)森崎友宏，本島厳

森田/井上	小川・前野/横田・伊藤	伊井	中野	C/A	時谷
[2313/2094]	[2099,2098/2481,2482]	[2208]	[2209]	[A2104 2089 B-C2109 2092]	[2143]
実験LAN	中央制御 /ﾃﾞｰﾀ処理	(ECH) *制御室連絡員A* *外部との連絡*	(NBI) *制御室連絡員B* *現場との連絡*	(ｶﾞｽﾊﾟﾌ・真空・低温) *電源系統把握*	(放電洗浄)

A: ｶﾞｽﾊﾟﾌ：安井、村瀬、加藤　低温：鷹見
B: C: ｶﾞｽﾊﾟﾌ：鈴木、長原　低温：森内、野口

非常時の連絡先
統括管理者:飯間[2100]（代理）西村清[2080]
現場対応班長:(正) 米津[2101]（副）林浩己[2103]
研究総主幹:竹入[2210] 実験統括主幹:竹入[2210] 防災センター[1111]

現場責任者:本体運転員責任者(竹林) [2448]
現場連絡員:本体運転員

実験手順の概要

○実験内容、条件

[プラズマ物理工学; 周辺・PWI・定常・加熱物理・原子分子](10:45 ～ 18:45) ECH, NBI
18サイクルに高性能化した8-I閉ダイバータのクライオポンプを1日の中でON/OFFし，
ダイバータ部の中性粒子圧力，およびダイバータプラズマの変化を観測する．
「LHDプラズマに曝されたタングステンにおける水素滞留能変化（静岡大）」
磁場配位：
1．(Rax, Bt, γ , Bq) = (3.6m, -2.75T, 1.2538, 100.0%)

放射線担当
赤田 [2084]

実験開始条件
○励磁減磁
入室禁止 08:45
立上げ 09:00
立下げ 18:45

実験磁場
反転

コンディショニング

○前夜GD	なし
○実験開始前 Ti ゲッター	なし
○実験中 Ti ゲッター	なし
○Divクライオ	なし
○実験終了後GD	なし
○ベーキング	なし

規　制　事　項	特記事項	備　考
(1)磁性体の持込規制(持込書類による確認) (2)夜間作業は原則22時まで 白板に作業名、氏名、入退室時間記載	消火訓練実施後に実験開始 【特殊実験あり】 id=314（永岡賢一）：プローブ挿入	(プラズマ物理工学)ダイバータクライオポンプ ヘリウムビームプローブ 試料駆動装置

図 2.5-1　実験予定表の例

2.6 まとめ

本章では、重水素実験の目的と重点研究課題を示し、併せて、設備整備計画と研究スケジュールの概略を示した。また、研究の実施体制についても記述した。以下に、そのまとめを行う。

(1)重水素実験の目的、その目的を達成する研究計画および安全を確保する実施体制

- 重水素実験の主たる目的は、同位体効果により期待される閉じ込め改善により、核融合炉に外挿しうる高性能プラズマを実現して、新たな研究領域を開拓し、その性質を学術として体系化することにある。それにより、ヘリカル型核融合炉の設計を確実なものにするとともに、トカマクを含めた環状プラズマの学理を確立する。
- この目的を達成するための重点研究課題として、同位体効果による閉じ込めの改善と物理、高β領域の拡大、高速イオンの閉じ込め、ダイバータの最適化、プラズマ・壁相互作用、多様な実験手法の拡大を挙げている。
- こうした課題を遂行するために、加熱機器の増強、詳細な物理研究のための高精度計測器の整備、熱・粒子制御に向けた閉ダイバータの整備等が計画されており、プラズマの高性能化に基づいた研究スケジュールが策定されている。
- 実験の遂行に責任を持つ LHD 実験会議では、安全衛生推進部長がメンバーとして実験安全の確保に対してチェックを行う体制となっており、重水素実験へ向けて、放射線管理室長をメンバーに加えて、放射線安全管理に関するチェック機能をさらに強化する。

3. 研究計画

3.1 研究課題

LHD 重水素実験においては、重水素同士の核融合反応そのものを研究対象とするのではなく、ヘリカル型核融合炉に外挿できるプラズマの高性能化、核融合炉の実現に必要とされる高温プラズマ物理の学術的研究、環状プラズマの総合的理解、学理の体系化、およびこれらの物理研究と密接に関わる要素技術の開発、実証、蓄積を行うことを目的としている。

トカマク型装置におけるプラズマ閉じ込め特性の同位体効果に関する知見からは [3.1-1]、Ohmic、L-mode、H-mode と様々な放電シナリオに対して、重水素プラズマは軽水素プラズマよりも良好な閉じ込め性能を示すことが観測されており、閉じ込め特性に関する同位体効果が確認されている。このため、LHD においても重水素実験を行うことにより、トカマク型装置と同様に閉じ込め性能が向上し、重水素実験に向けて行われる加熱機器の増強と相まって、プラズマパラメータ領域の拡大が期待される。トカマクにおける同位体効果は、実験的にその効果が認識されている一方、閉じ込め時間のプラズマイオン種の質量依存性が装置によって異なり、また単純な理論予測ではイオン質量の増加に伴う閉じ込めの劣化が予想されている等、そのメカニズムについては不明な点が多い。このため、LHD の重水素実験において、ヘリカル型装置に対する同位体効果の有無を検証することは、学術的にも極めて重要である。

LHD における重水素実験の具体的な研究課題は、以下のように纏めることが出来る。

(1) ヘリカル系における同位体効果を調べ、プラズマの閉じ込め改善実験を行う。
(2) 重水素実験による閉じ込め改善と加熱電力の増大により、プラズマを高温度化し、ヘリカル型装置の高温プラズマの理解を深める。また、同様にして、ベータ値の増加を図り、高温度領域における MHD 安定性の研究を行う。
(3) ICRF 加熱実験において少数イオン加熱を行い、高イオン温度を実現する為の研究を行う。
(4) 重水素プラズマから発生する中性子を利用して、高エネルギーイオンの振る舞いを調べ、ヘリカル型装置における高エネルギーイオンの閉じ込め特性を評価する。
(5) 重水素実験において高性能化したプラズマを利用して、高熱負荷環境化でのダイバータ等のプラズマ対向壁材料研究を行う。
(6) プラズマ対向壁材料における水素同位体の滞留メカニズムを明らかにし、将来の核融合炉における水素同位体収支の理解を加速する。
(7) ヘリカルプラズマの物理を学術的、体系的に理解し、ヘリカル型核融合炉の設計・製作に必要なデータベースの蓄積を図る。
(8) トカマクとの共通点・相違点を体系的に研究し、環状プラズマを総合的に理解する。

以下に、このような研究課題を遂行する為に必要な研究計画を、①高温度、②高ベータ・MHD、③高エネルギー粒子の閉じ込め、④ダイバータ、⑤プラズマ・壁相互作用、⑥加熱・定常、⑦同位体効果の課題について記載する。

[3.1-1] M. Bessenrodt-weberpals, et al., Nucl. Fusion **33** (1993) 1205.

3.1.1 高温度

定常運転に長所をもつヘリカルプラズマでは、高密度領域において良好な閉じ込め特性が示されている。そのため、高温度プラズマ生成の実証とその閉じ込め特性の研究が最重要課題の一つであり、LHDにおいても精力的な研究を展開してきた [3.1.1-1]。図3.1.1-1に、LHDプラズマの高温度領域を示す。本節では、①イオン内部輸送障壁(ion ITB)形成による高イオン温度プラズマ生成、②高電子温度プラズマの高密度化と内部輸送障壁の統合、③重水素実験における高温プラズマ輸送研究計画について述べる。

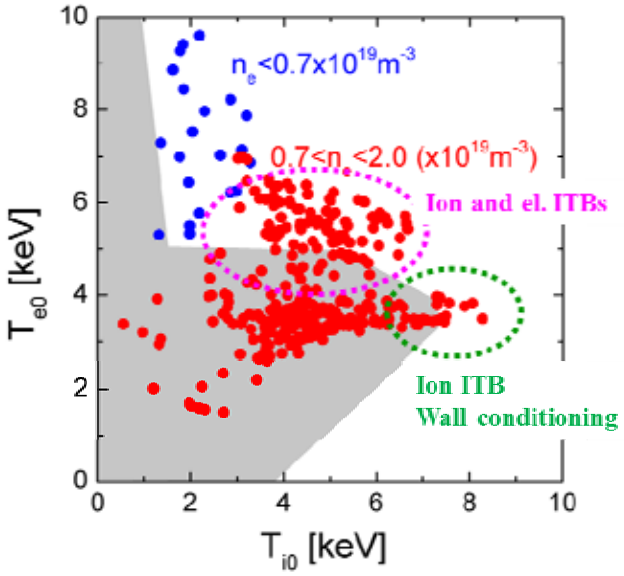


図 3.1.1-1 2013 年に LHD 実験で達成したヘリカルプラズマの高温度領域。青は低密度(n_e<0.7×10^{19} m^{-3})プラズマ、赤は中間密度の(0.7×10^{19} m^{-3}<n_e<2×10^{19} m^{-3})プラズマを示す。グレーは 2012 年までの達成領域を示す。

3.1.1.1 Ion ITB形成による高イオン温度プラズマ生成

平成17年から平成22年にかけて、低エネルギーのNBIを整備し、大電力イオン加熱実験が行われた。その結果、規格化温度勾配の大きな(R/L_{Ti}>10)尖塔化したイオン温度分布(ion ITB)の形成に成功し、イオン温度領域を飛躍的に拡大してきた。平成22年以降は、壁コンディショニングがコア領域のイオン熱輸送改善に有効であることが示され、さらにイオン温度領域が拡大された。

図3.1.1-2(a)に典型的なion ITBプラズマを示す。NBI加熱プラズマにカーボンペレット入射を行い、密度減少時に尖塔化したイオン温度分布が形成され、8 keVを超える中心イオン温度が実現されている [3.1.1-2,3]。この時、電子温度と電子密度は平坦な分布をしており、この点はトカマクプラズマのITBと対照的である。熱輸送解析の結果を図3.1.1-2(b)に示す。コアの広い領域で、イオン熱輸送が改善していることがわかる。一方、電子熱輸送は、ジャイロボーム的な依存性を維持しており、改善はみられない。

このion ITBプラズマの特筆すべき性質として、不純物の掃出しが見いだされた。イオン温度勾配の増加に伴い、径方向の不純物輸送が内向きから外向きに、非常に短い時間で遷移する。ion ITB形成後は、極端な凹型不純物分布が形成、維持される [3.1.1-4-6]。不純

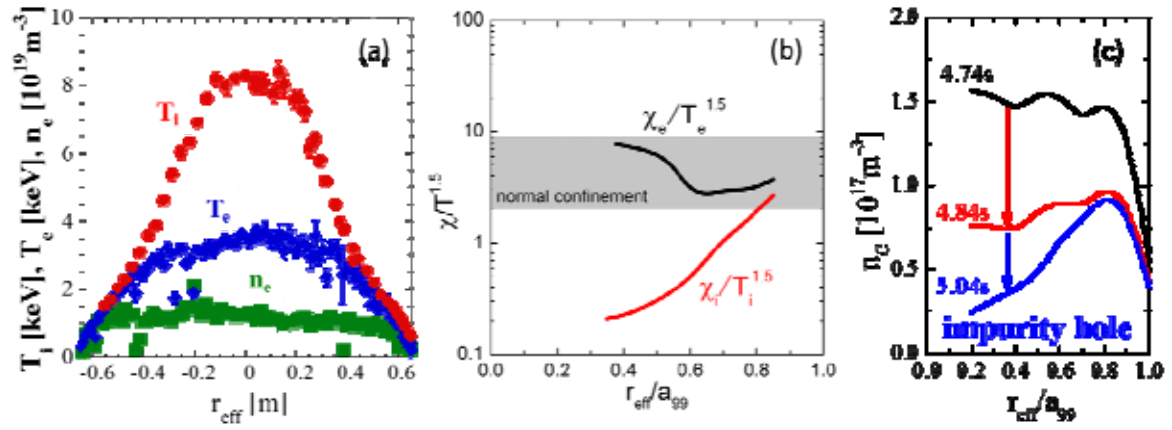


図 3.1.1-2 (a) 中心イオン温度 8.1 keV を達成したプラズマのイオン温度(赤)、電子温度(青)、及び密度分布(緑)。(b) ジャイロボーム依存性で規格化した熱輸送係数の空間分布。黒線が電子熱輸送、赤線がイオン熱輸送に対応。(c) ion ITB が形成されるときの炭素不純物の径方向分布の時間発展。Ion ITB 形成後、凹型不純物分布(impurity hole)が形成・維持される。

物輸送の変化は、温度や密度などのプラズマパラメータが変化する時間スケールより速く、その物理過程を今後明らかにする必要があるが、炉心プラズマへの見通しという点では、ヘリカル系のITBでは不純物の蓄積が起こらないことが、トカマクのITBプラズマとは異なる大変に有望な点である。

3.1.1.2 高電子温度プラズマの高密度化と内部輸送障壁の統合

高電子温度プラズマ生成は、高性能ジャイロトロン発振管の導入によりパラメータ領域を拡大させており、平成24年の実験では、4.6 MWまで増強されたプラズマ入射可能なECHパワーを活用して、13.5 keVの電子温度を1×10^{19} m^{-3}の電子密度で達成した(図3.1.1-3(a)及び(b)参照) [3.1.1-7]。この成果は、LHDの目標パラメータ(電子温度10 keV@電子密度2×10^{19} m^{-3})の達成に見通しを得たのみならず、平成25年のLHD実験の高温プラズマ研究に新たな展開をもたらした。それは、これまで困難であったion ITBとelectron ITBの統合が実現したことである。

ECHの水平方向入射の増強により、プラズマ中の共鳴層に精度よくパワー吸収させること

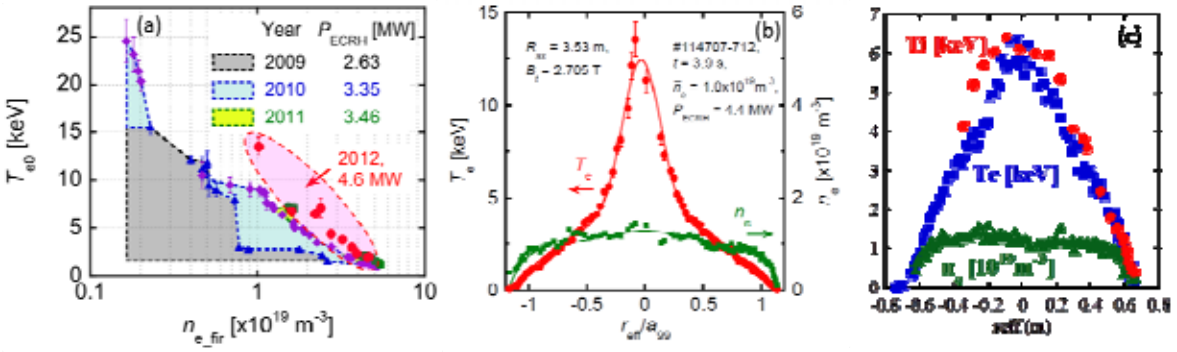


図 3.1.1-3 (a) LHD で達成された中心電子温度の密度依存性。(b) 典型的な高電子温度プラズマの電子温度分布(赤)と密度分布(緑)。(c) ion ITB 放電に中心フォーカスしたECHを重畳することで得られた ion ITB と electron ITB を同時形成したプラズマのイオン温度分布(赤)、電子温度分布(青)、および電子密度分布(緑)。

が可能となった。このECHの水平方向入射をion ITBプラズマに重畳し、高精度でプラズマの中心加熱を実施した。その結果、ion ITBとelectron ITBの同時形成に成功し、中心イオン温度、中心電子温度ともに6 keV程度のプラズマ生成を達成した(図3.1.1-3(c)参照)[3.1.1-2]。

Ion ITBとelectron ITBの統合により、新古典輸送理論が予想する径電場が複数解をもつ領域のプラズマの輸送研究が可能となった。これまでの解析で、正の径電場(電子ルート)でもイオン熱輸送改善が確認された。ただし、イオン温度勾配の最大値が電子とイオンの温度比によって制限されることが見いだされ、このイオン熱輸送改善は温度比(T_e/T_i)が1を超えない領域を維持する必要があることが指摘された。現状の実験では、幅広いion ITBプラズマ中に中心フォーカスされたECHを重畳することで、細いelectron ITBを形成させるという温度分布制御が有効である。温度比と乱流輸送の系統的な研究について、実験観測、及び非線形シミュレーションの両面から研究を進める計画である。

3.1.1.3 重水素実験における高温プラズマ輸送研究計画

重水素実験では、重水素ビームによるNBI加熱が計画され、バルクのイオン加熱効率の増加によりT_{i0}=9 keVを超える高T_iプラズマ生成が可能と予想されている(図3.1.1-4)。さらに、トカマクで観測されている同位体効果を活用することにより、LHDの目標パラメータT_{i0}=10 keVを達成できると考えられている。重水素実験では、高温度領域の拡大とそれにより可能となる以下の課題に取り組む計画である。

(1) **高温度領域の拡大**:イオン加熱パワーの増大と同位体効果の活用により、T_{i0}=10 keVを超える高温プラズマ生成の実証。

(2) **同位体効果の検証とその活用**:LHDでは、リサイクリング低減がコアの閉じ込め改善に寄与していることから、重水素実験ではさらなる閉じ込め改善がコア領域でも期待されている。系統的な実験検証から同位体効果の物理過程(リサイクリング効果、乱流輸送改善など)の定量的同定を目指す。

(3) **乱流輸送特性の検証**:NBIのイオン加熱効率の増加とECHパワーの増大、及び拡大

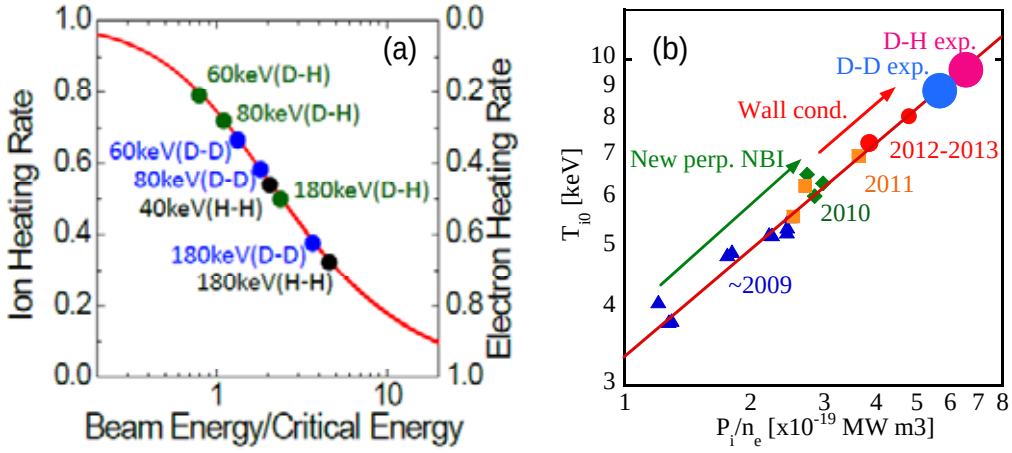


図 3.1.1-4 (a) イオン ITB プラズマをリファレンスとした場合のイオンと電子の加熱比率。(b) これまでに達成された中心イオン温度と外挿により重水素実験で予想される中心イオン温度領域。

された温度領域を有効に活用して、正電場領域におけるイオン熱輸送特性を明らかにする。特に、乱流輸送の径電場、及び温度比依存性を実験と非線形シミュレーションの両面から明らかにする。

(4) **不純物輸送機構の同定**:ヘリカルプラズマの高温度領域で観測される不純物掃出しは、プラズマパラメータ依存性が非常に複雑であり、単純なパラメータ依存性から物理過程を切り分けることには限界があると考えられる。非局所輸送(乱流の長距離相関)との関連にも踏み込んだ研究を実施する。

コア物理テーマグループ(非局所輸送過程、MHD乱流、運動量輸送、不純物輸送の体系的研究)との連携、及び数値実験炉研究プロジェクト(数値モデリング、乱流輸送の非線形シミュレーション、新古典計算など)との連携の下で、上記4つの課題に重点的に取り組む。それにより、高温度ヘリカルプラズマの放電シナリオを開発し、ヘリカル型核融合炉設計へ反映させることを目指す計画である。

[3.1.1-1] 竹入康彦他、2013年プラズマ・核融合学会年会、招待講演。Plasma Fusion Research誌に論文掲載予定。
[3.1.1-2] K. Nagaoka, et al., oral presentation (PPC 2-1) at 24th IAEA-FEC (2014).
[3.1.1-3] K. Nagaoka, et al., invited talk (I9) at 24th International Toki Conference (2014).
[3.1.1-4] K. Ida, et al., invited talk at APS-DPP(2008), and Phys. Plasmas, **16** (2009) 056111.
[3.1.1-5] M. Yoshinuma, et al., Nucl. Fusioin, **49** (2009) 075036.
[3.1.1-6] M. Yoshinuma, et al., oral presentatioin (EX 9-1) at 22nd IAEA-FEC (2010).
[3.1.1-7] H. Takahashi, et al., Phys. Plasmas, **21** (2014) 0604506.

3.1.2 高ベータ・MHD

LHDでは、これまでヘリカル型核融合炉の設計条件である体積平均ベータ値5%の実現に向けて実験を遂行し、0.425 Tと低磁場ではあるが5%を超える高ベータプラズマの準定常維持に成功している。重水素プラズマにおいては、同位体効果による閉じ込め特性の改善が期待できることから、より高磁場における高ベータ実験を遂行することにより、低衝突、低規格化イオンラーマ半径領域での高ベータプラズマ生成が期待できる(図3.1.2-1)。以下の通り研究目標を設定し、実験を遂行する予定である:

(1) 低衝突領域における(高温)高ベータプラズマの拡大
(2) 平衡・安定性ベータ限界に対する実験的知見の集積
(3) ストキャスティック磁場領域におけるプラズマ閉じ込め特性の理解
(4) 共鳴・非共鳴摂動磁場に対するプラズマ応答と輸送、安定性に対する影響
(5) MHD不安定性の非線形成長に関する物理
(6) Hモードプラズマにおける周辺部安定性制御

以下にこれまでの実験において得られた物理的知見と今後の課題について示す。

3.1.2.1 低衝突領域における高ベータ領域の拡大

これまでの実験において体積平均ベータ値5%以上の高ベータプラズマ生成を達成し、4%以上の高ベータプラズマを閉じ込め時間の百倍以上の時間で維持することに成功した[3.1.2-1]。また、高ベータ運転領域を制限する可能性があるMHD不安定性および平衡変化の性質について多くの実験的知見を得ることができた。ヘリオトロン配位ではプラズマ周辺部に磁気丘が存在することから、抵抗性交換型不安定性が高ベータ化を抑制することが懸念されていた。実験では、励起される低次不安定性の飽和強度が磁気レイノルズ数の-1/3乗に比例し、予測される線形成長率の依存性と定性的に一致することを明らかにした[3.1.2-2](図3.1.2-2)。本結果は、炉で想定されている低衝突(高磁気レイノルズ数)領域において、MHD安定性の成長率および飽和強度を十分に低いレベルに抑制できることを示唆している。MHD平衡については、ベータ値上昇に伴う周辺磁場構造の乱れがプラズマ領

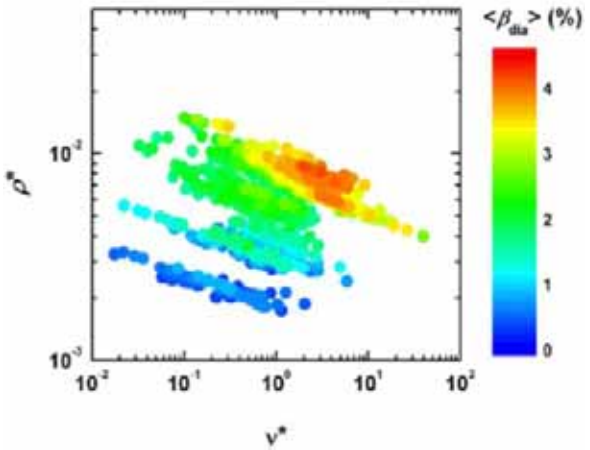


図 3.1.2-1 規格化衝突周波数 vs.規格化ラーマー半径ダイアグラム上の高ベータプラズマ生成領域

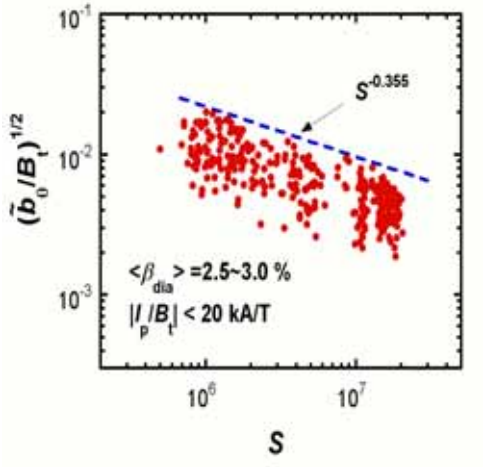


図 3.1.2-2 m/n=1/1 磁場揺動強度の磁気レイノルズ数依存性

域に浸透し、閉じ込め磁場領域が制限されることが懸念される。これまでの高ベータ実験においては、磁場が乱れたストキャスティック領域においても十分にプラズマが閉じ込められうる(圧力勾配が維持される)ことが確認されているが、今後の低衝突領域においても同等の閉じ込めが実現できるか否か検証する必要がある。エネルギー閉じ込めについては、高ベータ化に伴う緩やかな閉じ込めの劣化が観測されており、短波長の抵抗性交換型不安定性による乱流が周辺部輸送の増大をもたらしていることが予測されている [3.1.2-3]。抵抗性交換型不安定性は磁気レイノルズ数に依存性を持つことから、高ベータプラズマの高温化により低衝突高ベータプラズマを実現することにより本モデルを検証することが可能となる。

3.1.2.2　平衡・安定性ベータ限界に対する実験的知見の集積

3.1.2.1節で述べた通り、有限ベータ効果によるMHD平衡の変化が閉じ込め領域を制限し、結果として到達ベータ値を抑制する、所謂平衡ベータ限界が予測されている。三次元MHD平衡コード(HINT2)による理論解析は、体積平均ベータ値が6.7%を超えた領域より周辺部の乱れがプラズマ領域に大きく浸透することを示しており、よりプラズマの高ベータ化を図ることにより本現象を検証する必要がある [3.1.2-4]。安定性限界については、広範な磁場配位を変化させた実験研究により、理想安定性限界を超えた運転が可能である一方、線形成長率が閾値を超えた場合には不安定性が急激に成長し、プラズマ閉じ込めを大きく損う減少が観測されている [3.1.2-5,6]。本課題では、不安定性の成長と閉じ込め特性への影響について異なる衝突領域での比較を行う。

3.1.2.3　ストキャスティック磁場領域におけるプラズマ閉じ込め特性の理解

ストキャスティック磁場領域では、イオン、電子の閉じ込め特性が入れ子状の磁気面領域と大きく異なることが予測され、径電場やプラズマ流等について有意な差異が実験において観測されている(図3.1.2-3)[3.1.2-7]。また、衝突性の差異によって磁力線と平行、垂直方向の輸送特性が異なり、結果としてプラズマ閉じ込め特性に大きく影響を与えることが予測される。本課題では、(2)で挙げたストキャスティック領域形成のベータ値依存性とともに、熱パルス等を用いた磁気トポロジー変化の同定手法の確立[3.1.2-8]、磁場の乱れとプラズマ閉じ込め特性との関係等について研究を推進する。

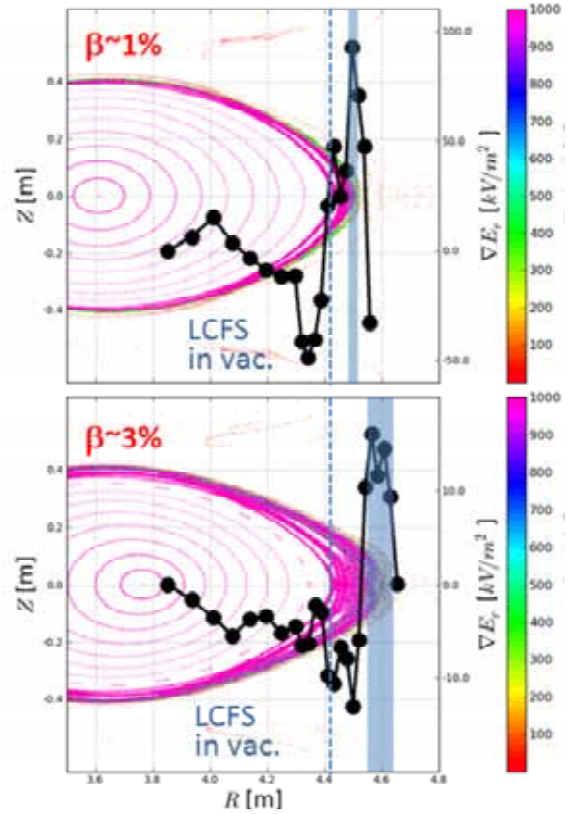


図3.1.2-3　$\langle\beta\rangle$ = 1%及び3%のプラズマにおける磁力線構造とポロイダル流分布

3.1.2.4 共鳴・非共鳴摂動磁場に対するプラズマ応答と輸送、安定性に対する影響

摂動磁場は、誤差磁場等の修復に用いられる一方、安定性制御やプラズマのデタッチメント等、摂動磁場を積極的に用いた研究を行っている。本課題では特に摂動磁場印加時におけるプラズマ応答(平衡、安定性、及び輸送等の変化)に着目して研究を進めており、特に摂動磁場に対するプラズマによる遮蔽は、衝突性やベータ値、磁場配位パラメータ等の無次元量に強く依存することが分かっている [3.1.2-6,9]。重水素実験を行うことにより運転領域をさらに拡大し、同依存性を明らかにする。

3.1.2.5 MHD不安定性の非線形成長に関する物理

ヘリオトロン配位では、有限ベータ効果による磁気井戸の形成によりプラズマコア領域の安定性を確保することが可能である一方、周辺部は磁気丘構造となるため、低～高ベータ領域における交換型不安定性の特性理解は重要課題の一部である。これまでの観測では、交換型不安定性の飽和強度、発現がベータ値および磁気レイノルズ数に依存すること[3.1.2-10]、回転周波数が電子流と定量的に一致すること [3.1.2-11]、抵抗性交換型モードのエネルギー閉じ込めに対する影響は最大で10%程度であること [3.1.2-12]等、多くの知見が得られている。今後の課題としては、成長率と飽和過程のダイナミクス、径方向構造(磁気島形成の有無およびそのパラメータ依存性など)の実験的理解が挙げられる。

3.1.2.6 Hモードプラズマにおける周辺部安定性制御

LHDにおけるHモードは、高ベータ領域において再現良く観測されているが、遷移後の圧力勾配増加に伴う周辺部MHDモードの不安定化が閉じ込め改善度に影響を与えている[3.1.2-13]。また、トカマクにおいて観測されるエッジ局在化モード(ELM)に酷似した現象も観測されており、外部摂動磁場を用いた安定性制御実験を推進している [3.1.2-14]。Hモードプラズマの閉じ込め性能に影響を与える不安定性の制御手法の確立が本研究の課題であり、外部摂動磁場や超音波ガスパフ等を用いた安定性制御実験をさらに進める必要がある。

[3.1.2-1] S. Sakakibara, et al., "MHD study of the reactor-relevant high-beta regime in the Large Helical Device", Plasma Physics and Controlled Fusion, **50** (2008) 124014.
[3.1.2-2] S. Sakakibara et al., "Study of MHD Stability in LHD", Fusion Science and Technology, **58** (2010) 176-185.
[3.1.2-3] H. Funaba, et al., "Local Transport Property of High-Beta Plasmas on LHD" Fusion Science and Technology, **58** (2010) 141-149.
[3.1.2-4] Y. Suzuki, et al., "Effects of the Stochasticity on Transport Properties in High-β LHD", Plasma and Fusion Research, **4** (2009) 036.
[3.1.2-5] K.Y. Watanabe, et al., "Effects of global MHD instability on operational high beta-regime in LHD", Nuclear Fusion, **45** (2005) 1247-1254.
[3.1.2-6] S. Sakakibara, et al., "Response of MHD stability to resonant magnetic

perturbation in the Large Helical Device", Nuclear Fusion, **55** (2013) 014014.
[3.1.2-7] Y. Suzuki, et al., "3D plasma response to the magnetic field structure in the Large Helical Device", Nuclear Fusion **53** (2013) 073045.
[3.1.2-8] K. Ida, et al., "Topology bifurcation of a magnetic flux surface in magnetized plasmas", New Journal of Physics, **15** (2013) 013061.
[3.1.2-9] Y. Narushima, et al., "Dependence of spontaneous growth and suppression of the magnetic island on beta and collisionality in the LHD", Nuclear Fusion **48** (2008) 075010.
[3.1.2-10] S. Sakakibara, et al., "Onset of Resistive Interchange Mode in the Large Helical Device", Plasma and Fusion Research, **1** (2006) 049.
[3.1.2-11] Y. Takemura, et al., "Rotation of Interchange Instability in the Large Helical Device", Plasma and Fusion Research, **8** (2013) 1402123.
[3.1.2-12] K.Y. Watanabe, et al., "Effect of pressure-driven MHD instabilities on confinement in reactor-relevant high-beta helical plasmas", Physics of Plasmas, **18** (2011) 056119.
[3.1.2-13] K. Toi, et al., "L-H Transition and Edge Transport Barrier Formation on LHD", Fusion Science and Technology, **58** (2010) 61-69.
[3.1.2-14] K. Toi, et al., "Mitigation of large amplitude edge-localized modes by resonant magnetic perturbations on LHD", Nuclear Fusion, **54** (2014) 033001.

3.1.3 高エネルギー粒子の閉じ込め

LHD重水素実験においては、NBIやICRFによって生成される高エネルギーイオンの閉じ込め性能の評価を進め、将来の核融合炉におけるα粒子閉じ込めの評価に資する。MHDについては、高速イオン励起MHD不安定性がもたらす高エネルギーイオンの輸送・損失過程に注目した研究を進める。

重水素プラズマでは温度やエネルギーに応じた確率で重水素同士による核融合反応が起き、それに伴い中性子が放出される。重水素プラズマ中で起きる核融合反応について以下に記す。

一次反応	D	＋D	→	n	(2.45 MeV)	＋ ^{3}He	(0.82 MeV)
	D	＋D	→	p	(3.03 MeV)	＋ T	(1.01 MeV)
二次反応	T	＋D	→	n	(14 MeV)	＋ α	(3.5 MeV)

重水素中性粒子ビーム入射加熱実験において、中性子は、1)熱核融合反応(バルクイオンーバルクイオン)、2)ビーム成分ーバルクイオン反応、3)ビーム成分ービーム成分反応の3つの過程で発生する。通常、過程2、所謂TCT(two-energy-component torus)反応により発生する中性子が支配的である。別の角度から見れば、発生する中性子は、中性粒子ビーム入射によりプラズマ中に生成される高エネルギーイオンの閉じ込めの情報を有していると言える。例えば、図3.1.3-1に示すように磁気軸の位置を変えることによる高エネルギーイオンの空間分布の変化が、中性子発生分布の変化として観測されることが予想される。これまで、LHDにおいては、磁気軸を内寄せすることによる新古典拡散における最適化配位は、そこで心配されたMHD不安定性の影響が深刻なものではなく、ICRF、或いは垂直NBIによって生成された高エネルギー捕捉粒子の閉じ込めにおいて優れていることが明らかになった。重水素実験においては、プラズマ中での高エネルギーイオンの空間分布測定が可能となり、これら高エネルギーイオンの径方向輸送についての理解が深まる。

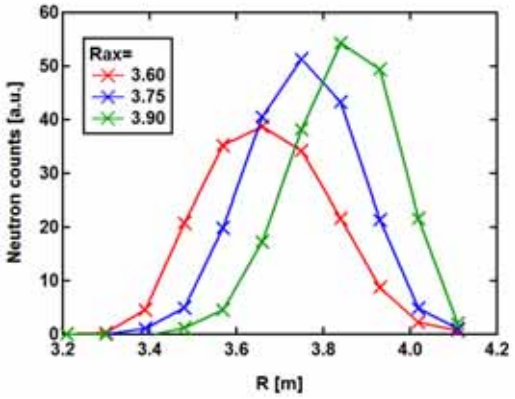


図 3.1.3-1 FIT3D コードに基づく磁気軸を変えた際の中性子プロファイルの変化

重水素プラズマでは、D-D核融合反応の結果、トリトン、^{3}Heイオン、プロトンといったMeV領域の核反応生成物が生成される。これらは、生成時に速度空間において等方的な形で放出される。LHDの重水素実験では、核反応生成物の挙動を精査するために、損失核反応生成物を真空容器内で直接検出するシステム、損失高エネルギーイオンの衝突に起因する真空容器壁上の局所熱負荷を測定する赤外線カメラ、及びMeV領域の高速中性粒子のエネルギー分布測定が可能なダイヤモンド検出器アレイの導入を計画している。仮に核反応生成物が軌道損失するとすれば、その軌道に応じて、基本的には大半径方向の外側(co-通過粒子)と内側(counter-通過粒子)、また二本のヘリカルコイルの谷間に沿った位置(ヘリカルリップル捕捉粒子)に損失してくると考えられる。これらの位置に損失高速イオンプ

ローブを並べてアレイ化し、損失核反応生成物の多地点検出を行う。また、最終的に真空容器壁に高エネルギーイオンが衝突すると見込まれる位置を見込む形で高速赤外線カメラを設置し、真空容器壁上の温度変化を観測する。これにより、高エネルギーイオンの損失位置、並びに損失量を定量評価できる可能性がある。また、協同トムソン散乱はプラズマ中に閉じ込められた高エネルギーイオンの速度分布関数を計測するのに適しており、そのイオンの減速過程を追跡することが出来る。これにより、核反応生成物の速度分布関数を得ることが可能となる。数値計算においては、これまでGNETシミュレーションにより内寄せ配位において、ヘリカルリップル捕捉軌道をもつ1 MeVのトリトンが閉じこめられることが予想されている(図3.1.3-2)。上記のように、実験、数値シミュレーション双方の観点から損失核反応生成物の速度分布、損失位置、並びにそのエネルギーやピッチ角($v_{//}/v$)を詳細に調べることにより、それらの軌道損失過程を明らかにし、高エネルギー核反応生成物の軌道損失を抑えることのできる磁場配位の探求を行う。

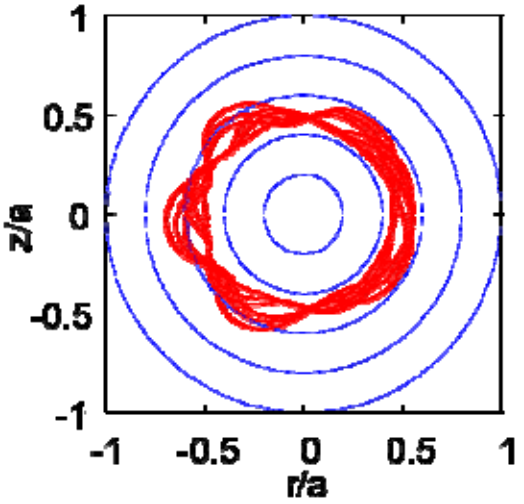


図 3.1.3-2 LHD 内寄せ配位における捕捉軌道を持つ核融合反応生成トリトンの軌道

これまでの軽水素実験において、AE発生時に、シンチレータ型損失高エネルギーイオンプローブ(SLIP)によってプラズマ外へ逃げる高エネルギーイオン束の増加が観測され、また、荷電交換中性粒子分析器によって高速イオンの径方向輸送及び損失が確認されている(図3.1.3-3)。重水素実験においては、中性子総発生率から高エネルギーイオンの巨視的な閉じ込め、中性子発生分布から高エネルギーイオンの径方向輸送を明らかにできる。モードの励起において重要なパラメータの一つである高エネルギーイオンの空間分布情報の取得が現行の実験では困難であった。今後、中性子プロファイル測定を通じてAEの安定化/不安定化条件の探求に踏み込んだ研究を行う計画である。SLIPと併用することで、高エネルギーイオンがどのように輸送され、どのようにプラズマ外へ損失したかを明らかにし、その損失過程の解明ができると考える。加えて、AEの特徴周波数は、$A^{-0.5}$に比例することから、軽水素プラズマに比して下がるため、計測精度および理論との比較研究の向上が期待できる。

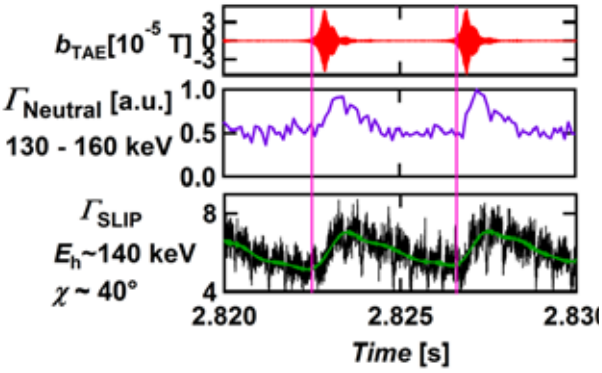


図 3.1.3-3 アルヴェン固有モード発生時に観測された高速中性粒子と損失高速イオン束の増加

3.1.4 ダイバータ

ダイバータは、プラズマが物質表面に直接接触する唯一の領域である。閉じ込め領域（磁気面）から漏れ出たプラズマは、磁気面を取り巻くストキャスティック領域、その後ダイバータレッグを通ってターゲット板（等方性黒鉛）に接触する。プラズマの接触は再結合をもたらすために中性粒子が発生する。中性粒子は磁場と無関係に動いてプラズマ周辺部に漂い、再び電離してプラズマとなる。この過程は粒子リサイクリングと呼ばれ、周辺プラズマの圧力分布形成に重要な役割を果たす。重水素放電では，イオン質量の違いによるスパッタリング（スパッタリング係数，反射率，反射粒子のエネルギー分布等）の変化から、粒子リサイクリングが軽水素と異なることが予想される。リサイクリングの変化は、周辺プラズマの分布形成を通してコアプラズマの閉じ込めに影響を与える可能性がある。従って重水素実験では、このような同位体効果と、それが主プラズマの閉じ込め性能に与える影響を調べることは最重要課題の 1 つである。

LHD では重水素実験に向けて、効率的なリサイクリング制御を行うために「閉ダイバータ」を整備してきた。図 3.1.4-1 に、閉ダイバータと従来の開ダイバータ部における中性粒子圧力の比較を行った実験結果を示す。両ダイバータともに、プラズマの平均密度の上昇に伴ってダイバータ部の中性粒子圧力は上昇するが、閉ダイバータ部の圧力は、開ダイバータのそれと比較して、10 倍以上高い圧力が得られることが分かる。閉ダイバータにおける中性粒子のこのような圧縮効果は、粒子排気を行う上で極めて重要である。

重水素実験では上述した閉ダイバータの能力をフルに活用し、主プラズマ性能の向上を目指す。これまでの実験で、プラズマと真空容器壁との間に存在する中性粒子密度が低いほどリサイクリングが小さくなり、周辺プラズマの密度が低く抑えられてコアプラズマの性能が向上することが分かっている。閉ダイバータは、クライオポンプを備えており、バッフルで閉じ込められた中性粒子を排気することでプラズマ周辺部への拡散を抑えることが可能である。クライオポンプの設置は順次行われており、排気能力は段階的に増加する予定である。上に述べたように、閉ダイバータにおいて十分な粒子圧縮効果が確認されたことから、全てのクライオポンプが設置された場合、総排気量は高密度放電時に供給する粒子全てを単独で（本体の真空排気装置とは独立に）排気可能となることが予想できる。閉ダイバータは 10 個のモジュールに分かれており、それぞれのクライオポンプは個別に制御できるため、排気量を調節することも可能である。これにより，ダイバータ排気が周辺プラズマの構造形成に与える影響を詳細に調べる予定である。

ヘリカル系に元々存在するストキャスティック層に「共鳴摂動磁場（RMP）」を印加して能動的に制御する手法の確立も目指す。RMP によるストキャスティック層の

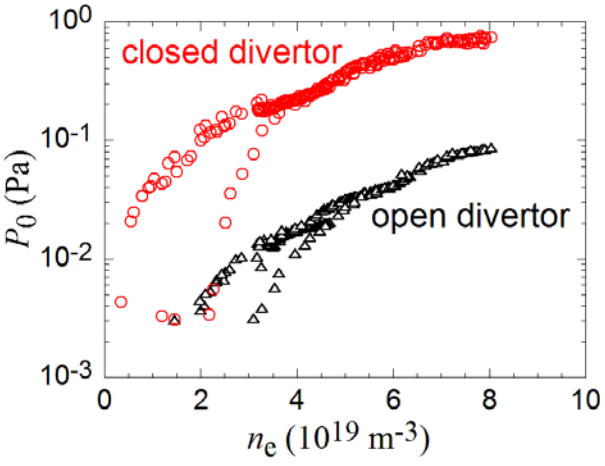


図 3.1.4-1 閉ダイバータと従来の開ダイバータ内の中性粒子圧力

制御では、プラズマ周辺部における放射冷却の促進と不純物の輸送制御（遮蔽）とともに、ダイバータプラズマが受熱板と接触する位置や面積を変化させることが可能であることが最近の研究で分かってきたため、ダイバータ板への熱負荷を RMP で軽減する包括的な制御シナリオの構築も視野に入れる。その際、RMP と閉ダイバータの組み合わせによる周辺プラズマ制御性の相互増進に留意する。ダイバータ板を高熱負荷から守る方法として、現時点で最も有力視されている「非接触プラズマ」の実現があるが、非接触状態を安定に維持することが課題である。放射冷却の制御が難しいトカマクと異なり、ヘリカル系ではストキャスティック層によるパワーバランスの制御が可能であるため、閉ダイバータによる中性粒子制御で非接触状態を実現し、RMP でパワーバランスの調整を行ってそれを安定に維持できる運転領域を同定する。図 3.1.4-2 に、LHD 実験で得られた放射パワーの電子密度依存性を示す。RMP の印加によって放射パワーが増大し、その状態を高密度領域まで安定に保持できていることが分かる。

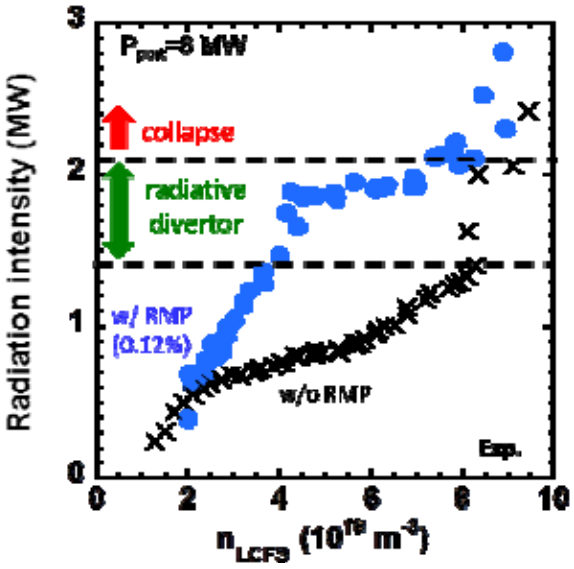


図 3.1.4-2　放射パワーの電子密度依存性

ダイバータに求められるもう1つの機能は「ヘリウムの排気」である。これは、将来の燃焼炉を展望する上で極めて重要である。LHD のダイバータポンプはクライオポンプであるため、もともとヘリウムの排気能力は有していない。しかしバッフル内に、ヘリウムおよび水素同位体、種々の原子過程で生じた各種気体が、どのような割合でどの程度存在しているか同定することは、今後、炉設計を進めて行く上で極めて重要である。

3.1.5 プラズマ・壁相互作用

環状プラズマの総合的理解には、「コア～周辺～壁」における熱・粒子・物質の輸送を包括的に理解する必要がある。図 3.1.5-1 に、重水素実験においてプラズマ・壁相互作用(PWI)の研究課題で取り扱う 3 つの輸送研究とその位置付けを示す。重水素実験における PWI 研究では、「①熱輸送」、「②粒子輸送」、「③材料輸送」の 3 つの輸送研究に分けて研究を進める。以下にそれぞれについての具体的内容を述べる。

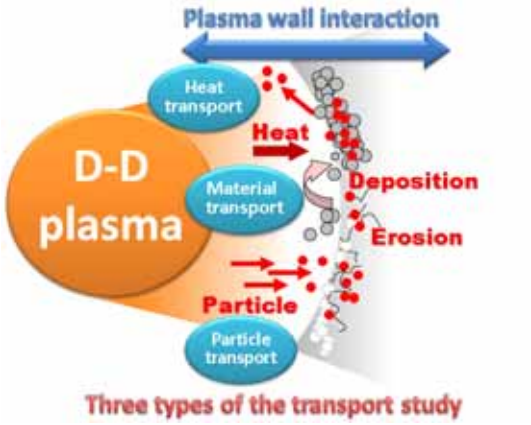


図 3.1.5-1 PWI 研究課題で取り扱う3つの輸送研究とその位置付け

3.1.5.1 熱輸送

熱輸送研究では、過渡的熱負荷と定常熱負荷に分けて考える。ヘリカル炉(FFHR-d1)を想定した場合、特に定常熱負荷について考えておく必要がある。重水素実験の定常長時間放電では、FFHR-d1 での材料中の熱輸送を予測するための基礎データの取得を行う。例えば、FFHR-d1 で下記の反応により 1 GW の発電出力を得るには、発電効率を 33%として 3 GW の核融合出力が必要である。

$$D + T \rightarrow {}^{4}He\ (3.52\ MeV) + n\ (14.06\ MeV)$$

この時、α 出力は 3 GW×3.5/(14+3.5)=600 MW となる。制動輻射による損失パワー100 MW を差し引くとダイバータへの熱負荷は 500 MW が想定される。ダイバータ受熱面積を LHD(2 m^2)の 16 倍の約 32 m^2、放射損失が α 加熱パワーの 35%であると仮定すると、ダイバータへの平均熱流束は 10 MW/m^2、第一壁への放射パワーの平均は 0.4 kW/m^2 と見積もられる。一方、平成 25 年度の LHD 定常放電(加熱: 1.2 MW, n_e~1×10^{19} m^{-3}, T_i~2 keV, 48 分間)におけるエネルギー収支の内訳は、制動放射による損失パワー:17%、ダイバータ熱負荷:56%、その他対向機器への熱負荷:27%であり、ダイバータへの熱負荷平均値は約 0.6 MW/m^2 であった。これらの収支割合は、先に述べた FFHR-d1 での予測に対して異なっていることがわかる。この要因として、加熱入力が最適化されていない、あるいは熱負荷分布計測の精度に問題がある、などが考えられる。まずはこれらの最適化が必要である。また、重水素実験の RF 加熱は、水素マイノリティ重水素放電で行われるため、FFHR-d1 に近い加熱条件下での熱輸送研究を通じて、より確度の高い対向材料の設計を行うことが可能となる。

3.1.5.2 粒子輸送

PWI の観点からの粒子輸送研究の位置付けを図 3.1.5-2 に示す。重水素プラズマでは、主に下記の核反応によって中性子とトリチウムが発生する。

$$D + D \rightarrow {}^{3}He\ (0.82\ MeV) + n\ (2.45\ MeV) \qquad (3.1.5.2\text{-}1)$$

$$D + D \rightarrow T\ (1.01\ MeV) + p\ (3.03\ MeV) \qquad (3.1.5.2\text{-}2)$$

大型の核融合実験システムにおいて、システム内での水素同位体の総捕捉量、いわゆる水

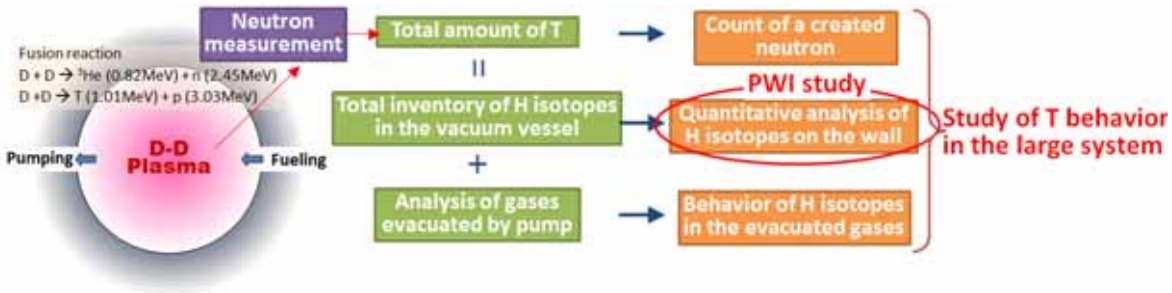


図 3.1.5-2 重水素実験における水素同位体収支の評価とその中でのプラズマ・壁相互作用研究(PWI study)の位置付け

素同位体収支を把握することは、FFHR-d1 の設計において重要な課題である。この課題に取り組むに際しては、トリチウムの定量計測を積極的に取り入れる。これにより、定量精度が向上することが考えられる。アプローチの手段として、図 3.1.5-2 に示すような二つの方法がある。一つ目の方法は、核反応(3.1.5.2-1)式と(3.1.5.2-2)式の発生確率を 1:1 とし、中性子発生数の計測からトリチウム生成量を見積もる方法である。二つ目の方法は、対向材料表面に捕捉された水素同位体の定量評価と真空排気されたガス量の総和からの算出である。粒子輸送研究では、これらのうち、図 3.1.5-2 中に「PWI study」として枠で囲んであるように、二つ目の方法の中の壁材料表面に捕捉された水素同位体の定量評価に貢献する。壁材料表面に捕捉された水素同位体の定量評価を全ての壁表面に対して実施することで、水素同位体の総捕捉量の把握を目指す。これには、LHD 対向壁表面の各所に長期試料を設置し、分析を行う、いわゆる「長期設置試料実験」を基本とする。

また、壁材料表面に捕捉された水素同位体の定量評価を実施するに際して注目すべき点は、水素同位体同士の壁表面での置換率の把握と、短パルス運転と長パルス運転での捕捉量の比較である。これらは長期設置試料実験では把握が困難なため、可動式のマテリアルプローブシステムを利用した実験を行う。図 3.1.5-3 は、(a)可動式マテリアルプローブ実験および(b)長期設置試料実験後における試料分析の流れを示している。照射後の各種試料は、試料加工室において、粗切断⇒精密切断⇒精密研磨の順に加工が行われた後、「水素蓄積量の定量深さ分布解析」および「表面変質の微細構造解析」の2つのルートで各種分析実験に供される。これにより、水素同位体の捕捉特性を原子レベルでの照射欠陥の形成と関連付けて根本的に理解することができ、大型の核融合実験システムにおける水素同位体収支の理解の加速が期待される。

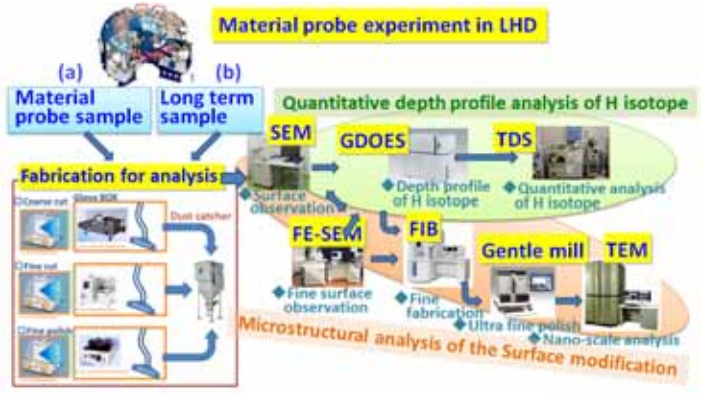


図 3.1.5-3 (a)可動式マテリアルプローブ実験、及び (b)長期設置試料実験後の試料分析の流れ

3.1.5.3　材料輸送

LHD のプラズマ対向材料は第一壁にステンレス鋼、ダイバータに炭素材が使用されている。これらの材料はプラズマ照射により損耗を受け、再堆積層が形成される。損耗と堆積は対向材料の場所ごとに異なっており、長時間放電では、堆積優先領域に蓄積された堆積層がかさぶたのように剥離を起こし、ダストとなってプラズマ中に混入し、放電を止める要因となっている。LHD 堆積層は、金属材料(主に Fe)と炭素材料(C)が混合された構造、すなわち Mixed-material 堆積層であることがわかっている。図 3.1.5-4 に、Mixed-material 堆積層の構造解析の例を示す。Mixed-material 堆積層は構造的に不安定であり、剥離を引き起こしやすい。材料輸送研究では、このような損耗・再堆積過程を壁材料全体において明らかにする。重水素プラズマで特に注目すべき点は、軽水素プラズマと比較して、壁材料の物理スパッタリング率が高くなる(炭素材料で約 2 倍)点である。これに伴い材料輸送が活発化し、軽水素プラズマと比較して堆積層の成長速度が高くなる可能性がある。このような違いがプラズマ特性やトリチウムインベントリーにどのような影響を与えるのかを検討する。

実験手段としては、「②粒子輸送」の図 3.1.5-3 で述べた(a)可動式マテリアルプローブ照射試料と(b)長期設置試料の材料学的な分析を用いる。(a)では、特に重水素の長時間放電においてダイバータや第一壁に材料試料を挿入し、その後、材料分析を行う。結果より、損耗や堆積とそれに伴う水素同位体捕捉量を照射時間の関数として整理する。(b)では、損耗優先領域と堆積優先領域の対向材料表面の分布状態を把握し、場所の違いによる水素同位体の捕捉量の違いを導出する。これらのデータを、数値実験炉研究プロジェクトとの連携によるシミュレーション解析研究と比較し、壁材料全体における材料輸送のモデル化を行う。

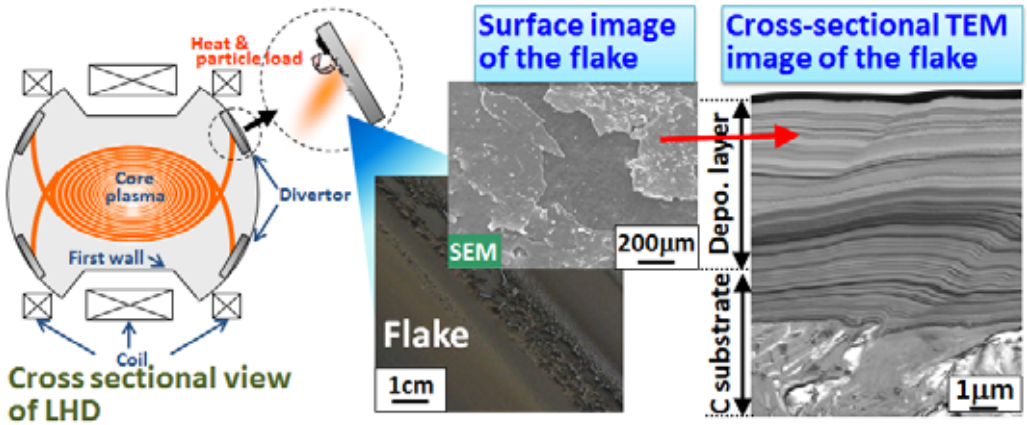


図 3.1.5-4　LHD で形成された Mixed-material 堆積層(C+Fe)の構造解析の例

3.1.6 加熱・定常

3.1.6.1 イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)加熱

イオンサイクロトロン周波数帯(ICRF)加熱実験においては、これまで主としてヘリウムを用いていたが、重水素実験の開始に伴い重水素を使用することになる。ただし、charge to mass ratioは同じため、基本的な波動物理は同じである。しかしながら、それらの質量差や化学的な性質の違い、NBIによる重水素ビーム等、加熱に影響を及ぼすと考えられる違いが多く存在する。また、重水素を用いることで荷電交換中性粒子分析器(NPA)等により軽水素/重水素比が精度よく計測されるなど新たな観測データが利用できるようになることから、ICRF加熱の加熱物理をこれまで以上に深く調べることができる環境が整う。以下にICRF加熱による加熱実験及び定常実験における研究課題について列記する。

(1) 少数イオン加熱

重水素を通常のガスとして使用すれば、軽水素少数イオン比を下げることが容易になり、有効な加熱条件を得易くなることにより、多くの放電で加熱に寄与することが期待される。図3.1.6-1は、PLTトカマクでの重水素多数イオン、軽水素少数イオンでの少数イオン加熱の例であり、少数イオン比は1%以下である [3.1.6-1]。

また、これまで軽水素ペレットによる高密度放電では、軽水素が多過ぎてICRF加熱が有効ではなかったが、重水素ペレットで高密度プラズマができれば高密度プラズマの加熱にも貢献できる可能性が有る。

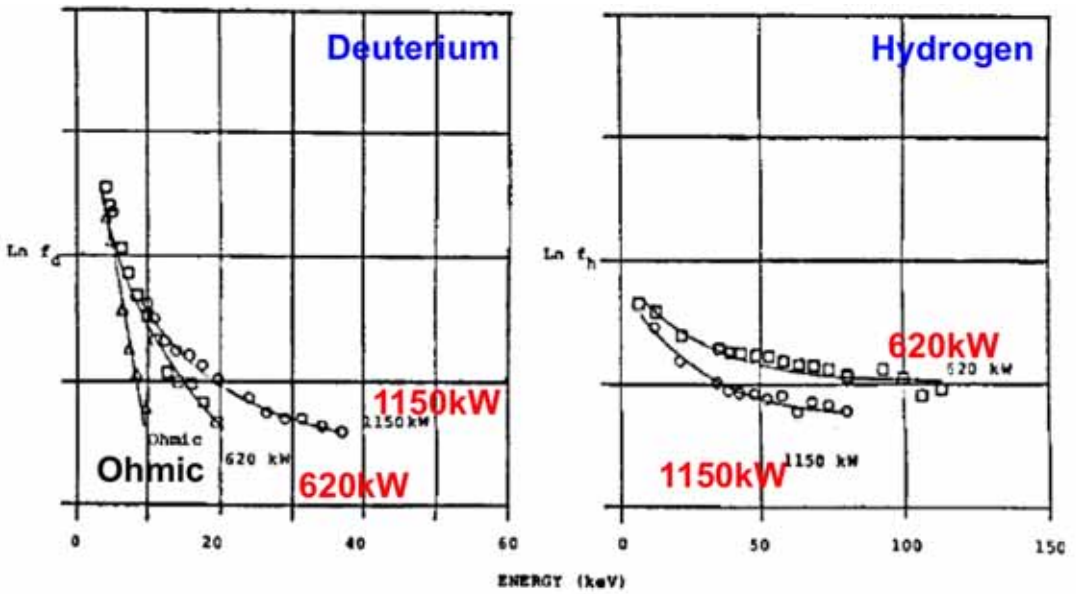


図 3.1.6-1 PLT 重水素プラズマにおける軽水素少数イオンサイクロトロン加熱シナリオ時の(左)重水素イオン及び(右)軽水素イオンのエネルギースペクトル

(2) 第二高調波加熱

重水素ビーム、あるいは、重水素が加熱されている状況であれば、第二高調波による重水素加熱が期待される。図3.1.6-2は、LHDにおいて磁場強度を半分に下げ軽水素を用いた

場合の、高エネルギーイオンスペクトルの軽水素ビーム有り無しの比較である[3.1.6-2]。軽水素NBI入射が有る方が大きなイオンテイルが見られている。また、重水素の第二高調波のサイクロトロン共鳴層の位置は軽水素の基本波と同じであり、軽水素が存在すれば、第二高調波加熱と少数イオン加熱の両方が期待される。図3.1.6-1では、加熱入射電力が小さい時は軽水素テイルが大きいが、入射電力が大きい時は重水素イオンテイルの方が大きくなっており、入射電力の増加とともに少数イオン加熱から第二高調波加熱の方が有効になっていくことが示唆される。

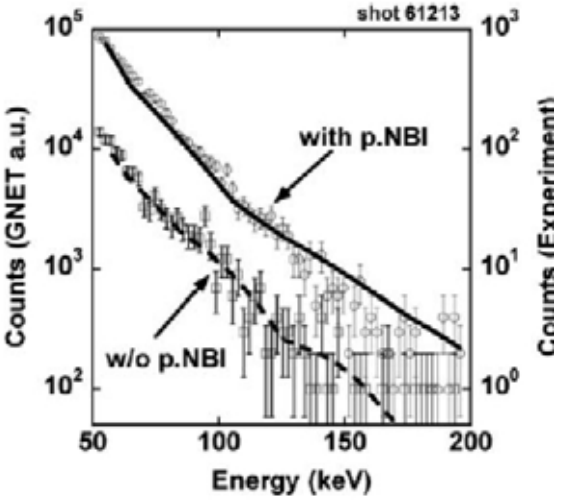


図 3.1.6-2 LHD における軽水素第二高調波イオンサイクロトロン加熱シナリオ時の垂直NB入射有無による軽水素イオンスペクトルの違い

(3) その他の加熱及び物理実験

重水素多数イオン、ヘリウム3少数イオンでの少数イオン加熱により興味深い実験結果が得られている。図3.1.6-3は、重水素多数イオンの温度上昇を、少数イオンが軽水素の場合とヘリウム3の場合とで比較したものである [3.1.6-1-3]。軽水素が少数イオンの場合より、ヘリウム3が少数イオンのときの方が重水素イオンの温度上昇が大きいことが報告されている。

また、加熱により生成されるイオンテイルや核融合反応生成物は、高エネルギーイオンの振る舞いやそれらの炉に対する影響等の研究に寄与することができる。JT-60Uの実験では、様々な核融合反応生成物からのイオンサイクロトロン放射が計測されている。また、ICRF放電洗浄でのヘリウムと重水素による効果の違いは、興味深い研究課題である。

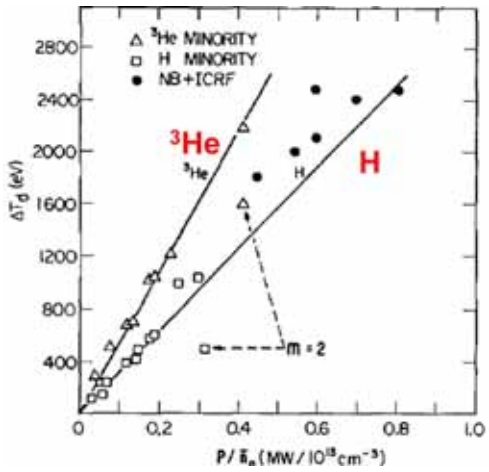


図 3.1.6-3 軽水素及びヘリウム 3 少数イオン加熱シナリオ時の実効イオン温度の違い

(4) 定常実験

これまで行われた定常実験は、ヘリウム多数イオンによるものであり、容器壁での堆積層の生成とその剥離によるプラズマの崩壊が大きな問題となってきた。重水素を多数イオンとするプラズマにおいて、プラズマー壁相互作用がどのようになるのかは、将来の核融合装置を見通す上で大変興味深い知見が得られるものと期待される。このことも含めて重水素を用い

た定常プラズマ放電を行うことにより、炉材料や炉工学、計測や運転、制御等について新たな重要な知見が得られるものと期待される。

3.1.6.2 電子サイクロトロン共鳴加熱(ECH)

ECH装置のハードウェア整備状況については2.3.2節に記述がある。ここでは重水素実験を含む今後のLHD実験において、ECH加熱技術を用いて推進していくべき主な物理課題について述べる。

(1) 電子バーンシュタイン波(Electron Bernstein Wave, EBW)加熱

EBW加熱法は、ECHに用いられる電子サイクロトロン波周波数帯の異常波(eXtraordinary mode wave, X波)をプラズマ中の高域混成共鳴層(Upper Hyblid Resonance layer, UHR層)にて静電波であるEBWに変換し、加熱に用いる手法である。LHDに適用可能なモード変換法として、高磁場側からX波をUHR層に向けて入射するslow-XB 法と、弱磁場側から正常波(Ordinary wave, O波)を適切な角度で入射し、プラズマ遮断層でX波にモード変換した後さらにEBWにモード変換させるOXBがあり、並行して研究を進めている。本手法の利点は、X波やO波がそれぞれの遮断密度制限により高密度プラズマ加熱には適用不可能なのに対し、EBWは遮断密度の制限がなく、高密度プラズマに対しても加熱効果を期待できることである。

(2) 電子サイクロトロン波電流駆動(Electron Cyclotron wave Current Drive, ECCD)

ECHの局所加熱特性を生かした局所的な電流駆動が可能である。EC波のトロイダル方向斜め入射により、ドップラーシフトした共鳴加熱条件からEC波進行方向と同方向に進む電子の選択的加熱が生じ、結果としてEC波進行方向と逆向きの電流を駆動することができる。LHDではこれまでに線平均電子密度0.3×10^{19} m^{-3}のプラズマに対し約800 kWのEC波を最適角度で斜め入射することにより、40 kA以上の電流駆動を実現している。平成26年にはトロイダル方向に大きな可動範囲を持つOポートのEC波入射アンテナが2セットから4セットに増設されたことから、ECCDに適用可能なEC波電力が増強され、さらなる駆動電流の増大が期待できる。実現される大電流によって、プラズマに生じるMHD不安定性の安定化、電流分布制御、回転変換分布制御などのプラズマ制御手法を確立する。

(3) 内部輸送障壁(Internal Transport Barrier, ITB)形成、高電子温度達成

プラズマコア領域への局所ECHによりコア部に熱輸送の小さい閉じ込め改善領域を形成することで、コア部周辺に急峻な電子温度勾配を持つ電子温度分布と、プラズマ中心での高電子温度を実現する。LHDではこれまでに線平均電子密度0.2×10^{19} m^{-3}のプラズマで中心電子温度20 keV以上、線平均電子密度1×10^{19} m^{-3}のプラズマで中心電子温度13 keVを達成している。平成26年度には新たに1 MW出力の154 GHzジャイロトロンが実験に適用されECH加熱電力がそれまでの4.6 MWから5.6 MW程度に増強される予定であり、より高い中心電子温度の達成、より高い電子密度での高中心電子温度の実現が見込まれる。さらに重

水素実験開始後にももう1系統のECHシステムの増強が計画されており、LHDプラズマの高性能化を進めていく。

(4) ECHによる定常プラズマ維持

LHDでは、その特徴を最大限に発揮するための長時間放電実験を進めてきた。平成17年の110 kW ECHによる線平均電子密度 0.15×10^{19} m^{-3}、中心電子温度1.7 keVのプラズマの65分間維持達成をはじめ、平成18年の400 kW ICH (Ion Cyclotron Heating)および100 kW ECHによる0.4×10^{19} m^{-3}、1.7 keVのプラズマの54分間維持、平成25年の940 kW ICHおよび240kW ECHによる1.2×10^{19} m^{-3}、2 keVのプラズマの48分間維持 [3.1.6-4]などの大きな成果を上げてきている。ICHとECHによるプラズマ維持は大電力入射によるプラズマの高性能化に有利であるが、一方でICH加熱手法上の必要性から、プラズマ生成に使用するガス種に対する制約がある。重水素実験開始前には少数水素と多数ヘリウム、重水素実験開始後は少数水素と多数重水素の混合ガスが必要とされる。それに対しECHにはガス種の制約がなく、純粋な水素／ヘリウム／重水素によるプラズマ生成が可能である。プラズマ対向材表面状態への影響や長時間放電における壁排気特性の変化に対するガス種による差違を明らかにするため、ECH単独による長時間放電実験を進める。

ECHの大電力化によるプラズマパラメータの向上は顕著であり、平成24年の時間平均値260 kWのECHによる0.7×10^{19} m^{-3}、中心電子温度1.7 keVのプラズマの30分間維持に対して、平成25年には340 kWのECHによる 1.1×10^{19} m^{-3}、中心電子温度3.5 keVのプラズマの325秒間の維持に成功している。340 kWのECHによる放電では電子温度分布がプラズマ中心付近で急峻な温度勾配となっており、内部輸送障壁が形成されている。これは内部輸送障壁を持つ高性能プラズマの定常維持実現の可能性を示している。

[3.1.6-1] J.R. Wilson, et al., “ICRF Heatiing Experimments on the PLT Tokamak”, AIP Conference Proceedings, **129** (1985) 28.
[3.1.6-2] D. Hwang, et al., “High-Power ICRF and ICRF plus Neutral-Beam Heating on PLT”, Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research 1982, Vol.II (1983) 3.
[3.1.6-3] K. Saito, et al., “ICRF Heatiing and Ion Tail Formation in LHD”, Fusion Science Technology, **58** (2010) 515.
[3.1.6-4] H. Kasahara, et al., “Progress of High-Performance Steady-State Plasma and Critical PWI issue in the LHD”, Proc. 25th FEC, Saint Petersburg, 2014, **EX7-3**.

3.1.7 同位体効果と高性能化がもたらす物理課題

LHD重水素実験では、同位体効果を調べつつ、プラズマの閉じ込め改善実験が行われる。これにより、核燃焼プラズマを十分な確度で予測するための物理理解を得ることが重要である。文部科学省 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会による報告書「超高性能プラズマの定常運転の実証」（平成25年9月6日）においても、環状プラズマの総合的理解の推進、理論的に解明できていない同位体効果等の研究を推進し、物理理解の新たな展開を促し、学術的な価値を高めることが求められている。

コミュニティを挙げて、以下に例示するような多様な研究課題に取り組み、その理解の統合によって、この要請・期待に応えていく。

LHDにおける同位体効果研究に触れる前に、これまでの研究動向を簡単に振り返る。トカマクにおいては、様々な装置において質量比（A）依存性が調べられている。エネルギー閉じ込め時間（τ_E）において、LモードよりもHモードの方がAの冪（正）が大きくなること、内部輸送障壁プラズマでは、τ_EのAへの依存性は小さいことが示されている。Hモードプラズマにおいて、蓄積エネルギーのA依存性をコア部とペデスタル部に分けてみると、ペデスタル部においてAの冪（正）が大きい、すなわち、同位体効果が顕著であることが示されている。Hモードへの遷移閾パワーが、Aにほぼ逆比例するという知見も得られている。後者2点に関しては、Aの増大によるELM周波数低下に伴う周辺部プラズマのエネルギー損失抑制が背景にあるものと推測されている。このように様々な知見が得られているものの、Aの増大で閉じ込めが悪くなることはないであろうとの予測で、JT-60Uにおける無次元パラメータスキャン実験によるペデスタル幅への同位体効果検証などの詳細な研究例はあるものの、概して、質量比依存性に関する詳細な研究は行われていないと言える。JT-60Uにおいて、経験的に、重水素放電では密度が上げやすい、実効電荷数(Z_{eff})が大きいことが認識されており、リサイクリングの増加や壁の物理スパッタリングの影響が示唆されている。同位体効果をプラズマ中の中性粒子分布や不純物量の違いといった間接的な影響によるという視点で調べることも重要であろう。

一方、ヘリカル系においても、W7-ASにおいて重水素実験が行われ、軽水素プラズマとの比較がなされている。リサイクリングの影響を避けるために重水素化したボロニゼーションによる壁コンディショニングが行われた。個別放電の比較を通じて、重水素プラズマでは軽水素プラズマよりも、2割程度蓄積エネルギーが増加、高密度Hモードへの遷移が不明確になる、などの知見が得られた。しかし、多数の放電をエネルギー閉じ込め時間で比較すると、その差異が不明瞭となることも指摘された。重水素プラズマと軽水素プラズマの違いが明確に見えるのは、磁気島によってプラズマ境界が規定される場合であり、リミター配位や、リサイクリングが大きい条件の場合には、その差異が明瞭でなくなったことから、周辺での原子過程がコアプラズマの閉じ込めにも影響を及ぼしていることや粒子制御の重要性が認識された。

また、最近、トカマク：TEXTOR、ヘリカル：TJ-IIにおけるトロイダル方向（同一磁気面上）の長距離相関（帯状流）の同位体密度比(重水素/軽水素：D/H)依存性比較も報告されている（図3.1.7-1）。TEXTORにおいては、D/H比が大きくなる（横軸原点側へ）につれて長距離

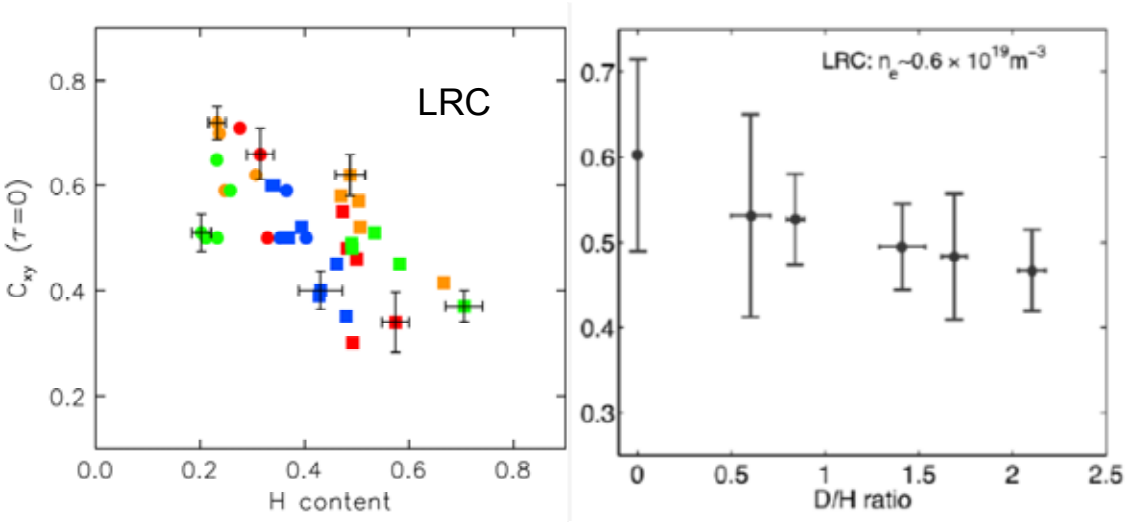


図3.1.7-1　TEXTOR(左)とTJ-II(右)における長距離相関の同位体比依存性(TEXTOR: [3.1.7-1]、TJ-II: [3.1.7-2]より引用)

相関が強くなる傾向、一方、TJ-IIでは、D/H比を変えても長距離相関の大きさはほとんど不変であることが示されている。

LHD重水素実験では、上記のようなこれまでの知見や、新たな研究展開を通じて統合的物理理解を構築し、同位体効果の理論的解明を目指す。

リサイクリング抑制がコアプラズマの閉じ込め改善に効果的であることは、W7-ASのみならず、多くの実験結果から明らかになっている。放電洗浄によってリサイクリングを低減させた条件で得られているヘリオトロンE、CHS、LHDの高イオン温度プラズマなどもその例である。そこで、軽水素から重水素にすることで、低リサイクリング化したのと同様の効果があるのではないか、との作業仮説を立てることができる。この作業仮説の検証を進める上で、近年、計測が可能となった中性水素原子密度分布(広ダイナミックレンジバルマーα分光計測による評価)は、リサイクリングに関する定量議論を可能とする重要な研究進展である。

また、周辺部制御によってコアのイオン熱輸送が改善するということから、輸送の局所性が破れている、という考え方もあり、従来の局所輸送の考え方を超えた解析も行う必要がある。この観点では、LHDにおいて近年発見された、コアと周辺をつなぐ大局的構造(径方向の長距離相関モード)や、熱フラックスと温度勾配におけるグローバルヒステリシス(図3.1.7-2)など、ミクロ乱流の描像を超えた非局所、多スケール乱流の共存・相関などが大きな研究課題となる。整備が進んでいる周波数コム反射計による計測も、この研究進展に大きな役割を果たすと期待される。

ミクロ乱流の考え方においても、図3.1.7-3のように、イオン温度勾配不安定性の理論・シミュレーション(GKV)において、ポロイダルマッハ数の増加に伴って残留帯状流のレベルが大きくなることが示されている。ポロイダルマッハ数はイオン質量の平方根に比例するので、残留帯状流レベルが重水素プラズマで軽水素プラズマよりも大きくなることを意味している。このように、帯状流を繰り込んだジャイロ運動論理論・シミュレーションの実験解析への適用による理解の促進も期待される。また、この残留帯状流レベルと同様に、径電場による軌道改善効果が効く低衝突周波数領域(いわゆる$\nu^{1/2}$やν領域)では、質量が大きい重水素の方

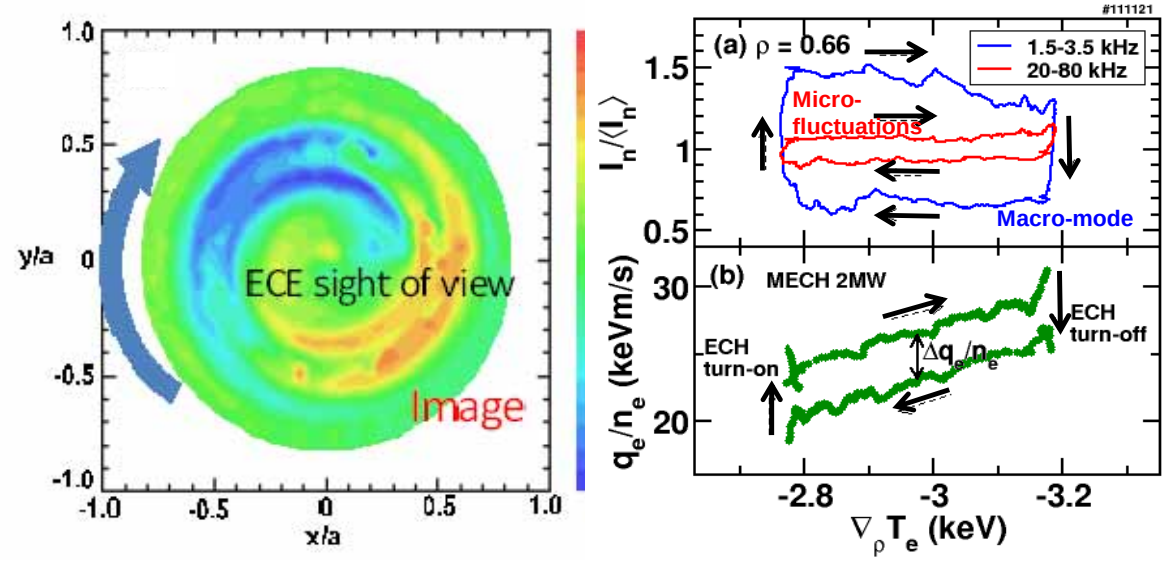


図 3.1.7-2　(左)LHD において発見された大局的構造を有する径方向長距離相関モード [3.1.7-3]、(右)LHD における ECH モジュレーション実験において発見された、揺動レベル(上)・電子熱フラックス(下)と局所電子温度勾配におけるグローバルヒステリシス [3.1.7-4]。ともに、平成 26 年 3 月 7 日作業会合(高次時空解析)資料より引用。

が水素よりも新古典輸送が低減することも理論的に予測されている。

これまで述べたような、リサイクリング、非局所輸送、イオン熱輸送への効果などの観点から、LHD重水素実験において同位体効果が現れる放電として、高イオン温度プラズマが最も期待値が高いものと考えられる。同位体比の定量議論のための基幹計測として、バルク荷電交換分光(同位体温度分布計測)、GAMスペクトロスコピー(同位体密度比、実効質量数A_{eff}の評価)の試行も進んでいる。

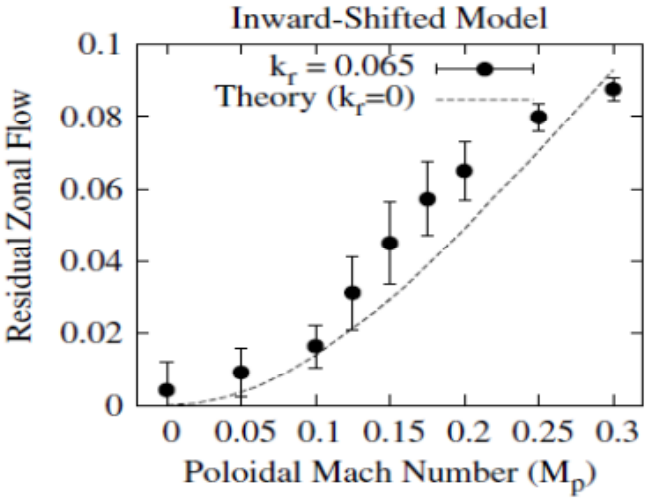


図 3.1.7-3　残留帯状流のポロイダルマッハ数依存性 [3.1.7-5]

過去の同位体効果に関する実験結果を議論した論文において [3.1.7-6,7]、重水素プラズマは軽水素プラズマに比べ、Z_{eff}等の不純物量の指標が大きめの値を示していたことは留意すべき点である。更に、近年のJETにおけるITER擬似壁実験では、不純物の閉じ込め特性への影響を示唆するデータが示されている [3.1.7-9]。JETにおいては、近年、第一壁及びダイバータを炭素素材のもの(All-C)から、ベリリウム(第一壁)及びタングステン(ダイバータ)を用いたITERの壁を模擬したもの(ITER Like Wall)に変更したところ、同様の配位に対してH-modeの改善度が70%程度に抑制されることが確認され、さらにダイバータ領域に窒素ガスパフを導入することで閉じ込め改善度がILWの条件下でもAll-Cの場合と同等になるこ

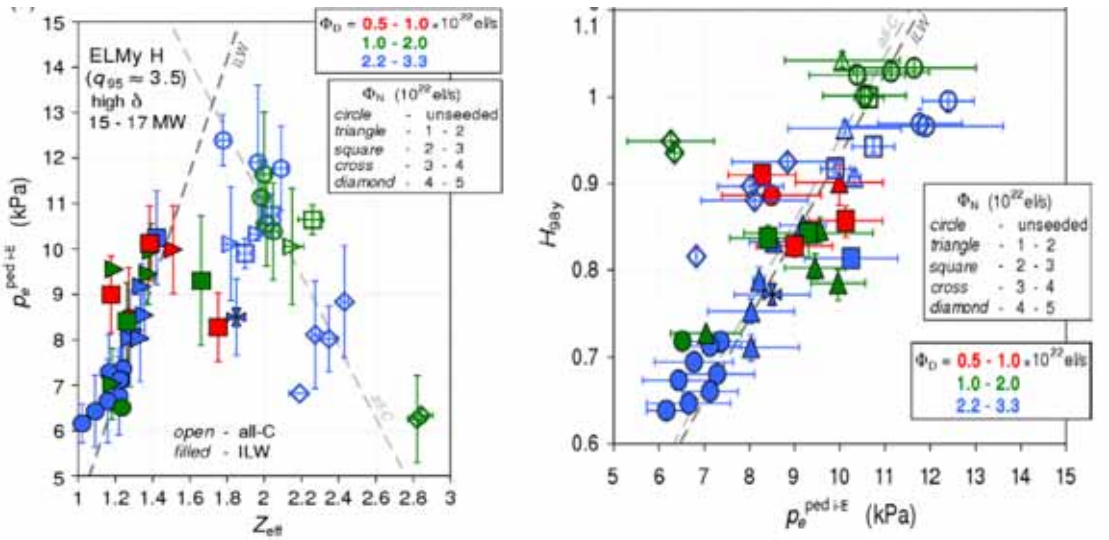


図 3.1.7-4　JET における第一壁及びダーバータ条件と H モード改善度との関係。(左) 各種条件における Z_{eff} とペデスタル圧力、(右) ペデスタル圧力と H モード改善度([3.1.7-8]より引用)。

とが報告されている(図3.1.7-4)。これらの事柄は、同位体効果をプラズマ中の不純物量の視点で考慮する研究の必要性を示唆する。

LHDにおいても、この点に関する研究は、炭素ペレット入射LHD高イオン温度プラズマを対象に進んでいる(図3.1.7-5)。この図は、径の大きさを変えた炭素ペレットを入射した高イオン温度プラズマ4放電における、炭素密度分布(荷電交換分光計測)、イオン熱輸送係数(TASK3D-a評価値)の時系列データを示したものである。炭素ペレット径に応じて若干の相違はあるが、炭素密度がおよそ 1.5×10^{17} m^{-3}以下になると、急激にイオン熱輸送係数が増加することが示されている。イオンの熱閉じ込め改善に、Z_{eff}の閾値があることを示唆している。JT-60Uにおける重水素実験でのZ_{eff}の増加や、最近のJETにおけるITER様壁条件での窒素不純物印加によるHモードの性能回復などとの関連も含めて、Z_{eff}の視点から同位体効果を考えることも行う。

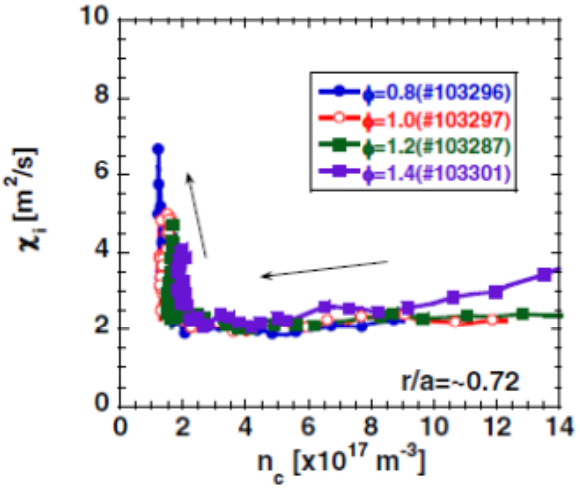


図 3.1.7-5　LHD 高イオン温度放電(入射炭素ペレットの径スキャン)の r_{eff}/a_{99}~0.72 におけるイオン熱輸送係数の炭素密度依存性([3.1.7-7]より引用)

重水素実験では、システム全体における燃料粒子バランスの高精度理解が大きく進展することも期待される。軽水素では、自然界の軽水素がバックグラウンドとなり、壁のどの部分にどれほど吸蔵されたかを材料分析から求めるのが難しいが、天然にはほとんど存在しない重水素は、そのようなバックグラウンドの影響を考慮する必要がほとんどない。そのため、どのような材料や構造が水素同位体の蓄積に問題となっているかを究明することが可能である。定常放電や試料駆動装置を駆使した高精度実験が計画されている。

重水素実験では、イオン温度が10 keVを超える準定常プラズマが実現されると見込まれる。このようなプラズマの挙動は、低衝突化によって、これまで以上に閉じ込め磁場構造の影響を受けると予測される。3.1節で記された研究課題を高性能プラズマにおいて組織的に実施するとともに、これまでのLHD実験で発見されている不純物ホールや、MHD不安定性予測領域でもプラズマが消滅せずに存在できることなどの、核融合炉心級温度領域への外挿性や検証を進める。一方、大学等で進められてきた三重水素の挙動・排気、燃料循環等の研究をLHD重水素実験に活用、さらにフィードバックをかけることで、このような研究の飛躍的発展が期待できる。

[3.1.7-1] Y. Xu, C. Hidalgo, et al., Phys. Rev. Lett. **110** (2013) 265005.
[3.1.7-2] B. Liu, M.A.Pedrosa, European Phys. Soc. Meeting (2014) P2.078.
[3.1.7-3] S. Inagaki, et al., Nucl. Fusion, **52** (2012) 023022.
[3.1.7-4] S. Inagaki, et al., Nucl. Fusion, **53** (2013) 113006.
[3.1.7-5] T.H. Watanabe, et al., Nucl. Fusion, **51** (2011) 123003.
[3.1.7-6] M. Bessenrodt-weberpals, et.al., Nucl. Fusion **33** (1993) 1205.
[3.1.7-7] H.Urano, et.al., Nucl. Fusion, **52** (2012) 114021.
[3.1.7-8] G. P. Maddison, et al., Nucl. Fusion, **54** (2014) 073016.
[3.1.7-9] M.Osakabe, et al., Plasma Phys. Control. Fusion, **56** (2014) 095011.

3.2 共同利用・共同研究体制

3.2.1 共同研究を通じた研究計画の策定

大型ヘリカル装置（LHD）を用いた核融合エネルギーの実現を目指す高温・高密度プラズマの閉じ込め研究は、大学共同利用機関である核融合科学研究所の主計画として進められてきた。平成9年度より始まったLHDのプラズマ実験は、順調に推移し、近年のパラメータ向上と閉じ込め物理の理解の進展により、重水素実験の具体的な研究計画の策定ができる段階になった。3.1節において記されたように、重水素を用いることにより、より高性能なプラズマによる炉心プラズマへの外挿性の精度を高めた実験が可能になる。平成25年9月6日に、文部科学省　科学技術・学術審議会　学術分科会　研究環境基盤部会　学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会により「超高性能プラズマの定常運転の実証」について評価がなされ、重水素実験について積極的に進めるべきであり、早急に着手すべきであると評価された。核融合科学研究所では、全国の大学の研究者との共同研究をベースにLHDの次段階の高性能化計画である重水素実験について、平成20年4月に「大型ヘリカル装置における重水素実験計画」と題した冊子に纏め、国内当該分野コミュニティの研究者に配布するとともに、核融合科学研究所のインターネット上ホームページに掲載している。また、重水素実験計画の中身の更なる充実に向けて、核融合科学研究所一般共同研究研究会、或いは学術会合の場におけるシンポジウム等を通じて検討を進めてきた。

今回の外部評価に関連する内容として、平成21年度に安全管理活動について外部評価がなされていることから、ここでは、平成22年度以降に重水素実験計画に関連したテーマで開催した一般共同研究研究会、或いは同研究会と核融合ネットワーク会合、プラズマ・核融合学会専門委員会との共催で行った研究会について開催順に表3.2.1-1,2に纏めた。これまでに8度にわたって研究会が開催され、そこでは、重水素実験の実施に向けて必要となる各種機器整備に関する議論の他、閉ダイバータによるリサイクリング制御やプラズマ・壁相互作用、或いは乱流・長距離相関の視点からの同位体効果の解明に向けた様々な取り組み、高エネルギー粒子挙動研究の拡大、トリチウム理工学、周辺環境モニタリングにいたるまで、重水素実験計画に係る話題を幅広く取り上げ議論を進めてきている。また、学術会合の場においても重水素実験に係るシンポジウムを企画提案し、平成22年度以降、プラズマ・核融合学会年会或いはPlasma Conferenceの場で平成23年、平成25年、平成26年と3回にわたってシンポジウムを実施している。また、平成26年には核融合エネルギー連合講演会、Plasma Conference 2014において、それぞれ、基調講演、招待講演を行っており、これらについては表3.2.1-3に示す。以上のように、コミュニティとの議論を進めながら重水素実験研究計画の策定を行っている。

表3.2.1-1　重水素実験に向けた研究計画及び安全管理計画に係る研究会一覧

枠組み	年度	開催日	開催名	場所	アジェンダ
NIFS一般共同研究・プラズマ核融合学会専門委員会共催	22	2010年 8月31日	トリチウム関連合同研究会 ・一般共同研究「LHDにおけるトリチウム安全研究の展望」 ・一般共同研究「LHD重水素実験における重水素吸気バランスとトリチウム回収・除去」 ・プラ核委員会「核融合炉の運転制御の基礎となるトリチウム研究・技術の開発」	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1. 挨拶 百島（九州大）、田辺（九州大）、林（JAEA） 2. LHD重水素実験における重水素吸排気バランスとトリチウム回収・除去 ・トリチウム燃料のスループットと炉内蓄積　田辺（九州大） ・クライオポンプによる水素同位体の回収とHe除去の可能性　深田（九州大） ・LHDのトリチウム処理　朝倉（NIFS） ・廃棄物のトリチウムサイクル経済性への影響　西川（九州大） 3. 希望発表枠 4. LHDにおけるトリチウム安全研究の展望（1）:トリチウムの生物影響に関する発表 ・低線量放射線の生物影響研究　小野（東北大） ・低線量・低線量率放射線のリスク評価　馬替（電中研） 5. LHDにおけるトリチウム安全研究の展望（2）:トリチウムの環境動態に関する発表 ・福岡市における降水中トリチウム濃度の測定と大気塊バックトラジェクトリ解析」 横山（九州大） ・京大原子炉周辺における大気中トリチウムの化学形別測定」 福谷（京都大・原子炉） 6. 希望発表枠 7. 核融合炉の運転制御の基礎となるトリチウム研究・技術開発 ・核融合炉の運転廃棄物等の発生想定とその対処　林（JAEA） ・液体廃棄物（トリチウム水）の処理技術の現状と課題　杉山（名古屋大） ・固体廃棄物の処理技術の現状と課題 ー混合RI廃棄物の計測と管理に係る技術の現状と課題　大内（東北大） ー可動性RI汚染物の除染/減容などに係る技術の現状と課題　鳥養（富山大） 8. その他報告事項 ・BA六ヶ所施設の現状と研究公募について　山西（JAEA） ・トリチウム国際会議2010関連情報　宇田（NIFS） ・プラ核学会小特集について　林（JAEA） ・その他 9. 閉会 百島（九州大）、田辺（九州大）、林（JAEA）
NIFS一般共同研究	23	2011年 12月13日	「LHD重水素実験における重水素吸気バランスとトリチウム回収・除去」	NIFS 研究Ｉ期棟301室	1. 主旨紹介　田辺（九州大） 2. LHD重水素実験の概要　長壁（NIFS） 3. T除去装置の仕様と運用に関する検討状況　朝倉（NIFS） 4. 管理区域および管理区域内での実験装置の整備等　西村（NIFS） 5. トーラス内設置サンプルの取り出しとトーラス外での試験について　時谷（NIFS） 6. トリチウム検出技術としてのイメージングプレート法　大塚（九州大） 7. LHDにおける粒子バランス　増崎（NIFS） 8. 排出ガス分析について　片山（九州大） 9. 総合討論―必要な道具立てとその要求と実現のために（今後の方針）―
NIFS一般共同研究	23	2012年 3月22日	「LHDにおける重水素実験計画の検討(第6回)」	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1. はじめに ・挨拶 小森（NIFS） ・重水素実験計画の現状 竹入（NIFS） 2. LHD実験の最近のトピック ・LHDにおけるダイバータ閉構造化 増崎（NIFS） ・LHDにおける高イオン温度放電の試み 長壁（NIFS） 3. LHD重水素実験に向けたコメント、検討及び期待（I） ・JT60U解体の現状及びJT60SAへの展望 池田（JAEA） ・LHD重水素実験におけるトリチウム除去計画 西村（NIFS） ・LHD重水素実験の核融合炉燃料リサイクリング及びリテンション研究への利用　田辺（九州大） 4. LHD重水素実験に対するコメント、検討及び期待（II） ・LHD重水素実験における中性子計測計画　瓜谷（名古屋大） ・LHDプラズマ対向材料の表面変質と水素同位体滞留挙動　時谷（NIFS） ・炭素材への水素同位体入射シミュレーション 高山（NIFS） 5. ディスカッション
NIFS一般共同研究及びプラズマ・核融合学会専門委員会共催	24	2012年 12月6 日	「ヘリカル動力炉システムのトリチウム安全性」 「重水素吸排気バランスと関連研究」 「持続的燃料供給のためのトリチウム研究・技術開発」 共催	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1.「重水素吸排気バランスと関連研究」研究会 ・今後のLHD実験計画と準備状況　竹入（NIFS） ・中性子またはヘリウム照射によって損傷を受けたタングステン材料へのトリチウム（重水素）プラズマ注入実験　大塚（九州大） ・BA原型炉R&Dにおける最近の成果と今後の展望　山西（JAEA） ・トリチウム安全取扱マニュアル作成についての検討　波多野（富山大） ・ 液体ブランケットにおけるトリチウム生成　田中（照）（NIFS） ・ 液体LiPbからのトリチウム回収プロセスの設計　奥野（京都大） ・ 低濃度トリチウムガス捕集・回収システムの設計支援と高度化研究の経過と進展　宗像（秋田大） 2.「ヘリカル動力炉システムのトリチウム安全性」研究会 ・代表挨拶　小西（京都大） ・NIFSにおけるトリチウム研究活動 ~共同研究を中心に~　田中(将)（NIFS） ・福島第一原子力発電所事故後の福島県における環境試料中トリチウム濃度　柿内（環境研） ・福島県内で採取した環境水のトリチウム濃度 前川（九州大/M2） ・低線量放射線被ばくの生物影響研究におけるトリチウム利用と課題　田内（茨城大） ・ トリチウム等の放射線に対する分子バイオドシメトリー法の開発　笹谷/神谷（広島大） ・ ヘリカル型核融合炉システムと安全性の検討　宇田（NIFS/名誉） ・原子力学会福島事故調査委員会とトリチウム研究者の対応について　小西（京都大） ・総合討論
NIFS一般共同研究	25	2013年 6月21日	「LHDにおける重水素実験計画の検討」	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1. はじめに ・挨拶　小森（NIFS） ・LHD重水素実験計画の概要　竹入（NIFS） 2. LHD重水素実験における機器整備計画及び検討 ・放射線安全管理計画概要　西村（NIFS） ・LHD重水素実験に向けた周辺・PWI研究の整備計画　増崎（NIFS） ・LHD高性能化に向けた高周波加熱機器の整備計画　関（NIFS） 3. LHD重水素実験に向けたコメント、検討及び期待 ・LHD重水素実験における中性子計測　瓜谷（名古屋大） ・重水素実験における同位体比評価法 ー密度揺動信号を用いたプラズマ内部診断手法の開発ー　徳沢（NIFS） ・LHD重水素実験に向けた予測型統合輸送コードTASK3D開発　横山（NIFS） ・JTー60UにおけるHモード閉じ込め特性の軽・重水素比較　浦野（JAEA） 4. ディスカッション
NIFS一般共同研究及びプラズマ・核融合学会専門委員会共催	25	2013年 8月8日	「核融合炉システムにおけるトリチウムの取り扱いと安全性」 「核融合炉燃料計量管理の基礎となるトリチウム研究・技術開発」共催	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1. ITER及び核融合炉におけるトリチウム安全取扱上の考慮とBAにおけるトリチウム関連活動の現状と今後の展開　林（JAEA） 2. ヘリカル原型炉システム設計をめざした トリチウム輸送ダイナミックスの解明　奥野（静岡大） 3. 原子力プラントの非破壊検査技術　松井（日立） 4. 新型中性子増倍材の酸化耐性と水素同位体リテンション　和田（秋田大） 5. 環境放射能と人体への影響 ～福島県からの報告を含めて～　井上（慶應大） 6. 福島第一原子力発電所事故による大気環境影響　五十嵐（気象研） 7. 原型炉燃料サイクルを目指した水素同位体分離技術の開発　杉山（名古屋大） 8. 原子力機構におけるトリチウム処理に向けた 疎水性触媒の開発研究の進展　岩井（JAEA） 9. 福島第一原子力発電所で発生する汚染水からのトリチウム回収　竹下（東工大） 10. 福島トリチウム汚染水の処理について　小西（京都大） 11. 総合討論

表3.2.1-2　重水素実験に向けた研究計画及び安全管理計画に係る研究会一覧(続き)

NIFS一般共同研究及び核融合ネットワーク会合共催	26	2014年 4月25日	「LHD重水素実験研究計画の策定」 「重水素実験に関する核融合ネットワーク会合」 共催	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1.(午前:一般共同研究会) ・運転シナリオタスク　長壁(NIFS) ・輸送タスク　横山(NIFS) ・高エネ・加熱・MHDタスク　磯部(NIFS) ・共同研究者からの提言　村上(京都大) ・全体討論 2.(午後:核融合ネットワークと共催) ・趣旨説明、実験境界条件、タスク体制　山田(弘)(NIFS) ・乱流、長距離相関等　伊藤(公)(NIFS) ・リサイクリング、計測等　居田(NIFS) ・パネルディスカッション(モデレータ:小川(東大)) ・核融合科学ネットワークおよび核融合炉工学ネットワーク委員
NIFS一般共同研究及びプラズマ・核融合学会専門委員会共催	26	2014年 8月1日	「核融合炉システムにおけるトリチウムの取り扱いと安全性」 「核融合炉燃料計量管理の基礎となるトリチウム研究・技術開発」共催	NIFS 管理棟4階 第一会議室	1. BAにおける原型炉R&D活動と今後の計画の検討 山西(JAEA) 2. 核融合中性子源施設を用いたブランケットトリチウム生成回収実験の現状 河村(JAEA) 3. 先進トリチウム増殖機能材料の研究開発の現状 星野(JAEA) 4. 重水素実験に向けた取り組み: 排気ガス処理システム 田中(将)(NIFS) 5. 重水素実験に向けた取り組み: 周辺環境モニタリング 赤田(NIFS) 6. 化石、再生、核エネルギーとこれからの社会構造 堀内(光と風の研究所) 7. リチウム資源確保と同位体分離 菅井(スリーアール) 8. 反応性空孔溶液理論による水素同位体の低温吸着平衡の相関 宗像(秋田大) 9. トリチウム除去システムにおける吸着材および酸化触媒の性能評価 中村(秋田大) 10. 低濃度トリチウムおよび低線量放射線の生物影響解明に向けた新たな試み 志村(保医院) 11. 福島県における環境試料中トリチウム濃度 ～河川水中トリチウム濃度～ 植田(環境研) 12. 原子力施設から放出されたトリチウムの周辺環境中移行 ～数値モデルによる評価～ 太田(JAEA) 13. 総合討論

表3.2.1-3　学術会合の場におけるシンポジウム等の一覧

形態	年度	開催日	学会及びシンポジウム名	場所	アジェンダ
シンポジウム	H23	2011年 11月25日	Plasma Conference 2011 (PLASMA 2011) 「シンポジウムP4 : LHD重水素実験がもたらす学術研究の拡がり」	石川県立 音楽堂	0. はじめに（主旨説明） 笹尾（東北大） 1. LHD重水素実験計画の概要　竹入（NIFS） 2. 核燃焼プラズマにおける高エネルギー粒子閉じ込め　西谷（JAEA） 3. 燃料リサイクリングにおける水素同位体効果　田辺（九州大） 4. LHDプラズマ中の乱流輸送に生ずる同位体効果の物理　渡邉（NIFS） 5. 総合討論　笹尾（東北大）
シンポジウム	H25	2013年 12月6日	プラズマ・核融合学会第30回年会 「シンポジウムIV : LHD重水素実験を通したプラズマ・核融合研究の拡がり」	東京工業大学 大岡山 キャンパス	1. 趣旨説明　長壁（NIFS） 2. LHD重水素実験による先進閉じ込め研究と計測の計画　居田（NIFS） 3. LHDにおける精密科学を目指した計測　江尻（東大） 4. ITER研究計画からのLHD重水素実験に対するコメント　草間（JAEA） 5. 理論的観点から見たプラズマ輸送に対する同位体効果　洲鎌（NIFS） 6. 総合討論
基調講演	H26	2014年 6月19日	第10回核融合エネルギー連合講演会	つくば国際 会議場	ヘリカル型定常核融合炉へ向けた大型ヘリカル装置の高性能化研究の進展　竹入（NIFS）
招待講演	H26	2014年 11月18日	Plasma Conference 2014 (PLASMA 2014)	新潟コンベン ションセンター	大型ヘリカル装置LHDでの重水素実験によるこれからの炉心プラズマ研究　竹入（NIFS）
シンポジウム	H26	2014年 11月19日	Plasma Conference 2014 (PLASMA 2014) 「シンポジウム7 : トーラスプラズマにおける質量比の閉じ込めへの効果」	新潟コンベン ションセンター	1. はじめに　居田（NIFS） 2. JT-60UのHモードにおける水素同位体効果　浦野（JAEA） 3. 改善コア閉じ込めプラズマにおける同位体効果　藤田（名古屋大） 4. 乱流輸送における同位体効果の理論予想　T.S. Hahm（Seoul National Univ.） 5. 質量比・同位体効果の解明に向けた計測　蓮尾（京都大） 6. LHD重水素実験計画と閉じ込め特性に対するプラズマ核種の効果　長壁（NIFS）

3.2.2 共同研究を通じた研究計画の推進

大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクトでは、2.5節で述べられたようにLHD計画研究総主幹が議長を務めるLHD実験会議がその運営責任を担っている。LHD実験会議は、平成26年度の体制においては、研究系研究主幹、安全衛生推進部長、技術部長、テーマグループリーダー等、そして、核融合研究コミュニティを代表する所外共同研究者7名を含む30名のメンバーで構成されている。LHDの実験研究はLHD実験グループが進めるが、そのマシンタイムを要求し、実験データにアクセスを許されるメンバーについては、公募による一般共同研究の大型ヘリカル装置(LHD)計画プロジェクトにある(1)大型ヘリカル装置(LHD)実験共同研究のカテゴリーへの申請、及び毎実験サイクル前に行われる実験テーマ提案書の提出により、LHD実験会議がその認定を行っており、国内外の研究者が広くLHD実験に参加できるよう運営を行っている。

重水素実験の実施に向けて必要な機器の検討及び開発については、国内外の研究機関との連携の下、進めている。具体的には、中性子計測機器開発において、LHD計画共同研究の枠組みの下、核融合中性子計測に携わるほぼ全ての国内研究者が参加する開発チームが組織され、放射線安全に係る代表的な機器として位置付けられる中性子フラックスモニタ（NFM）や放射化箔システムの機器検討及び開発の他、中性子スペクトロメータ、原子核乾板等の物理指向の中性子検出器についても開発が進捗している。NFMについては、トーラスプラズマにおける中性子総発生率の評価を行うにあたり、その場絶対較正の実施が必須である。それに向けた準備の一環として、日米科学技術協力事業の枠組みの下、米国・プリンストンプラズマ物理研究所のNSTXにおけるNFMのその場較正実験に、平成23年と平成26年の二度にわたり研究職員を派遣し、較正手法及び実施手順に係る現地調査を行うとともに、LHDの当該計測における今後の協力関係についても確認している。また、物理指向の検出器については、その開発ペースの加速、装置への実装時の問題点の洗い出しの目的で、A3フォーサイト事業及び日韓核融合協力事業の枠組みの下、名古屋大学と核融合科学研究所の協同で開発した中性子スペクトロメータプロトタイプを重水素実験が既に行われている韓国・国立核融合研究所のKSTARに導入し試験運転を行う等、海外研究機関との協力も活発に進めている。

また、重水素実験に向けて、環境トリチウムの挙動やトリチウム回収技術に係る研究も中性子計測同様に重要であり、これらについては大学の研究者との共同研究の形で進めてきている。環境トリチウム動態研究では、九州大学の百島教授、杉原准教授を中心に、熊本大学、京都大学原子炉実験所、日本原子力研究開発機構、藤田保健衛生大学、環境科学技術研究所などと協力して、核融合科学研究所土岐サイトの地下水中トリチウム動態や、植生中トリチウム（FWT/OBT）の挙動を明らかにしてきた。排気ガス処理に用いるトリチウム回収技術は、従来手法を採用するため新規点は少ないが、システムシミュレーション技術開発を中心に共同研究を進めた。秋田大学では、市販の触媒および吸着剤の実験データを基に、酸化触媒−吸着剤型トリチウム回収システムのシミュレーションモデルを開発した。名古屋大学では、酸化触媒−膜分離型トリチウム回収システムに用いる高分子膜の解析モデル提案と数値シミュレーション手法を確立した。また、トリチウム水蒸気（HTO）を用いた分離特性デー

タを取得し、極微量のトリチウム水蒸気が市販の高分子膜モジュールで回収できることを実証した。

重水素実験に向けたPWI関連共同研究では、水素同位体の総捕捉量、いわゆる水素同位体収支の把握を目指している。この試みをLHD規模の大型核融合実験システムにおいて実施できることは極めて貴重な経験である。PWI研究では、プラズマ対向材料表面に捕捉される水素同位体の定量評価が鍵となる。しかしながら、この定量化を中性子・イオン・不純物元素の三重複合照射環境下において正確に実施するには高いハードルが立ちはだかっており、高度なPWI研究の技術と経験が必要とされる。この観点において、LHDでは、大学で培われたPWI研究のノウハウを積極的に取り入れた共同研究が行われている。平成23年度から平成25年度にかけて実施した静岡大学との共同研究では、LHDの壁表面に形成される炭素を主とした不純物堆積層や照射欠陥などの表面変質層が水素同位体の捕捉特性を大きく変化させることが明らかになった。また、それらはLHD対向壁位置の違いによって様々に変化することも示された。さらに、平成16年度から継続して実施されている九州大学との共同研究では、LHD対向材料に形成される照射欠陥の深さ分布が数keV程度の水素やヘリウムイオンの入射深さとほぼ一致することが確認された。このように、イオン・不純物元素の二重複合照射環境下におけるPWI現象の理解が共同研究を通じて飛躍的に進展している。重水素実験では、これに中性子の照射が加わることになるが、これまでに構築された共同研究のつながりをさらに広げることで、水素同位体の定量評価研究がさらに加速されることが期待できる。

以上、重水素実験に向けて実施している共同研究成果について具体例を挙げた。図3.2.2-1に、核融合科学研究所一般共同研究及びLHD計画共同研究における重水素実験に向けた予備検討に係る平成22年度以降の採択課題数を示す。毎年、40件前後の課題が採択され、所外共同研究者を中心とする共同研究が実施されている。採択課題名及び研究代表者等の詳細については、巻末に参考資料1として添付する。また、研究成果については、国内外での学術会合の場における発表、論文投稿が積極的に行われており、これまでに47編の論文が出版されている。そのうちの12編が大学院生を第一著者とする論文であることが特筆される。共同研究に基づく重水素実験関連研究課題の論文リストを巻末に参考資料2として、添付する。

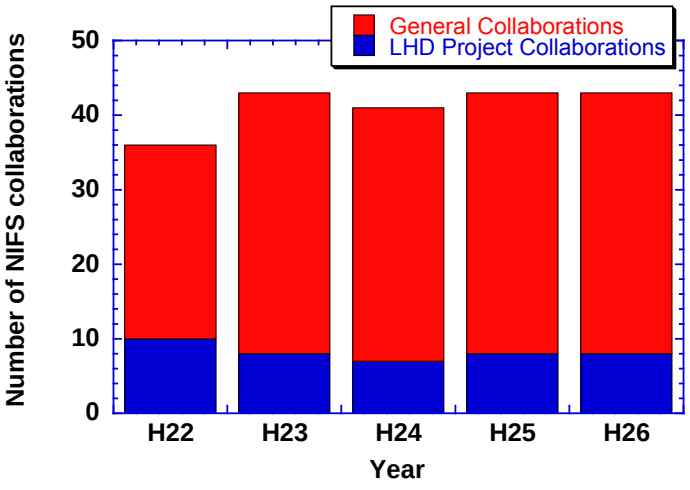


図 3.2.2-1　一般共同研究及び LHD 計画共同研究における重水素実験関連研究課題の採択数の推移

3.3 まとめ

本章では、重水素実験の研究計画について記述した。併せて、重水素実験へ向けて幅広く研究者が参加する共同研究について示した。以下に、そのまとめを行う。

(1)環状プラズマの総合的理解の推進への寄与、核融合の実現へ向けた学術的な価値

- イオン加熱の増大に向けた NBI の改造と同位体効果により、目標プラズマパラメータであるイオン温度 10 keV は達成可能である。
- 重水素実験における閉じ込め改善により、高β領域を核融合炉に外挿できる低衝突頻度領域に拡張でき、また、ストキャスティック領域における衝突周波数依存性を明らかにすることができる。
- 中性子分布計測は高速イオンの閉じ込めや高速イオンが誘起するMHD 不安定性について明らかにすることができる。
- 閉ダイバータによる粒子制御と RMP によるストキャスティック領域制御は、ダイバータの最適化に向けた研究の高度化に寄与する。
- 重水素実験は、受熱機器等にかかる熱輸送、水素同位体のインベントリー等の粒子輸送および堆積・損耗等にかかる材料輸送に関する PWI の研究領域を拡大する。
- 重水素の使用により、ICH の加熱手法が拡大し、長パルスプラズマの高性能化に寄与する。その結果、核融合炉条件に外挿できる PWI 研究の高度化が期待される。
- 未解明な課題である同位体効果の解明は学術的に価値があり、それに向けた理論的検討と同位体粒子比測定などの必要な計測器の検討が進んでいる。

(2)幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制

- 重水素実験へ向けて、共同研究をベースに全日本的な中性子計測開発チームが構成されて、設計、開発、研究計画の検討等が行われている。
- 環境トリチウムやトリチウム除去装置の分離膜のモデルなどの重水素実験に不可欠なトリチウムに関連した研究が、大学との共同研究により進められている。
- PWI 研究に関しても、水素同位体のリテンションや第 1 壁の表面などの試料分析はじめとして、重水素実験へ向けた共同研究ネットワークの構築が検討されている。
- 重水素実験における研究計画は、共同研究、核融合ネットワーク、学会等で研究者間で幅広く提案・議論されている。

4. 重水素実験準備体制

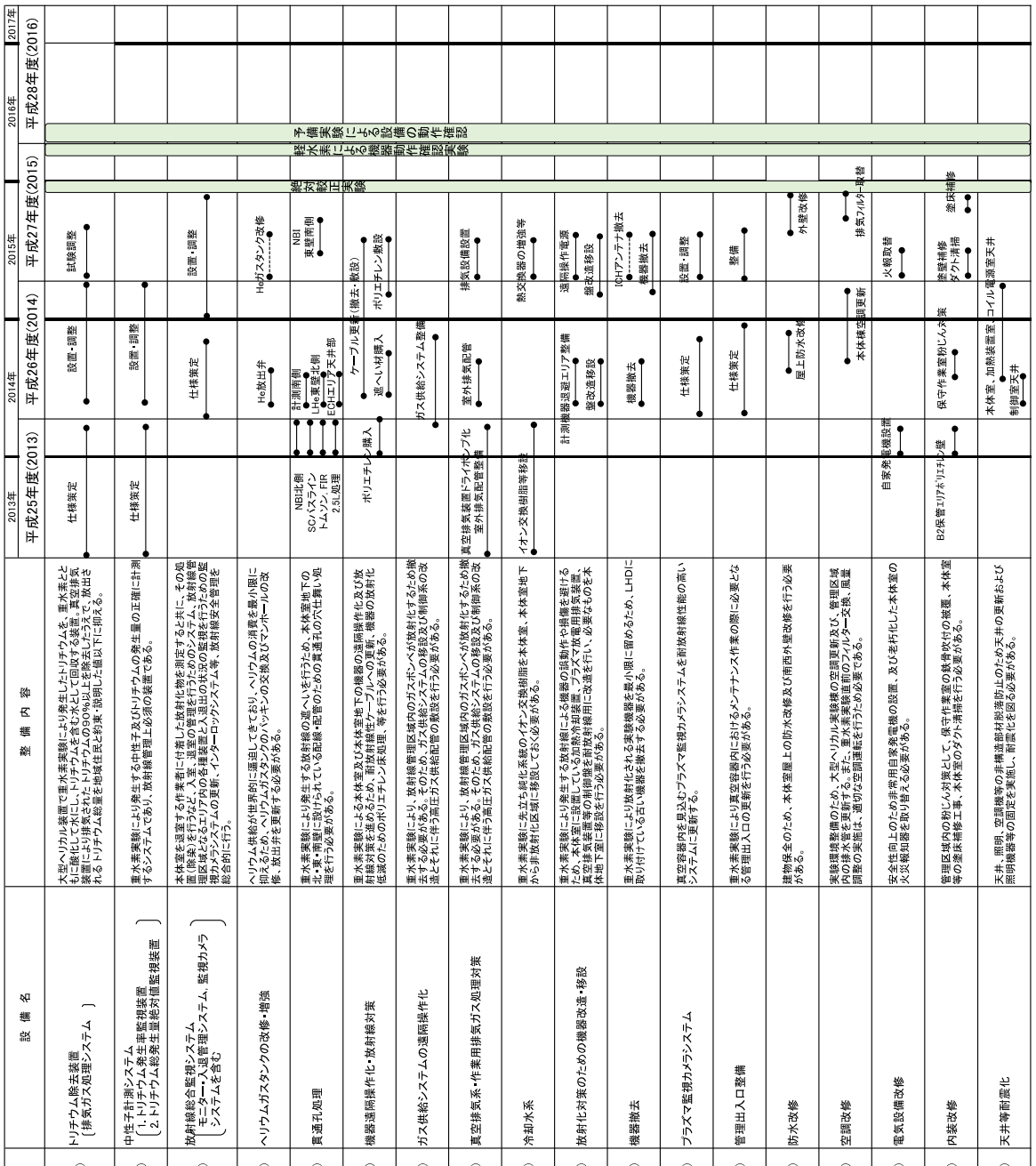
4.1 設備・施設整備計画

4.1.1 整備項目とスケジュール

大型ヘリカル装置及びその施設は、重水素実験の開始にあたり、放射線発生装置の中のプラズマ発生装置及び非密封放射性同位元素取扱施設として、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律第10条第2項の規定により、承認使用に係る変更の承認を原子力規制委員会より得る必要がある。法令の遵守に加え、本稿の第5章及び「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画　＜改訂版＞」に記した核融合科学研究所が基本とする安全に係わる考え方に準拠し、重水素実験開始に向けて必要な設備・施設整備を計画し、平成25年度から本格的な整備に着手している。必要な設備については、1) 重水素実験を開始するために必要な整備、2) 放射線管理区域等整備、3) 施設・安全管理に係る整備に区分し、設備名及びその整備スケジュールを表4.1.1-1に纏める。現時点では、平成28年4月より重水素を使ったプラズマ実験を開始することを想定したスケジュールで整備計画を検討している。

放射線管理区域の設定時期については、フィッションチェンバー（以下、核分裂計数管という）の納入時期にあわせ、貯蔵室(2)と保管廃棄室(2)を平成27年3月より放射線管理区域設定とする計画である。本体室及び本体室地下等その他関連するエリアについては、核分裂計数管を中性子検出器とする中性子フラックスモニタシステムに対するその場絶対較正を平成27年12月に予定していることから、本体室内への核分裂計数管設置に合わせて、同年12月に放射線管理区域とする計画である。なお、調達・整備を進めるにあたり、核分裂計数管等事前に原子力規制委員会から承認を得ておく必要がある機器があり、これらの申請手続き及び承認を取得済みの項目については、4.2.4節に詳述されている。

表 4.1.1-1 LHD の重水素実験開始に向けて必要な整備項目とスケジュール



4.1.2 整備実施計画

設備・施設整備にあたっては、表4.1.1-1に示した重水素実験の実施において必要不可欠な設備・施設の整備に加え、放射化物を極力出さないために、重水素実験に必要な機器をゼロベースで選択することが確認されており、役割を終えた機器、中性子環境下で機能しない機器、或いは必要性の低い機器等については、重水素実験開始前までに撤去する計画である。この計画の策定において、以下に示す3つの段階を経て対象機器の選定作業を進めている。

段階(1):「LHD本体室・本体室地下設置機器に関する重水素実験対応チェックリスト」（平成25年10月実施）

段階(2):各機器及び作業を対象とする放射線管理マニュアル、運転マニュアルの整備・提出（平成26年5月実施）

段階(3):「機器撤去、遮蔽対策・機器改造、新規設置等にかかわる実施計画書」（平成26年6月実施）

各種機器におけるCCDカメラ等半導体を利用した最終段検出器や制御に用いるPLC等は、中性子照射による誤動作、或いは損傷が懸念される。また、本体室及び本体室地下は放射線管理区域となり、機器の持ち込み及び持ち出しが現在より厳しく制限される。更に、実験に伴う本体室内空気の放射化により、同場所における作業時間が現在に比して大幅に制限されることから、チェックリストの実施にあたり、安全管理計画に従った機器の保守・運用に関する考え方、本体室・本体室地下における中性子及びガンマ線束の予測値、放射線照射により機器に発現しうる影響について、LHD高性能化機器設計グループで纏めた「重水素実験への機器対応の指針」を参考資料として提供している。なお、上記3段階項目の全ての提出がなされない場合、重水素実験時における機器の設置が認められないことが周知されている。段階(1)のチェックリスト、(3)の実施計画書について、図4.1.2-1、2及び3にひな形を示す。段階(2)のマニュアル整備については、5.3節にて詳述する。チェックリストの内容に基づき、既に一部の機器では撤去が始まっている。

次の段階として、実施計画書に基づいた機器の選択を順次行う必要があり、重水素実験推進本部会合において確認された方針・手順に従い、高性能化テーマグループのシナリオ・計画担当が中心となり、個別の実施計画に対して、遮蔽方針等の妥当性・合理性、機器の必要性等の検討を行っている。現在までに、機器の必要性の観点から3つのクラスに分類し、今後、遮蔽・移設等の重水素実験対応整備において、高い優先度が与えられる最上位クラスの機器選定作業が終了している。今後、全ての機器に対し、撤去を含む対応方針を平成26年度中に確定する予定である。

図 4.1.2-1　重水素実験対応チェックリストひな形(pp.1-2)

ＬＨＤ本体室・本体室地下設置機器に関する重水素実験対応チェックリスト

機器名　：記入例　トムソン散乱計測　□既設・□新設
担当者名　：記入例　土岐太郎、多治見二郎、瑞浪三郎
記入者名　：記入例　土岐太郎（内線：****）
記入日　：記入例　2013 年 8 月 26 日

１）利用ポート番号または設置場所

記入例　10-AD02、4.5U-AL02 などフルネームで御記入下さい。ポート以外は具体的な設置場所を

２）真空排気・ガス利用について

真空排気	担当機器の真空排気について □自前ポンプを使用・□共通排気系を使用・□いずれも使用していない
	→「自前ポンプを使用」の場合、共通排気系への移行は可能か？ □はい・□いいえ
	→「いいえ」の場合 ・その理由： ・ドライポンプへ移行済みか？　□はい・□いいえ （注意：自前排気ポンプを使用する場合、ドライポンプへの移行は必須）
ガス利用	本体室・本体室地下においてガスを使用しているか？　□はい・□いいえ
	→「はい」の場合 ・ガス種： ・使用ガス圧力： ・共通ガス供給システムへの移行は可能か？　□はい・□いいえ （注意：重水素実験時、管理区域内でのガスボンベ利用は不可）

３）ＣＣＤ、ＰＭＴ、半導体検出器等の最終段検出器について

最終段検出器	記入例　CCD カメラ、光電子増倍管、シリコンダイオード等	
設置場所	1.□真空容器内	真空容器外への設置が可能か？　□はい・□いいえ
	2.□ポート直付け・近傍	ＬＨＤ本体真空との接続は？　□有・□無
		→「有」の場合 ・プラズマを直視しているか？　□はい・□いいえ
		→「無」の場合 ・ポートからの距離：　記入例　約１ｍ ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ
	3.□その他	設置場所：　記入例　Ａステージ上、本体室地下
		本体中心軸からの距離：　記入例　約５ｍ
		→１０ｍ以内にある場合 ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ ・本体からより遠ざけることが可能か？　□はい・□いいえ
		→１０ｍよりも外にある場合 ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ
遠隔操作	遠隔操作は可能か？　□はい・□いいえ	
保守作業	週１回の保守機会で機器の安定稼働が可能か？　□はい・□いいえ	

今後の予定	1.□撤去予定、2.□現状維持、3.□増設予定、4.□新設予定
	→「2.」、「3.」、「4.」の場合 ・検出器数等の機器の最適化は検討済みか？　□はい・□いいえ
	→「3.」、「4.」の場合 ・どこに何チャンネル設ける予定か？

４）アンプ、コンピュータ、制御機器等の電子・電気回路機器について

回路機器	記入例　プリアンプ、アンプ、ＰＣ、高圧電源モジュール、ＰＬＣ等	
設置場所	1.□真空容器内	真空容器外への設置が可能か？ □はい・□いいえ
	2.□ポート直付け・近傍	ＬＨＤ本体真空との接続は？　□有・□無
		→「有」の場合 プラズマを直視しているか？　□はい・□いいえ
		→「無」の場合 ポートからの距離：　記入例　約１ｍ
	3.□その他	設置場所：　記入例　Ａステージ上、本体室地下
		本体中心軸からの距離：　記入例　約５ｍ
		→１０ｍ以内にある場合 ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ ・本体からより遠ざけることが可能か？　□はい・□いいえ
		→１０ｍよりも外にある場合 ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ
遠隔操作	遠隔操作は可能か？　□はい・□いいえ	
保守作業	週１回の保守機会で機器の安定稼働が可能か？　□はい・□いいえ	
今後の予定	1.□撤去予定、2.□現状維持、3.□増設予定、4.□新設予定	
	→「2.」、「3.」、「4.」の場合 ・機器の最適化は検討済みか？　□はい・□いいえ	
	→「3.」、「4.」の場合 ・どこに何チャンネル設ける予定か？	

（※電子・電気回路機器が複数に及ぶ場合、必要に応じて表を増やして下さい。）

５）データ収集デジタイザについて

デジタイザの種類	記入例　CAMAC、PXI、WE7000 等
設置場所	1.□本体室内　（場所：記入例　Ａステージ上）（本体中心軸からの距離：　　） 2.□本体室地下 3.□CAMAC 室 4.□その他　（場所：　　）
	→「1.本体室内」の場合 ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ ・本体からより遠ざけることが可能か？　□はい・□いいえ
	→「2.本体室地下」の場合 ・中性子・γ線遮蔽材を設置できる空間があるか？ □はい・□いいえ
今後の予定	1.□撤去予定、2.□現状維持、3.□増設予定、4.□新設予定
	→「2.」、「3.」、「4.」の場合 ・機器の最適化は検討済みか？　□はい・□いいえ
	→「3.」、「4.」の場合 ・どこに何チャンネル設ける予定か？

6）管理区域（本体室・本体室地下）と管理区域外（例えば、計測機器室）を結ぶケーブル、光ファイバ類、導波管等について

不要物調査	不要となったケーブル、光ファイバ、導波管などがあるか？　□はい・□いいえ →「はい」の場合、種類、本数、敷設ルートを記入して下さい。高性能化機器設計グループが撤去します。
同軸ケーブル	1.□共用銅ダクトケーブルを使用 2.□個別に敷設したケーブルを使用 3.□本体室・本体室地下～管理区域外では使用していない
	→「2.」の場合、 ・壁：東/南/北 ・貫通孔名： ・ルート： ・本数：
光ファイバ	1.□共用光成端箱を使用 2.□個別に敷設したファイバを使用 3.□本体室・本体室地下～管理区域外では使用していない
	→「2.」の場合、 ・壁：東/南/北 ・貫通孔名： ・ルート： ・種類/本数：プラスチック、石英、耐放射線性を有したファイバか否か等
導波管、同軸管、光路管等	本体室・本体室地下～管理区域外で、1.□使用している、2.□使用していない
	→「1.」の場合、 ・壁：東/南/北 ・貫通孔名： ・ルート： ・種類/サイズ/本数： ・管理区域と非管理区域を跨ぐ位置にて GV を設けたか？　□はい・□これから
その他のケーブル類	本体室・本体室地下～管理区域外で、1.□使用している、2.□使用していない
	→「1.」の場合、 ・壁：東/南/北 ・貫通孔名： ・ルート： ・本数
今後の予定	1.□撤去予定、2.□現状維持、3.□増設予定、4.□新設予定
	→「2.」、「3.」、「4.」の場合 ・機器の最適化は検討済みか？　□はい・□いいえ
	→「3.」、「4.」の場合 ・共用同軸ケーブルを利用する？　□はい・□いいえ →「はい」の場合、何本利用する予定か？ →「いいえ」の場合、どこからどこまで、何チャンネル設ける予定か？ ・共用光ファイバを利用する？　□はい・□いいえ →「はい」の場合、何本利用する予定か？ →「いいえ」の場合、どこからどこまで、何チャンネル設ける予定か？

（※管理区域内間のケーブル、光ファイバで既に役割を終えたものについては、高性能化機器設計グループが撤去します。）

7）その他（ユーティリティ、補器類等）

使用機器	名称：　記入例　シャッター
設置場所	
遠隔操作	機器の遠隔操作は可能か？　□はい・□いいえ・□今後実施予定
保守作業	週１回の保守機会で機器の安定稼働が可能か？　□はい・□いいえ
今後の予定	1.□撤去予定、2.□現状維持、3.□増設予定、4.□新設予定
	→「2.」、「3.」、「4.」の場合 ・機器の最適化は検討済みか？　□はい・□いいえ
	→「3.」、「4.」の場合 ・どこからどこまで、何チャンネル設ける予定か？

（※ユーティリティ、補器類等が複数に及ぶ場合、必要に応じて表を増やして下さい。）

8）要望、提案等

9）システム全体の様子が分かる図面を添付して下さい。ポンチ絵でもかまいません。

以上

図 4.1.2-3 実施計画書ひな形

機器撤去、遮蔽対策・機器改造、新規設置等にかかわる実施計画書

機器名　　：　記入例　トムソン散乱計測
担当者名　　：　記入例　土岐太郎、多治見二郎、瑞浪三郎
記入者名　　：　記入例　土岐太郎（内線：＊＊＊＊）
記入日　　：　記入例　２０１４年５月３０日

（注：機器名については、整理のため 2013 年秋に実施した「重水素実験対応チェックリスト」における機器名と同じ名称にして下さい。新規設置の場合は、その限りではありません。）

１）重水素実験に向けた対応について

□撤去　□放射線遮蔽対策・機器改造　□改造無し　□新規設置

２）実施時期について

記入例：２０１５年３月に撤去

以下、対応の具体的内容について

３）「撤去」の場合

□所内作業（所員及び運転員）で実施できる
□できない
→できない場合、概算見積をお知らせ下さい（注：できれば、見積書の提出をお願いします。）

４）「放射線遮蔽対策・機器改造」の場合

４－１）対策・改造前と後についてシステム全体図が分かる図面をお示し下さい。

（注：ポンチ絵でもかまいません。現状（対策前）図については、昨年度実施した「重水素実験対応チェックリスト」に添付していただいています。本計画書に載せる図の例を最終ページに添付しましたので、参考にして下さい。）

○対策・改造前

（CAD 図面、或いはポンチ絵）

○対策後・改造後

（CAD 図面、或いはポンチ絵）

４－２）放射線遮蔽対策・機器改造の内容について、出来るだけ具体的に詳述して下さい。

（注：「重水素実験対応チェックリスト」で提出いただいた内容と対比させる形で記述して下さい。遮蔽部分については、LHD 本体室内の中性子束分布等「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画＜改訂版＞」（平成 24 年 2 月 核融合科学研究所）にある記載内容を参考に、各担当者の責任の下検討をお願いいたします。必要に応じて、昨年「重水素実験対応チェックリスト」と同時に配布した「重水素実験への機器対応の指針」、並びに本計画書フォーマットの補足資料２を参考にして下さい。「重水素実験への機器対応の指針」の 9 ページに、遮蔽の具体例として JT-60U における計測機器の遮蔽の様子が 3 例示されています。なお、中性子・ガンマ線遮蔽に必要なポリエチレン、鉛・タングステンシートにつきましては、共用でお使いいただけるよう LHD 高性能化機器設計グループの方で用意します。）

５）「改造無し」の場合

（注：白判定であっても管理区域と非管理区域を繋ぐ導波管等はその境界にゲート弁を設けていただく必要があります。色付けは、機器の耐放射線性の観点からの色付けであり、白だから何もしなくてよいということではありませんのでご注意下さい。）

６）「新規設置機器」について

（注：項目４－１）と４－２）と同じ形で記載して下さい。）

７）希望・提案等

（注：LHD 高性能化機器設計グループでは、重水素実験に向けた機器対策の一環として、本体室地下加熱ステージ上に予定している機器退避エリアの利用希望調査、遠隔 AC 電源オン・オフ機能利用希望調査を 2014 年 4 月に行いました。その他希望する内容、提案事項がございましたらお書き下さい。）

本件に関してご不明な点があれば、以下の LHD 高性能化機器設計グループメンバーにお問い合わせ下さい。

高密度プラズマ物理研究系　森崎友宏　内線：2146、EMAIL：morisaki@nifs.ac.jp
高温プラズマ物理研究系　磯部光孝　内線：2173、EMAIL：isobe@nifs.ac.jp
プラズマ加熱物理研究系　長壁正樹　内線：2215、EMAIL：osa@nifs.ac.jp

以上

4.2 重水素実験開始に向けた準備状況

4.2.1 準備体制

関係自治体（土岐市、多治見市、瑞浪市および岐阜県）と平成25年3月に、周辺環境の保全等に関する協定が締結され、重水素実験開始の同意が得られたことから、安全評価委員会で確認された安全管理計画にしたがって、重水素実験へ向けた整備をスタートさせた。安全管理機器の整備、本体、加熱、計測機器等の実験関連機器の重水素化対応整備、施設・建物の改修整備等のハードウェアの整備、および運転マニュアル、放射線管理マニュアル等をはじめとする規則類の整備等のソフトウェアの整備など、実験開始へ向けた準備期間として3年程度を見込み、準備体制を整えた。

重水素実験は、LHD計画プロジェクトに限らず研究所における最重要課題として位置付け、重水素実験へ向けて、安全管理体制の確立及び機器整備の一元的な推進を図るために、重水素実験推進本部を設置した。推進本部では、関係自治体との協議および調整、並びに重水素実験計画に関係する事項にも対応する。LHD計画実験統括主幹を本部長とし、ヘリカル研究部長、LHD計画総主幹、核融合工学研究総主幹・統括主幹をはじめ、5名の実験系の研究主幹、安全衛生推進部長、研究力強化戦略室長、技術部の部課長、管理部の関連部課長、放射線管理室長、危険物質管理室長など、研究所の管理体制と安全体制から構成されているため、トップダウンによる迅速な決定と実行を可能としている。現在、月1回程度の頻度で推進本部会合が開催されており、重水素実験開始へ向けた準備を加速させている。

重水素実験推進本部の下、具体的な検討・整備は、LHD高性能化機器設計グループが行っている。LHD計画実験統括主幹を責任者、安全衛生推進部長を副責任者として、LHD計画プロジェクトに関係する研究系から20名程度、技術部から8名程度、および施設・安全管理課をコアメンバーとし、必要に応じて関係者も参加して、個別の整備項目に関して検討・整備を進めている。図4.2.1-1に、LHD高性能化機器設計グループが進めている重水素実験に向けた整備項目と担当体制について示す。なお、実験関連機器の重水素化対応にかかる実施計画のチェックも本グループが行っている。

以上のように、重水素実験推進本部によるトップダウンの責任体制に基づいた迅速な意思決定の下、LHD高性能化機器設計グループにより個別項目の具体的な検討と整備を進めるという体制で、重水素実験開始に向けた準備を推進している。

○整備スケジュール策定（竹入、西村(清)、高性能化機器設計グループ）

○主要整備項目（竹入、西村(清)）
- ・放射線総合監視システム（西村(清)、田中(将)）
  - システム整備
    - 放射線監視側（田中(将)、赤田、佐瀬、磯部、三宅、林浩）
    - 中央制御側（渡邊(清)、横田、前野）
  - 要素ハードウェア整備
    - トリチウム除去装置（田中(将)、西村(清)、鈴木(直)、近藤、加藤(ひ)）
    - 中性子計測（磯部、小川(国)、三宅、林浩、小渕、河合(将)）
    - 監視・管理用放射線計測（田中(将)、赤田、佐瀬、三宅、林浩）
    - 監視カメラシステム増強（庄司、成嶋、三宅、土伏、渋谷、施設・安全管理課）
    - 入退管理・インターロック（成嶋、赤田、三宅、林浩、横田）
- ・貫通孔処理（今川、岡田(宏)）
  - 北側・東側南（加熱）：長壁、岡田(宏)
  - 東側北（低温）：今川、三宅
  - 南側（計測）：磯部、林浩
- ・機器遠隔操作化、遮蔽・放射線対策
  （磯部、中西、庄司、小川(国)、向井、大砂、小渕、林浩、三宅）
- ・配線、機器の更新撤去（磯部、中西、庄司、小川(国)、向井、大砂、小渕、林浩、三宅）
- ・ガス供給システム（宮澤、坂本、安井、長原）
- ・真空排気系、排気ガス処理対策、試料加工工作室（坂本、本島、時谷、鈴木(直)、林浩己）
- ・防塵室整備（森崎、本島、田中(宏)、林浩己）
- ・冷却水系（森崎、坂本）
  - 本体冷却水系（坂本、本島、林浩己、土伏）
  - 加熱冷却水系（長壁、関哲夫、吉村(泰)、木崎、小林(策)）
  - 真空容器加熱冷却装置（森崎、田中(宏)、林浩己、土伏）
- ・申請関係（西村(清)、磯部、三宅）
- ・施設関連整備（西村(清)）
  - 防水改修（西村(清)、磯部、施設・安全管理課）
  - 空調・排水改修（西村(清)、赤田、佐瀬、施設・安全管理課）
  - 電気設備改修（関、施設・安全管理課）
  - 内装改修（磯部、時谷、駒田、施設・安全管理課）
  - 天井等耐震化（森崎、長壁、柳、横田、施設・安全管理課）

○重水素対応マニュアル整備（西村(清)、今川、森崎、磯部、三宅、林浩）
- ・放射線管理マニュアル（別紙参照）
- ・運転マニュアル（別紙参照）
- ・異常時対応マニュアル（別紙参照）

○管理区域（西村(清)、成嶋、赤田、小川(国)、三宅、林浩、施設・安全管理課）
- ・入退管理方法
- ・管理区域の種別
- ・管理区域への入室制限、機器・道具類の持ち込み・持ち出し制限
- ・修繕、保守

○安全管理計画との整合性管理（竹入、西村(清)、高性能化機器設計グループ）

図4.2.1-1 LHD高性能化機器設計グループにおける重水素実験に向けた整備項目と担当体制

4.2.2 施設の整備状況

4.2.2.1 大型ヘリカル実験棟の整備

本体室は、コンクリート(壁 2 m 厚、天井 1.3 m 厚)で囲まれている。中性子のストリーミングがないように、本体室の側壁には、貫通孔がなく大型ヘリカル装置につながる配線・配管は、本体室地下を経由して隣室の実験室・計測室に至る。搬入用と人の出入り用の開口部には遮蔽扉があるが、それらは、実験期間中には閉める。本体室の床も 2 m 厚のコンクリートでできている。本体室地下は、大型ヘリカル装置の真下に位置し、隣接する実験室・計測室との間には、2 m 厚のコンクリート壁がある。図 4.2.2.1-1、図 4.2.2.1-2、図 4.2.2.1-3 に大型ヘリカル実験棟平面図を示す。予定している放射線管理区域境界を赤線で示す。

＜実施済みの整備＞

○大型ヘリカル実験棟に放射線管理区域が設定された後は、本体室への出入り口を一箇所に限定するため、入退管理室、更衣室、汚染検査室の整備を完了した。

○大型ヘリカル実験棟西側地下1階(1,266 ㎡)及び地下2階(435 ㎡)について、空調設備改修及び内装改修を完了した。また、大型ヘリカル実験棟西側地下 2 階には、放射化物、放射性廃棄物を保管するための「保管廃棄室」等を有するRI保管施設を設けた。保管廃棄室は、日本アイソトープ協会に引き渡すための搬出口を設け、荷役に適した構造となっている。このRI保管施設は、法令に基づき耐火及び耐震構造である。床には防水塗装が施され、保管容器保管のためのステンレス製の保管槽(3 m×4.5 m×70 cm)を 3 槽設けることのできる面積を確保してある。地下 1 階に排水槽置き場を整備し、空調設備機器類のドレン水等を貯留し、濃度測定、保管容器への移し替え等の処理を行う排水設備が設置されている。また、地下 1 階の真空排気ガス処理装置室の整備も完了しており、平成 26 年度にトリチウム除去装置が設置される予定である。

○大型ヘリカル実験棟地下 1 階ピロティ部分の 448 m^2 を活用し、重水素実験に関連した試料等に対する分析エリアを整備した。

○実験期間中の作業を考慮して本体室北側の工作室を改装し、加熱装置等大型機器のメンテナンスエリアとして管理区域内に保守作業室を設けた。メンテナンスの必要が生じた際は、汚染を測定、除去した後に遮蔽扉から搬出する。管理区域内保守作業室内には走行クレーンを備え、室内での重量物運搬に備えてある。また、空気汚染の恐れがあるときは、高分子膜型トリチウム除去装置に連結した換気機能を持つグリーンハウスで作業することとしており、その換気のための開口が設けてある。この管理区域内保守作業室が有する換気機能では、本体室内の空気をフィルターで浄化して天井位置から室内に給気し、西側の排気口からプレフィルターを通して排気する。実験室内の負圧を維持することにより、トリチウムの漏出を防ぐ構造となっている。

○老朽化更新として、大型ヘリカル実験棟の空調機及び排水管等の更新工事並びにクレーン改修工事を行った。また、本体室屋上防水改修工事も実施した。

＜今後予定されている整備＞

○大型ヘリカル実験棟本体室の放射線管理区域計画場所において、老朽化した排水管更新を含めた機械設備工事及び老朽化した照明更新を含めた電気設備工事を平成 26 年度から平成 27 年度にかけて実施する予定である。

○本体室内は、低部の側壁、安全通路等のみが部分的に塗装された状態であるため、汚染防止のために必要に応じて塗装を施す。

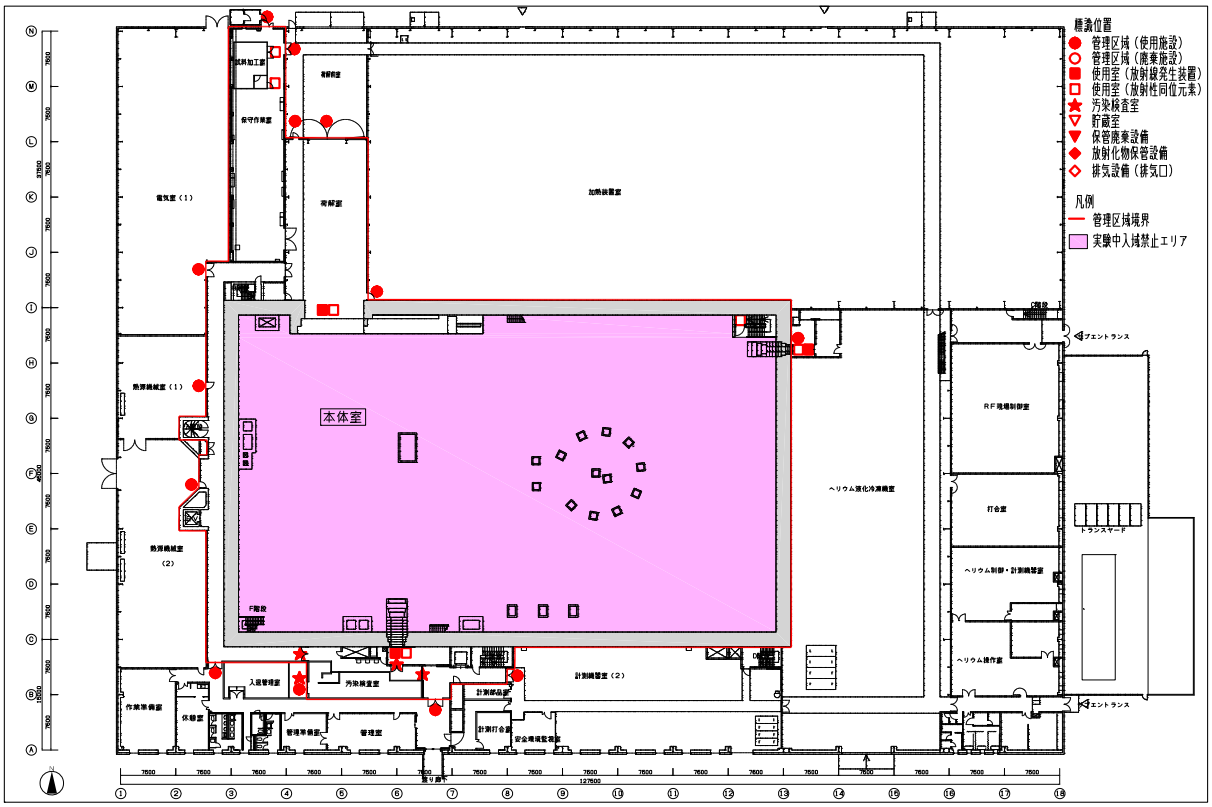


図 4.2.2.1-1　大型ヘリカル実験棟 1 階平面図

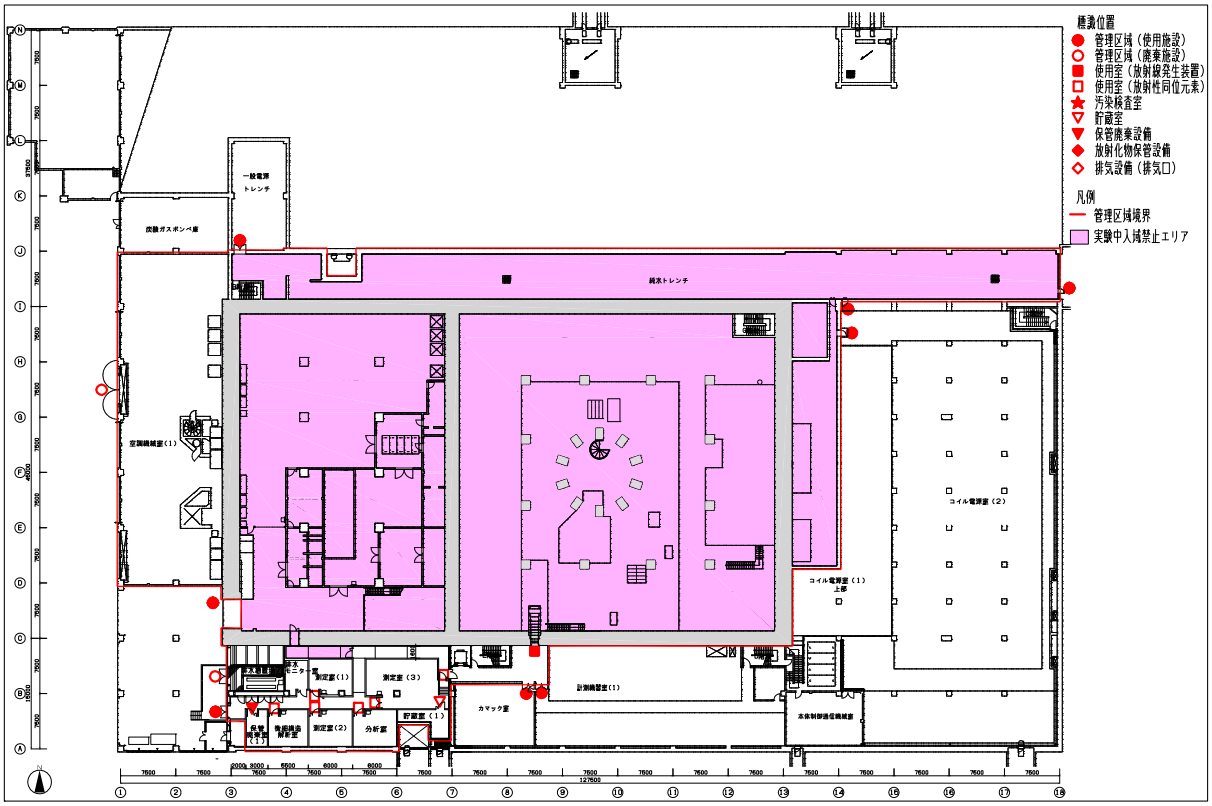


図 4.2.2.1-2　大型ヘリカル実験棟地下1階平面図

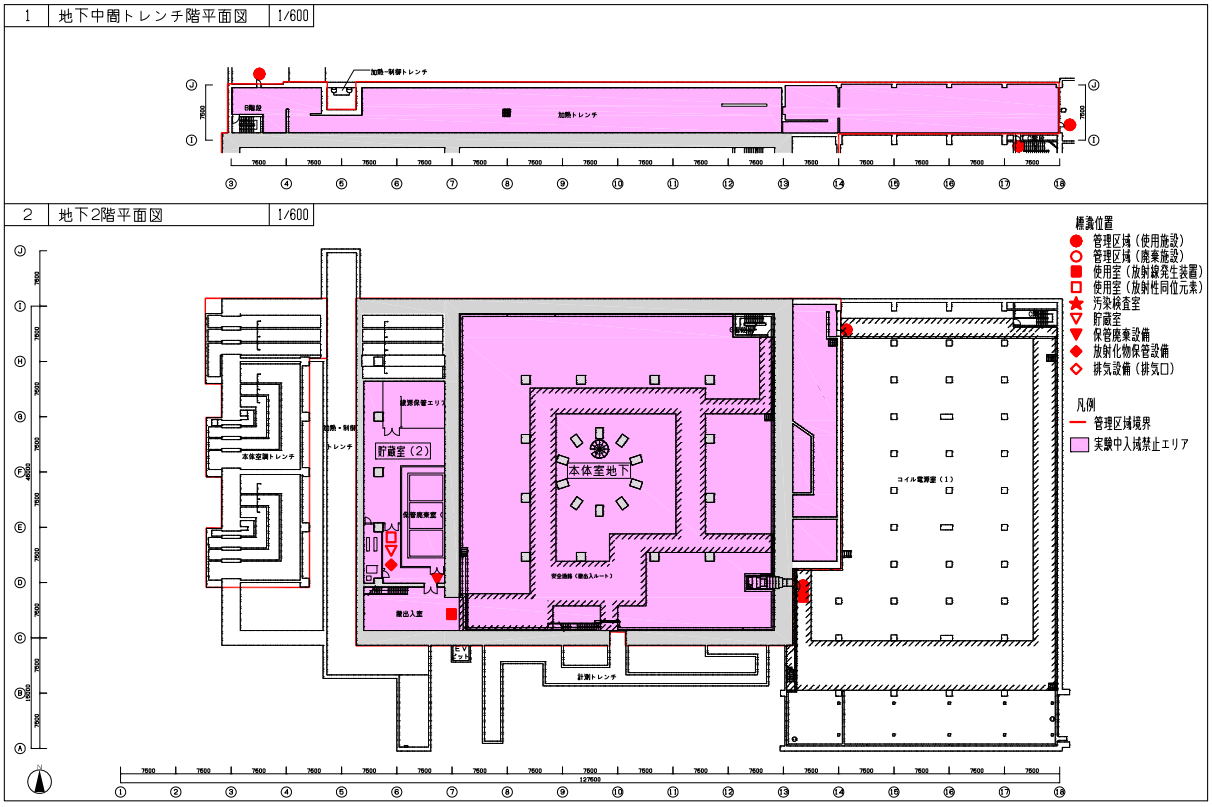


図 4.2.2.1-3　大型ヘリカル実験棟地下 2 階平面図

4.2.2.2　空調設備

プラズマ実験期間中は、大型ヘリカル実験棟の本体室内の空気中に含まれる埃・塵等が放射化するため、負圧を保つために排気を行うが、放射化した空気の排出量を抑制するため、本体室からの排気量は可能な限り少なくする。大型ヘリカル実験棟の本体室地下と真空排気ガス処理装置室も負圧に管理し、これらからの排気は、放射能濃度をモニターしながら排気塔から大気に放出する。

空調機エアバランスの仕様案の一例を図 4.2.2.2-1 に示す。外気との換気が可能な系統は ACU-6 系統の1系統だけであるが、12,550 m^3/h の換気能力を有しており、負圧維持に必要な能力を備えている。開口部や扉部分の気密性を高めることによって圧保持のための換気量を抑制する（気密性を高くすることは、中性子のストリーミングを減少させる上でも有効である）。非密封のRI取扱施設となる管理区域の排気系統にはプレフィルター、HEPA フィルターを設置して放射化したダスト等をろ過して取り除き排気する。

現在までに、システムはほぼ完成しており、平成 27 年度に老朽化したダクトの一部改修及び HEPA フィルターの設置をする予定である。

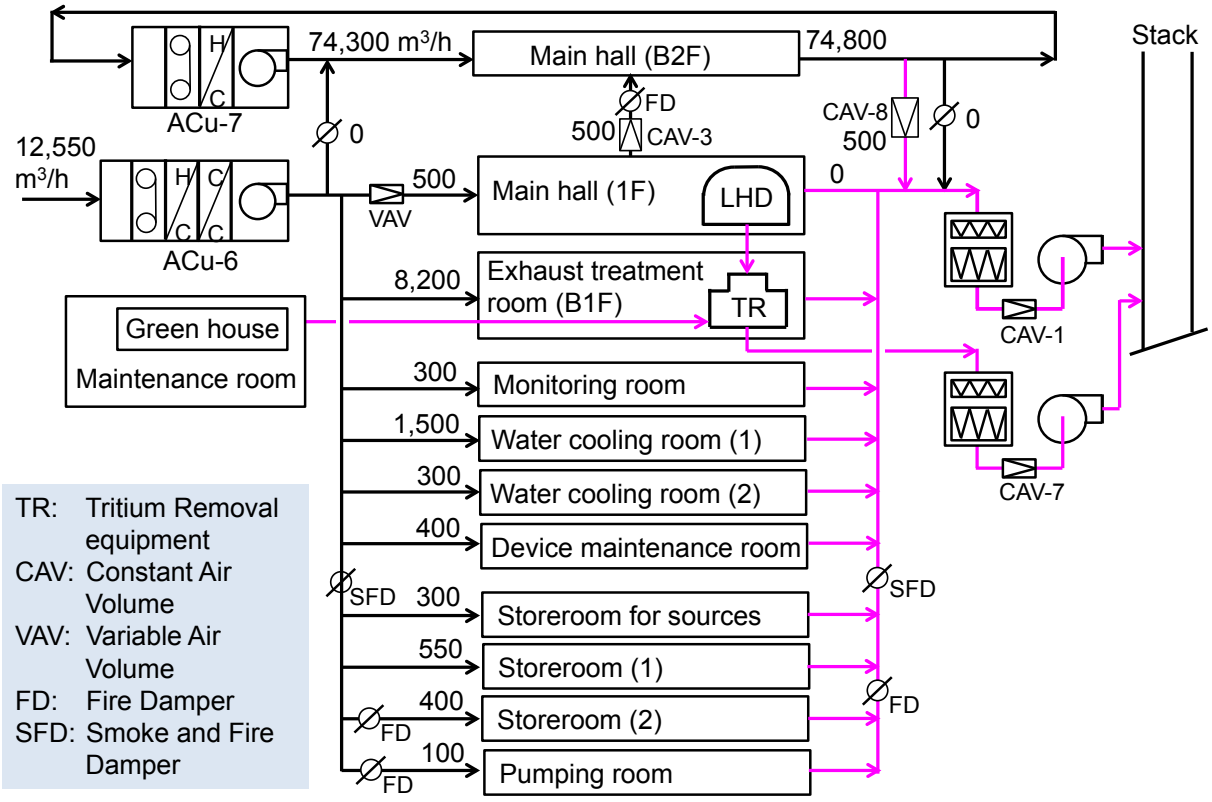


図4.2.2.2-1　空調機エアバランス（実験中本体室その他系）の仕様

4.2.2.3 非常用発電機設備

LHD の主要機器は、停電後、30 分から 1 時間、電気を供給できるバッテリーを保有しており、バッテリーから給電できる間に各機器を安全に停止できるよう設計されている。しかし、東日本大震災の教訓として、停止した機器の情報を正確に把握して、情報を伝えることが、求められている。

上記要求に鑑み、長期間の商用電源喪失にも対応するため、非常用発電機設備を平成 26 年 3 月に整備した。発電能力は 80 kW(100 kVA)級とし、燃料の軽油を 10 日分貯蔵できる貯蔵タンクを整備した。商用電源喪失時には、発電機切替盤により非常用発電機設備に切り替え、放射線総合監視システム等の機器に給電して、必要な管理、情報伝達体制を確保する。供給先を下記に記す。

現在までに、非常用発電機設備の設置は完了しており、平成 27 年度に負荷設備側の完了にあわせ総合的な試験を実施する予定である。

非常用発電機設備の電気系統図を図 4.2.2.3-1 に示す。主要な負荷は下記の通りである。

＜非常用発電設備が供給する主要機器の負荷＞

放射線総合監視システム他（12 kVA）
放射線安全管理機器（11 kVA）
非常用照明（3 kVA）
トリチウム関連設備の管理・制御設備（3 kVA）
入退管理システム（2 kVA）
大型ヘリカル実験棟管理設備（2 kVA）
非常用電話(ファックス、衛星回線を含む)（1 kVA）
所内放送設備（10 kVA）等

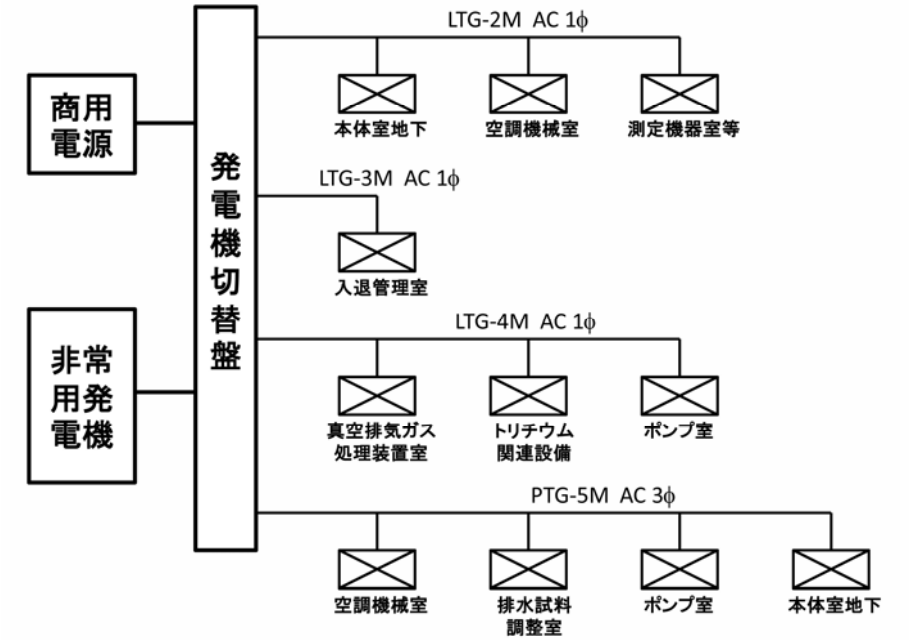


図 4.2.2.3-1 非常用発電設備の電気系統図

4.2.2.4　排水設備

排水設備の概略図を図 4.2.2.4-1 に示す。管理区域内で発生する排水には、RI 容器や試料等の洗浄により発生したもの、管理区域内清掃排水、管理区域出入口での手洗い等洗浄排水及び空調機ドレン水があるが、これらの排水は全て分配槽に送られる。分配槽の容量は 3 トンである。分配槽が設定水位になると自動的に貯留槽 1 に送られる。貯留槽 1 では、排水モニターにより放射能濃度を測定する。異常がなければ、貯留槽 2 に送る。貯留槽 2 では、試料をサンプリングし、液体シンチレーションカウンター等で更に詳細な測定を行い、問題がなければ下水に排水する。貯留槽 1 で異常が確認された場合は、貯留槽 3 へ移し、再度詳細測定を行う。再度の測定で問題がなければ貯留槽 2 に戻し、再々度の測定を実施する。その結果、濃度が研究所管理値以下であれば下水に排水する。また、濃度が研究所管理値を超える場合は、日本アイソトープ協会への引き渡しを行うため、廃液として保管容器に移し替え、引き渡しまでの間、一時保管を行う。貯留槽の容量は 1, 2, 3 共に 10 トンである。

現在、システムの設置は全て完了し、重水素実験に向けて仮運用をしており、平成 27 年度に総合的な遠隔監視の確認をする予定である。

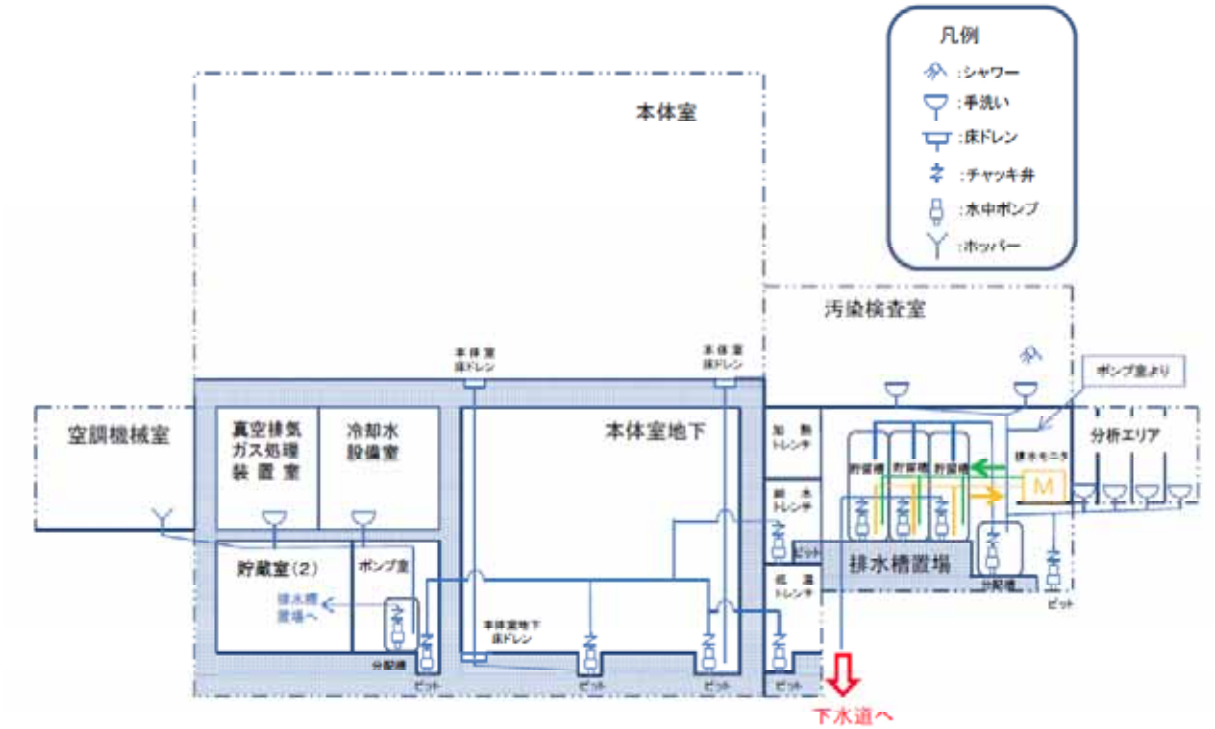


図 4.2.2.4-1　排水設備系統図

4.2.3 機器の整備状況

4.2.3.1 貫通穴の遮蔽

大型ヘリカル実験棟建屋の側壁コンクリート壁厚及び天井コンクリート厚は、それぞれ 2 m、1.3 m であり、地上部分の壁には貫通孔を持たない構造となっている。一方で、本体室地下と隣接する部屋を遮るコンクリート壁には、ケーブルや配管等を通すための貫通穴が設けられており、隣接する部屋での作業に支障がないよう重水素実験時に発生する中性子のストリーミング等、放射線への対策を施す必要がある。重水素実験時においては、管理区域外側での実効線量を 3 ヶ月間で 1.3 mSv 以下とすることが定められている。また、1年間に 2,100 ショットが見込まれるため、管理区域外での実効線量がショットあたり 0.6 μSv 以下となるよう、本体室地下とその隣室を結ぶ貫通穴の閉止及び遮蔽対策を行う必要がある。

図 4.2.3.1-1 に貫通穴閉止の概略図を示す。充填材としてはコンクリートもしくはポリエチレンを使用し、貫通穴の片側には気密処理を施している。管理区域外における実効線量については、2 次元 Sn 法輸送コードによって求められた本体室地下側壁の実効線量に、貫通部の形状や放射線の挙動に応じた近似式を適用して評価した。貫通穴の閉止だけでは遮蔽が不十分な場合は、コンクリート壁やコンクリートスラブの設置を検討した。表 4.2.3.1-1 に、図 4.2.3.1-2 に示す代表点における計算によって得られた遮蔽対策後の実効線量を示す。全ての計算地点で上述した管理区域外での基準値(0.6 μSv／ショット)を満足していることから、十分な遮蔽能力を有していることが分かる。

図 4.2.3.1-3 は、本体室地下北側貫通穴での閉止作業の様子を示している。ブロック上のポリエチレンを貫通穴内部に敷き詰め、ダクトとの間に出来る僅かな隙間にビーズを流し込むことで、隙間が出来ないように施工している。現在、本体室地下の北側・南側・東側にそれぞれ設けられている貫通穴に対して、同様の遮蔽対策を実施中である。北側については既に遮蔽対策は完了している。南側及び東側についても一部を除き平成 26 年度に完了し、重水素実験開始までに全ての遮蔽対策を完了させる予定である。

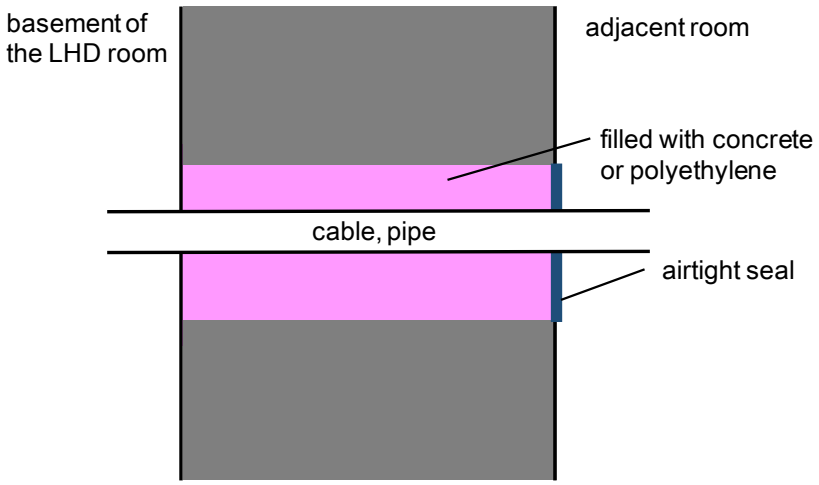


図 4.2.3.1-1 LHD 本体室地下コンクリート壁穴埋めの概略図

表 4.2.3.1-1 LHD 本体棟内の代表点における線量評価

代表点	実効線量（μSv/shot）
・地上 1 階北側	0.13
・地下 2 階東側	0.29
・地上 1 階南側	0.16
・地上 1 階西側	0.06

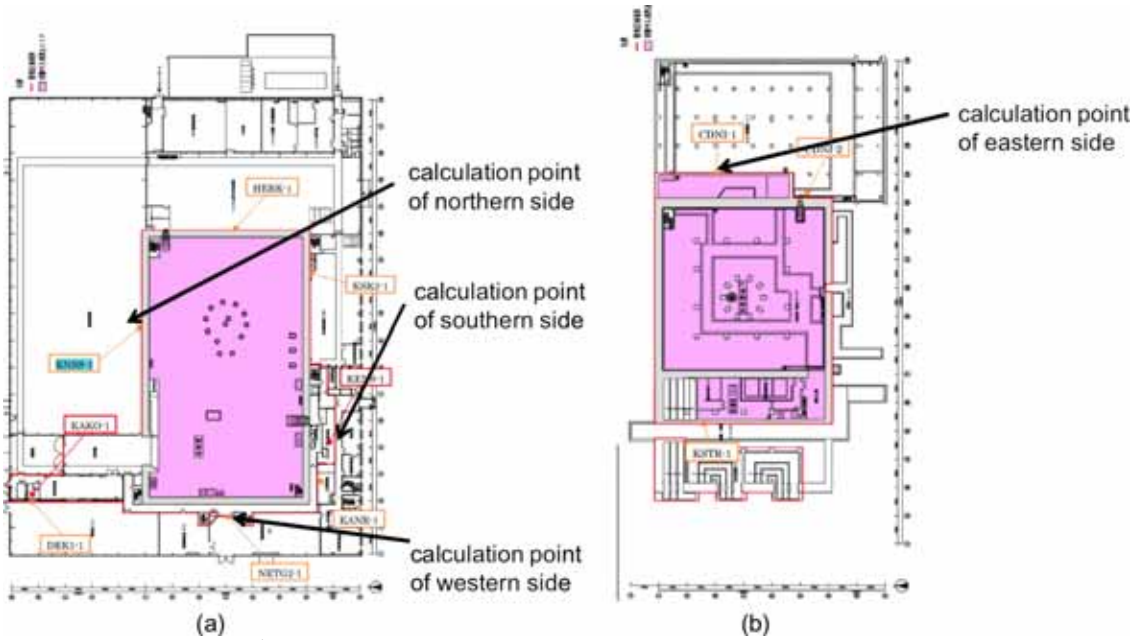


図 4.2.3.1-2 線量評価の代表点 (a)： 地上 1 階平面図、(b)： 地下 2 階平面図



図 4.2.3.1-3 貫通孔処理の様子

4.2.3.2 機器の撤去・移設

重水素実験時には、特に、半導体を利用した検出器等の計測機器における最終段検出器、PLC、PC に代表される制御機器コンポーネント、信号記録デジタイザ等における中性子・ガンマ線照射に起因するノイズの出現、それによる誤動作、或いは水素放電時には経験することがなかった恒久的な損傷が危惧される。また、本体室及び本体室地下は放射線障害防止法が規定する放射線管理区域となり、機器の持ち込み、持ち出しが現在よりも厳しく管理されることになる。更に、実験に伴う空気の放射化により、同場所における作業時間が現在の状況に比して大幅に制限されることから、加熱・計測・制御機器のみならず、真空機器からガスボンベ利用の機器に至るまで、LHD を構成する全ての機器のハードおよび保守・運用について検討する必要がある。このような背景から、各機器の使用条件、撤去、改造等に関する指針、及び保守・運用の考え方に基づき、機器の移設・撤去を順次行っている。表 4.2.3.2-1 に示すように、特に脆弱な機器について順次撤去を行っており、撤去が決まった約半数の機器については既に撤去が完了している。残りの機器についても、撤去作業計画に基づき、速やかに行う予定である。

表 4.2.3.2-1 撤去対象計測機器と撤去進捗状況

チェックリストに基づく撤去対象既設計測機器一覧

No	機器名称	設置位置	管理者	撤去実施担当	撤去作業予定時期	撤去済	撤去完了日
1	X線PHA	2.5L	武藤(貞)	小渕	2014.2中	済	14.03.31
2	X線PHA	2O	武藤(貞)	小渕	2014.5までに実施	済	14.05.20
3	ARMS	9O	尾崎	尾崎	第18サイクル終了後		
4	CsI(Tl)シンチレーション検出器	4.5L	磯部	磯部、小川(国)	第18サイクル終了後	済	14.5.27
5	Si-FNAアレイ	5.5L, 6O	長壁	長壁	15.03に実施		
6	AXUV	8O AD01-03(上部)	大舘	小渕	14.06 予定	済	14.06.11
7	AXUV	8O AD01-03(下部)	大舘	小渕		済	14.05.13
8	軟X線アレイ	3.5U, 3.5L, 6.5U	大舘	大舘	15.3-5に実施		
9	VUVカメラ	6T	大舘	大舘	15.3-5に実施		
10	VUVカメラ	10O	大舘	小渕	14.06 予定	済	14.07.17
11	軟X線アレイ	6O	武村	武村	15.3に実施		
12	軟X線カメラ(SXCCD)	6T	鈴木(千)	鈴木(千)	第18サイクル開始前	済	14.03.05
13	AXUVD	3.5U, 4O	田村(直)	田村(直)	第18サイクル終了後		
14	Dispersion干渉計	10O	秋山	秋山	15.02		
15	制御データ処理装置 山口盤&開ダイバータ熱電対	本体棟A,Cステージ～本体棟地下退避エリア	庄司	土伏、田中宏	14.09		
16	東井3次元磁気プローブ	8O	小川(国)	小川(国)	第18サイクル開始前	済	14.03.27
17	ベリスコープ	2.5U, 5.5U	居田、吉沼	吉沼	2014.04.18	済	14.04.18
18	SPRED	3-O	鈴木(千)	小渕	第18サイクル開始前	済	14.07.08
19	2.5U 横失高速イオンプローブ	2.5 U	小川(国)	小川(国)、小渕	14.06 予定	済	14.06.10
20	レーザーブローオフ	2.5 L	舟場	舟場	第18サイクル終了後		
21	CXS	2.5 UL	吉沼	吉沼	第18サイクル開始前	済	14.03
22	CXS	5.5 UL	吉沼	吉沼	第18サイクル開始前	済	14.03
23	CXS	7.5 UL	吉沼	吉沼	14.07に実施		
24	CXS	8O	吉沼	吉沼	15.05に実施		
25	CXS	10T	吉沼	吉沼	14.07に実施		
26	CXS	10.5UL	吉沼	吉沼	14.07に実施		
27	スニファープローブ	2O,5.5U,7O,9.5L	伊神	伊神	15.03に実施		
28	ECHアンテナ対向壁監視カメラ	2O	伊神	伊神	第18サイクル終了後	済	14.05
29	IRカメラ	2O	伊神	伊神	第18サイクル終了後	済	14.05
30	ディスコーンアンテナ	9.5L	伊神	伊神	第18サイクル終了後		
31	ICH-監視カメラ	3O,7O	斉藤(健)	斉藤(健)	第18サイクル終了後		
32	IRカメラ	10O	芦川	芦川	第18サイクル終了後		
33	電光表示盤及びパトライト	本体壁面	横田	横田	14.06.12	済	
34	IRボロメータ	6T, 6.5U, 6.5L, 8O, 10O	向井	向井	15.03に実施		
35	プラズマ監視カメラ	6T	庄司	庄司	第18サイクル終了後		
36	IRカメラ	9O,105U	増崎	増崎	第18サイクル終了後		

4.2.3.3 トリチウム除去装置

大型ヘリカル装置(LHD)の重水素実験で発生するトリチウム量は、最大で年間 1.5 Ci (55.5 GBq)を想定している。これは、日本で初めてプラズマ発生装置に認可された JT-60U (日本原子力研究開発機構 那珂核融合研究所)と同じレベルである。JT-60U では、真空容器から排出されるトリチウムを、法令に従ってトリチウム濃度が施設排出規制値以下であることを確認して排気塔から放出した [4.2.3-1]。一方、核融合研では、安全管理計画の下、トリチウムの年間環境放出量を 0.1 Ci (3.7 GBq)以下と規定している。そのため、LHD および周辺付帯設備の排気ガスに含まれるトリチウムを、排気ガス処理システムで除去する計画である。排気ガス処理システムは、LHD の運用に合わせて 2 種類のトリチウム除去装置から構成されている。ひとつは、プラズマ実験中の排気ガスを処理する酸化触媒-吸湿剤型除去装置、もうひとつは、LHD メンテナンス時の真空容器内パージガスおよび保守作業室局所排気を処理する酸化触媒-高分子膜型除去装置である。具体的な処理手法およびシステムの詳細は 5.1.3 節で述べる。

これまでに、LHD および周辺付帯設備のガス流量測定とガス組成分析結果を基にシステムを検討し、PFD(Process Flow Diagram)/P&ID(Piping & Instrumentation Drawings)の設計を終了した。また、PFD/P&ID を基にした個々の機器設計図面、計装機器の選定、入出力信号仕様、システム設置場所の 3D スキャン測定データを用いた具体的な機器レイアウト設計(図 4.2.3.3-1]を完了した。現在、ハードウェアの製作と並行して、システムの制御運転シーケンスとなるソフトウェアの設計検討を進めている。排気ガス処理システムの現場設置工事は、平成 26 年 12 月より開始し、墨出し/固定用アンカー設置に引き続き、平成 27 年 1 月から 3 月初旬まで大型機器の搬入据え付け、3 月に据え付け確認を行う予定である。その後、

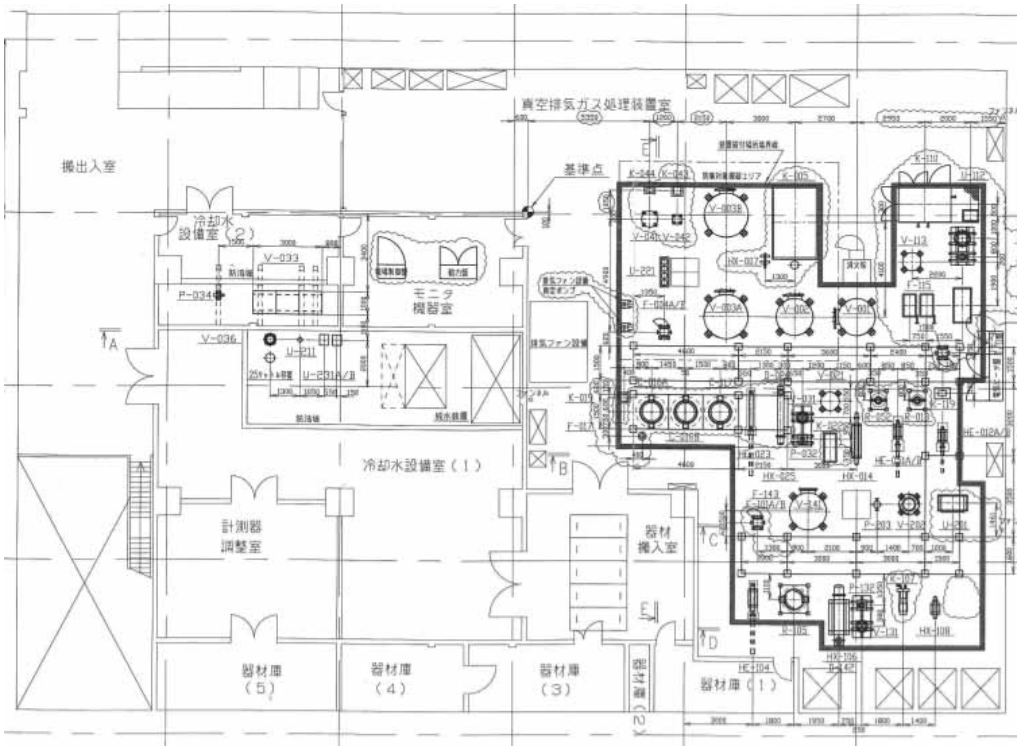


図 4.2.3.3-1 排気ガス処理システムの設置レイアウト案

電気設備工事、配管設置工事、各種試験を行い、10 月から 12 月まで単体および総合運転試験を実施する予定である。試運転結果を受けて、重水素実験に向けた準備を行い、先ず水素を用いたプラズマ実験に供して十分に運転状況を確認する計画である。

[4.2.3-1] 小林、他、「JT-60 施設における放射線安全管理」、プラズマ・核融合学会誌、89 (2013) 810.

4.2.3.4 中性子測定系及びその場絶対較正実験準備

重水素実験では、「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画＜改訂版＞」に従い、放電回数は年間最大中性子発生量の制限の下に管理されることから、中性子測定系は、放射線安全の観点で必須機器として位置付けられる。中性子発生量の把握には、2.3.3.1 で述べた核分裂計数管を検出器とする中性子フラックスモニタ(NFM)を主として用いる。NFM の仕様策定にあたり、先ず始めに、模擬中性子検出器、前置増幅器及び他プラントで実績のあるデジタル信号処理ユニットで構成されるシステムを用いて、LHD の実験期間中に、測定において障害となる可能性のある電磁ノイズ調査を実施した。この時の実測結果を基に、計数率が低い場合に主として動作するパルス系にはバンドパスフィルターと移動平均処理に加え、検出器信号とノイズ信号の極性の違いに着目したノイズ除去機能を設定した。また、高計数率時に機能するキャンベル系については、高周波ノイズの影響を除去する目的で、信号帯域を越える高周波側に急峻なカットオフ特性を有するデジタルフィルターを設計し、これらの機能を取り込み、更にミリ秒程度の高速時間応答特性を有するシステムとして LHD 用のデジタル信号処理ユニットを設計した [4.2.3.4-1]。信号処理ユニットプロトタイプを製作し、ファンクションジェネレータを使った机上試験で上記の機能を検証した後、京都大学原子炉実験所において動作確認試験を行い、その結果を踏まえた上で、平成 26 年度からデジタル信号処理ユニットの実機製作に着手している。

NFM 単体としてのハードウェア開発に加え、その場絶対較正において必要な機器の検討及び開発も並行して行っている。NFM の出力信号であるパルス計数率から、LHD プラズマ全体から放出される中性子の総発生率・量を評価するためには、中性子発生率が既知の中性子源を用いて NFM のその場絶対較正を行う必要がある。LHD では、較正用中性子源を連続的にトーラス方向に周回移動させることでリング状のプラズマ中

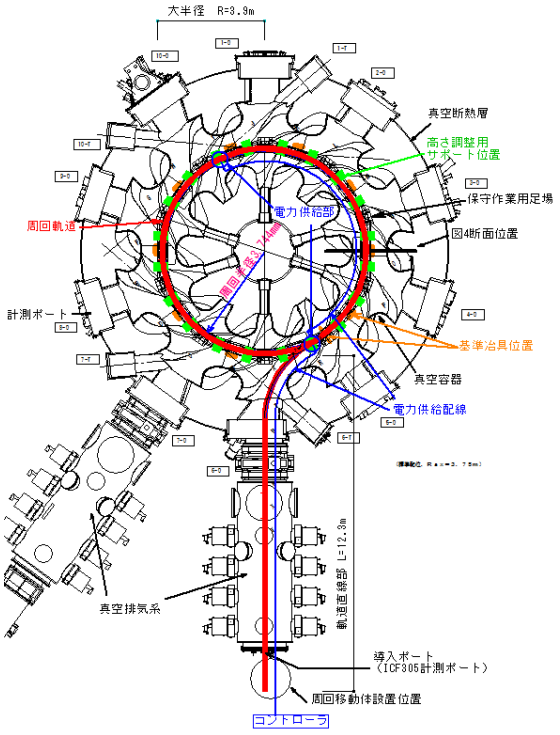


図 4.2.3.4-1 真空容器内に設置する NFM 較正用周回軌道

性子源を模擬する形の較正を行う計画である [4.2.3.4-2]。具体的には、較正用中性子源を搭載した周回移動体(鉄道模型列車)をプラズマ閉じ込め容器のトーラス赤道面上に敷設したレールの上でトーラス方向に連続的に周回させるものである。レールには、列車の走行時における安定性を考え、国内で最大規格の O ゲージを採用した。また、列車には長時間にわたり安定した走行性能が求められることから、72 時間に及ぶ連続走行耐久試験を通じて、列車の改良を重ねた。その場較正実験本番に向けて、搬入及び設置手順の確認、また、設置に係る問題点の洗い出しを目的として、これまでに、2 回にわたりLHD 真空容器内に周回軌道の試験設置を実施している [4.2.3.4-3]。図 4.2.3.4-1 に LHD 真空容器内に設置するその場較正用周回軌道図を、図 4.2.3.4-2 に周回軌道の LHD 真空容器内設置試験の様子を示す。重水素実験開始前に、真空容器内設置試験をあと1回予定している。次回の試験時には、模擬線源の取扱から模型列車への搭載等、その場較正実験で行う一連の作業全てをシミュレーションする形で設置試験を実施する計画である。



図 4.2.3.4-2 周回軌道の真空容器内設置試験の様子

上記の核分裂計数管を検出器とする NFM に加えて、中性子総発生量決定のための補助的な方法として、^{115}In 等の金属箔を利用した放射化箔システムを導入する。放射化箔の場合、測定される中性子束は放電中の積算値であるので、中性子発生量の時間変化が分からないという欠点があるが、ガンマ線に対して不感であり、照射端での中性子束の絶対測定が可能であることから、核分裂計数管測定のクロスチェックに極めて有効である。このため、平成 26 年度より放射化箔システムの整備に着手している。

照射端は 2 箇所に設ける。放射化箔を搭載したカプセルは、放電開始前に測定室(1)から 8-O ポート及び 2.5-L まで気送管を通じて送られ、放電終了後、気送管により測定室(1)に送り戻される。そこで高純度 Ge 半導体検出器によりガンマ線スペクトルを測定し、箔の位置での中性子の絶対束を評価する。

以上に述べた2つのシステムを併用することで、信頼性の高い NFM として構築する。

[4.2.3.4-1] M. Isobe, et al., “Wide dynamic range neutron flux monitor having fast time response for the Large Helical Device”, Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E114.
[4.2.3.4-2] M. Isobe, et al., “Fusion product diagnostics planned for LHD deuterium experiment”, Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D310.
[4.2.3.4-3] 河合将照、他、「LHD 真空容器内周回軌道の製作と設置確認作業」
第 9 回自然科学研究機構技術研究会 平成 26 年 6 月 19 日~20 日、岡崎コンファレンスセンター大会議室 **4-2**

4.2.3.5 実験関係機器の整備

本節では、2.3 節に掲げた設備整備計画項目を中心に、主としてプラズマ実験に係る機器の重水素実験の実施に向けた準備の進行状況を簡潔に纏める。

○本体関連(2.3.1節参照)

真空容器内における大規模な整備という点では、トーラス内側に設置される閉ダイバータの設置が挙げられる。閉ダイバータについては、平成26年度までに10セクション中、9セクションにおいて既に設置が完了しており、クライオポンプの取り付けを順次進めている。またNBIのビームによる高熱負荷から真空容器表面を保護する対抗壁の整備を行った。

ガスパフ装置については、重水素実験時の中性子照射影響を避ける目的で、ピエゾバルブ等を備えたマニホールドの移動やガス交換の必要性をなくすための改造等、重水素実験に向けた大規模な改造を平成26年度に施し、第18サイクル実験において既に使用されている。また、重水素実験時においては放射化物を極力増やさないという方針の下、本体室内において個別機器毎のガスボンベの使用が認められないため、本体ガスパフの改造に合わせて、NBIやペレット装置等にガスを供給するためのガスユーティリティも拡充した。

真空排気装置においては、粗引きやターボ分子ポンプの補助排気に使用される油回転ポンプをドライポンプに更新した。また、真空容器系排気装置と断熱真空容器系排気装置を室外排気配管も含めて完全に独立した別系統とした。

冷却水供給システムについては、冷却水システムの系統の変更、及び純化システムの移設を平成25年度に実施した。放射線管理区域外からLHD実験で使用する機器へ送水・循環していたシステムを、熱交換器を介して放射線管理区域内で循環するシステムに変更した。重水素実験では、放射線管理区域は放射化区域と非放射化区域に分けられる。LHDで使用される冷却水システムの純化システム(フィルター・イオン交換樹脂)は、主に本体室地下(放射化区域)に設置してあったが、放射性廃棄物を増やさないよう非放射化区域である冷却水設備室(1)及び加熱トレンチに移設した。

○加熱機器(2.3.2 節参照)

重水素実験に向けて、2台の正イオンNBIは、入射エネルギーを40 keVから60 keV(或いは80 keV)に増やし、入射電力を6 MWから9 MWに増強する計画である。一方、負イオンNBIについては、入射エネルギーの増加は行わず、180 keVのままである。重水素実験開始当初は、軽水素実験期と同一の負イオン源の設定で入射を行う予定である為、ビーム引出最適条件の質量依存性より、負イオンNBIの入射電力は70%程度(5 MWから3.5 MW)に減少することが予想される。負イオンNBIについては、重水素実験の進捗に伴って最適化を進め、軽水素入射時と同等の入射電力(~5 MW)維持を目指す。なお、正イオンNBIの増強へ向けた改造は、平成26年度に完了した。

ECH装置は、平成26年度までに主力の大電力1 MW以上発振のジャイロトロン管5本の運転のための機器整備が終了し、第18サイクル実験への適用が開始されている。重水素実験

開始後数年以内にさらにもう一本の大電力管を追加する予定であり、そのための入射系等の整備について検討を進めている。

ICRF加熱装置については、第18サイクル実験後に最も古いアンテナ2本を撤去する。実験の進展に伴い、発振器出力の合成あるいは新規アンテナの導入等により、入射電力を維持する計画である。

○計測機器（2.3.3 節参照）

重水素実験を象徴する計測機器の一つである中性子フラックスモニタ（NFM）、並びに放射化箔システムについては、現在製作を進めており、平成26年度中に整備が完了する予定である。また、中性子総発生率を評価する上で必須であるNFMのその場絶対較正実験が円滑に行えるよう、中性子源を真空容器内で周回させるための軌道や列車の整備、これらの真空容器内への試験設置等を進めている（4.2.3.4節参照）。物理指向の新規計測器の代表格である中性子プロファイルモニタについては、平成26年度中に本体室床コンクリート穴を利用して重コンクリート製コリメータの整備を実施する。高速中性子検出器及びデジタル信号処理ユニットについては、重水素実験を開始するまでに整備する計画である。中性子スペクトロメータ、14 MeV中性子検出器、ガンマ線プロファイルモニタについては、LHD計画共同研究をベースに現在開発を進めている。これらの整備については、重水素実験開始後を予定している。

高エネルギー粒子計測機器については、現在1台の損失高エネルギーイオンプローブが稼働しているが、高エネルギー粒子物理研究の拡大を目的としてアレイ化に向けた設置位置の検討を行っている。また、耐放射線性に優れた人工ダイヤモンドに基づく固体NPAの開発を進めている。これらについては、順次実験に投入する計画である。

異常輸送や同位体効果解明に向けた取り組みにおいて活躍が期待される広ダイナミックレンジ分光システムについては、プロトタイプを製作し、実際にLHDプラズマに対して観測を行い、所定の性能が実現されていることを確認しており、今後、ハード・ソフトの両面からシステムの拡充を図る。

ヘリカルダイバータ閉構造化による重水素実験への寄与を最大化するには、ダイバータプラズマおよび壁に関連する物理機構を明らかにすることが重要であり、これを目的として2.3.3.4節に記したダイバータ計測システムを順次整備する計画である。

データ収集処理系では、高速かつリアルタイムにデータ集録と解析・可視化等の処理が可能で、しかもスケーラブルに機能・能力を拡張できる大規模分散アーキテクチャに基づいた複合システムを稼働させている。重水素実験に向けては、必要に応じて本系のスケール・アウトを行うと共に、電源制御・監視の遠隔集中管理システムを平成27年度前半に構築する予定であり、重水素実験開始後もシステム全体の信頼性(稼働率)99.9%超の達成を目指している。

○安全管理機器（2.3.4 節、5.1 節参照）

管理区域の出入口に設けられる入退管理室、更衣室、汚染検査室、除染設備、入退管理システムといった施設設備的なものから、RMSAFE、空気中及び排気中の放射線同位元素

濃度測定システム、排水管理システム、放射化物測定のための高純度ゲルマニウム半導体検出器等の安全管理に係る測定機器にいたるまで、概ね整備を終えている。入退管理システムについては、実験期間にあわせて平成 25 年度から試験運用を始めている。また、環境放射線測定関連機器においては、重水素実験開始前のバックグランドとなるデータの取得が重要であることから、既に本格運用が始まっている。

○保守作業室及び試料加工室

加熱装置等大型機器の実験中のメンテナンス及び LHD 真空容器内においてプラズマ照射した試料の加工処理を目的として、管理区域内に保守作業室を整備した(図 4.2.3.5-1)。加熱装置等のメンテナンスの際は、汚染を測定除去した後に遮蔽扉から搬出する。この際に汚染の拡大を防止するために保護シート等で覆う。運搬には専用の台車を使用する。保守作業室には走行クレーンを備え、室内での重量物運搬ができる。また、放射化した器材の点検修理等のために組み立て式のクリーンハウス等を用意し、放射化物による汚染の拡大を防ぐ。保守作業室に試験的に組み立てられたクリーンハウスを図 4.2.3.5-2 に示す。クリーンハウスにはトリチウムによる空気汚染の恐れがあるときに備え、高分子膜型トリチウム除去装置と連結した排気配管を用意する。

プラズマ照射した試料は、プラズマからの中性子により放射化する。放射化した試料の取り扱いには放射線障害防止法に基づき放射性同位元素の使用申請が必要であり、使用場所は管理区域内の放射性同位元素使用室に限られる。このため保守作業室内に、放射性同位元素使用室の基準を満たした試料加工室を設置した。試料加工室には試料の加工時に発生する粉じんを回収できる設備を設けるとともに、トリチウムによる空気汚染の恐れがあるときに備え、高分子膜型トリチウム除去装置と連結した排気配管を用意し、汚染の拡大防止に努める。また、トリチウムの付着した機器の修理等を行う場合に備え、修理機器の近くには、高分子型トリチウム除去装置につながる排気配管を用意し、トリチウムの汚染拡大防止に努める。

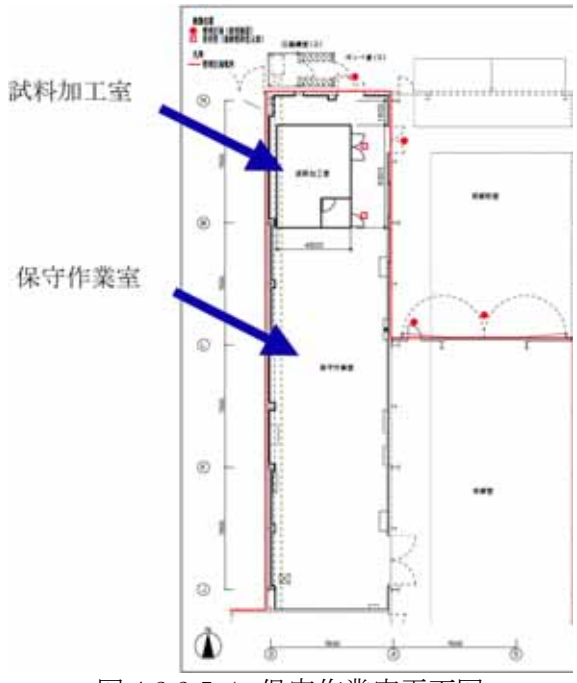


図 4.2.3.5-1 保守作業室平面図


図 4.2.3.5-2 保守作業室において組み立てられたクリーンハウス

4.2.4 申請手続き

研究所は、LHDによる重水素実験を開始するにあたり、当該装置等の使用について「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（以下、「放射線障害防止法」という。）」及び「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下、「原子炉等規制法」という。）に基づき原子力規制委員会の承認を得る必要がある。これらの法律により承認が必要な装置等の内訳を表4.2.4-1に示す。研究所は、平成25年3月に周辺3市（土岐市、多治見市、瑞浪市）及び岐阜県との間に「核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する協定」を締結するとともに重水素実験開始の同意が得られたことから、重水素実験に必要な装置等の使用について原子力規制委員会への承認申請手続きを開始した。

表4.2.4-1 重水素実験開始に向けて使用承認申請が必要な装置等

装置等	法律	定義
核分裂計数管 （ウラン235）	原子炉規制法	核燃料物質 （濃縮ウラン）
Cf-252（800 MBq）	放射線障害防止法	放射性同位元素 （密封線源）
大型ヘリカル装置（LHD）	同上	放射線発生装置 （プラズマ発生装置）
第一壁及びプラズマ試料	同上	放射性同位元素 （非密封線源）

DD反応の量を評価することは安全管理の立場から最重要課題である。放射線発生装置としての使用量には、DD反応で発生した中性子量が用いられる。また、生成するトリチウムの量は、この測定値からも算出される。そのため、中性子量の測定は、重水素実験を開始する上で最重要不可欠な測定である。核融合プラズマ実験装置における中性子量の測定には、世界的な標準として核分裂計数管が使用される。核分裂計数管には微量の核燃料物質（ウラン235）が使われる。核分裂計数管の購入あたっては、あらかじめ原子力規制委員会による核燃料物質の使用の承認が必要である。このため、原子炉等規制法第52条第1項の規定及び国立大学法人法施行令第22条第1項第16号において準用する原子炉等規制法第76条の規定に基づき、原子力規制委員会に平成25年6月に核燃料物質の使用の承認を申請した。本申請は、平成25年7月に原子力規制委員会から承認を得た。

核分裂計数管による測定の信頼性を高めるために、Cf-252線源による較正を行う。Cf-252線源の購入にあたっては、あらかじめ原子力規制委員会による密封された放射性同位元素の使用の承認が必要である。研究所は、すでに放射線障害防止法第3条第1項の規定により平成14年8月に放射線発生装置（コッククロフト・ワルトン型加速装置）重イオンブームプローブ測定装置（HIBP）の使用の承認を得ており、申請手続きは、放射線障害防止法第10条第2項の規定により、承認使用の変更の承認の申請として平成25年7月に申請した。本申請は、平成25年10月に原子力規制委員会から承認を得た。

LHDは重水素実験により、先に同様の実験を行った日本原子力研究開発機構那珂核融合研究所臨界プラズマ試験装置（JT-60）に相当する中性子の発生が見込まれることから、重水素実験を開始するにあたり、放射線障害防止法に係る放射線発生装置（プラズマ発生装置）として、原子力規制委員会による使用の承認が必要である。

LHD真空容器内に取付けられている第一壁（ダイバータ板及び保護板）は、重水素実験によってプラズマから発生する中性子の照射により放射性核種を生成する（以下、「放射化」という。）。この放射化した第一壁は、LHDの定期点検時にその一部が交換のため取外される。実験開始前にLHD真空容器内壁の固定点に取付けた試料を実験終了後に回収する。この試料も重水素実験によってプラズマから発生する中性子の照射により放射化する。また、2台の可動式試料駆動装置によりLHDの下部から真空容器内に試料を挿入し、プラズマ照射を行った後に取り出す。この試料も重水素実験によってプラズマから発生する中性子により放射化する。取外された第一壁の一部、固定点に設置してプラズマ照射した試料及び試料駆動装置によりプラズマ照射した試料は、核融合炉第一壁の開発研究を目的とした表面形状分析、放射化核種分析が行われる。これらの放射化した試料の研究は、放射線障害防止法に係る密封されていない放射性同位元素の使用にあたり、あらかじめ原子力規制委員会による使用の承認が必要である。

以上、LHD及び放射化試料の使用に係る申請は、放射線障害防止法第10条第2項の規定による承認使用の変更として申請する準備を進めており、平成26年度中に原子力規制委員会の承認を得る見込みである。

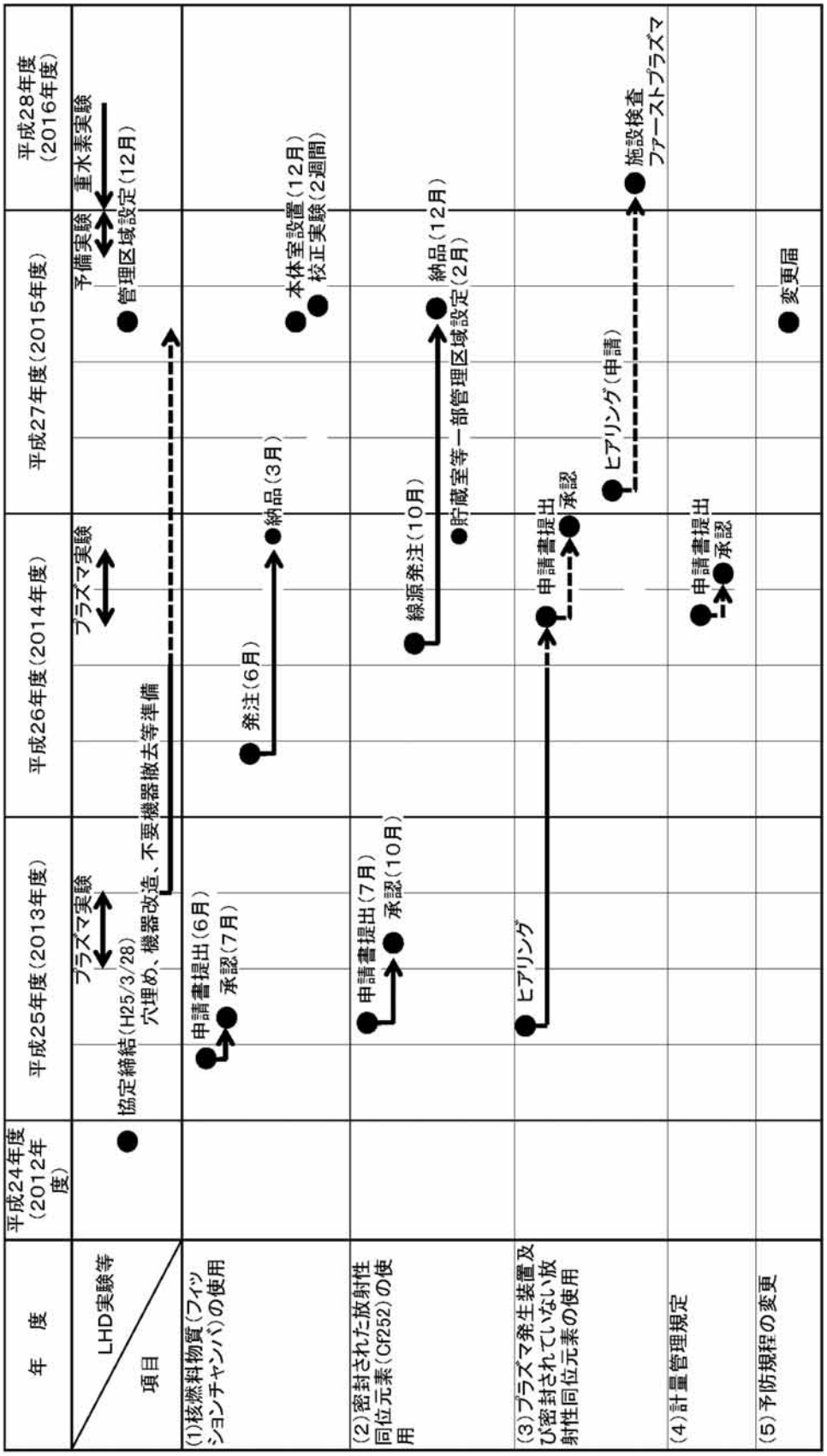
核燃料物質を所持するには、使用の承認とは別に原子炉等規制法第61条の8第1項及び国立大学法人法施行令第22条第1項第16号において準用する原子炉等規制法第76条の規定に基づき、計量管理規定の承認を原子力規制委員会に申請する必要がある。本申請は平成26年11月中に申請するための準備を進めている。

放射性同位元素の使用の開始に伴い、放射線障害防止法第21条第3項の規定により、核融合科学研究所放射線障害予防規程の変更を行い、変更後30日以内に原子力規制委員会に届け出る必要がある。核融合科学研究所放射線障害予防規程の変更案は既に準備されており、放射性同位元素の使用の開始に合わせて変更の手続き行い、速やかに原子力規制委員会に届出ることとしている。

LHDは、重水素実験を開始する前に、放射線障害防止法第12条の8に基づき、原子力規制委員会が定める登録検査機関である原子力安全技術センターによる使用施設等に係る施設検査を受け、これに合格した後でなければ、当該使用施設を使用することはできない。本検査は、原子力規制委員会の承認を得た後に、装置が規定の性能が確認できる状態になった時点で申請し実施するものであり、平成28年度当初に実施する予定である。

本項に示した申請手続きの流れを表4.2.4-2にまとめる。平成28年度当初のLHDにおける重水素実験開始に向けて、申請手続きを滞りなく進めている。

表4.2.4-2 重水素実験に向けた主な申請手続きの流れ



4.3 まとめ

本章では、重水素実験の開始に向けた整備状況と準備体制について記述した。以下に、そのまとめを行う。

(1)重水素実験開始に向けた設備・施設の整備計画

- 平成 25 年 3 月の協定書の締結を受け、平成 28 年度の重水素実験開始に向けて、装置の改造、安全管理機器の整備および施設・建物の改修整備の計画を策定した。
- 装置の改造では、重水素実験におけるイオン加熱の増大に向けて、NBI の重水素ビーム化改造を優先した。
- 重水素実験に向けた最優先計測器として、中性子計測器の開発・整備にまず着手した。
- 安全管理機器の最重要整備項目として、トリチウム除去装置の具体的な設計・建設に着手した。
- 管理区域設定のために、施設・建物の改修整備を進めている。
- 法令に基づく申請・許可等にかかる手続き、運転、安全等のマニュアル作成などのソフトウェア整備等についても、スケジュール計画を策定した。

(2)重水素実験開始に向けた準備体制

- 研究主幹、課長等の管理責任者を主要メンバーとした重水素実験推進本部を立ち上げて、重水素実験開始へ向けた準備の責任体制を明確にし、トップダウンによる迅速な判断により、設備の整備、施設の改修、安全管理体制の確立等を強力に推進している。
- LHD 高性能化機器設計グループが、重水素実験推進本部の下、具体的な設備や安全管理機器の設計・製作、施設の改修、マニュアル類の整備等を遂行している。
- こうした体制の下、計画されたスケジュールに基づいて、機器の整備をはじめとするハードウェア整備、マニュアル類の整備等のソフトウェア整備、法令に基づく申請等を進めている。

(3)安全設備も含めた施設・機器の整備状況

- 中性子漏洩低減のための壁貫通孔処理は 8 割程度終了し、計測機器等の中性子遮へい等の対策は、調査と検討が概ね終了して、機器の撤去リストおよび改造・移設リストがまとまってきた。それに基づいて、早急に実行に移す計画である。
- 安全管理機器として重要な整備項目であるトリチウム除去装置と中性子計測システムは現在建設中であり、中性子計測に必要な絶対較正実験に向けた準備も順調に進行している。
- 管理区域設定に必要な入退管理室、排気設備、排水設備等の建物にかかる改修も、計画通り進行している。
- 法令に基づく各種申請も順次進めており、必要な許可も得られている。重水素実験開

始に必要な許可は得られる見込みである。

5. 安全管理計画

5.1 安全管理に関する基本的な考え方

重水素実験に伴い、トリチウム、中性子等が発生し、中性子により僅かではあるが放射化物が生成される。重水素実験に対する安全管理計画は、放射線発生装置の中のプラズマ発生装置および非密封放射性同位元素取扱施設として「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律」を遵守することを基本とし、平成15年10月2日に公害等調整委員会により提案された「調停案」を取り入れて策定している。公害調停は、平成13年5月に地元住民の方々が公害等調整委員会に調停申請したもので、平成15年10月2日に公害等調整委員会により示された「調停案」に対して、研究所は受諾したが、申請側が受諾せずに打ち切られている。「調停案」の全文を、章末に貼付する。

この安全管理計画は「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画」としてまとめられ、平成18年度から19年度に開かれた第三者委員会である重水素実験安全評価委員会で、その内容について様々な角度から検討・評価していただき、平成19年11月16日に「研究所が計画している重水素実験の安全管理計画は妥当なものである」との答申を受けている。平成 23 年の東日本大震災の後に、震災を教訓として一段と高い安全性を確保するため、重水素実験時の運転方法の見直し、環境放射線測定の充実、電源喪失対策の強化、通報・監視体制の強化、緊急時体制の確立等、大規模災害時における安全性の再検討を行った。再検討した安全管理計画は、重水素実験安全評価委員会で検討・評価を受け、平成24年2月14日に「妥当である」との答申をいただいた。「核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会最終報告」のまとめを、章末に貼付する。

本研究所が重水素実験の安全管理計画を策定にあたり、法令の遵守に加えて、上記の「調停案」を踏まえて、基本とした安全に係わる考え方は、

1） 発生するトリチウム量をできるだけ少なくする、
　　・実験パラメータの検討
2） 真空容器内に留まるトリチウム量は、全量が放出されても規制値を超えない量とする、
　　・実験計画の検討
3） 環境に影響を及ぼす可能性が考えられる放射性物質の生成は、規制値を超えない量とする
　　・排気・排水・換気設備の整備
4） トリチウム含有水の保管は、漏洩に関して厳重に注意を払う、
　　・保管方法・保管設備の整備

である。

5.2 安全管理設備

重水素実験に伴い、トリチウム、中性子等が発生し、中性子により僅かではあるが放射化物が生成される。これらを安全に管理するためには、中性子の発生量を正確に把握することが必要である。

中性子発生量を測定するためには、核分裂計数管を用いる。また、中性子による放射化により発生した放射化物による線量を正確に計測して、これらが所外環境へ影響を与えないようにするため、排気・排水、敷地境界の線量を、研究所管理値を設定して管理を行う。そのために必要な機器・設備を整備する。

5.2.1 安全管理計画の全体像

重水素実験を行うと、入射した重水素の一部（約1万分の1程度）が核融合反応を起こすことによって、同じ数のトリチウムと中性子を発生する。

中性子の発生率は、加熱パワーとプラズマの密度に依存している。目標としている高温プラズマを生成する条件のときに、中性子発生率が最も高くなっている。また、研究所が将来有望と考えている高密度核融合炉の研究に必要な超高密度プラズマ生成の場合の中性子発生率は、高温プラズマ発生時よりも低くなっている。

重水素の使用時に計画されている実験条件は以下のとおりである。

1) 垂直入射 NBI のエネルギーは 80-60 keV、加熱パワーは 18 MW とする。
2) 接線入射 NBI は既存の 3 ビームラインいずれも加速電圧は 180 keV のままとし、軽水素－重水素運転の切り替えを容易にできる設備の準備を行う。ビームエネルギーおよび加熱パワーは軽水素、重水素のいずれの場合もそれぞれ、180 keV、14 MW とする。
3) 重水素ビーム入射実験は主として高加熱パワー時での研究に当て、必要な実験機会を確保し、機器の高負荷運転の繰り返し再現性を優先するため、放電時間は 3 秒を基本とする。長時間運転については目的を絞り、見込みが十分ある場合については、全体計画での整合性を考慮し、実験回数（ショット数）と放電時間を定める。

○最大中性子発生率が想定される代表的な実験条件について、

・磁場強度: 3 T
・NBI 加熱: 接線入射 180 keV: 14 MW（重水素）
垂直入射 80 keV : 18 MW（重水素）
・NBI に重畳されるイオン・電子サイクロトロン共鳴加熱 : 合わせて 3 MW

ここで、主たる中性子発生は NBI に由来する高速の重水素イオンとプラズマ中の重水素イオンとの反応によるものである（図 5.2-1 参照）。高速イオンの閉じ込めは、確立された手法である速度減衰モデルに基づいて計算を行っており、プラズマ性能についてはこれまでの水素実験で得られたエネルギー閉じ込め時間経験則(ISS95 則)の 2 倍を仮定して算定して

いる。

最大中性子発生率は密度が 2.5×10^{19} m^{-3} で得られる。これらの結果より、最大中性子発生率が想定されるプラズマの仕様は上記加熱条件に加えて、下記のようになる。

線平均密度	2.5×10^{19} m^{-3}
中心温度	9.46 keV
蓄積エネルギー	1.77 MJ
中性子発生率	1.91×10^{16} 個/秒
	（このうち熱中性子反応は 5.98×10^{14} 個/秒）

この検討においては、加熱吸収分布を固定して計算を行っている。今後、特に中程度の密度領域における加熱吸収分布の影響と効果を実験において明らかにし、段階的に予測精度を高めていくこととなる。

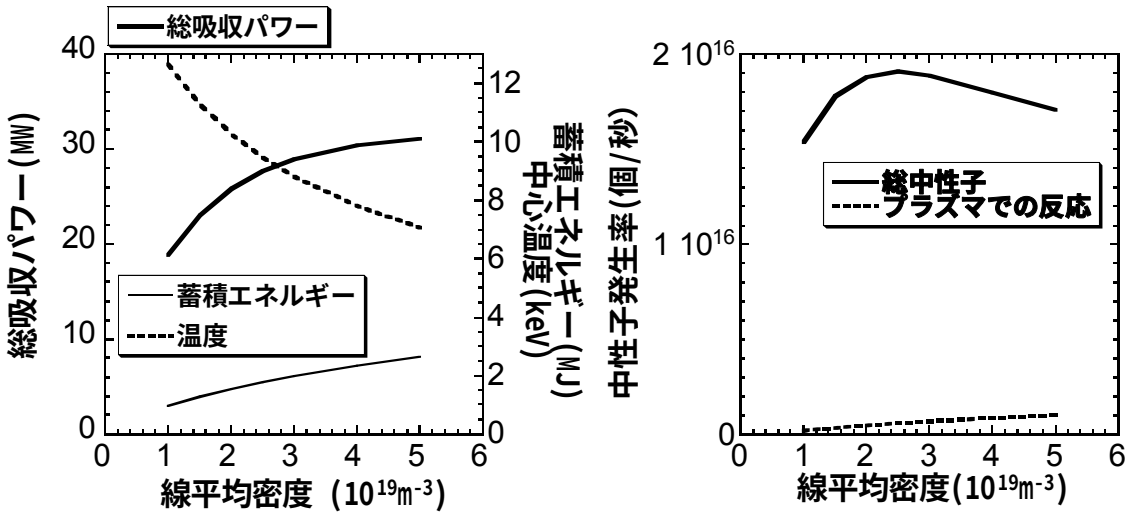


図 5.2-1　最大中性子発生率条件におけるプラズマパラメータと中性子発生率の密度依存性

○中性子・ガンマ線の評価

重水素実験で発生する中性子により、装置および建屋（コンクリート）が放射化し、それに付随してガンマ線が発生する。中性子の線束分布は 2 次元輸送コード DORT（R-Z 座標）を用いて計算している。LHD は上下及び水平位置に大きなポートがあるが、2 次元コードのため全てのポートの影響を一度に反映することができないため、水平ポートモデル、垂直ポートモデルの 2 種類の計算を行い、評価点の位置により適用モデルを変えて、過小評価とならないようにしている。また、LHD 周辺および天井、側壁の空間メッシュを細かくとり、本体室内の線束分布および建屋透過放射線を精度よく求められるように配慮している。また、この中性子束を元にして、FISPACT コードにより放射化量を計算し、それをガンマ線源に変換してショット終了後のガンマ線の線量を評価している。群定数には ITER や JT-60 等の核融合装置の遮蔽計算用によく用いられている 175 群中性子-42 群ガンマ線結合断面積ライ

ブラリーを用いている。

水平ポートモデルにおけるプラズマ赤道面での中性子束およびガンマ線束の半径方向分布計算結果の一例を図 5.2-2 に示す。本体室内においては、ガンマ線束は中性子束の 10% から 20% 程度となっている。

この評価における中性子発生数は、1.91×10^{16} 個/秒 (2.45 MeV)、 3.3×10^{14} 個/秒 (14 MeV)、1 ショット＝3 秒 としている。

中性子・ガンマ線対策については 5.2.2 節で述べる。

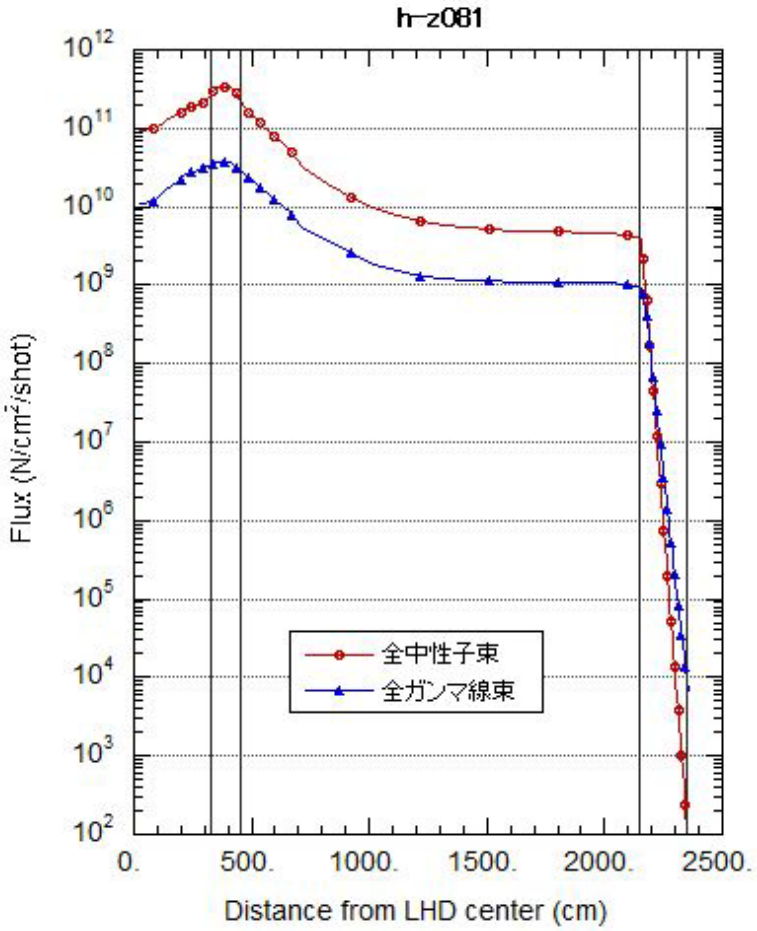


図 5.2-2　中性子束およびガンマ線束の半径方向分布（Z=81：プラズマ赤道面）

○LHD 年間運転計画と中性子発生量

LHD は年間約 4～5 ヶ月のプラズマ実験を行い、その間に 8,000 から 10,000 回のプラズマ放電実験が行われる。このうち、重水素を用いた実験を年間 2～3 回、数週間にわたって実施する予定である。全プラズマ放電回数の 1/4 から 1/3 が重水素を用いた実験となる。

他は、軽水素やヘリウムを用いた実験である。また、実験期間中の最後の期間は真空容器壁中のトリチウム濃度を軽減させるために軽水素を用いた実験を行う。

重水素実験の回数は初年度から 6 年度までは年間最大中性子発生量 2.1×10^{19} 個、7 年度から 9 年度までは年間最大中性子発生量 3.2×10^{19} 個の制限のもとで管理する。

前記の最大中性子発生率が想定される実験条件は加熱入力が最適化された理想的な状態であり、このような高性能プラズマを得ることは年間を通じて、限られた期間のみとなる。このため、平均的な標準放電を年間運転計画を策定する上での基準として考える。平均的に見て、想定される最大加熱入力の 6 割程度が多くの実験に供せられると考えられる。180 keV 接線入射については 1 機のみを重水素とする運転を標準と考える。すなわち、加熱パワーとして、80 keV 垂直入射 10.8 MW、180 keV 接線入射は軽水素ビームが 5.4 MW、重水素ビームが 3 MW とする。ICH、ECH については、主たる中性子発生源が NBI に由来する高速の重水素イオンとプラズマ中の重水素イオンとの反応によるものであることから、ここでの計算では考慮しないものとする。

次に、定常運転実験を行うイオンサイクロトロン加熱(ICH)では中性子発生率は 2.9×10^{13} 個/秒と、NBI を主とした最大中性子発生率を伴う放電の 600 分の 1 であるが、1 時間運転を行えば、実験 1 回当たりの中性子発生量は 1.0×10^{17} 個となるため、3 秒放電で発生する最大中性子量を超えない範囲で定常運転実験を行う。

実験計画の策定に当たって、年間総中性子発生量の制限の観点から放電回数の大略を推定する必要がある。そのため、この放電条件を多種多様な実験の平均である、標準放電として考えるものとする。これにより、標準放電に換算して、前期 6 年間では年間 6,400 秒、後期 3 年間では年間 9,600 秒が許容範囲となる。1 ショット 3 秒とすると、それぞれ、約 2,100 ショットと 3,200 ショットとなるが、実験は標準ショットばかりでなく様々な条件をもとに行うため、実際の実験計画は年間の中性子発生量 2.1×10^{19} 個（前半 6 年）、3.2×10^{19} 個（後半 3 年）を超えない範囲で策定される。

○トリチウム発生量の評価

プラズマ放電実験 1 回当たりのトリチウム発生量は、中性子発生数に等しい。従って、最大中性子発生率の条件では、3 秒間の放電で生じるトリチウム量は 0.1 GBq（2.7×10^{-3} Ci）となる。また、標準的な条件での 3 秒間の放電 1 回で生じるトリチウム量は 0.017 GBq（4.7×10^{-4} Ci）となる。LHD 実験計画におけるトリチウムおよび中性子の年間の最大発生数は、重水素実験期間の 9 年の内、前半の 6 年が各々2.1×10^{19} 個、後半 3 年が各々3.2×10^{19} 個とする。なお、トリチウムの発生量を放射能量に換算すると、始めの 6 年は年間 37 GBq（1 Ci）、後半 3 年は年間 55.5 GBq（1.5 Ci）となる。

発生したトリチウムは、真空排気装置に接続されたトリチウム除去装置により酸化して水の形として、でできる限り除去する。除去しきれなかったトリチウムは大気中に放出されるが、その研究所管理値は、重水素実験期間の 9 年を通して、年間 3.7 GBq（0.1 Ci）以下とする。

これらをまとめたものを、表 5.2-1 に示す。

トリチウム対策については 5.2.3 節で述べる。

表 5.2-1　LHD 実験年次計画

	前半 6 年間		後半 3 年間	
年　度	初年度	第 2～6 年度	第 7～9 年度	第 10 年度以降
事　項	予備的実験 （施設検査）	プラズマ 高性能化実験	総合性能試験	ポスト LHD 計画へ転換
トリチウム 最大発生量	37GBq （各年度）		55.5GBq （各年度）	―
トリチウム 最大放出量	3.7GBq （各年度）			
中　性　子 最大発生量	2.1×10^{19} 個 （各年度）		3.2×10^{19} 個 （各年度）	―

○放射線・放射性物質の管理

重水素実験に伴い発生する放射線および放射性物質が所外環境へ影響を与えないようにするため、排気・排水、敷地境界の線量には、研究所管理値を設定して管理を行う。また、研究所管理値を遵守するため、放射線安全管理体制を整える。

発生したトリチウムは、回収するが、仮に 1 年間に発生したトリチウムの全てが本体室内に放出されたとしても、その濃度が法令の空気中濃度限度（0.8 Bq/cm^3：水）よりも低い 0.43 Bq/cm^3 程度以下となるように本重水素実験計画は計画されている。本重水素実験は、このように発生するトリチウムの量が僅かであることがその特徴である。本安全管理計画でもこの特徴を活かして、地震等の災害で緊急事態が発生しても、研究所で勤務する者、隣接する地域住民の皆様に被害が出ないよう計画されている。

研究所が管理すべき、各放射線源の項目は以下のとおり。

○中性子、ガンマ線
○トリチウム
○放射化物（空気中のアルゴン 41 など）
○放射性物質（計測器校正用放射性物質）
○排気、排水、放射性廃棄物

トリチウムや放射化したアルゴンガス等の空気中濃度限度、排気または排水時の濃度限度は、法令で定められている。それらを表 5.2-2 に示す。空気中濃度限度は 1 週間の平均値、排気または排水時の濃度限度は 3 ヶ月の平均値である。

表 5.2-2 トリチウムおよびアルゴン 41 の法令による濃度限度

放射性同位元素の種類		空気中濃度限度 1) (Bq/cm^3)	排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cm^3)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cm^3)
核 種	化 学 形 等			
^{3}H	トリチウムガス	1×10^{4}	7×10^{1}	
^{3}H	トリチウム水蒸気、水	8×10^{-1}	5×10^{-3}	6×10^{1}
^{41}Ar	ガス	1×10^{-1}	5×10^{-4}	

1)放射線業務従事者の作業環境

発生したトリチウムは、排気ガスとして真空排気装置を経由してトリチウム除去装置に導き、できる限り水の形で除去回収する。回収されなかったトリチウムは、排気塔から外気に放出するが、排出トリチウム濃度の研究所管理値は、上記法令の濃度限度の 25 分の 1 以下とする。

トリチウム除去装置により回収されたトリチウムを含む水(トリチウム含有水)は、保管容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処理する。環境中には放出しない。

点検時、真空容器内に作業者が入ってメンテナンス等の作業を行う際は、酸欠防止のため真空容器内に空気を送って換気する。換気されたガスはトリチウム濃度検査を行い、上記研究所管理値を超える場合は、トリチウム除去装置に導き、水の形で除去回収する。トリチウムを除去した残ガスは、トリチウム濃度が研究所管理値以下であることを確認しながら、排気塔から外気に放出する。

トリチウム除去装置により回収されたトリチウム含有水は保管容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処理する。環境中には放出しない。

メンテナンス期間中、真空容器は本体室と遮断し、大気圧より少し圧力を下げるため、真空容器内のトリチウムが本体室内に出る可能性はないが、メンテナンス作業のため真空容器内に作業員が出入りする際、また、真空容器に機器を取り付ける際、空気が僅かではあるが入れ替わる可能性がある。このため、本体室の空調機から出されるドレン水については、トリチウム濃度検査を行い、上記法令の濃度限度の 100 分の 1 を研究所管理値として、これ以下の場合は下水に排水する。研究所管理値を超えた場合は、保管容器に密封保管後、日本アイソトープ協会に引き渡して処理する。この場合、環境中には放出しない。

本体室内での作業後に行う手洗いにより出される洗浄水等も、ドレン水と同じ扱いとする。

これら、研究所管理値を表 5.2-3 に示す。空気中濃度限度は 1 週間の平均値、排気または排水時の濃度限度は 3 ヶ月の平均値である。

排気・排水・放射性物質の取り扱いについては 5.2.4 節で述べる。

表 5.2-3 トリチウムおよびアルゴン 41 濃度の研究所管理値

放射性同位元素の種類		空気中濃度限度 1) (Bq/cm^3)	排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cm^3)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cm^3)
核 種	化 学 形 等			
^{3}H	トリチウムガス	1×10^{4}	7×10^{1}	
^{3}H	トリチウム水蒸気、水	8×10^{-1}	2×10^{-3}	6×10^{-1}
^{41}Ar	ガス	1×10^{-1}	5×10^{-4}	

1)放射線業務従事者の作業環境

5.2.2　中性子・ガンマ線対策

本体室の壁コンクリートは2 m厚であり、天井の厚みは1.3 mである。地上部分の壁に貫通孔を持たない構造となっているため、重水素実験による敷地境界での線量は年間で約2マイクロシーベルト程度以下と計算されている。図5.2.2-1に、プラズマ水平断面における中性子束およびガンマ線束の半径方向分布の計算例を示す(3秒あたり)。中性子とガンマ線の線束分布については2次元輸送コードDORT(R-Z座標)を用いて計算している。LHDは上下及び水平位置に大きなポートがあるが、2次元コードのため全てのポートの影響を一度に反映することができないため、水平ポートモデル、垂直ポートモデルの2種類の計算を行い、評価点の位置により適用モデルを変えて、過小評価とならないようにしている。また、本体周辺および天井、側壁部の空間メッシュを細かくとり、本体室内の線量分布および建屋透過放射線を精度よく求められるように配慮している。壁により、中性子は1千万分の1程度に、ガンマ線は3万分の1程度に減衰している(但し、この評価における中性子発生数は、最大中性子発生率のプラズマを対象とし、1.9×10^{16} 個／秒(2.45 MeV)、3.3×10^{14} 個／秒(14 MeV)、1ショット＝3秒としている)。一方で、本体室地下に隣接する部屋では、本体室地下の貫通孔からの中性子ストリーミングによる線量増加があるので、コンクリートあるいはそれと同等の遮蔽能力を持つ材料により処理を施し、隣接する部屋での作業に支障のない線量となるように、対策をする予定である。貫通孔の処理は、一部について既に実施済みであり、残りについても重水素実験開始前に完了する予定である。

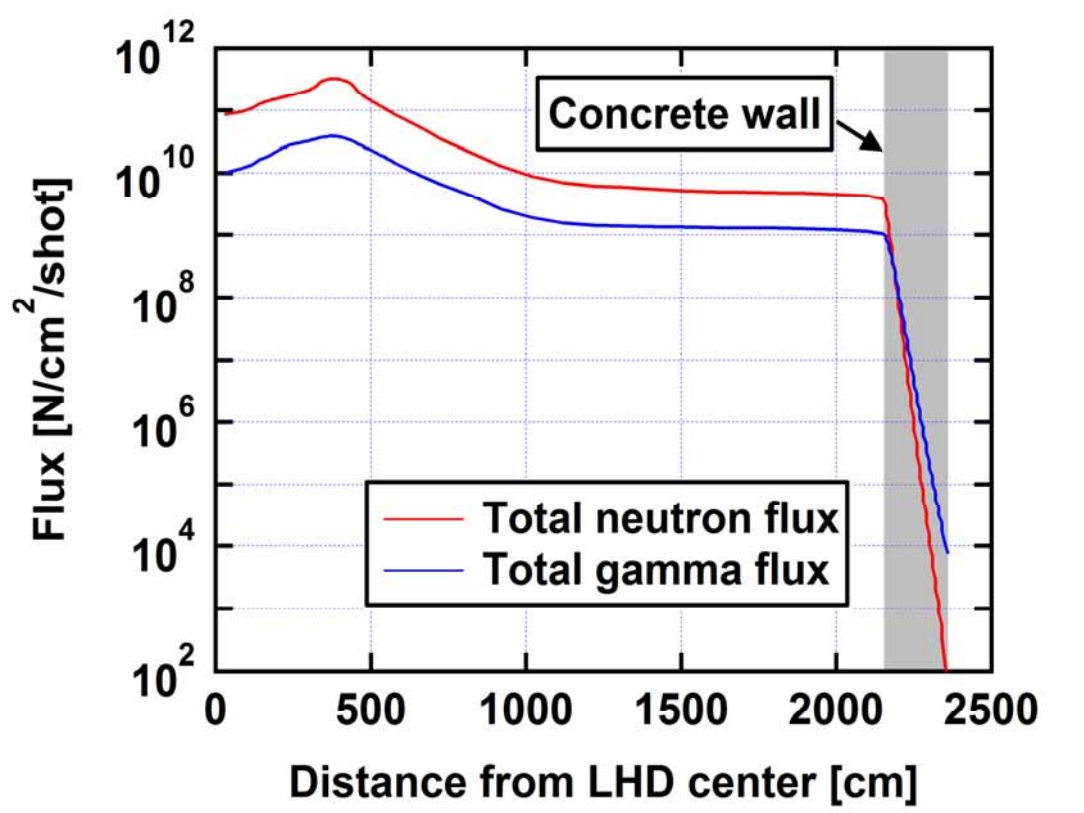


図 5.2.2-1　中性子及びガンマ線の半径方向分布(プラズマ水平断面)

実験室内は、プラズマから発生した中性子により放射化を受けることになる。放射化する量は、LHDからの距離により異なるが、LHDの直下のコンクリートが最も強く放射化される。放射化する量を低減するために、LHD直下の床にボロン入りのポリエチレン板(5 cm厚)を敷く(LHD直下の床での線量を6割程度に低減することができる)等の対策を講じる予定である。これまで、LHD直下のコンクリート、1/10セクションについて試験的にポリエチレン板を敷設し、問題点がないか調査を行った(図5.2.2-2)。この試験により、ポリエチレンブロックのみであると帯電すること並びに滑りやすいことが明らかになり、ポリエチレンブロック上に床養生シートを敷設することが必要であることがわかった。残りのセクションについても、重水素実験前にポリエチレンブロックを敷設する計画である。

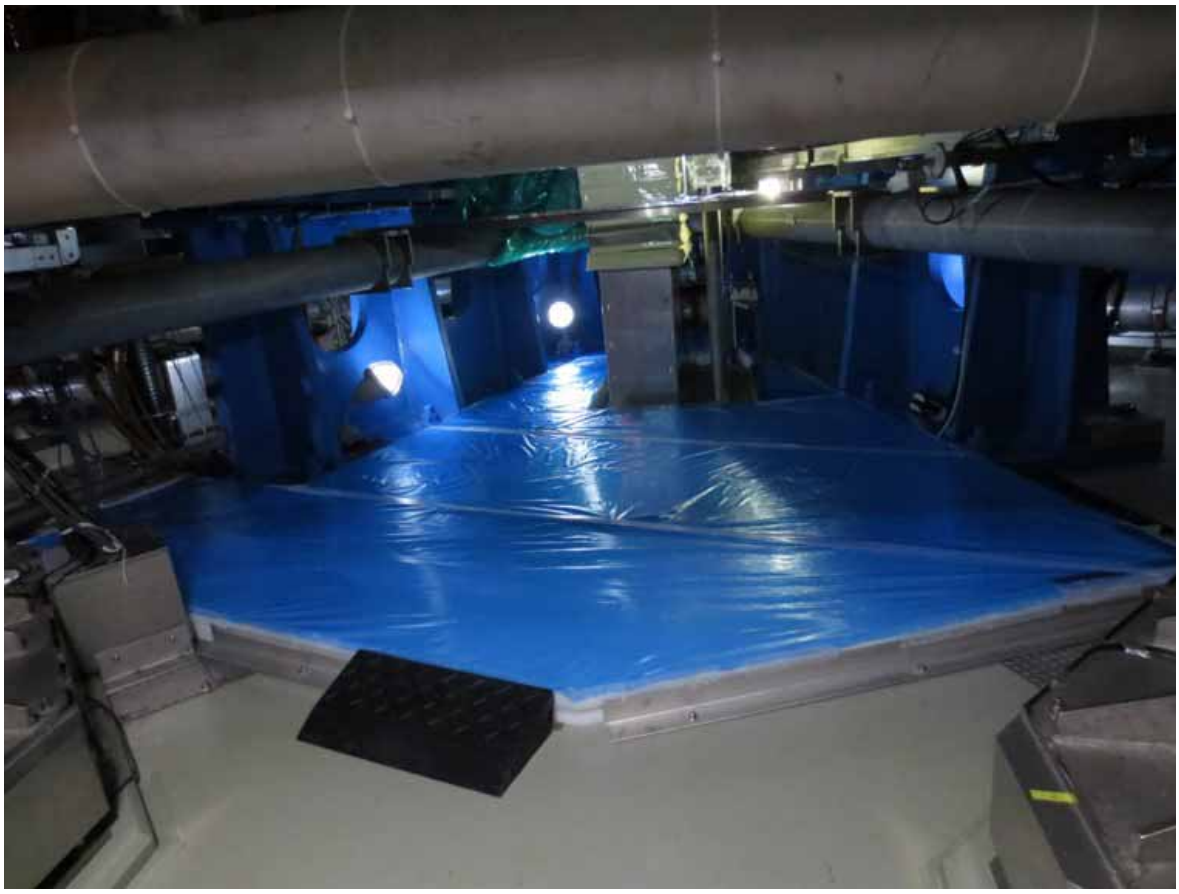


図 5.2.2-2 ポリエチレンブロックを用いた床養生工事完成後の写真

5.2.3 トリチウム対策

トリチウムは、最大18.6 keV，平均5.6 keVの低エネルギーβ線を放出する放射性同位元素である。β線の飛程は空気中で約5 mm程度と短く、外部被ばくはほとんど問題とならない。しかし、水素同位体であるため、分子状水素だけでなく、水蒸気状、炭化水素状などの様々な化学形態で存在するため、体内に取り込み内部被ばくを起こさないように注意する必要がある。基本的なトリチウム対策で重要なことは、トリチウムを容器などで閉じ込め、システム外部へ拡散漏洩させないことである。重水素プラズマ実験では、トリチウムは真空容器内部で生成されるため、真空容器自体が閉じ込め容器となる。従って真空容器内のトリチウムを、実験装置システム外に漏洩することなく、回収することを、重水素実験の安全管理の根本とする。

○トリチウム取り扱いの概念

トリチウムを取り扱っている施設では、トリチウムを施設外に漏洩しない対策が必要である。そのため、多重閉じ込めの概念を導入し、漏洩、汚染の低減を図り、且つ、トリチウム処理システムで回収し、液体として密封容器で一時保管し、日本アイソトープ協会に回収・処理を依頼する。

トリチウム取扱いに関する事項を纏めると、以下のようになる。

- トリチウムは、多重の容器および施設壁により閉じ込める。
- 多重閉じ込め容器/施設は、真空容器、簡易作業室、実験室、建屋とする。
- 閉じ込め容器/施設は、常に負圧を維持する。
- 負圧を維持するために、真空容器および実験室内を排気する。
- 排気ガスはトリチウム除去システムで処理し、水の化学形態で回収する。
- 回収した水は、漏れないように指定の保管容器に封入し、定期的に日本アイソトープ協会へ引き渡す。

換気・排気、廃液・排水処理、放射性廃棄物（含むトリチウム水）の取り扱いは、5.2.4節で述べる。この節では、トリチウム処理システムについて述べる。

○トリチウム処理システム

トリチウム取り扱い施設では、実験装置の排気配管、実験室内、排気設備（スタック）出口などに、トリチウム除去システムが設置されている [5.2.3-1,2,3,4]。トリチウムは水素同位体であるため、分子状で存在すると、容易に漏洩拡散する。そこで、通常のトリチウム除去システムでは、比較的取り扱いが容易な水の化学形態に転換し、水として回収する手法が取られている。具体的には、高温に維持された貴金属触媒によって、分子状水素や炭化水素を水の化学形態に転換し、吸湿剤（例えば、シリカゲルやモレキュラーシーブスなど）で吸着回収を行う。

図5.2.3-1に実験装置排気系配管フロー図、表5.2.3-1に排気ガス発生の見積もりを示す。

プラズマ実験では、実験装置や周辺機器の運転状況、実験準備や実験条件、メンテナンス作業などにより被処理ガスの組成や流量が変わる。したがって、非定常かつ広範囲の処理流量/水素濃度、実験機器の多様な排気要望に対応しなければならない。処理要件を満たすため、仕様の異なる2種類のトリチウム除去装置を設置する。装置仕様を表5.2.3-2に示す。装置仕様は近年の実地調査結果を反映したものになっている。

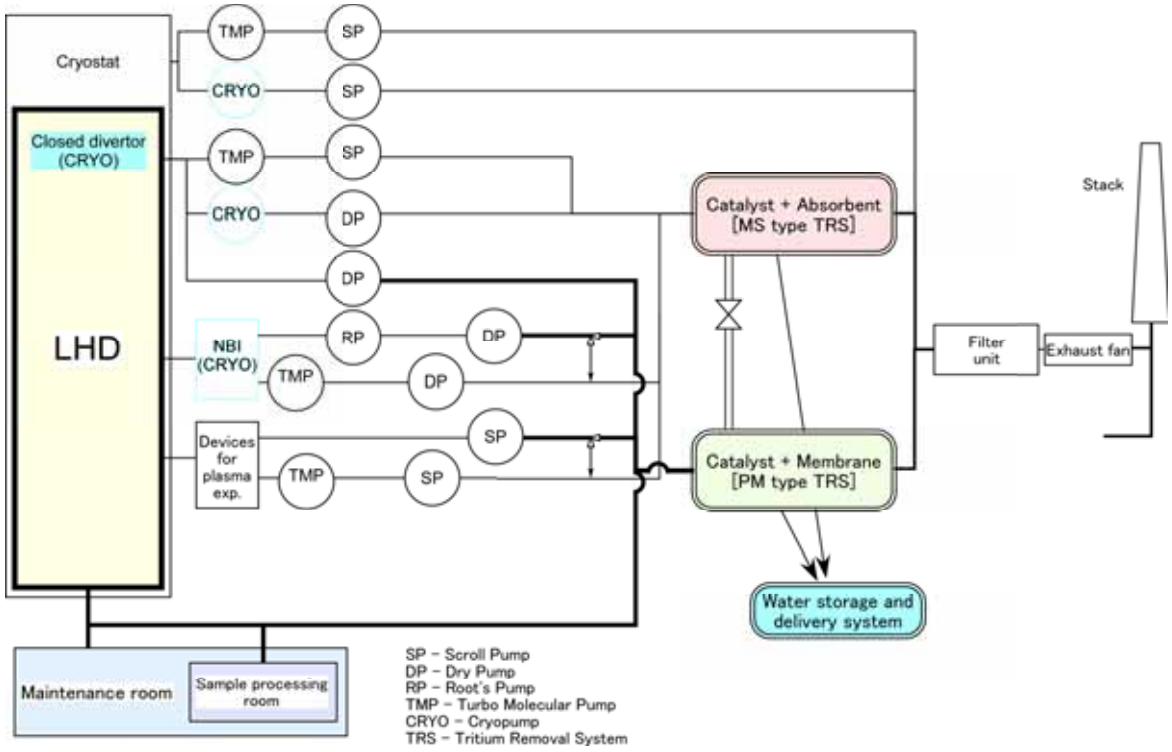


図 5.2.3-1　大型ヘリカル実験装置 排気系配管フロー図

［ 酸化触媒・吸湿剤型除去装置 ］

酸化触媒・吸湿剤型除去装置（以下、MS型）は、主にプラズマ実験期間中の、小流量/高濃度水素・トリチウムの処理に適用する。装置の概略を図5.2.3-2に示す。MS型の除去方式は、従来のトリチウム取扱施設で使用されており、十分な実績を有する。プラズマ実験の排気ガスでは高濃度水素を処理する必要があるため、水素燃焼熱による加熱を防ぎ処理効率を上げるため、乾燥空気で水素濃度を1%以下に希釈して処理する（この条件では、水素燃焼熱による温度上昇の条件を100℃以下に抑えることができる）。乾燥空気で希釈後の最大処理流量は20 Nm^3/hである。各装置のクライオポンプ再生運転時には、一時的に大量の水素ガスが排気されるため、主系統とは別に貯留系統を設け、一時貯留による処理流量および水素濃度の緩和を図る。吸湿剤の出口で測定される回収率（水素/水蒸気の回収率）が、設定値を下回る場合には、処理ガスの受け入れを停止し、循環配管を通じて、システム内で循環処理を行い、所定の回収率を確保する。

吸湿剤で吸収されたトリチウム水は、再生処理により水として回収し、専用の貯水設備に

送水され、指定の専用容器(25 L)に分取して、日本アイソトープ協会に引きわたすまで一時保管する。

表 5.2.3-1 大型ヘリカル実験装置 排気ガス発生量の見積もり

期間	運転区分	対象装置	接続装置型式	流量 Nm^3/h	排気量 Nm^3/回	排気時間 h/y	最大回数 回/y	主成分	最大量 Nm^3/y	最大水素濃度 (%)	水素量 Nm^3/y	水分量 kg/y	運転時間等・備考
プラズマ実験期間	LHD準備(粗引き等)	LHD本体	PM	300	210	10	5	空気	1000	0	0	0	実験開始後数日間
		NBI(5基)	PM	420	200	3	3	空気	600	0	0	0	
		燃料供給装置(ペレット入射装置)	PM	-	1	-	5	空気	5	0	0	0	
	LHDプラズマ実験	LHD本体	MS	0.005	-	2000	-	水素	10	60	6	5	週4日(1日8時間)連続運転
		NBI(5基)	MS	7.5	-	2000	-	窒素	15000	0	0	0	
		燃料供給装置(ペレット入射装置)	MS	-	1	-	30	水素	30	100	30	0	週1回 実験終了後の夜間
		燃料供給装置(ガスパフ関連装置)	MS	-	1	-	30	水素	30	100	30	0	
	LHD放電洗浄	ヘリウムグロー放電	MS	0.1	0.35	84.1	25	ヘリウム	8	1	0	0	1日の実験終了後の夜間
		水素グロー放電	MS	0.06	0.75	196.2	16	水素	12	100	12	9	
	クライオポンプ再生運転	LHD本体	MS	-	0.8	-	30	水素	24	25	6	5	週末再生
		閉ダイバータ※3	MS	-	0.5	-	30	水素	15	25	4	4	
		NBI(5基)※3	MS	-	(28.5) ※1	-	30	水素/窒素	855	30	255	205	
メンテナンス期間	LHDメンテナンス	パージ/換気装置	PM	300	-	1000	-	空気	300000	0	0	2314	メンテナンス期間中連続運転
	LHD周辺機器真空排気運転	NBI(粗引き運転)	PM	420	200	3	3	窒素	20	0	0	0	随時運転
		NBI(真空維持)	MS	7.5	-	1000	-	窒素	9000	0	0	0	
		燃料供給装置(ペレット入射装置)	MS	0.1	-	-	-	ヘリウム	14	22	3	2	実験1か月前に使用
	保守作業室等作業時局所排気※2	保守作業室排気装置	PM	50	-	100	-	空気	5000	0	0	39	随時運転
		資料加工室排気装置	PM	50	-	100	-	空気	5000	0	0	39	

注: 真空排気、クライオ再生、パージ運転等、流量及び組成は実験内容により変化する。
※1: NBIクライオポンプ再生処理は、一例として28.5Nm^3/回とした。
※2: 保守作業室等作業時の局所排気はプラズマ実験期間も稼働する。
※3: NBI及び閉ダイバータのクライオポンプ再生運転は同時には実施しない。

重水素プラズマ放電1ショット(3秒)あたりのトリチウム発生量は、最大10^8 Bqと推算されている。1週間の実験では120(=30×4)ショットとなる。生成したトリチウムが全量排気されると仮定し、除去装置のトリチウム除去率を95%とすると、排気塔の出口の1週間の平均濃度は最大1.5×10^{-4} Bq/cm^3となる。これは、法令の施設排出規制値(5×10^{-3} Bq/cm^3)の約1/30であり、所内管理値(2×10^{-4} Bq/cm^3)を下回っている。想定したトリチウム発生量は最大値であり、実際の重水素プラズマ実験では、これよりも発生量が少いと予想される。特に、生成されたトリチウムの一部は、真空容器内の壁に吸着されることから、外部には瞬時全量排気されないので、排気中の最大トリチウム濃度はより低くなると考えられる。そのため、排気塔のトリチウム濃度評価は、尤度をもった値である。

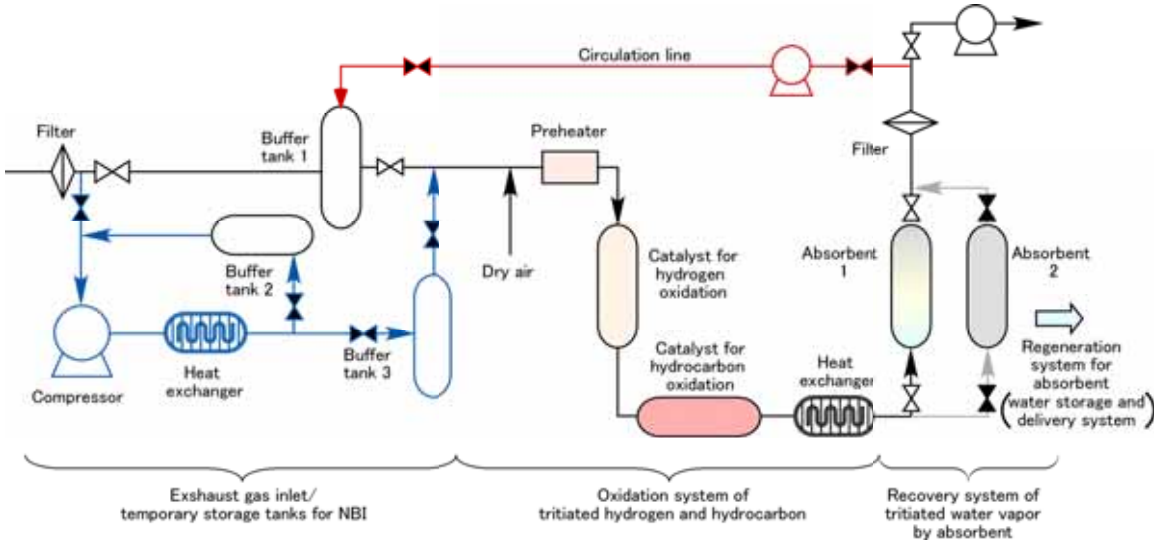


図 5.2.3-2　酸化触媒・吸湿剤型除去装置　処理フロー図

[酸化触媒・高分子膜型除去装置]

酸化触媒・高分子膜型除去装置（以下、PM型）は、主に真空容器の粗引き排気ガス処理や、実験装置保守作業期間の真空容器内パージ空気処理（大流量/極低濃度水素・トリチウム）に適用する。装置の概略を図5.2.3-3に示す。PM型で適用する除去方式は、高分子膜を用いた水分回収除去方式であり、既存のトリチウム取扱施設で使用された実績はないが、基礎研究として、高分子膜の分離性能評価/検討や、トリチウムを用いた回収実験が行われており [5.2.3-5,6,7,8]、その結果から十分なトリチウム除去性能を有していると判断した。

真空容器粗引き時の排気ガスは大流量であり、且つ、パルス的に流量が変動する。PM型は定常処理に適した膜分離手法を適用しているため、粗引き排気ガス処理用に、モレキュラーシーブスを充填した吸湿塔を設置して対応する（吸着法では、パルス的な流量変動にも対応できる）。

メンテナンス時は、真空容器内作業環境の維持、残留トリチウムの低減を図るため、真空容器内に建屋内空気を取り入れ、排気をPM型装置で処理する。この場合、一定流量で処理を行うため、膜分離により除湿回収を行う。処理流量は、300 Nm^3/hである。

粗引き排気ガスや、保守時のパージ空気中トリチウム濃度は、極低レベルになることが予想される。そこで、PM型装置の入口でトリチウム濃度を監視し（$<1.6\times10^{-3}$ Bq/cm^3）、排気塔出口のトリチウム濃度が研究所管理値を下回る場合は、装置を迂回して直接排気筒へ排出する。

PM型装置で回収された水分は、専用の排水配管を通じて、MS型装置と共用の貯水設備に送水される。

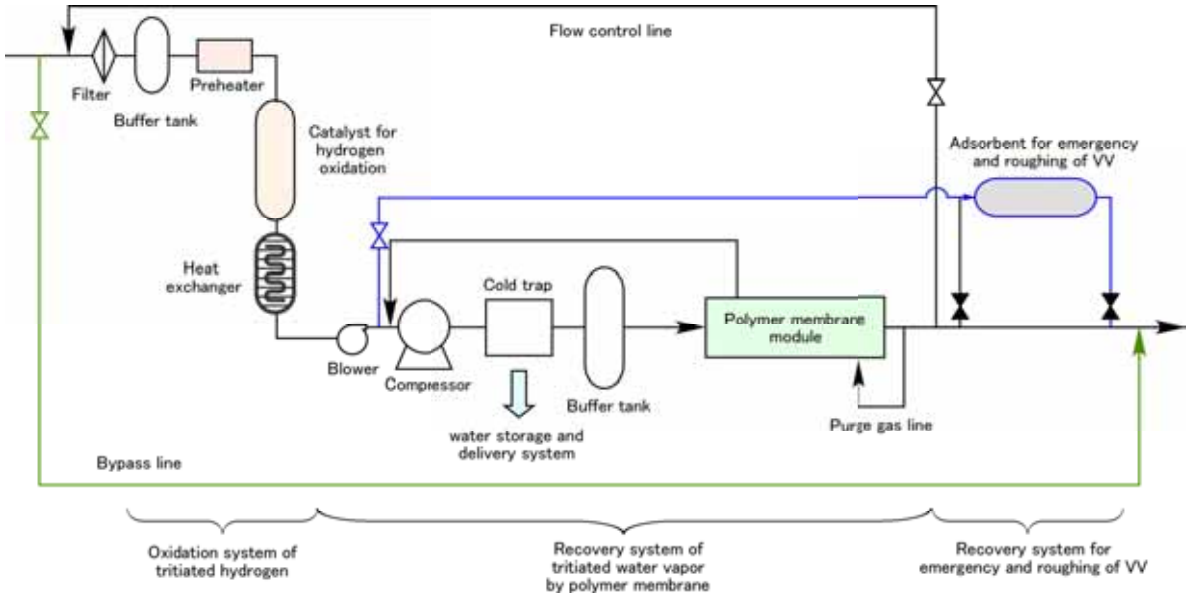


図 5.2.3-3　酸化触媒・高分子膜型除去装置　処理フロー図

[トリチウムの取り扱作業]

重水素実験で発生するトリチウム総量は、年間最大で55.5 GBq(1.5 Ci, 約0.1 mg)であり、真空排気装置により実験装置外に排気される。一部は装置内各所に残留すると考えられるが、真空容器内外の作業で高濃度トリチウムを直接扱うことはない。従って、文献[5.2.3-1,2,3,4]に示されるグローブボックス内での取り扱い作業や、エアーラインマスク/スーツの着用は基本的に不要と考えられる。しかし、作業従事者の放射線防護の観点から、細心の注意を払ってトリチウム取り扱い作業を行う。具体的には次の手順、対策を講じる。

・プラズマ実験終了後に、真空容器内の放電洗浄を行う。
・大気開放後の真空容器内は、室内空気でパージする。
・真空容器内の放射線量および放射能を測定して、空気中濃度限度 0.8 Bq/cm^3 以下を確認し、作業を開始する。
・真空容器内作業を行う者は、作業開始前後に呼気中トリチウムの測定を行う。
・真空容器に前室を設け、専用の作業着、靴、手袋を着用する。
・機器の取り外し、真空ポート作業では、簡易作業室または作業フードを設置し、外部への漏洩を極力低減する。
・機器を取り外す前に、装置内のトリチウム濃度を測定する。濃度が所内規定値以上の場合は、可搬型トリチウム除去装置によって、トリチウムの回収低減を図る。
・真空容器から持ち出した物品、取り外した機器は、所定の密閉容器に入れるなどの対策を講じる。
・真空容器内作業後にはトリチウムサーベイメーターなどによる簡易表面汚染検査を行う。

基本的方針としては、真空容器から外部へトリチウムを漏洩させないような対策を施すことで

ある。

これまでに、呼気測定用機器、可搬型トリチウム除去装置（試作品）を製作した。呼気測定用機器は現在市販されていないため、既報の文献 [5.2.3-9]を参考に設計製作を行った。現在、液体シンチレーション計数装置と組み合わせた試験運用を行っている。可搬型トリチウム除去装置は、富山大学水素同位体科学研究センターに持ち込み、トリチウム回収除去の実証を行った。真空容器周辺作業で使用するにあたり、軽量化に向けて検討を進めている。

表5.2.3-2 トリチウム除去システムの仕様

Type	Oxidation catalyst + absorbent [MS type]	Oxidation catalyst + polymer membrane [PM type]
Features of processing gas	Low throughput High tritium concentration	High throughput Low tritium concenitration
Catalyst [Operating temperature]	$Pt\text{-}Al_2O_3$ [200℃] $Pd\text{-}Al_2O_3$ [400℃]	$Pt\text{-}Al_2O_3$ [200℃]
Recovery system	Absorption by molecular sieves	Membrane separation by hollow fiber polymer module
Processing flow rate	> 20 Nm^3/h [Inlet of catalyst]	> 300 Nm^3/h
Tritium recovery rate	> 95 %	
Operating period and time	Period of plasma experiment [4-6 month]	Period of maintenance [5-7 month]
Remarks	System shutdown for one month due to maintenance	

[5.2.3-1] “Safe Handling of Tritium: Review of data and experience”, IAEA Technical Reports Series No. 324, (1991).

[5.2.3-2] “Safety in Tritium Handling Technology”, Ed. by F. Mannone, Kluwer Academic Publishers, (1993).

[5.2.3-3] “Tritium Handling and Safe Storage”, DOE-HDBK-1129-2008, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., (2008).

[5.2.3-4] 核融合特別研究総合総括班事業,「トリチウム資料集」, (1988).

[5.2.3-5] T. Hayashi, et al., “Effective tritium processing using polyimide films”, Fusion Eng. Des., **39-40** (1998) 901-907.

[5.2.3-6] T. Sugiyama, et al., “A simulation model for transient response of a gas separation

module using a hollow fiber membrane", Fusion Eng. Des., **86** (2011) 2743-2746.

[5.2.3-7] 島井, 他, 「水分膜分離装置を用いた水蒸気状トリチウムの回収」, 第10回同位体科学研究会, (2012).

[5.2.3-8] Y. Asakura, et al., "Application of membrane dehumidifier for gaseous tritium recovery in the LHD", Fusion Sci. Technol., **60** (2011) 1363-1366.

[5.2.3-9] T. Tsujimoto, et al., "Simple internal exposure measurement for tritium by expiratory water trapping method using water bubbler", Proceedings of the 10th international congress of the International Radiation Protection Association on harmonization of radiation, human life and the ecosystem [IRPA-10], P-3a-167, (2000).

5.2.4　換気・排気、廃液・排水、放射性廃棄物の取り扱い

〇換気・排気

プラズマ実験期間中は、大型ヘリカル実験棟の本体室内の空気が放射化するため、負圧を保つために排気を行うが、放射化した空気の排出量を抑制するため、本体室からの排気量は可能な限り少なくする（500 Nm^3/h）。大型ヘリカル実験棟の本体室地下と真空排気ガス処理装置室も負圧に管理し、これらからの排気は、放射能濃度をモニターしながら排気塔から大気に放出する。

空調機エアバランスの仕様案を図 5.2.4-1 に示す。実験室および保守作業室の換気系統は ACU-6 系統と ACU-14 の 2 系統であり、負圧維持に必要な能力を備えている。開口部や扉部分の気密性を高めることによって圧保持のための換気量を抑制する（気密性を高くすることは、中性子のストリーミングを減少させる上でも有効である）。

非密封のRI取扱施設となる管理区域の系統にはプレフィルター、ヘパフィルターを設置して放射化したダスト等をろ過して取り除く。

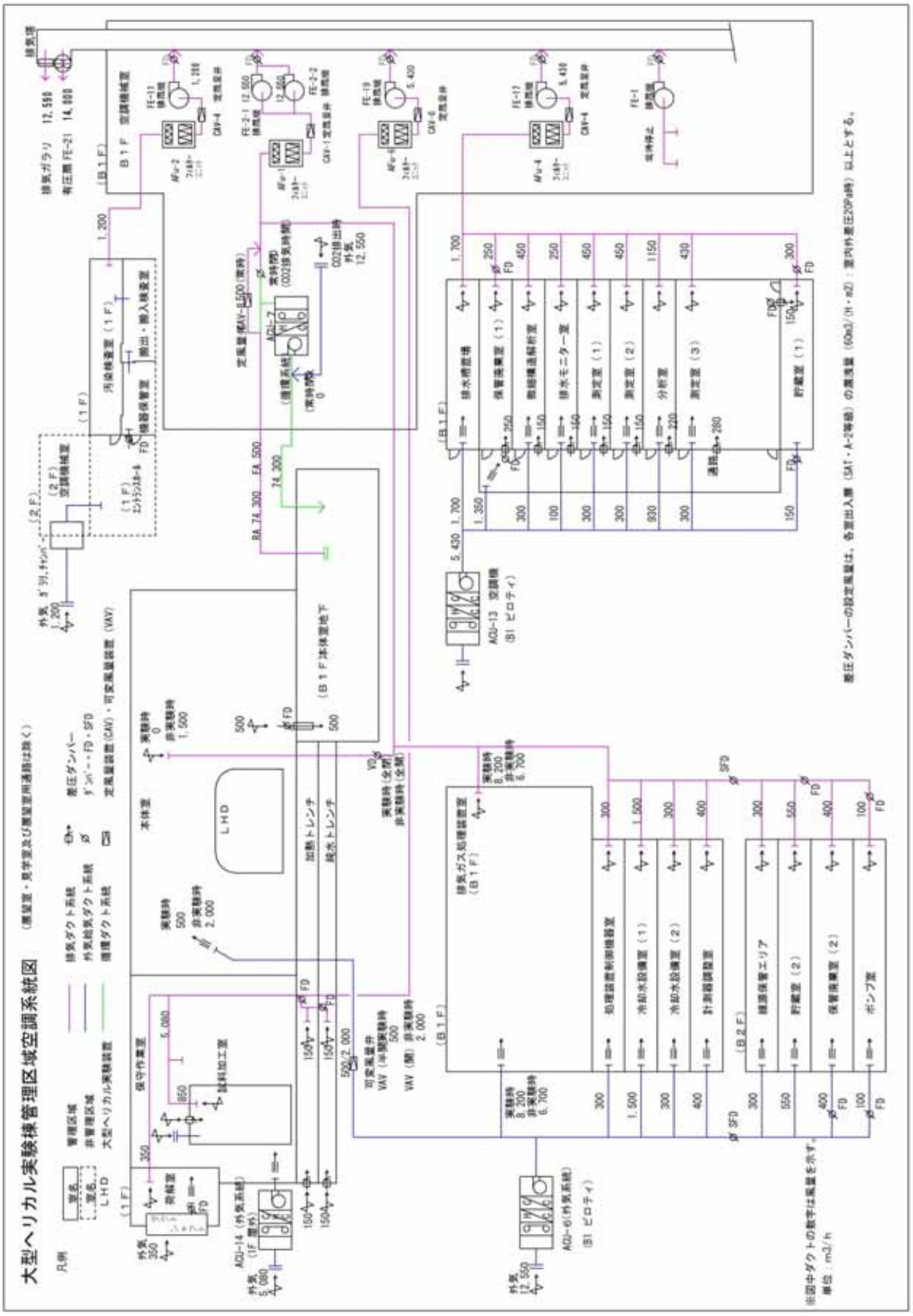


図5.2.4-1　空調機エアバランス(実験中本体室その他系)の仕様

○廃液・排水

管理区域内で発生する廃液・排水については

・トリチウム除去装置からのトリチウム含有水は、専用の保管容器で保管し、日本アイソトープ協会に引き取りを依頼する。

・上記以外の、管理区域内で発生した全ての排水は、貯留槽に一時的に保管し、一定量ごとに放射能濃度を測定(モニター)する。その結果、排水中の濃度が研究所管理値(0.6 Bq/cm^3)を超えていない場合は放出処分を行う。また濃度が研究所管理値を超える排水は、専用の保管容器に収納し、RI 保管施設で保管して、適宜、日本アイソトープ協会へ引き取りを依頼する。そのため、すべての排水は一時的に貯留され、濃度の確認がなされた後、放出あるいは引き渡しが行われるため、直接管理区域外に放出されることはない。

用語: 廃液:日本アイソトープ協会へ引き取りを依頼するトリチウム含有水等 排水: 低濃度用貯留槽に貯留し放出処分を前提とするもの

管理区域内で発生する主な排水には、

(1) 保管容器や資料等の洗浄により発生したもの
(2) 管理区域内清掃排水
(3) 管理区域出入り口での手洗い洗浄排水
(4) 空調機ドレン水

がある。これら排水は、空調ドレン水と同様な処理を行う。処理の概要を図 5.2.4-2 に示す。

ここに示す種類以外の排水が管理区域において発生した場合にも、貯留槽に貯留して同様の処理を施す。

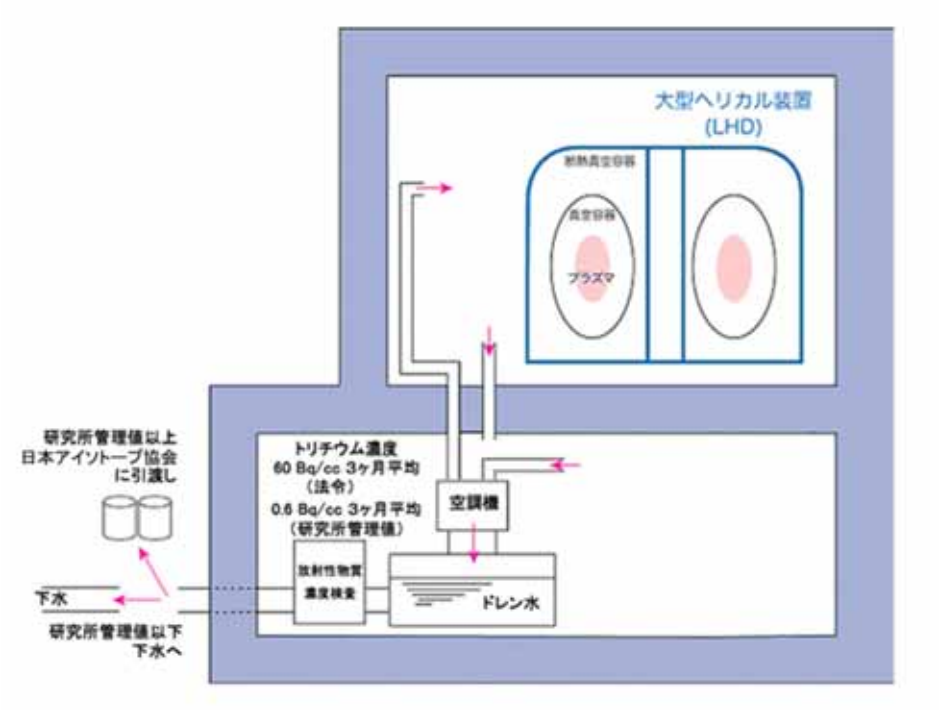


図 5.2.4-2　空調機のドレン水等処理の概要図

○保管容器

RI 保管施設においてトリチウム含有水等を保管するために使用される保管容器は、図 5.2.4-3 に示すように耐火性外容器（金属製容器：50 L）と液体収納容器（ポリエチレン製液体容器：25 L）からなる。液体廃棄物は液体収納容器に貯留され、ビニール袋で覆った後、耐火性外容器の中に保管される。これらの容器は日本アイソトープ協会から貸与されるもので、貯留方法も日本アイソトープ協会の規定に従っている。廃液は、この保管容器に保管された状態で、RI 保管施設において保管される。廃液のなかで、日本アイソトープ協会で処理が可能なものは、定期的に処理を日本アイソトープ協会に依頼する。そのため、核融合科学研究所には十分な広さを有する RI 保管施設を設置する。RI 保管施設には、法令に従って床に防水塗装を施した保管廃棄室を設け、ステンレス製の保管槽を設置する。保管容器は保管槽内に保管し、万が一、保管容器からトリチウム含有水などが漏れた場合、回収できるようにする。保管容器内の濃度測定は、容器ごとに試料を採取して行う。日本アイソトープ協会への引き渡しは、この容器ごとの測定記録を添付して行われる。なお、日本アイソトープ協会と協議の上、核融合科学研究所専用の保管容器を製作することも考慮する。

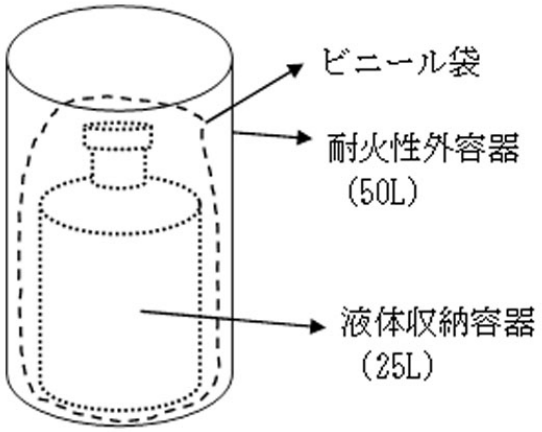
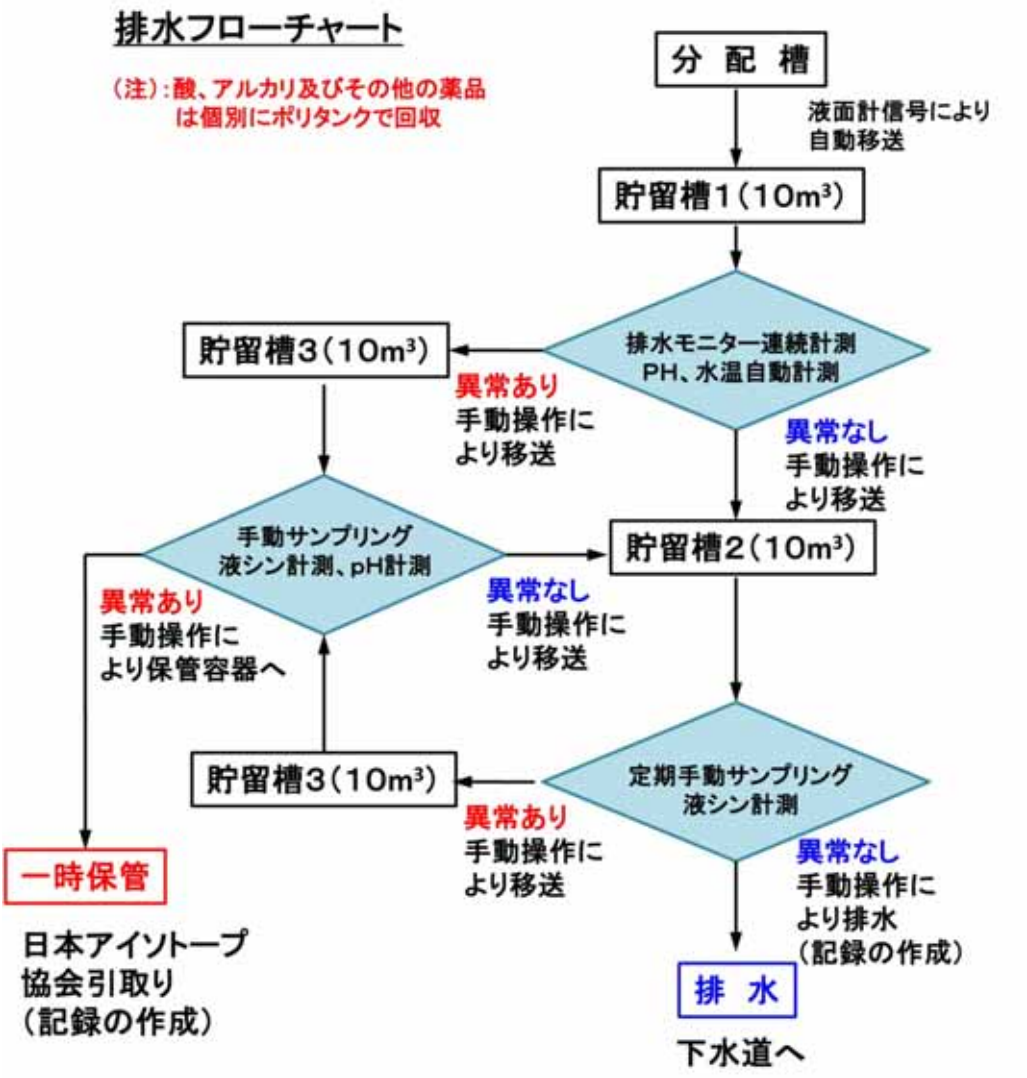


図 5.2.4-3　日本アイソトープ協会から貸与を受ける保管容器

○排水設備

排水処理のフローチャートと主な仕様を図 5.2.4-4 に、排水設備の基本的な構成を図 5.2.4-5 に、排水設備の系統図を図 5.2.4-6 示す。このシステムは分配槽 2 基、貯留槽 3 基からなる。貯留槽 1、貯留槽 2 で排水までの測定を行い、排水できない場合は貯留槽 3 に移して再度確認を行ない、やはり排水できないと判断された場合は、日本アイソトープ協会に引き取りを依頼する。

管理区域内で発生した排水はすべて、分配槽に送られる。分配槽は 3.5 トンの比較的小さな容量の槽である。分配槽が設定水位になると自動的に貯留槽 1 に送られる。貯留槽 1 では、排水モニターにより放射能濃度を測定する。異常がなければ、貯留槽 2 に送る。貯留槽 2 では、試料をサンプリングし、液体シンチレーションカウンター等で、さらに詳細な測定を行い、問題がなければ下水に排水する。貯留槽 1 で異常が確認された場合は、貯留槽 3 へ移し、再度詳細測定を行う。再度の測定で問題がなければ、貯留槽 2 に戻し、再々度の測定を実施する。その結果、濃度が研究所管理値以下であれば下水に排水する。また、濃度が研究所管理値を超える場合は、日本アイソトープ協会への引き渡しを行うため、廃液として保管容器に移し替え、引き渡しまでの間、一時保管を行う。貯留槽は 10 トンの容量を有する。



○貯槽（分配槽２、貯留槽３、ステンレス製）
○切換バルブ（電動・手動２重、遠隔・現場操作）方式
○放流基準：研究所管理値以下
○バッチ方式試料採取測定
・ベータ線排水モニター（H-3, C-14 遠隔測定）
・ガンマ線排水モニター（放射化物等、遠隔測定）
・液体シンチレーションカウンター（H-3, C-14 他）
・半導体検出器（放射化物等のガンマ核種）

図 5.2.4-4 排水処理のフローチャートと主な仕様

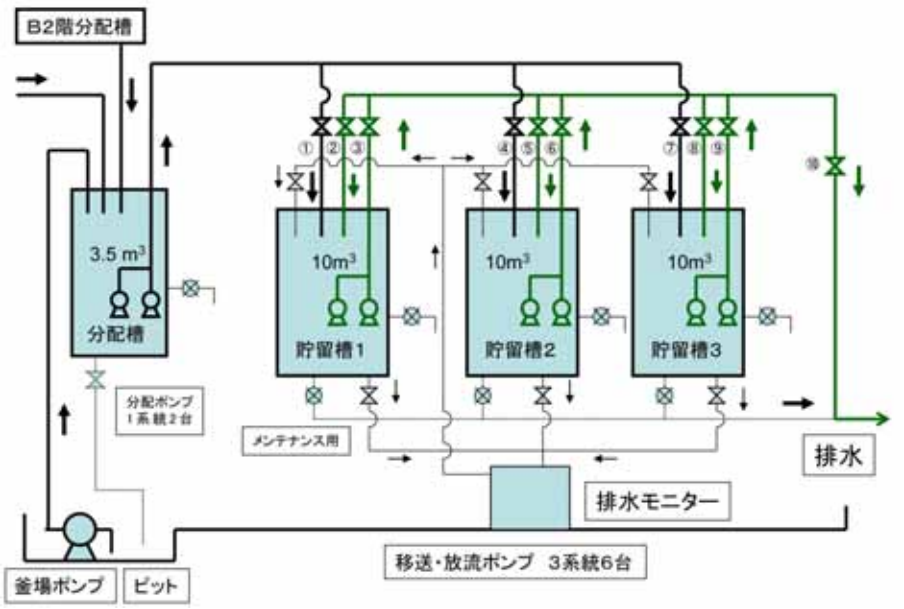


図 5.2.4-5 排水設備の構成図

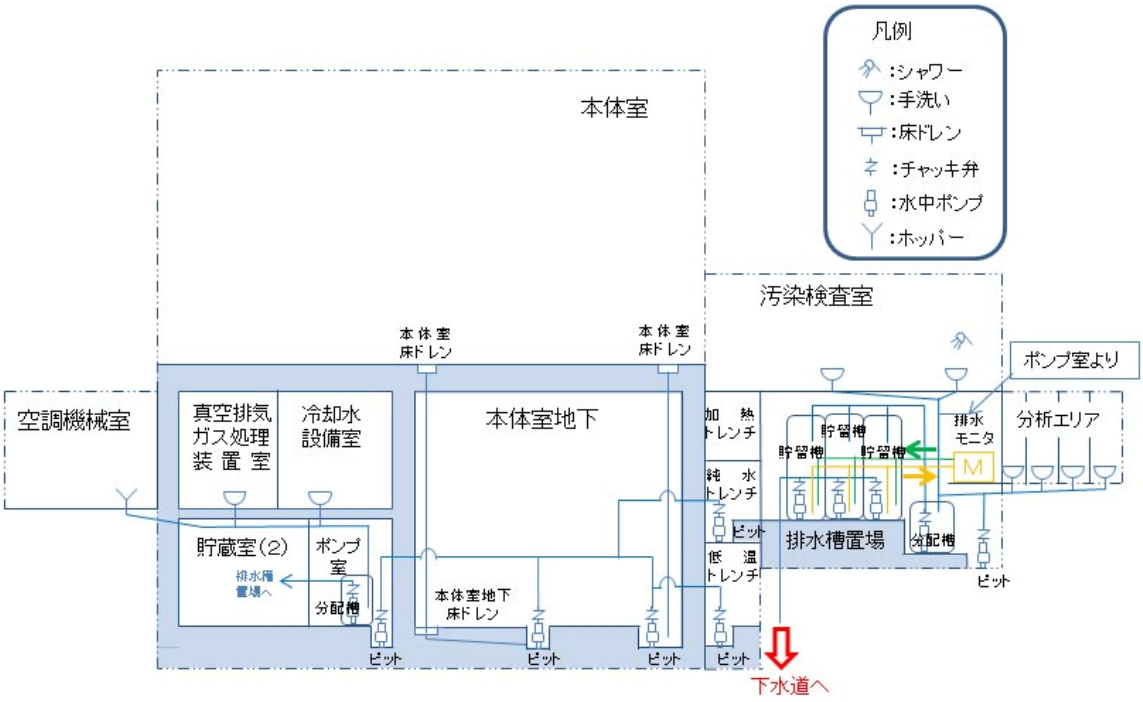


図 5.2.4-6 排水設備系統図

○放射性廃棄物

放射化したものや、管理区域内で用いたもののうち、再利用せずに廃棄されるものは放射性廃棄物として扱われる。このようにして発生する廃棄物は以下のように分類して、日本アイソトープ協会指定の容器に収めて保管廃棄室に一時保管され、日本アイソトープ協会に処理を依頼する。

1) 可燃性固体廃棄物(以下「可燃物」という)
作業者等が着用する作業手袋、マスク等、およびペーパータオル、布ウェス、養生資材等の可燃性の廃棄物で、50 リットルのドラム缶に収まるもの
2) 不燃性固体廃棄物(以下「不燃物」という)
ガラスバイアル、ガラス器具塩化ビニル、シリコン、せともの、アルミ箔、テフロン等、50 リットルドラム缶に収まるもの
3) 非圧縮性不燃物
土壌、鉄骨、パイプ、コンクリート片、鋳物、多量の活性炭等、50 リットルドラム缶に収まるもの
4) 難燃物
プラスチック、ポリバイアル、ポリシート、ゴム手袋、発泡スチロール等、50 リットルドラム缶に収まるもの
5) フィルター
排気設備に設けるプレフィルター、ヘパフィルター等
6) イオン交換樹脂
本体室内に設置されている一次冷却設備、排水設備等のイオン交換樹脂等
7) 無機液体
25 リットルポリ容器に入れ 50 リットルドラム缶に収納
8) 有機液体
液体シンチレーション廃液、真空ポンプ廃油(但し、ポンプは、オイルフリーのものに代えることを計画しており、真空ポンプ廃油はほとんど発生しない)等で、25リットルポリ容器に入れ 50 リットルドラム缶に収納

計測および計測器の校正に用いられる放射性同位元素、重水素実験により放射化した、もしくは放射性物質が吸着した材料で実験用試料として扱うものには、以下のものがある。

1) 計測および計測器の校正に用いられる放射性同位元素

濃縮ウラン 235(フィッションチェンバー)	:中性子計測
Cf-252	:中性子計測の較正用線源(800 MBq)

2) 重水素実験により放射化した、もしくは放射性物質が吸着した実験材料

SUS 試料、カーボン試料、シリコン試料 等	:PWI 研究用

実験材料中に吸着している主な放射性核種は、トリチウムである。

放射化された実験材料中の主な放射性核種には、

グラファイト　：　C-14, Be-7

SUS316　　：　C-14, Cr-51, Mn-53, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-56, Co-57, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Zr-95, Nb-95m, Nb-94, Nb-95, Nb-93m, Mo-93, Tc-99

が挙げられる。

これら実験材料は、管理区域内の貯蔵室に保管される。

トリチウム含有水は、前述のように、保管容器にいれて RI 保管施設に保管する。日本アイソトープ協会への引き渡しは、この容器でもって行われる。引き渡しは、日本アイソトープ協会と事前に協議する。現時点での搬出計画を、表 5.2.4-1 に示す。

トリチウム含有水は、人体に取り込まれる可能性があることから、その取り扱いには注意を要する。

(1) 取り扱いの注意点

災害時に、保管廃棄室でトリチウム含有水の保管容器の保管状況の点検等、トリチウムを吸引する可能性のある作業等をする時には、呼吸器等の防具を装着の上、作業を行う。

トリチウム含有水の保管容器を移動させる等の作業を行う時は、マニュアルを遵守する。また、このような作業には、作業確認員を配置し、マニュアルの遵守を徹底させる。

(2) 健康管理

管理区域内で作業を行う者には、法令で定められた健康診断を行うのはもとより、下記についてマニュアルに定め、健康管理を確実に実行する。また、健康管理を通じて、機器の適切な管理に努めるものとする。

- LHD の真空容器内、保管廃棄室等でトリチウムに関係する作業を行った者は、管理区域から出る時に汚染検査室で呼気検査を行う。
- 漏洩したトリチウムの回収に当たった者は、尿検査を行う。
- 上記結果は、放射線取扱主任者及び安全衛生推進部長に報告し、健康管理に努める。また、規則に従って、個人記録として残す。

表 5.2.4-1 トリチウム含有水搬出計画

	発生月	トリチウム含有水発生量（25リットル容器本数）			搬出計画（持込みによる廃棄依頼）
		2kBq/ml 以下	20kBq/ml 以下	合計	
実験中	1月		20本	20本	240本 4月末頃に日本アイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	2月		20本	20本	
メンテナンス期間	3月	100本		100本	
	4月	100本		100本	
	5月	100本		100本	200本 6月末頃に日本アイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	6月	100本		100本	
	7月	100本		100本	200本 8月末頃に日本アイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	8月	100本		100本	
実験中	9月	100本	20本	120本	180本 12月末頃に日本アイソトープ協会が指定する保管場所まで発送。
	10月		20本	20本	
	11月		20本	20本	
	12月		20本	20本	
	合計	700本	120本	820本	820本

5.2.5 放射化物の取り扱い

放射化物については、加工・溶接、運搬等に関して非密封線源に準じた取り扱いが求められており、その管理に関しては、「放射線障害防止の観点から重要な放射性核種、放射能を推定し、核種ごとの免除レベルを基準とした密封線源に準じた管理」が求められていることを踏まえ、クリアランスレベルを取り扱いの基準とし、その詳しい取り扱いについては、以下とする。

1. 管理区域内にあって、重水素実験により発生する中性子によって機器等が放射化する可能性のある領域を別途細則で規定する。
2. 上記の領域内に置かれ、重水素実験による中性子の照射を受けたものは、「放射化物」とする。
3. 放射化物の加工・溶接、運搬等に関しては、非密封線源に準じて取り扱う。
4. 放射化物のうち、壁材等、研究に使用するRIとして核種を申請してあるものについては、RI試料として、放射線障害防止法に従って、他の管理区域に移送・使用ができるものとする。
5. その他の放射化物の管理区域外への持ち出しは、放射線障害防止法に従って行うものとする。
6. 放射線障害防止法の規定に従い、クリアランスレベル以下と認定されたものについては、放射化していない一般の機器として扱うものとする。

5.2.6 管理区域の設定と入退管理

○管理区域

大型ヘリカル実験棟の管理区域は、一カ所の出入り口で入退管理を徹底させるため、重水素実験時には入退管理室からすべての区域に行くことができるような一体化した管理区域を設定する。図5.2.6-1から図5.2.6-4に各フロアーの管理区域平面図を示す。各フロアへは、管理区域内の階段もしくはエレベータを利用して移動することができる。

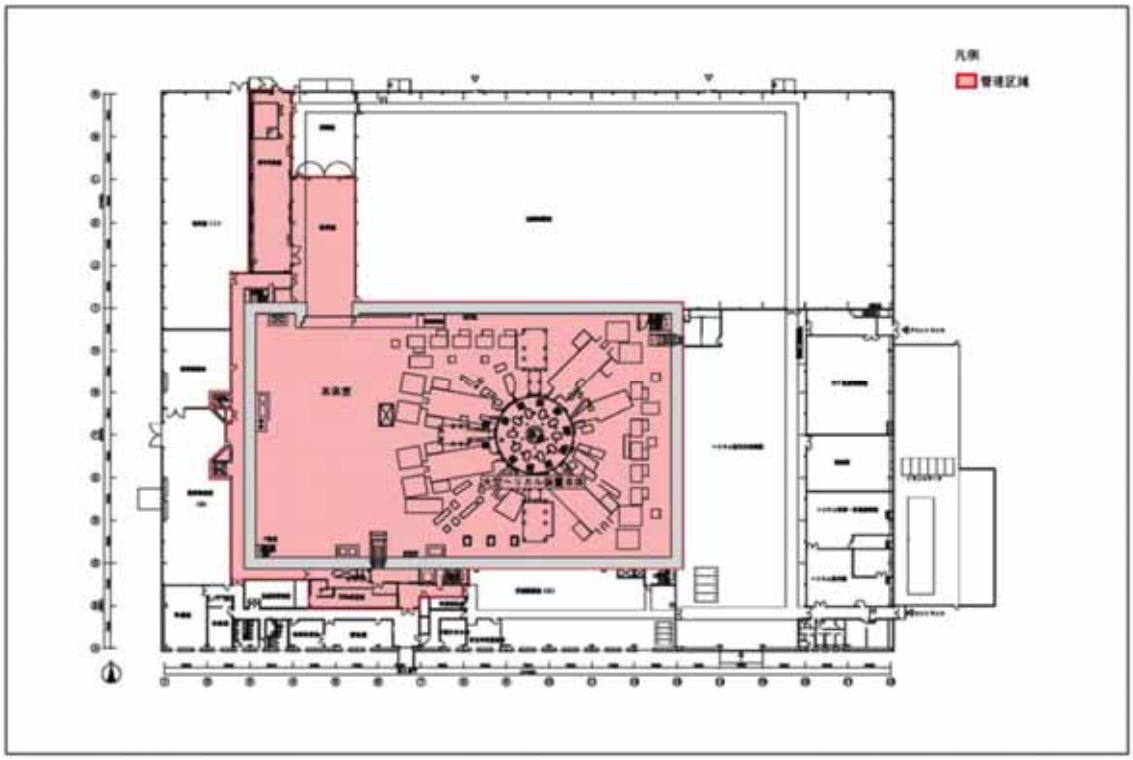


図 5.2.6-1　大型ヘリカル実験棟 1 階管理区域平面図

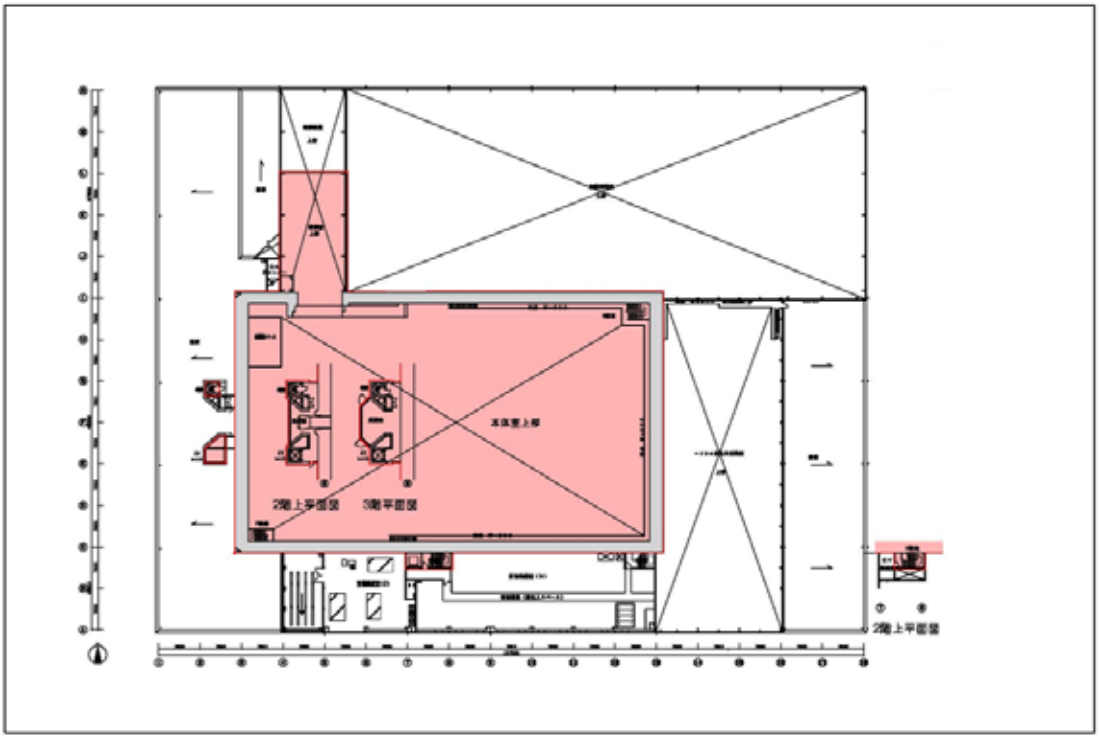


図 5.2.6-2　大型ヘリカル実験棟 2 階管理区域平面図

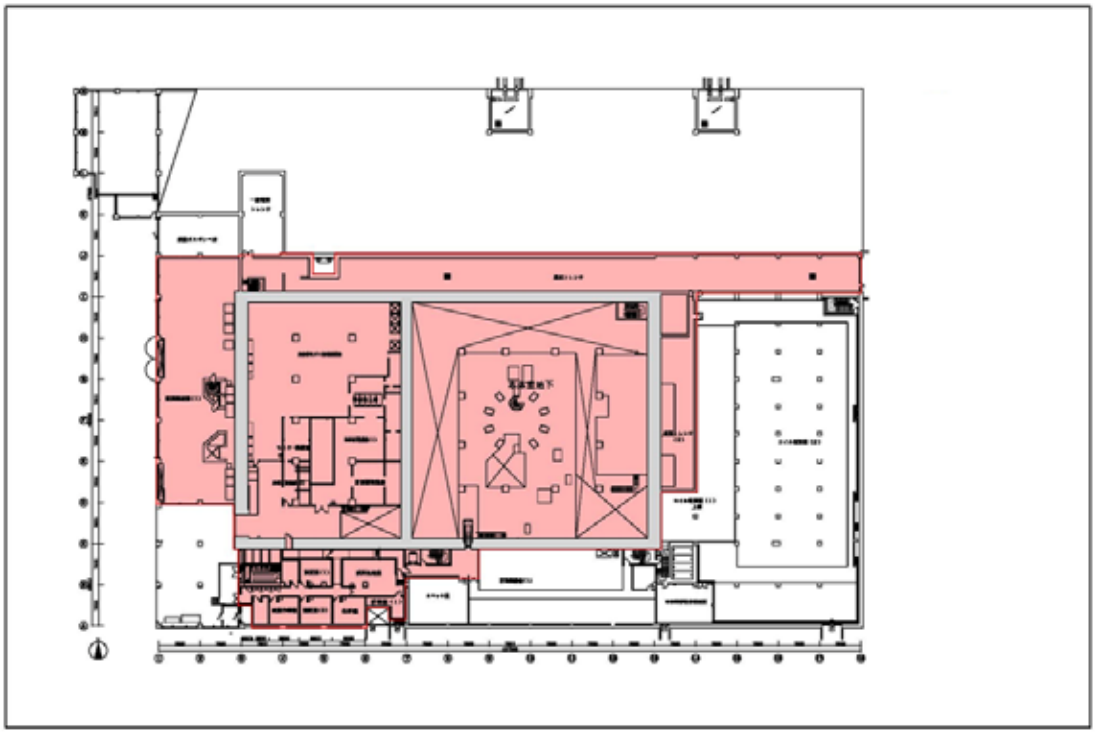


図 5.2.6-3　大型ヘリカル実験棟地下 1 階管理区域平面図

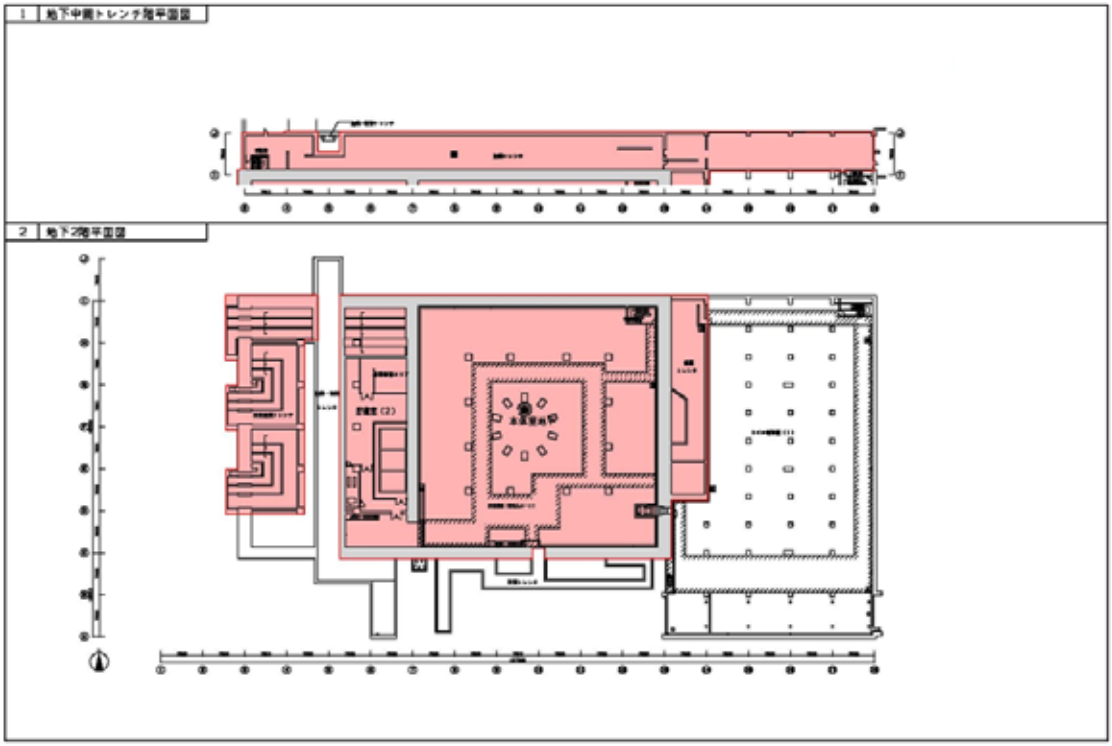


図 5.2.6-4　大型ヘリカル実験棟地下 2 階及び中間トレンチ管理区域平面図

○入退管理

大型ヘリカル実験棟1階の入退管理室に入退ゲート(図5.2.6-5)を設置し、大型ヘリカル実験棟の管理区域への入退を管理する。管理区域に入るには、必ずこのゲート通過するようになっている。この入退ゲートはセキュリティ機能搭載のQRコード(以下、SQRC)によって認証を行うこととし、その個人認証用のSQRCを個人線量計に貼付し配付することとした(図5.2.6-6)。従って、個人線量計を携帯していない者は、ゲートで認証することができず入域できない。このようなシステムにより、入域者全員の個人線量計携帯を管理することができる。

なお、見学者等の一時立入者にはSQRCを貼った電子線量計を渡し、電子線量計にて入退ゲートの認証を行うこととしている。なお、セキュリティ機能によりコピーができなくなっているため、写真のようにSQRCは黒く撮影されるが、QRコードが書き込まれている。



図 5.2.6-5 入退管理室に設置された入退ゲート

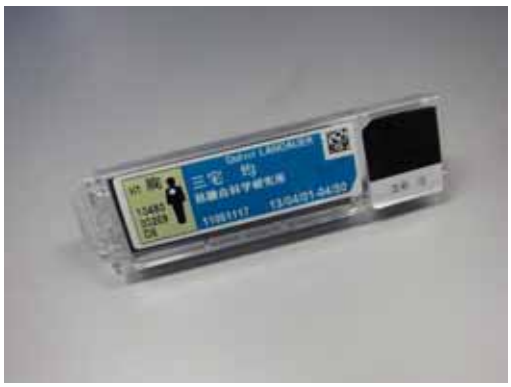




図 5.2.6-6 SQRC の貼られた個人線量計と電子線量計
(セキュリティ機能のため QR コードは黒く写る)

○電気錠

大型ヘリカル実験棟の主な扉は電気錠となっており、開閉状態は入退管理システムによりPC上で、図5.2.6-7の様に確認することができる。この画面上で電気錠の解錠・施錠の操作も行える。また、次の5.2.7節で述べる「放射線総合監視システム」の「ITV」により、扉付近の映像を入退管理室で見ることができるため、荷物の搬入等で扉を開ける場合は、入退管理

室で電気錠の操作、監視ができるようになっている。

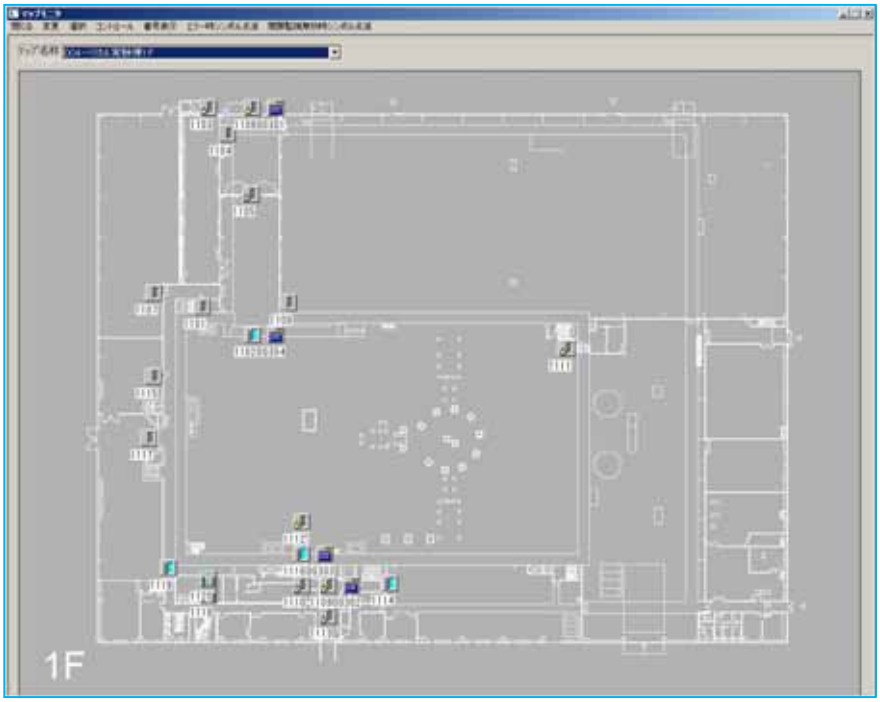


図 5.2.6-7　入退管理システムの電気錠状態モニター

この入退ゲートは2013年のLHD実験時に動作確認のための試験運用を行った。なお、これまでの個人線量計は月の替わる少し前に配布していたが、今回のSQRCでは、日付による管理ができるために、試験運用では厳密に対象の月に発行されたSQRCでないと認証できない運用とした。そのため、前の月の個人線量計を携帯して入退ゲートが入れないというトラブルが何件かあったが、利用者が慣れるに従いそのようなトラブルはなくなってきた。

本体室、本体地下室等は重水素実験中に入室できない領域となっている。この領域に入域するには、入退管理室に設置された入退ゲートの他に更にゲートを通過する必要がある。これは実験開始前にこの領域に入域者がいないことを確認するためである。管理区域からの退出にあたっては、汚染検査室等で各種測定を行い、汚染がないことを確認してから退出する。例として、LHD 本体室（重水素実験中に入室できない領域）からの退出を説明する。本体室から出た者は、最初のゲートを通過する。ゲートの付近には、搬出モニターが設置されているので、これにより持ち込んだ工具等の汚染を検査する。また、サーベイメータにより、持ち物や作業者の汚染を検査する。次に汚染検査室にて手を洗い、ハンドフットクロスモニターにて、手足の汚染をチェックする。このハンドフットクロスモニターは入退ゲートと連動しており、ハンドフットクロスモニターで検査を行い、異常のないことが確認されなければ入退ゲートが開かないシステムとなっている。ハンドフットクロスモニターでの検査が終わった後、作業着の着替えや靴の履き替えを行い入退ゲートを出る。なお、LHD 真空容器内作業を行う作業者は、作業の前後に呼気モニターによる検査も実施することとする。呼気は、入退管理室に設置された装置で採取され、後に液体シンチレーションカウンターにて測定される。これら一連の流れを図 5.2.6-8 に示す。

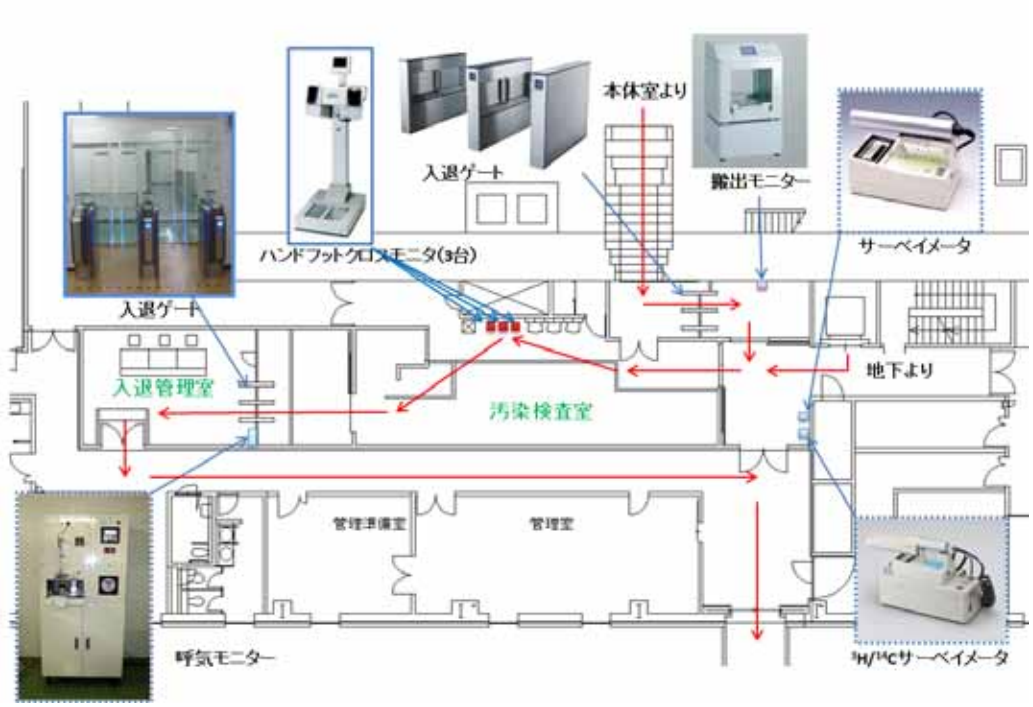


図 5.2.6-8　汚染検査室、及び入退管理室の退出時の流れ

入退管理室の入退ゲートは既に試験運用を開始している。ハンドフットクロスモニターは既に設置が済み、使用可能な状態にある。現在、入退ゲートとの連動（ハンドフットクロスを済まさないと入退ゲートを出られない)の準備を進めている。呼気モニターは、富山大学でおこなっているトリチウム安全取扱研修の参加者を対象に、試験運用を開始しており、結果をもとに計測頻度等を決定する。

また、入退管理室では、ITVにより出入り口付近の映像が監視、RMSAFE（Radiation Monitoring System Applicable to Experiment）や排水管理装置、排水モニタ、室内ガスモニタ等の運転状況やデータを見ることができるようになっている。

汚染検査室には、汚染の拡大防止のため、作業着の着替え、履物の履き替え、手袋の着用等をおこなうエリア(更衣室)を設けている。そのためロッカーや下駄箱なども順次準備を進めている。入退管理室、及び汚染検査室の様子を図5.2.6-9に示す。また、汚染が見つかった場合に除染するための設備として、シャワーや洗濯機が設置されている。



図 5.2.6-9　入退管理室及び汚染検査室（更衣室）

5.2.7　放射線安全管理

5.2.7.1　放射線総合監視システム

放射線安全管理の情報を一元的に監視管理するために、放射線総合監視システムを構築し、大型ヘリカル実験棟の入退管理室と制御棟の制御室で監視できるようにする。この放射線総合監視システムは、各種放射線管理機器からの情報を取り込み一元的に管理を行うもので、運用において、管理値よりも低い値（規定値）を警報レベルとして設定し、その値に達したときは、警報を発して実験を自動的に停止させるようにLHD中央制御装置と連携をとる。また、放射線の測定器が正常に稼働していない、実験時に閉まっているべき扉が開いているなどの実験条件が整っていない場合は実験が始められない、もしくは実験中に条件が崩れた場合は実験を停止させるようなインターロックシステムが構築される。

稼働状態、および測定データがリアルタイムで数値が出る装置についてはその値が制御室前方に設置する総合監視画面に表示される。これらの情報は、入退管理室でも確認ができるようにする。

また、入退管理システムにより、入室者の管理及び扉の電気錠の管理を行う。それに合わせて、ITVにて扉や本体室の監視を行うことができるシステムとする。放射線総合監視システムの概略を図5.2.7.1-1に示す。

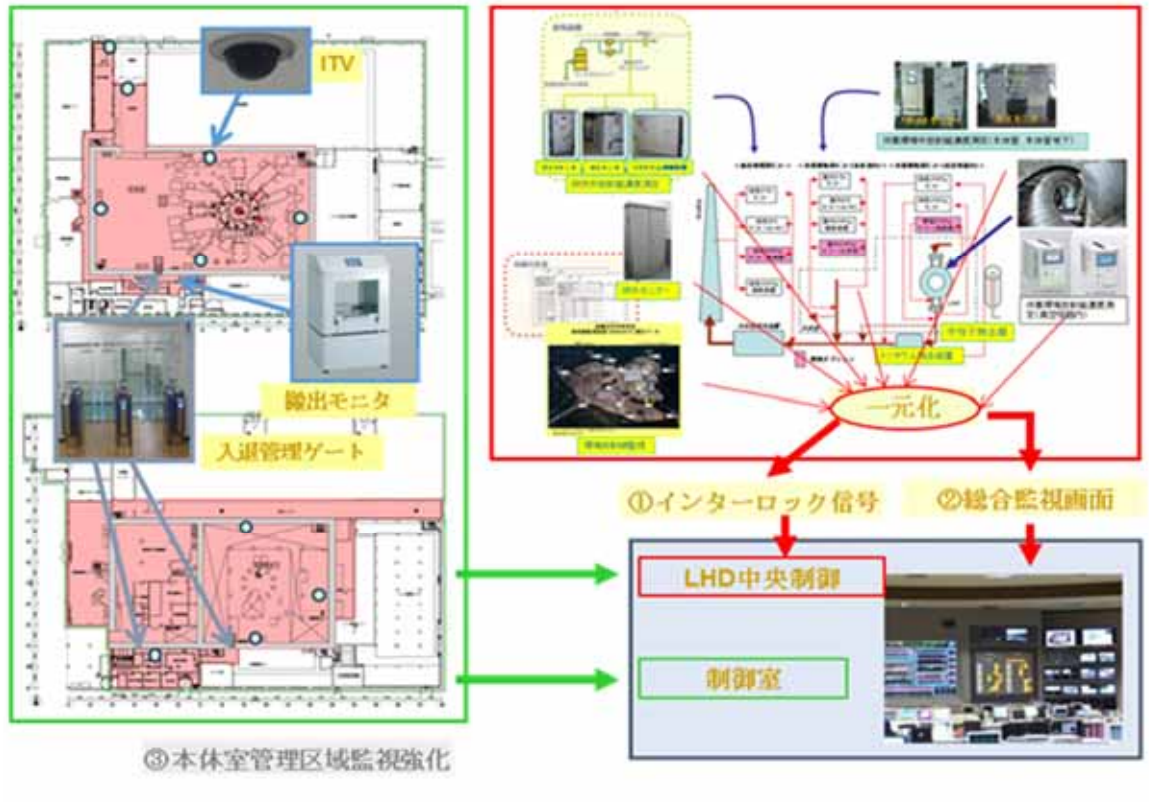


図 5.2.7.1-1　放射線総合監視システムの概略図

放射線総合監視システムでの主な放射線管理機器からのインターロック信号及び総合監視画面への運転状況データの流れを図5.2.7.1-2に示す。

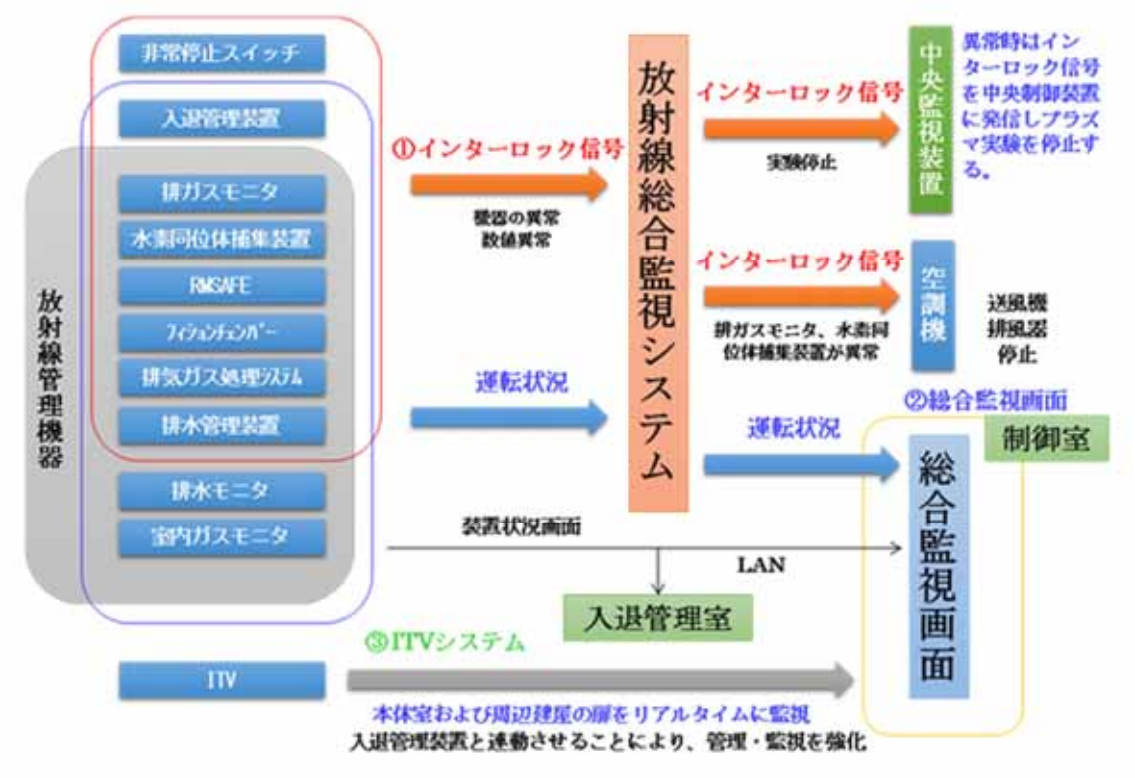


図 5.2.7.1-2　放射線総合監視システムの流れ図

（インターロック）

放射線総合監視システムは、上で示したように入退管理システムおよび放射線管理機器からのインターロック信号により、LHD実験を自動停止させる機能を持つ。そのインターロックの論理図を以下に示す。まず、入退管理システムのドアインターロック論理図を図5.2.7.1-3に示す。実験開始時に閉まっていなければならない扉が開いている場合は、通電モードやコンディショニングモードへの移行ができない。また、実験中に開いてはいけない扉が開くようなことがあればインターロックにより、実験が停止する。また、本体室、本体室地下に入室者がいる場合も、実験が開始できない。図中の「その他の設備状況インターロック」、「その他の保護インターロック」は、放射線管理機器からの接点信号を表し、詳細を図5.2.7.1-4に示す。インターロックシステムに組み込まれる放射線管理機器としては、中性子発生量を測定する核分裂計数管（フィッションチェンバー）、プラズマ実験中に発生するトリチウムの除去をおこなう排気ガス処理システム、敷地境界や大型ヘリカル実験棟内の空間線量率を監視する放射線モニタリングシステムRMSAFE、排気塔から出る空気中の放射能濃度を監視する排気ガスモニタと水素同位体捕集装置等が含まれる。

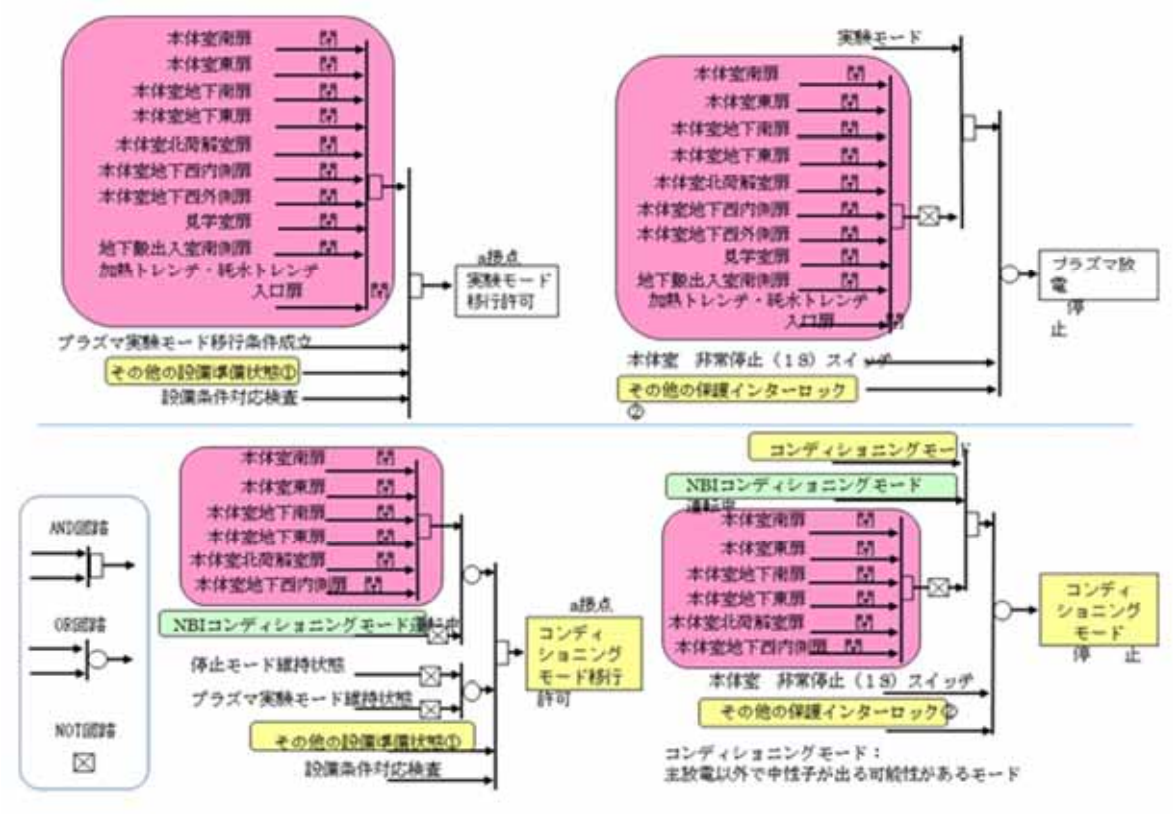


図 5.2.7.1-3 ドアインターロック論理図

フィッションチェンバーは3台設置され、そのうち1台でも故障した場合（軽故障）には、実験を一旦停止させることとする。また、3台中2台の場合（重故障）には、実験を再開しないものとする。

排気ガスモニタと水素同位体捕集装置は、それぞれバックアップのため2台用意する。なお、水素同位体捕集装置は、捕集した後に液体シンチレーションカウンターにて測定をおこなうためリアルタイムでデータが出ないので、担当者が液体シンチレーションカウンターの最新の測定結果を確認して規定値以上の場合は停止信号を入れることになる。

排気ガスの放射能濃度が設定値より高くなった場合、もしくは計測ができなくなった場合は、排気を止めるために送風機・排風機を停止させなければならない。そのため、図5.2.7.1-5のように、排気ガスモニタと水素同位体捕集装置が停止した場合、または計測値が規定値を超えた場合は、送風機・排風機を停止させ、その前もしくは後ろのダンパーを閉じる。

排水については、測定や下水への排水は人の操作によるバッチ処理であるのでインターロックシステムには入れないが、満水などの警報信号はインターロック信号として取り込む。

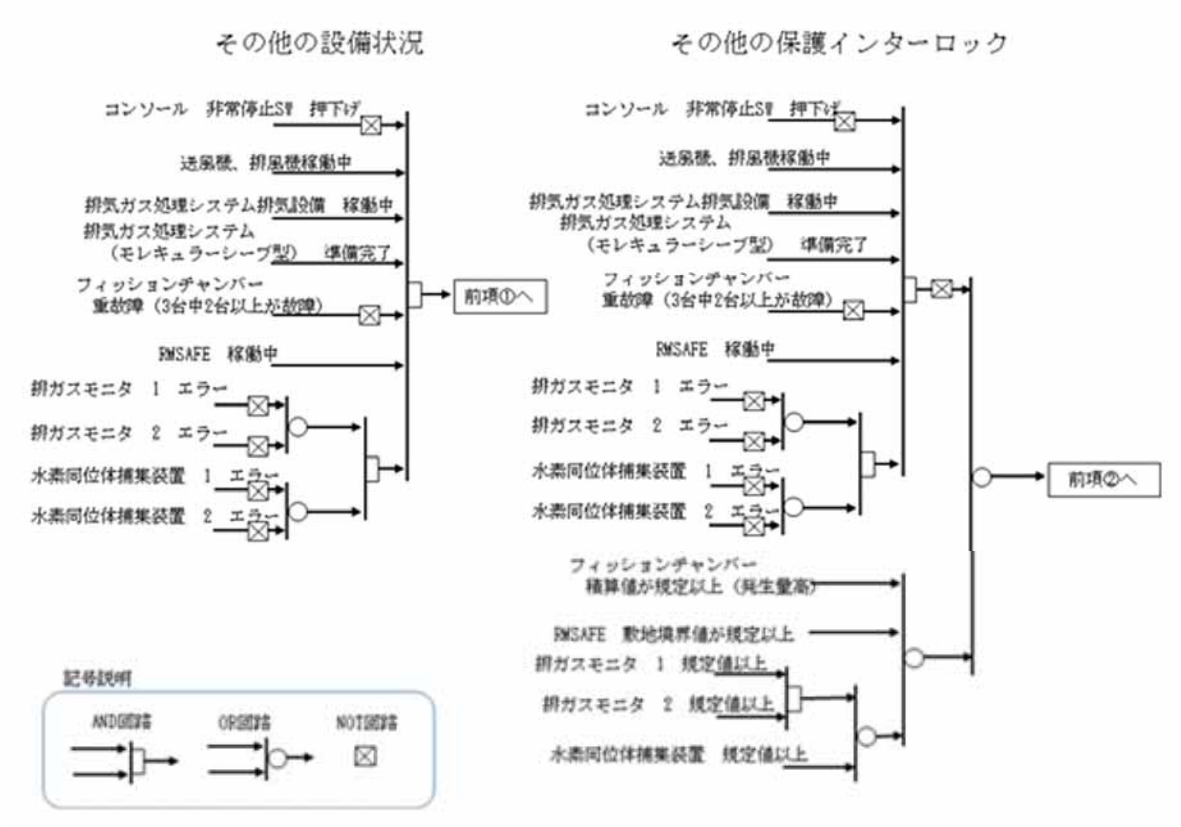


図 5.2.7.1-4　放射線管理機器のインターロック論理図

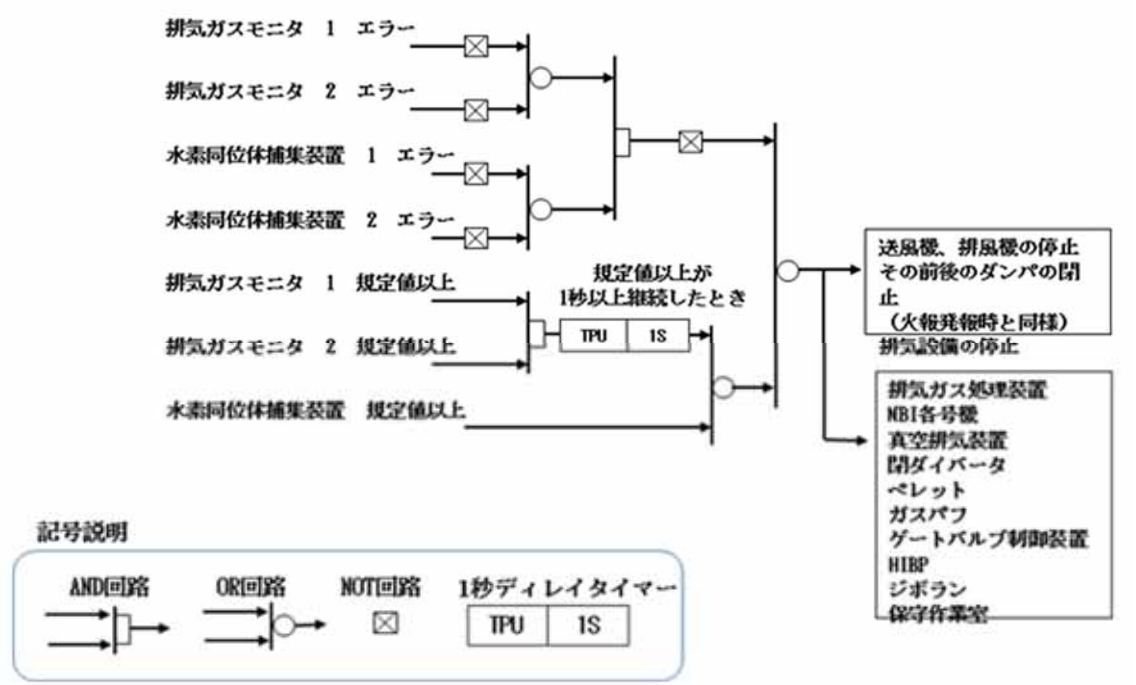


図 5.2.7.1-5　送風機のインターロック論理図

（総合監視画面）

入退管理状況、放射線管理機器の状態およびデータ、ITVの映像を制御室で監視できるように図5.2.7.1-6に示す様に、制御室前方左に設置予定である。画面表示の例として既に準備できているRMSAFEと排水管理装置、排気ガスモニタ、室内ガスモニタの画面を図5.2.7.1-7に示す。また、これらの情報は、入退管理室でも見られるようにする。

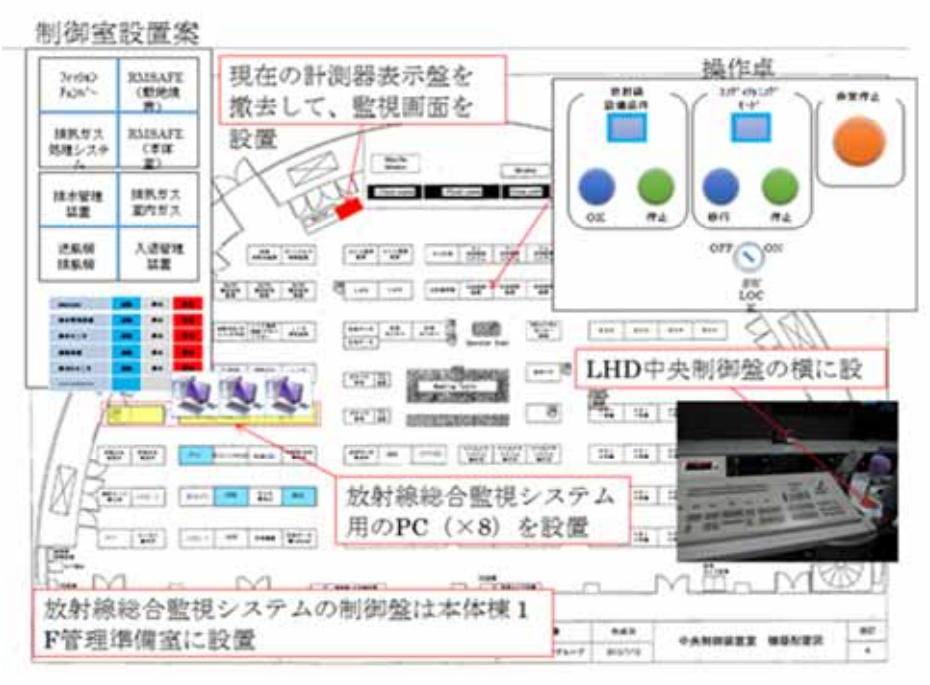


図 5.2.7.1-6　総合監視画面設置場所

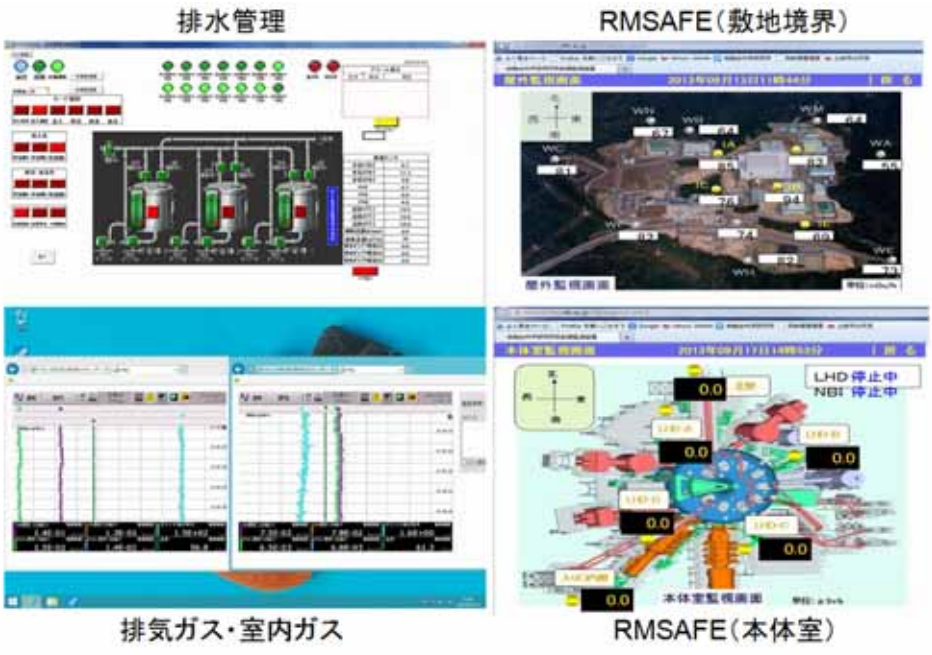


図 5.2.7.1-7　総合監視画面例

（ITV）

入退管理による扉の管理とともにITVにより扉、および本体室の状況をリアルタイムにITVにて監視することにより、本体室管理区域の監視を行う。

2013年度に、大型ヘリカル実験棟内の主要な出入り口にITVカメラを設置した。また、LHD建設時に設置された既設のITVについては、老朽化のため故障しているものも多いため、システム全体の更新を計画している。カメラについては、LHDのLポート監視用に4台新規に設置、2013年度に設置したカメラと監視エリアが重なるなどの理由で8台を撤去、2013年度設置の17台は現状維持、残りの38台は更新としている（表5.2.7.1-8参照）。また、更新、撤去するカメラ位置を図5.2.7.1-9に示す。

表 5.2.7.1-8　ITV のカメラ更新、撤去数

	2F	1F		B1F	B2F		地下中間トレンチ	合計
		本体室	本体室以外	本体室地下以外	本体室地下	本体室地下以外		
新規	0	4	0	0	0	0	0	4
更新	2	8	13	8	4(1台は移設)	3	0	38
撤去	1	0	2	2	3	0	0	8
現状維持	1	0	9	5	0	1	1	17

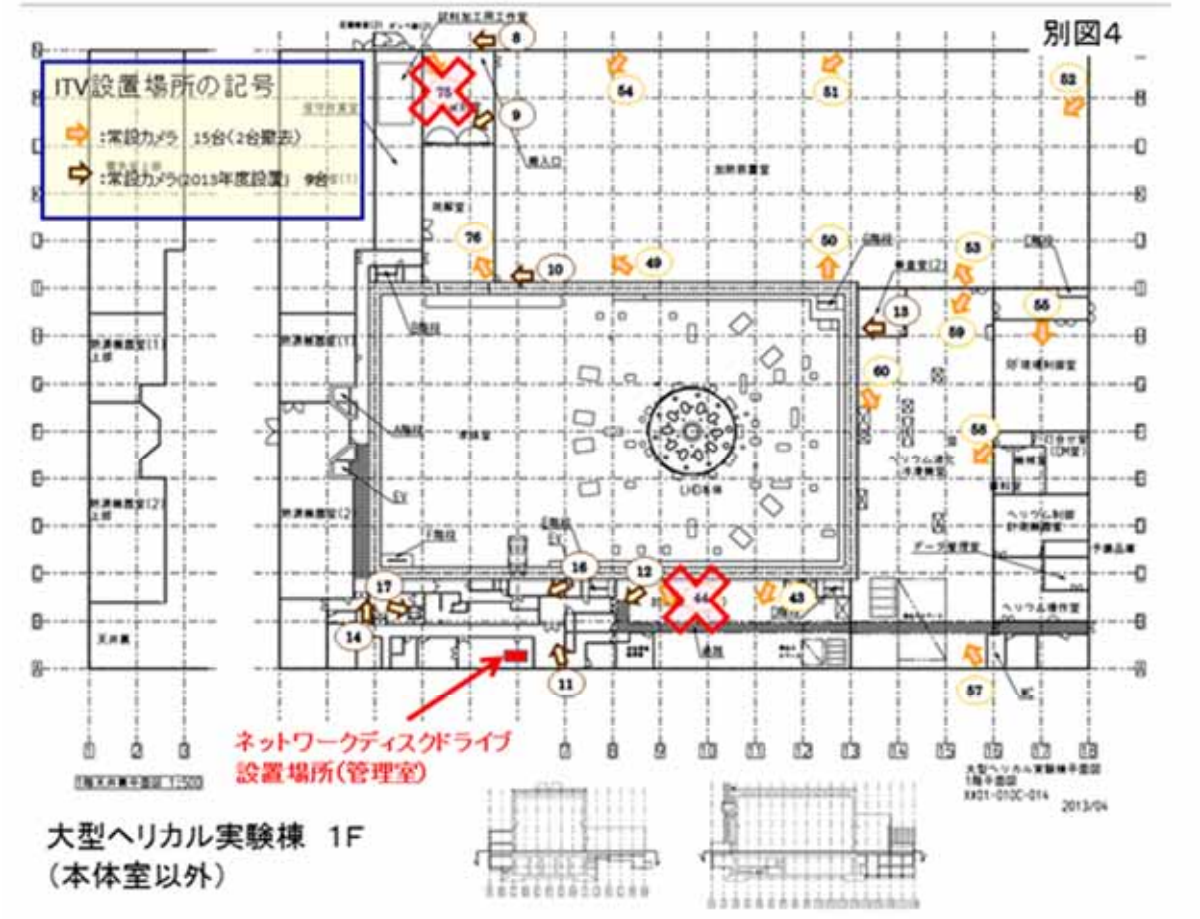


図 5.2.7.1-9　ITV のカメラ更新、撤去場所例

5.2.7.2　測定機器の整備

放射線に対する安全管理は、法令に基づく値および法令よりも厳しい値に設定した研究所管理値を用いて行う。この節では、研究所管理値を超えていないことの確認と監視を行うための測定器や装置について述べる。

(1)　中性子計測

発生中性子量を精度良く測定することは、実験テーマとしてDD反応の量を評価するためばかりでなく、安全管理上も非常に重要である。また、生成するトリチウムの量は、この測定値から評価されるため、重水素実験を開始する上で必要不可欠の測定である。

中性子発生量測定には、最も安定して精度良く測定できる核分裂計数管（フィッションチェンバー）を本体室の3箇所に設置する準備を進めている。設置の概略図を図5.2.7.2-1に示す。また、計測値から中性子総発生率・量を得るために、中性子発生率が既知のCf-252線源をLHD真空容器内に周回させながら行う較正実験の準備も進めている。更に、中性子総発生率の評価値の信頼性を高めるために、放射化箔に基づく中性子束測定システムの準備も進めている（図5.2.7.2-2）。

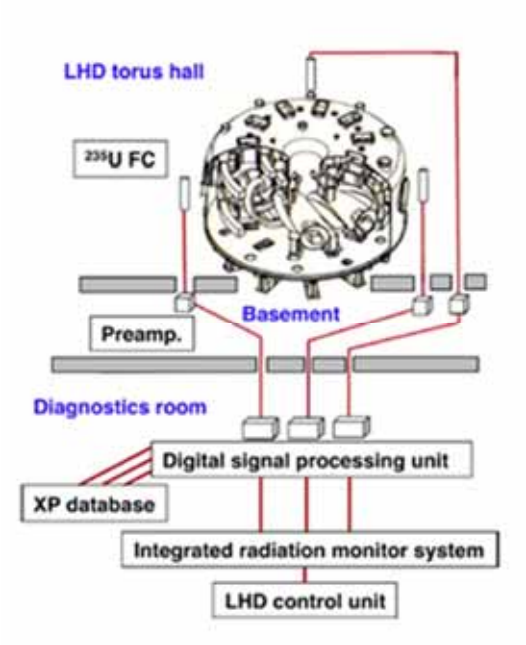


図 5.2.7.2-1　核分裂計数管概略図



図 5.2.7.2-2　放射化箔システムのカプセル送出回収装置と制御盤

(2)　排気測定

排気の放射線計測に関しては、通気型電離箱のガスモニタによって、排気塔から出る空気の監視を行っている（図5.2.7.2-3）。この排気ガスモニタにより、リアルタイムに排気塔から出る空気の放射能濃度監視が可能であるが、検出下限値は法令で定められるトリチウムの濃度限度（水蒸気状態）と同じ5×10^{-3} Bq/cm^{3}であるため、突発的な濃度上昇の監視に用いる。研究所管理値は、法令で定められる濃度限度よりも厳しい管理値 2×10^{-4} Bq/cm^3(3

ヶ月平均濃度)を設定しているため、研究所管理値よりも低い濃度を測定できる計測システムを準備した。具体的には、触媒酸化法を用いた水素同位体捕集装置(図5.2.7.2-4)により化学形態の異なるトリチウムを分別し、低バックグランド液体シンチレーションカウンター(アロカ LSC-LB7)により測定を行う。



図 5.2.7.2-3 排気ガスモニタ



図 5.2.7.2-4 水素同位体捕集装置

ガスモニタ、水素同位体捕集装置ともに既に整備が完了している。実際の運用において問題がないことを確かめるため、及び重水素実験開始前のバックグランドデータ採取のために現在運用を行っており、図5.2.7.2-5に示すように研究所の管理値以下の測定が可能であることを確認している。

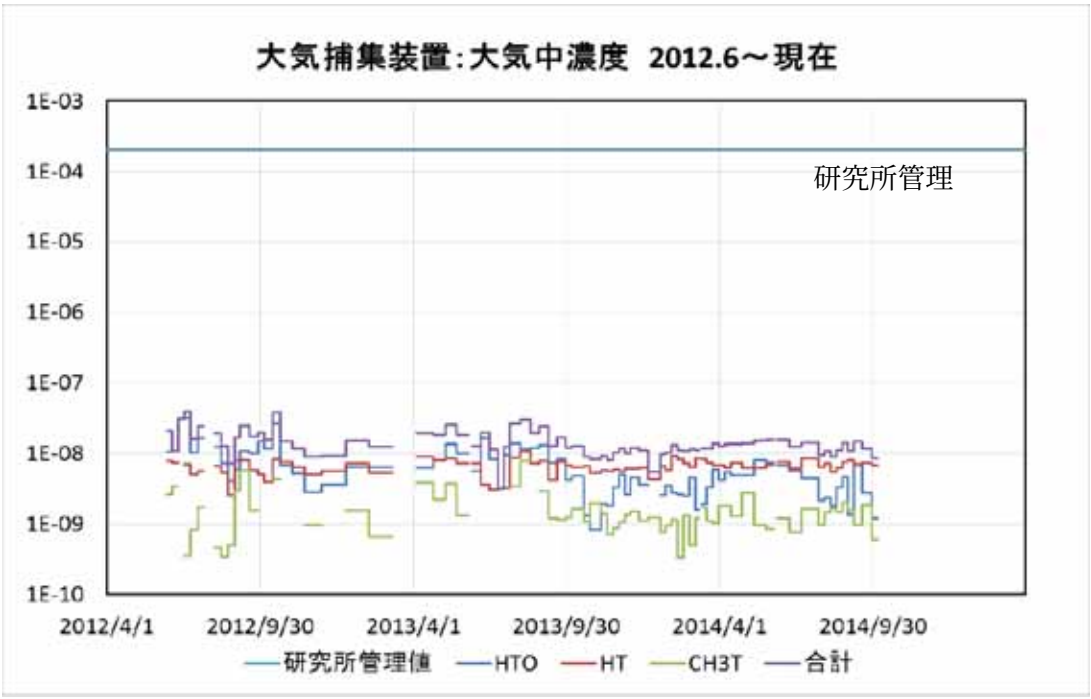


図 5.2.7.2-5 水素同位体捕集装置による排ガス中トリチウム濃度

(3) 排水測定

真空容器内の空気は給気・排気ダクトにより給排気されるため、本体室内に放出されることはないが、真空容器内への作業者の出入り等により僅かながら放出される可能性が想定される。このため、空調機のドレン水を一旦貯留槽に溜めて、トリチウム濃度検査を行い、研究所管理値である0.6 Bq/cm^3(3ヶ月平均)以下であることを確認の上、放出する(法令値は、3ヶ月平均で60 Bq/cm^3)。そのための、貯留槽3基(容量10トンのステンレスタンク)からなる排水管理装置を設置した(図5.2.7.2-6左)。管理区域内の排水は空調機のドレイン水以外の手洗水なども全てこの貯留槽に流れ込んで来る。貯留槽の状態は管理画面に表示される(図5.2.7.2-6右)。貯留槽に貯められた水は、日立アロカメディカル製のβ線水モニタ、γ線水モニタ(図5.2.7.2-7)、MSR-3000からなる排水モニタにより放射能濃度の自動測定を行い、研究所の管理値である0.6 Bq/cm^3(3ヶ月平均)以下であることを確認する。加えて、下水に流す前には、サンプリングを行い、液体シンチレーションカウンター(1220 QUANTULUS)、及びオートウェルガンマシステム(AccuFLEX 7000)(図5.2.7.2-8)で詳細な測定を行い、問題がないことを確認した後に排水する。これらの機器に関しては、既に整備が整い、実験前のバックグランドデータの蓄積を兼ねて運用している。

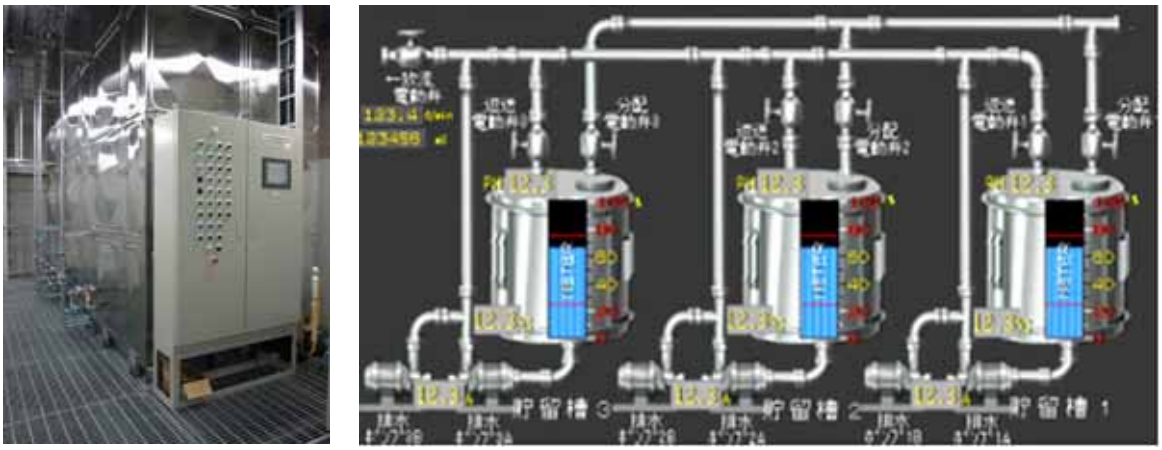


図 5.2.7.2-6 排水管理装置の貯留槽(左)、及び監視画面(右)



図 5.2.7.2-7 排水モニタ、β線水モニタ、γ線水モニタ、MSR-3000



図 5.2.7.2-8 QUANTULUS とオートウェルガンマシステム

(4) 本体室内ガスモニタ

重水素実験時、中性子により大型ヘリカル実験棟本体室の空気中に含まれるアルゴンガスが放射化されるため、アルゴン41などの放射能濃度を監視する必要がある。そのために、通気型電離箱のガスモニタを設置している。測定器は、本体地下室に設置し、配管により本体室内の空気の取り込み測定を行っている。こちらも既に設置が終わり、バックグランドデータの収集を始めている。



図 5.2.7.2-9 室内ガスモニタ測定部、ダストモニタ及び通気型電離箱ガスモニタ(右)

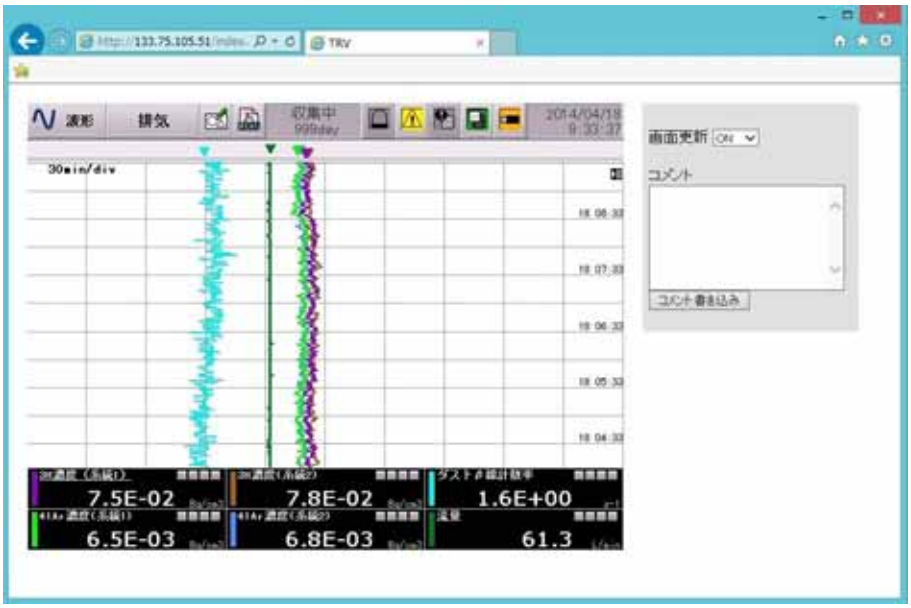


図 5.2.7.2-10 室内ガスモニタデータの例

(5) 敷地境界線量

核融合科学研究所では、実験により発生する放射線の敷地境界における線量が年間50μSv/年を超えないことを地元自治体との協定書に謳い、研究所管理値としている。この値を越えていないことを評価するために放射線モニタリングシステムRMSAFEを開発し、1992年以来整備を進めてきた。現在、敷地境界に9基、実験棟近傍に5基、大型ヘリカル実験棟内に18ケ所のモニタリングポストを設置している。これらの全てのポストにはX(γ)線測定器を、また、9基及び3ケ所のポストに中性子測定器を備えている。大型ヘリカル実験棟には、中央監視装置を設置し、各ポストとの間を光ファイバで接続することにより検出器で計測された放射線をリアルタイムに監視できる。さらに、このRMSAFEのデータは、研究所ホームページにより一般に公開されており(図5.2.7.2-11)、誰でも研究周辺の環境放射線の状況をリアルタイムに確認できるようになっている。RMSAFEは、設置から20年近くが経過しているため、一部の検出器や中央監視装置において部品の経年劣化がみられたため、2013年度にRMSAFEを構成する、モニタリングポスト(図5.2.7.2-12)、検出器、中央監視装置の更新をおこなった。現在、機器の入替が終わり運用を開始している。



図 5.2.7.2-11　Web で公開されている X(γ)線測定器による環境放射線測定データ



図 5.2.7.2-12　更新されたモニタリングポスト(格納箱は再塗装)

(6) 安全管理用計測機器

5.2.6節 管理区域の設定と入退管理でも述べたように、安全管理のため、ハンドフットクロスモニタ、呼気モニタの設置(図5.2.7.2-13)、及び試験運用を開始している。その他、トリチウム用サーベイメータの購入、既存の機器のNaI(Tℓ)シンチレーションサーベイメータ、GM式サーベイメータ(図5.2.7.2-14)の点検、及び較正の準備を進めている。また、作業環境測定として、大型ヘリカル実験棟内各部屋の出入り口付近を中心にスミヤによる表面汚染密度の測定も試験的に始めている。

主な測定器の整備状況を表5.2.7.2-1に示す。



図 5.2.7.2-13　ハンドフットクロスモニタと呼気モニタ



図 5.2.7.2-14　NaI(Tℓ)シンチレーションサーベイメータ、3H/14C 用サーベイメータ、GM 式サーベイメータ

表 5.2.7.2-1　主な測定器の整備状況

使用目的	使用場所	検出対象	測定器	整備状況
中性子計測	本体室	中性子線	フィッションチェンバー	準備中
			放射化箔	準備中
排気測定	排気塔	^{3}H, ^{41}Ar	ガスモニタ	稼働中
		ダスト(α、β線)	ダストモニタ	稼働中
		^{3}H	水素同位体捕集装置	稼働中
排水測定	貯留槽	^{3}H, ^{16}C 等	β線モニタ	稼働中
			ガンマ線モニタ	稼働中
			液体シンチレーションカウンター	稼働中
室内空気測定	本体棟	^{3}H, ^{41}Ar	ガスモニタ	稼働中
		ダスト(α、β線)	ダストモニタ	稼働中
放射線測定	敷地境界	X線、中性子	RMSAFE	稼働中

5.2.7.3 環境放射線計測

○環境放射線

LHDの重水素実験に伴い、環境中における放射線量の変化を監視する必要がある。重水素実験開始後の環境射線量が重水素実験前と比べてどのように変化するかを確認するために、1996年より敷地境界および敷地内に百葉箱を設置し、ガラス積算線量計を用いて3ヶ月間(4月～6月, 7月～9月, 10月～12月, 1月～3月)の積算線量を継続して測定している。観測地点は、敷地境界に7地点、敷地内に1地点である。観測地点の詳細を図5.2.7.3-1に示す。観測期間を通して鉛箱に設置したガラス積算線量計の結果を線量計のバックグランド値とした。

測定結果を図5.2.7.3-2に示す。測定データ例として昨年度までの10年分を示す。測定地点により放射線量レベルに違いが認められる。この違いは、観測地点毎の周辺環境によるものと考えられる。これまでの10年以上にわたるデータをベースとし、重水素実験開始後の環境放射線量について、変化の有無を判断する予定である。

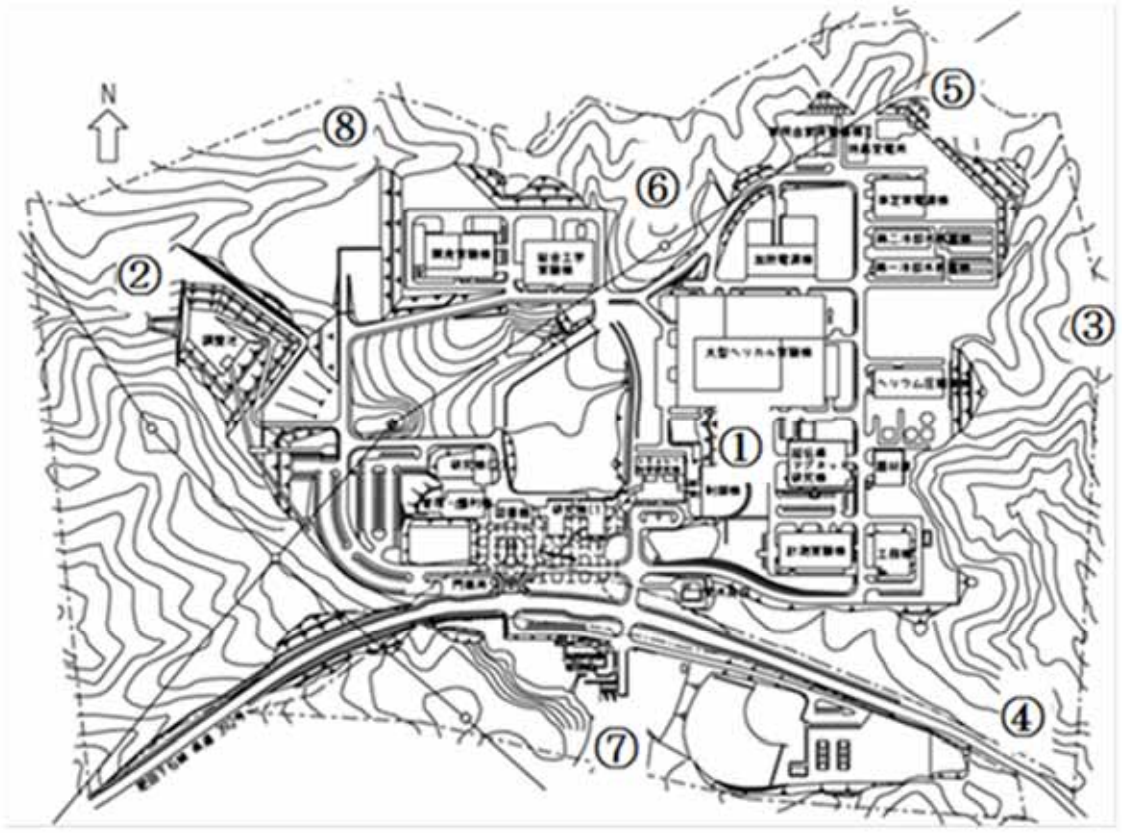


図 5.2.7.3-1 3ヶ月積算線量の測定地点

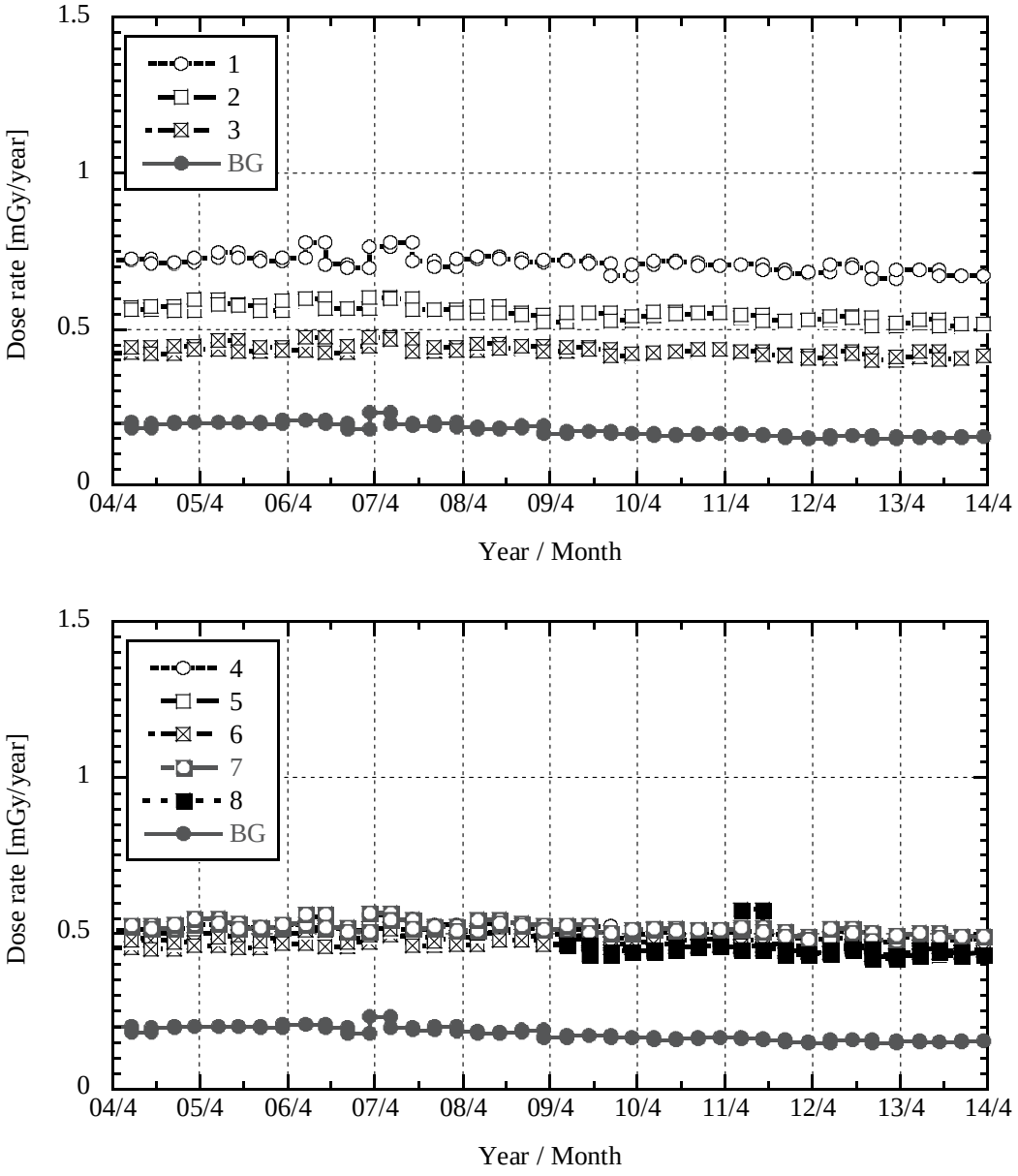


図 5.2.7.3-2 3ヶ月積算線量の測定結果

○化学形別大気中トリチウム濃度の計測

LHDの重水素実験に伴い、トリチウムが発生するが、発生したトリチウムは管理の下にスタックをとおして大気へ排出される。そのため、大気中におけるトリチウム濃度の観測を継続して行っている。大気中トリチウムは、主に水蒸気(HTO)、水素(HT)および炭化水素(主にメタン:CH_3T)の3つの化学形態で存在しているとされている。化学形毎に線量換算係数が異なるため、化学形に分けた観測が重要となる。そのため、逐次酸化法により3つの化学形に分画して採取を行った。観測地点は、計測実験棟2階(地上6 m)である。

観測結果を図5.2.7.3-3に示す。大気水蒸気中トリチウム濃度(Bq L^{-1})は春季に高く、夏季に低くなる一般的な季節変動傾向が認められた。水蒸気状大気中トリチウム濃度(HTO:

mBq m^{-3})は、夏季に高くなる明瞭な季節変動傾向が認められた。これは大気中湿分の変動によるものであり、一般的な傾向である。大気中HT濃度(mBq m^{-3})およびCH_3T濃度(mBq m^{-3})は観測期間を通して、明瞭な季節変動傾向は認められなかった [5.2.7-1,2,3,4]。これまでの観測結果を基に、重水素実験開始後の大気中トリチウム濃度の変化を判断する予定である。

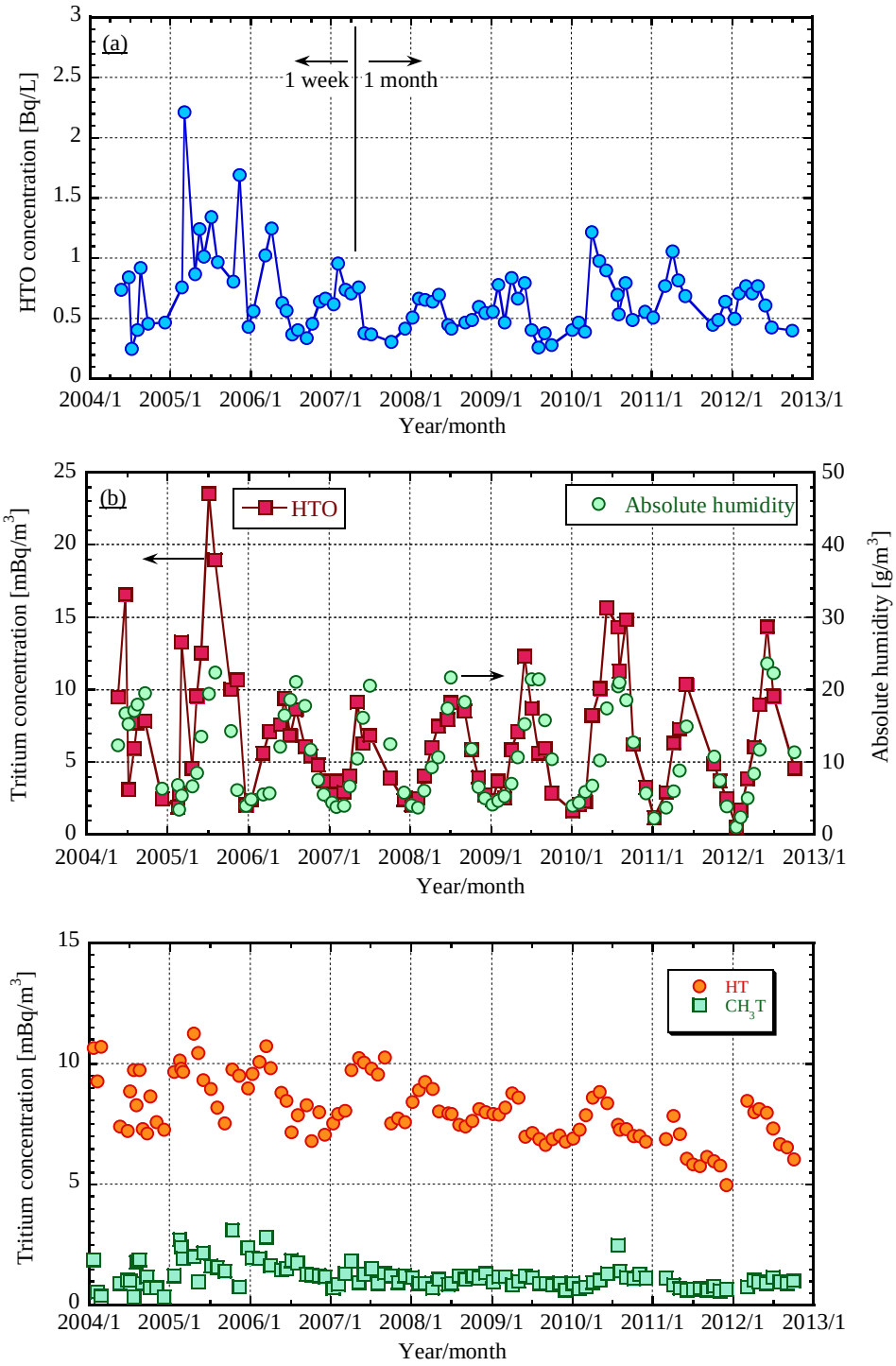


図 5.2.7.3-3 大気中トリチウム濃度の測定結果

○陸水中トリチウム濃度の計測

環境水中トリチウム濃度レベルとその変動傾向を明らかにすることを目的に、研究所周辺を中心に3ヶ月毎に河川水および地下水を採取している。採水地点を図5.2.7.3-4に示す。2005年以降は、13地点(A-1, A-3, A-4, B-1, B-3, C-1, F-1, F-3, H, X, Y, Z)での採水を継続している。また、研究所構内では3ヶ月毎に降水も採取している。採取した水試料は、ろ過・蒸留を行った後、液体シンチレーターと混合し(試料水:65 mL, シンチレーター:65 mL)、低バックグランド型液体シンチレーションカウンターを用いてトリチウム濃度の測定を行っている[5.2.7-5]。測定時間は1,500分である。トリチウムの測定は、トリチウム分析法[5.2.7-6]を参照した。

例として、図5.2.7.3-5に主要8地点における河川水中トリチウム濃度の経年変動について示す。トリチウム濃度は年々減少する傾向にあり、春季にやや高くなる季節変動傾向を示した。この観測結果をバックグランド濃度とし、施設影響の有無を判断する予定である。



図 5.2.7.3-4 河川水試料の採取地点

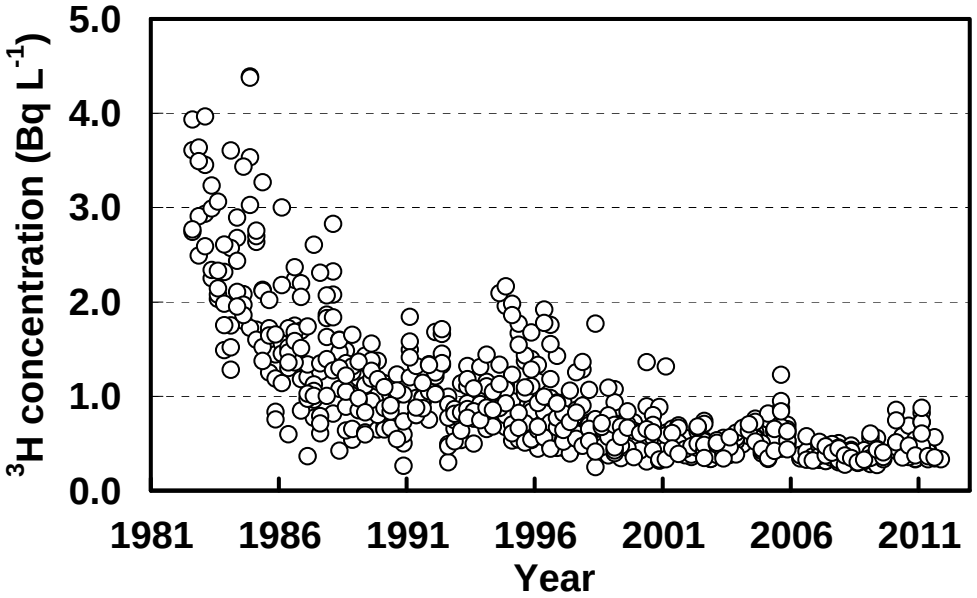


図 5.2.7.3-5 河川水トリチウム濃度の経年変化

○植物中トリチウム濃度の計測

環境中に存在するトリチウムは、水としての移動は比較的早いが、有機物と結合した際の移動速度は遅く、植物は環境におけるトリチウムの一時的なリザーバとなる可能性がある。また、トリチウムによる人の被ばくは、呼吸、飲料水と食物摂取があるが、食物連鎖を考えると、植物へのトリチウム取込みに関する評価が重要である。そこで、松葉を対象として植物内に存在する自由水中トリチウム（FWT: Free Water Tritium）と有機物と結合したトリチウム（OBT: Organically Bound Tritium）の分析を行っている。松葉は3ヶ月毎に研究所構内と研究所の南西約4.5 kmに位置する潮見公園において採取している。採取した松葉は、年度内の試料を一定量づつ混合して一つの分析試料とした。分析試料は、真空乾燥法により自由水を回収した。自由水を取り除いた乾燥試料は、燃焼して有機物内のトリチウムを含む全水素を水として回収した。それぞれの水試料は、蒸留した後、河川水と同様にトリチウムの分析 [5.2.7-6]を行った。

図5.2.7.3-6に研究所構内と潮見公園で採取された松葉のFWTおよびOBT濃度について示す。両者とも年々減少していく傾向が認められた。また、研究所内と潮見公園では、両者の濃度レベルに大きな違いは認められなかった [5.2.7-3,7]。この観測結果をバックグランド濃度とし、施設影響の有無を判断する予定である。

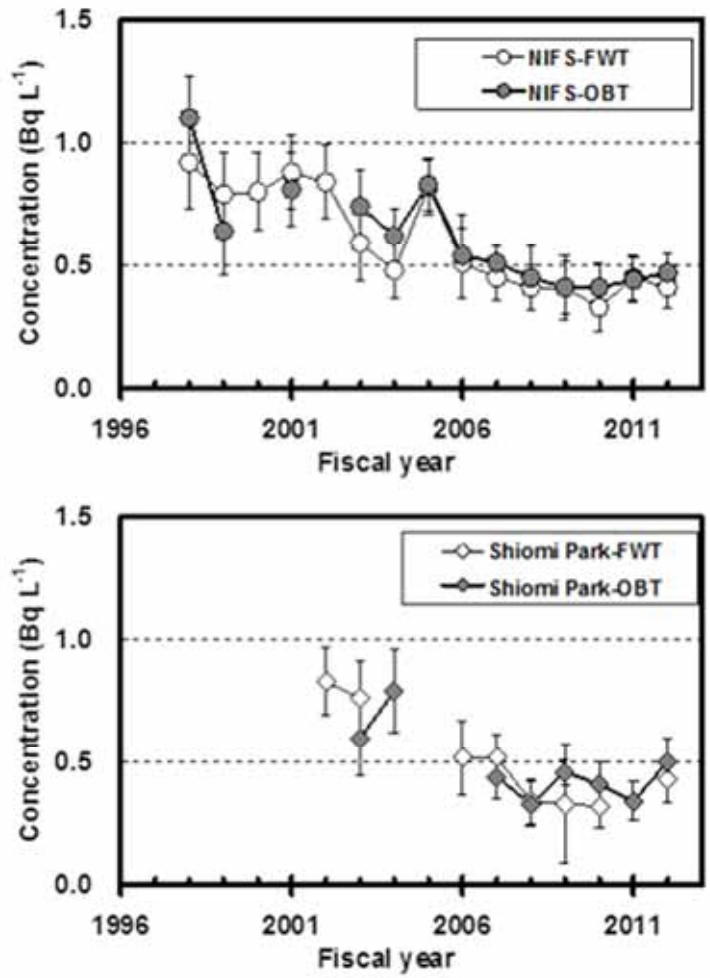


図 5.2.7.3-6　松葉中 FWT･OBT 濃度の経年変化

○環境試料中放射性核種濃度の測定

LHDの重水素実験による環境影響が無い事を示すためには、重水素実験により生成される放射性核種が施設外において検出されない、もしくはそれが自然の変動範囲内であることを示す必要がある。また、これまで以上に詳細なモニタリングも重要となる。そこで、大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画に沿って、重水素実験により放射化･生成される放射性核種のモニタリングを開始すると共に、天然放射性核種の計測も行った。ガンマ線放出核種の大気中濃度の観測は、ハイボリュームエアサンプラーに石英フィルターを取り付け、1ヶ月間の大気エアロゾルを毎月採取している。大気降下物は、水盤法を用いて1ヶ月毎の降下物を毎月採取している。表層土壌は、研究所構内において表層より5 cmの深さまで毎月採取を行っている。採取した試料は、前処理を行った後、ゲルマニウム半導体検出器を用いて、ガンマ線放出核種の分析を行っている。詳細なモニタリングとして、積算型大気水蒸気捕集装置を用いた大気中トリチウム濃度の観測と、月間降水中トリチウム濃度の観測を開始した。

例として、図5.2.7.3-7に研究所構内で観測された月間降水中トリチウム濃度と降水量の

変動について示す。降水中トリチウム濃度は0.25～0.61 Bq L^{-1}の範囲であった。今後観測を継続することで、重水素実験開始前の降水中トリチウム濃度のレベルと季節変動傾向を明らかにする予定である。

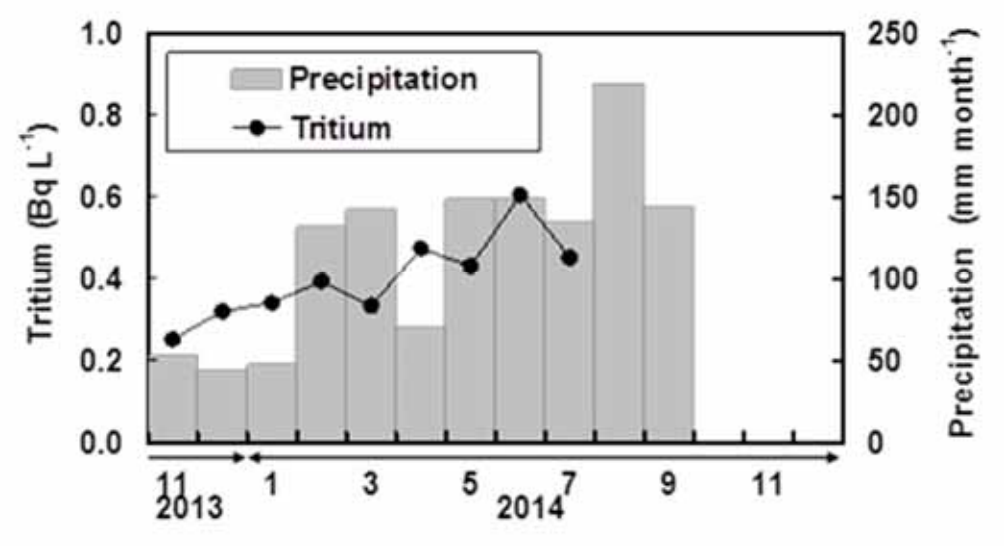


図 5.2.7.3-7 降水中トリチウム濃度と降水量の変化

[5.2.7-1] T. Uda, et al., Fusion Eng. Des., **81** (2006) 1385-1390.

[5.2.7-2] T. Uda, et al., Fusion Sci. Technol., **54** (2008) 281-284.

[5.2.7-3] T. Uda, et al., Fuson Sci. Technol., **60** (2011) 1244-1247.

[5.2.7-4] M. Tanaka, et al., Proc. of the 9th International Symposium on the Natural Radiation Environment, 22 - 26 September, 2014, HIROSAKI, JAPAN, ER-12

[5.2.7-5] 山西、他、Radioisotopes, **52** (2003), 235-241.

[5.2.7-6] 放射能測定法シリーズ 9,「トリチウム分析法[平成14年度改訂版]」

[5.2.7-7] N. Akata, et al., Proc. of the 9th International Symposium on the Natural Radiation Environment, 22-26 September, 2014, HIROSAKI, JAPAN, ER-11

5.3 規則類の整備

5.3.1 法体系・規則体系

重水素実験開始にあたり関係する放射線関連の主な法令等は以下のとおりである。

○労働安全衛生法

・電離放射線障害防止規則(電離則)

・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(障防法)

○原子力基本法

・核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

○労働基準法

・労働安全衛生法

・作業環境測定法

○国民保護法

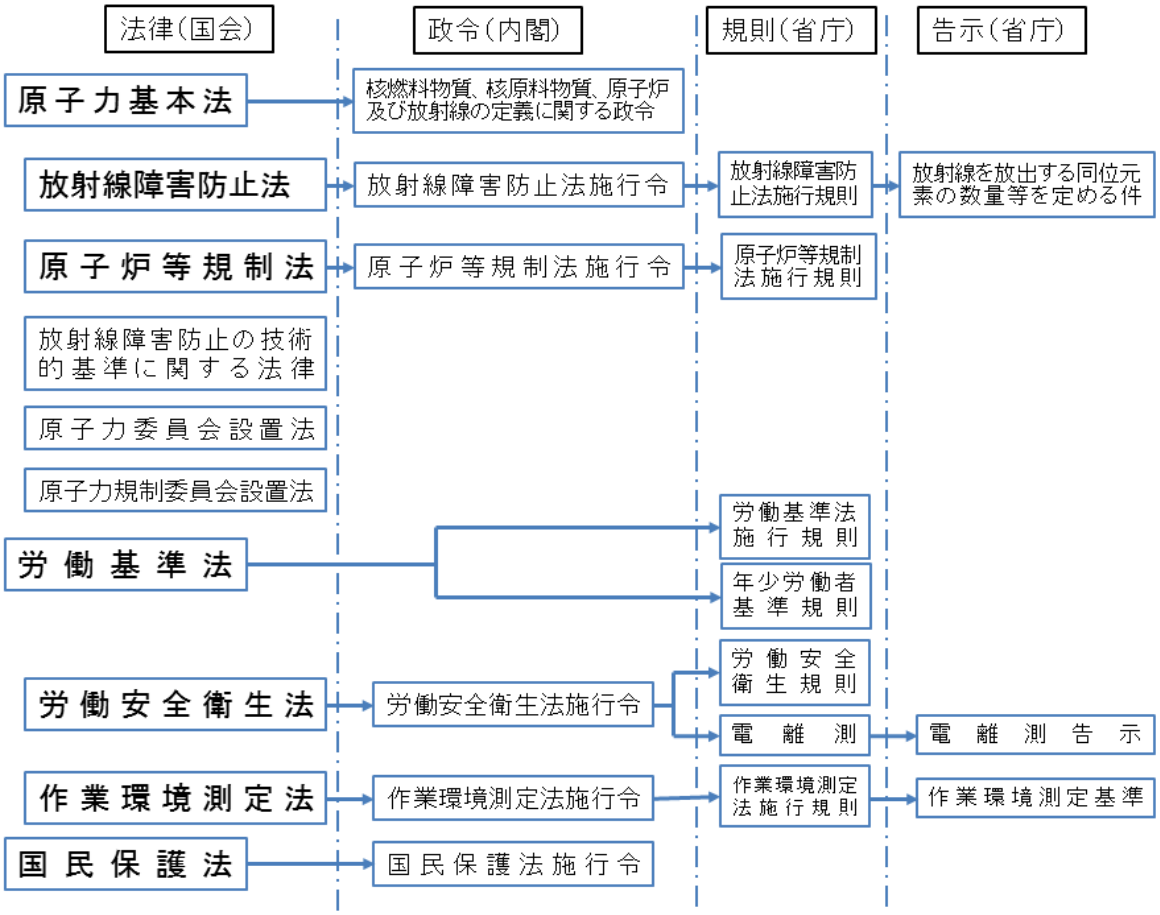


図5.3.1-1 放射線管理関連法体系

原子炉規制法に関する規則等は、中性子計測に用いる核分裂計数管にU-235(核燃料物質)が用いられているために必要なもので、所轄官庁と相談しながら準備を進めている。

これらの法体系の図式を図5.3.1-1に示す。研究所では、これらの法令を合理的に取り込む形で核融合科学研究所放射線障害予防規程、各所内規程、細則及びマニュアル等の整備を進めており、これらによって安全管理を実施する。表5.3.1-1に研究所予防規程に基づく所内規程、細則及びマニュアルの整備体制(案)を示す。

核融合科学研究所放射線障害予防規程は、平成16年の法人化に伴い放射線発生装置に係る規定として監督官庁に届けられている。重水素実験では、校正用密封線源と第一壁試料等の放射性同位元素の使用が想定されていることから、下記に示す項目の変更を行った。変更された本規程は新たな使用のための変更申請後30日以内に原子力規制委員会に届ける必要がある。

重水素実験を進めるために整備される各種のマニュアルはこの規程を最上位に位置づけ整合性を確認しながら整備を進めている。規程の主な変更点は、次のとおりである。

①「放射性物質等」の用語を追加した。
②放射性物質等による汚染のおそれのある管理区域について使用者の立入る際の遵守事項を定めた。
③放射性物質等の「購入」、「貯蔵」、「保管」、「使用」及び「廃棄」の手続き等について必要な事項を定めた。
④放射性物質等を取扱う作業について作業前、作業中、作業後の措置について定めた。
⑤放射性物質等による汚染の状況の測定について必要事項を定めた。
⑥事業所境界における線量限度を1年間50マイクロシーベルトとすることを明記した。
⑦排気中等の放出管理について定めるとともに排気中のトリチウム濃度限度を法律の25分の一とすることを明記した。
⑧排水中の放射性物質等の放出管理について定めるとともに、排水中のトリチウムの濃度限度を法律100分の一とすることを明記した。
⑨個人被ばく線量の算出に内部被ばくを加えた。
⑩放射性物質等の「使用」、「受入」、「払出し」、「保管」、「運搬」、「廃棄」の記録に関する必要事項を定めた。
⑪「巡視」、「点検」の項目を見直した。

以上のような、予防規程の変更を基準として表5.3.1-1に示したマニュアルの整備を進め重水素実験の開始に備える。

表 5.3.1-1　所内規程、細則及びマニュアルの整備体制(案)

原子力基本法	放射線障害防止法	放射線障害防止法施行規則		核融合科学研究所 放射線障害予防規程	装置維持管理細則	運転マニュアル他
	第21条		第21条	第5条	・大型ヘリカル装置係る通報連絡に関する細則 ・大型ヘリカル装置維持管理細則 ・重イオンビームプローブ維持管理細則 ・校正用(252-Cf)密封線源維持管理細則 ・核分裂計数管維持管理細則 ・イオンビーム解析装置維持管理細則 ・核融合科学研究所における実験装置等の維持管理細則 ・エックス線装置の維持管理細則 ・微量密封放射性同位元素取扱細則	・通報・連絡マニュアル ・放射線管理マニュアル 1-1 運転監視マニュアル 1-2 入退管理マニュアル 1-3 真空容器内作業マニュアル 1-4 ポート作業マニュアル 1-5 真空系取扱マニュアル 1-6 本体室作業マニュアル 1-7 トリチウム回収マニュアル 1-8 加熱運転マニュアル 1-9 物品搬出入マニュアル 1-10 試料取扱マニュアル 1-11 分析エリア作業マニュアル ・LHD運転マニュアル 2-1 本体運転マニュアル 2-2 本体冷却マニュアル 2-3 加熱機器運転マニュアル 2-4 計測機器運転マニュアル 2-5 入退管理装置運転マニュアル 2-6 放射線総合監視システム運転マニュアル 2-7 トリチウム除去装置運転マニュアル 2-8 分析機器運転マニュアル ・放射線・装置管理区域関連マニュアル 3-1 重イオンビームプローブ運転マニュアル 3-2 252-Cf使用マニュアル 3-3 核分裂計数管使用マニュアル 3-4 イオンビーム解析装置運転マニュアル 3-5 ECH運転マニュアル 3-6 NBI運転マニュアル 3-7 校正用X線源運転マニュアル 3-8 ESCA・XRD運転マニュアル 3-9 微量密封線源取扱マニュアル
	放射線障害予防規程		放射線障害予防規程は、次の事項について定める	所長は、法及びこの規程に定める事項の実施に関し、装置の維持・管理に関する取扱及び運用基準等を、維持管理細則として別に定めるものとする。		
			(1)取扱に従事する者に関する職務及び組織に関すること	第7条～第18条		
	放射線取扱主任者(第34条)	放射線取扱主任者の選任他 (第30条～第32条)	(1)の2 放射線取扱主任者及び安全管理に従事する者の職務及び組織に関すること	第7条～第13条		
	放射線取扱主任者の代理者(第37条)	放射線取扱主任者 の代理者(第33条)	(1)の3 放射線取扱主任者の代理者の選任に関すること	第14条		
	使用の許可の基準(第6条)	使用施設の基準(第14条の7) 貯蔵施設の基準(第14条の9) 廃棄施設の基準(第14条の11)	(1)の4 放射線施設の維持及び管理に関すること	第21条～第23条		
			(1)の5 放射線施設の点検に関すること	第22条～第23条		
	使用の基準(第15条) 保管の基準(第16条) 運搬の基準(第17条) 廃棄の基準(第18条)	使用の基準 (第15条) 保管の基準(第17条) 運搬の基準(第18条) 廃棄の基準(第19条)	(2)放射性同位元素及び放射線発生装置の使用に関すること。 (3)放射性同位元素等の受入れ、払出し、保管、運搬又は廃棄に関すること	第24条、 第24ー3条～第24ー9条 第24ー1条、第24ー2条、 第24ー10条		
	測定(第20条)	測定(第20条)	(4) 放射線の量及び放射性同位元素による汚染の状況の測定並びにその測定の結果について実施すべき措置に関すること	第27条～第30条		
	教育訓練(第22条)	教育訓練 (第21条の2)	(5)放射線障害防止するために必要な教育及び訓練に関すること	第31条		
	健康診断(第23条)	健康診断(第22条)	(6)健康診断に関すること	第32条		
	放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置(第24条)	放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する措置 (第23条)	(7)放射線障害を受けた者又は受けたおそれのある者に対する保健上必要な措置に関すること	第33条		
	記帳義務(第25条)	記帳(第24条)	(8)法律第25条に規定する記帳及び保存に関すること	第34条～第41条		
	事故届(第32条) 危険時の措置(第33条)	危険時の措置(第29条) 報告徴収(第39条第1項)	(9)地震、火災その他の災害が起こった時の措置に関すること	第42条～第43条		
			(10)危険時の措置に関すること	第44条		
	報告徴収(第42条)	第39条第3項	(11)放射線管理の状況の報告に関すること	第45条		
			(12)省略			
			(13)その他放射線障害の防止に関し必要な事項	第47条		
	原子炉等規制法	核燃料物質の使用等に関する規則		核融合科学研究所 計量管理規定	装置維持管理細則	運転マニュアル他
	計量管理規定(第61条の八)				・核分裂計数管維持管理細則	3-3 核分裂計数管使用マニュアル

（参考 1） 重水素実験開始にあたり関係する放射線関連の主な法令等詳細

・原子力基本法（昭和30年12月19日法律第186号）
　核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令
　（昭和32年11月21日政令第325号）
・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（放射線障害防止法）
　（昭和32年6月10日法律第167号）
　放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行令
　（昭和35年9月30日政令第259号）
　放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則
　（昭和35年9月30日総理府令第56号）
　放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（放射線障害防止法告示）
　（平成12年10月23日科学技術庁告示第5号）
・核原料物質、核燃料物質及び原子炉等の規制に関する法律（原子炉等規制法）
　（昭和32年6月10日法律第166号）
　核原料物質、核燃料物質及び原子炉等の規制に関する法律施行令
　（昭和32年11月21日政令第324号）
・放射線障害防止の技術的基準に関する法律（昭和33年5月21日法律第162号）
・原子力委員会設置法（昭和30年12月19日法律第188号）
・原子力規制委員会設置法（平成24年6月27日法律第47号）
・労働基準法（昭和22年4月7日法律第49号）
　労働基準法施行規則（昭和22年8月30日厚生省令第23号）
　年少労働者基準規則（昭和29年6月19日労働省令23号）
・労働安全衛生法（昭和47年6月8日法律第57号）
　労働安全衛生法施行令（昭和47年8月19日政令第318号）
　労働安全衛生規則（昭和47年9月30日労働省令第32号）
　電離放射線障害防止規則（電離測）（昭和47年9月30日労働省令第41号）
　電離測第3条第3項並びに第8条第6項及び第9条第2項の規定に基づき、厚生労働大臣が限度及び方法を定める件（電離測告示）（昭和63年労働省告示第93号）
・作業環境測定法（昭和50年5月1日法律第28号）
　作業環境測定法施行令（昭和50年8月1日政令第244号）
　作業環境測定法施行規則（昭和50年8月1日労働省令第20号）
　作業環境測定基準（昭和51年労働省告示第46号）
・武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律（国民保護法）
　（平成16年6月18日法律第112号）
　武力攻撃事態等における国民の保護のための措置に関する法律施行令（国民保護法施行令）（平成16年9月15日政令275号）

（参考 2） 重水素実験開始にあたり必要な規則類

○既存の規則類

・核融合科学研究所放射線障害予防規程（変更申請時に提出）
・核融合科学研究所大型ヘリカル装置に係る通報連絡に関する細則
・核融合科学研究所大型ヘリカル装置真空維持管理細則
・核融合科学研究所重イオンビームプローブ装置の維持管理細則
・核融合科学研究所における実験装置等の維持管理細則
・核融合科学研究所エックス線装置の維持管理細則
・核融合科学研究所微量密封放射性同位元素取扱細則

・核融合科学研究所安全衛生管理規則
・核融合科学研究所電気保安規則
・核融合科学研究所高圧ガス(一般)危害予防規則
・核融合科学研究所高圧ガス(冷凍)危害予防規則
・核融合科学研究所における廃液取扱いに関する規則

○新規に整備したもの及び準備しているもの

・核融合科学研究所イオンビーム解析装置維持管理細則
・核融合科学研究所校正用(252-Cf)密封線源維持管理細則
・核融合科学研究所核燃料物質の使用等に関する規則
・核融合科学研究所核分裂計数管維持管理細則
・核融合科学研究所計量管理規定

（参考 3）核融合科学研究所放射線障害予防規程(案)

※ 参考に1ページ目を示す。赤字で書かれているものが、重水素実験に対応するために追記された部分である。

核融合科学研究所放射線障害予防規程（案）

目次

第１章　総則（第１条～第６条）
第２章　組織及び職務（第７条～第１８条）
第３章　管理区域（第１９条，第２０条）
第４章　維持及び管理（第２１条～第２３条）
第５章　使用（第２４条～第２５条）
第６章　測定（第２６条～第３０条）
第７章　教育及び訓練（第３１条）
第８章　健康診断（第３２条，第３３条）
第９章　記帳及び保管（第３４条～第４１条）
第１０章　危険時の処置（第４２条，第４３条）
第１１章　報告（第４４条，第４５条）
第１２章　その他（第４６条～４７条）

第１章　総則

（目的）

第１条　この規程は，核融合科学研究所（以下「研究所」という。）における放射線の発生を伴う装置並びに放射性物質等の取扱い及び管理に関する事項を定め，放射線障害の発生を防止し，あわせて公共の安全を確保することを目的とする。

２　放射線障害の防止に関しては，放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和３２年法律第１６７号。以下「法」という。），及び労働安全衛生法（昭和４７年法律第５７号），電離放射線障害防止規則（昭和４７年労働省令第４１号。以下「電離則」という。）等の関係法令に定めるもののほか，この規程の定めるところによる。

（適用範囲）

第２条　本規程は，研究所の放射線施設に立ち入るすべての者に適用する。

（用語の定義）

第３条　この規程において，次の各号に掲げる用語の定義は，それぞれ当該各号に定めるところによる。

（1-1）「装置」とは次に掲げるものをいう。

イ　法第２条第４項に規定する放射線発生装置

ロ　イに掲げるもののほか，電離則第１５条第１項に規定する放射線を発生する装置又は機器及び所長の指定するものをいう。

（1-2）「放射性同位元素」とは，法第２条第２項に規定するものをいう。

（1-3）「放射化物」とは，放射線発生装置から発生した放射線により生じた放射線を放出する同位元素によって汚染された物をいう。

（1-4）「放射性物質等」とは，放射性同位元素，放射化物及び放射性同位元素又は放射化物で汚染された物をいう。

（1-5）「放射線施設」とは，法第３条第２項第５号から第７号までに規定する使用施設，貯蔵施設及び廃棄施設並びに附属設備をいう。

（1-6）「管理区域」とは，放射線管理の便のために設けられる区域であって，放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則（昭和３５年総理府令第５６号。以下「法施行規則」という。）第１項第１号に規定する管理区域をいう。

（1-7）「放射性廃棄物」とは，放射性物質等であって廃棄しようとする物をいう。

（2）「放射線業務」とは装置並びに放射性物質等を取り扱う業務をいう。

（3）「業務従事者」とは装置又は放射性物質等の使用，管理並びにこれに付随する業務に従事す

5.3.2 作業手順

5.3.2.1 真空容器出入り管理

真空容器内作業で作業員の被曝を最小限に抑え、放射化物の真空容器外への拡散を防ぐために、真空容器入口に「管理出入り口」を設置する。管理出入り口は、汚染レベルを真空容器から本体室に至るまで段階的に下げるために、2 室構造(2 階建て)とし、1 階、2 階にそれぞれ、第 1 バリヤ・第 2 バリヤを設ける。室内は準気密構造とし、1 階に吸気側プレフィルター、2 階に排気側へパフィルターを設け、排風機により換気して負圧にする。同時に開としない 2 重のドアにより仕切られた真空容器連絡通路を介することにより真空容器の負圧とは独立となる。管理出入り口の構成を図 5.3.2.1-1 に示す。

管理出入り口の主な仕様は、以下のとおりである。

・構造:ステンレスフレーム構造で非磁性の壁
・ドア:管理出入り口内に気密ドア 2 個　真空容器との連絡通路に気密ドア 1 個
・総床面積:約 50 m^2(2 階建)
・主な付帯設備:排風器換気システム、プレフィルター付空気吸い込み口、
へパフィルター付空気排気口、インターホン、コンセント、
証明、ドア開閉表示器

本体室から真空容器への入室は、出入り管理室 1 階で真空容器内作業用防塵服を着用し、2 階でマスク、靴の順に着用し真空容器内に入る。真空容器から出てきたら 2 階でサーベイメータによる検査後靴を脱ぎ、1 階へ移動後真空容器内防塵服を脱ぎ、管理出入り口を退室する。

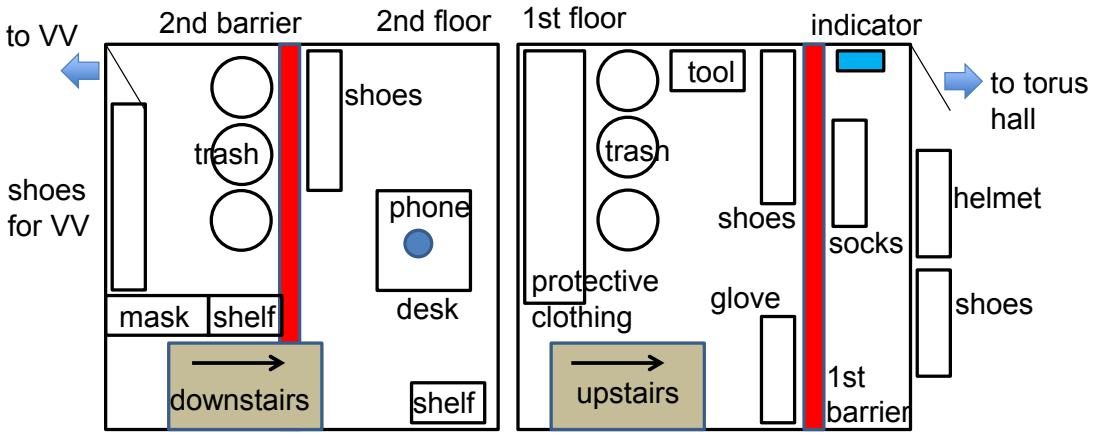


図 5.3.2.1-1 真空容器管理出入り口の構成

5.3.2.2 真空容器内作業

真空容器内で行う作業には、放射線量及びトリチウム濃度測定、真空容器内機器の点検・調整、真空容器および真空容器機器の改造・設置工事等が想定される。大規模な改造、設置工事では溶接作業、グラインダー作業、機器の搬入、輸送、組み立て作業が行われる。このような作業を行うに当たり、以下のことを事前に確認する必要がある。

・真空容器の放射化測定
　→ 大気開放時に測定し、場合によっては作業時間の管理を行う。
・放射化物を含んだダストの調査
　→ 大気開放時に測定、量が多い場合は除去等の対策を検討する。
・トリチウム濃度の測定
・真空容器内の作業環境
　→ 酸素濃度、二酸化炭素濃度、気温等の作業環境の確認を行う。作業中も継続して測定を行う必要がある。場合によっては時間管理及び作業人数管理が必要となる可能性もある。
・真空容器内作業の管理
　→ すべての作業は、事前の申請により管理者が把握できる体制を整える。

真空容器内作業は、その内容に応じて、レベル 1、レベル 2 に分け、それに応じた使用する防塵服を選択する。汚染度が少ない点検などの軽作業はレベル 1 とし、

・本体室作業用防塵服と真空容器内作業用防塵服の 2 枚重ね
・2 重のゴム手袋
・半面マスク等
・真空容器内専用靴と真空容器内専用靴下を着用

を着用する。汚染度が大きい時、真空容器内の粉塵が多い時に行う作業はレベル 2 とし、レベル 1 の防塵服の上にさらにタイベックスーツを重ね着し、3 重とする。他に、

・2 重のゴム手袋
・全面マスク
・真空容器内専用靴と真空容器内専用靴下

を着用する。

5.3.2.3 ポート作業

ポート作業を行うに当たっては、真空容器は負圧で本体室の空気が真空容器に流れ込む状態になっているが、トリチウムの本体室内流出を最小限にするよう留意する。LHD 真空容器内に残留している可能性のあるトリチウムに接する可能性があることから、ポート作業は、富山大学水素同位体科学研究センターにおいてトリチウム安全取扱い研修を受講・修了した職員と運転員のみが行う。研修内容については 5.6.3 で述べる。

ポート作業のフローチャートを図 5.3.2.3-1 に示す。ゲートバルブが設置されているポートについては、トリチウムモニタによりポート内部の残留トリチウムを計測し、検出された場合は除去処理を行う。残留トリチウムがないことが確認された後、ポート周囲に適切な養生を行った上でポート作業を行う。トリチウムが除去できない場合はポート作業を中止する。ゲートバルブのないポートについては当該ポートを覆い、換気設備を取り付けた簡易作業室、もしくは簡易作業ケースを設ける。さらに必要であれば、4.2.3.3 節で示した高分子膜型トリチウム除去装置あるいはこれと同等の装置に繋がる空気吸い込み口をポート近くに設置する等の措置を取る。簡易作業室内での作業に当たっては、真空容器内作業に準じて、専用の作業着、靴、手袋を着用する。入室にあたり、換気がなされていることを確認する。また、管理室の職員から指示があった場合は、その指示に従う。取り外した機器は、すみやかにビニール袋等で覆い、機器からのトリチウム流出を最小限にするとともに、ポートは開放のまま放置せず、作業終了後、速やかに閉止する。退室にあたり、使用した作業着、靴、手袋は着替え、トリチウムサーベイメーターにより汚染の有無を確認する。汚染がある場合は管理室の職員の指示に従い必要な除染処置をとる。

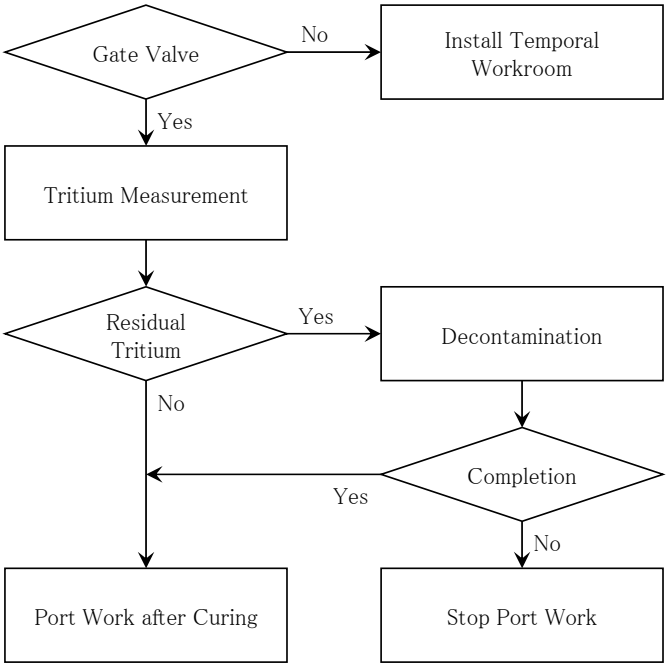


図 5.3.2.3-1 ポート作業のフローチャート

5.3.3 実験実施要項

敷地境界、トリチウムの排気・排水に関しては、核融合科学研究所が独自に研究所管理値として管理値を設定している。

5.3.3.1 敷地境界線量とトリチウム濃度

○敷地境界線量(年間 50 μSv)

重水素実験に起因する敷地境界の線量は、自然放射線(1000～2000 μSv／年)の変動幅が大きいので、直接読み取ることができない。そこで、RMSAFE により得られた X(γ)線と中性子についての線量データにもとづいて 50 μSv／年を超えていないことの評価を毎週行い、その結果に基づいて、次週以降の実験遂行の可否を決定する。

○空気中のトリチウム濃度計測

真空容器内での作業環境中のトリチウム濃度監視、本体室内での作業環境中のトリチウム濃度監視、排気塔出口での排気中のトリチウム濃度監視に対応した専用のモニターを設置する。設置の概要を図 5.3.3.1-1 に示す。

・作業環境中のトリチウム濃度監視(水蒸気状:0.8 Bq/cm^3)

連続監視には、市販の通気型電離箱(検出下限:約 0.01 Bq/cm^3)を適用して、法令の濃度限度(水蒸気状:0.8 Bq/cm^3)を超えないことを監視する。また、触媒酸化法を用いたトリチウム捕集装置により化学形の異なるトリチウムを弁別し、液体シンチレーション測定を行う。

・排気塔出口の排気中トリチウム濃度監視(2×10^{-4} Bq/cm^3)

トリチウム捕集装置で水の化学形態で回収した試料水に対して、液体シンチレーション測定を行う。法令で定められる濃度限度よりも厳しい研究所管理値 2×10^{-4} Bq/cm^3 (3 ヶ月平均濃度)を設定している。なお、3 ヶ月の平均濃度が研究所管理値を超えないように管理するために、一週間捕集して計測をするという測定サイクルを想定している。

異常なトリチウム放出の検知と自動停止装置による実験停止のために、市販の高感度モニター(検出下限:約 0.005 Bq/cm^3)で連続監視を行う。

トリチウム除去装置のトリチウム濃度の連続的な監視結果から、排気塔出口での排気中のトリチウム濃度を計算によって評価し、研究所管理値の連続的な監視の補助とする。

(感度の高いモニターが開発された場合は、適用試験ののち導入する。)

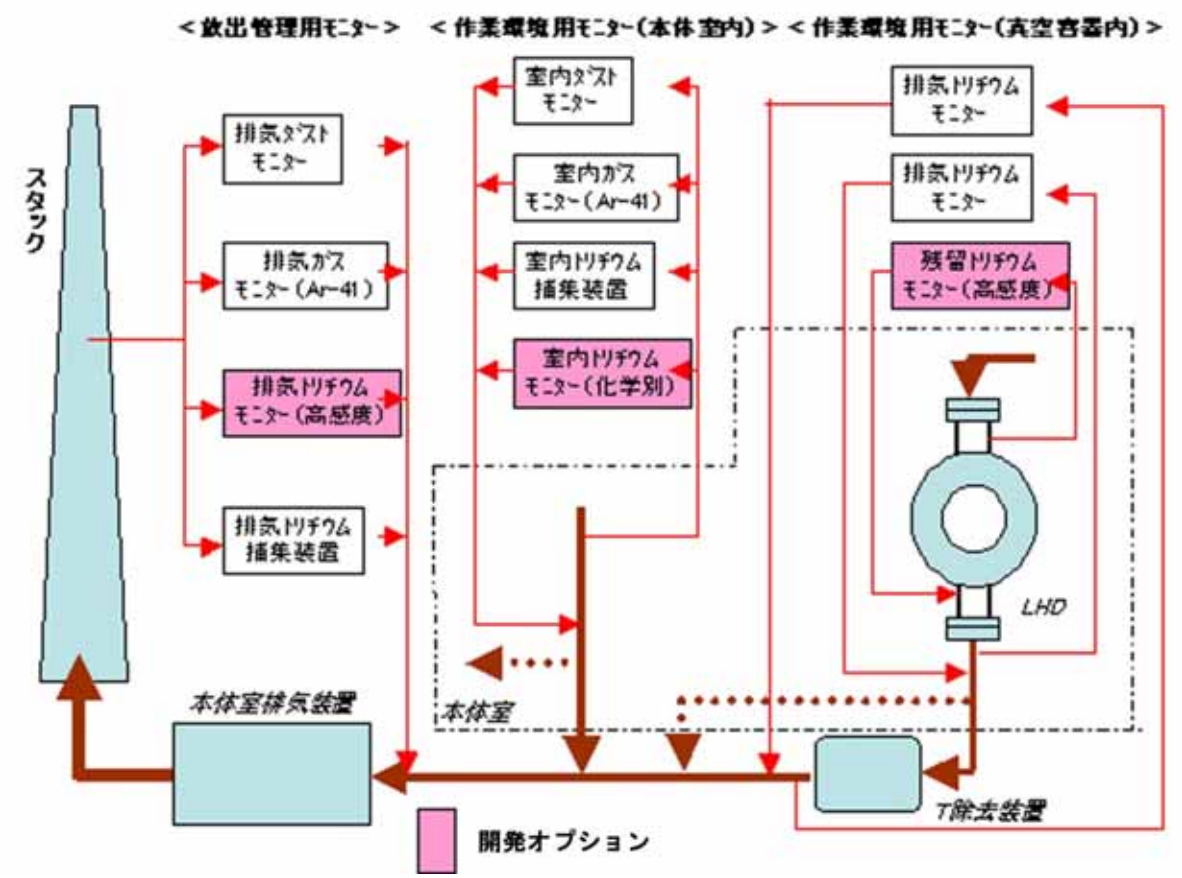


図 5.3.3.1-1 排気モニターの設置概要図

○排水中のトリチウム濃度計測(0.6 Bq/cm^3)

排水は貯留槽に貯め、排水時には、事前に試料を採取して研究所管理値以下を確認した上で排水する。計測には液体シンチレーション測定を適用する。

なお、研究所管理値を超える排水は、日本アイソトープ協会に処理を依頼する。

○トリチウム発生量の監視(1－6 年度:37 GBq、7－9 年度:55.5 GBq)

中性子測定によって得られたデータにもとづき、計算によって評価する。

○トリチウム総排出量の確認(各年度 3.7 GBq)

トリチウム総排出量の評価は、排気中および排水中の濃度測定記録をもとに、計算によって行い、研究所管理値を超えた実験を行わないように監視する。

5.3.3.2 放射線安全管理機器

放射線測定に関係する放射線安全管理の一般的な項目を、管理区域内部と外部、監視(記録)、特記の 4 つに分けて表 5.3.3.2-1 に示す。

表 5.3.3.2-1 測定に関係する放射線安全管理項目

区 分	測 定 項 目
管理区域内測定	① 中性子発生量の測定 ② 個人被曝線量測定 ③ 個人汚染測定 ④ 物品および建屋表面汚染測定 ⑤ 線量測定 ⑥ 空気中および排気中放射能(ダストを含む)濃度測定 ⑦ 排水中放射能濃度測定
管理区域外測定	⑧ 周辺環境の放射線測定
監視(記録)	⑨ 測定データの記録と測定監視
特記	⑩ 真空容器大気開放時安全確認測定 ⑪ 放射性廃棄物(所内)運搬時測定

表 5.3.3.2-1 に示した測定のほとんどは、市販の放射線安全管理汎用機器を用いて実施することが出来る。しかしながら、① 中性子発生量の測定、⑨ 測定データの記録と測定監視、⑩ 真空容器大気開放時安全確認測定、⑪ 放射性廃棄物(所内)運搬時測定に用いる装置については、核融合科学研究所の現場状況に適した機器を整備する。

以下に、中性子測定、中性子以外の放射線測定、表面汚染測定、空中及び排気中の放射能濃度測定、排水中の放射能濃度測定、放射化について述べる。

(1) 中性子測定

○中性子束測定

重水素を用いた実験で発生する中性子(DD 反応)の量を評価することは、安全管理の立場から最重要課題である。放射線発生装置としての使用量の評価には、DD 反応で発生した中性子量が用いられる。また、生成するトリチウムの量は、この測定値から算出される(中性子発生量と 1:1)ことから、重水素実験を開始する上で必要不可欠な測定である。そのため、中性子束測定器を、本体室に 3 箇所以上設置する。発生中性子量の測定結果に基づいて、実験を制御する。値の信頼性を高めるために、放射化箔を用いた測定も行う。

DD 反応による中性子束測定には通常用いられている核分裂計数管(フィッションチェンバー)を用いる。また、測定の信頼性を得るために、Cf-252 中性子源によるその場較正を行う。Cf-252 の使用にあたり、密封放射性同位元素使用施設として監督官庁から使用承認を既に得ている。

○作業環境における中性子線量評価

本体室、本体室地下に隣接したエリアで、重水素実験中に作業する場所では、中性子線量を測定する。具体的には、コイル電源室、加熱装置室、計測機器室(1)に線量測定器(レムカウンター)を用意する。より高感度のもの、エネルギー群別測定ができるものが開発されたならば、併用する。

○敷地境界における中性子線量評価

現在、中性子カウンタを設置しているモニタリングポストは、WA、WF、WM、WN、IA、IB、IC、IE、IF である(図 5.3.3.2-2 参照)。公道にもっとも近い WD にも設置する予定である。

線量評価をより正確に行うために、ポリエチレンモデレータの厚い(例えば 10 cm 厚)中性子カウンタを増設し(本体室の外壁際に 4 か所)、2 本の中性子カウンタの計数を線量に変換する。

中性子線量計の標準的モデルであるレムカウンターも2箇所併設し(IC、IF)、値の信頼性を確認する。

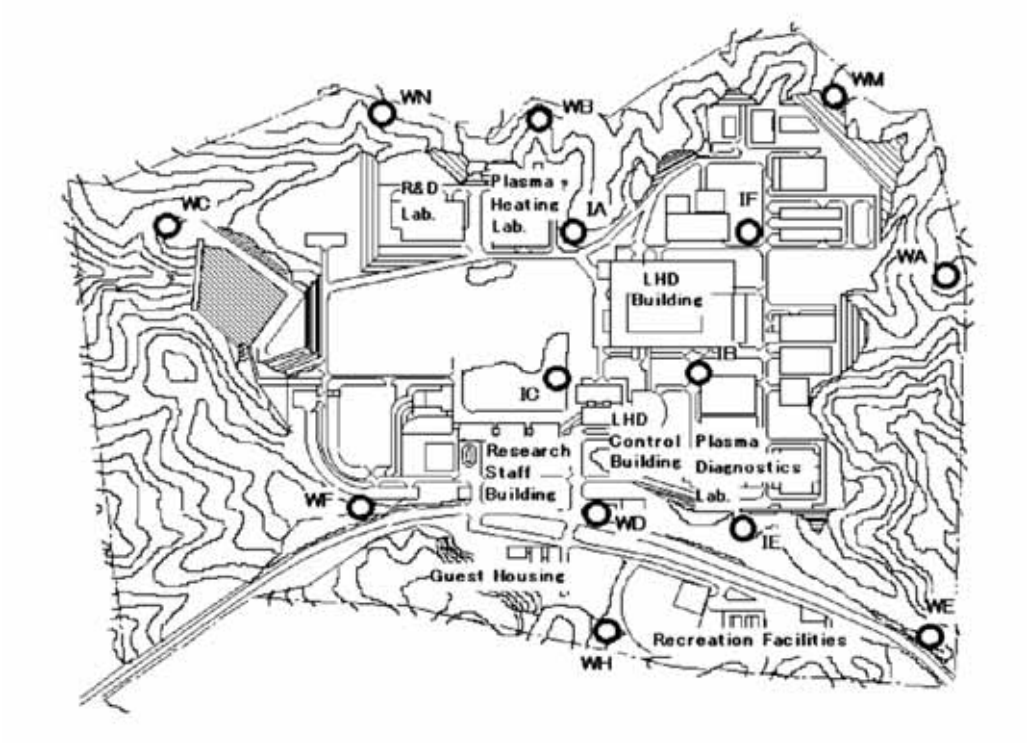


図 5.3.3.2-2　室外モニタリングポスト配置

上記のモニターからの計数を、RMSAFE で常時測定する。

積算線量計をモニタリングポストの隣に設置して、値を比較できるようにして、信頼性の向上を図る。測定器としては、専用のリチウム電池によって 3 ヶ月間の連続測定が可能である中性子測定用の電子線量計を用いる。事前に、簡易百葉箱等に入れた状態で正確に線量を測定するための設置方法、校正方法を、検討しておく。

(2) 中性子以外の放射線測定

中性子以外の放射線測定についても、本体室内、管理区域境界、敷地境界で行い、それぞれの測定に適した計測機器を用いて線量測定を実施する。

○本体室内:X(γ)線量測定－電離箱、NaI シンチレーションサーベイメータ
　(1 週間あたりの線量)
○その他　:エリアモニター、電子ポケット線量計、ガラス線量計、クイクセルバッジ(QB)などの線量計(1 月間あたりの線量)

(3) 表面汚染密度測定

○本体室内の表面汚染密度

トリチウム:スミヤ・液シン法(スミヤ濾紙で表面を拭き取り、その濾紙を直接液シンにいれて測定する方法)

その他の核種：低バックグランドガスフロー自動測定装置、必要に応じて低バックグランド
半導体測定装置を併用

○持ち出し物品等の表面汚染密度測定

物品等を管理区域から搬出する際は汚染密度測定を行う。その際、自然レベルと比較して、有意な線量が計測されないこと（測定器の検出限界（3σ判定）以下であること）によって、研究所管理値以下であるとする。

・汚染のおそれがないと考えられるもので所外へ持ち出さない物品

トリチウム：トリチウム専用サーベイメーターおよびトリチウムガスモニター

その他の核種：GM サーベイメーター、シンチレーションサーベイメータ、

（場合によってはスミヤ液シン法やイメージングプレートを併用する）

・汚染のおそれがある物品、所外に持ち出す物品

トリチウム：スミヤ・液シン法（バックグラウンドを考慮する）
必要に応じてイメージングプレートを併用

その他の核種：GM サーベイメーター、シンチレーションサーベイメータ
（バックグラウンドを考慮する）

(4) 空気中および排気中の放射能濃度測定

空気中および排気中放射能濃度の連続モニターを、以下に示す場所に設置して、トリチウム以外の核種についても、放射能濃度を監視する。

○排気塔（建屋から放出される排気ガス中の放射能濃度監視）

○大型ヘリカル実験棟本体室内（本体室内での作業環境中の放射能濃度監視）

測定としては、

- 空気を引き込んで直接測定（トリチウムとそれ以外の核種を分けて行う）
  通気型電離箱、もしくは NaI やプラスチックシンチレーター検出器
- 空気中ダストをサンプリングして測定
  ダストサンプラーで空気中ダストを濾紙に捕集し、GM 検出器等による総係数測定、場合によって半導体検出器を併用
- アルゴン濃度の測定
  汎用されている通気型ガスモニターあるいはエリアモニターの測定値及び中性子発生量から、計算により求める

を行う。

ダストモニター（核種判別）に関しては、大型ヘリカル実験棟外の敷地内にも 1 か所以上常設し、定期的（その他必要に応じて）に核種の判別を行うものとする。

(5) 排水中の放射能濃度測定

排水は、いったん貯留槽に貯留してサンプリング測定を行い、トリチウム濃度を測定し、研

究所管理値以下であることを確認する。加えて、他の放射性同位元素の濃度が法令の規制値以下であることを確認したのちに下水に排水する。

なお研究所管理値及び規制値を超える排水は、日本アイソトープ協会に処理を依頼する。準備する主な装置は以下のとおりである。

・液体シンチレーション測定装置（液体試料採取液シン測定法）
・トリチウム液体試料前処理（分離、濃縮等）装置
　　－必要に応じて測定精度を上げる処理
・ベータ線水モニター（^{3}T、^{14}C 遠隔測定、排水設備で使用）
・ガンマ線水モニター（放射化物等遠隔測定、排水設備で使用）
・低バックグラウンド半導体 X（γ）線スペクトロメーター

(6) 放射化

放射化物は低バックグランド半導体測定装置などを用いて測定し、核種と放射能強度を考慮して適切に保管し、管理する。

5.3.3.3 真空容器大気開放時のトリチウム測定

大型ヘリカル実験棟内全体的には前節にあげた機器・装置を用いて測定をすることになるが、真空容器大気開放時やポート作業時に現場で放射線測定の便宜を図るため、作業現場専用の携帯型測定装置を準備する。準備する主な装置を以下に示す。

・半導体ガンマ線スペクトルメーター（ポータブル型）
・窓なしガスフローカウンター（1 インチ）
・小型液体シンチレーションカウンター
・トリチウムガスモニター（普及版）
・ダストモニター
・ダストサンプラー
・電源

5.3.3.4 環境測定用計測機器のまとめ

これまでに示した、重水素実験において重要となる環境への放出量を測定するための測定器に関するまとめを表 5.3.3.4-1 に示す。この表に示す測定装置は現行の入手可能な装置である。より高感度の測定装置が開発された場合には、並行して設置し、所定の性能を確認した時点で移行していく予定である。

○空気中および水における放射性同位元素濃度の測定

(1) 空気中放射性同位元素濃度

①スタック

スタックガスモニター

通気型電離箱:異常時監視用(常時計測)

ダストモニター

プラスチックシンチレーション検出器

空気中水素成分捕集装置:3ヶ月平均濃度

②環境

空気中水素成分捕集装置(計測実験棟屋外)

(2) 空間線量

RMSAFE(ガンマ線、中性子線)

クイクセルバッジ(ガンマ線、中性子線)

ガラス線量計(ガンマ線)

(3) 水

①除去装置回収水

低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター

オートウエルガンマシステム

低バックグラウンド半導体ガンマ線スペクトロメータ

②空調ドレイン水

ガンマ線排水モニター

ベータ線排水モニター

低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター

オートウエルガンマシステム

低バックグラウンド半導体ガンマ線スペクトロメータ

表 5.3.3.4-1 環境測定用計測機器

使用目的	使用場所	検出対象	頻度	測定器	検出方法	サンプリング時間	検出下限	研究所管理値	備考
中性子計測	本体室	中性子	プラズマ実験連動	フィッションチェンバー	電離箱	リアルタイム		1-6年：2.1E19/年 9-年：3.2E19/年	別途、警報値を設定する
排気測定	排気塔	トリチウム	連続	ガスモニター	通気式電離箱	5分～	5E-3Bq/cm^3	5E-3Bq/cm^3 （法規制値）	異常値を検出
			積算	トリチウム捕集装置	貴金属触媒＋モレキュラーシーブにより捕集後液シン測定	1週間	2E-5Bq/cm^3 以下	総排出量、年間 3.7E+9Bq（0.1Ci） 3ヶ月平均濃度 2E-4 Bq/cm^3	総量及び濃度管理
		放射化空気 (Ar-41)	連続	ガスモニター	通気式電離箱		5E-4Bq/cm^3	5E-4Bq/cm^3 （法規制値）	本体室の計測値及び中性子発生率と併せて確認
		ダスト（α線、β線）	連続	ダストモニター	濾紙上に集塵して検出				
排出量算出	真空排気ガス処理系	トリチウム	連続	ガスモニター	通気式電離箱	2～3分	0.1Bq/cm^3	35 Bq/cm^3 （注1）	
	真空容器換気処理系	トリチウム	連続	ガスモニター	通気式電離箱	2～3分	5E-3Bq/cm^3	5E-3Bq/cm^3	排気口管理レベルを下回ること
排水測定	貯留槽	トリチウム C-14	連続	β線水モニター	液シン	10分	0.3Bq/cm^{3}水	0.6Bq/cm^{3}水	
			採水	低BG液体シンチレーションカウンター	液シン	約3時間測定	1E-3Bq/cm^{3}水		
		放射化物	連続	γ線水モニター	NaI検出器	10分	1E-2Bq/cm^{3}水	核種毎の 法規制値	
			採水	低BG半導体測定装置	ゲルマニウム検出器				核種確認
	除去装置処理水	トリチウム	採水	低BG液シン	液シン	約3時間測定	1E-3Bq/cm^{3}水		引渡し数量の確認
放射線測定	敷地境界線量	X（γ）線	連続	電離箱	Ar加圧型電離箱	ほぼリアルタイム		50μSv/年	
			積算	線量計	ガラス線量計	1週間又は3ヶ月			
		中性子	連続	比例計数管	He-3計数管	ほぼリアルタイム			
			積算	線量計	電子線量計	1週間又は3ヶ月			

注1)トリチウム回収率95%時の最大出口濃度

：研究所管理値の監視　　：法令値の監視

5.3.3.5 研究所管理値のまとめ

核融合科学研究所では、放射線量、空気中・排気中・排水中放射能濃度、表面汚染密度の測定を行い、設定した研究所管理値を超えないことを監視しながら重水素実験を進める。これまでに述べた研究所管理値について、以下にまとめる。

○管理区域内で人が立ち入る区域

・線量限度　　:1 mSv／週 （ 100 mSv／5 年）

・表面汚染密度限度:40 Bq/cm^2（アルファ核種の場合には 4 Bq/cm^2）

○管理区域境界

・線量限度　　:1.3 mSv／3 ヶ月

・表面汚染密度限度:4 Bq/cm^2（アルファ核種の場合には 0.4 Bq/cm^2）

○敷地境界

・線量　　:50 μSv／年(研究所管理値)

○管理区域からの物品等の搬出

・表面汚染密度と放射化について、自然レベルと比較して、有意な線量が計測されないこと

○トリチウム生成量

・前半 6 年間－各年度最大 37 GBq(1 Ci)

・後半 3 年間－各年度最大 55.5 GBq(1.5 Ci)

○トリチウム排出量

・各年度－ 3.7 GBq(0.1 Ci)を超えない

○トリチウム濃度

・作業環境中:法令で定められる化学形態別の濃度限度として、1 週間の平均値がそれらを超えないように管理する。

放射性同位元素の種類		作業環境中の空気中濃度限度 (Bq/cm^3)
核 種	化 学 形 等	
^3H	トリチウムガス	1×10^4
^3H	トリチウム水蒸気、水	8×10^{-1}

・建屋からの排気中:トリチウムの化学形態を水蒸気状と想定し、法令で定められる濃度限度よりも厳しい研究所管理値を設定し、3 ヶ月平均値が研究所管理値を超えないように管理する。

放射性同位元素の種類		排気中又は空気中の濃度限度 (Bq/cm^3)	排液中又は排水中濃度限度 (Bq/cm^3)
核 種	化 学 形 等		
^3H	トリチウムガス	7×10^{1}	
^3H	トリチウム水蒸気、水	2×10^{-4} (5×10^{-3})	6×10^{-1} (6×10^{1})

( )内は、法令で定められた濃度限度

○真空容器内作業

LHD 内部への入域が可能かどうかを判定するための研究所管理値は、上述の管理区域内で人が立ち入る区域に対する値を用い、必要な場合には作業時間の管理を行う。

5.3.4 地元自治体への連絡基準、公表事項

5.3.4.1 地元自治体への連絡

緊急事態が発生したときには、必要な措置を取って地元の方々の安全を確保するため、本研究所は、消防署、警察署及び地元自治体(3 市及び岐阜県)に緊急事態が発生したことを通報するものとする。

[連絡先]

○地元自治体と協議の上決定する。

[連絡手段]

○災害時には、2 回線を導入済みの災害時優先電話、携帯電話等の使用ができないことが想定されるので、バッテリーを具備した衛星電話(ファクシミリ)を整備する。また、非常用発電設備に接続し、長期間の電源喪失時にも使用できるようにする。

○衛星電話(ファクシミリ)が不通の場合には、人を、土岐市役所、多治見市役所、瑞浪市役所と東濃振興局に派遣する。

[連絡体制]

勤務時間帯は、担当係が行う。担当係が不在の時や夜間休日には、通年 24 時間の監視体制が構築されることから、この監視体制の中の業務として行うものとする。

[通報を要する事項]

○火災等の事故が発生したとき

○事故等により、法令の限度を超えるトリチウム含有水が施設内に漏洩したとき

○敷地境界の年間線量が法令の限度を超えたとき

○法令の限度を超えるトリチウム又はアルゴン 41 が排気されたとき

○法令の限度を超えるトリチウム含有水が排水されたとき

○大規模地震対策特別措置法に基づく警戒宣言が発せられて発生した地震及び震度 5 弱以上の地震

○災害の発生その他により周辺環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生し、重水素実験を停止したとき

[遅滞なく連絡すべき重要事項]

○中性子およびトリチウムの年間発生量が研究所管理値を超えたとき

○事故等により、保管するトリチウム含有水が施設内に漏洩したとき

○敷地境界の年間線量が研究所管理値を超えたとき

○研究所管理値を超えるトリチウムおよびアルゴン 41 が排気されたとき

○研究所管理値を超えるトリチウム含有水が排水されたとき
○地震等の災害で重水素実験を停止し、実験再開には主要機器の修理等が必要な事態となったとき

[事前連絡および遅滞なく連絡すべき事項]
○各年度における重水素実験の開始時期および終了時期(議会にも通知)
○研究施設の整備計画、研究計画および研究内容並びにこれらの変更があった場合(事前連絡)
○研究成果(定期的に連絡)
○次節に示した公表義務のある事項
○各年度の重水素実験終了後、中性子およびトリチウムの年間発生量、トリチウムの環境への年間放出量、敷地境界の年間線量等

[通報を要する事項の基準を下回る災害発生時の報告]
上記通報条件より軽微な災害が発生した場合でも、次のような場合、地元自治体に状況の報告を行う。
○ 土岐市、多治見市、瑞浪市で地震による震度 4 以上の揺れがあったことを気象庁が発表した場合
○ 台風、梅雨前線などにより、土砂崩れ、大規模な倒木などの災害が発生する可能性がある場合

その他、関連事項は以下のとおり。
○ ホームページへの掲載
報告を行った場合には、ホームページにもその旨を掲載する。
○ 報告手段、報告時間帯
地元自治体と協議の上、決定する。

5.3.4.2 公表事項

本研究所は、次の事項について、研究所ホームページ等の適切な手段によって公表するものとする。

［公表を義務とする事項］

○予備的実験によって、コンクリート遮蔽壁、トリチウム除去装置および放射線総合監視システム等が所期の性能を発揮し、かつ、所定の安全性確保上の態勢も十分機能していることを確認した結果
○該当年度当初の実験計画
○トリチウムおよび中性子の発生量、当該年度のこれらの累計発生量
○放射線量の監視結果
○トリチウムの回収・保管量、処理量および処理方法（定期的に公表）
○各年度における重水素実験の開始時期および終了時期
○地元への一層の理解を深めるため、少なくとも年 1 回の研究施設の公開
○地震等災害の発生その他周辺環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生し、重水素実験を停止したとき

［公表する事項］

○日々の実験情報（日々の実験予定、日々の実験結果と 1 週間のまとめ）
○実験の進捗状況をまとめたもの（1 サイクルで数回、地域住民の方へメールでも公開）
○プラズマ実験期間中の制御室及び LHD 本体の様子

5.4 マニュアル類の整備

本体室及び本体室地下に設置した機器は、点検、立ち上げ、立ち下げ操作、或いはメンテナンス作業等が必要になる。現在、これらの機器は、各担当者が用意したマニュアルに従い操作及び作業が行われている。ただし、重水素実験開始後は、これらの機器は全て放射線管理区域内に設置されることから、重水素実験に対応した形へとマニュアルを改訂する必要がある。平成26年4月18日に開催された核融合科学研究所重水素実験推進本部会合（第2回）において、重水素実験に向けた法体系整備の一環として、重水素実験に対応したマニュアル整備を進めることが周知され、機器毎に「放射線安全管理マニュアル」、「LHD運転マニュアル」及び「放射線・装置管理区域管理マニュアル」の整備を進めている。表5.4-1に、大項目として取り上げた機器及び作業に関するマニュアル整備表を示す。マニュアル整備にあたり、研究職員が主体となった機器整備と整合性のとれた担当体制とした。本体運転、計測器運転等、種類の異なる複数の機器で構成される項目については細目化し、それぞれの機器毎にマニュアルの整備を行っている。各マニュアルは、LHD高性能化機器設計グループにより作成されたひな形に沿って整備されている。

この節では、「放射線安全管理マニュアル」、「LHD 運転マニュアル」および、別途整備されている「緊急時・災害時マニュアル」について示す。「放射線・装置管理区域管理マニュアル」に関しては、放射線源の取扱い、放射線を発生する装置、LHD が運転していない時にも運転して放射線を発生する装置について書かれたマニュアルで、項目は「放射線安全管理マニュアル」に準じたものとなっている。

なお、これらのマニュアルは適宜改定して、使いやすいものにしていく。また、基本的なマニュアルについては英文化を進める予定である。

表 5.4-1　重水素実験に向けたマニュアル整備表（大項目）

運転マニュアル他					異常時対応マニュアル
					防災マニュアル
	項目	～第1段階～ 既存関連マニュアル 提出者	～第2段階～ 放射線管理 マニュアル作成者	（取りまとめ 担当主幹）	作成担当
通報・連絡マニュアル		竹入	竹入	竹入	
放射線管理マニュアル	運転監視マニュアル	米津	森崎/榊原	山田(弘)	
	入退管理マニュアル	成嶋	成嶋/赤田	山田(弘)	
	真空容器内作業マニュアル	米津	森崎/田中(宏)	山田(弘)	
	ポート作業マニュアル	米津	森崎/井戸	山田(弘)	
	真空系取扱マニュアル	鈴木(直)	坂本/本島	山田(弘)	
	本体室作業マニュアル	米津	坂本/本島	山田(弘)	
	本体室巡視チェックリスト	三宅	三宅	山田(弘)	
	本体点検チェックリスト	米津	米津	山田(弘)	
	トリチウム回収マニュアル	田中(将)	田中(将)	西村(清)	
	NBI取扱マニュアル	小林(策)	長壁	武藤(敬)	
	物品搬出入マニュアル	米津	成嶋/赤田	山田(弘)	
	試料取扱マニュアル	時谷	時谷/芦川	室賀	
	分析エリア作業マニュアル	時谷	時谷/田中(将)/芦川	室賀	
LHD運転マニュアル	本体運転マニュアル	米津	森崎	山田(弘)	
	本体冷却マニュアル	森内	今川/柳/濱口	今川	
	NBI運転マニュアル	津守/中野	津守/中野	武藤(敬)	
	ECH運転マニュアル	久保/下妻	吉村(泰)/高橋	武藤(敬)	
	ICH運転マニュアル	武藤(敬)	関/笠原	武藤(敬)	
	計測器運転マニュアル	三宅	居田/磯部	居田	
	入退管理装置運転マニュアル	成嶋	成嶋/赤田	山田(弘)	
	放射線総合監視装置運転マニュアル	三宅	田中(将)/赤田	西村(清)	
	排水モニタ日常点検マニュアル	林浩	田中(将)/赤田	西村(清)	
	排水操作マニュアル	林浩	田中(将)/赤田	西村(清)	
	排水放射能濃度測定装置取扱説明	林浩	田中(将)/赤田	西村(清)	
	トリチウム除去装置運転マニュアル	田中(将)	田中(将)	西村(清)	
	分析機器運転マニュアル	時谷	時谷	室賀	
放射線・装置管理区域関連マニュアル	重イオンビームプローブ運転マニュアル	井戸/清水	井戸/清水	居田	
	252-Cf使用マニュアル	－	磯部/小川(国)	居田	
	核分裂計数管使用マニュアル	－	磯部/小川(国)	居田	
	イオンビーム解析装置運転マニュアル	－	坂上(裕)/時谷	室賀	
	ECH運転マニュアル	久保/下妻	吉村(泰)/高橋	武藤(敬)	
	NBI運転マニュアル	津守/中野	津守/中野	武藤(敬)	
	校正用X線源マニュアル	武藤(貞)	武藤(貞)	居田	
	ESCA・XRD運転マニュアル	田中(照)/菱沼	田中(照)/菱沼	室賀	
	微量密封線源取扱マニュアル	磯部	磯部	居田	

5.4.1 LHD 運転マニュアル

図5.4.1-1に、運転マニュアルのひな形を示す。また、運転マニュアルの代表例としてLHD運転マニュアル／本体運転マニュアルを構成する「真空排気装置　運転マニュアル（案）」及び「ガス供給システム　運転マニュアル（案）」を図5.4.1-2、図5.4.1-3に示す。なお、上記のマニュアルは、現状の機器設置状況の把握及び重水素に向けた個別機器の基本対応方針を検討するために平成25年10月に実施した「LHD本体室・本体室地下設置機器に関する重水素実験対応チェックリスト」の提出、また、より具体的な対応指針を策定するために平成26年6月に実施した「機器撤去、遮蔽対策・機器改造、新規設置等にかかわる実施計画書」の提出という流れの中で整備を進めており、マニュアルの提出がない機器については、撤去対象となることが周知されている。

○○○○運転マニュアル（案）

2014 年 4 月 16 日

1. 目的

このマニュアルは、○○○○を安全に行うため、必要な事項を定めるものとする。

2. 運転・監視体制について

運転に拘わる責任体制を明確にしておくこと。

3. 定期点検について

別途定める項目に従い、定期点検を実施すること。

4. 運転開始の手続きについて

4-1. 始業前点検

4-1-1. 放射線総合監視システムが動作していることを確認する。

4-1-2. 始業点検表に基づき機器・設備の点検を実施する。

（機器毎に、その必要性に応じて確認項目を設ける。）

4-2. 機器の作動

（機器毎に記述する。）

5. 運転時について

・担当者あるいは運転員は、常に、機器の健全性の確認に努めること。

・作業時には、常時放射線モニタを監視し、異常のあった場合には、直ちに＊＊＊に連絡すること。

（機器毎に、その必要性に応じて項目を設ける。）

6. 運転終了時の手続きについて

6-1. 停止作業

6-2. 運転後の点検

終了点検表に基づき機器・設備の点検を実施する。

終了を機器責任者（名称？）が確認を行うこと。

7. 異常時の対応について

別途定める異常時対応マニュアルに従って、行うこと。

8. その他

以上

図 5.4.1-1 LHD 運転マニュアルのひな形

図5.4.1-2 真空排気装置 運転マニュアル(案)

真空排気装置　運転マニュアル（案）

2014 年 5 月 20 日

1. 目的

このマニュアルは、真空排気装置を安全に運転するために、必要な事項を定めるものとする。

2. 装置構成

真空排気装置は主として以下の３系統で構成される。

① 真空容器排気系
② ベルジャー排気系
③ プラズマ放電排気系

3. 運転・監視体制について

研究教育職員を責任者として技術職員が運転・監視に当たる.

・大気圧からの排気運転、大気開放運転については、実験統括主幹の指示の下、装置担当者及び運転員が運転操作を行うこと。
・プラズマ実験時における運転は、実験責任者の指示の下、装置担当者及び運転員が運転操作を行うこと。
・その他の運転に関しては、装置担当者の判断の下、装置担当者及び運転員が運転操作を行うこと。

4. 定期点検について

定期点検は以下の様に分類される。

① 週間点検
② 月間点検
③ 年次点検

このうち①、②の項目については別途設ける点検リストに従って点検を行うものとする。

年次点検はポンプの運転時間やバルブの開閉回数等を考慮し、装置担当者の判断の下、行うものとする。

5. 運転開始前の点検について

運転開始前に以下の項目について点検、確認を行う。詳細は別途設ける点検リストに従うものとする。

① 電源供給の確認
② 停止状態における各機器の健全性確認
③ 排気ガス処理装置が正常運転していることの確認
④ 圧縮空気装置、GN2 供給装置から規定圧力のガスが供給されていることの確認
⑤ 規定流量の冷却水が流れていることの確認

6. 運転時について

・真空排気装置の運転モードは大きく以下の様に分類される。

① 大気圧からの排気
② 超高真空状態での定常排気
③ 大気開放
④ クライオポンプ再生・冷却
⑤ 放電洗浄・ベーキング対応
⑥ プラズマ実験時

各モードにおける運転の詳細は別途設ける運転手順書に従うものとする。

・運転中は遠隔操作端末により本装置の真空ポンプ等各機器の運転状況の監視及び警報監視を行う。

7. 異常時の対応について

想定される異常時を以下に挙げる。

① 冷却水停止
② 故障等による真空ポンプの停止
③ 停電、地震
④ 中央制御装置による停止要請信号

別途定める異常時対応マニュアルに従って、行うこと。

8. その他

以上

図 5.4.1-3 ガス供給システム 運転マニュアル(案)

ガス供給システム　運転マニュアル（案）

2014 年 4 月 20 日

1. 目的

このマニュアルは、ガス供給システムの運転を安全に行うため、必要な事項を定めるものとする。

2. 運転・監視体制について

研究教育職員を責任者として技術職員が運転・監視に当たる．装置の運転監視及び日常点検作業は運転員が行う．

3. 定期点検について

別途定める項目に従い、定期点検を実施すること。

4. 運転開始の手続きについて

4-1. ガス供給開始前点検

4-1-1. 運転が許可されていることを確認する。

4-1-2. 年次定期点検が終了していることを確認する。

4-1-3. 所内で定められた規定内のガス種・数量であること。

4-2. 液化機室のガスステーションからの供給開始

4-2-1. ガス供給手順書に従って供給を開始すること。

4-2-2. ガス排風器、ガス検知が動作していることを確認すること。

4-3. 実験機器への供給

4-3-1. ガス供給装置へ使用申請が提出されていること。

4-3-3. 接続手順書に従って配管等を接続すること

5. 運転時について

実験期間中は、担当者あるいは運転員は、点検で機器の健全性の確認に努めること。装置の異常・計器に異常な変化があった場合は、実験を停止し故障の原因及びその修理を優先すること。

5-1. プラズマ実験中におけるガスの使用については、各装置のガス使用手順書に従うこと。

5-1-1. プラズマ実験用燃料ガス

5-1-2. ペレット等の射出ガス

5-1-3. 計測用ガス

5-1-4. NBI 用燃料ガス

5-2. 実験期間中（プラズマ実験以外）におけるガスの使用については、各装置のガス使用手順書に従うこと。またガスの圧力など監視すること。

5-2-1. グロー放電洗浄におけるコンディショニング用ガス

6. 運転終了時における手続きについて

6-1. 定期点検及び計画停電における停止作業

6-1-1. 運転停止が許可されていることを確認する。

6-1-2. 停止手順書に従って停止すること。

6-1-3. 損傷が見つかった場合は、装置責任者へ連絡する。

6-2. 休止期間中の点検においても、点検手順書に従って点検すること。

7. 異常時の対応について

別途定める異常時対応マニュアルに従って、行うこと。

8. その他

以上

5.4.2 放射線管理マニュアル

重水素実験においては、排気・排水及び敷地境界の線量に対する研究所管理値を遵守し、また、ポート作業においては、トリチウムの本体室内流出を最小限に抑える形で実施するなど、実験、作業及び機器の操作は、「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画＜改訂版＞」で設定された安全管理方針に従って行われなければならない。このために、重水素実験に対応したLHD運転マニュアルの整備に加えて、機器毎に放射線管理の視点での放射線管理マニュアルの整備を進めている。図5.4.2-1に、放射線管理マニュアルのひな形を示す。また、同マニュアルの代表例として「LHD運転監視　放射線管理マニュアル（案）」及び「ガス供給システム運転マニュアル（案）」を図5.4.2-2、図5.4.2-3に示す。

図 5.4.2-1 放射線安全管理マニュアルのひな形

○○○○放射線安全管理マニュアル（案）

2014 年 4 月 16 日

1. 概要

本マニュアルは、○○装置（以下略して装置という）を用いて実験を行う際の安全上の注意事項について記している。

装置使用者となる者は本マニュアルを必ず読んでおかなくてはならない。

本マニュアルの内容を変更する必要が生じた場合には、装置管理区域責任者を中心として変更案を作成し、放射線取扱主任者（以下略して主任者という）の承認を得るものとする。改定時には、装置使用者に再周知する。

2. 装置の主な仕様

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

3. 使用者登録

装置の使用は、放射線業務従事者として登録された者で、装置使用の申請許可を得た者（以下、装置使用者という）に限る。

4. 実験計画書の提出

装置使用者は装置管理区域責任者に実験計画書を提出し、装置管理区域責任者は所長に装置使用許可申請書を提出する。

5. 管理区域への入退

装置管理区域を別図のように定める。管理区域への出入口は図中○○の○○及び○○の○ヵ所である。入退室に際しては以下の事項を遵守すること。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

6. 表示およびインターロック

○○への出入口に自動表示灯が設置されており、○○電源が入ると自動的に運転中と表示される。

○○には非常停止ボタンが設置されており、万が一、閉じ込められた場合にも非常停止ボタンを押せば自動的に装置は停止する。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

7. 装置使用方法

装置使用者は、別に定める運転マニュアルにしたがって装置を運転すること。

「装置」でなく「作業」の場合は、以下の様に書き換える。

作業方法

「作業者は、別に定める「トリチウム拡散防止マニュアル」にしたがって作業を行うこと」

8. 巡視・点検

維持管理細則にしたがって巡視・点検を行うこと。実施結果は装置管理区域責任者を通して装置責任者及び安全管理室に提出すること。

9. 放射線量測定

実験に際して、装置使用者はルクセルバッジ等をつけておくこと。

装置管理区域責任者は、放射線線量をガラス線量計などを用いて定期的に測定し、装置使用者に周知する。

10. 緊急時の対応

万一事故が起こった場合には、装置使用者は直ちに守衛室及び装置管理区域責任者あるいは当該実験責任者を通じて放射線取扱主任者及び安全管理室に通報し、別途緊急時マニュアルに従って必要な処置をおこなうこと。また維持管理細則の定める報告の必要がある時は、装置管理区域責任者は速やかにこれを報告すること。

11. 責任体制

実験計画、装置運転に関する責任は当該実験責任者が負う。

放射線の測定、管理、報告に関する運用上の責任は装置管理区域責任者が負う。

12. その他

以上

図5.4.2-2 LHD運転監視 放射線管理マニュアル(案)

ＬＨＤ運転監視　放射線管理マニュアル（案）

2014 年 4 月 20 日

1. 概要

本マニュアルは大型ヘリカル装置（以下ＬＨＤ）を用いて実験を行う際の安全上の注意事項について記している。

ＬＨＤで実験を行う者、運転および点検・管理に従事する者（以下，実験関係者）は、本マニュアルを必ず読んでおかなければならない。

本マニュアルの内容を変更する必要が生じた場合には、装置管理区域責任者を中心に変更案を作成し、放射線取扱主任者（以下略して主任者という）の承認を得なければならない。改定後は実験関係者に周知しなければならない。

2. 実験の概要

ＬＨＤでは重水素を使用する実験を予定している。重水素実験では中性子およびトリチウムが発生し、わずかではあるが放射化物も生成されるため、全放射線量を研究所が管理し、すべての実験は例外なく許容値以下で遂行すること。

3. 使用者登録

実験関係者は「放射線業務従事者」として登録された者に限る。

4. 実験計画書の提出

実験遂行に係わる者は事前に実験責任者に実験計画書を提出しなければならない。特に重水素を用いた実験では中性子、トリチウムの発生量が研究所の管理値を超えないよう留意すること。

5. 実験時の監視体制

ＬＨＤと周辺設備、環境の安全を保障するために、機器の運転および放射線総合監視システムによる監視と異常時の対応を主な業務とする運転員を通年２４時間体制で置く。特に、重水素実験初期における実験期間中は、昼夜、休日を問わず研究所職員を含む実験関係者による６人以上の監視体制を維持する。

6. 実験時の対応

重水素実験ではプラズマ生成の起動を手動で行うこと。実験責任者は常に中性子発生量、トリチウムの排出量の積算値に留意し、これらのいずれかの値が研究所の管理値に近づいたところで実験を停止する。これらの量は放射線総合監視システムで常時監視され，管理値に近づいた場合に実験を自動停止するシステムとなっているが、常に手動停止できるよう実験を監視すること。

7. 放射線総合監視システムの異常時の対応

放射線総合監視システムが異常を感知した場合、その原因を究明するとともに直ちに適切な処置をとること。機器が故障した場合には、機器の修繕あるいは交換後、システム全体が正常に作動することを確認した上で、放射線取扱主任者の許可を得て重水素実験を再開すること。

8. 放射線量の測定

実験時は、放射線総合監視システムによるＬＨＤおよび周辺設備、環境の放射線量を常時監視するとともに、実験関係者の被曝の有無をクイクセルバッジで管理すること。

また、装置管理区域責任者は、実験室内の放射線線量をガラス線量計などを用いて定期的に測定し、装置使用者に周知すること。

9. 緊急時の対応

万一事故が起こった場合、装置使用者は直ちに守衛室及び装置管理区域責任者、あるいは当該実験責任者を通じて放射線取扱主任者及び放射線管理室に通報するとともに、別途定める緊急時マニュアルに従って必要な処置をおこなうこと。また維持管理細則の定める報告の必要がある場合は、装置管理区域責任者は速やかにこれを報告すること。

10. 責任体制

実験計画、装置運転に関する責任は当該実験責任者が負う。

放射線の測定、管理、報告に関する運用上の責任は装置管理区域責任者が負う。

11. その他

以上

図 5.4.2-3　ガス供給システム運転マニュアル(案)

ポート作業　放射線管理マニュアル（案）

2014 年 5 月 20 日

1.　概要

本マニュアルは LHD 本体室においてポート作業を行う際の安全上の注意事項に関する指針である。ポート作業者となる者は本マニュアルを必ず読んでおかなければならない。

本マニュアルの内容を変更する必要が生じた場合には、装置管理区域責任者を中心として変更案を作成し、放射線取扱主任者（以下略して主任者という）の承認を得るものとする。改定時にはポート作業者に再周知しなければならない。

2.　ポート作業の定義

このマニュアルで述べるポート作業とは、LHD 本体真空容器ポート、LHD の本体真空領域と直接または各種バルブ等を介して接続する加熱機器及び計測機器等の真空容器ポートにおいて、真空領域と接触するフランジ等の取り付け、取り外しを伴う作業のことを指す。

3.　作業者登録

ポート作業者は、富山大学水素同位体科学研究センターにおけるトリチウム安全取扱い研修を受講した放射線業務従事者でなければならない。

4.　作業の手順

（1）　ポート作業者は作業前に、作業場所と作業内容を放射線管理室及び真空管理委員会（仮称）に届けること。

（2）　LHD 本体室に入室前に、ポート作業専用の作業着、靴、手袋を着用すること。

（3）　LHD 本体室に入室時は、室内の換気がなされていることを確認すること。また、放射線管理室の職員から指示があった場合は、その指示に従うこと。

（4）　作業時はトリチウムの本体室内流出を最小限にするよう配慮すること。必要に応じて当該ポートを覆う等の措置を講ずること。

（5）　取り外した機器はすみやかにビニール袋等で覆い、機器からのトリチウム流出を最小限にすること。開放したポートはそのまま放置せず、作業終了後は速やかに閉止すること。

（6）　作業終了後は、LHD 本体室を退室時に作業着、靴、手袋を着替え、トリチウムサーベイメーターにより汚染の有無を確認すること。汚染がある場合は管理室の職員の指示に従い必要な除染処置をとること。

5.　緊急時の対応

作業中、万一事故が起こった場合には、作業者は直ちに守衛室及び装置管理区域責任者を通じて放射線取扱主任者及び放射線管理室に通報し、別途定める緊急時マニュアルに従って必要な処置をおこなうこと。また維持管理細則の定める報告の必要がある時は、装置管理区域責任者は速やかにこれを報告すること。

6.　責任体制

ポート作業に関する責任は当該ポート作業者が負う。

放射線の測定、管理、報告に関する運用上の責任は装置管理区域責任者が負う。

以上

5.4.3 緊急時・災害時マニュアル

重水素実験時の緊急時・災害時の対応に関しては「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画」に記載されているが、従来の防災マニュアルとの整合性を加味して整備を進めている。

現行の緊急マニュアルと重水素実験開始後の緊急マニュアルで異なる点は、先に述べたRI保管施設、トリチウム除去装置を最優先に点検し、必要であれば措置を行うことである。また、本体室への入室に際しては、本体室内に留まることが可能な時間を確認し、必要であれば管理するものとする。

5.4.3.1 緊急時・災害時に対する基本的考え方

災害・事故等が発生し、放射線安全管理機器、プラズマ生成装置等が損傷した場合、重水素実験中は、中性子、トリチウムが発生していることから、環境へのリスクが懸念される。そのため、重水素実験で、安全に係わる基本的な考え方として、

1) 発生するトリチウム量をできるだけ少なくする、
2) 真空容器内に留まるトリチウム量は、全量が放出されても法令の規制値を超えない量とする、
3) 環境に影響を及ぼす可能性が考えられるアルゴン 41 などの生成は、環境中に万一放出されても規制値を超えない量とする、
4) トリチウム含有水の保管は、漏洩に関して厳重に注意を払う、

を基本とする。また、「災害・事故発生時にはプラズマは自動的に消滅する」ということも、重要な点である。

以上を別な表現で述べると、LHDでは、

(1) 重水素実験中、災害・事故等により、大型ヘリカル実験棟や真空容器が壊れても、LHD 自体から環境中に放出されるトリチウムは法令に定められた濃度を超えることはないように設計されている。

さらに

(2) 中性子は、災害・事故等の発生と同時に、自動停止装置により装置が停止されるばかりでなく、またプラズマの性質としてプラズマが自動的に消えることから、発生しなくなるため、災害・事故時に、環境中に出される量は限定されており、敷地境界において、公衆被曝限度を超えることはない。
(3) 保管されているトリチウム含有水に関しては、
    ・RI保管施設を、耐震基準を満たして建築する、
    ・指定された保管容器で保管し、保管量をなるべく少なくする、
    ・ステンレス製の保管槽を設置して、その中に保管容器を保管することにより、災害や事故が発生しても、環境への影響を抑えることができる。
(4) トリチウム除去装置中のトリチウム含有水についても、
    ・災害や事故等が発生すると同時に、自動停止装置でバルブを閉止して、トリチウム除去装置および貯槽等を密閉する、

・貯槽等を、漏洩しても回収できる構造の床に設置する、

ことにより、上記保管容器と同様、環境への影響を抑えることができる。

5.4.3.2　基本的対応と緊急時体制の確立

(1)　基本的対応

災害及び事故が発生した場合、図 5.4.3.2-1 に示した緊急連絡網により、情報を伝達するとともに図 5.4.3.2-2(図 5.4.3.2-3 の組織に改訂の予定)に示した自衛防災隊を組織し、対応する。

具体的には、

・実験中に災害及び事故が発生した場合

直ちに実験を停止する。実験責任者の指示の下に機器担当者、監視体制の運転員(職員)を中心に状況の把握を行い、通報の担当者から、5.3.4 節で述べた事項に従って、消防署、自治体等への連絡を行うとともに、緊急連絡網によって自衛防災隊を組織する。プラズマ実験は、図 5.4.3.2-4 に示したように緊急時の役割が明確化された実験体制の下で行われており、状況に応じて、電源の遮断、閉じ込め磁場の立ち下げ、現場対応班の本体室への誘導等の役割を果たす。管理区域内に立入る場合は、立入り時間等の指示を管理区域責任者から受け、実験責任者の業務指示に従う。

・災害の発生その他により周辺環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生した場合

重水素実験を速やかに停止し、その旨を地元自治体に通報するとともに公表する。その際は、重水素実験の再開に当たって、実験施設・装置等の損傷の有無及び補修内容等を明示して安全性を確認した上で、地元自治体と協議するものとする。

(2)　緊急事態での活動に備えて

大災害などが発生した場合、初期の段階では、対応する人員は限られる可能性が大きい。そこで、速やかに対策が必要なもの、重要なものを第一段階の対応として抽出しておく必要がある。この活動は、訓練等を通して常に見直しを行い、実際の事態に適切に対応できるように備える。

現時点で考えられている速やかに対策が必要なもの、重要なものは以下のとおりである。

実験の停止
被害状況の初期確認
通報
電源の確保
放射線総合監視システムによる監視
RI 保管設備及びトリチウム除去装置等の状況の確認と措置
(火災発生時)初期消火と消防の誘導
各機器の確認と措置

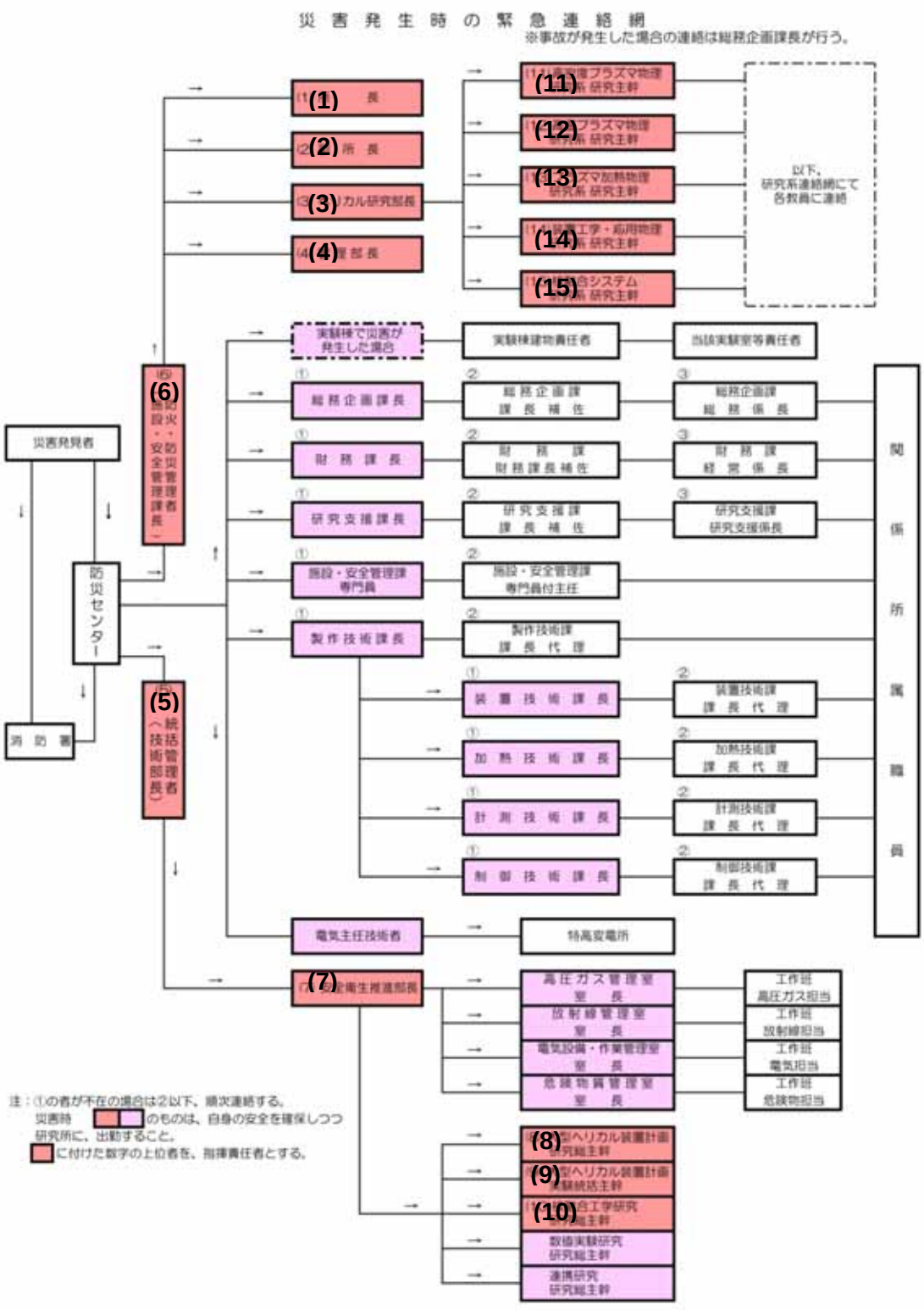


図 5.4.3.2-1 緊急連絡網

自　衛　防　災　隊　組　織　図

隊　長	副 隊 長	統括管理者	班	統 括 者 （班 長）	班　　員		
所　長	管理部長 施設・安全管理課長 （防火・防災管理者）	技術部長	総 務 班	管理部総務企画課長	管理部総務企画課 （総務企画課長補佐，総務係，企画・評価係，人事・給与係，対外協力係）		
			現場対応班	技術部装置技術課長	管理部財務課 （財務課長補佐，経営係，契約係） 技術職員のうち別に定める職員 研究教育職員のうち別に定める職員		
隊長補佐	副隊長補佐		誘 導 班	管理部財務課長	管理部財務課 （経理・資産係，監査係，調達係） 技術職員のうち別に定める職員 研究教育職員のうち別に定める職員		
副 所 長	安全衛生 推進部長		救 護 班	管理部研究支援課長	管理部研究支援課 （研究支援課長補佐，研究支援係，国際支援係，大学院連携係、ビジターセンター係） 技術職員のうち別に定める職員 研究教育職員のうち別に定める職員		
			工 作 班	大型ヘリカル装置計画 実験統括主幹	施　設	管理部施設・安全管理課 専門員	管理部施設・安全管理課 （専門員付職員，施設整備係）
					高圧ガス	保安技術管理者	保安係員，保安監督者，保安係員代理，保安監督者代理
						取扱責任者	取扱責任者代理
						冷凍保安責任者	冷凍保安責任者代理
					放 射 線	放射線取扱主任者	放射線管理室員
					電　気	電気主任技術者	管理部施設・安全管理課（施設保全係），電気装置責任者
					危 険 物	危険物質管理者	危険物質保管庫責任者

図 5.4.3.2-2　自衛防災隊組織図（現行）

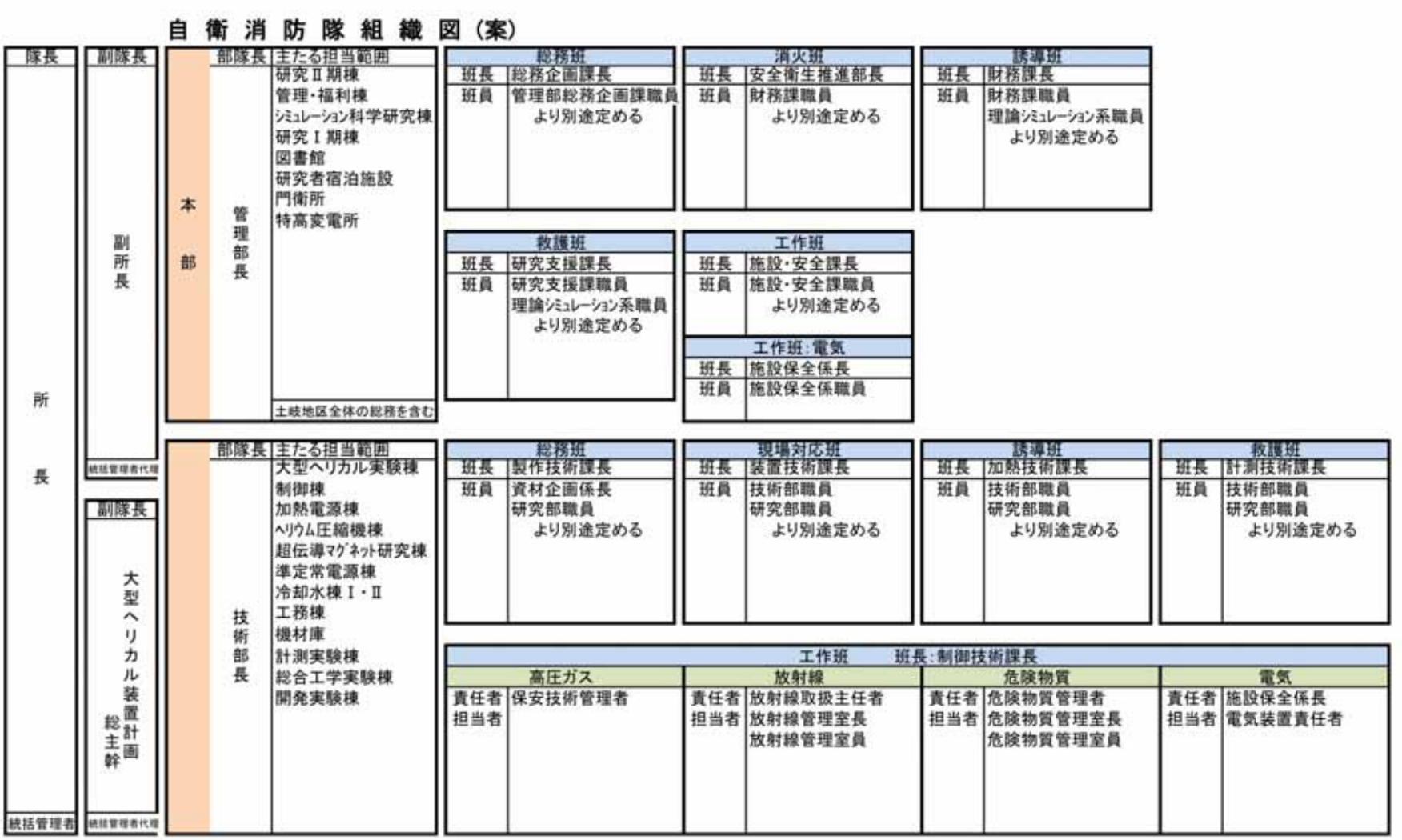


図 5.4.3.2-3　自衛防災隊組織図（改定案）

自然科学研究機構　核融合科学研究所（ＬＨＤ）

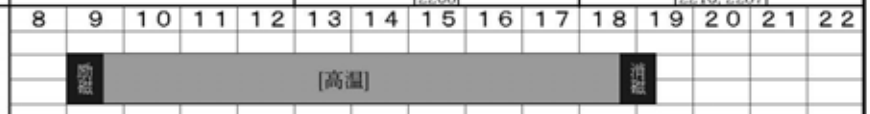
プラズマ実験予定表

作成者
長壁正樹

実験日	本日の実験テーマ
2011年 10月4日(火)	最高イオン温度放電の検証

実験番号	担当実験研究グループ	担当実験テーマリーダー	担当実験ｻﾌﾞﾃｰﾏﾘｰﾀﾞｰ
785	ミッション実験 （高温度領域の拡大）	長壁正樹／村上定義 [2208]	山田一博／高橋裕己 [2216, 2287]

実験スケジュール



実験体制

斜字は緊急時の役割
情報は2445へ

（実験担当責任者）竹入康彦/長壁正樹 [2210, 2208]
制御室本部責任者

（実験テーマ担当者）*記録確認*
(高温)長壁正樹、山田一博、高橋裕己

井上・中村/加藤・森田	横田/小川	高橋　裕己	中野　治久	B/C	大砂／小嶋	増崎　貴
[2094/2312]	[2095/2099]	[2287]	[2209]	[2448]	[2303/2481]	[2168]
実験LAN	中央制御	(ECH)	(NBI)	(ｶﾞｽﾊﾞﾌ・真空・低温)	(ﾃﾞｰﾀ処理)	(放電洗浄)
		制御室連絡員A *外部との連絡*	*制御室連絡員B* *現場との連絡*	*電源系統把握*		

現場責任者:本体運転員責任者(竹林) [2448]
現場連絡員:本体運転員

実験手順の概要

○実験内容、条件
[高温度領域の拡大](09:00 ～ 18:45) ECH, NBI
1）最高イオン温度放電の達成、
2）最高イオン温度放電時のイオン温度計測手法の検証
3）最高イオン温度の不純物ペレットの複数回入射効果
4）準定常高イオン温度放電の達成
磁場配位：
＊S　1.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.6m, -2.85T, 1.2538, 100.0%）
　　2.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.6m, -1.375T, 1.2538, 100.0%）
　R　3.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.6m, -2.75T, 1.2538, 100.0%）
　R　4.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.6m, -2.635T, 1.2538, 100.0%）
＊R S　5.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.575m, -2.869849794411135T, 1.2538, 100.0%）
＊R S　6.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.55m, -2.890222259781971T, 1.2538, 100.0%）
＊R S　7.（Rax, Bt, γ, Bq）=（3.53m, -2.906530126625311T, 1.2538, 100.0%）

放射線担当

田中将 [2087]

実験開始条件

○励磁減磁
入室禁止 08:45
立上げ　09:00
立下げ　18:45

実験磁場

反転

コンディショニング

○前夜GD	なし
○実験開始前 Ti ゲッター	あり
○実験中 Ti ゲッター	なし
○実験終了後GD	なし
○ベーキング	なし

規制事項

(1)磁性体の持込規制(持込書類による確認)
(2)夜間作業は原則22時まで
　当板に作業名、氏名、入退室時間記載

特記事項

（高温)不純物ペレットの入射。
高パワートムソン重畳。
サブクール磁場での実験開始。
X線発生防止リミターを用いたガスなし励磁。
【特殊実験あり】
id=148（小川国大）：プローブ挿入
id=152（時谷政行）：試料駆動装置使用
id=153（永岡賢一）：プローブ挿入
id=164（宮澤順一）：未登録の特殊磁場配位
id=165（吉村泰夫）：その他
id=192（長壁正樹）：その他 サブクールが必要
id=196（時谷政行）：試料駆動装置使用
id=197（時谷政行）：試料駆動装置使用

備考

(高温)不純物ペレットの入射。
高パワートムソン重畳。

図 5.4.3.2-4　現行プラズマ実験予定表(現行)

(3) 緊急時体制の確立

勤務時間帯に災害及び事故が発生した場合には、緊急連絡網により、素早く自衛防災隊を組織できるが、夜間休日には、夜間休日の監視体制と門衛 2 人により初期連絡と初期対応にあたることになる。また、ある程度大規模な災害の場合、電話が不通となり、緊急連絡網が使えなくなる可能性がある。

そこで、夜間休日に、土岐市、多治見市で震度 5 弱以上の地震が発生した場合、上記初期連絡が予定どおり行えない事態が発生すると考え、緊急連絡網で色の付いた責任者と土岐市及び多治見市に在住の所員は、連絡の有無にかかわらず、安全を確保した上で、直ちに研究所に出勤するものとする。

土岐市、多治見市以外に居住の所員は、出勤可能か否かを自主的に判断し、出勤する。

集合した所員は、初期対応を引き継ぎ、本来の自衛防災隊に近い役割を果たすものとするが、緊急連絡網に番号で示された上位責任者の判断により、自衛防災隊を再編し、より緊急を要する事態から対応にあたる。

(4) 放射線関係の対応

放射線関係の対応は、基本的に自衛防災隊の放射線工作班に位置付けられた放射線管理室員が行う。

○運転員(職員)及び初期対応のできる者は、放射線関係の対応として、以下の初期対応を行う。

・放射線総合監視システムの運転状況確認
・保管廃棄室の保管状況の確認
・トリチウム除去装置の初期確認

○自衛防災隊の放射線工作班は、緊急時の業務の分担に従って、装置の状況を確認し、必要な措置を施す。

・状況の確認を行い、停止の措置をする。
・法令及び所内規則に基づく点検を行う。

特に、RI 保管施設担当は、下記の確認、措置を速やかに行うものとする。

・使用中の RI は RI 保管施設の所定の場所に収納
・RI の保管状況の確認
・非常持出書類(RI 管理票, RI 貸出一覧表)の確認と必要に応じて持ち出し
・災害復旧時の RI の厳重管理

※異常を発見した場合は直ちに班長に連絡、指示に従い対応。班長は隊長に報告。

※班長などに連絡できない場合は、マニュアルに従って措置する。

5.4.3.3 大規模災害・事故時の対応

実験中は、磁場コイルに電流が流れているため、災害及び事故等が発生した場合、このコイル電流を止める動作を行うことが本体室内の点検や災害及び事故等の対応を行う上で基本になる。コイル電流を下げる時、X線が発生する可能性があることから、手順を決め、安全な領域に達するまで本体室には入室させない所内規則を設けており、災害及び事故等の確認から本体室入室までには時間がかかることになる。平成23年度の訓練では、火災報知器の発報から鎮火まで約15分を要している。

なお、磁場コイルに流れている電流のエネルギーは、約0.9 GJであり、超伝導にするために取り除いたエネルギー70 GJより遥かに少ないことから、電流が流れた状態を放置しても、人に対する安全性という意味では全く問題は無く、環境に影響を与えるような事故が起こることはない。

以下に、重水素実験中に地震が発生した場合の対応の例を示す。ここでは、異常がない場合と最大規模の損害を受けた場合について示してある。研究総主幹、実験統括主幹、実験責任者 3 名、副実験責任者 7 名は、機器、実験に熟知していることに加えて、このような対応を基本に、いかなる事態にも対処できるよう訓練している。ここで、制御室連絡員 A、B等と記載されているのは、実験中、交代することはあるが、必ず制御室に詰めている者である。実験日の朝開かれる実験前会議で配布される実験予定表(図 5.4.3.2-4)に、緊急時の役割が明記されている。

5.5 安全管理体制

5.5.1 放射線管理関連法令

重水素実験開始にあたり関係する放射線関連の法令等は以下のとおりである。

・労働安全衛生法
・電離放射線障害防止規則(電離則)
・放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律(障防法)
　放射線発生装置(LHD 装置)
　放射性同位元素の使用(核種分析、水素同位体動態分析)
　　非密封 RI:タイル、保護板、試料、校正用線源
　　密封 RI　:中性子検出器校正(Cf-252)
・核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
　中性子検出器(フィッションチェンバー:U-235)

障防法と電離則の内容はほとんど同じであるが、放射線の定義や健康診断の頻度などの細かな点で多少異なるところもある。これらの法体系の図式を図 5.5.1-1 に示す。核融合科学研究所では、これらの法令を合理的に取り込む形で所内の放射線障害予防規程及び各種所内規程を作成し、安全管理を実施する。

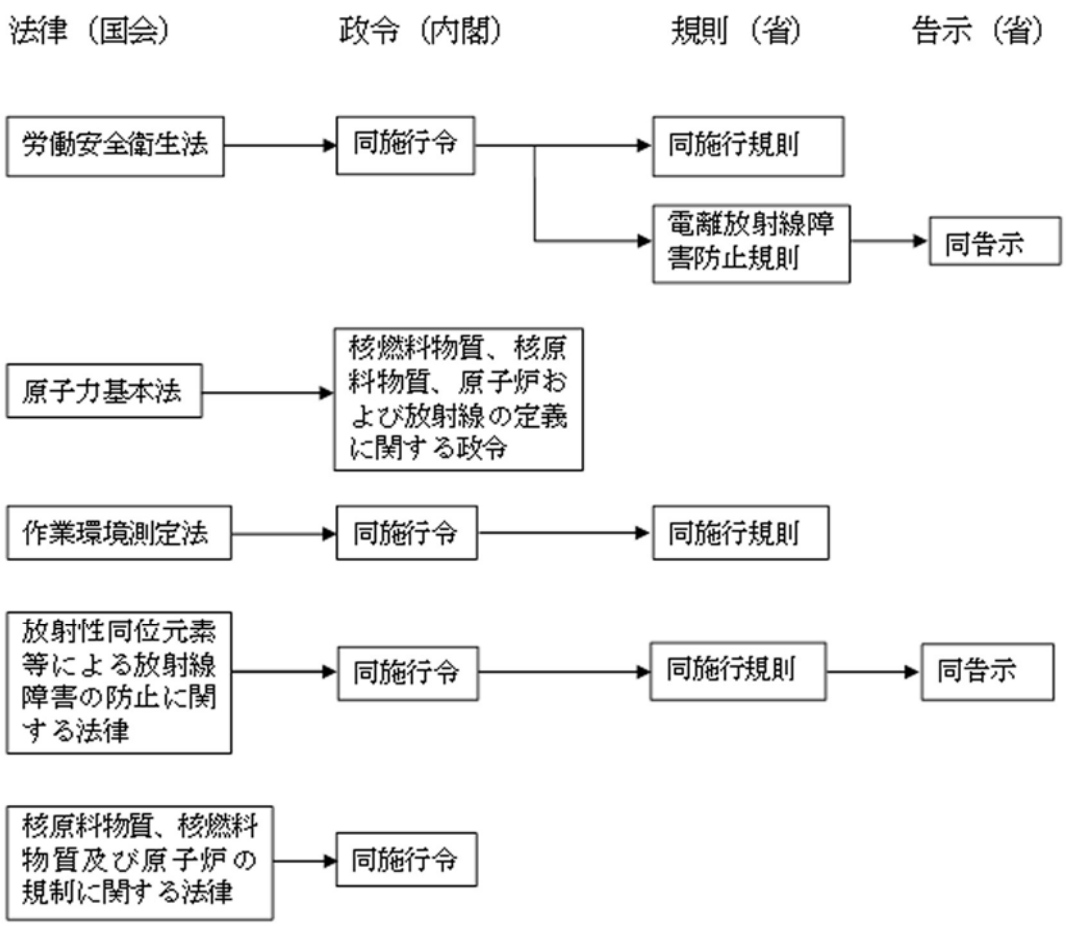


図 5.5.1-1　放射線管理関連法令

5.5.2 安全管理体制

核融合科学研究所の安全管理体制は、労働安全衛生法に基づき、所長が総括安全衛生管理者として総括管理し、その下に安全管理者、衛生管理者、産業医をおいてそれぞれが安全管理、衛生管理、健康管理を担当している。その他に指名された数名の安全衛生委員を加えて安全衛生委員会を組織し、月に一度会合を開いて安全衛生に関することを審議している。また、この委員会により指摘された事項を実施する組織として、所長の下に安全衛生推進部が設置されている。その中に 10 の室が設けられている。月に一度会合を開いて、安全衛生委員会の指摘に基づき、安全衛生水準の向上と労働災害防止を図っている。図 5.5.2-1 に核融合科学研究所の労働安全衛生管理体制を示す。

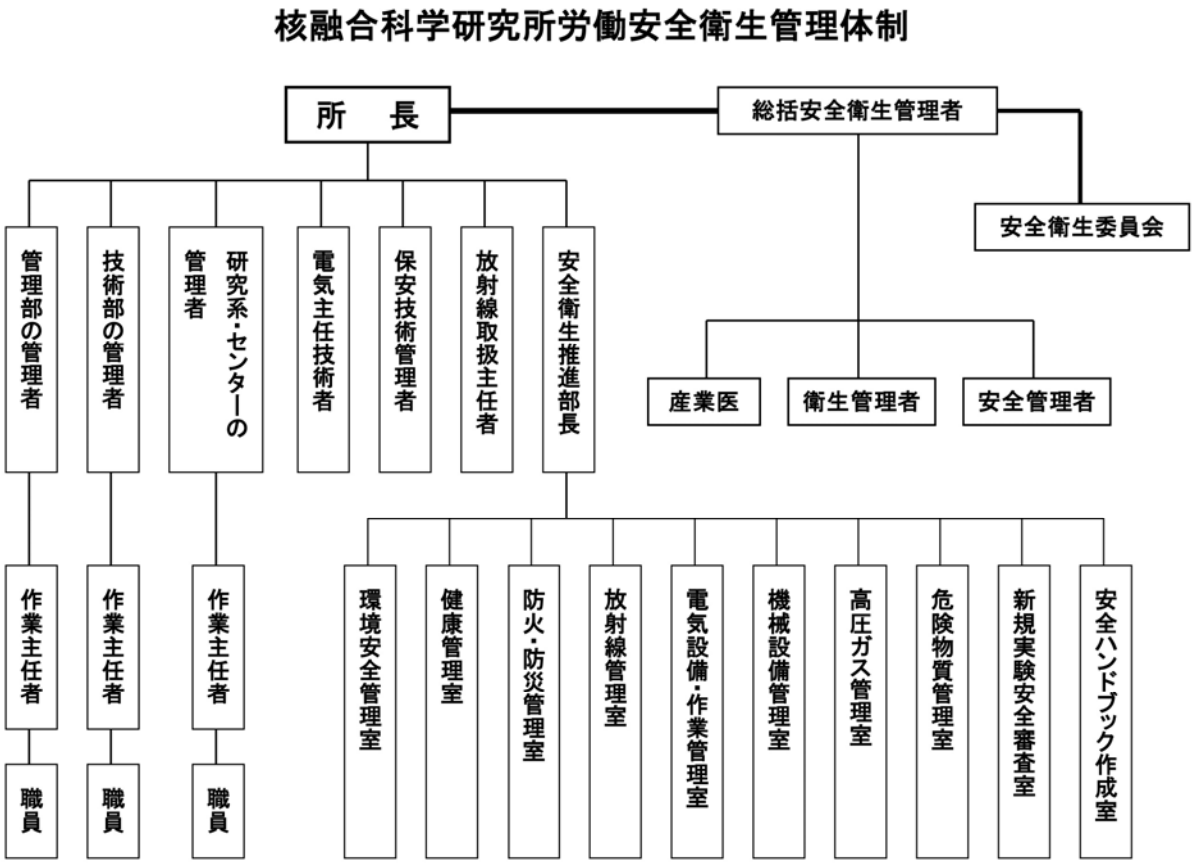


図 5.5.2-1 核融合科学研究所労働安全衛生管理体制

重水素実験における通常の管理業務は、放射線管理室が放射線安全委員会（予定）の指示および、安全衛生推進部のサポートを得ながら行う。実験中に管理区域内に立ち入る必要が生じた場合は、管理区域責任者の指導の下、実験責任者の指示に従うものとする。管理区域責任者は本体室内の線量測定等、必要な指示を装置責任者及び作業者に与え、それらの結果を実験責任者に報告する。また、主任者は必要に応じて指示を与えるものとする。

図 5.5.2-2 に核融合科学研究所放射線安全管理組織案を示す。放射線安全委員会（予定）は、放射線管理室とは別組織とする。安全監視委員会（予定）は、地元自治体に設置の依頼を予定しており、核融合科学研究所から独立した第三者組織である。図中、背景がピ

ンク色のものは設置を予定しているものである。

各種モニター機器の監視及び保管廃棄室の管理は、放射線総合監視システムの機能の一部であり、実験期間である、なしにかかわらず 24 時間体制で行われる。異常がある場合は、後述の緊急連絡網に従い、必要な人員を招集して対応にあたるものとする。

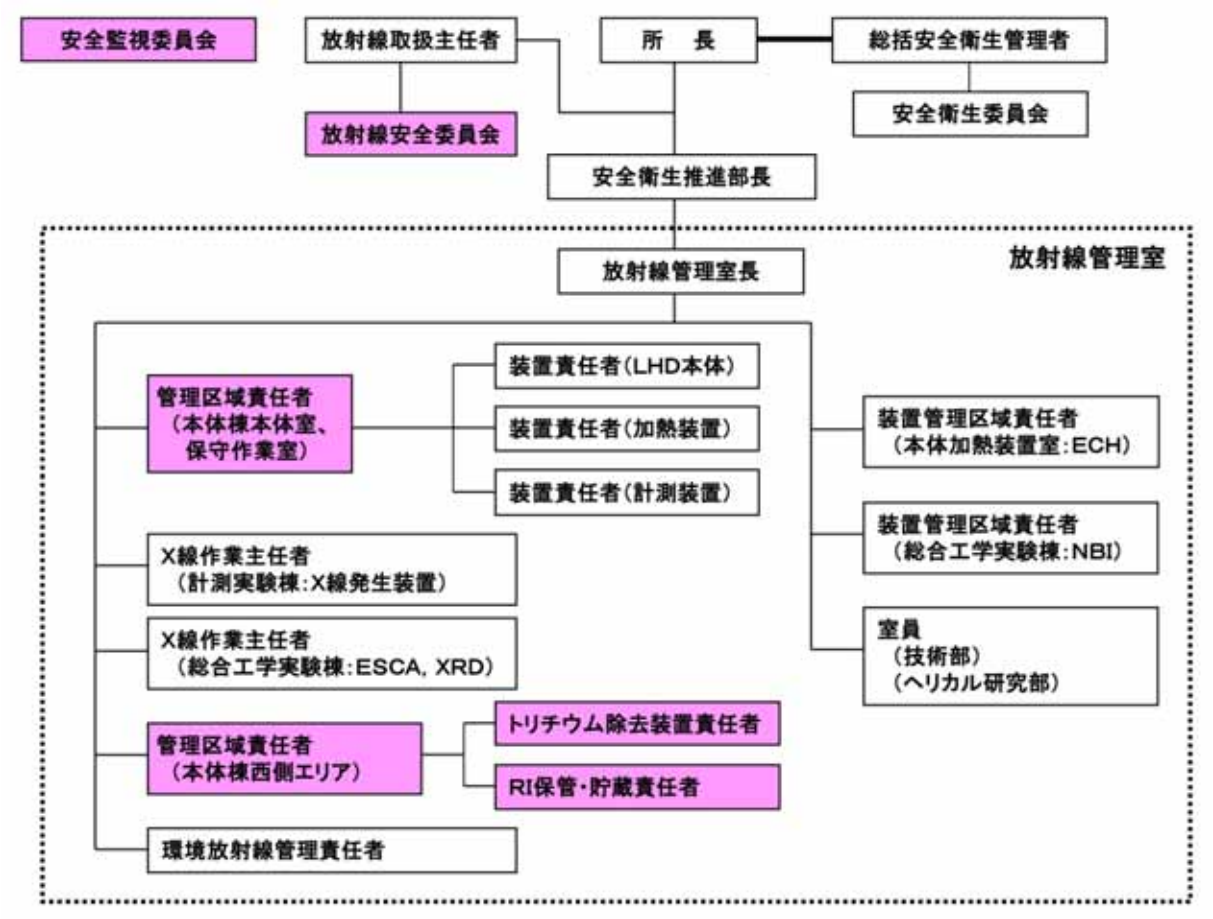


図 5.5.2-2　核融合科学研究所　放射線安全管理組織案

は、設置予定

5.6 教育・訓練

5.6.1 教育体制

放射線安全教育は法令では教育訓練として「放射線業務従事者は、初めて管理区域に入る前に 1 回以上、その後は 1 年を超えない期間ごとに 1 回以上、受講しなければならない」と規定されている。

重水素実験が開始された後の教育訓練体制もこれまでと同様に、初めて入域する者の教育訓練として、新規講習会および現場教育を実施し、継続者の教育訓練として更新講習会を実施する。ただし、新規講習会については、非密封 RI の取扱施設となるため内容を大幅に変更し、通常の多くの大学アイソトープ総合センター等で実施されている程度の密封されていない放射性同位元素を用いた実習を組み込んだ 2 日間にわたる新規講習会を実施する。以下に、現在検討を進めている教育訓練の項目を示す。なお、各項目に要する時間は、「教育及び訓練の時間数を定める告示」(平成 3 年科学技術庁告示第 10 号)に従って決定する。

(1) 新規講習会(基礎教育)

○1 日目(5～6 時間)

・法令(電離則を含む)
・予防規程(細則を含む)
・放射線の生物影響
・安全取り扱い(講義)
　LHD 等装置の安全取扱い
　放射性同位元素の安全取扱い

○2 日目　実習　約 5 時間 (免除レベル以下の放射性同位元素を使用)

・放射線測定実習
・非密封 RI 取扱実習
・レポート作成

なお新規講習会は放射線管理室が企画して実施する。

(2) 現場教育(現場ガイダンス)

現場教育は、装置ごとにそれぞれの装置現場で、装置特有の安全管理項目に主眼をおいて実施する。新規登録者は新規講習会を受講したのち各装置での作業を開始する前に受講しなければならない。

現場教育は各装置の設置されている管理区域責任者が企画して実施する。

(3) 更新講習会

従来どおり、2 月～3 月にかけて 2 回実施し、いずれかの 1 回を受講すれば良いとする。内容は以下のとおりである。

・その年度の放射線安全管理状況の報告、次年度の計画等
・法令や予防規程などの規則、規程、細則に関する最近の動向の報告と解説
・外部講師による放射線安全に関する特別講演

更新講習会は放射線管理室が企画して実施する。

以上のように、新規講習会、現場教育、更新講習会の 3 種の教育訓練を実施する。この内、新規講習会では、実習として放射性同位元素そのものを取り扱うため、最大 50 人程度を対象とした放射線安全教育が実施できる小規模の放射性同位元素取扱施設が必要となる。所内に用意できない場合は、外部の施設を借りて実施する必要がある。

上記 2 回の更新講習（新人にあっては新規講習）を受講することができなかった者は、別途講習会を申請し受講するものとし、未受講の者には本体室での作業を認めない。

5.6.2　訓練

緊急事態が発生した場合、5.4.3.2 節で述べたように、基本的には緊急連絡網によって、事態を周知し、自衛防災隊を組織して対応する。

放射線関係は、自衛防災隊の工作班に、放射線管理室が組み込まれており、放射線の業務分担に従って対応する。現在、実験期間中に火災、地震等を想定して、最低年１回LHDで訓練を実施している、また、これとは別に研究所全体で防災訓練を年１回実施、この研究所全体の訓練では、土岐南消防署に参加いただいている他、関係自治体とも通報訓練を実施している。

○重水素実験に向けた訓練の在り方

訓練の回数を増やし、定期的に行う。これにより訓練の熟度を上げるとともに、下記の取り組みを可能な範囲で行う。

(1) 緊急事態下で行う活動及び自衛防災隊の配置（人員、役割等）の適正化
(2) 人の派遣による関係自治体への通報可否の見極めと効率的運用法
(3) 非常用設備を稼働して、非常用機器を使用することにより、必要な機器、員数等の適正化
(4) 消防署、関係自治体等関連する組織との合同訓練
(5) 協定書締結後、トリチウムの管理関係の訓練と対応法、装備、その員数等の適正化
(6) 訓練は、関係自治体、マスコミ等に公開するように努める

○LHD で行った消火訓練

実験期間中の訓練は、実験中に本体室で火災が発生したと想定して行われている。表5.6.2-1 に訓練の実施細目を示す（平成 23 年度第 15 サイクル行ったもの）。訓練の実施細目は、訓練内容を時系列で示したもので、消防署、自治体への通報を含んでおり、全所的に対応することが示されている。実験中は、磁場コイルに電流が流れているため、災害及び事故等が発生した場合、このコイル電流を止める動作を行うことが本体室内の点検や災害及び事故等の対応を行う上で基本になっている。コイル電流を下げる時、X 線が発生する可能性があることから、手順を決め、安全な領域に達するまで本体室には入室させない内部規則を設けており、災害及び事故等の確認から本体室入室までには時間がかかることになる。実験中に本体室で火災が発生したと想定した訓練は、毎年実験中に実施している。

表 5.6.2-1 LHD 消火訓練実施細目

LHD消火訓練実施細目

（訓練実施日、平成23年7月30日）

項	行動時刻・事項	担　当	内　　容
1	（訓練の進行の目		プラズマ放電実験中を模擬し、磁場強度0.6Tに励磁中、実験シーケンスのみ稼働中とする。
2	９時１０分 火災報知器発報	火報の発報 （古谷運転員）	古谷運転員により本体棟管理室防災盤で発報させる。中央制御装置インターロックにより「実験停止」となる。なお、火報発報の直後、古谷運転員は、防災無線を携帯して、発報サイレン停止準備のため本体棟管理室へ直行したことにする。
3	９時１０分 実験停止の報告	現場責任者 （竹林運転員）	現場責任者は実験責任者に、 「火報によって「実験停止」となりました。実験シーケンスが停止し、加熱装置の入射及び真空排気装置の真空排気が停止しました。コイルは通電中です。ただし、緊急ガスパフは動作していません。」 と報告する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
4	９時１０分 発報場所の確認	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、制御室連絡員Ｂに制御室内防災盤及びＩＴＶで発報場所を確認させる。 制御室連絡員Ｂは、現場責任者等に ITV操作など確認の補助をさせる。 この際、中央制御担当運転員は防災無線機を制御室連絡員Ｂに手渡す。
5	９時１０分 緊急ガスパフの備え指示	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、緊急ガスパフの備えを指示する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「減磁を行う可能性があります。真空排気担当者とNBI運転担当者は、減磁のための真空容器への緊急ガスパフに備えてください。」
6	９時１１分 緊急ガスパフの備え	真空排気担当者 各NBI運転担当者	真空排気担当者は、真空監視用の電離真空計を切る。これにより中央制御装置に真空悪化信号が発信され、中央制御装置からゲートバルブ制御装置へ真空容器取り合いゲートバルブの全閉指令が出てゲートバルブが閉まる。 各NBIの運転担当者は、各NBIのビーム入射ゲートバルブを閉める。
7	９時１１分 発報場所の報告	制御室連絡員Ｂ	「本体上部6.5Uポート近傍で火炎を発見しました。」 と実験責任者に報告する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
8	９時１１分 火報発報サイレン音の停止の指示	実験責任者 （竹入教授）	「本体上部6.5Uポート近傍で火炎を確認できました。制御室連絡員Ｂは火報のサイレン音を停止するよう運転員に連絡してください。」 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
9	９時１２分 火報発報サイレン音の停止	制御室連絡員Ｂ 古谷運転員	制御室連絡員Ｂは、防災無線にて、本体棟管理室に待機する古谷運転員に火報のサイレン音を停止するよう指示する。
10	９時１２分 通報指示	実験責任者 （竹入教授）	制御室連絡員Ａに、 「制御室連絡員Ａは、防災センター、統括管理者、危機管理班長に訓練火災発生の電話連絡をしてください。」 副実験責任者に、 「副実験責任者は、研究総主幹、実験統括主幹に訓練火災発生の電話連絡をしてください。」 と指示する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
11	９時１２分 防災センターに通報	制御室連絡員Ａ	防災センター(1111)、に通報する。「制御室から緊急連絡します。訓練です。大型ヘリカル実験棟１階本体室内で火災が発生しました。消防に通報をお願いします。・・・なお、訓練ですので実際は消防に通報はしません。」
12	９時１３分 防火・防災管理者に通報	防災センター	防災センターは、防火・防災管理者（戸松課長は所外なので緊急連絡網により連絡する。）に通報する。 「防災センターから緊急連絡です。訓練です。９時１０分大型ヘリカル実験棟１階本体室内で火災が発生しました。」
13	９時１３分 統括管理者等に通報	制御室連絡員Ａ	統括管理者(2100)、危機管理班長(2101)に通報する。 「制御室から緊急連絡です。訓練です。大型ヘリカル実験棟１階本体室内LHD本体上部で火災が発生しました。至急制御室までお越しください。」 （なお、危機管理班長は実験対応として通常は制御室に在室。今回も在室していたこととし連絡不要。）
14	９時１３分 研究総主幹等に通報	副実験責任者	山田研究総主幹(2200)、竹入実験統括主幹（工作班長）(2210)に通報する。 「制御室から緊急連絡です。訓練です。大型ヘリカル実験棟１階本体室内LHD本体上部で火災が発生しました。至急制御室までお越しください。」
15	９時１３分 危機管理班の待機指示	制御室連絡員Ａ	危機管理班長に、 「本体室内本体上部6.5Uポート近傍で火炎を確認しました。危機管理班長は、危機管理班員（消火隊員）を装備着用の上、本体室入室準備で待機させてください。」と要請する。
16	９時１３分 危機管理班員の招集と本体室入室準備の指示	危機管理班長 （米津課長）	危機管理班長は、制御棟・本体棟一斉放送により危機管理班員の招集をかける。 「本体室内本体上部で火炎が発生しました。危機管理班員は本体棟管理室に集合し、消火隊員は消火装備を着用の上、待機してください。」 以上を2回放送する。
17	９時１４分 本体室入室準備の確認	危機管理班長 （米津課長） 危機管理班員 （林課長代理）	危機管理班長は、コイル運転担当者に減磁所要時間を確認した上で、防災無線により林（課長代理）危機管理班員に再度連絡する。 「減磁し入室可能になるまでは今から５分程度ありますので、消火隊員は、落ち着いて、耐火服と空気呼吸器の着用及びCO2消火器の準備・点検をして管理室に待機してください。」 消火隊員以外の危機管理班員は準備の補助を行う。 消火隊：（坂本准教授、徳澤准教授、本島助教、小林（政）助教、渋谷係員、林課長代理）
18	９時１４分 緊急ガスパフの備え及び装置の停止の確	副実験責任者 （長壁准教授）	副実験責任者は、真空排気担当者とNBI担当者に緊急ガスパフの備えが完了したか、また各装置が停止しているかを確認し、実験責任者に減磁準備完了を報告する。
19	９時１４分 通常減磁の指示	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者、減磁準備完了を確認後、通常減磁を指示。 「本体室内本体上部6.5Uポート近傍において火災が発生しました。本体室に入室できるよう、これより中央制御卓より１Sを発報し通常減磁を行います。担当運転員は、１Sボタンを押してください。」 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
20	９時１４分 通常減磁の開始	現場責任者 （竹林運転員）	竹林運転員は、村田運転員に中央制御卓の１Sボタンを押すよう指示する。１S開始。
21	９時１４分 緊急ガスパフの確認	真空排気担当者 （鈴木係長）	真空排気担当者は、実験責任者に緊急ガスパフの確認を連絡。 「緊急ガスパフにより真空容器の真空は１Pa以上になりました。」 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
22	９時１５分 減磁開始の指示	実験責任者 （竹入教授）	コイル電源担当に減磁状況の報告を指示をする。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「減磁の確認をしてください。磁場が0.45テスラ以下になったら報告して下さい。」
23	９時１５分 減磁の開始の確認	コイル電源担当者	コイル電源担当者の報告（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「現在、減磁をしています。約２分後に磁場が0.45テスラ以下になります。」（磁場0.6Tの場合）

24	連絡通報	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、制御室連絡員Ａから警備・搬出班長に連絡させ、消防隊を本体棟へ誘導するように指示する（模擬）。制御室連絡員Ａは指示を受け、模擬なので警備・搬出班長に連絡しないで、しばらくして消防隊を誘導したと実験責任者に報告する。
25	９時１６分 遮蔽扉前集合の指示	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、制御室連絡員Ｂに指示する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「現場連絡員を本体室南側遮蔽扉前に集合させてください。指示するまで扉を開けないでください。」
26	９時１６分 現場との連絡体制	制御室連絡員Ｂ 現場連絡員	制御室連絡員Ｂは、防災無線にて、現場連絡員（古谷運転員、堀田運転員）に、本体室南側入り口に向かい待機するように指示する。 現場連絡員は、本体室南側入り口に配置完了したら、防災無線で、制御室連絡員Ｂに連絡する。
27	９時１７分 現場との連絡体制	実験責任者 （竹入教授） 制御室連絡員Ｂ	実験責任者は、制御室連絡員Ｂに、危機管理班長に対し、以下の注意を連絡するよう指示する。 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「指示があるまで本体室に入らないでください。、本体室入室可能になったら消火活動に入るよう指示します。危機管理班長は本体棟管理室に向かい、検査室の廊下側の扉も開けるなど準備を指示してください。」 制御室連絡員Ｂは、防災無線にて、危機管理班長に「指示があるまで本体室に入らないでください。、本体室入室可能になったら消火活動に入るよう指示します。危機管理班長は本体棟管理室に向かい、検査室の廊下側の扉も開けるなど準備を指示してください。」　指示連絡する。
28	９時１８分ごろ 消火作業準備完了の報告	危機管理班長 （米津課長）	危機管理班長は、危機管理班員（林隊員）から消火隊の昇華準備完了の連絡を受けてから、防災無線にて、制御室連絡員Ｂに消火作業の準備完了の報告をする。 「危機管理班員（消火隊員）の消火作業の準備は完了しまた。」
29	９時１８分 状況報告	コイル電源担当者	コイル電源担当は、実験責任者に報告する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「磁場が0.45テスラ以下になりました。」
30	９時１８分 本体室入室準備確認	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、入室禁止の解除を指示をする。　（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「磁場が0.45テスラ以下、真空は１Pa以上になりました。これでＸ線の発生する可能性は無くなりました。本体室への入室を許可します。入室禁止を解除してください。」 担当運転員は直ちに入室禁止解除操作を行う。解除が完了したら竹林運転員は実験責任者に解除の報告をする。さらに、実験責任者は、制御室連絡員Ｂに指示する。 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「危機管理班長に本体室入室許可を伝えてください。」
31	９時１９分 現場との連絡	制御室連絡員Ｂ	制御室連絡員Ｂは、防災無線にて危機管理班長に本体室入室許可を伝える。
32	９時１９分 本体室入室の連絡	危機管理班長 （米津課長）	危機管理班長は、現場運転員連絡員に本体室南側遮蔽扉を開けるように指示する。
33	９時２０分 本体室内で出火状況の確認	危機管理班長 （米津課長）	危機管理班長は、本体室南側遮蔽扉付近に陣取る。危機管理班員（消火隊員）に、本体室南側扉より入室を指示し、本体上部の6.5Uポート近傍で出火の場所と状況を確認させる。林（課長代理）隊員から逐次隊員の活動の状況と出火現場の状況の報告を無線にて受ける。
34	９時２２分 本体室内で出火状況報告	危機管理班長 （米津課長）	危機管理班長は、防災無線にて、制御室連絡員Ｂに出火状況を報告する。 「6.5UポートのＬＩＤコイルより出火しています。ＬＩＤの電源遮断をお願いします。出火は小規模で、消火可能と思われます。」
35	９時２２分 本体室内で出火状況報告	制御室連絡員Ｂ	制御室連絡員Ｂは、実験責任者に出火状況を報告する。 「危機管理班長からの報告です。6.5UポートのＬＩＤコイルより出火しています。ＬＩＤの電源遮断を依頼されました。出火は小規模で、消火可能とのことです。」 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
36	９時２２分 LID電源の状況確認	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、LID電源担当者に電源遮断を指示する。 「直ちに、LID電源を遮断してください。」 （制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
37	９時２３分 LID電源遮断済みの報告	ＬＩＤ電源担当者	ＬＩＤ電源担当者は、遮断機操作済み（模擬）の報告をする。 「LID電源は、既に、非常停止操作により電源を遮断してあります。」（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
38	９時２３分 消火の指示	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、制御室連絡員Ｂに、危機管理班長にLID電源は既に遮断されているので直ちに消火活動に入るよう連絡させる。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用）
39	９時２３分 消火の指示	制御室連絡員Ｂ	制御室連絡員Ｂは、防災無線にて危機管理班長に消火の指示。 「LID電源は既に遮断されています。直ちに消火活動に入ってください。」
40	９時２３分 消火状況のアナウン	副実験責任者 （長壁准教授）	副実験責任者は、マイクを使用し制御室内にアナウンスする。 「危機管理班長からの報告です。これより危機管理班員（消火隊員）により、消火活動にはいります。」
41	９時２５分 消火完了	危機管理班長 （米津課長）	（模擬）危機管理班長は、消火隊にCO2消火器で消火開始を指示。鎮火後、防災無線にて、制御室連絡員Ｂに鎮火の報告をする。 「火炎は無くなりました。鎮火（９時２５分ごろ）と判断します。周囲の確認をしつつ管理室に戻り、装備をはずします。危機管理班に負傷はありません。」
42	９時２５分 消火完了の報告	制御室連絡員Ｂ	制御室連絡員Ｂは、実験責任者へ危機管理班長の鎮火の報告をそのまま連絡する。（制御室内への状況アナウンスを兼ねマイクを使用） 「火炎は無くなり、鎮火（９時２５分ごろ）と判断します。危機管理班員（消火隊員）は管理室に戻り、装備をはずします。危機管理班員（消火隊員）に負傷はありません。」
43	９時２６分 統括管理者に鎮火報告 各機器の状況確認	実験責任者 （竹入教授）	実験責任者は、防災センターに待機している統括管理者へ電話で報告する。 「本体室内本体上部6.5Uポート近傍において、火炎は９時２５分ごろ鎮火しました。危機管理班にも負傷はありません。」 「工作班並びに各機器担当は各機器の確認をしてください。」
44	９時２６分 関係各所に報告依頼	統括管理者 （飯間部長）	統括管理者は、防災センター担当者に防火・防災管理者（戸松課長）に報告するよう指示。 「大型ヘリカル実験棟１階本体室での火炎は、９時２５分ごろごろ鎮火しました。負傷者もありません。関係各所に通報をお願いします。」
45	９時２７分 関係各所に報告	防災センター	防災センター担当者は、防火・防災管理者（戸松課長は所外なので緊急連絡網により連絡する。）に報告する。 「訓練です。大型ヘリカル実験棟１階本体室での火炎は、９時２５分ごろ鎮火しました。負傷者もありません。関係各所に通報をお願いします。」
46	９時３０分ごろ 各機器の状況確認	各機器担当者	各機器担当は各機器の確認の結果（異常無し）を竹入実験統括（実験責任者・工作班長）に報告。
47	９時３２分 最終報告	実験責任者 （竹入教授）	統括管理者へ報告 「大型ヘリカル実験棟１階本体室のLHD上部のLIDコイルの火災は、９時２５分ごろ鎮火しました。他の機器への類焼等はありません。危機管理班に負傷はありません。」
49	９時３２分 報告・解散	統括管理者 （飯間部長）	統括管理者による全館放送（大型ヘリカル実験棟・制御棟のみ） 「本体室の火災は危機管理班による消火されました。自衛消防活動の終了を宣言します。」 危機管理班長へ、危機管理班長は消防と連携するよう指示する。
50	９時３３分 訓練終了放送	実験責任者 （竹入教授）	制御室内でＬＨＤ及び制御棟内に一斉放送で「訓練の終了」を告げる。

5.6.3 安全管理責任者の養成

重水素実験を進めるに当たっては、プラズマについての知識ばかりでなく、装置に対する知識、安全に対する知識が必要である。特に重水素実験では、中性子・トリチウムの発生、中性子による放射化が起こり、従来の軽水素を用いた実験にはない安全に対する配慮、対応が要求される。そこで研究所では、できるだけ多くの研究者、技術職員に放射線に関する知識を身につけてもらうため、毎年数人に「第1種放射線取扱主任者」の資格取得を奨励している。これまでに8人が合格して資格を取得することができ、既存の有資格者を含めると、研究職員に9人、技術職員に7人の有資格者を有している。また、今年度学科試験に合格した者が 9 人おり、技術研修を受けると資格を得ることができる。今後も、有資格者を増やしていく予定である。

中性子と一緒に発生するトリチウムは、最大 18.6 keV，平均 5.6 keV の低エネルギー β 線を放出する水素の同位体である。放出されるのはエネルギーの低いベータ線なので外部被ばくはほとんど問題とならないが、分子状水素だけでなく、水蒸気状、炭化水素状などのさまざまな化学形態で存在するため、体内に取り込み内部被ばくを起こさないように注意する必要がある。従って、トリチウム対策で重要なのは、トリチウムを容器などで閉じ込め、システム外部へ拡散漏洩させないことである。重水素を用いたプラズマ実験では、トリチウムは真空容器内部で生成されるため、真空容器自体が閉じ込め容器となるが、機器をポートから取り外したり、取り付けたりする場合、真空容器内で作業をする場合などは、真空容器内に残留している可能性のあるトリチウムに接する可能性がある。そのため、そういった作業を行う者は、トリチウムを安全に取り扱う知識と、経験が重要となる。そこで、昨年度からトリチウムを取り扱った研究を行っている富山大学水素同位体科学研究センターとの研究連携の一環として、トリチウム安全取扱い研修を実施している。研修の内容は、トリチウムに関する知識と、放射線予防規定に関する講義、実際にトリチウムを取り扱っている装置を用いた、トリチウム計測、トリチウム除染、安全なポート作業の実習であり（図 5.6.3-1 参照）、修了者には、センターから修了証が授与される。これまでに 17 人が研修を修了している。

図 5.6.3-1 トリチウム取扱い研修のカリキュラム

5.7 安全管理計画のまとめ

(1) 安全管理に関する基本的な考え方は、地元の意見も踏まえた重水素実験実施計画の策定に際して、妥当なものか。

・安全管理に対する基本的な考え方は、法令より厳しい研究所管理値を設定するなど、一般的に放射線を取り扱う施設の基準としては過剰であるとも考えられるが、公害調停案や地元の意見を踏まえたもので、重水素実験安全評価委員会からも、「研究所の提案している管理目標値は、法令の規定する値より十分に低い値になっているが、法令の規定以下の微量な放射線を対象とすることにより、安全管理を目的とした微量放射線測定器の開発及びその測定手法の確立へ向けた研究が促進される。」として妥当であると評価されている。

(2) 安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

・重水素実験では中性子、トリチウムが発生し、さらに中性子により構造物が放射化し二次的にガンマ線を発生する。重水素実験を安全に遂行し、維持管理するためには、発生する中性子の量を、計算機コードによる予測ばかりでなく、正確に計測することが肝要である。そのため、核分裂計数管を用いて中性子の発生量を測定する。また、より正確さを得るために、カリホルニウム線源を用いて絶対値校正を行う。
・重水素実験は、発生する中性子量により制限し、年間最大発生量を超えないように計画している。
・中性子およびガンマ線に対する防護は、DORT および FISPACT コードを用い、遮蔽物や貫通孔を考慮した計算により評価している。貫通孔は、できるだけ線量を低減するために、ポリエチレンにより空隙を埋める処理を行っている。
・発生する放射線および、トリチウムが外部に及ぼす影響を管理するため、法令の基準より厳しい値を研究所の管理値として設定し、換気設備、排水設備、計測設備、および放射線計測装置の整備を行った。
・放射性の廃棄物は、日本アイソトープ協会(RI 協会)に従った分別を行い、RI 協会に処理を依頼する。
・トリチウムの環境への排出量を低減するためにトリチウム除去装置が設置され、放出濃度は法令の 1/25 で管理する。トリチウム除去装置から出る、トリチウムを含む水は 3 重に梱包され、それらを防水処理された深い槽に保管するなどして、安全に配慮している。また、環境への影響をモニターするための種々の測定器が設置している。これらは、現在すでに稼働しており、重水素実験前のバックグラウンドデータの取得を行っている。
・研究者がトリチウムに接触する可能性のある作業をする場合の手順を設定し、トリチウムによる汚染の低減を図っている。さらに、後述のトリチウム安全取扱い講習を実施し作業者の安全を図っている。
・放射線の管理区域は、出入口を一か所とした一元管理により、不用意な放射汚染の拡大

を防止している。また、更衣室、汚染検査室、除染室等は、人の導線を考慮して配置している。各部屋の鍵は電気錠として、開閉は管理室で管理している。
・放射線に関する測定器、排気・排水設備状態、電気錠等の状態は「放射線総合監視システム」に取り込まれており、一か所で表示、管理ができる。これらのデータは LHD のインターロックにも組み込まれて、安全を図っている。

(3) 重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

・従来の労働基準法に則った安全に関する規則のほかに、重水素実験の開始に当たり、労働安全衛生法、原子力基本法、国民保護法に則った規則の変更、制定を進めている。
・「核融合科学研究所放射線障害予防規程」は、平成16年の法人化に伴い放射線発生装置に係る規定として監督官庁に届けられているが、重水素実験では、校正用密封線源と第一壁試料等の放射性同位元素を使用することから、本規程の変更を行った。重水素実験を進めるために整備される各種のマニュアルはこの規程を最上位に位置づけ整合性を確認しながら整備を進めている。
・トリチウムに接触する可能性のある作業である真空容器作業、ポート作業に関して、作業手順を規定して作業安全を図っている。真空容器内作業については、真空容器に出入りするための「管理出入口」を設け、トリチウムの汚染を外部に広めないようにしている。
・敷地境界、トリチウムの排気・排水に関して、核融合科学研究所が独自に研究所管理値として管理値を設定して安全を図っている。また、中性子発生量、トリチウム発生量、環境放射線量などにも基準値を設定し、これらの値を担保するための測定方法、策定場所等を定め、可能な測定機については、重水素実験前のバックグラウンド値の計測を進めている。
・放射性物質による管理区域外の汚染防止のため、放射化物は、非密封線源に準じた管理を行う。
・緊急事態の発生時においては、地元自治体へ通信手段確保、通報事項等を定め、データの公開を図っている。

(4) 運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

・本体室及び本体室地下に設置した機器は、重水素実験開始後は、これらの機器は全て放射線管理区域内に設置されることから、機器毎に重水素実験に対応した形の「放射線安全管理マニュアル」、「LHD運転マニュアル」及び「放射線・装置管理区域管理マニュアル」の整備を進めている。各マニュアルは、LHD高性能化機器設計グループにより作成されたひな形に沿ってフォーマットの揃った形式で整備されている。
・「放射線・装置管理区域管理マニュアル」は、放射線源の取扱い、放射線を発生する装置、LHDが運転していない時にも運転して放射線を発生する装置について書かれたマニュアル

で、非実験時にも安全管理ができるように整備されている。
・重水素実験時の緊急時・災害時の対応に関しては、従来の防災マニュアルとの整合性を加味して、緊急時の連絡体制、防災体制、実験時の責任分担等の整備を進めている。特に、重水素実験開始後の緊急マニュアルでは、RI 保管施設、トリチウム除去装置を最優先に点検し、必要であれば措置を行うことにより、放射線やトリチウムに関する安全を確保している。本体室への入室に関しては、本体室内に留まることが可能な時間を確認するなどして、作業者の安全を確保している。

(5) 重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

・核融合科学研究所の安全管理体制は、労働安全衛生法に基づき、所長が総括安全衛生管理者として総括管理し、その下に安全管理者、衛生管理者、産業医をおいてそれぞれが安全管理、衛生管理、健康管理を担当している。その他に指名された数名の安全衛生委員を加えて安全衛生委員会を組織し、月に一度会合を開いて安全衛生に関することを審議している。また、この委員会により指摘された事項を実施する組織として、所長の下に安全衛生推進部が設置されている。その中に 10 の室が設けられており、安全衛生水準の向上と労働災害防止を図っている。
・重水素実験開始後は放射線管理室を拡充して安全管理に当たる。放射線管理室の他に管理部門としての放射線安全委員会(予定)を設置する。また、独立した第三者組織として、安全監視委員会(予定)が地元自治体により設置され、安全監視にあたる。
・各種モニター機器の監視及び保管廃棄室の管理は、放射線総合監視システムの機能の一部であり、実験期間である、なしにかかわらず 24 時間体制で行われる。異常がある場合は、緊急連絡網に従い、必要な人員を招集して対応にあたる。

(6) 重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

・重水素実験が開始された後の教育訓練体制もこれまでと同様に、初めて入域する者の教育訓練として、新規講習会および現場教育を実施し、継続者の教育訓練として更新講習会を実施する。ただし、新規講習会については、非密封 RI の取扱施設となるため密封されていない放射性同位元素を用いた実習を組み込んだ 2 日間にわたる新規講習会を実施する。
・緊急事態に対応する訓練は、現在、研究所全体での防災訓練を年 1 回、関係自治体との通報訓練も兼ね、土岐南消防署の参加を頂いて実施している。また、LHD では、実験期間中に火災、地震等を想定して、最低年 1 回、消火訓練を実施している。
・放射線関係は、自衛防災隊の工作班に、放射線管理室が組み込まれており、放射線の業務分担に従って対応する。重水素実験に向けては、訓練の回数を増やし定期的に行うことにより訓練の熟度を上げるとともに、必要な取り組みを可能な範囲で行う計画となっている。
・安全管理責任者の養成に関しては、できるだけ多くの研究者、技術職員に放射線に関する知識を身につけてもらうため、毎年数人に「第1種放射線取扱主任者」の資格取得を奨励

している。これまでに8人が合格して資格を取得することができ、既存の有資格者を含めると、研究職員に9人、技術職員に7人の有資格者を有している。また、今年度学科試験に合格した者が9人おり、技術研修を受けると資格を得ることができる。今後も、有資格者を増やしていく予定である。

・中性子と一緒に発生するトリチウムについては、機器をポートから取り外したり、取り付けたりする場合、真空容器内で作業をする場合などに、トリチウムに接する可能性がある。そういった作業を安全に遂行するためには、トリチウムを安全に取り扱う知識と、経験を身につけたものが責任者となる必要がある。そのような責任者を育成するため、昨年度からトリチウムを取り扱った研究を行っている富山大学水素同位体科学研究センターとの研究連携の一環で、トリチウム安全取扱い研修を実施している。研修の内容は、トリチウムに関する知識と、放射線予防規定に関する講義、実際にトリチウムを取り扱っている装置を用いた、トリチウム計測、トリチウム除染、安全なポート作業の実習であり、修了者にはセンターから修了証が授与される。これまでに17人が研修を修了している。

付録 1. 「調停案」の全文

1 趣旨(1)

本件に関する経緯 本件調停申請は、文部科学省核融合科学研究所(以下「核融合科学研究所」という。)が計画している重水素実験(以下「D－D実験」という。)の中止を求めるものである。

核融合科学研究所は、「核融合プラズマに関する学理及びその応用の研究」を目的として、平成元年5月に名古屋市に設立され、その後、平成9年7月に現在の土岐市に移転したものである。土岐市への移転に関しては、核融合科学研究所より住民に対して、トリチウムを持ち込まないこと及びトリチウムを使用した核融合実験(以下「D－T実験」という。)は行わないことを説明している。また、その発行するパンフレット等においても、トリチウムを使用した核融合実験は行わないことを明らかにしている。

ところで、D－D実験とは、重水素(D)を用いて核燃焼に至らない段階における高温プラズマの閉じ込め性能を改善することを目的として、重水素プラズマに、高エネルギーの重水素のビームを入射して行うものである。その際、陽子とトリチウムができる核融合反応及びヘリウム3と中性子ができる核融合反応の2つの核融合反応がほぼ同じ確率で起きるとされている。また、これら核融合反応によってできたトリチウムの一部は副次的に再び重水素と反応し(DT反応)、ヘリウムと中性子ができるとともに、ヘリウム3の一部も副次的に再び重水素と反応し、ヘリウムと陽子ができるとされている。

申請人らは、核融合科学研究所は、D－D実験に伴いトリチウムが発生することを隠し続け、多くの住民をしてD－D実験はトリチウムとは無関係であると錯覚させ、実際には上記の副次的反応を利用してトリチウムを使用することになる実験を実施しようとするものであって、トリチウムは使用しないとの移転時の約束に反していると主張する。

また、申請人らは、D－D実験において発生するトリチウム及び中性子について、トリチウムは、その除去、保管が技術的に極めて難しい物質であり、気体ないし下水として研究施設の外への漏出が避けられず、また、中性子は、厚い壁によって遮蔽するにすぎず、何らかの事故等が起きれば、研究施設の外に漏出して申請人らに健康被害を及ぼす危険性があるとともに、中性子によって放射化された物質によっても申請人らに健康被害が生じる危険性があること等を指摘している。

これに対し、核融合科学研究所は、D―T実験とは、既に米国やヨーロッパで行われているトリチウムを燃料に用いた核燃焼実験を意味し、他方、前記のD－D実験は、核燃焼に至らない段階における高温プラズマの閉じ込め性能の改善を目的とするものであること、また、1992 年3月に核融合科学研究所が発行したレポート等において、実験に伴って発生するトリチウムの量、副次的に起こるトリチウムと重水素との核融合反応及びその他起こると予想される放射線や放射能の諸問題について明らかにしていること、核融合科学研究所のD－D実験の結果、環境に出るトリチウムの影響は自然界の放射線レベルの1億分の1程度であること、中性子に関しても、万一遮蔽壁に破損等の機能障害が生じた場合には、自動的にプラズマ実験を即時停止させることができ、その後はD－D反応が継続することはないため、

大量の中性子が外部に放散され続けて被害が生じるおそれはないこと、Ｄ－Ｄ実験で発生する中性子によって装置の一部は放射化するものの、そのレベルは低く、健康被害が生じる危険性があるようなものではないこと等を主張している。

（２）調停の趣旨

本調停が申請されるに至るまでの間、核融合科学研究所は、Ｄ－Ｔ実験は行わないと説明する一方、Ｄ－Ｄ実験に伴ってトリチウムが副次的に発生することについて明確に十分な説明を行わなかったことなど、周辺住民への説明や対応に不十分な点があり、これによって核融合科学研究所に対する申請人ら周辺住民の不信感が生まれ、その不信感がＤ－Ｄ実験への不安を一層大きくしたものと認められる。最近、核融合科学研究所は、情報公開等に積極的に取り組んでいることが見て取れるが、未だ申請人ら周辺住民の不信感を払拭するには至っておらず、その不安は依然として大きいものと言わざるを得ない。

一方、調停手続の過程で、核融合は核分裂とは異なり、燃料の注入を停止すれば核融合反応は停止し、反応が暴走することはないこと、Ｄ－Ｄ実験に伴い発生するトリチウム及び中性子の環境への影響は、自然界における変動の範囲内にとどまるものであること、地震等の災害時には実験を即時停止する制御システムが導入される計画であること等が示されるとともに、核融合科学研究所より、当初計画を変更して、年間に発生するトリチウム及び中性子の最大量を当初計画から大幅に削減し、既にＤ－Ｄ実験を実施している日本原子力研究所那珂研究所におけるものと同程度に抑制する用意があるとの考えが示されたところである。

本調停委員会は、Ｄ－Ｄ実験の実施に当たっては、核融合科学研究所において行き届いた安全対策を確実に実施することはもとより、情報公開を徹底し、地元自治体及び申請人らを始めとする周辺住民に対して十分な説明責任を果たすとともに、地元自治体及び公正中立な第三者である学識経験者による安全性審査への一定の関与を担保することにより、周辺住民の生命及び身体の安全性の確保に万全が期され、また、本調停を通じ申請人らと核融合科学研究所との信頼関係が醸成されて、申請人らが本件地域で生活をする上での安心感が回復されることを期待して、以下の事項について調停することとする。

２　調停条項

核融合科学研究所は、Ｄ－Ｄ実験等に関して次の措置をとるものとする。

（１）Ｄ－Ｄ実験を開始する際の措置

１　核融合科学研究所は、Ｄ－Ｄ実験を開始するに当たっては、安全性を確保するため、Ｄ－Ｄ実験により発生するトリチウムの除去・処理・処分（運搬を含む。）、中性子の遮蔽、放射性廃棄物の管理、周辺環境の監視・測定及び地震その他の災害時の対応・体制に関する計画（以下「実験安全管理計画」という。）を作成することとし、その際には、関係する地元自治体（岐阜県、土岐市、多治見市、瑞浪市及び笠原町をいう。以下同じ。）及び公正中立な第三者である学識経験者を構成員とする技術評価会（仮称）を設置し、その

意見を尊重するものとする。

2 核融合科学研究所は、D－D実験を開始することについて、地元自治体の同意を得るものとする。この場合において、核融合科学研究所は、地元自治体の議会の要請に応じて、当該議会に対してD－D実験の開始及び実験安全管理計画についての説明を行うものとする。

3 核融合科学研究所は、上記2の地元自治体の同意が得られた場合には、速やかに、申請人らに対してD－D実験の開始及び実験安全管理計画について説明を行うものとする。

4 核融合科学研究所は、D－D実験の開始に当たっては、法令に基づく文部科学大臣の検査を受けることに加え、本格的実験に先立って予備的実験を行うこととし、それによって、コンクリート遮蔽壁、トリチウム除去装置及び周辺環境監視装置等が所期の性能を発揮し、かつ、所定の安全性確保上の態勢も十分機能していることを確認し、その結果を公表するものとする。

（２）各年度においてD－D実験を実施する際の措置

1 核融合科学研究所は、各年度におけるD－D実験の開始時期及び終了時期を地元自治体及びその議会に通知するとともに、公表するものとする。

2 核融合科学研究所は、D－D実験による年間の最大発生量を、トリチウムは1．5キュリー、中性子は$3．2\times10^{19}$個以内にとどめることとし、その旨を、法令に基づく文部科学大臣への許可申請の際に明記するものとする。

3 核融合科学研究所は、D－D実験を実施する際には、トリチウム及び中性子の発生量を測定し、測定結果（当該年度の累計発生量を含む。）を速やかに公表するものとする。

4 核融合科学研究所は、トリチウムの回収・保管量、処分量及び処分方法を定期的に公表するものとする。

5 核融合科学研究所は、地震等災害の発生その他周辺環境に影響を及ぼすおそれのある事態が発生したときは、D－D実験を速やかに停止し、その旨を地元自治体に通知するとともに、公表するものとする。この場合において、D－D実験の再開を決定するに当たっては、実験施設・装置等の損傷の有無及び補修内容等を明示して安全性を確認した上で、地元自治体と協議するものとする。

（３）その他安全性の確保に関する措置

1　核融合科学研究所は、関係法令を遵守することはもとより、放射性廃棄物運搬車両を含め、Ｄ－Ｄ実験に関する研究施設、設備等の全般にわたって安全性の確保に万全を期すとともに、トリチウム、中性子及び放射性廃棄物の管理技術の向上等を通じて安全性の向上に努めるものとする。

2　核融合科学研究所は、周辺住民の安全性を確保するため、地元自治体から報告の聴取又は研究施設への立入調査の申出があった場合には、これに協力することとし、その際に、地元自治体からの要請に応じて、地元自治体が指名する者の立会を認めるものとする。

（４）Ｄ－Ｔ実験の禁止

核融合科学研究所は、将来においても、本件地域でＤ－Ｔ実験を実施しないものとする。

付録 2.「核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会最終報告」 まとめ

以上のことにより、研究所が計画している重水素実験の安全管理は妥当なものである。ただし、今後の安全管理計画の策定には以下の事項に留意することが必要である。

- 放射線の安全性の監視には精度の高い測定が欠かせない。このために、核分裂計数管などの高精度の測定器及び較正用線源として、トリチウム、カリフォルニウムなどの放射性同位元素の購入・使用が必要である。
- 研究所の提案している管理目標値は、法令の規定する値より十分に低い値になっており、計画している安全設備は通常の放射線管理からは過剰設備ともいえる。しかしながら、法令の規定以下の微量な放射線を対象とすることにより、安全管理を目的とした微量放射線測定器の開発及びその測定手法の確立へ向けた研究が促進される。それを含めて、微量放射線に対する管理システムの構築及び運用は、将来の核融合炉へ向けた安全管理研究に対して、大学共同利用機関として優れた研究と教育の機会になるといえる。このように微量放射線に関する基礎研究に貢献することを考慮すると、必要な設備と見なすことができる。これらのバランスを考慮して、適切な安全設備を構築すべきである。
- 重水素実験の実施に際しては、情報公開を十分に行い、自治体関係者、地域住民及び学識経験者等の第三者により監視を行う組織の設置を検討すべきである。
- 研究所は地元への報告と説明会を定期的に行い、信頼の確保に努めるべきである。また、今後、重水素実験の実施に向けて、地元自治体と周辺環境保全に関する協定を早期に締結し、地域住民の重水素実験に対する安全・安心に関する信頼を確保することが望まれる。

委員会は、研究所が本報告に基づき安全管理計画を誠実に実施することにより、広く社会的な支持を得ながら重水素実験を進めることを希求する。

以上

6. 社会の理解

6.1 理解の増進

6.1.1 市民説明会

核融合科学研究所では、核融合研究の進展状況と研究所の重水素実験を含めた研究計画について、地元市民の方々の理解を得るため、平成 18 年度から毎年 6 月から 8 月にかけて、地元三市（土岐市・多治見市・瑞浪市）の小学校校区を基本とする公民館等において、市民説明会を開催している。（図 6.1.1-1）



図 6.1.1-1 市民説明会の様子

開催にあたっては、地元三市の区長会（連合自治会）に案内チラシの全戸配布又は回覧等の協力を得ており、説明会では、エネルギー・環境の問題、LHD における研究の進捗状況、LHD 実験の必要性とその安全性、核融合発電の仕組みと実用化に向けた展望などを約1時間で説明し、その後参加者からの質問の時間を設けている。研究所の設立経緯や将来について、様々な事象に対する LHD の安全対策について、核融合発電の仕組みと安全性について、現在の予算と今後の見込みについてなど、質問は詳細に及び、会場によっては質疑応答の時間が１時間近くとなることもあるが、最近の説明会では、核融合発電の早期実現へ向けた期待の声もたくさんいただいている。

説明会では、できるだけ分かりやすく、また、ていねいに説明するように努めてきており、参加者数は、東日本大震災後にあたる平成 23 年度の説明会を除き、ここ数年、概ね 400 名半ばで推移している（図 6.1.1-2）。なお、参加者数は、平成 26 年度までの 9 年間で、延べ 4,190 名となっている。

回を重ねるごとに核融合研究の必要性と重水素実験計画の安全性について多くの市民の理解が得られてきており、この積み重ねの結果が、平成 25 年 3 月 28 日の岐阜県及び三市との協定書等の締結につながったと考えている（6.2.1 にて後述）。今後も核融合科学研究所は、市民の方々のより一層の理解が得られるよう、地元三市での説明会を開

催して行く予定である。なお、説明会での資料と質問と返答の概要は、毎年度、説明会終了後、研究所のホームページで公開している。

participants / FY	Toki City		Tajimi City		Mizunami City		Total	
	times	participants	times	participants	times	participants	times	participants
2006	9	126	14	129	1	37	24	292
2007	9	329	14	89	1	36	24	454
2008	9	288	20	125	1	25	30	438
2009	9	306	15	150	1	17	25	473
2010	9	296	14	157	1	19	24	472
2011	8	504	14	232	1	34	23	770
2012	8	338	14	163	1	44	23	545
2013	8	236	14	152	1	49	23	437
2014	8	120	14	147	1	42	23	309
Total	77	2,543	133	1,344	9	303	219	4,190

図 6.1.1-2　市民説明会の参加者数

6.1.2　広報活動

核融合科学研究所では、核融合研究の進展状況と研究所の重水素実験を含めた研究計画について、地元市民の方々を中心とした国民の理解を増進することを目的として、先述した市民説明会の開催に加えて、様々な広報活動を展開している。主な活動としては、ホームページを活用した安全情報の公開と、広報誌の発行、地元へのアウトリーチ活動が挙げられる。

(1)ホームページを活用した安全情報の公開

研究所では、ホームページのトップページに「重水素実験について」及び「安全情報公開」のバナーを設置している。

「重水素実験について」のページにおいては、重水素実験の概要や安全性等について掲載するとともに、重水素実験の安全管理計画について審議することを目的として平成 18 年度に設置した、第三者からなる「核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会」に関する情報を公開している。内容は、これまでに 10 回開催された同委員会の審議概要、安全管理計画を妥当であるとの評価を示した最終報告書、東日本大震災を受けて再検討された安全管理計画に対する審議のまとめ等である。さらに、先述の市民説明会で地元市民の方々から寄せられた質問とその返答の概要や、説明会の資料についても、当該ページに掲載している。このように重水素実験に関する情報を一つの Web ページに集約して提供することで、

研究所が計画する重水素実験について、地元市民の方々を中心とした国民が理解を深めることができる環境を整備している。

また、「安全情報公開」のページにおいては、市民の方々から研究所や核融合研究に関する情報や質問を受け付け、これに対する研究所の回答を Q&A として掲載している。この Q&A のページは、研究所が、核融合研究とその安全性に関して、市民の方々との『相互の理解』と『ふれあい』を深めながら研究を進めていくことを目指して開設されたもので、過去に寄せられた質問とその回答を含め、現在は計 60 件の Q&A が公開されている。なお、研究所のホームページを閲覧される市民の方々のために、「一般の方へ」のページには、研究所や核融合に関しての用語解説を掲載している。

(2) 広報誌の発行

研究所が発行する刊行物には、各年度で作成する研究所パンフレットや、隔月で最新の研究情報や研究所の活動に関するトピックス等を届ける NIFS ニュース等がある。さらに、エネルギー問題や重水素実験の必要性と安全性について分かりやすく説明することを目的として、平成 18 年度から「エネルギーパンフレット」を作成している。当該パンフレットは、市民の方々のご意見などを基にできるだけ分かりやすい内容となるよう、ほぼ毎年度改訂を行い、市民説明会の参加者や研究所の見学者に配付している。

また、地域の方々に研究所の活動を分かりやすく紹介することを目的として、平成 20 年度から広報誌「プラズマくんだより」(図 6.1.2-1) を隔月で発行している。この広報誌の紙面は、研究所の現状をレポートする「LHD NOW」、プラズマや核融合に関する研究を分かりやすく解説する「ふゅーじょん」、エネルギー問題等の地球環境について読者の啓発を促す「あしたの地球 テラ・ストーリー」等の記事で構成される。掲載された記事に関連する三択クイズを出題する「クイズ DE プラズマ博士」のコーナーには、メールや葉書き等により毎号約 10 件の応募があり、クイズへの応募と併せて、読者から、「文章が平易で読みやすく、分かりやすい」、「核融合は馴染みのない世界だったが、市民目線で紹介する記事があって良い。最近研究所のホームページを見るようになった」等の感想が寄せられている。現在の発行部数は約 6,000 部 (イベント配付用の増刷分は除く) であり、市民説明会等のイベント参加者に配布するとともに、新聞折り



図 6.1.2-1 広報誌「プラズマくんだより」

込みによって近隣の下石町・滝呂町の方々に広く行き渡ることで、研究所の活動に関する市民の理解の増進を図っている。

(3)地元へのアウトリーチ活動

核融合科学研究所では、地元から依頼によりお祭り等の地域イベントで科学実験教室等の出展(図6.1.2-2)を行うとともに、地元の小学校や公民館等の要請に基づいて工作教室等を実施(図6.1.2-3)している。平成25年度においては、地元の児童を対象とした科学実験教室を6回、近隣地域の理科工作教室等への協力を29回実施することで、延べ約1,100名の児童の理科教育に貢献した。

理科工作教室は、地元の児童生徒を対象としており、公民館や児童館に研究所の職員が出向いて、工作の指導を行うものである。工作するものは、複数のギアとモーターを使用してリモコン操作できる「歩行ロボット」、偏光板で仮想の壁を見せる「通り抜けできる壁の家」、LEDを用いた「星空万華鏡」、紙コップと圧電素子を使った「シャカシャカ発電機」等、多彩である。これらは全て、研究所の広報担当者が部品等を手作りで準備した研究所のオリジナルである。参加した児童生徒からは、「自分の好きなデザインで、世界に1つだけのロボットを作れて嬉しかった、また作りたい」、「研究所のオープンキャンパスにも行ってみたい」等の感想を添えたお礼状が届くこともあり、非常に好評である。

科学実験教室は、地域イベントの会場に研究所の職員が出向いて、実演等を行うものである。液体窒素を用いた「アイスクリーム作り」や、オープンキャンパス(後述)での人気のある「真空実験」、電子レンジを用いた「火の玉実験」等に加え、ブーメラン作りやロボット操縦で楽しむ「科学遊び」という企画もあり、地域イベントだけでなく、地元の幼稚園にも出向いて実施している。

これらのイベント等の当日には、児童生徒だけでなく、同伴として保護者の参加があるため、理科教育への支援に加え、研究所の活動等について地元の理解を広げる上で、重要なアウトリーチ活動となっている。



図 6.1.2-2 地域イベントでの科学実験教室「真空実験」の実演



図 6.1.2-3 地元の文化会館での理科工作教室「歩行ロボット」の様子

6.2 自治体との連携

6.2.1 協定書の締結

核融合科学研究所は、大学共同利用機関として平成元年に設立され、平成 16 年の国立大学の法人化に伴い、大学共同利用機関法人自然科学研究機構の研究所に再編された。研究所は設立時より、東濃研究学園都市構想の一翼を担う施設として位置づけられている。

研究所の立地については、「D-D 実験（重水素実験）の段階までしか行わない。放射性物質であるトリチウムを使用した実験は行わない」ことで進められてきたが、平成 9 年 4 月に「D-D 実験においても、副次的に微量のトリチウムが発生する」ことが研究所より言及されたことにより、地元市民に不安感を抱かせることとなった。

そこで、地元市民の不安を払拭し、関係自治体と研究所の責務を明らかにするため、協定書を締結することとし、土岐市、多治見市、瑞浪市及び当時の笠原町を含む 3 市 1 町が中心となって、平成 10 年 2 月から研究所と協議しながら、その内容の検討が行われた。その結果、平成 12 年 4 月に岐阜県も参画する「核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する協定書（以下、「協定書」という）」（案）がまとまった。そして、三市一町の議会や市民に協定書（案）が提示された。

ところが、研究所の D-D 実験に反対する一部の市民の方々が、協定締結に反対し、平成 13 年 5 月に、申請人（土岐市等の住民）が、研究所の D-D 実験中止を求めて、岐阜県公害審査会に申請したことなどから、協定の締結作業が実質的に中断した。そして、平成 15 年 10 月に公害等調整委員会より調停案が出され、研究所は受託、申請人は受諾せず、調停は不調に終わり、それ以降も協定の締結作業は中断したままだった。

その後、研究所は、平成 18 年から毎年夏に土岐市、多治見市、瑞浪市の三市の公民館等で市民説明会を開催して、研究所の行う研究活動と重水素実験計画についての説明を行うとともに、平成 19 年には、第三者からなる「核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会」に重水素実験の安全性についての審議を諮問し、「研究所が計画している重水素実験の安全管理は妥当」との最終報告を得た。

そうした経緯の中、研究所は地元市民と三市の議会に対して、引き続き重水素実験とその安全性についての説明を行い、その結果、特に近隣市民から一定の理解が得られたとして、平成 22 年 9 月 15 日付けで、三市に対して、協定書締結及び重水素実験開始の同意についての依頼書を提出した。それを受けて、三市はそれぞれの行政手続きを開始するとともに、東濃研究学園都市推進協議会連絡協議会で協定書（案）の協議を行い、平成 12 年 4 月公表の協定書（案）の内容を基本的に変更せず、追加する項目については別途覚書を取り交わすこととして、平成 23 年 2 月に協定書（案）及び「核融合科学研究所周辺環境の保全等に関する覚書（以下「覚書」という。）」（案）並びに協定書（案）第 9 条に基づく重水実験開始の同意書（案）の各案がまとまった。

三市では、協定書（案）等について、各市の市議会等での説明を行うとともに、多治見市ではパブリックコメント、土岐市及び瑞浪市では広報誌等に掲載を行い市民からの意見受付けを行っていたところ、同年 3 月 11 日に東日本大震災が発生した。

同年 6 月 21 日、三市は、研究所に東日本大震災を踏まえた、「重水素実験に係る安全確保のための確認事項(ありえない事態が発生した場合に安全が保てるか否かの説明等)」を照会、併せて市民説明会における同確認事項の市民への説明を求めた。

研究所では、三市の設問に対し、「ありえない事態が起きても安全を保てること」を回答するとともに、同年夏の市民説明会等で同確認事項に沿った説明を行った。

また、「核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会」に、東日本大震災を踏まえて再検討した安全管理計画の妥当性の審議を諮問し、平成 24 年 2 月に、「再検討された重水素実験の安全管理計画は妥当」との審議のまとめを得た。

研究所では、引き続き市民説明会等で重水素実験とその安全性の説明を行い、その結果、多くの市民の理解が得られたとして、同年 11 月 6 日付けで三市に協定書及び覚書の締結並びに重水素実験開始同意の依頼書を提出した。

これを受けて、三市は、これまでの協定書(案)及び重水素実験開始の同意書(案)に、研究所の安全管理計画の再検討等を踏まえて文言を追加した覚書の見直し(案)を作成し、同年 12 月から各市の市議会等で協定書(案)等の説明が行うともに、土岐市及び多治見市はパブリックコメント、瑞浪市は広報誌に掲載し市民の意見受付けを行った。

その結果、平成 25 年 3 月 22 日に、三市が協定書等締結と重水素実験開始について同意する方針を決定するとともに、三市から、岐阜県に対して協定書等の締結と重水素実験開始への同意について検討を依頼した。併せて、研究所から、岐阜県に対して重水素実験開始の同意について依頼した。

そして、同年 3 月 27 日に岐阜県が、研究所及び三市と協定書等を締結することを発表、研究所は、同年 3 月 28 日に岐阜県及び三市と協定書と覚書を締結、合わせて岐阜県・三市から重水素実験開始の同意を得た(図 6.2.1-1)。



図 6.2.1-1 協定書等に署名する左から古田岐阜県知事、加藤土岐市長、小森所長、古川多治見市長、水野瑞浪市長

協定書は、核融合科学研究所の研究推進にあたり、地域市民の方々の安全確保のため、研究所と地元自治体の間で双方の義務と権利を明文化したものであり、「関係諸法令等の遵守」、「周辺環境の監視・測定の実施等」、「事前説明」、「情報公開」、「立入調査」等の 10 条からなる。

また、覚書は、D-D 実験を含む重水素実験の開始にあたり、三市の市民の安全を確保するために取り交わされたものであり、「岐阜県・三市が設置・運営する安全監視委員会(※)への協力」、「研究計画等に変更があった場合の安全評価委員会による事前評価」、「地域住民に損害を与えた場合の保障」の 3 点、そして、研究所の安全管理計画の再検討等を踏まえて文言を追加した 2 点である「防災対策の定期的な安全監視委員会への報告」、「大規模災害等が発生した場合の状況の安全監視委員会が行う調査等への協力」の計 5 点からなる。

※ 研究所が安全管理計画に基づき適正に実験を行っているか、周辺環境に影響を及ぼしていないかなどについて監視、調査、審議する機関として岐阜県・三市が設置。

6.2.2 連携活動

研究所では、研究の安全性を確保することを最優先として、地元の理解を得つつ、研究を進めており、次のような地元自治体との連携活動を行っている。

(1)事前説明等

研究所では、平成 25 年 3 月 28 日の協定書締結前から、地元三市に対して、整備計画や研究計画等に大きな変更があった場合の事前説明、毎年の LHD プラズマ実験のスケジュール、安全対策及び実験目標等の事前説明並びに前年度の研究成果の報告等を行っている。岐阜県には、これまで随時事前説明や研究成果等の報告を行ってきたが、協定書締結後は、前述の地元三市への事前説明等と同様な形をとっている。これらは、協定書第5条で規定する「研究所は、研究施設の整備計画、研究計画及び研究内容並びにそれらに変更があった場合について、事前に岐阜県及び三市へ説明を行うとともに、研究成果等について定期的に報告を行うものとする。」に対応する。

また、外部有識者で組織する核融合科学研究所重水素実験安全評価委員会には、岐阜県・地元三市にオブザーバーとして参加願い、さらに岐阜県・地元三市との緊急時の連絡先を整備するともに、防災訓練の際は、地元自治体との情報伝達訓練を実施している。

なお、岐阜県・三市からの各種問合せ等に対する窓口を一元化するため、平成 18 年度には、管理部内に「対外協力室」を設置し、市民からの質問や意見等を一元的に受け付ける「地域連携室」との連携を図り対応している。

(2)土岐市プラズマ研究委員会との共同研究

核融合科学研究所は、これまで約 30 年にわたって土岐市教育委員会が組織するプラズマ研究委員会との共同研究に参加し、地域の環境放射線測定と放射線やプラズマの勉強会に積極的に取り組んでいる(図 6.2.2-1)。

土岐市プラズマ研究委員会は、大型ヘリカル装置（LHD）が立地する土岐市周辺の環境放射線の地域的分布・時間的な変動の特質を明らかにすることを目的として、広域的で継続的な観測に取り組んでいる。プラズマ研究委員会は、核融合科学研究所の前身である旧名古屋大学プラズマ研究所の移転計画が契機となり、昭和 54 年に、土岐市内の小・中・高等学校の教員を中心に、多治見市、恵那市等の理科教員が参加して発足した。平成 3 年から、研究所との共同研究として活動を継続しており、研究所と地元との共同研究という点に大きな意義と特色を有している。主な活動内容は、プラズマ研究会発足時から継続して実施している東濃地区の環境放射線測定、エネルギーや環境に関連した勉強会や講演会の開催、委員相互による輪講や教育現場における実践活動の紹介等である。中でも、東濃地区の環境放射線測定については、土岐市域内（一部の多治見市内を含む）に 18 ヶ所の測定点を定め、電子式積算線量計（Electronic Personal Dosimeter: EPD）を設置し、環境放射線の 3 カ月集積線量を継続的に測定している（図 6.2.2-2）。EPD で測定したデータは、3 カ月毎（6、9、12、3 月）に開催される研究会で報告され、地形による放射線強度の違いや季節変動の要因、測定精度等について分析・評価されている。環境放射線の測定は、LHD の建設段階から、研究所敷地周辺を含む土岐市一帯において、長期的かつ系統的に行っている。その結果、東濃地区の放射線的な分布特性及び自然放射線の寄与等に関する貴重な基礎データを得ることができた。これは、地球環境科学の面からも貴重なデータベースの構築といえるであろう。

これらの活動については、年度毎に共同研究報告書としてまとめられ、岐阜県及び地元三市等に配布するとともに、研究所ホームページにも公開している。



図 6.2.2-1 プラズマ研究委員会の様子

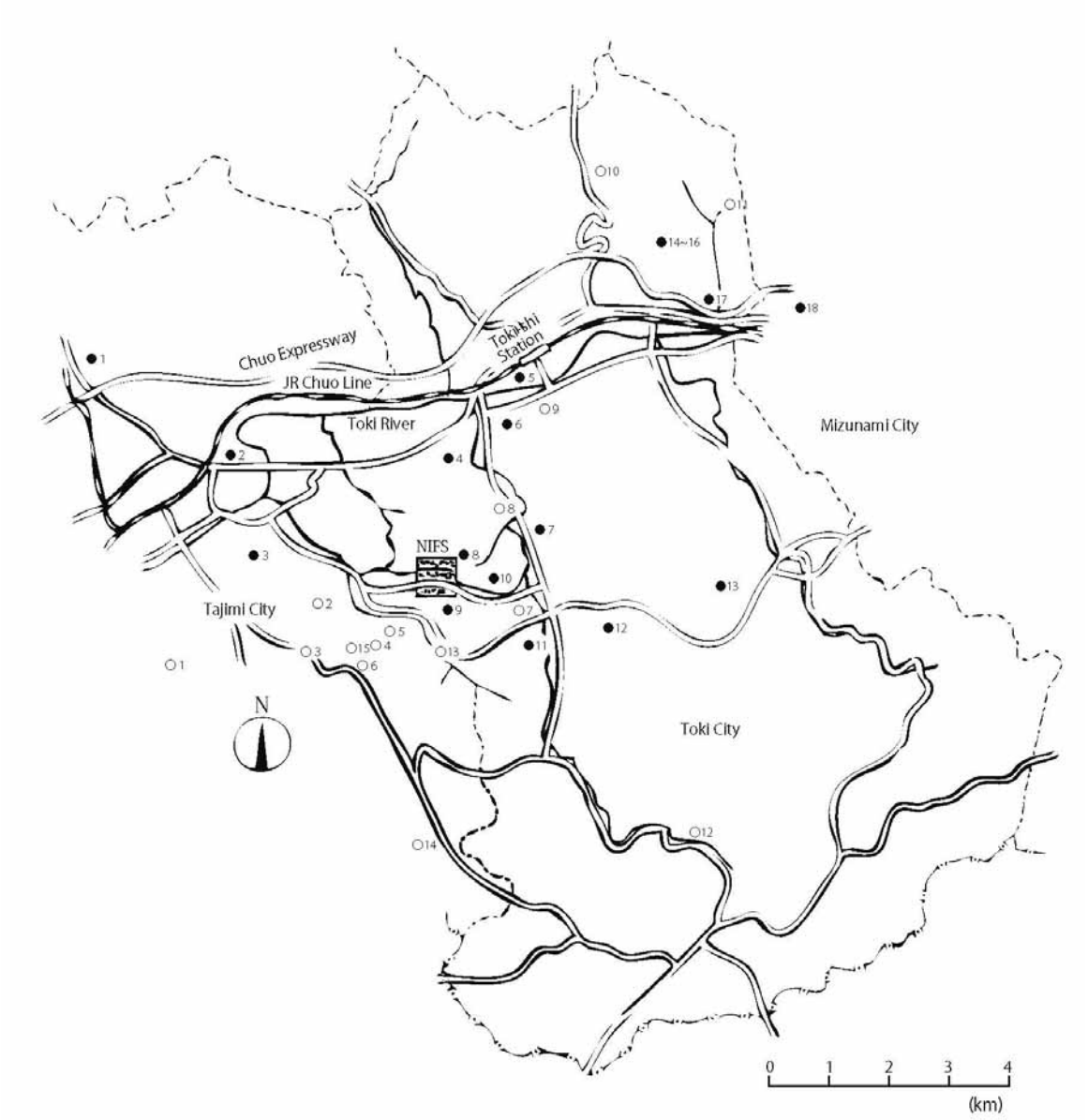


図 6.2.2-2　東濃地区の環境放射線測定地点。○は研究所設置の 15 カ所を、●は土岐市プラズマ研究委員会設置の 18 カ所を示す。

6.3 社会への発信

6.3.1 イベント

核融合科学研究所では、核融合研究と研究所の研究成果等について、広く社会や国民に分かりやすく情報発信することを目的として、様々なイベントを実施している。主なイベントとしては、オープンキャンパス(一般公開)、東京における科学イベント、一般市民を対象としたシンポジウム等が挙げられる。イベントに関する情報は、研究所ホームページに逐次公開しており、研究所の活動について社会に向けて積極的に発信している。

(1)オープンキャンパス(一般公開)

研究所では、毎年秋にオープンキャンパス(一般公開)を開催している。平成10年度に第1回を開催して以来、平成26年度で17回を数え、参加者数は、家族連れを中心として、例年2,000名を超える(図6.3.1-1)。オープンキャンパス当日には、大型ヘリカル装置(LHD)をはじめとする研究設備の見学ツアーの他、核融合の仕組みや核融合エネルギーの必要性等について研究者が分かりやすく解説する公開講座、模型やパネル説明等の展示で研究所が行っている研究の内容や最新の成果を説明する研究所紹介コーナー、ラリー形式で核融合科学の面白さを体験しながら楽しく学ぶことができるクイズコーナーなど、40を超える体験型イベントを実施している(図6.3.1-2,3)。特に科学実験のイベントは、各研究者が自身の研究テーマに関連した展示物を提案して実演している。真空実験やバーチャルリアリティ体験、高温超伝導体を利用した磁気浮上列車、環境放射線の測定体験など、一般的な科学館では見ることのできないような高度な展示もあり、科学に興味がある人にも好評である。

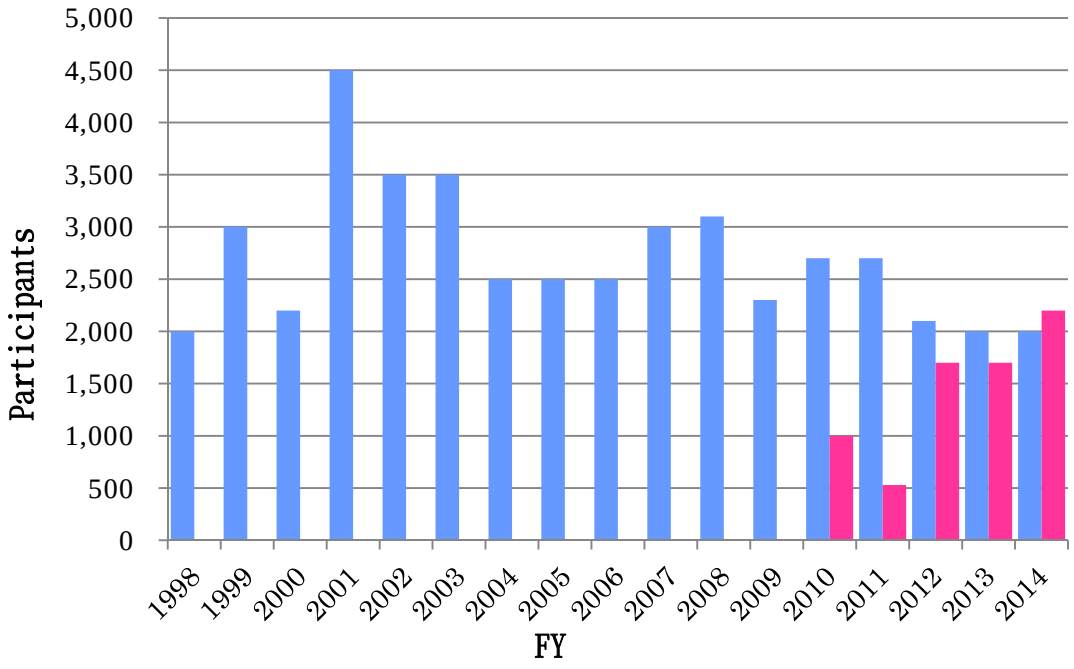


図 6.3.1-1 オープンキャンパス(青:2001 年は 2 日間、他は 1 日間の開催)、及び Fusion フェスタ in Tokyo(赤:2010 年から開催)の参加者数

また、ロボット工作やマイクロ波焼成を利用したセラミック折り紙等の科学工作や、ペットボトルロケット等は、子どもが楽しめる体験型のイベントとして例年人気である。

これらの多種多様なイベントを実施するオープンキャンパス（一般公開）を通じて、研究所が行っている最先端の研究について、一般市民に分かり易い情報発信に努めている。



図 6.3.1-2　公開講座の様子



図 6.3.1-3　科学実験イベントの様子

(2)東京における科学イベント

研究所が開催するオープンキャンパス(一般公開)は、その来場者のほとんどが東海地方の一般市民であった。そこで、核融合研究の重要性と科学の楽しさをより広く社会に発信するとともに、研究所及び大きく進展している核融合研究についてより多くの国民の理解を得ることを目的として、関東地方においてもオープンキャンパスに準じた科学イベントを開催している。

この科学イベント「Fusion フェスタ in Tokyo」は、東京・お台場に位置する日本科学未来館において、平成22年度から毎年度開催しており、平成26年度で5回を数える。Fusion フェスタ in Tokyoは、核融合とその実現に向けた研究の一端を紹介するとともに、来場者が楽しみながら科学や核融合についての理解を深めることができるよう、講演会と科学教室、展示で構成されている。科学教室及び展示では、オープンキャンパス(一般公開)のアンケート結果で人気のある科学工作や科学実験コーナーを中心に、巨大プラズマボール、分光、大気圧プラズマ、形状記憶合金等の実演を行っている。講演会では、外部講師による最新科学に関する特別講演や、所長による核融合に関する講演を実施している。核融合に関する講演会においては、高速インターネット回線を用いて東京の講演会場と土岐市の研究所を繋ぎ、LHD 内部の様子を実況ライブ中継する等、オープンキャンパスさながらの臨場感を出す工夫も取り入れた(図6.3.1-4)。

本イベントの来場者数は、年々増加の傾向にある(図6.3.1-1)。平成26年度においては、5月3日に開催し、オープンキャンパス(一般公開)とほぼ同規模となる約2,200 名の参加があった。地域の方々を中心に来場者が集うオープンキャンパス(一般公開)と、多くの国民が集まる東京で開催されるFusion フェスタ in Tokyo、この2つのイベントを開催することで、年齢的にも地理的にも幅広い範囲の国民をターゲットとした広報活動を展開している。



図 6.3.1-4 実況ライブ中継を取り入れたトークイベントの様子

(3)シンポジウム等

研究所では、一般市民を対象とした学術講演会を開催している。講演会では、現代社会が直面している諸課題をテーマとした講演を行い、その目的は、学術研究の成果を広く国民に還元するとともに、学術研究を身近なものとし、研究所の活動が広く一般市民に理解されること及び学術研究の進展に寄与することである。市民学術講演会は、7月と研究所の主催で秋頃に開催する国際土岐コンファレンス(ITC)の期間中に各1回、各年度で2回開催し、地元の市民を中心に多くの参加者を得ている(図6.3.1-5)。平成26年度においては、7月に

「炭素で年代測定、水素で核融合発電」をテーマとして講演会を実施した。講演会の前半は所長が核融合研究の現状等について説明し、後半は外部講師が炭素14年代測定法の原理等について解説し、地元市民を中心に約230名が参加した（図6.3.1-6）。また、11月には、国際土岐コンファレンス開催期間中の学術講演会として、外部講師を招き「恐竜時代の巨大隕石衝突－岐阜からみつかった世界発の証拠－」と題した講演会を開催した。

さらに、研究所では、自然科学研究機構として実施するシンポジウムにおいても一般市民を対象とした情報発信に取り組んでいる。自然科学研究機構シンポジウムは、一般の方々を対象としており、最先端の科学を分かりやすく解説し、科学への関心を高めることを目的としている。同シンポジウムは、毎回設定されるテーマに基づいた講演とパネルディスカッションで構成される。平成17年度から毎年2回程度開催され、平成26年度で17回を数える。参加者数は、テーマや開催地等によって若干の変動があるものの、概ね各回とも300名程度である。シンポジウムのテーマは、自然科学研究機構が、核融合科学研究所・国立天文台・基礎生物学研究所・生理学研究所・分子科学研究所の5つの研究機関で構成される自然科学分野の学術研究機関であることを活かし、エネルギー科学や天文学、物質科学、生命科学等である。エネルギー科学に関するテーマとして、平成19年3月開催の第3回自然科学研究機構シンポジウムが「宇宙の核融合・地上の核融合」をテーマに東京で開催され、さらに、平成24年9月開催の第13回自然科学研究機構シンポジウムが「日本のエネルギーは大丈夫か？～E=mc2は人類を滅ぼすのか、救うのか・・・～」をテーマに名古屋市で開催された。他のテーマで開催された自然科学研究機構シンポジウムにおいても、研究所は、LHDの模型やパネル説明等の展示を行っており、機構としての情報発信にも積極的に取り組んでいる。

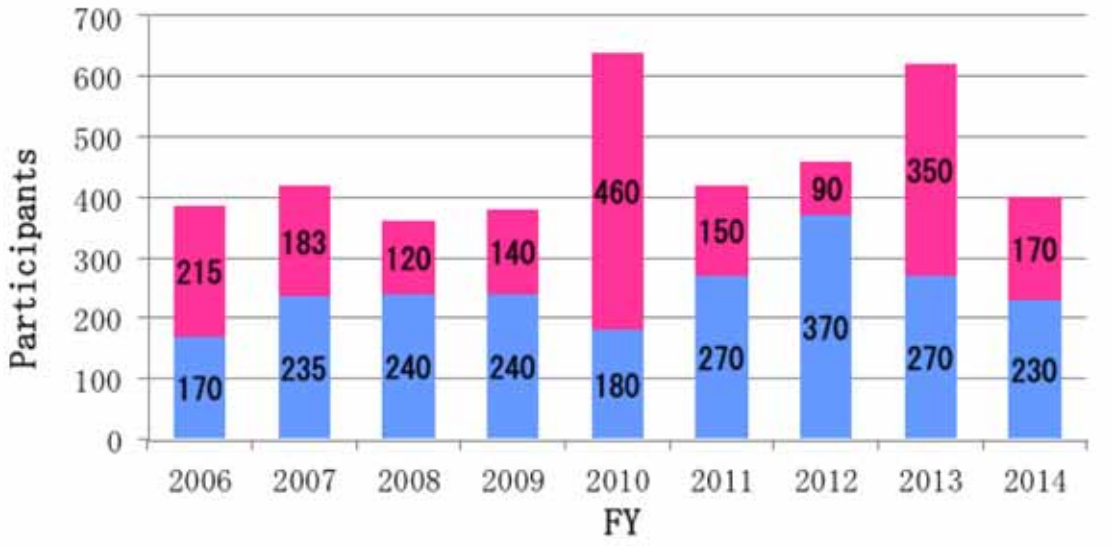


図 6.3.1-5　7 月（青）と ITC 期間中（赤）の市民学術講演会の参加者数

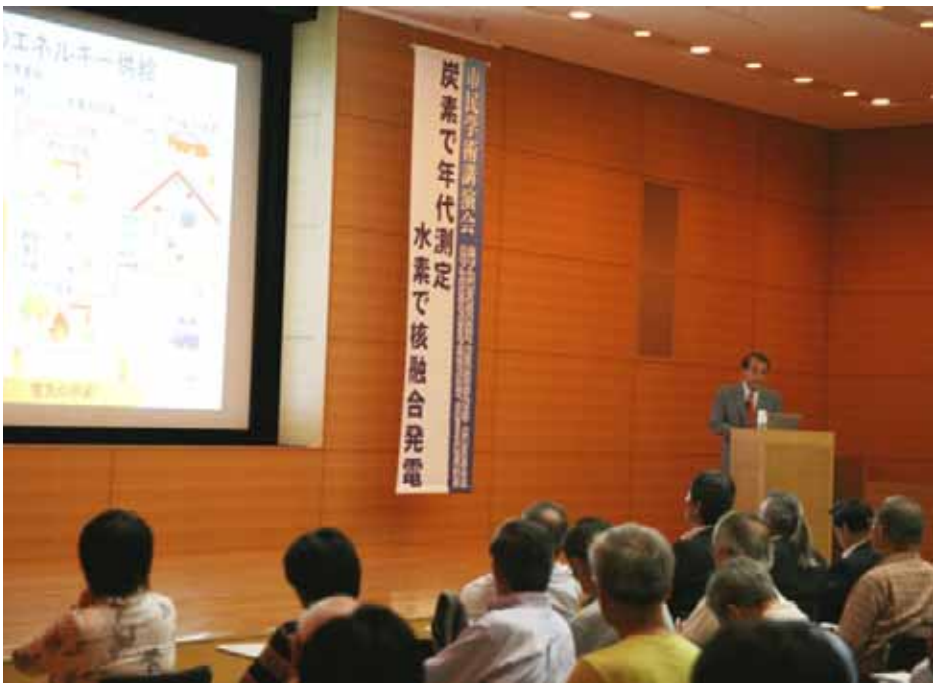


図 6.3.1-6　市民学術講演会の様子

6.3.2　広報活動

核融合科学研究所では、先述のイベント等を実施するだけでなく、研究所の活動状況についてメールによる情報発信を行うとともに、一般市民の施設見学の受入れや、理科や科学への興味関心を高める教育連携活動等の広報活動にも取り組んでいる。

(1)メールによる情報発信

研究所では、メールによる情報発信として、「研究活動状況(メールマガジン)」及び「イベント情報(メールニュース)」の配信を行っている。メール配信の対象は、研究所からの情報提供を希望する一般市民である。研究所からの情報提供希望者が、研究所のホームページ上からメールアドレスを登録することで、メール配信の対象となる。平成 26 年 10 月での登録者数は、研究活動状況(メールマガジン)が 361 名、イベント情報(メールニュース)が 1,157 名である。

研究活動状況(メールマガジン)は、研究所が行っている核融合研究について、最新の研究成果や今後の研究計画を含めて分かりやすくレポート形式でまとめたものである。配信は、概ね 2 週間ごとに 1 通であり、平成 26 年度は 10 月までに 16 通を配信、累計の配信件数は 241 通となった。テーマは毎回異なり、プラズマの物理・加熱・計測の研究、材料研究、シミュレーション研究等、多岐にわたる。

イベント情報(メールニュース)は、研究所が実施するオープンキャンパスやシンポジウム等の研究所のイベント情報を配信するものである。配信は、イベント等の開催時期に合わせて随時行っており、平成 26 年度は 10 月までで 2 通を発信した。

なお、研究活動状況(メールマガジン)及びイベント情報(メールニュース)として配信した

情報は、逐次ホームページに公開している。

(2)施設見学の受入れ

研究所では、平日に随時、施設見学を受入れている。標準的な見学コースの所要時間は約90分で、研究所の概要説明ビデオを視聴した後、大型ヘリカル装置(LHD)や制御室、LHDの真空容器モックアップ等を見学する。さらに、見学者の希望に応じて、真空実験又は超伝導磁気浮上列車の科学実験の実演、バーチャルリアリティ装置を使った立体映像の体験を、オプションコースとして追加することが可能である。オプションコースの所要時間は約20分で、年齢を問わず評判が良く、見学件数の約半分がオプションコースを追加している。施設見学者の件数と人数の推移は、図6.3.2-1に示したとおりで、平成25年度の実績は251件、4,261名であった。月別では、夏休みにあたる8月と行楽シーズンにあたる11月がピークとなり、1日に複数の施設見学を受け入れることもある。

見学者の要望、人数、年齢層等に柔軟に対応するため、研究所では、施設見学の企画・調整等の対応を専門とするスタッフ3名を配置している。また、専門スタッフは、分かりやすい説明ができる能力を有しているため、見学者の希望に応じて、施設見学の説明員も担当する。研究所の施設見学では、グループ(又は個人)毎に説明員が同行して所内を案内しており、見学者は、申込時に、説明員を「見学対応を専門とするスタッフ」とするか「研究者」とするかの選択ができる仕組みとなっている。同時刻に複数の見学を受け入れる場合も、必ず説明員が同行するよう調整を行っているため、専門スタッフの役割は重要である。研究者の負担を軽減するだけでなく、専門スタッフの分かりやすい説明が、見学者に好印象を与え

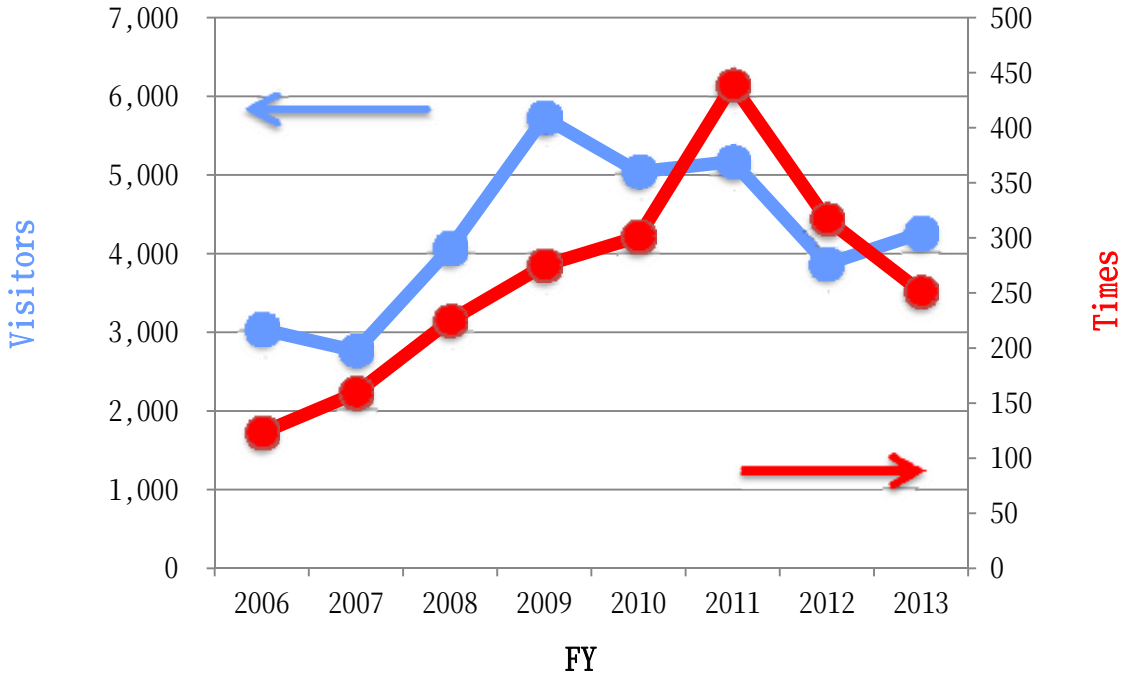


図 6.3.2-1 施設見学者の件数(赤)及び人数(青)

ることにも貢献している。現状では、施設見学の約8割を専門スタッフが担当している。

研究所の施設見学については、地域広報誌(フリーペーパー)や新聞、雑誌、地元地域の路線バス等、多様な媒体に案内掲載し、受け入れの周知に努めている。

(3)教育連携活動

研究所では、中高生等に研究所の研究活動の理解を深め、社会における自然科学に対する興味関心を高めてもらうため、教育連携活動を実施している。教育連携活動の内容は、スパーサイエンスハイスクール(SSH)やサイエンス・パートナーシップ・プログラム事業(SPP)の連携研究教育機関としての活動、高等学校で講演を行う「ふるさと訪問授業と出前講義」、高等学校の理科教育担当教員との科学コミュニケーション、高等専門学校生のインターンシップ受入れ、地元の中高生の職場体験受入れ等、多岐にわたる。

中でも、SSH/SPPの連携研究教育機関としての活動は、平成15年から開始したもので、平成25年度は22の高等学校から、計809名の高校生を受け入れ、件数及び人数共にこれまでで最多となった(図6.3.2-2)。この活動では、各受入校に対して、事前講義と、研究所での研修(実習)及び施設見学が行われる。まず、受入れ日の前に研究者が高等学校に出向く形式か、受入れ日当日の冒頭に行う形式で、核融合に関する講義を行う。その上で、研究所での研修(実習)と施設見学を行う。研修(実習)は、13の項目から生徒が希望する項目1つを選び、これを考慮して構成された少人数のグループで行う(図6.3.2-3)。13の研修項目には、プラズマや真空、シミュレーション、超伝導、電子顕微鏡等、核融合研究に関連する幅広いテーマが含まれる。さらに、研修後には、生徒達による報告会を開催しており、参加した生徒が、核融合等の科学技術全般に興味を持つだけでなく、プレゼンテーション能力を向上できる機会を提供している。

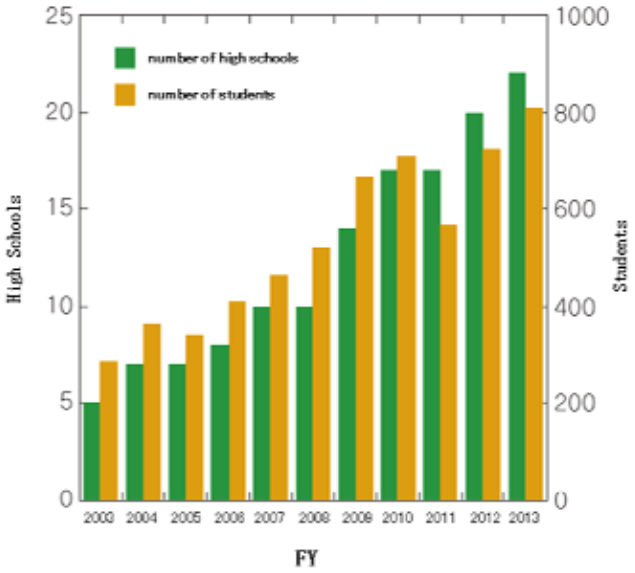


図 6.3.2-2 高等学校の受入れ件数及び人数の推移

また、ふるさと訪問授業と出前講義は、研究者が出身の高等学校を訪れて授業を行うもので、平成25年度は5件のふるさと訪問授業と2件の出前授業を行った。出身高で実施するこれらの授業は、学生にとっては親しみやすく、自らの進路を考える契機となるものであり、また、研究者にとっては若者が何を考えているのかを知り、科学技術コミュニケーション能力の向上を図る機会となっている。

これらの教育連携活動を体験した生徒からは、「今まで知らなかった核融合のことが分かり、とても興味深かった」、「将来、核融合の研究に参加してみたい」等の感想が寄せられ、中高

生を中心とした若い世代に対するアウトリーチ活動として積極的に取り組んでいる。



図 6.3.2-3　少人数グループでの研修の様子

6.3.3　プレス発表

核融合科学研究所では、最新の研究成果や学術情報等について、定期的にプレス発表を行っている。プレス発表の対象は、新聞社等の報道機関で東濃地区を担当する総局及び支局を含む「多治見市政記者クラブ」の他、各新聞社や放送局の名古屋支社を含む「名古屋教育記者会」、岐阜新聞及び岐阜放送、並びに報道機関の岐阜支社を含む「岐阜県政記者クラブ」であり、平成 25 年度においては、研究成果やイベント開催等について計 10 回の発表を行った。中でも、各年度の「研究プロジェクト成果報告会」に合わせて実施する記者発表においては、記者発表に引き続き、記者との懇談会の機会を設定している。平成 25 年度は、平成 26 年 3 月 31 日に実施し、新聞社を中心に 8 社の取材があった。懇談会には、所長はじめ約 20 名の研究者が同席することで、研究成果の詳説や補足等の情報提供に努めている（図 6.3.3-1）。なお、プレス発表の際は、研究所のホームページにその内容を掲載するとともに、事前に岐阜県・地元三市へ連絡する等情報提供を行っている。

また、平成 26 年 1 月からは、自然科学研究機構広報委員会の決定に基づく取組みとして、プレス発表を、科学技術振興機構（JST）科学コミュニケーションセンターのサイエンスポータルに掲載している。掲載された記事は、早稲田大学サイエンスメディアセンター（SMC）の国際科学記者ネットワークに配布されるシステムとなっているため、この取組みは、国内に止まらず、国際的な情報発信力の強化につながるものと期待される。

さらに、平成 26 年 7 月からは、自然科学研究機構が、オンライン国際情報配信サービス「EurekAlert!」の利用を開始した。「EurekAlert!」とは、科学雑誌「Science」の発行等を行っているアメリカ科学振興協会（The American Association for the Advancement of Science,

AAAS）が運営し、オンラインで科学技術に関するニュースを無料で提供するサービスである。世界の大学、研究機関等の広報担当が提供するニュースを集約し、全世界のジャーナリストにメールやウェブを通じて提供しており、登録されたジャーナリストは約１万人に上る。これを活用することで、最新の研究成果等を、全世界のジャーナリストに向けて発信する取り組みも行っている。



図 6.3.3-1　記者との懇談会の様子

6.4 まとめ

本章では、重水素実験計画とその安全性および核融合研究の重要性を社会と市民へ向けて広く発信し、それらに対する理解の増進を進める活動について記述した。以下に、そのまとめを行う。

(1)地元市民に対して進めている重水素実験の安全性に対する理解の増進

- 平成 18 年度より毎年、地元3市の公民館等 23～30 ヶ所で市民説明会を開催し、延べ 5,000 名近い市民に重水素実験計画とその安全性について説明し、核融合研究の重要性も含めて、市民の理解の増進を図った。
- 重水素実験に関する Q&A をはじめとする実験安全情報を研究所のホームページ上で公開して、広く社会に向けて実験の安全性について示した。
- 広報紙やリーフレットを定期的に地元市民に配布して、研究所の活動の広報に努めるとともに、LHD をはじめとする研究施設を公開し、年間 6,000 名を超える見学者を受け入れる体制を整えている。

(2)重水素実験計画の推進にあたっての自治体との連携

- 地元自治体、議会および自治会に対して、重水素実験をはじめとする研究所の活動に関する説明に努め、相互の信頼関係を築いている。
- 市民説明会の開催に当たり、チラシの配布、回覧等、地元自治会のサポートを受けており、地元自治体も含めたこうした連携が多くの市民の参加につながっている。
- こうした連携と地元市民の理解の増進により、地元自治体と協定書を締結することができ、この協定書に基づいて、自治体は重水素実験に対する安全監視委員会を設置した。
- 環境放射線の測定等に関して、土岐市プラズマ研究委員会と 30 年以上にわたって共同研究を進めており、地域の自然放射線等に関する貴重な基礎データを構築している。

(3)核融合研究の重要性と安全性の社会への発信

- 1998 年から毎年開催しているオープンキャンパス(一般公開)では、東海地方を中心に 2,000 名以上の参加者を、2010 年から東京で毎年開催している「Fusion フェスタ」では、関東地方を中心に 2,000 名以上の参加者を得ており、広く核融合研究の重要性と研究所の活動を社会に発信している。
- 市民学術講演会を年 2 回開催して、学術研究の成果の普及に努めている。
- 研究所の研究活動について、メールマガジンとして月 2 回発信し、ホームページ上にも掲載している。
- スーパーサイエンスハイスクール(SSH)やインターンシップ活動を通して一般社会の理科教育に貢献するとともに、核融合研究に対する理解の普及を図っている。
- プレス発表も含めたこうした活動は、核融合研究の重要性と安全性を広く社会に発信す

ることに貢献している。

参考資料

1. 一般共同研究及びＬＨＤ計画共同研究における重水素実験関連共同研究課題のリスト
2. 共同研究に基づく重水素実験関連研究課題の論文リスト

（参考資料1） 一般共同研究及びLHD計画共同研究における重水素実験関連共同研究課題のリスト

1-1) 一般共同研究

年度	コード	研究課題名	研究代表者	研究代表者所属	職名	所内世話人
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑥周辺プラズマ物理とプラズマ・壁相互作用				
22	NIFS08KLPP313	オープンダイバータ構造を持つLHDにおけるPMIデータベースの構築	吉田直亮	九州大学・応用力学研究所	特任教授	増崎　貴
22	NIFS09KLPP320	マテリアルプローブによるLHDプラズマ壁相互作用及び共堆積炭素膜特性の評価	山内有二	北海道大学・大学院工学研究院	准教授	芦川直子
22	NIFS09KLPP321	LHDプラズマにおける水素リサイクリングに関する研究	坂本瑞樹	筑波大学・プラズマ研究センター	教授	小林政弘
22	NIFS10KLPF002	LHD第一壁へのダストフラックスに対する壁電位の効果	白谷正治	九州大学・大学院システム情報科学研究院	教授	芦川直子
22	NIFS10KLPF004	タングステン試料へのダイバータプラズマ照射実験	田辺哲朗	九州大学・大学院総合理工学研究院	教授	時谷政行
22	NIFS10KLPF005	金属酸化層中の重水素挙動	松波紀明	名古屋大学・エコトピア科学研究所	准教授	増崎　貴
22	NIFS10KLPF006	水素・ヘリウム混合プラズマ放電による対向材料の微視的損傷及び水素保持・放出特性	徳永和俊	九州大学・応用力学研究所	准教授	時谷政行
22	NIFS10KLPP323	LHDボロン膜に対するトリチウム滞留挙動と炭素・酸素不純物との相乗効果に関する研究	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	庄司　主
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (2)実験技術・開発共同研究 ⑤計測技術				
22	NIFS08KCHH016	人工ダイヤモンド放射線検出器による高速中性粒子・中性子測定の試み	金子純一	北海道大学大学院・工学研究院	准教授	磯部光孝
22	NIFS08KCHH023	重水素プラズマ診断用高分解能中性子スペクトロメータの開発	井口哲夫	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
22	NIFS10KCHH030	LHD重水素実験に向けた格子構造と液体シンチレータによる三次元高速中性子イメージングシステムの開発	高田英治	富山高等専門学校・専攻科	准教授	磯部光孝
22	NIFS10KCHH031	中性子分布計測のための高速度カメラシステムの開発	竹内正樹	京都大学・エネルギー理工学研究所	非常勤研究員	磯部光孝

		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (3)重水素実験計画検討				
22	NIFS07KLGR001	LHDにおける重水素実験計画の検討	長壁正樹	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	坂本隆一
22	NIFS10KLGA002	重水素実験における総中性子発生量測定とその校正法に関する検討	瓜谷　章	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	山西弘城
		2　炉工学分野共同研究 (1)炉工学研究				
22	NIFS08KFRP001	ヘリウム照射した高融点プラズマ対向材料の損耗過程に与える熱負荷効果	宮本光貴	島根大学・総合理工学部	助教	時谷政行
22	NIFS09KFRP003	タングステンプラズマ対向材料の表面組成・状態分析による物質移行の解明	徳永和俊	九州大学・応用力学研究所	准教授	芦川直子
22	NIFS10KFRF069	核融合炉材料劣化の照射場依存性評価	森下和功	京都大学・エネルギー理工学研究所	准教授	加藤太治
22	NIFS10KFRF072	トリチウム、照射、熱流動研究の総合化	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	室賀健夫
		2　炉工学分野共同研究 (2)炉設計				
22	NIFS10KFDA014	DT核融合炉におけるトリチウムバランス	西川正史	九州大学・総合理工学研究院	名誉教授	朝倉大和
		2　炉工学分野共同研究 (3)炉システム安全性				
22	NIFS09KFSS012	冷却配管材料におけるトリチウム透過挙動に関する研究	大矢恭久	静岡大学・理学部附属放射科学研究施設	准教授	朝倉大和
22	NIFS09KFSS014	金属-炭素混合堆積層の形成と水素同位体挙動に関する研究	片山一成	九州大学・大学院総合理工学研究院	助教	宇田達彦
		10　研究会（プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学、NIFSシンポジウム）				
22	NIFS09KKGM002	プラズマ壁相互作用によるタングステン材料の水素同位体リテンション	高木郁二	京都大学・大学院工学研究科	教授	加藤太治
22	NIFS09KKGS005	LHDにおけるトリチウム安全研究の展望	百島則幸	九州大学・アイソトープ総合センター	教授	宇田達彦
22	NIFS10KKGA006	核融合炉に向けたプラズマ・壁相互作用の研究	坂本瑞樹	筑波大学・プラズマ研究センター	教授	西村清彦
22	NIFS10KKGA007	LHD重水素実験における重水素吸排気バランスとトリチウム回収・除去	田辺哲朗	九州大学大学院総合理工学研究院	教授	朝倉大和

22	NIFS10KKGF007	核融合炉第一壁における接合および被覆材料の中性子照射効果	長谷川晃	東北大学・大学院工学研究科	教授	室賀健夫
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ④高温度領域の拡大				
23	NIFS11KLPT001	統合シミュレーションを活用したLHDプラズマ高温化に向けた実験シナリオ研究	村上定義	京都大学・大学院工学研究科	准教授	横山雅之
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑥周辺プラズマ物理とプラズマ・壁相互作用				
23	NIFS09KLPP016	LHDプラズマにおける水素リサイクリングに関する研究	坂本瑞樹	筑波大学・大学院数理物質科学研究科	教授	小林政弘
23	NIFS10KLPF002	LHD第一壁へのダストフラックスに対する壁電位の効果	白谷正治	九州大学・大学院システム情報科学研究院	教授	芦川直子
23	NIFS10KLPF004	タングステン試料へのダイバータプラズマ照射実験	田辺哲朗	九州大学・大学院総合理工学研究院	教授	時谷政行
23	NIFS10KLPF006	水素・ヘリウム混合プラズマ放電による対向材料の微視的損傷及び水素保持・放出特性	徳永和俊	九州大学・応用力学研究所	准教授	時谷政行
23	NIFS10KLPF007	LHDボロン膜に対するトリチウム滞留挙動と炭素・酸素不純物との相乗効果に関する研究	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	芦川直子
23	NIFS11KLPF013	閉ダイバータ化に伴うプラズマ対向壁の特性変化	吉田直亮	九州大学・応用力学研究所	特任教授	増崎　貴
23	NIFS11KLPF016	LHDにおけるレーザー光散乱による微粒子の発生と挙動の解析	林　康明	京都工芸繊維大学・工芸科学研究科	教授	増崎　貴
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑧高エネルギー粒子の物理				
23	NIFS11KLPH014	高エネルギー粒子閉じ込めの物理機構解明と高性能化	山本　聡	京都大学・エネルギー理工学研究所	助教	磯部光孝
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD)高性能化共同研究 ①重水素実験準備研究				
23	NIFS10KLEF001	金属酸化層中の重水素挙動	松波紀明	名古屋大学・エコトピア科学研究所	准教授	時谷政行

23	NIFS10KLEH002	重水素実験における総中性子発生量測定とその校正法に関する検討	瓜谷　章	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
23	NIFS11KLEP003	LHD重水素実験計画の検討	長壁正樹	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	坂本隆一
23	NIFS11KLEF003	イオンビーム解析によるプラズマ照射環境下での水素同位体動的吸蔵量のその場計測	大野哲靖	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	増崎　貴
23	NIFS11KLEF004	プラズマ対向壁からのダスト脱離特性に関する研究	大野哲靖	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	増崎　貴
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ②安全管理研究				
23	NIFS09KLEA002	広範囲エネルギー中性子場におけるCR-39による線量測定に関する研究	飯本武志	東京大学　環境安全本部	准教授	河野孝央
23	NIFS10KLEA003	デジタルオシロの機能を利用した高感度トリチウムガスモニターに関する基礎研究	河野孝央	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	田中将裕
23	NIFS10KLEA004	核融合実験施設におけるバースト的に発生する電磁界の測定と解析	王　建青	名古屋工業大学・大学院工学研究科	教授	宇田達彦
23	NIFS11KLEA005	プラスチックシンチレータを用いた高効率トリチウム測定法	古田悦子	お茶の水女子大学・大学院人間文化創成科学研究科	講師	宇田達彦
23	NIFS91KLEA001	土岐地区における環境放射線の測定	伊藤敏明	土岐市プラズマ研究委員会（土岐市立下石小学校）	委員長（校長）	西村清彦
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD)高性能化共同研究 ③計測技術研究				
23	NIFS10KLEH004	LHD重水素実験に向けた格子構造と液体シンチレータによる三次元高速中性子イメージングシステムの開発	高田英治	富山高等専門学校・専攻科	教授	磯部光孝
23	NIFS11KLEH011	高エネルギー重水素イオンプロファイル測定のための原子核乾板を用いた中性子カメラの開発	井口哲夫	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
23	NIFS11KLEH012	LHD重水素実験用人工ダイヤモンド放射線検出器の開発	金子純一	北海道大学・大学院工学研究院	准教授	磯部光孝
		2　核融合工学プロジェクト (1)炉設計研究				
23	NIFS10KERA001	DT核融合炉におけるトリチウムバランス	西川正史	九州大学大学院・総合理工学研究院	名誉教授	朝倉大和

		2　核融合工学プロジェクト (3)炉内材料機器研究				
23	NIFS10KEMF003	SiC/SiC 複合材料の核融合炉への適合性評価	日野友明	北海道大学・大学院工学研究院	教授	相良明男
23	NIFS11KEMF010	ヘリウム照射材における格子欠陥形成過程の解明　～分子動力学法を用いたアプローチ	岩切宏友	琉球大学・教育学部	准教授	加藤太治
23	NIFS11KEMF013	プラズマ診断用ミラー材の表面特性に与える複合イオン照射および熱負荷効果	宮本光貴	島根大学・総合理工学部	助教	時谷政行
23	NIFS11KEMF018	核融合炉材料中の中性子照射欠陥によるトリチウム捕捉効果	波多野雄治	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	室賀健夫
23	NIFS11KEMF021	微粒子中の水素同位体リテンション評価	朝倉伸幸	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究主幹	芦川直子
23	NIFS11KEMF022	プラズマ対向壁における複合イオン照射下水素同位体リサイクリング定量評価	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	芦川直子
		2　核融合工学プロジェクト (4)システム・環境安全研究				
23	NIFS11KESA004	排気系における水素同位体及び炭素挙動に関する研究	片山一成	九州大学・大学院総合理工学研究院	助教	宇田達彦
		3　数値実験研究プロジェクト (1)理論共同研究 A研究所提案型共同研究				
23	NIFS11KNTT008	LHDおよび環状プラズマにおける統合輸送コード（TASK3D）の開発とLHD実験への適用	横山雅之	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	横山雅之
		6　ネットワーク型共同研究				
23	NIFS11KNWF001	水素リサイクリング解明のための水素同位体−材料相互作用ダイナミックス	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	増崎　貴
		7　研究会（プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学、NIFSシンポジウム）				
23	NIFS10KKGA006	核融合炉に向けたプラズマ・壁相互作用の研究	坂本瑞樹	筑波大学・大学院数理物質科学研究科	教授	西村清彦
23	NIFS11KKGF013	重水素吸排気バランスと関連研究	田辺哲朗	九州大学・大学院総合理工学研究院	教授	増崎　貴
23	NIFS11KKGH013	トロイダルプラズマにおける高速粒子の閉じ込めに関する物理課題	東井和夫	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	教授	磯部光孝

		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ④高温度領域の拡大				
24	NIFS11KLPT001	統合シミュレーションを活用したLHDプラズマ高温化に向けた実験シナリオ研究	村上定義	京都大学・工学研究科	准教授	横山雅之
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑥周辺プラズマ物理とプラズマ・壁相互作用				
24	NIFS10KLPF007	LHDボロン膜に対するトリチウム滞留挙動と炭素・酸素不純物との相乗効果に関する研究	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	芦川直子
24	NIFS11KLPF013	閉ダイバータ化に伴うプラズマ対向壁の特性変化	吉田直亮	九州大学・応用力学研究所	特任教授	増崎　貴
24	NIFS11KLPF016	LHDにおけるレーザー光散乱による微粒子の発生と挙動の解析	林　康明	京都工芸繊維大学・工芸科学研究科	教授	増崎　貴
24	NIFS12KLPF019	ナノ構造タングステンの核融合炉内での影響と利用	梶田　信	名古屋大学・エコトピア科学研究所	准教授	時谷政行
24	NIFS12KLPF020	LHD内ダスト量モニタリング法の開発	古閑一憲	九州大学・大学院システム情報科学研究院	准教授	増崎　貴
24	NIFS12KLPF022	バイアス電圧印加によるLHD内ダストの輸送制御	白谷正治	九州大学・大学院システム情報科学研究院	教授	芦川直子
24	NIFS12KLPF023	プラズマ壁相互作用に関する研究	大野哲靖	名古屋大学・工学研究科	教授	芦川直子
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑧高エネルギー粒子の物理				
24	NIFS11KLPH014	高エネルギー粒子閉じ込めの物理機構解明と高性能化	山本　聡	京都大学・エネルギー理工学研究所	助教	磯部光孝
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD)高性能化共同研究 ①重水素実験準備研究				
24	NIFS11KLEF003	イオンビーム解析によるプラズマ照射環境下での水素同位体動的吸蔵量のその場計測	大野哲靖	名古屋大学大学院・工学研究科	教授	増崎　貴
24	NIFS11KLEP003	LHD重水素実験計画の検討	長壁正樹	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	増崎　貴

24	NIFS12KLEF007	低放射化フェライト鋼中の重水素リテンション	佐久間靖博	名古屋大学・エコトピア科学研究所	研究機関研究員	時谷政行
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ②安全管理研究				
24	NIFS11KLEA005	プラスチックシンチレータを用いた高効率トリチウム測定法-2	古田悦子	お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科	講師	河野孝央
24	NIFS12KLEA006	放射性物質の環境放出に関する安全戦略と最適化に関する研究	飯本武志	東京大学・環境安全本部	准教授	河野孝央
24	NIFS12KLEA007	イオンサイクロトロン共鳴加熱用高周波発振器周辺における漏洩電磁界の可視化	上村佳嗣	宇都宮大学大学院・工学研究科	教授	田中将裕
24	NIFS12KLEA008	立ち上がり時間弁別法による高感度トリチウムガスモニターの開発	河野孝央	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	田中将裕
24	NIFS91KLEA001	土岐地区における環境放射線の測定	本多直也	土岐市プラズマ研究委員会(土岐市立土岐津小学校)	委員長（校長）	西村清彦
		1　大型ヘリカル装置（LHD）プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD)高性能化共同研究 ③計測技術研究				
24	NIFS11KLEH011	高エネルギー重水素イオンプロファイル測定のための原子核乾板を用いた中性子カメラの開発	井口哲夫	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
24	NIFS11KLEH012	LHD重水素実験用人工ダイヤモンド放射線検出器の開発	金子純一	北海道大学・大学院工学研究院	准教授	磯部光孝
		2　核融合工学プロジェクト (1)炉設計研究				
24	NIFS12KERA004	DT核融合炉におけるトリチウムバランス	西川正史	九州大学・総合理工学研究院	名誉教授	朝倉大和
		2　核融合工学プロジェクト (3)炉内材料機器研究				
24	NIFS11KEMF013	プラズマ診断用ミラー材の表面特性に与える複合イオン照射および熱負荷効果	宮本光貴	島根大学・総合理工学部	助教	時谷政行
24	NIFS11KEMF018	核融合炉材料中の中性子照射欠陥によるトリチウム捕捉効果	波多野雄治	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	室賀健夫
24	NIFS11KEMF022	プラズマ対向壁における複合イオン照射下水素同位体リサイクリング定量評価	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	芦川直子

24	NIFS12KEMF027	LHDダイバータ用VPSタングステン被覆炭素材の開発	吉田直亮	九州大学・応用力学研究所	特任教授	時谷政行
24	NIFS12KEMF032	核融合プラズマ装置で発生した微粒子ダストの可視化	朝倉伸幸	日本原子力研究開発機構・核融合研究開発部門	研究主幹	芦川直子
24	NIFS12KEMF033	堆積層中における水素同位体の捕獲特性および除染に関する基礎研究	鳥養祐二	富山大学・水素同位体科学研究センター	准教授	芦川直子
24	NIFS12KEMF035	タングステンプラズマ対向材料の表面変質に関する研究	徳永和俊	九州大学・応用力学研究所	准教授	時谷政行
24	NIFS12KEMF036	SiC/SiC 材料の核融合ブランケット及び第一壁への適合性	日野友明	北海道大学・大学院工学研究院	教授	相良明男
24	NIFS12KEMF039	プラズマ対向材料堆積層における水素同位体交換に関する研究	片山一成	九州大学・大学院総合理工学研究院	助教	芦川直子
		3　数値実験研究プロジェクト (1)理論共同研究 A　研究所提案型共同研究				
24	NIFS11KNTT008	LHDおよび環状プラズマにおける統合輸送コード(TASK3D)の開発とLHD実験への適用	横山雅之	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	横山雅之
		6　ネットワーク型共同研究				
24	NIFS11KNWF001	水素リサイクリング解明のための水素同位体−材料相互作用ダイナミックス	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	増崎　貴
		7　研究会（プラズマ科学、核融合科学、核融合炉工学、NIFSシンポジウム）				
24	NIFS11KKGS009	プラズマ−壁相互作用シミュレーション解析に関する研究会	剣持貴弘	同志社大学・生命医科学部	准教授	中村浩章
24	NIFS12KKGF017	重水素吸排気バランスと関連研究	波多野雄治	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	増崎　貴
24	NIFS12KKGH017	環状核融合原型炉運転のための計装制御システムの検討評価	松田慎三郎	東京工業大学 原子炉工学研究所	特任教授	磯部光孝
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ③高温度				
25	NIFS11KLPT001	統合シミュレーションを活用したLHDプラズマ高温化に向けた実験シナリオ研究	村上定義	京都大学・工学研究科	准教授	横山雅之

		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ④定常－プラズマ壁相互作用				
25	NIFS11KLPF013	閉ダイバータ化に伴うプラズマ対向壁の特性変化	吉田直亮	九州大学・応用力学研究所	特任教授	増崎　貴
25	NIFS12KLPF020	LHD内ダスト量モニタリング法の開発	古閑一憲	九州大学・大学院システム情報科学研究院	准教授	増崎　貴
25	NIFS12KLPF021	マテリアルプローブによるLHDプラズマ壁相互作用の評価	山内有二	北海道大学・大学院工学研究院	准教授	芦川直子
25	NIFS12KLPF022	バイアス電圧印加によるLHD内ダストの輸送制御	白谷正治	九州大学・大学院システム情報科学研究院	教授	芦川直子
25	NIFS13KLPR016	LHDにおける高性能プラズマ定常維持とそれによるPWI研究	笠原寛史	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	助教	吉村泰夫
25	NIFS13KLPF029	LHD定常放電におけるプラズマ対向材料への水素リテンション特性の解明	時谷政行	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	助教	増﨑　貴
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑥原子分子過程				
25	NIFS11KLPF016	LHDにおけるレーザー光散乱による微粒子の発生と挙動の解析	林　康明	京都工芸繊維大学・工芸科学研究科	教授	増崎　貴
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ①重水素実験準備研究				
25	NIFS11KLER011	ICRF加熱装置の高性能化と将来応用	武藤　敬	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	教授	斎藤健二
25	NIFS12KLEP003	LHD重水素実験計画の検討	長壁正樹	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	増崎　貴
25	NIFS13KLEF011	低放射化フェライト鋼中の水素粒子挙動	松波紀明	名古屋大学・エコトピア科学研究所	准教授	時谷政行
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ②安全管理研究				
25	NIFS12KLEA006	放射性物質の環境放出に関する安全戦略と最適化に関する研究	飯本武志	東京大学・環境安全本部	准教授	河野孝夫

25	NIFS12KLEA007	イオンサイクロトロン共鳴加熱用高周波発振器周辺における漏洩電磁界の可視化	上村佳嗣	宇都宮大学大学院・工学研究科	教授	田中将裕
25	NIFS12KLEA008	立ち上がり時間弁別法による高感度ガスモニターの開発	河野孝央	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	田中将裕
25	NIFS13KLEA009	長期的環境モニタリングにおける土岐地区のバックグランド放射線の変動要因の解明	横山須美	藤田保健衛生大学・医療科学部	准教授	西村清彦
25	NIFS13KLEA010	プラスチックシンチレータの表面処理による高感度化	古田悦子	お茶の水女子大学大学院 人間文化創成科学研究科	講師	河野孝央
25	NIFS91KLEA001	土岐地区における環境放射線の測定	本多直也	土岐市プラズマ研究委員会（土岐市立土岐津小学校）	委員長（校長）	西村清彦
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ③計測技術研究				
25	NIFS11KLEH011	高エネルギー重水素イオンプロファイル測定のための原子核乾板を用いた中性子カメラの基礎検討	井口哲夫	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
25	NIFS11KLEH012	粒子検出器としての人工ダイヤモンド検出器の開発	金子純一	北海道大学大学院・工学研究院	准教授	磯部光孝
25	NIFS12KLPF019	ナノ構造タングステンの核融合炉内での影響と利用	梶田　信	名古屋大学・エコトピア科学研究所	准教授	時谷政行
25	NIFS13KLEH030	シンチレーティング光ファイバを用いる高速中性子指向性検出器の基礎検討	高田英治	富山高等専門学校・専攻科	教授	磯部光孝
		2　核融合工学プロジェクト (1)炉設計研究				
25	NIFS12KERA004	DT核融合炉におけるトリチウムバランス	西川正史 （→片山一成）	九州大学・総合理工学研究院 （→九州大学・総合理工学研究院）	名誉教授 （助教）	増崎　貴
		2　核融合工学プロジェクト (3)炉内材料機器研究				
25	NIFS11KEMF022	プラズマ対向壁における複合イオン照射下水素同位体リサイクリング定量評価	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	芦川直子
25	NIFS12KEMF027	LHDダイバータ用VPSタングステン被覆炭素材の開発	吉田直亮	九州大学・応用力学研究所	特任教授	時谷政行

25	NIFS12KEMF033	堆積層中における水素同位体・捕獲特性および除染に関する基礎研究	鳥養祐二	富山大学・水素同位体科学研究センター	准教授	芦川直子
25	NIFS12KEMF035	タングステンプラズマ対向材料の表面変質に関する研究	徳永和俊	九州大学・応用力学研究所	准教授	時谷政行
25	NIFS12KEMF039	プラズマ対向材料堆積層における水素同位体交換に関する研究	片山一成	九州大学・大学院総合理工学研究院	准教授	芦川直子
25	NIFS13KEMF046	タングステン表面上のfuzz構造形成過程のその場観察	宮本光貴	島根大学大学院・総合理工学研究科	助教	時谷政行
25	NIFS13KEMF049	水素リサイクリングに対する反射水素励起状態の影響	坂本瑞樹	筑波大学・数理物質系	教授	加藤太治
25	NIFS13KEMF053	SiC/SiC 材料の燃料水素リテンションとその低減	日野友明	北海道大学・工学研究院	名誉教授	相良明男
		3　数値実験研究プロジェクト (1)理論共同研究 A 研究所提案型共同研究				
25	NIFS11KNTT008	LHDおよび環状プラズマにおける統合輸送コード（TASK3D）の開発とLHD実験への適用	横山雅之	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	横山雅之
		6　ネットワーク型共同研究				
25	NIFS11KNWF001	水素リサイクリング解明のための水素−材料相互作用ダイナミックス	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	増崎　貴
		7　研究会（プラズマ科学　核融合科学、核融合炉工学、NIFSシンポジウム）				
25	NIFS12KKGF017	重水素吸排気バランスと関連研究	波多野雄治	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	増崎　貴
25	NIFS12KKGH017	環状核融合原型炉運転のための計装制御システムの検討評価	松田慎三郎	東京工業大学　原子炉工学研究所	特任教授	磯部光孝
25	NIFS13KKGS013	プラズマ壁相互作用に関する新規シミュレーション手法開発に関する研究会	剣持貴弘	同志社大学・生命医科学部	准教授	中村浩章
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD)実験共同研究 ③高温度				
26	NIFS14KLPT004	LHD高イオン温度プラズマの統合シミュレーションによる輸送モデリング	村上定義	京都大学・大学院工学研究科	准教授	横山雅之
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ④定常ープラズマ壁相互作用				

26	NIFS12KLPF020	LHD内ダスト量モニタリング法の開発	古閑一憲	九州大学・大学院システム情報科学研究院	准教授	増崎　貴
26	NIFS13KLPR016	LHDにおける高性能プラズマ定常維持とそれによるPWI研究	笠原寛史	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	助教	吉村泰夫
26	NIFS13KLPF029	LHD定常放電におけるプラズマ対向材料への水素リテンション特性の解明	時谷政行	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	助教	増崎　貴
26	NIFS14KLPF033	静電場によるLHD内ダストの輸送制御と除去	白谷正治	九州大学・大学院システム情報科学研究院	教授	芦川直子
26	NIFS14KLPF034	マテリアルプローブによるLHDプラズマ壁相互作用の評価	信太祐二	北海道大学・大学院工学研究院	助教	芦川直子
26	NIFS14KLPP039	LHDヘリウムプラズマを照射したタングステンの損傷組織形成に及ぼす温度の影響	Elodie Bernard	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	COE	坂本隆一
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (1)大型ヘリカル装置（LHD）実験共同研究 ⑥原子分子過程				
26	NIFS14KLPF036	ダストの生成と光散乱観測法の研究	林　康明	京都工芸繊維大学・工芸科学研究科	教授	増崎　貴
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ①重水素実験準備研究				
26	NIFS13KLEF011	低放射化フェライト鋼中の水素粒子挙動	松波紀明	名城大学・理工学部	非常勤講師	時谷政行
26	NIFS14KLEA011	土岐地区における河川水の水素同位体組成	杉山貴彦	名古屋大学・大学院工学研究科	准教授	赤田尚史
26	NIFS14KLEF013	LHDプラズマに曝されたタングステンにおける重水素滞留能変化	大矢恭久	静岡大学・大学院理学研究科	准教授	時谷政行
26	NIFS14KLEH034	LHD重水素実験研究計画の策定	長壁正樹	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	教授	秋山毅志
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ②安全管理研究				
26	NIFS13KLEA009	長期的環境モニタリングにおける土岐地区のバックグランド放射線の変動要因の解明	横山須美	藤田保健衛生大学・医療科学部	准教授	赤田尚史

26	NIFS14KLEA012	放射線施設の放射線環境影響評価に関する安全戦略に関する研究	飯本武志	東京大学・環境安全本部	准教授	河野孝央
26	NIFS14KLEA013	表面処理済みプラスチックシンチレータを用いた新型トリチウム水モニターの開発	古田悦子	お茶の水女子大学 大学院 人間文化創成科学研究科	講師	河野孝央
26	NIFS14KLEA014	核融合試験施設内における漏洩電磁界の可視化およびスペクトル解析	上村佳嗣	宇都宮大学・大学院工学研究科	教授	田中将裕
26	NIFS14KLEA015	沖縄諸島の降水・陸水の地球化学的特徴	古川雅英	琉球大学・理学部物質地球科学科地学系	教授	赤田尚史
26	NIFS14KLEA016	立ち上がり時間弁別法を用いた高感度トリチウムガスモニターの性能評価	河野孝央	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	田中将裕
26	NIFS14KLEA017	岐阜県東濃地域における自然放射線・放射能の実態調査	細田正洋	弘前大学・大学院保健学研究科	講師	赤田尚史
26	NIFS14KLEA018	東濃地域の地下水・降水モニタリング	上田　晃	富山大学・大学院理工学研究部	教授	赤田尚史
26	NIFS91KLEA001	土岐地区における環境放射線の測定	林　奨司	土岐市プラズマ研究委員会	校長	西村清彦
		1　大型ヘリカル装置（LHD）計画プロジェクト (2)大型ヘリカル装置（LHD）高性能化共同研究 ③計測技術研究				
26	NIFS12KLPF019	ナノ構造タングステンの核融合炉内での影響と利用	梶田　信	名古屋大学・エコトピア科学研究所	准教授	時谷政行
26	NIFS13KLEH030	シンチレーティング光ファイバを用いる高速中性子指向性検出器の基礎検討	高田英治	富山高等専門学校・電気制御システム工学科	教授	磯部光孝
26	NIFS14KLEH036	重水素プラズマ実験のための中性子スペクトル測定システムの開発	富田英生	名古屋大学・核燃料管理施設	准教授	磯部光孝
		2　核融合工学プロジェクト (3)炉内材料機器研究				
26	NIFS12KEMF035	タングステンプラズマ対向材料の表面変質に関する研究	徳永和俊	九州大学・応用力学研究所	准教授	時谷政行
26	NIFS13KEMF046	タングステン表面上のfuzz構造形成過程のその場観察	宮本光貴	島根大学・大学院総合理工学研究科	准教授	時谷政行
26	NIFS13KEMF053	SiC/SiC 材料の燃料水素リテンションとその低減	信太祐二	北海道大学・大学院工学研究院	助教	相良明男

26	NIFS14KEMF055	ヘリカル炉用タングステン被覆セラミックス材料の開発と評価	日野友明	北海道大学・大学院工学研究院	名誉教授	相良明男
26	NIFS14KEMF056	プラズマ照射材料中のトリチウム捕獲特性に関する研究	鳥養祐二	富山大学・水素同位体科学研究センター	准教授	芦川直子
26	NIFS14KEMF057	プラズマ対向壁水素同位体透過における堆積層の影響	片山一成	九州大学・大学院総合理工学研究院	准教授	芦川直子
26	NIFS14KEMF059	プラズマ対向壁表面における不純物炭素蓄積とスパッタリング粒子の定量的評価	大矢恭久	静岡大学・大学院理学研究科	准教授	芦川直子
		3　数値実験研究プロジェクト (1)理論共同研究 A研究所提案型共同研究				
26	NIFS14KNTT025	LHDおよび環状プラズマにおける統合輸送コードの機能拡張と実験データベースを活用した系統的検証研究	横山雅之	核融合科学研究所・ヘリカル研究部	准教授	横山雅之
		6　ネットワーク型共同研究				
26	NIFS14KNWF002	共通設置試料を用いたプラズマ対向材料の表面改質と粒子リサイクリングに関する研究	信太祐二	北海道大学・大学院工学研究院	助教	増崎　貴
25		7　研究会（プラズマ科学　核融合科学、核融合炉工学、NIFSシンポジウム）				
26	NIFS12KKGF017	重水素吸排気バランスと関連研究	波多野雄治	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	増崎　貴
26	NIFS13KKGS013	プラズマ壁相互作用に関する新規シミュレーション手法開発に関する研究会	剣持貴弘	同志社大学・生命医科学部	准教授	中村浩章

（参考資料1） 一般共同研究及びLHD計画共同研究における重水素実験関連共同研究課題のリスト

1-2) LHD計画共同研究

年度	コード	研究課題名	研究代表者	研究代表者所属	職名	所内 世話人
		1　プラズマ分野				
22	NIFS10KOAF003	窒素を含む多粒子低温プラズマ生成による炭素ダスト成長と水素同位体吸蔵の制御	上杉喜彦	金沢大学・理工研究域	教授	増崎　貴
		2　炉工学分野				
22	NIFS07KOBA020	炭素、水素同位体、ヘリウム同時照射環境での金属-炭素複合堆積層表面の水素同位体滞留評価	大矢恭久	静岡大学・理学部	准教授	相良明男
22	NIFS07KOBS009	LHD用ステンレス鋼材料からのトリチウム放出挙動	松山政夫	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	西村清彦
22	NIFS08KOBH001	LHD重水素実験のための中性子計測システムの開発	井口哲夫（～H21笹尾眞實子）	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
22	NIFS08KOBP010	高熱流プラズマ照射-イオンビーム解析複合装置の開発と水素同位体リテンション量のその場計測	大野哲靖	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	増崎　貴
22	NIFS08KOBR002	LHD-DD実験にむけた水素透過の実測と壁面漏洩量の評価	高木郁二	京都大学・大学院工学研究科	教授	中村幸男
22	NIFS08KOBS013	LHDのDD放電下における第一壁及びダイバータ壁の重水素リテンションと制御	日野友明	北海道大学・大学院工学研究院	教授	西村清彦
22	NIFS10KOBA021	OBTの環境動態	百島則幸	九州大学・アイソトープ総合センター	教授	宇田達彦
22	NIFS10KOBA022	動物レベルを中心としたトリチウムの生物影響研究	馬田敏幸	産業医科大学・アイソトープ研究センター	准教授	宇田達彦
22	NIFS10KOBA023	低濃度トリチウムガス捕集・回収システムの設計支援と高度化研究	宗像健三	秋田大学・工学資源学部	教授	宇田達彦
		1　プラズマ分野				
23	NIFS10KOAF003	窒素を含む多粒子低温プラズマ生成による炭素ダスト成長と水素同位体吸蔵の制御	上杉喜彦	金沢大学・理工研究域	教授	増崎　貴
		2　炉工学分野				

23	NIFS08KOBH001	LHD重水素実験のための中性子計測システムの開発	井口哲夫 (～H21笹尾真実子)	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
23	NIFS08KOBS013	LHDのDD放電下における第一壁及びダイバータ壁の重水素リテンションと制御	日野友明	北海道大学・大学院工学研究院	教授	西村清彦
23	NIFS10KOBA021	OBTの環境動態	百島則幸	九州大学・アイソトープ総合センター	教授	宇田達彦
23	NIFS10KOBA022	動物レベルを中心としたトリチウムの生物影響研究	馬田敏幸	産業医科大学・アイソトープ研究センター	准教授	宇田達彦
23	NIFS10KOBA023	低濃度トリチウムガス捕集・回収システムの設計支援と高度化研究	宗像健三	秋田大学・工学資源学部	教授	宇田達彦
23	NIFS11KOBA025	ヘリカル原型炉システム設計をめざしたトリチウム輸送ダイナミックスの解明	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	田中将裕
23	NIFS11KOBF021	複合照射環境におけるプラズマ対向壁表面特性変化のその場診断法の提案	宮本光貴	島根大学・総合理工学部	助教	相良明男
		1　プラズマ分野				
24	NIFS10KOAF003	窒素を含む多粒子低温プラズマ生成による炭素ダスト成長と水素同位体吸蔵の制御	上杉喜彦	金沢大学・理工研究域電子情報学系	教授	増﨑 貴
24	NIFS12KOAH029	高エネルギー粒子物理研究拡大を目指した中性子計測システムの開発	瓜谷　章	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
		2　炉工学分野				
24	NIFS10KOBA021	有機結合型トリチウム(OBT)の環境動態	百島則幸	九州大学・アイソトープ総合センター	教授	田中将裕
24	NIFS10KOBA022	動物レベルを中心としたトリチウムの生物影響研究	馬田敏幸	産業医科大学・アイソトープ研究センター	准教授	西村清彦
24	NIFS10KOBA023	低濃度トリチウムガス捕集・回収システムの設計支援と高度化研究	宗像健三	秋田大学・工学資源学部	教授	田中将裕
24	NIFS11KOBA025	ヘリカル原型炉システム設計をめざしたトリチウム輸送ダイナミックスの解明	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	田中将裕
24	NIFS11KOBF021	複合照射環境におけるプラズマ対向壁表面特性変化のその場診断法の提案	宮本光貴	島根大学・総合理工学部	助教	相良明男
		1　プラズマ分野				
25	NIFS12KOAH029	高エネルギー粒子物理研究拡大を目指した中性子計測システムの開発	瓜谷　章	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝

		2　炉工学分野				
25	NIFS10KOBA021	有機結合型トリチウム（OBT）の環境動態	百島則幸	九州大学・アイソトープ総合センター	教授	田中将裕
25	NIFS11KOBA025	ヘリカル原型炉システム設計をめざしたトリチウム輸送ダイナミックスの解明	奥野健二	静岡大学・理学部	教授	田中将裕
25	NIFS11KOBF021	複合照射環境におけるプラズマ対向壁表面特性変化のその場診断法の提案	宮本光貴	島根大学大学院・総合理工学研究科	助教	相良明男
25	NIFS13KOBA026	熱負荷低減用希ガス注入下のプラズマ壁相互作用	山内有二	北海道大学・大学院工学研究院	准教授	西村清彦
25	NIFS13KOBA028	低濃度トリチウムおよび低線量放射線の生物影響解明に向けた新たな試み	笹谷めぐみ	広島大学・原爆放射線医科学研究所	助教	西村清彦
25	NIFS13KOBF025	照射損傷を持つタングステン中のリテンションのダイナミクス	上田良夫	大阪大学・大学院工学研究科	教授	加藤太治
25	NIFS13KOBF026	ホットラボ用小型ダイバータプラズマ模擬試験装置の開発	大野哲靖	名古屋大学・工学研究科	教授	相良明男
		1　プラズマ分野				
26	NIFS12KOAH029	高エネルギー粒子物理研究拡大を目指した中性子計測システムの開発	瓜谷　章	名古屋大学・大学院工学研究科	教授	磯部光孝
		2　炉工学分野				
26	NIFS11KOBF021	複合照射環境におけるプラズマ対向壁表面特性変化のその場診断法の提案	宮本光貴	島根大学・総合理工学研究科	准教授	相良明男
26	NIFS13KOBA028	低濃度トリチウムおよび低線量放射線の生物影響解明に向けた新たな試み	笹谷めぐみ	広島大学・原爆放射線医科学研究所	助教	赤田尚史
26	NIFS13KOBF025	照射損傷を持つタングステン中のリテンションのダイナミクス	上田良夫	大阪大学・大学院工学研究科	教授	加藤太治
26	NIFS14KOBF027	LIBSによる水素同位体リテンションと材料混合のその場計測	西島大輔	University of California, San Diego	Associate Project Scientist	相良明男
26	NIFS14KOBF029	LHDダイバータのタングステン化に向けたコーティング技術の開発と膜特性評価	波多野雄治	富山大学・水素同位体科学研究センター	教授	時谷政行
26	NIFS14KOBF031	堆積層へのトリチウムの蓄積とその除染	鳥養祐二	富山大学・水素同位体科学研究センター	准教授	芦川直子
26	NIFS14KOCA001	植物有機結合型トリチウム（OBT)を組み込んだ環境トリチウム移行挙動モデル	杉原真司	九州大学・アイソトープ総合センター	准教授	赤田尚史

（参考資料2） 共同研究に基づく重水素実験関連研究課題の論文リスト

No.	Year	Refereed	Published Papers	Subjects toward deuterium experiment implementation			Sujects for deuterim plasma experiments			Non-NIFS researcher as first author	Student as first author
				Tritium safety	Neutron safety	Radiation monitor for environment	Diagnostics development	Plasma-wall interaction	Toward high-performance plasma		
1	2010	1	M. Isobe, H. Yamanishi, M. Osakabe, H. Miyake, H. Tomita, K. Watanabe, H. Iwai, Y. Nomura, N. Nishio, K. Ishii, J.H. Kaneko, J. Kawarabayashi, E. Takada, A. Uritani, M. Sasao, T. Iguchi, Y. Takeiri and H. Yamada, "*Fusion product diagnostics planned for LHD deuterium experiment*", Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D310-1-10D310-5.		1						
2	2010	1	K. Ishii, K. Shinohara, M. Ishikawa, T. Okuji, M. Baba, M. Isobe, S. Kitajima, M. Sasao, "*Multi-Channel Neutron Emission and Triton Burn-Up Measurement on JT-60U Using Digital Signal Processors*", Plasma and Fusion Research, **5** (2010) S1043-1-S1043-5.				1			1	1
3	2010	1	H. Tomita, H. Iwai, T. Iguchi, M. Isobe, Y. Sasaki, J. Kawarabayashi, C. Konno, "*Development of Neutron Spectrometer toward Deuterium Plasma Diagnostics in Helical Confinement System*", Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D309-1-10D309-3.				1			1	
4	2010	1	N. Nishio, S. Yamamoto, K. Watanabe, A. Uritani, M. Isobe, H. Yamanishi, "*A study on neutron monitoring system of LHD based on Monte Carlo simulations*", Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D306-1-10D306-3.		1					1	1
5	2010	1	K. Ishii, K. Shinohara, M. Ishikawa, M. Baba, M. Isobe, A. Okamoto, S. Kitajima, and M. Sasao, "*Fast Neutron-Gamma Discrimination on Neutron Emission Profile Measurement on JT-60U*", Review of Scientific Instruments, **81** (2010) 10D334-1-10D334-3.				1			1	1
6	2010	1	S. Masuzaki, M. Kobayashi, M. Tokitani, N. Ashikawa, T. Hino, Y. Yamauchi, Y. Nobuta, N. Yoshida, M. Miyamoto, R. Sakamoto, J. Miyazawa, T. Morisaki, N. Ohyabu, H. Yamada, A. Komori, LHD Experiment Group, "*Fuel retention in LHD*", Fusion Science and Technology, **58** (2010) 321-330.					1			
7	2010	1	S. Masuzaki, M. Shoji, M. Tokitani, T. Murase, M. Kobayashi, T. Morisaki, H. Yonezu, R. Sakamoto, H. Yamada, A. Komori, *"Design and installation of the closed helical divertor in LHD"*, Fusion Engineering and Design, **85** (2010) 940-945.					1			
8	2010	1	M. Tokitani, N. Yoshida, M. Miyamoto, T. Hino, Y. Nobuta, S. Masuzaki, N. Ashikawa, A. Sagara, N. Noda, H. Yamada, A. Komori, LHD Experiment Group, "*Characterization of Surface Modifications of Plasma-Facing Components in LHD"*, Fusion Science and Technology, **58** (2010) 305-320.					1			
9	2011	1	Y. Nomura, H. Tomita, J. Kawarabayashi, T. Iguchi, M. Isobe, K. Morishima, T. Nakano, M. Nakamura, S. Ohnishi, "*Design Consideration on Compact Neutron Pinhole Camera with Nuclear Emulsion for Energetic-ion Profile Diagnostics*", Plasma and Fusion Research, **6** (2011) 2402148-1-2402148-4.				1			1	1
10	2011	1	N. Nishio, A. Yamazaki, K. Watanabe, A. Uritani, M. Isobe, H. Yamanishi, "*Study on the calibration of LHD neutron monitoring system*", Plasma and Fusion Research, **6** (2011) 2405115-1-2405115-4.		1					1	1
11	2011	1	M. Isobe, Yi Liu, G.L. Yuan, Y.P Zhang, J.W. Yang, W. Chen, Q.W. Yang, X.R. Duan, S. Morita and K. Toi, "*Experimental Check of Deceleration of Neutral Beam-Injected Energetic Ions in the HL-2A Tokamak*", Plasma and Fusion Research, **6** (2011) 2402107-1-2402107-4.						1		
12	2011	1	T. Sugiyama, N. Miyahara, M. Tanaka, K. Munakata, I. Yamamoto, "*A simulation model for transient response of a gas separation module using a hollow fiber membrane*", Fusion Engineering and Design, **86** (2011) 2743-2746.	1						1	
13	2011	1	K. Munakata, K. Hara, T. Wajima, K. Wada, K. Katekari, M. Tanaka, T. Uda, "*Detritiation system of air with honeycomb catalyst and adsorbent*", Fusion Scienc and Technology, **60** (2011) 1440-1443.	1						1	

No.	Year	Refereed	Published Papers	Subjects toward deuterium experiment implementation			Sujects for deuterim plasma experiments			Non-NIFS researcher as first author	Student as first author
				Tritium safety	Neutron safety	Radiation monitor for environment	Diagnostics development	Plasma-wall interaction	Toward high-performance plasma		
14	2011	1	S. Sugihara, M. Tanaka, T. Tamari, J. Shimada, T. Takahashi, N. Momoshima, S. Fukutani, M. Atarashi-Andoh, Y. Sakuma, S. Yokoyama, K. Miyamoto, H. Amano, H. Yamanishi, T. Uda, *"Behavior of environmental tritium at NIFS toki site of Japan"*, Fusion Scienc and Technology, **60** (2011) 1300-1303.			1				1	
15	2011	1	T. Uda, M. Tanaka, T. Wajima, K. Munakata, *"Characteristics of honeycomb oxidizing catalysts to recover tritiated hydrogen and methane gases"*, Fusion Scienc and Technology, **60** (2011) 1351-1354	1							
16	2011	1	T. Uda, M. Tanaka, T. Tamari, H. Kakiuchi, N. Momoshima, *"The background levels of atmospheric tritium and OBT at NIFS toki site of Japan"*, Fusion Scienc and Technology, **60** (2011) 1244-1247.			1					
17	2011	1	Y. Asakura, M. Tanaka, H. Ogawa, S. Takami, *"Application of membrane dehumidifer for gaseous tritium recovery in the LHD"*, Fusion Scienc and Technology, **60** (2011) 1363-1366.	1							
18	2011	1	K. Hara, K. Munakata, T. Wajima, K. Wada, T. Takeishi, M. Tanaka, T. Uda, *"Oxidation of hydrogen over honeycomb catalysts under the presence of water vapor"*, Fusion Scienc and Technology, **60** (2011) 1339-1342.	1						1	1
19	2011	1	M. Tokitani, N. Yoshida, S. Masuzaki, N. Ashikawa, A. Sagara, N. Noda, H. Yamada, LHD Experiment Group, "*Micro/nano structural analysis of mixed-material deposition layer formed on the first walls of Large Helical Device*", Journal of Nuclear Materials, **417** (2011) 668-672.					1			
20	2011	1	M. Tokitani, N. Yoshida, S. Masuzaki, N. Noda, A. Sagara, H. Yamada, A. Komori, LHD experiment group, S. Nagata, B. Tsuchiya "*Plasma surface interaction on the surface of tungsten divertor tiles in LHD*", Journal of Nuclear Materials, **415** (2011) S87-S91.					1			
21	2011	1	M. Tokitani, S. Kajita, S. Masuzaki, Y. Hirahata, N. Ohno, T. Tanabe and LHD Experiment Group, "*Exfoliation of the tungsten fibreform nanostructure by unipolar arcing in the LHD divertor plasma*", Nuclear Fusion, **51** (2011) 102001.					1			
22	2012	1	J.H. Kaneko, F. Fujita, Y. Konno, T. Gotoh, N. Hishi, H. Watanabe, A. Chayahara, H. Umezawa, N. Tsubouchi, S. Shikata, M. Isobe, "*Growth and evaluation of self-standing CVD diamond single crystals on off-axis (001) surface of HP/HT type IIa substrates*", Diamond & Related Materials, **26** (2012) 45-49.				1			1	
23	2012	1	K. Hara, K. Munakata, J. Nagane, M. Fukuda, K. Wada, T. Sugiyama, M. Tanaka, T. Uda, "*Study on oxidation of hydrogen over commercial catalyst for tritium recovery system*", Fusion Engineering and Design, **87** (2012) 1118-1122.	1						1	1
24	2012	1	T. Sugiyama, M. Tanaka, K. Munakata, I. Yamamoto, "*Transient response simulation of gas separation membrane module for an atmosphere detritiation system*", Fusion Engineering and Design, **87** (2012) 1181-1185.	1						1	
25	2012	1	T. Uda, M. Tanaka, K. Munakata, "Scaling up experiments of honeycomb catalysts for oxidation of hydrogen and methane gases", Fusion Engineering and Design, **87** (2012) 900–904	1							
26	2012	1	Y. Asakura, M. Tanaka, H. Ogawa, S. Takami, "*Design and evaluation of gaseous tritium recovery system using commercially available membrane type dehumidifier*", J. Nuclear Science and Technology, **49** (2012) 1018-1027.	1							
27	2012	1	T. Akiyama, N. Yoshida, K. Kawahata, M. Tokitani, H. Iwakiri, S. Okajima, K. Nakayama, "*Studies of reflectivity degradation of retroreflectors in LHD and mitigation of impurity deposition using shaped diagnostic ducts and protective windows"*, Nuclear Fusion, **52** (2012) 063014.					1			

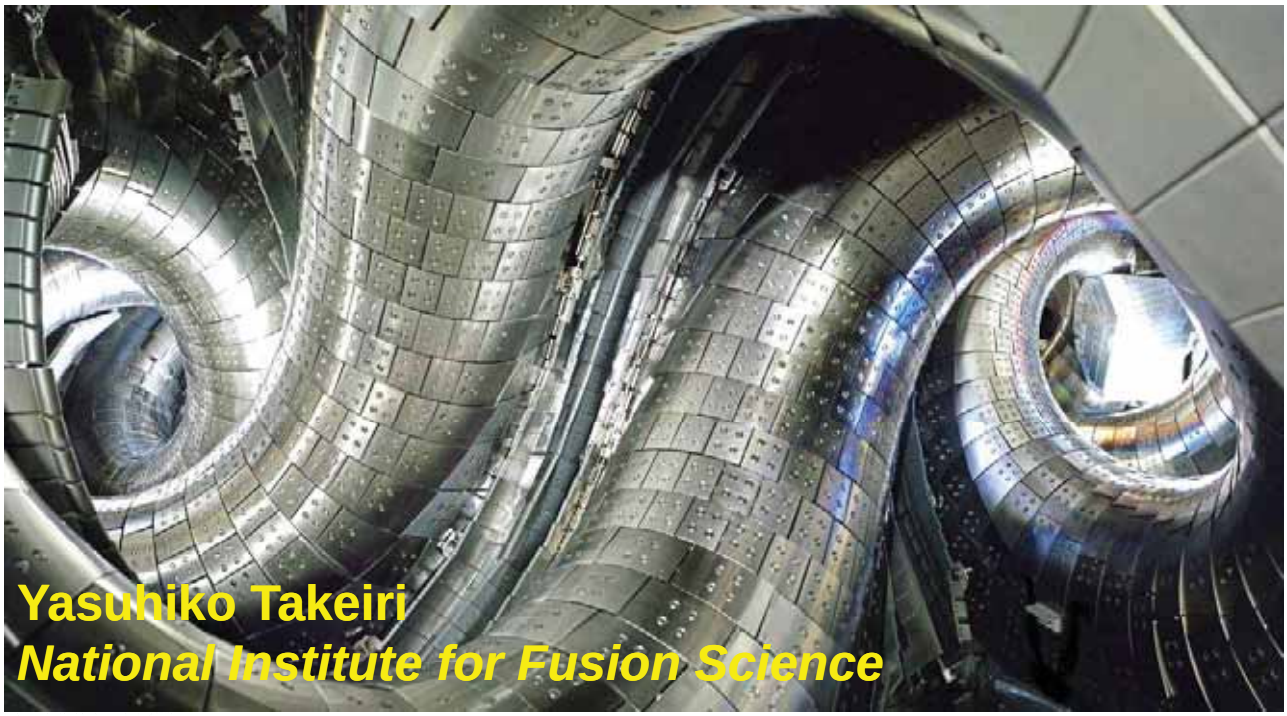
No.	Year	Refereed	Published Papers	Subjects toward deuterium experiment implementation			Sujects for deuterim plasma experiments			Non-NIFS researcher as first author	Student as first author
				Tritium safety	Neutron safety	Radiation monitor for environment	Diagnostics development	Plasma-wall interaction	Toward high-performance plasma		
28	2012	1	C. Dong, S. Morita, M. Tokitani, M. Goto, H. Sakaue, E. Wang, H. Zushi, "*Effect of high-energy neutral particles on extreme ultraviolet spectroscopy in large helical device*", Review of Scientific Instruments, **83** (2012) 10D509-1-10D509-3.				1				1
29	2013	1	M. Isobe, D.S. Darrow, A.L. Roquemore, K. Morishima, H. Tomita, H. Minato, and K. Ogawa, "*Application of nuclear emulsion to neutron emission profile diagnostics in National Spherical Torus Experiment*", Plasma and Fusion Research, **8** (2013) 2402068-1-2402068-3.				1				
30	2013	1	H. Tomita, F. Yamashita, Y. Yamamoto, H. Minato, K. Morishima, Y. Sakai, M. Isobe, K. Ogawa, T. Nakano, M. Nakamura, J. Kawarabayashi, T. Iguchi, K. Ochiai, and MunSeong Cheon, "*Development of Fusion Neutron Pinhole Imaging using Nuclear Emulsions for Energetic Ion Diagnostics*", Plasma and Fusion Research, **8** (2013) 2406095-1-2406095-4.				1			1	
31	2013	1	K. Munakata, K. Hara, T. Sugiyama, M. Tanaka, T. Uda, "*Mathematical models for water vapor absorption on catalyst andadsorbent in atmosphere detritiation and correlation of oxidation rate of hydrogen*", Fusion Engineering and Design, **88** (2013) 2408-2412.	1						1	
32	2013	1	K. Munakata, K. Hara, T. Sugiyama, K. Kotoh, M. Tanaka, T. Uda, "*Numerical simulation of detritiation system for NIFS with commercial catalyst and adsorbent*", J. Plasma Fusion Res. SERIES, **10** (2013) 36-41.	1						1	
33	2013	1	M. Tokitani, S. Masuzaki, N. Yoshida, A. Sagara, N. Noda, H. Yamada, LHD Experiment Group, "*Microstructural characterization of mixed-material deposition layer on the LHD divertor tiles by using nano-geological diagnosis*", Journal of Nuclear Materials, **438** (2013) S818-S821.					1			
34	2013	1	M. Tokitani, S. Masuzaki, N. Yoshida, T. Akiyama, N. Noda, A. Sagara, H. Yamada, T. Muroga, LHD experiment group, S. Nagata, B. Tsuchiya, "*Evaluation of the surface morphologies and erosion/deposition profiles on the LHD first-wall by using toroidal array probes*", Journal of Nuclear Materials, **442** (2013) S873-S879.					1			
35	2014	1	M. Isobe, K. Ogawa, H. Miyake, H. Hayashi, T. Kobuchi, Y. Nakano, K. Watanabe, A. Uritani, T. Misawa, T. Nishitani, M. Tomitaka, T. Kumagai, Y. Mashiyama, D. Ito, S. Kono, M. Yamauchi and Y. Takeiri, "*Wide dynamic range neutron flux monitor having fast time response for the Large Helical Device*", Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E114-1-11E114-4.		1						
36	2014	1	K. Ogawa, M. Isobe, E. Takada, Y. Uchida, K. Ochiai, H. Tomita, A. Uritani, T. Kobuchi, and Y. Takeiri, "*Progress in Development of Neutron Profile Monitor for Large Helical Device*", Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E110-1-11E110-3.				1				
37	2014	1	Y. Yamamoto, H.Tomita, M. Isobe, M.S. Cheon, K. Ogawa, F. Yamashita, J. Kawarabayashi, and T. Iguchi, "*Nuetronics Design on DD Neutron Spectrometer for KSTAR*", Progress in Nuclear Science and Technology, **4** (2014) 679-681.				1			1	1
38	2014	1	Y. Nakano, A. Yamazaki, K. Watanabe, A. Uritani, K. Ogawa and M. Isobe, "*Study on in-situ calibration for neutron flux monitor in Large Helical Device based on Monte Carlo calculations*", Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E116-1-11E116-3.		1					1	1
39	2014	1	Y. Uchida, E. Takada, M. Isobe, K. Ogawa, K. Shinohara, H. Tomita, J. Kawarabayashi, T. Iguchi, "*A study on fast digital discrimination of neutron and gamma-ray for improvement of neutron emission profile measurement*", Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E118-1-11E118-4.				1			1	1
40	2014	1	H. Tomita, F. Yamashita, Y. Nakayama, K. Morishima, Y. Yamamoto, Y. Sakai, M.S. Cheon, M. Isobe, K. Ogawa, S. Hayashi, J. Kawarabayashi, and T. Iguchi, "*Progress in development of neutron energy spectrometer for deuterium plasma operation in KSTAR*", Review of Scientific Instruments, **85** (2014) 11E120-1-11E120-3.				1			1	

No.	Year	Refereed	Published Papers	Subjects toward deuterium experiment implementation			Sujects for deuterim plasma experiments			Non-NIFS researcher as first author	Student as first author
				Tritium safety	Neutron safety	Radiation monitor for environment	Diagnostics development	Plasma-wall interaction	Toward high-performance plasma		
41	2014	1	Y. Nakano, A. Yamazaki, K. Watanabe, A. Uritani, K. Ogawa, M. Isobe, "*Study on in-situ calibration for neutron monitor in the helical type fusion experimental device based on Monte Carlo calculations*", Plasma and Fusion Research, **9** (2014) 3405141-1-3405141-4.		1					1	1
42	2014		N. Akata, H. Kakiuchi, T. Tamari, M. Tanaka, T. Kawano, H. Miyake, T. Uda, K. Nishimura, "*FWT and OBT concentrations in pine needle samples collected at toki Japan (1998-2012)*", Proc. of the 9th International Symposium on the Natural Radiation Environment, 22 - 26 September, 2014, HIROSAKI, JAPAN, **ER-11**			1					
43	2014		M. Tanaka, T. Uda, "*Variation of atmospheric tritium concentration in theree chemical forms at toki, Japan: 2004-2012*", Proc. of the 9th International Symposium on the Natural Radiation Environment, 22 - 26 September, 2014, HIROSAKI, JAPAN, **ER-12**			1					
44	2014	1	大矢恭久, 増崎貴, 時谷政行, 渡辺英雄, 吉田直亮, 波多野雄治, 宮本光貴, 山内有二, 日野友明, 奥野健二, "*LHD プラズマに曝されたタングステンにおける水素同位体滞留能変化*", Journal of Plasma Fusion Research, **90** (2014) 319-324.					1		1	
45	2014	1	Y. Oya, S. Masuzaki, M. Tokitani, M. Sato, K. Toda, H. Uchimura, N. Yoshida, H. Watanabe, Y. Yamauchi, T. Hino, M. Miyamoto, Y. Hatano, K. Okunoa, "*Comparison of hydrogen isotope retention for tungsten probes in LHD vacuum vessel during the experiment campaign in 2011 and 2012*", Fusion Engineering and Design, **89** (2014) 1091–1095.					1		1	
46	2014		K. Tanaka, S. Okamura, T. Minami, K. Ida, M. Osakabe, Y. Yoshimura, M. Isobe, S. Morita, K. Matsuoka, "*Isotope effects on transport in Compact Helical System*", 41st EPS Conference on Plasma Physics 23-27 June 2014, **P4.019**.						1		
47	2014	1	Y. Takeiri, O. Kaneko, M. Osakabe, K. Nagaoka, S. Murakami, H. Takahashi, H. Nakano, K. Ida, S. Morita, M. Yokoyama, M. Yoshinuma, K. Fujii, M. Goto, C. Suzuki, R. Seki, K. Tsumori, K. Ikeda, M. Kisaki, T. Mutoh, H. Yamada, A. Komori, and LHD Experiment Group, "*Development of the Heating Scenarios to Achieve High-Ion Temperature Plasma in Large Helical Device*", accepted for publication in Plasma and Fusion Research.						1		
				11	6	4	12	11	3	23	12

資　料　編　２

平成２６年度　外部評価プレゼン資料
（平成 26 年 11 月 29 日(土)　第２回外部評価委員会及び専門部会において発表）

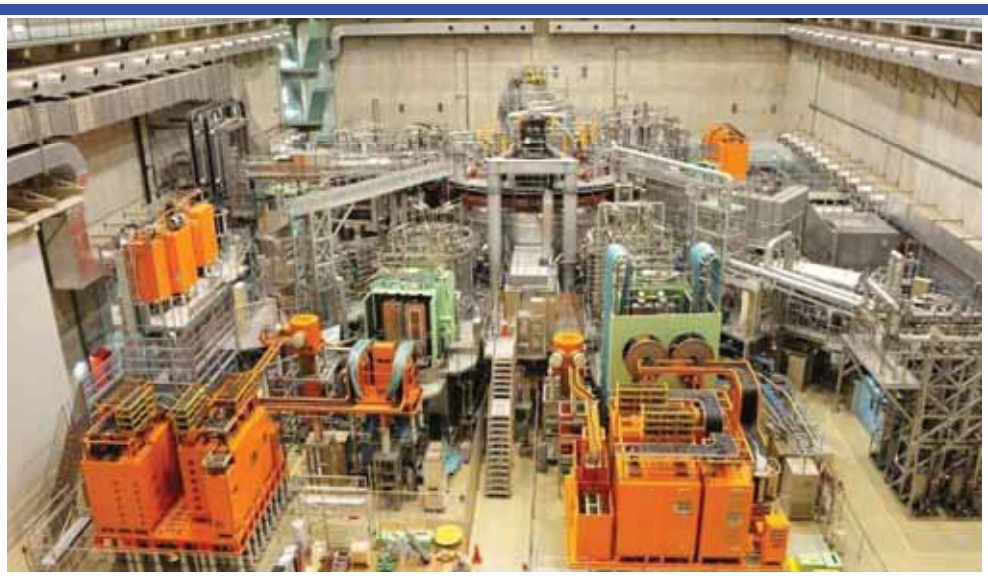
The Deuterium Experiment Implementation Plan



Yasuhiko Takeiri
National Institute for Fusion Science

2014 NIFS External Review (Nagoya, November 29, 2014)

Large Helical Device (LHD) Project



- The world-largest helical system, and the world-largest SC fusion machine
- Intrinsic advantage and engineering capability of steady-state operation
- Complementary/alternative role to tokamak approach

The goal of the Large Helical Device project

- ✓ **Establish scientific basement for a helical fusion reactor**
- ✓ **Comprehend physics of toroidal plasmas**

Objectives of Large Helical Device Project - defined in the basic plot in 1989 -

To clarify the physics and engineering problems important for helical fusion reactor plasmas by studying currentless plasmas in the next large-scale fusion experimental device of the university program.

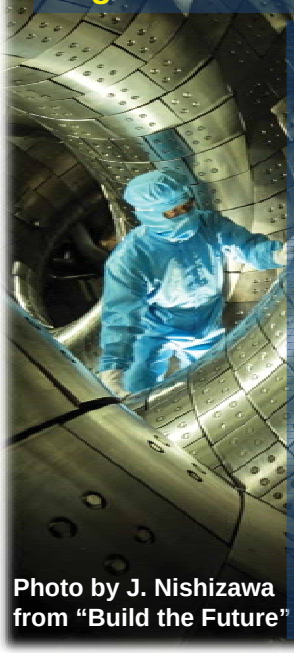


Photo by J. Nishizawa from "Build the Future"

(1) Realize plasma with a high fusion triple product and conduct extensive confinement study requisite for a fusion reactor.

(2) Realize beta exceeding 5 % and explore related physics.

(3) Employ divertor, conduct long pulse experiment and accumulate basic data for steady state operation.

(4) Investigate high energy particles in helical fields and conduct simulation experiment of alpha particles in a reactor plasma.

(5) Conduct complementary study to tokamak and deepen comprehensive understanding of toroidal plasmas.

LHD has worked very well for 16 years.

✓ **Operation for 16 years**

➔ engineering base of a large-scale superconducting and cryogenic system for fusion reactor development

Heating capability

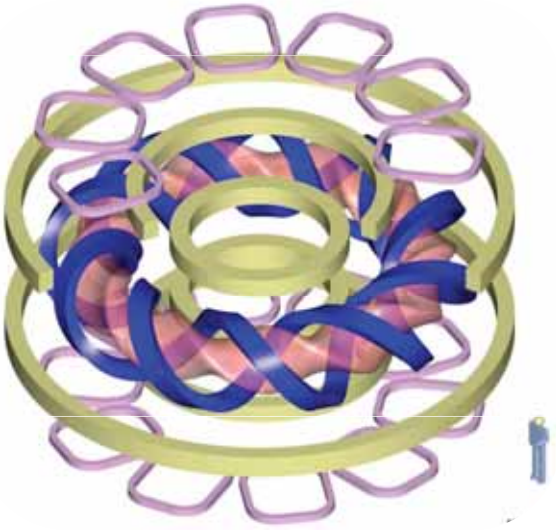
NBI	28	MW
ECH	4.6	MW
ICH	3.5	MW

< LHD basic dimension >

- Outer diameter 13.5 m
- Cold mass 820 ton
- Total weight 1500 ton
- Magnetic field 3 T
- Magnetic energy 0.77 GJ

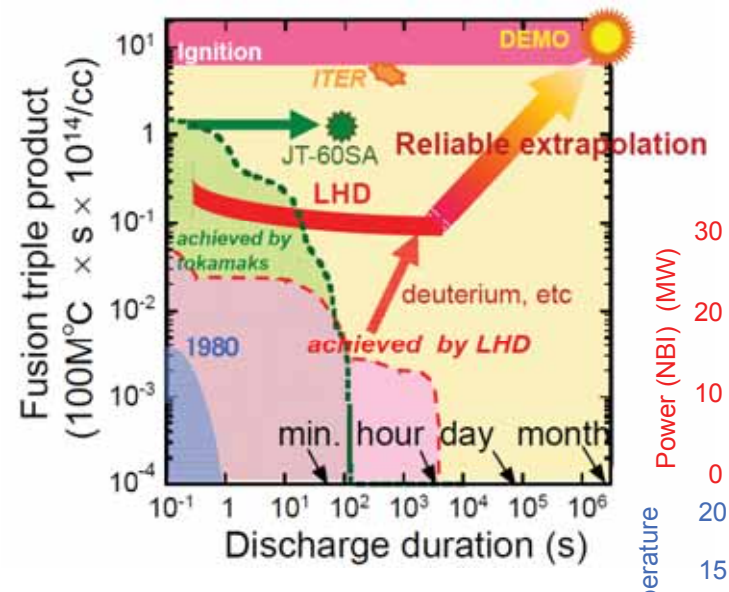
Several-month-long operation, 17 times since 1998

- Operational time of He compressor : 75,000 hours
  ➔ Duty > 99 %
- Coil excitation number : 1,545 times
- Plasma discharges : 122,000 shots
  (Plasma generation every 3 min)

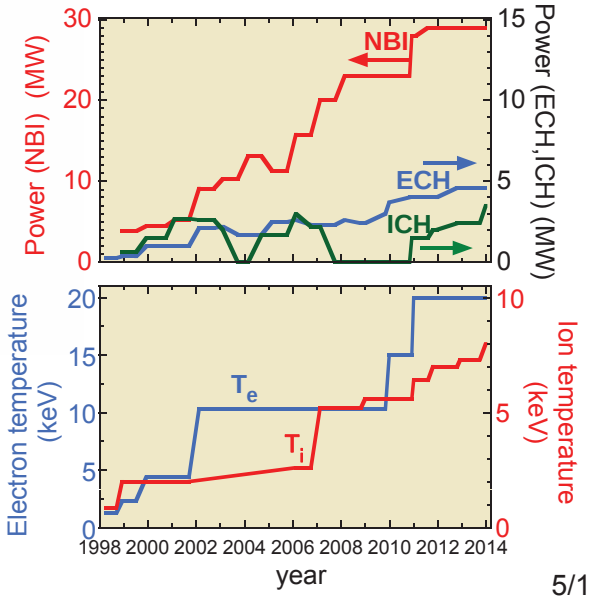


A large number of opportunities for diversified collaboration on physics

Demonstration of steady-state-operation of high-performance fusion plasma



LHD has shown steady and encouraging development of plasma performance in these 16 years since the initial operation.



Two major keys to realize fusion energy

1. Control of burning plasmas
   ➔ ITER
2. Steady-state operation
   ➔ LHD and JT-60SA

Achieved plasma parameters encourage the further next step.

Plasma parameters	Achieved	Target	Fusion condition
Ion temperature	8.1 keV at 1×10^{19}m^{-3}	10 keV at 2×10^{19}m^{-3}	> 10 keV > 1×10^{20}m^{-3}
Electron temperature	20 keV at 2×10^{18}m^{-3} 13.5 keV at 1.4×10^{19}m^{-3}	10 keV at 2×10^{19}m^{-3}	
Denisty	1.2×10^{21}m^{-3} with T_e of 0.25 keV	4×10^{20}m^{-3} with T_e of 1.3 keV	
Beta	5.1% at 0.425 T 3.7% at 1 T	5% at 1-2 T	> 5% at > 5 T
Steady-state operation	54min. 28sec (500kW) (1keV、4×10^{18}m^{-3}) 47min. 30sec. (1,200 kW) (2keV、1×10^{19}m^{-3})	1 hour (3,000 kW)	Steady-state (1 year)

Achieved in 2013

Innovative discovery to enable breakthrough ➔ acceleration of research

- ✓ Steady and stable high beta due to self-stabilization of instability
- ✓ Super-high density plasmas beyond 10 times the conventional fusion condition
- ✓ Impurity hole to pump out impurity automatically, etc.

Objectives of the LHD deuterium experiment

1. To realize high-performance plasmas by confinement improvement and to provide a wide range of plasma parameter space relevant to the reactor plasmas.
   As a consequence, scientific research area will be expanded with an increase in the variety of experiments.
2. To study the mass dependence (isotope effect) in the plasma confinement, leading to the establishment of a model for the burning experiment using deuterium and tritium.
3. To demonstrate that the confinement capability of high-energy ions is relevant to the burning plasmas in helical systems.

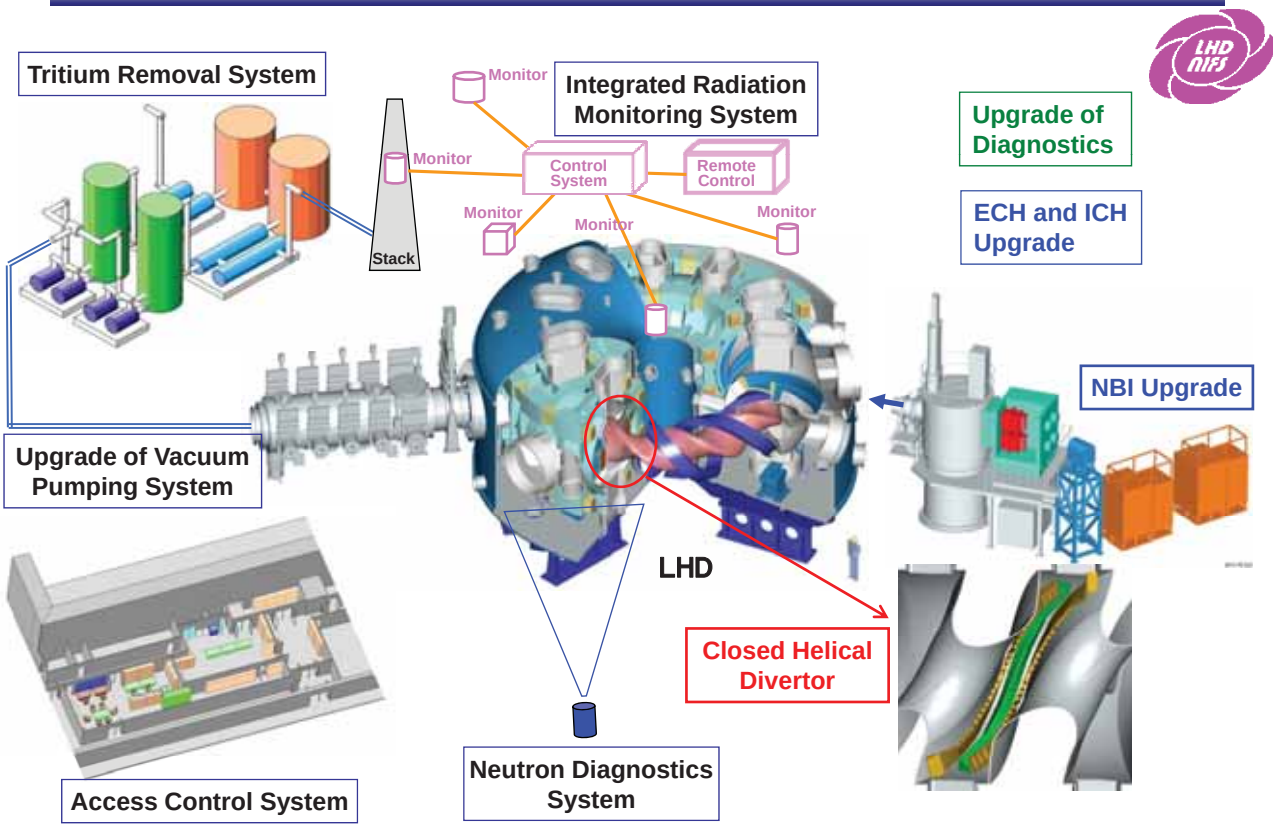
Annual Plan for LHD Deuterium Experiment

	First 6 years		Second 3 years	
FY	1st year	2nd – 6th year	7th – 9th year	After 10th year
Experiments	Preliminary Exp. (Commissioning)	Plasma Exp. For Target Parameters	Integrated High-Performance Exp.	Post-LHD Project
Maximum Annual Yield of Tritium	3.7×10^{10} Bq (1 Ci) (Integrated yield)		5.55×10^{10} Bq (1.5 Ci) (Integrated yield)	---
Maximum Annual Discharge of Tritium	3.7×10^{9} Bq (0.1 Ci) (Integrated yield)			---
Maximum Annual Yield of Neutron	2.1×10^{19} (Integrated yield)		3.2×10^{19} (Integrated yield)	---

LHD deuterium experiment will start after the supposed 3-years preparation.

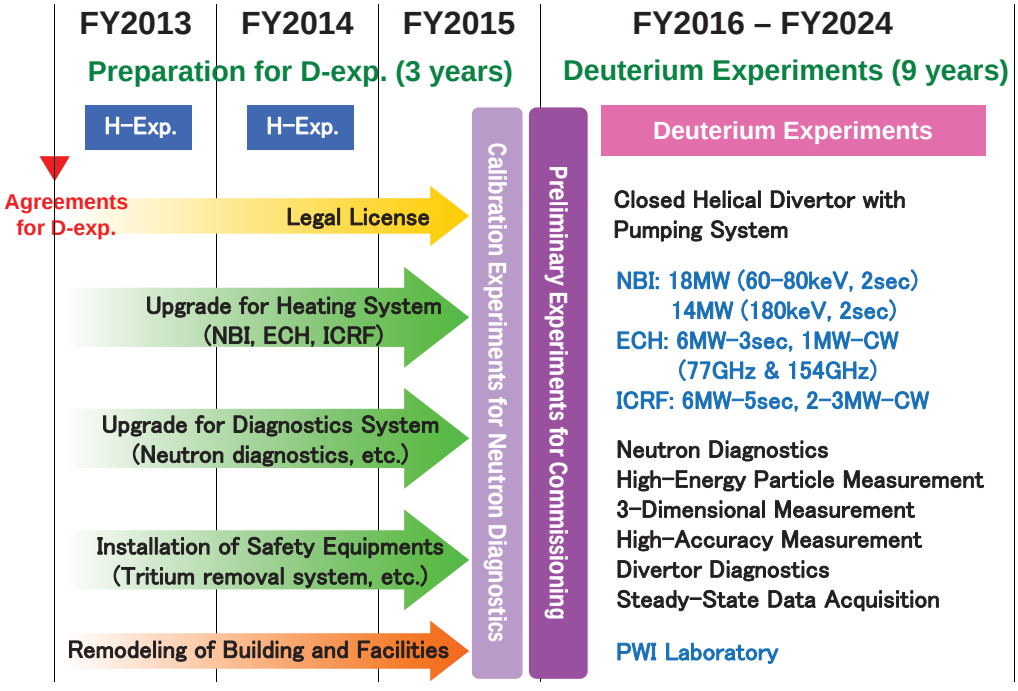
Post-LHD project will be directed to researches for the basic plasma science and the plasma application as well as the reactor design, with hydrogen plasma experiments.

Device Upgrade Plan for the LHD Deuterium Experiment



Schedule for LHD deuterium experiment (tentative)

- Concluding the Agreements for the LHD deuterium experiment with local government bodies on March 28, 2013.
- Deuterium experiment will start in 2016, and during the planned 9-years' experiments, 10keV of the T_i should be achieved.



Target in D-Exp.

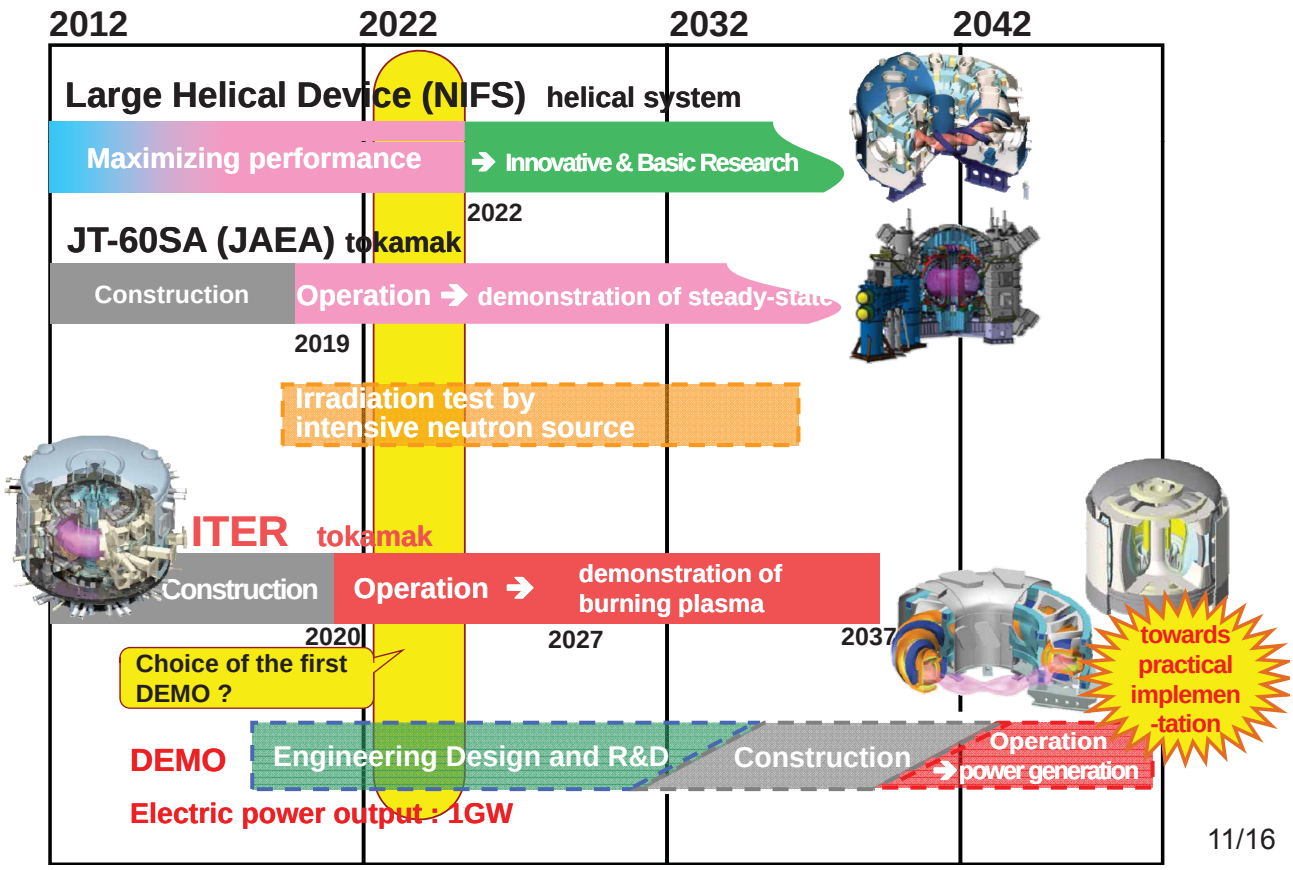
T_i = 10keV at 2×10^{19} m^{-3}

W_p = 3.8MJ at 1×10^{20} m^{-3}
$\langle\beta\rangle$ ~ 3% at T(0)~5keV

$nT\tau$ ~1.4×10^{20} m^{-3} keV s

3MW Heating for 1 hour

Towards Realization of Fusion Energy by Magnetic Confinement



Issues of Evaluation (1)

1. Research Plan

(1) Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

(2) Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

(3) Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

➔ Presentation by Y. Takeiri

Issues of Evaluation (2)

2. Deuterium Experiment Preparation System

(1) Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

(2) Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate? Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

➔ Presentation by Y. Takeiri

Issues of Evaluation (3)

3. Safety Management Planning

(1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

(2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

(3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

(4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency measures manual being formulated appropriately?

(5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

(6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

➔ Presentation by K. Nishimura

Issues of Evaluation (4)

4. Understanding by Society and Citizens

(1) Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

(2) Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

(3) Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

➔ Presentation by Y. Takeiri

Note from the review of the safety management in 2009

Referencing the “recommendation” regarding the safety management plan at the time of the deuterium experiment in the external review of the safety management undertaken in 2009, the two points below, too, are to be considered in this evaluation.

1) Has the cultivation and the education training of those responsible at the time of the deuterium experiment been conducted appropriately?

2) Are the organization of the safety committee for radiation safety management, the safety observation committee, the radiation management office, and others, and the structure at the time of an emergency being appropriately constructed?

➔ Reflect to “3. safety management planning”

1. Research Plan

(1) Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

(2) Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

(3) Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

1. Research Plan

(1) Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

(2) Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

(3) Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

Objectives of the LHD deuterium experiment

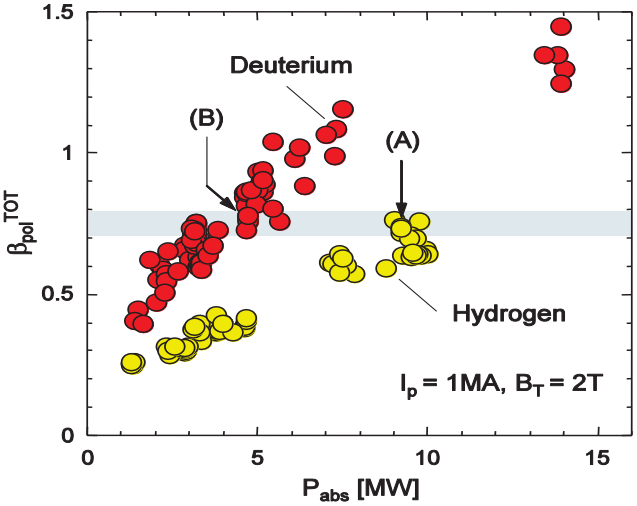
1. To realize high-performance plasmas by confinement improvement and to provide a wide range of plasma parameter space relevant to the reactor plasmas.
   As a consequence, scientific research area will be expanded with an increase in the variety of experiments.
2. To study the mass dependence (isotope effect) in the plasma confinement, leading to the establishment of a model for the burning experiment using deuterium and tritium.
3. To demonstrate that the confinement capability of high-energy ions is relevant to the burning plasmas in helical systems.

Improvement of the plasma confinement (Isotope effect) is clearly observed in deuterium experiments in the world-major devices.

Device	Nation	Improvement factor in D-exp
JFT-2M	Japan	1.1～1.4
JT-60U	Japan	1.2～2
Alcator C	USA	1.5
DIII-D	USA	1.4～2
ISX-B	USA	1.4
TFTR	USA	1.2
ASDEX	Germany	1.3～2
ASDEX-U	Germany	1.5
TEXTOR	Germany	1.4
JET	UK	1.2～1.4
FTU	Italy	1.4

Isotope effect is a major issue to be identified for the burning plasmas.

Comparison between deuterium and hydrogen plasmas (JT-60U)



Main subjects in the LHD deuterium experiment (1)

(a) Confinement improvement and related physics

Research on the isotope effect in the plasma confinement and the related confinement improvement in the deuterium experiments, toward systematic understanding of the toroidal plasmas.

(b) Improvement of MHD stability and expansion of high-β regime

Research on the MHD equilibrium and stability in high-β regime of collisionless plasmas realized by the confinement improvement and the increase in the heating power in the deuterium experiment.

(c) Confinement of high-energy ions

Research on the confinement of high-energy ions, such as ICRF accelerated ions and 1-MeV triton with a high-accuracy diagnostic of neutrons (utilizing T+D --> n(14MeV)+α as the secondary reaction of D+D --> T(1.0MeV)+p).

Main subjects in the LHD deuterium experiment (2)

(d) Optimization of divertor

Research on the particle and heat control in the peripheral plasma region with the closed helical divertor and improvement of the steady state plasma performance.

(e) Plasma wall interaction (isotope effects)

Research on the isotope effects in the plasma wall interaction including the fuel recycling, to understand the behavior in the burning plasmas.

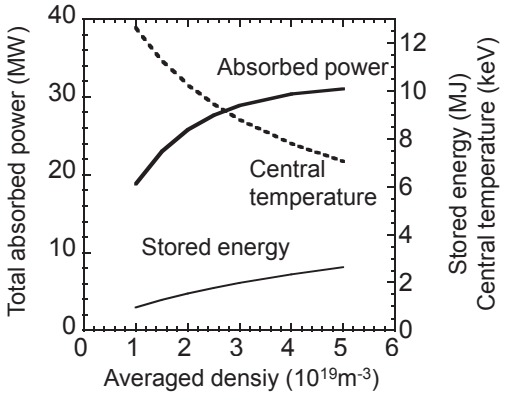
(f) Expansion of experimental approaches

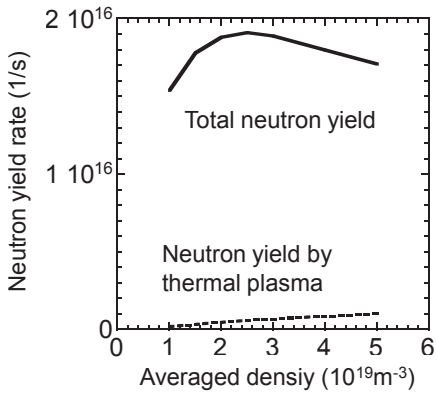
Ion heating experiments by the ICRF heating schemes of H-minority/D-majority and ^{3}He-minority/D-majority.

Expected plasma parameters and the resulted neutron and tritium yields

- Heating condition NBI 32MW (perp.: 80keV-18MW, tang.: 180keV-14MW)
  ICH+ECH 3MW
- Assumed energy conf. time 2 times ISS95 (Achievement: x1.6) - Magnetic field 3T

➔ $T_i(0) = 10keV$ at $n_e = 2\times10^{19}\ m^{-3}$
$W_p = 3.8MJ$ at $n_e = 1\times10^{20}\ m^{-3}$ ➔ <β> ~3%, T(0)~5keV ➔ $nT\tau \sim 1.4\times10^{20}\ m^{-3}\ keV\ s$
➔ if $\tau_E \sim 3\tau_E^{ISS95}$, Q~0.3





TCT effect is dominant

Maximum neutron and tritium yields

Line-averaged density	$2.5\times10^{19}\ m^{-3}$	Total abs. heating power	27.7 MW
Central temperature	9.5 keV	Plasma stored energy	1.77 MJ
Neutron yield rate	1.91×10^{16} /s	(yield rate by thermal plasma	5.98×10^{14} /s)

- Pulse length: 3sec ➔ Neutron yield: 5.7×10^{16}, Tritium yield: 1.0×10^{8} Bq (2.7×10^{-3}Ci)

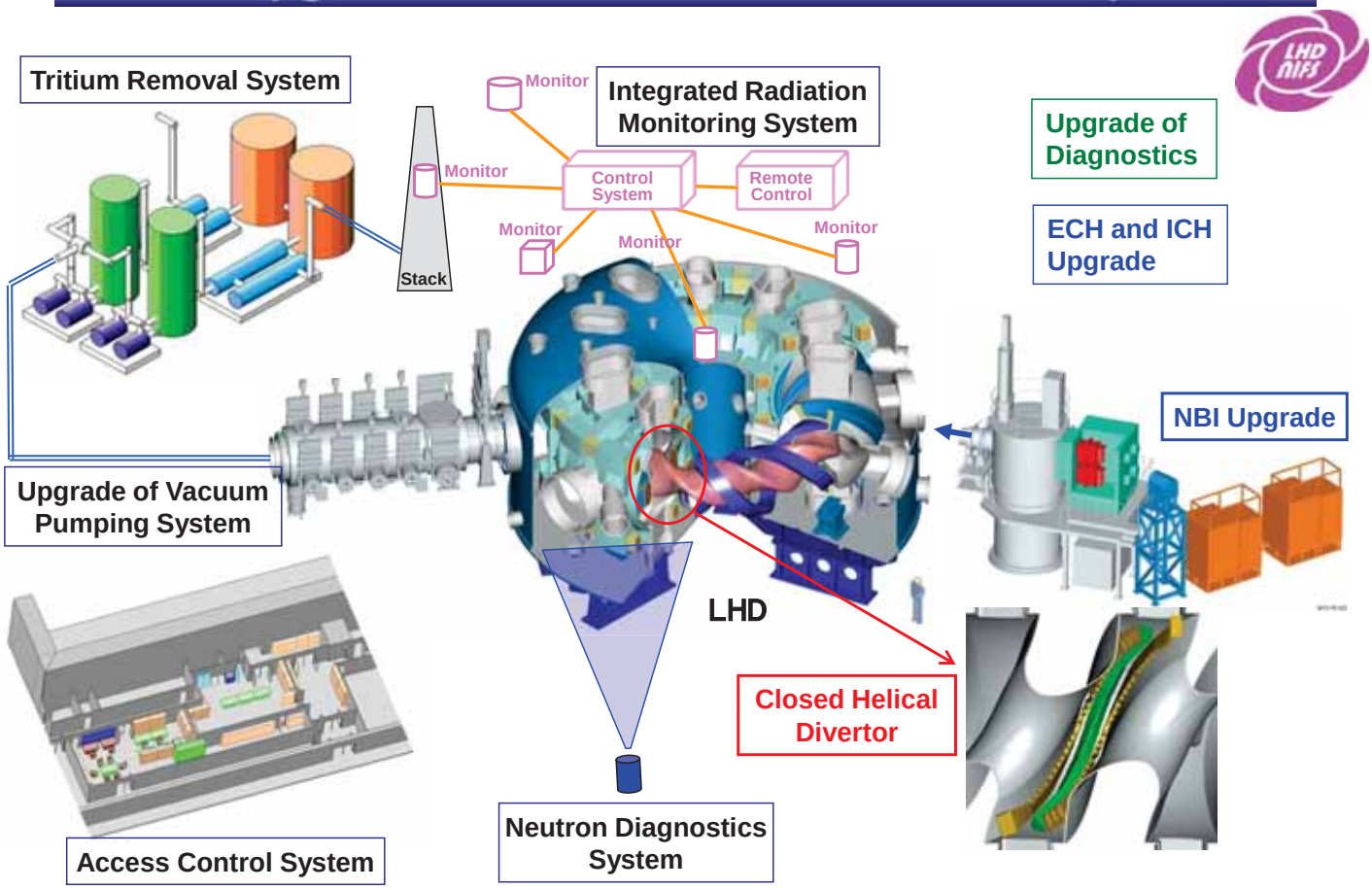
Annual Plan for LHD Deuterium Experiment

	First 6 years		Second 3 years	
FY	1st year	2nd – 6th year	7th – 9th year	After 10th year
Experiments	Preliminary Exp. (Commissioning)	Plasma Exp. For Target Parameters	Integrated High-Performance Exp.	Post-LHD Project
Maximum Annual Yield of Tritium	3.7×10^{10} Bq (1 Ci) (Integrated yield)		5.55×10^{10} Bq (1.5 Ci) (Integrated yield)	---
Maximum Annual Discharge of Tritium	3.7×10^{9} Bq (0.1 Ci) (Integrated yield)			---
Maximum Annual Yield of Neutron	2.1×10^{19} (Integrated yield)		3.2×10^{19} (Integrated yield)	---

LHD deuterium experiment will start after the supposed 3-years preparation.

Post-LHD project will be directed to researches for the basic plasma science and the plasma application as well as the reactor design, with hydrogen plasma experiments.

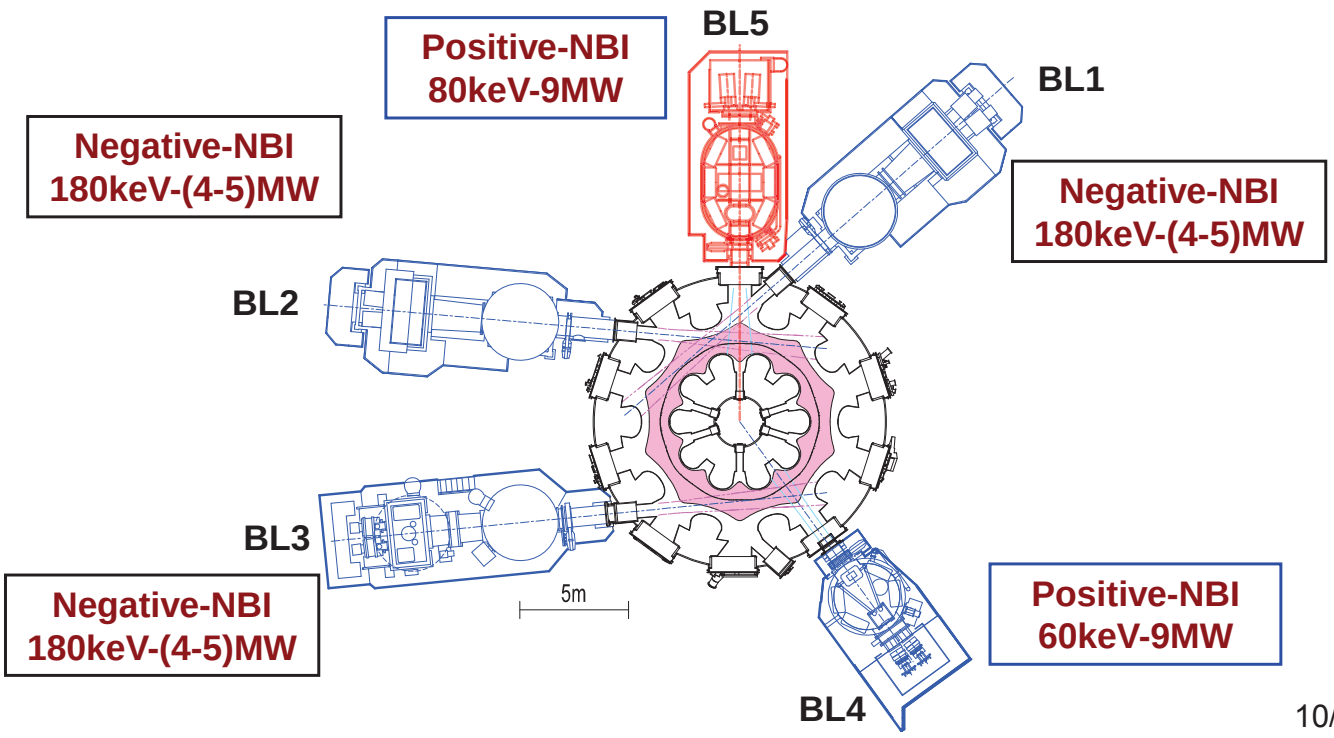
Device Upgrade Plan for the LHD Deuterium Experiment



NBI upgrade plan for deuterium experiment

Low-energy positive-NBIs: 2 (perp. inj.) 18MW
High-energy negative-NBIs: 3 (tang. inj.) 14MW

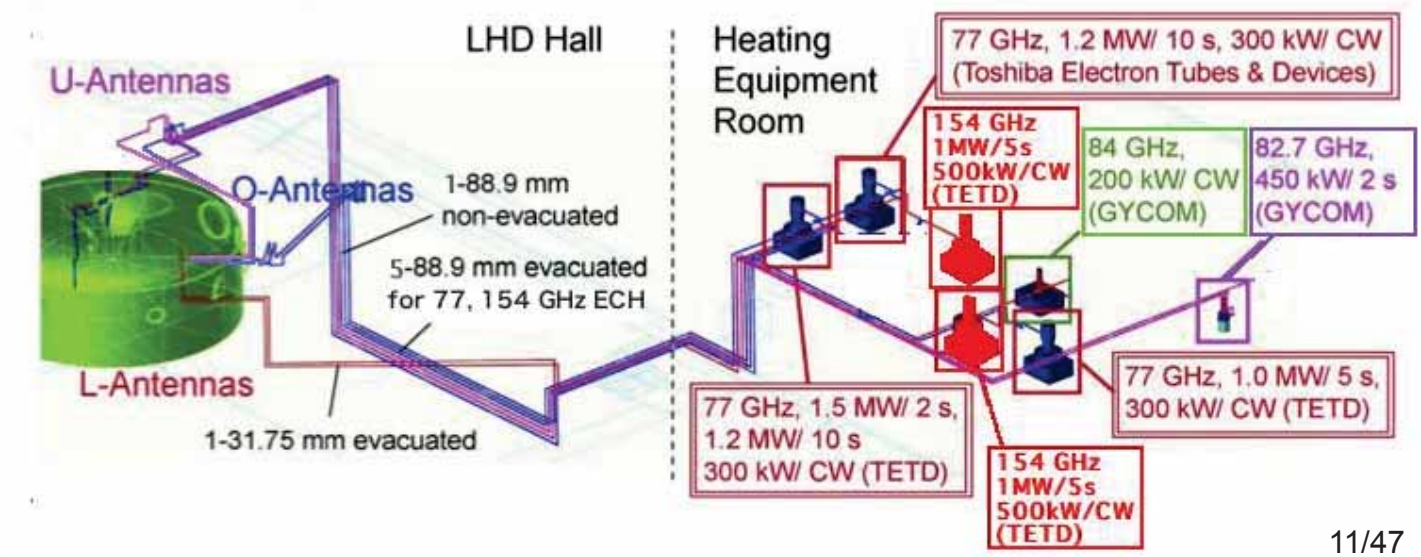
- NBI upgrade for raising the beam energy of positive-NBIs has been completed.



ECH upgrade plan for deuterium experiment

77GHz/154GHz 6 systems
6MW/3sec, 1MW/cw

- Three 77GHz- and two 154GHz-ECH systems, each of which injects >1MW for a short pulse and >300kW for CW, have been installed. (an 84GHz- and an 82.7GHz-ECH systems will not be available in the D-experiment.)
- One 154GHz-ECH system is planned to be installed after the start of the deuterium experiment.



ICH upgrade plan for deuterium experiment

3 sets with 6 antennas 6MW/5sec, 2～3MW/cw

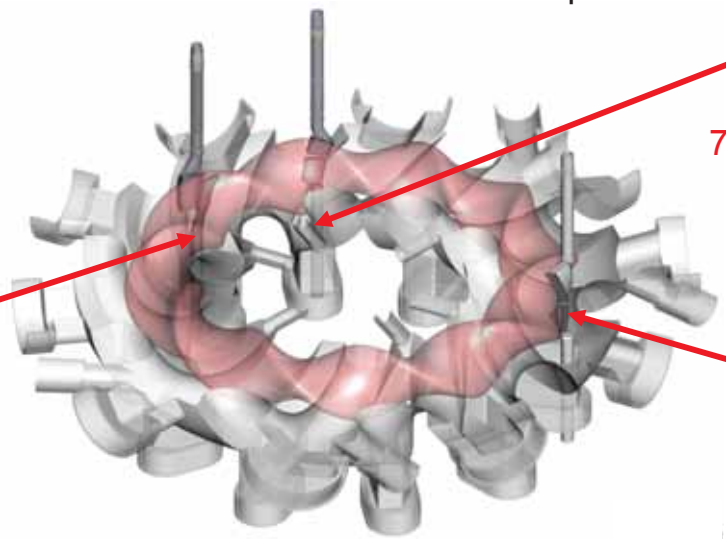
- Each antenna injects >1MW for pulse and >0.5MW for CW.
- 2 straps of HAS (HAsu-Seigyo) antenna
  2 straps of FAIT (Field-Aligned Impedance-Transforming) antenna
  2 straps of PA (Poloidal Array) antenna
- Frequency will be fixed at 38.5 MHz.
- PA antennas will be removed before the deuterium experiment.

4.5U/L FAIT antenna



3.5U/L HAS antenna





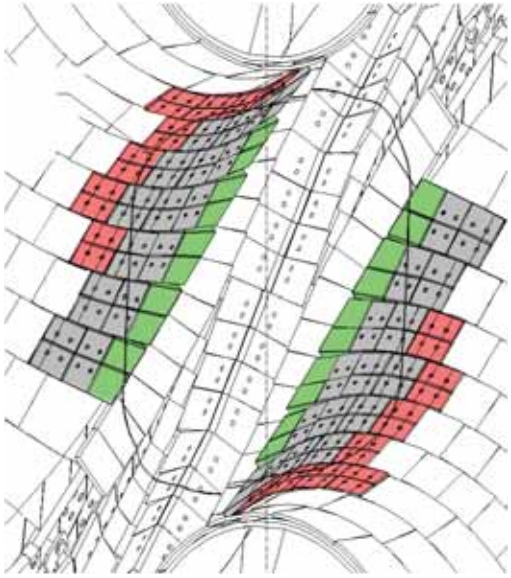
ICRF antennas in 2014 experiment

7.5U/L PA antenna



LHD in-vessel components

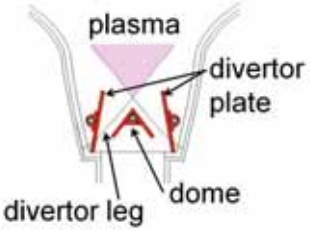
- **Armor** was installed to protect vessel wall from the increased NB power.



Tiles are made of tungsten or carbon fiber composite materials.

- Baffles to form **closed helical divertor** configuration have been installed (9 modules completed).



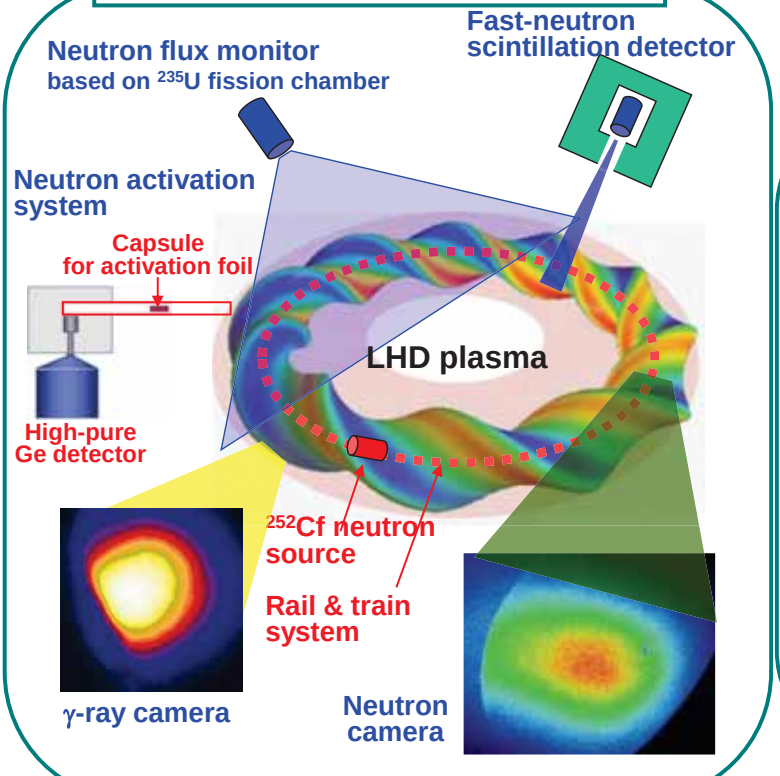


Cryopumps are being installed under the dome.

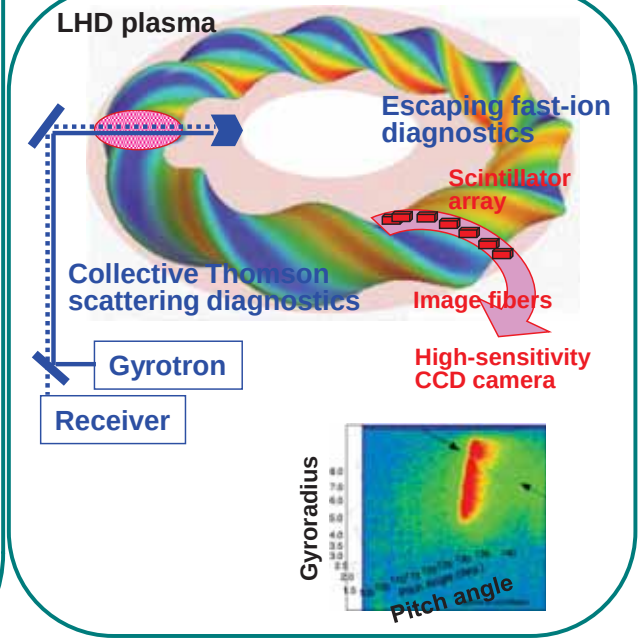
Upgrade plan for diagnostics (1)

Extension of confinement study for high-energy particles

Neutron・γ-ray diagnostics



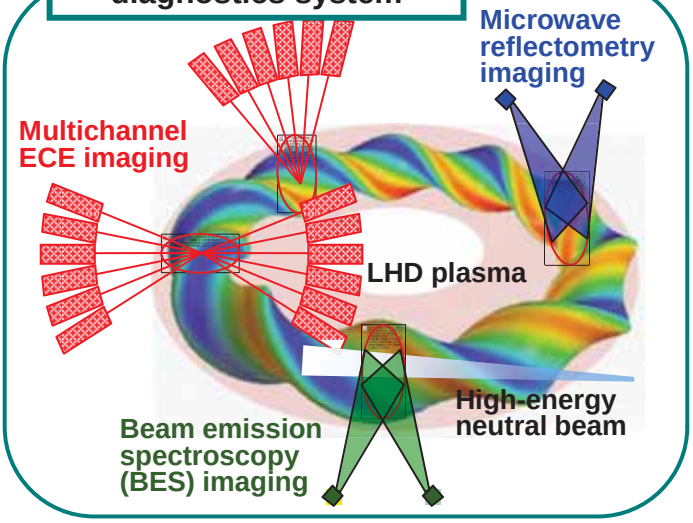
High-energy particle diagnostics



Upgrade plan for diagnostics (2)

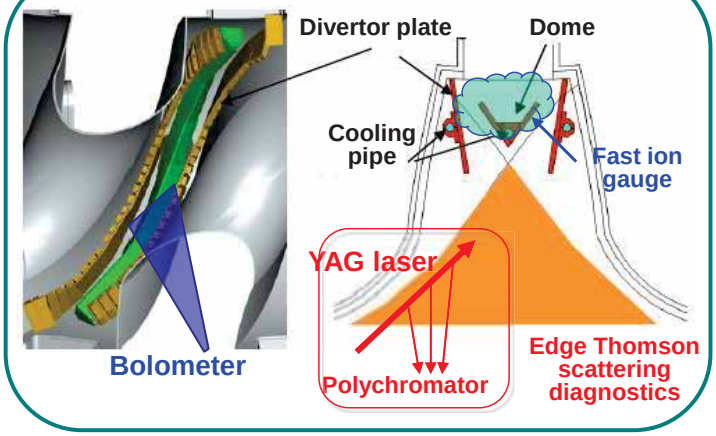
Enhancement of anomalous transport study

High precision transport diagnostics system



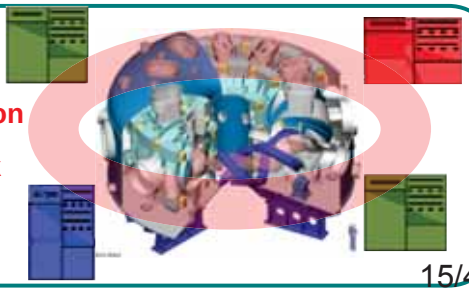
Toward deeper understanding of divertor physics

Upgrade of divertor, edge plasma diagnostics



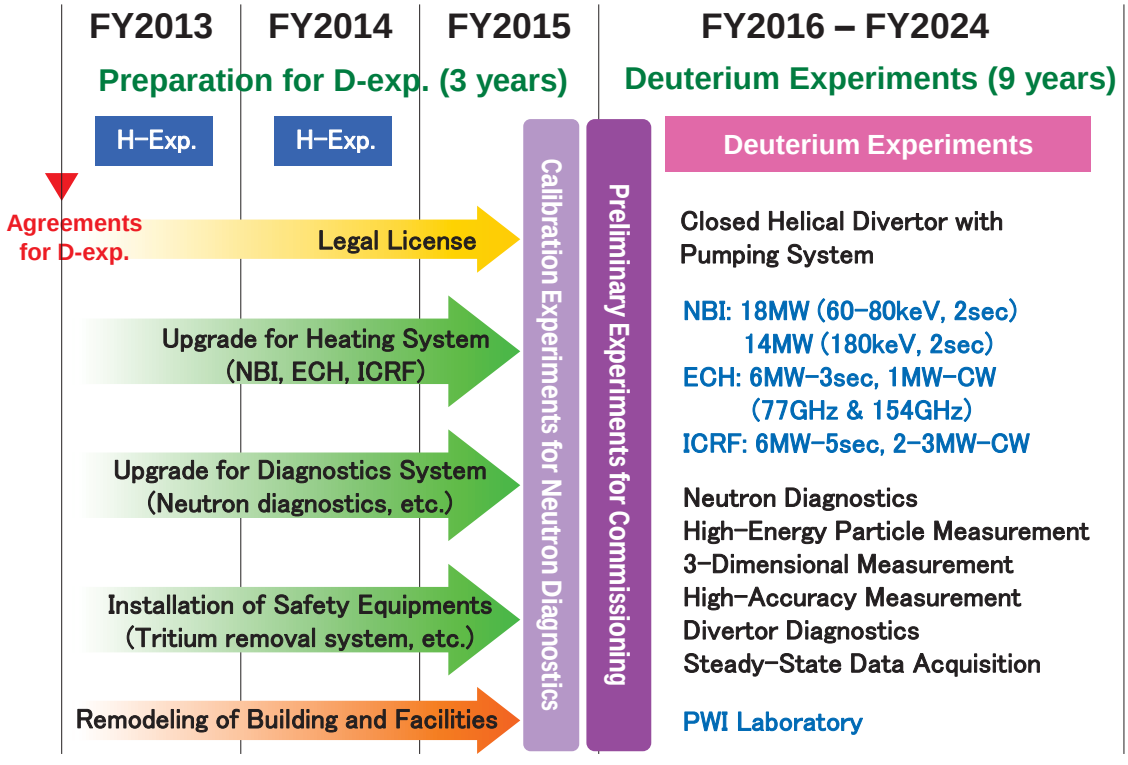
Steady state, fast data acquisition and management system

- ✓ Fast DAQ for fluctuation measurements with high-time and space resolutions
- ✓ Data analysis computing cluster for real-time analysis and monitoring
- ✓ Real-time operability for steady-state plasma measurement and control



Schedule for LHD deuterium experiment (tentative)

- Concluding the Agreements for the LHD deuterium experiment with local government bodies on March 28, 2013.
- Deuterium experiment will start in 2016, and during the planned 9-years' experiments, 10keV of the T_i should be achieved.



Target in D-Exp.

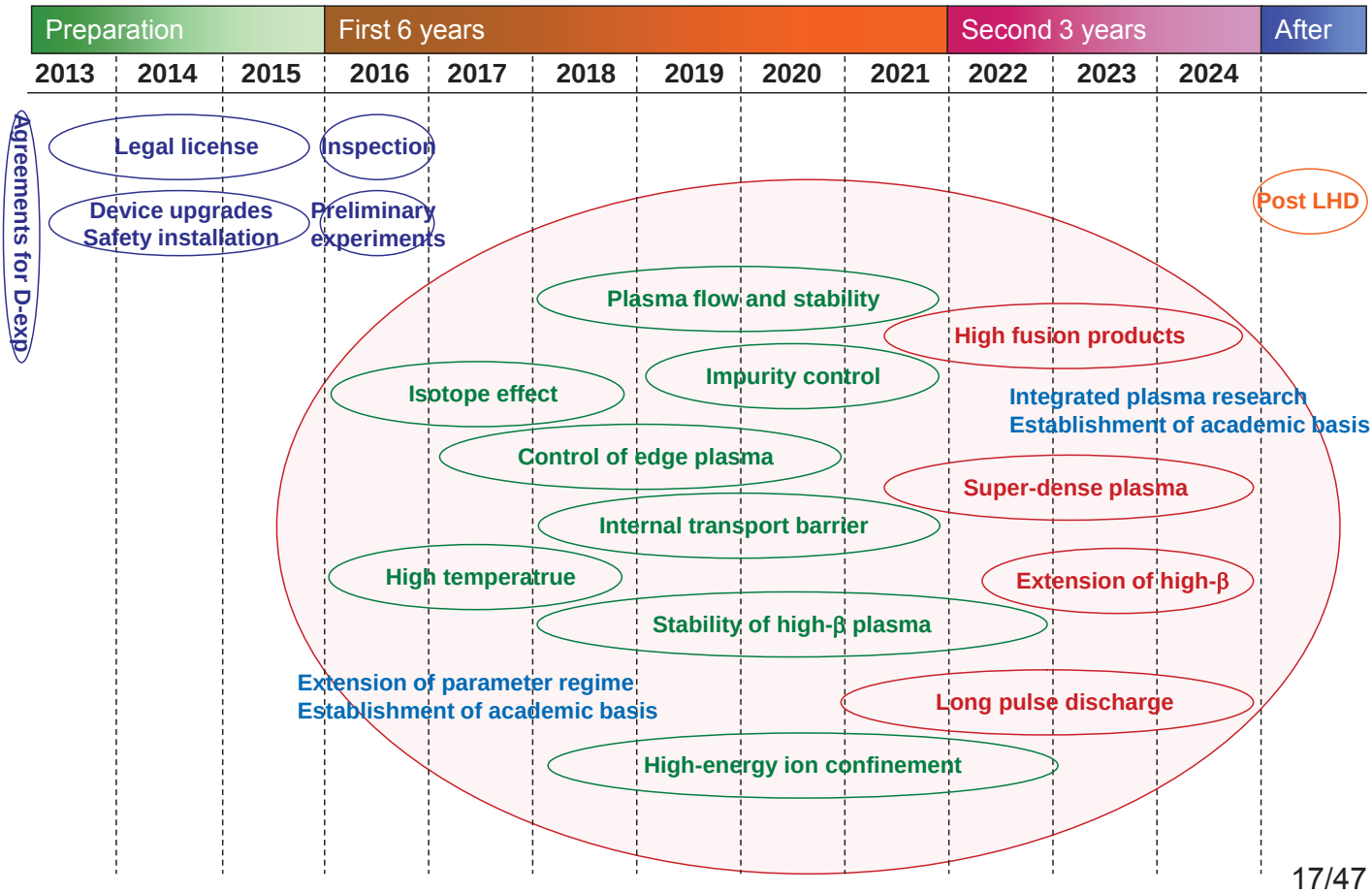
T_i = 10keV at 2×10^{19} m^{-3}

W_p = 3.8MJ at 1×10^{20} m^{-3}
$\langle\beta\rangle$ ~ 3% at T(0)~5keV

$nT\tau$ ~1.4×10^{20} m^{-3} keV s

3MW Heating for 1 hour

Research schedule plan for deuterium experiments



Implementation system for LHD deuterium experiment (1)

LHD Experiment Board
chaired by Executive Director

LHD Operation Group

LHD Device Engineering Meeting
- Technological examination of devices
- Arrangement and planning of installation

LHD Experiment Group

LHD Experiment Group Meeting
- Preparation and planning of experiment
- Report of experimental results
- Discussion of researches
- Dry-run for presentation

Division director of health and safety promotion
- Watches and supervises the safety of experiments

Radiation Control Office
- Checks the radiation safety of the experiments

LHD team

Implementation system for LHD deuterium experiment (2)


自然科学研究機構　核融合科学研究所（ＬＨＤ）

プラズマ実験予定表

作成者

実験日	本日の実験テーマ
2011年 10月18日(火)	高密度プラズマの長時間維持 ヘリウムと水素プラズマの輸送の違いに関する研究、水素ﾍﾘｳﾑ混合プラズマにおける不純物挙動 ICプラズマの長時間維持 [1]周辺制御機器を用いたダスティング実験

実験番号	担当実験研究グループ	担当実験テーマリーダー	担当実験テーマグラダー
794	高密度プラズマとダイバータによる閉じ込め改善/高ベータ特性プラズマ・輸送分析		

実験スケジュール

8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
準備	定常・放電	ECH・ﾍﾘｳﾑ放電	休憩	周辺[PWI]	準備									

実験体制

実験統括	実験運転責任者A	実験運転責任者B	電源系統担当
計測との連絡	計測との連絡		

実験予定の概要

○実験内容、条件

放射線担当

実験開始条件

○励磁減磁
入室禁止 08:45
立上げ 09:00
立下げ 18:45

実験環境

○コンディショニング

○前夜GD	なし
○実験開始前 Ti ゲッター	なし
○実験中 Ti ゲッター	なし
○実験終了後GD	なし
○ベーキング	なし

規制事項	特記事項	備考

- **LHD experiment board is responsible for management of the LHD experiment.**
- **Experiment plans are verified and finalized by the board including the safety management.**
- **Division director of health and safety promotion watches and supervises the safety for experiments as a board member.**
- **Head of radiation control office checks the radiation safety in the experiments.**
- **Safety regulation and roles in the emergency are confirmed at the morning meeting before the experiment.**

(1) Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

1. Deuterium experiment is expected to greatly extend the LHD plasma parameter regime to the reactor-relevant regime, which should lead to the firm design of a helical fusion reactor by establishment of an academic basis for toroidal plasmas.
2. Main subjects in the LHD deuterium experiment should contribute to achievement of the goal of the deuterium experiment through the confinement improvement due to the isotope effect, extension of high-β regime, intensive research on enhanced high-energy ions, optimization of divertor, and research on the isotope effects in the peripheral region and the plasma wall interaction, as well as expansion of ICRF heating schemes.
3. Machine upgrade is planned to maximize the heating capability in the deuterium experiments, to improve the diagnostic accuracy for precise physics research, and to install the closed helical divertors, and the research schedule is also planned along the main subjects.
4. LHD experiment board should conduct the deuterium experiment to achieve the goal, through well-organized research and safety management system.

1. Research Plan

(1) Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

(2) Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

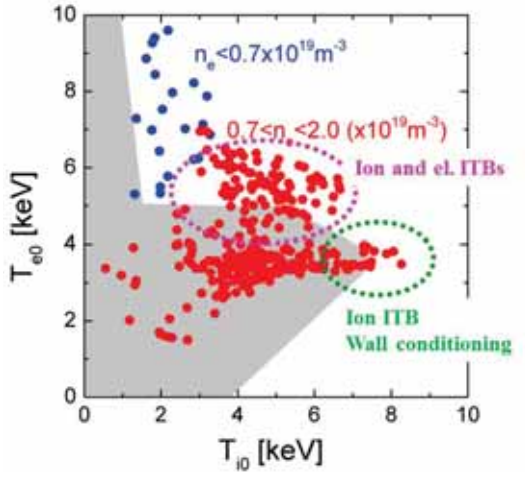
(3) Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

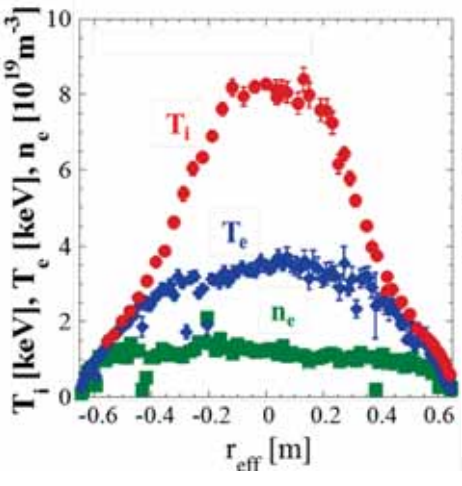
High-Temperature Plasmas with ITB formation

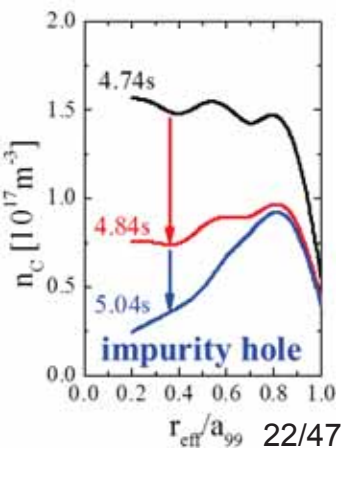
High electron temperature plasmas with Electron ITB/CERC
- → **Upgrade of ECH power and fine control of deposition**
- → **Transport improvement due to the bifurcation of E_r**

High ion temperature plasmas with ion ITB
- → **Wall conditioning enhances the transport improvement**
- → **Impurity exhaust (Impurity Hole formation)**

High temperature plasmas with comparable Ti and Te
- → **Integration of ion ITB and electron ITB**
- → **Control of temperature profile**







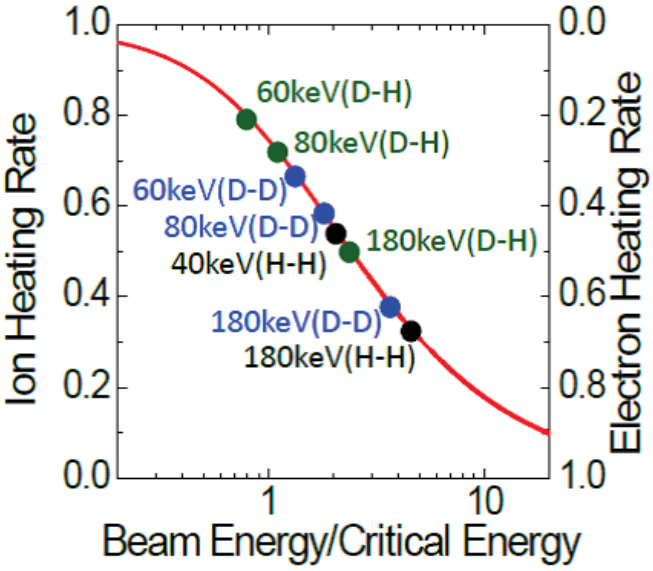
High-Temperature Regime in Deuterium Exp.

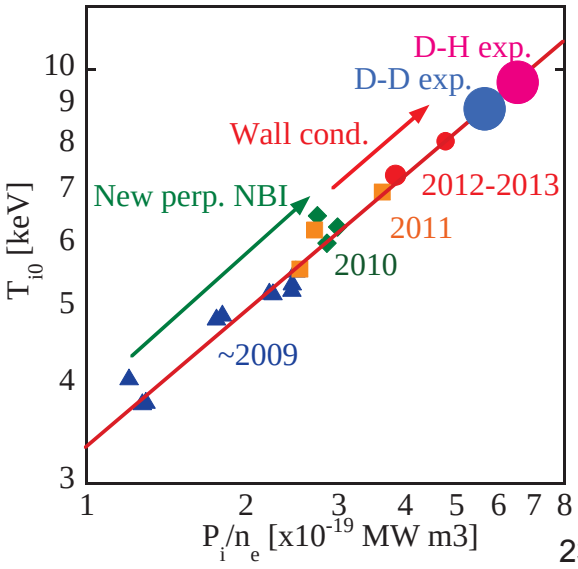
Neutral beam Injectors (NBIs) will be upgraded for deuterium beam injection, which have higher ion heating efficiency

Positive NBI (40kV, 6MW, H_0) + (40kV, 6MW, H_0) ➔ (60kV, 9MW, D_0) + (80kV, 9MW, D_0)

Negative NBI (180kV, 5MW, H_0) x 3 ➔ (180kV, ~3.5MW, D_0) x 3

In LHD deuterium experiment, T_{i0} = 10 keV will be achieved with deuterium beam injection and further improvement of confinement due to the isotope effect





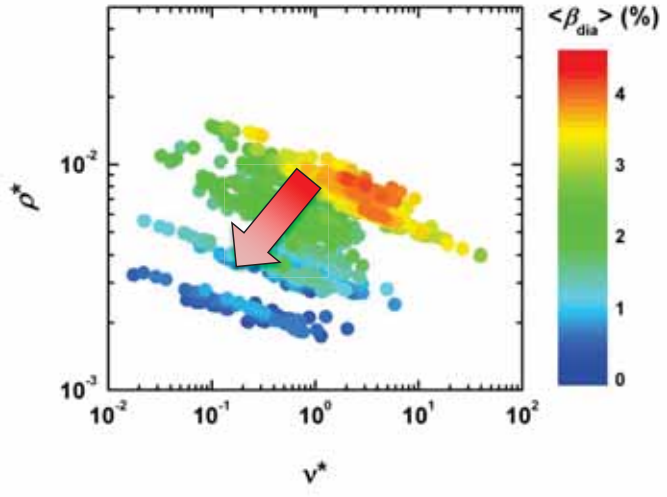
Extension of High Beta Regime

<β> > 5 % is required for realization of economical helical fusion reactor and was achieved in high collisional regime, which clarify the following characteristics of MHD equilibrium and stability:

- **Activities of resistive interchange modes are mitigated in collisionless regime with high magnetic Reynolds number**
- **Plasma is well confined in stochastic region**

Confinement improvement in DD experiments expects to

- **access to low-collisional high beta regime, which enable us to studies of equilibrium, stability and transport in new regime.**
- **clarify collisionality dependence of plasma confinement in the stochastic region**



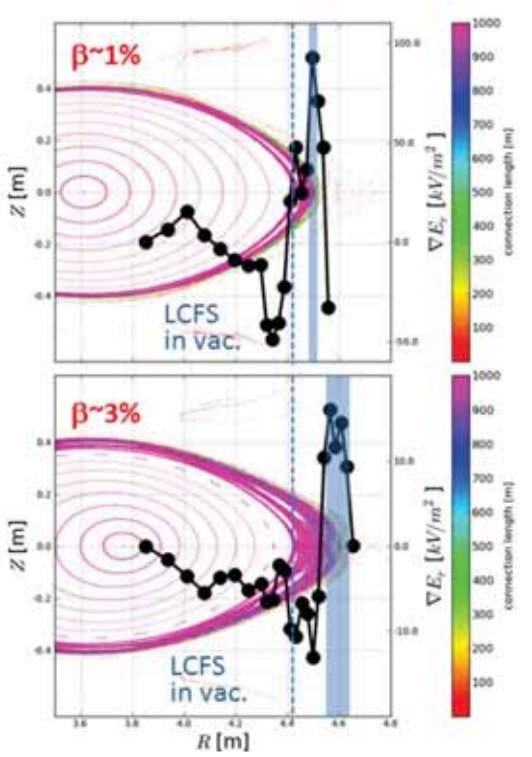
Subjects of MHD Studies

MHD studies are required for maintenance of stable plasma

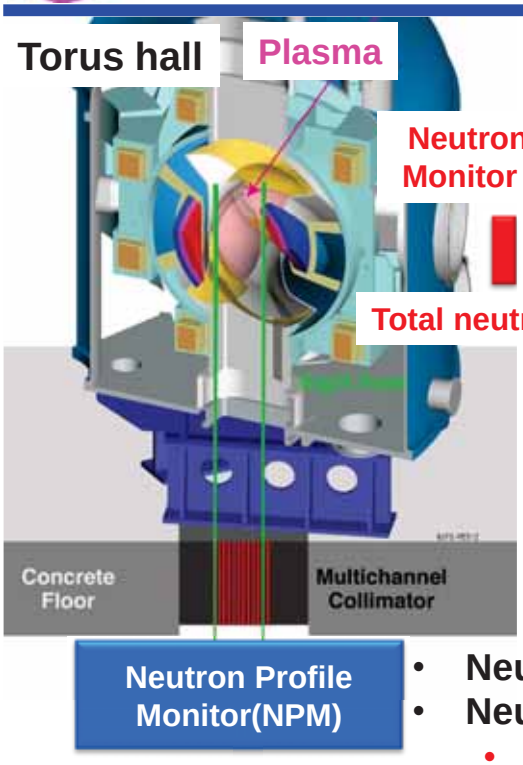
The studies of the following subjects are ongoing:

- Beta limits due to equilibrium and stability
- Change of magnetic topology
- Equilibrium, stability and transport in stochastic region
- Response of 3D field to plasma
- Non-linear growth of MHD instabilities
- H mode physics and ELM control

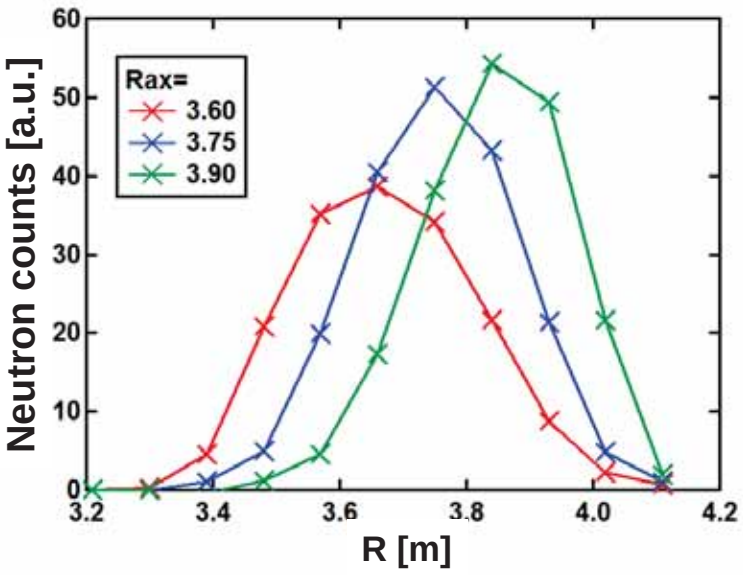
Further understanding of MHD physics is expected through DD experiments



High-energy ions



Neutron profile based on FIT3D code



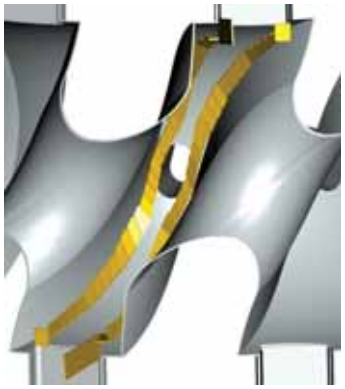
- Neutron is mainly due to fast-ion-plasma reaction.
- Neutron measurement expands the fast-ion study.
  - NFM reveals global confinement of fast ion.
  - NPM reveals radial profile of fast ion.
- Further progress of study on fast-ion confinement changing due to magnetic field configuration or MHD instability will be promising.

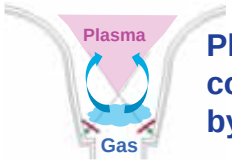
Closed Helical Divertor

Particle and impurity control by divertor pumping
- → Suppression of plasma cooling due to gas and removal of impurity
- → Improvement of plasma performance

Reduction of heat and particle load in divertor
- → Achievement of high-power and long-pulse plasma
- → Divertor design of helical reactor

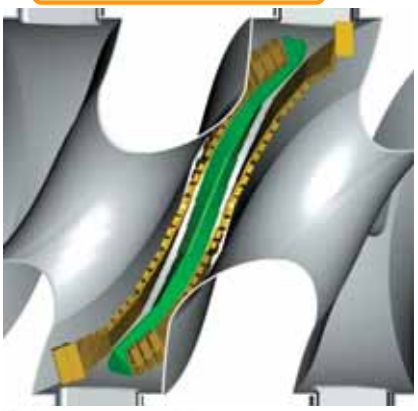
Open Divertor

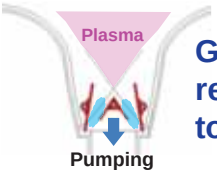




Plasma is cooled by gas.

Closed Divertor



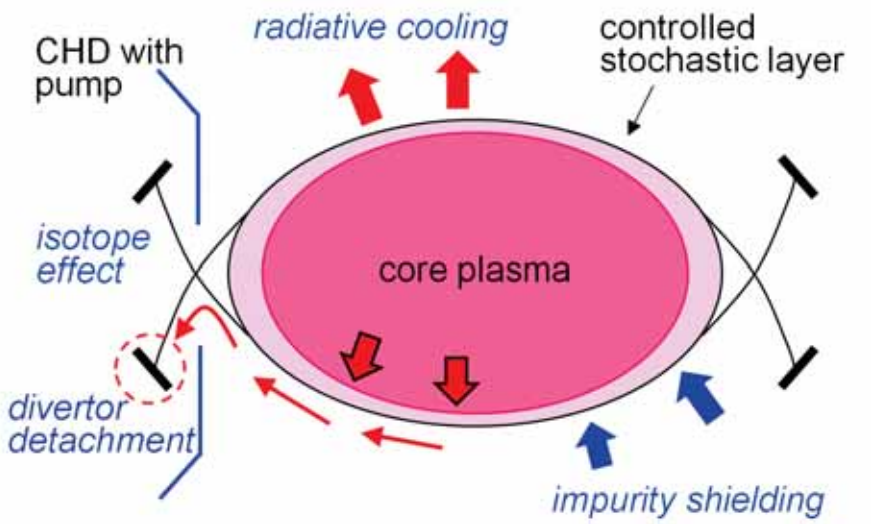


Gas is not returned to plasma.

- Closed helical divertor with baffle structure and pumping system →Active particle control in high-heating power and long-pulse discharge
- Closed divertor in inboard side
- Step-by-step installation of closed divertor

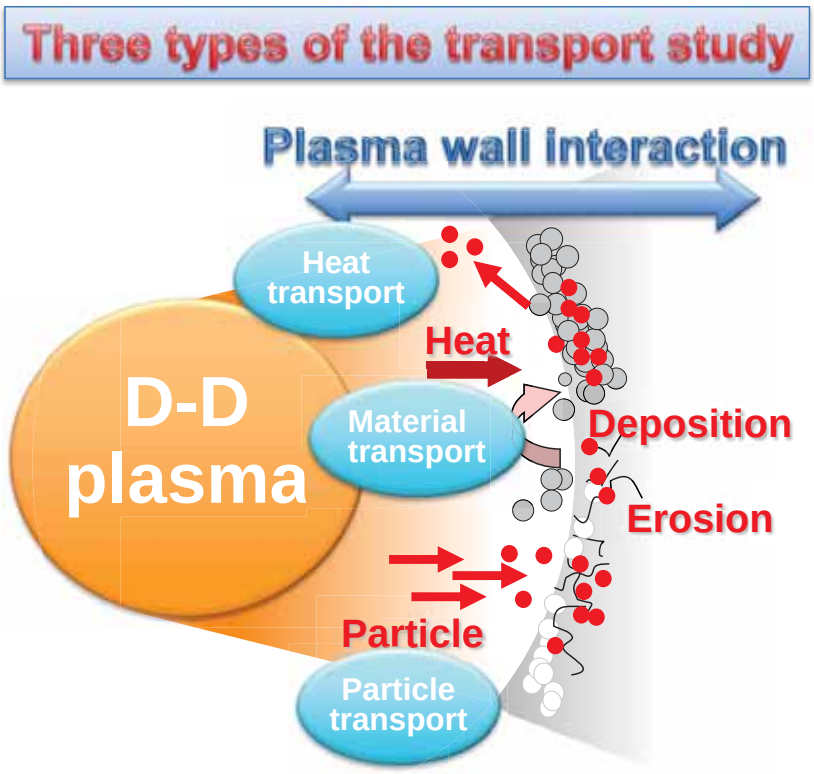
Divertor Studies

Strategy of edge plasma control: **combination of Closed Helical Divertor (CHD) and Stochastization with RMP**



- Particle recycling is controlled with *closed helical divertor (CHD) with pump*
- RMP-controlled stochastic layer is utilized for *radiative cooling* and *impurity shielding*
- RMP-controlled stochastic layer is expected to enhance the *divertor detachment*
- Radiative cooling in stochastic layer mitigates heat load to divertor plates
- Isotope effect and neutral particle transport including He should be investigated

Plasma Wall Interaction



Heat transport

- Distribution of the heat loading and its global balance towards the FFHR-d1 is estimated in the LHD D-D plasma with long pulse operation.

Particle transport

- Quantitative analysis of H isotopes on the entire wall surface is estimated by material probe experiment. Then, the data is applied to estimation of the total T inventory in the large fusion system.

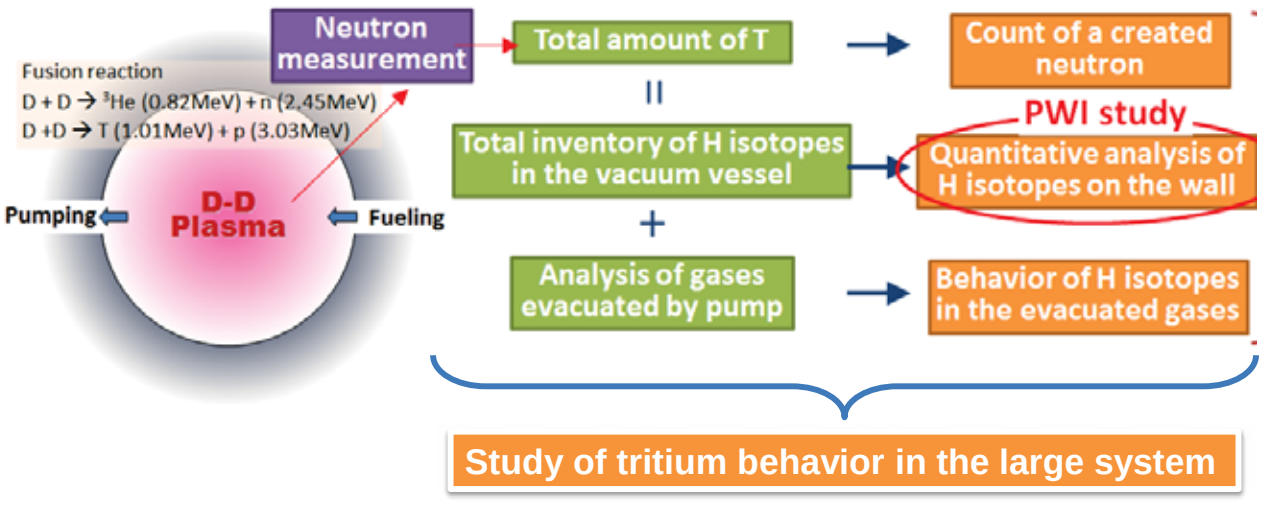
Material transport

- Erosion and deposition profile of the plasma facing components on entire wall surface in LHD is evaluated by material probe experiment.

Tritium Study

~ tritium mass balance and safety handling technology ~

- Application of tritium as a tracer
  - Study of tritium behavior in the large system
- Tritium mass balance in LHD
  - Total amount of tritium by neutron measurement
    = Tritium inventory in/on the first wall and the diverter tile [PWI study]
    + Tritium analysis in the vacuum exhaust gas
- Tritium safety handling technology
  - Validation of the tritium decontamination factor in the large scale tritium removal system



Heating & Steady State (Ion Cyclotron Heating)

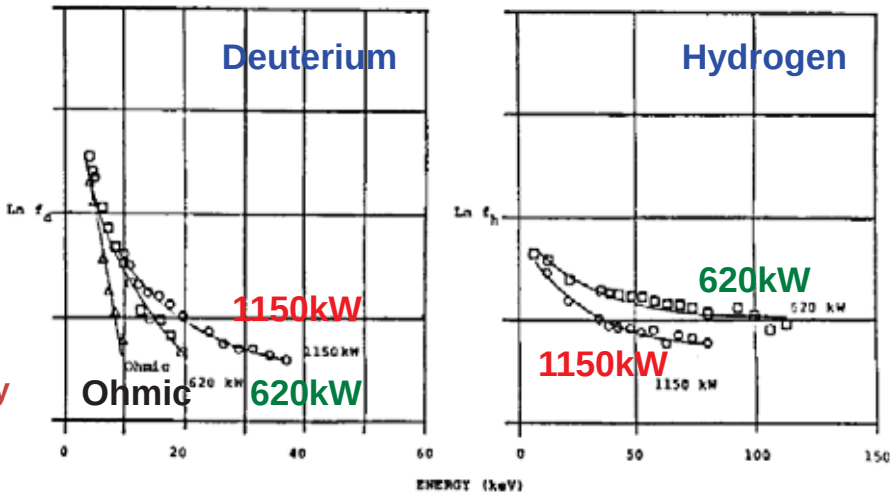
Helium will be replaced by deuterium in ICRF heating

Minority ion heating (D(H) plasma)
- Applicable to a variety of plasmas if deuterium is usually used
- Optimal minority ratio may differ from tokamak devices

Second harmonic heating of deuterium
- Effective with high temperature and/or high energy deuterium ions
- Simultaneous heating with minority heating in D(H) plasma

Other heating and physics experiment
- D(He3) heating
- Study about high energy ion and fusion products generated by ICRF heating

Steady state experiment
- Comparison with deuterium and helium plasmas
- Effect of actual fuel in steady state discharge on engineering and operation and so on



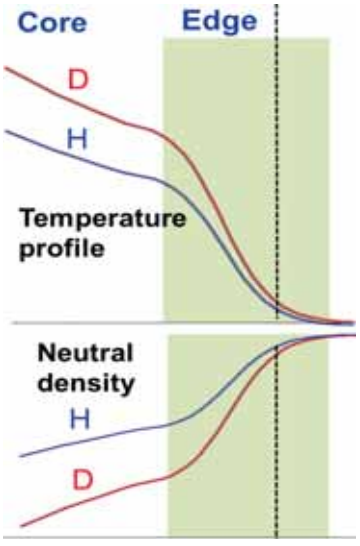
Comparison of charge-exchange spectra in D(H) plasma of PLT tokamak

Research on Isotope Effect

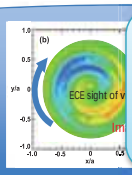
- Isotope effect is a long-standing mystery
- The one of missions of LHD deuterium experiment
  - ✓ key to realize confinement improvement
  - ✓ Academic base for physics towards burning plasmas

Previous experiments in tokamaks and helical systems have indicated the importance of low-recycling for improved confinement

→ **Hypothesis:**
recycling control and its impact on core confinement (through **core-edge coupling**)
→ Increased understandings through integrated view



Core neutral density profile (high dynamic-range Balmar α)



- Non-local phenomenon
- Multi-scale turbulence

Recycling control

Bulk ion temperature profile (bulk CXS)

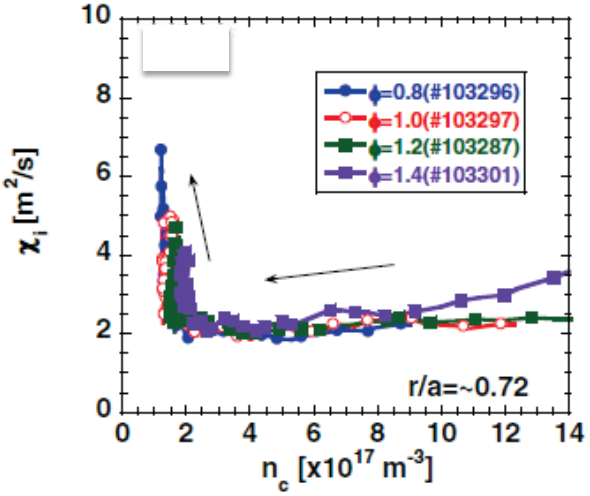
Isotope density ratio (GAM spectroscopy)

- Impacts of ion mass on poloidal flow → Mp
- Residual zonal flow level : D >H

Isotope Effect from the viewpoint of impurity

Isotope effect should be also considered from impurity

- **JET: ITER like wall experiment (Maddison NF2014)**
- **JT-60U Zeff is larger in D compared to H (T.Nakano)**
- **Impacts of wall material on H mode (Itoh, Itoh, PPCF1995) and so on**



Impact of impurity on ion heat confinement in LHD (Osakabe, PPCF2014)

- **4 different-size C pellets into in high-Ti plasmas**
- **Indicating the existence of threshold of C density for ion heat confinement improvement**

→ ***Isotope effect will be considered also from the viewpoint of impurity.***

(2) Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

1. NBI upgrade for the deuterium beam injection effectively enhances the ion heating power, and should raise the ion temperature to T_{i0} = 10 keV with confinement improvement due to the isotope effect.
2. Confinement improvement in the deuterium experiments should extend high-β regime to low-collisional regime extrapolated to a reactor plasma, and clarify collisionality dependence of confinement in the stochastic region.
3. Precise measurement of neutrons should clarify the fast ion confinement and reveal the fast-ion induced MHD instability foreseen in a reactor plasma.
4. Particle control with closed helical divertor and control of stochastic region with RMP should lead to diverter optimization for a reactor.
5. Deuterium experiments greatly expand the PWI study with regard to the heat transport, the particle transport, and the material transport, contributing to the reactor design.
6. Deuterium experiments expand the heating scenario with ICH, leading to high-performance of long-pulse discharges, which extend the reactor relevant PWI study.
7. Research on the isotope effect contributes to establishment of academic basis for comprehensive understanding of toroidal plasmas.

1. Research Plan

(1) Is the goal of the deuterium experiment appropriate? Further, do the research plan and the implementation system for ensuring safety achieve those goals?

(2) Does this plan contribute to the promotion of a comprehensive understanding of toroidal plasma and heighten its academic merit with regard to the realization of fusion energy?

(3) Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

Research plan has been discussed by a wide range of researchers through collaboration.

- Research plan for the LHD deuterium experiment has been discussed and proposed in workshops organized in frameworks of the NIFS collaboration system. Eight workshops have been held, and various kinds of subjects have been discussed, such as device development, divertor study, PWI study, isotope effect, fast ion confinement, tritium study, and environmental radiation.
- Also, in academic meetings of the fusion community, such as meetings held by the Fusion Network and symposiums held in annual conference of The Japan Society of Plasma Science and Nuclear Fusion Research, the research plan related with the deuterium experiment has been proposed and discussed by a wide range of researchers.
- Through these discussions among the fusion community, the research plan for the LHD deuterium experiment has been established.

Workshops with collaborators toward deuterium experiment from 2010 to 2014

- Eight workshops have been held at NIFS to discuss on the deuterium experiment plan and the tritium safety.

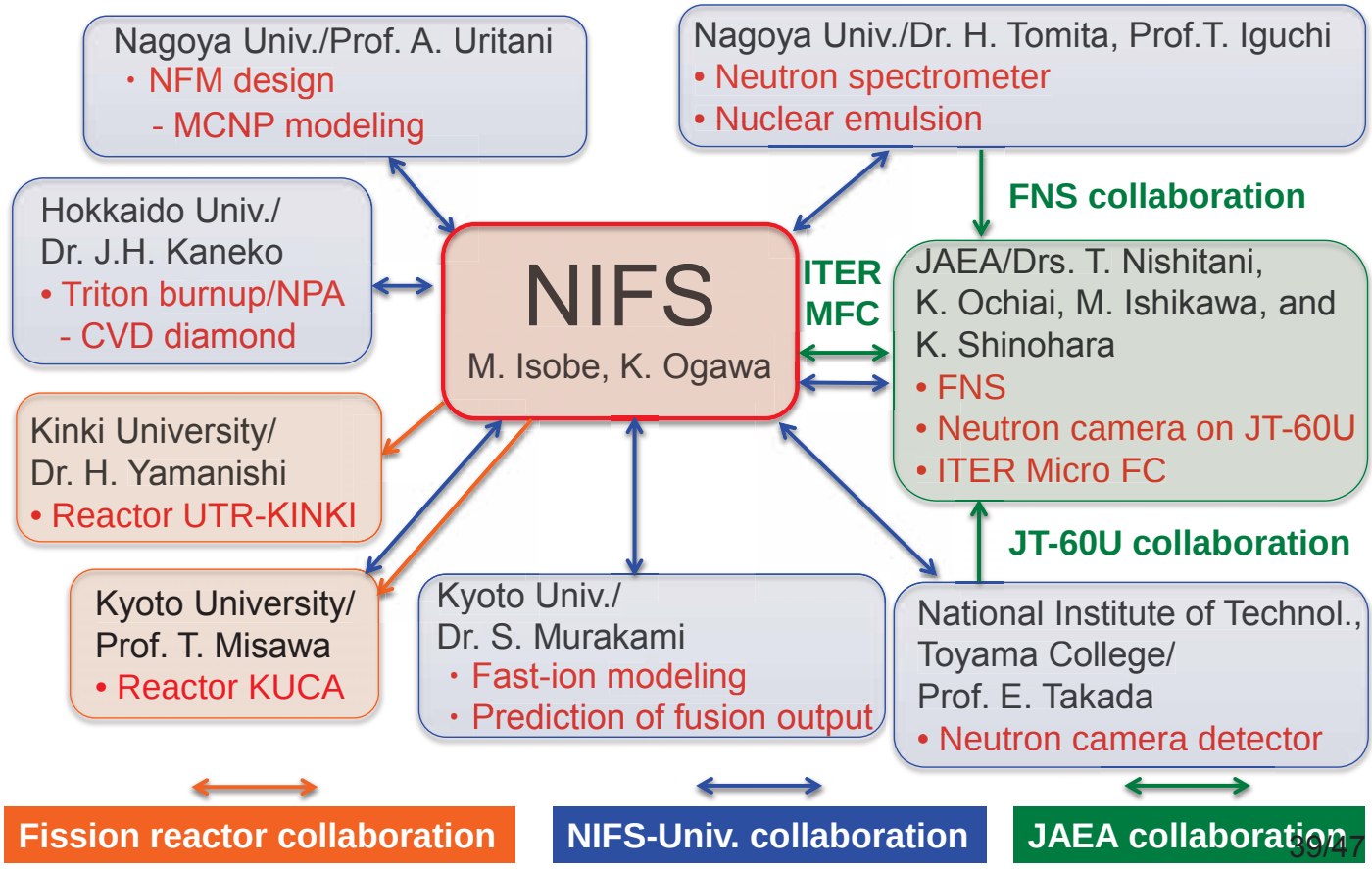
No.	Framework	Date	Place	Workshop
1	Joint Sponsorship of NIFS General Collaboration &JSPF Expert Committe	August 31, 2010	NIFS	Tritium safety and handling 「LHDにおけるトリチウム安全研究の展望」 「LHD重水素実験における重水素吸気バランスとトリチウム回収・除去」 「核融合炉の運転制御の基礎となるトリチウム研究・技術の開発」
2	NIFS General Collaboration	December 13, 2011	NIFS	Tritium safety and handling 「LHD重水素実験における重水素吸気バランスとトリチウム回収・除去」
3	NIFS General Collaboration	March 22, 2012	NIFS	Deuterium experiment plan 「LHDにおける重水素実験計画の検討」
4	Joint Sponsorship of NIFS General Collaboration &JSPF Expert Committee	December 6, 2012	NIFS	Tritium safety and handling 「ヘリカル動力炉システムのトリチウム安全性」 「重水素吸排気バランスと関連研究」 「持続的燃料供給のためのトリチウム研究・技術開発」
5	NIFS General Collaboration	June 21, 2013	NIFS	Deuterium experiment plan 「LHDにおける重水素実験計画の検討」
6	Joint Sponsorship of NIFS General Collaboration &JSPF Expert Committee	August 8, 2013	NIFS	Tritium safety and handling 「核融合炉システムにおけるトリチウムの取り扱いと安全性」 「核融合炉燃料計量管理の基礎となるトリチウム研究・技術開発」
7	Joint Sponsorship of NIFS General Collaboration &Fusion Network	April 25, 2014	NIFS	Deuterium experiment plan 「LHD重水素実験研究計画の策定」 「重水素実験に関する核融合ネットワーク会合」
8	Joint Sponsorship of NIFS General Collaboration &JSPF Expert Committee	August 1, 2014	NIFS	Tritium safety and handling 「核融合炉システムにおけるトリチウムの取り扱いと安全性」 「核融合炉燃料計量管理の基礎となるトリチウム研究・技術開発」

Symposiums on deuterium experiment plan in academic meetings

- Deuterium experiment plan has been discussed with collaborators in symposiums of academic meetings.
- It has been also discussed in a question and answer time of plenary talk and invited talk.

No.	Classification	Date	Academic meeting and symposium	Place	Agenda and title
1	Symposium	November, 25 2011	Plasma Conference 2011 (PLASMA 2011) 「Symposium P4 : LHD重水素実験がもたらす学術研究の拡がり」	Kanazawa	0. はじめに（主旨説明） M. Sasao (Tohoku Univ.) 1. LHD重水素実験計画の概要 Y. Takeiri (NIFS) 2. 核燃焼プラズマにおける高エネルギー粒子閉じ込め T. Nishitani (JAEA) 3. 燃料リサイクリングにおける水素同位体効果 T. Tanabe (Kyusyu Univ.) 4. LHDプラズマ中の乱流輸送に生ずる同位体効果の物理 T.H. Watanabe (NIFS) 5. 総合討論 M. Sasao (Tohoku Univ.)
2	Symposium	December, 6 2013	JSPF 30th annual meeting 「Symposium IV : LHD重水素実験を通したプラズマ・核融合研究の拡がり」	Tokyo	1. 趣旨説明 M. Osakabe (NIFS) 2. LHD重水素実験による先進閉じ込め研究と計測の計画 K. Ida (NIFS) 3. LHDにおける精密科学を目指した計測 A. Ejiri (Tokyo Univ.) 4. ITER研究計画からのLHD重水素実験に対するコメント Y. Kusama (JAEA) 5. 理論的観点から見たプラズマ輸送に対する同位体効果 H. Sugama (NIFS) 6. 総合討論
3	Plenary talk	June, 19 2014	10th Joint Conference on Fusion Energy	Tsukuba	ヘリカル型定常核融合炉へ向けた大型ヘリカル装置の高性能化研究の進展 Y. Takeiri (NIFS)
4	Invited talk	November, 18 2014	Plasma Conference 2014 (PLASMA 2014)	Niigata	大型ヘリカル装置LHDでの重水素実験によるこれからの炉心プラズマ研究 Y. Takeiri (NIFS)
5	Symposium	November, 19 2014	Plasma Conference 2014 (PLASMA 2014) 「Symposium 7 : トーラスプラズマにおける質量比の閉じ込めへの効果」	Niigata	1. はじめに K. Ida (NIFS) 2. JT-60UのHモードにおける水素同位体効果 H. Urano (JAEA) 3. 改善コア閉じ込めプラズマにおける同位体効果 T. Fujita (Nagoya Univ.) 4. 乱流輸送における同位体効果の理論予想 T.S. Hahm (Seoul National Univ.) 5. 質量比・同位体効果の解明に向けた計測 M. Hasuo (Kyoto Univ.) 6. LHD重水素実験計画と閉じ込め特性に対するプラズマ核種の効果 M. Osakabe (NIFS)

All Japan fusion neutron diagnostics development team has been organized toward the LHD deuterium project.

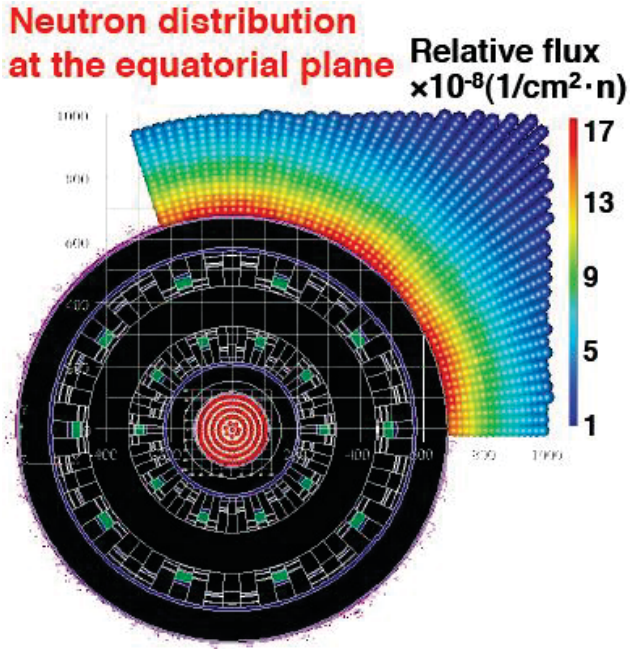


Collaboration with Nagoya University

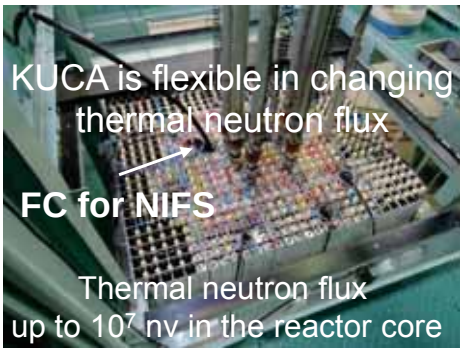
~ Joint work for neutron flux monitor development ~

Neutron transport study by MCNP

The LHD is fairly complicated.
→ A program generating an input file of 3D machine geometry for MCNP has been developed.

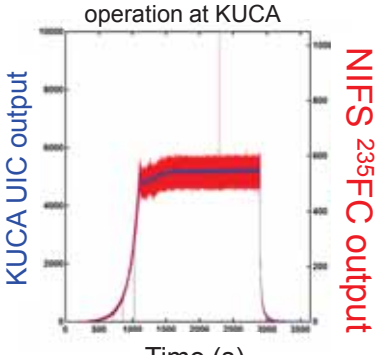


Test operation of wide dynamic range DSP unit prototype at KUCA





An example of test operation at KUCA



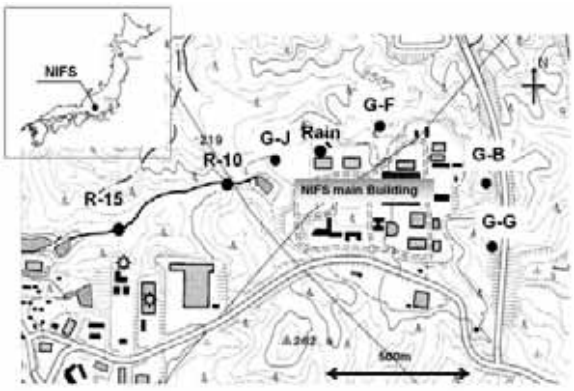
A satisfactory prospect was obtained toward manufacture of NFM-DSP unit for LHD

N. Nishio *et al.*, Rev. Sci. Instrum. **81**(2010) 10D306.

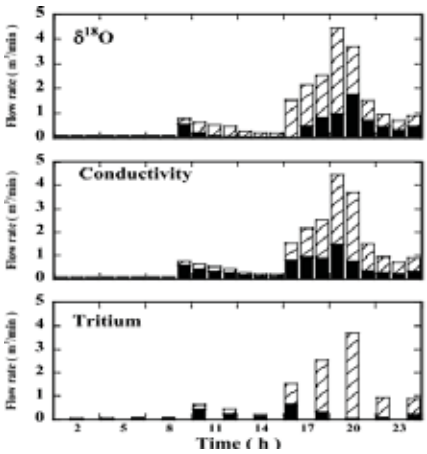
Research on environmental tritium

Collaborations with Kyushu Univ., Kumamoto Univ., JAEA, etc

- **Tritium behavior in ground water at the NIFS site**
  - To understand the background tritium level at the NIFS site and the tritium behavior released from the facility to the environment, two component separation analysis was carried out.
  - The tritium concentrations in rain was 0.09-0.78 Bq/L, and the tritium concentrations of stream water and ground water were almost constant, 0.34 Bq/L and 0.25 Bq/L, respectively.
  - The two component separation analysis gave good agreement between isotopic ratio and conductivity.



Sampling locations at NIFS toki site (R-10, R-15: stream water, G-B, G-F, G-G, and G-J: groundwater, Rain: rain water)



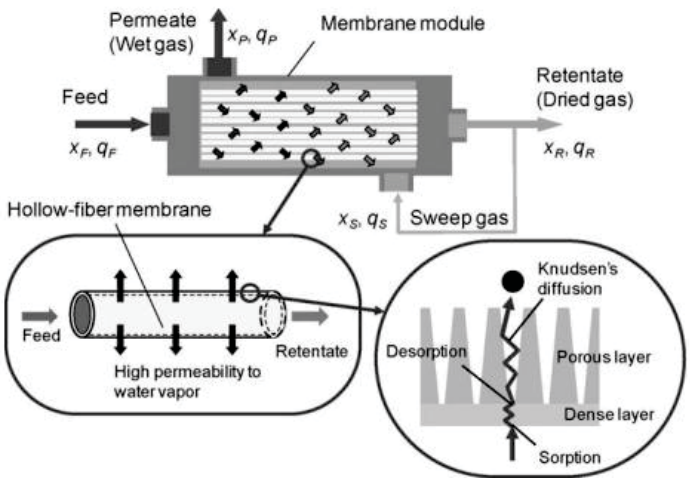
Two component separation of flow rate using $\delta^{18}O$, conductivity and tritium concentration at the rain event. The black bar represents the ground water component and the slash bar is the rain component.

S. Sugihara, et al., Fusion Science and Technology 60 (2011) 1300-1303

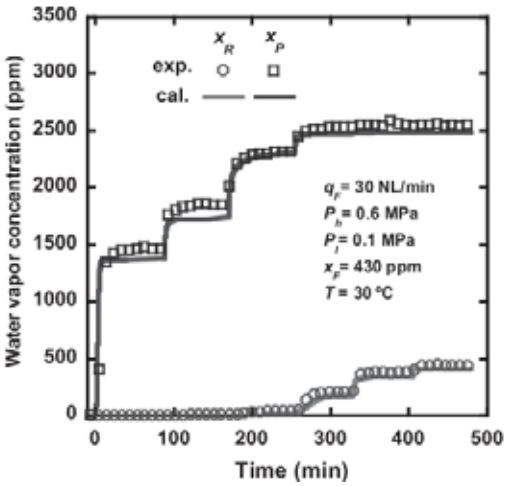
Research on polymer membrane

Collaboration with Nagoya Univ.

- **Simulation model of hollow fiber polymer membrane**
  - A simulation model was developed for transient response of a hollow fiber membrane for the tritium removal system.
  - The mass transfer processes such as sorption and desorption, diffusive transfer of gases are treated in the model.
  - This model represents well not only separation factors and recovery ratio at the steady state but also responses to the multi-step wise change in the sweep gas rate.



Water vapor separation model with the hollow fiber membrane module.

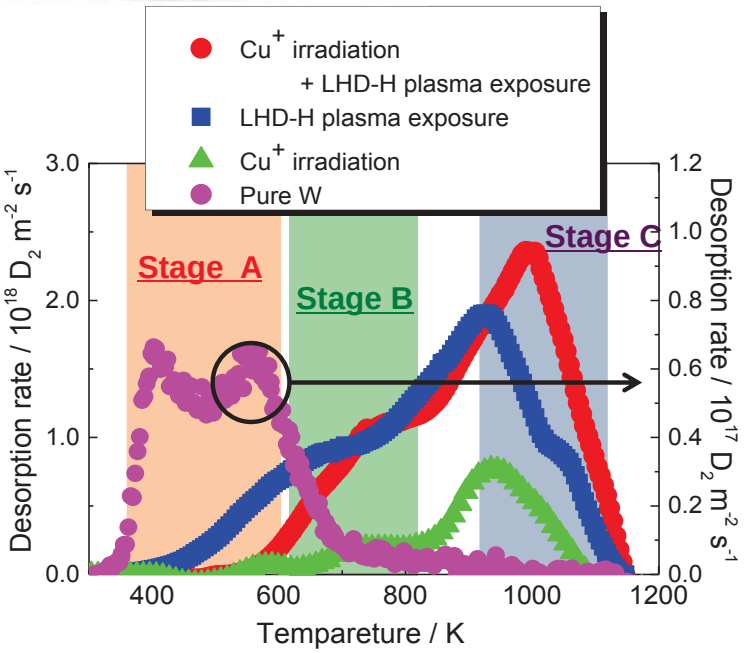


Transient response to the multi step-wise decrease in the reflux flow rate

T. Sugiyama, et al., Fusion Engineering and Design 86 (2011) 2743–2746

Desorption of deuterium from after exposed W

Shizuoka Univ.



TDS spectrum of D from various kind of the W samples

- **Post D^+ ion irradiation was carried out to the various kinds of W samples.**
- **Trapping sites are changed on each desorption stage**

Stage A
- Dislocations

Stage B
- W-O
- Point defects by irradiation

Stage C
- Void
- Carbon deposition layer

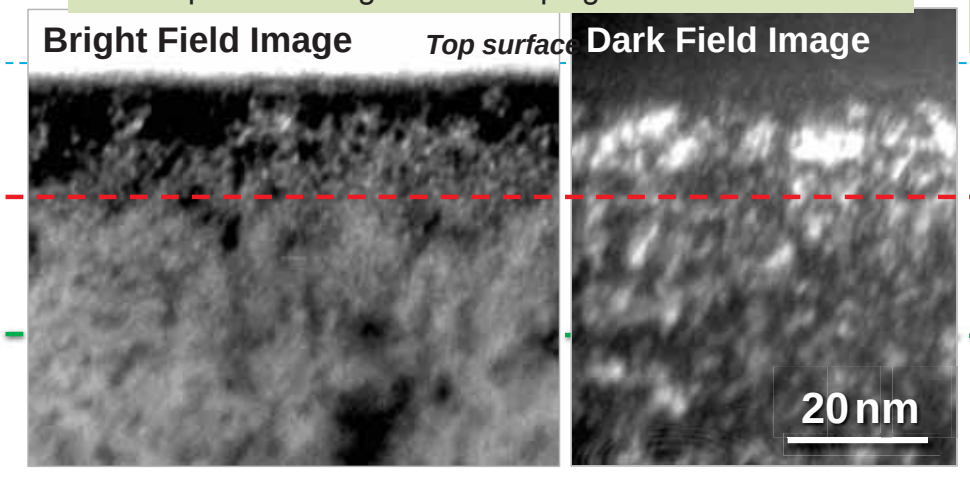
The surface morphologies such as formation of the point defects or impurity deposition make great affects for the retention properties of the deuterium

Characterization of surface morphologies of first wall

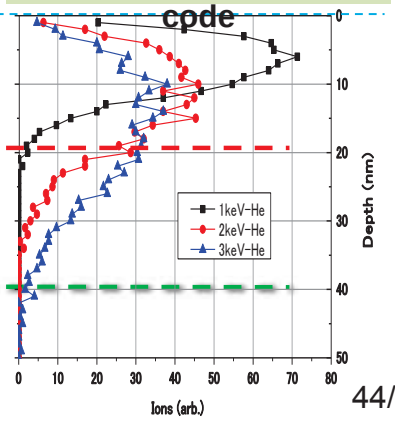
Kyushu Univ.

- Characterization of the surface morphologies were clarified by microstructural observation.
- Formation of the microscopic defects such as dislocation loops and helium bubbles were formed on the subsurface region. Impurity deposition was also observed on the top surface.
- These surface morphologies can act as the strong trapping site of the hydrogen isotopes.

Cross-sectional TEM images of stainless first wall sample after exposed to single LHD campaign

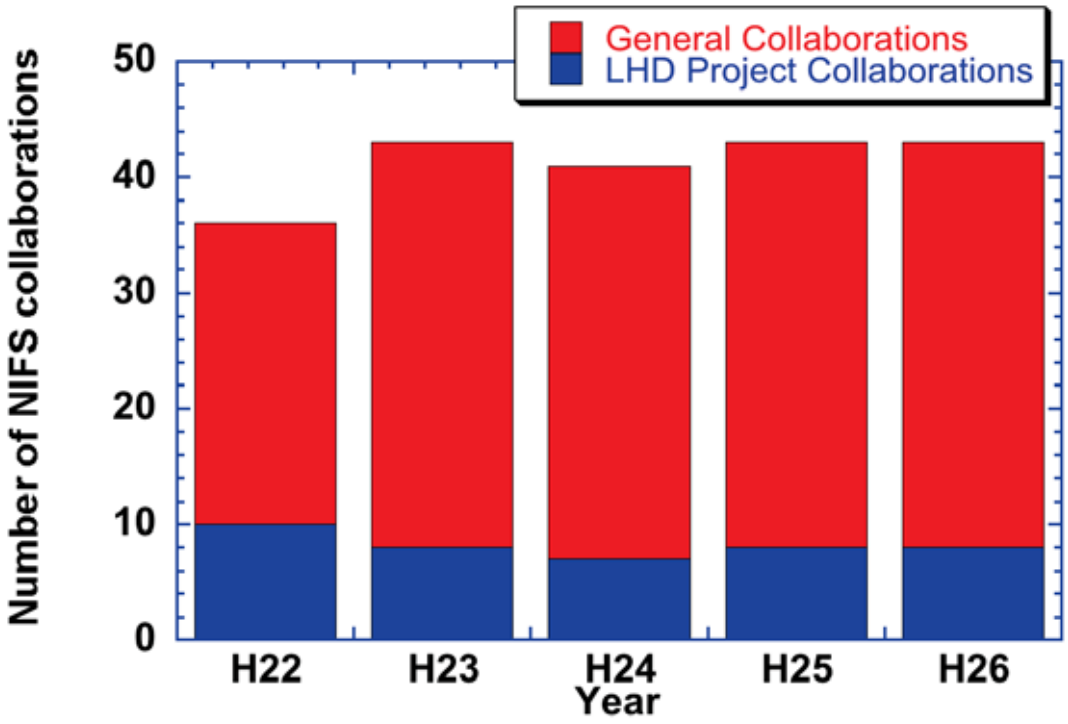


Depth profile of He calculated by TRIM code



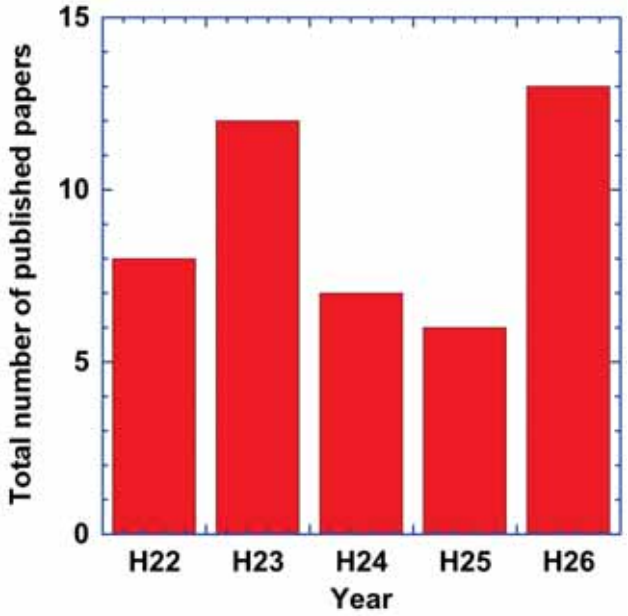
LHD deuterium experiment project promotes research activities in universities through the collaboration.

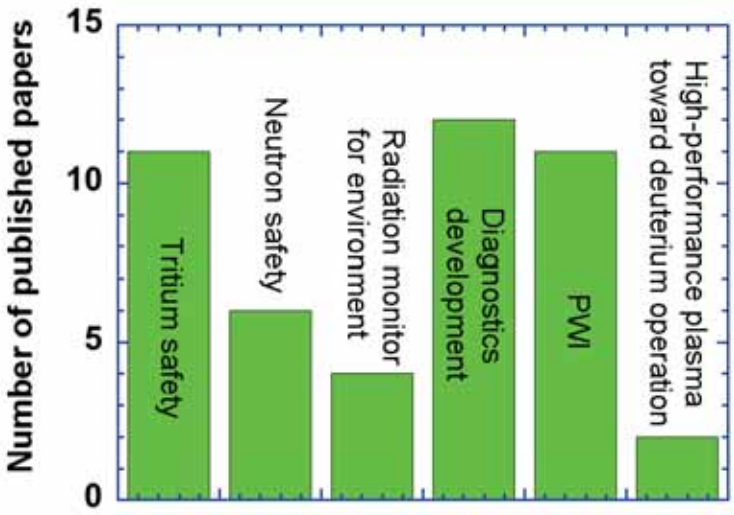
- Number of NIFS collaboration related with the deuterium experiment is counted to around 40 every year.



Statistics of published papers

- Through the NIFS collaboration, number of papers have been published related with the deuterium experiment project.





(3) Regarding implementation of the plan, will this achieve a system of collaborative use and collaborative research that enables participation by a wide range of researchers?

1. Research plan for the LHD deuterium experiment has been discussed and proposed by a wide range of researchers through the collaboration.
2. Toward the LHD deuterium experiment, all Japan fusion neutron diagnostics development team has been organized based on collaborative research.
3. Tritium-related studies important for the deuterium experiment, such as research on the environmental tritium and technology development for the tritium removal system, have been conducted in collaborative researches with universities.
4. PWI studies, such as the retention properties of hydrogen isotopes and the characterization of surface morphologies of the first wall, have been accelerated toward the LHD deuterium experiment, leading to establishment of a wide range of collaboration network.
5. Selected subjects related with the deuterium experiments are counted to around 40 every year in the NIFS collaboration system, and 47 papers have been published.

2. Deuterium Experiment Preparation System

(1) Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

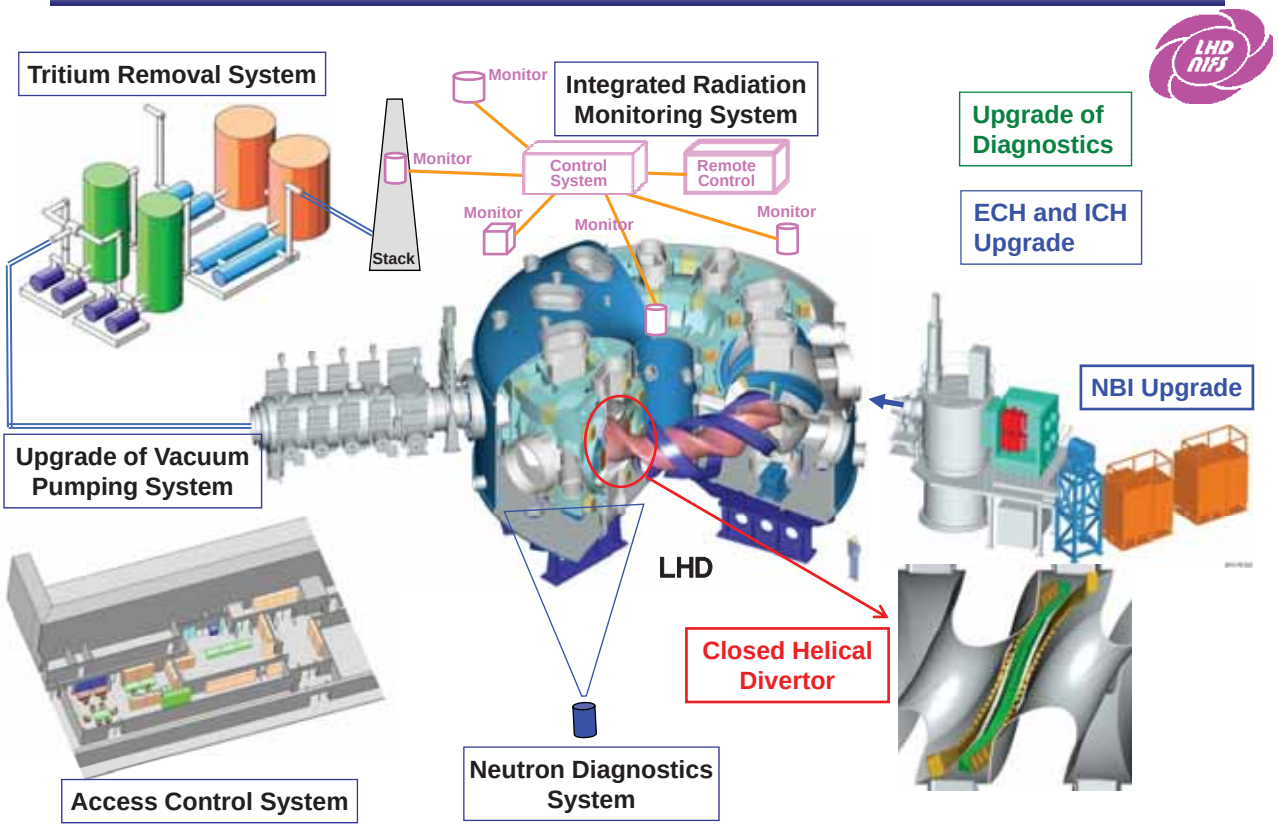
(2) Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate? Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

2. Deuterium Experiment Preparation System

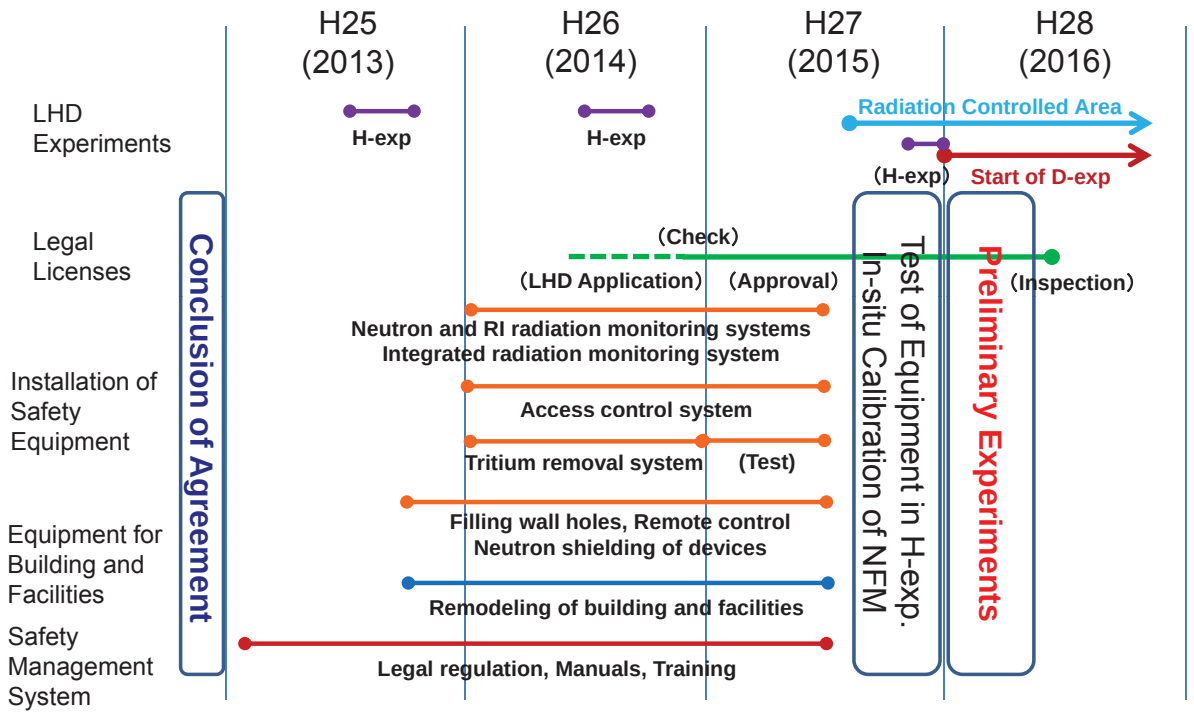
(1) Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

(2) Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate? Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

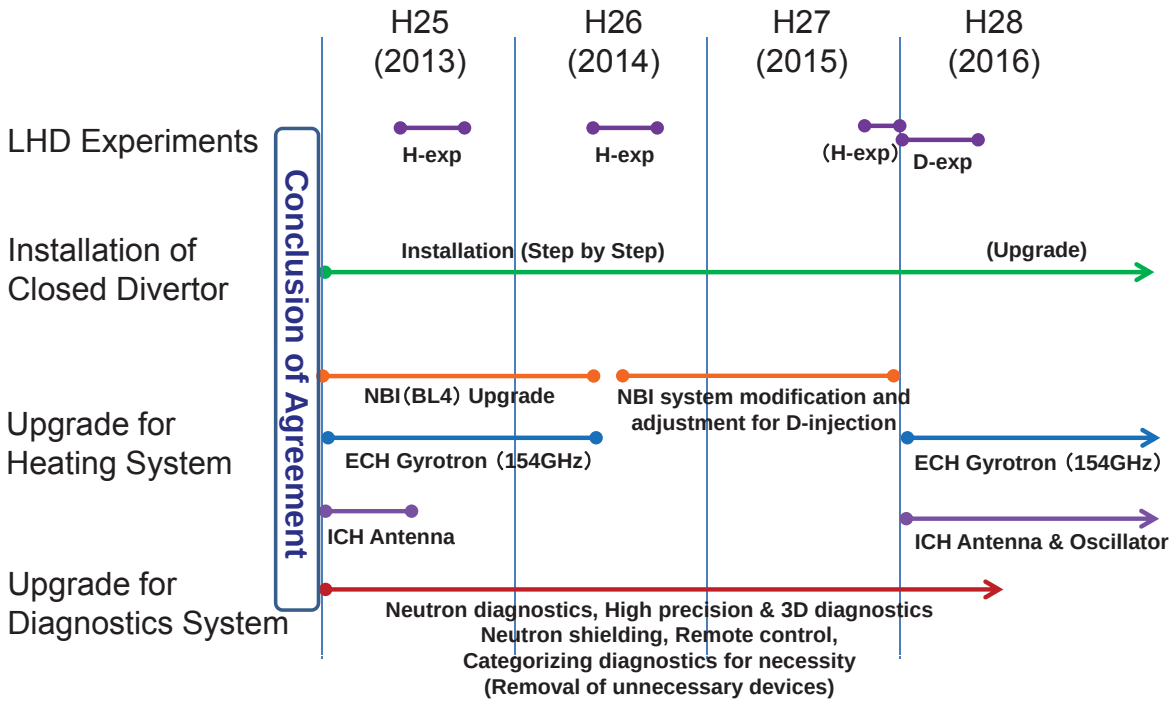
Device Upgrade Plan for the LHD Deuterium Experiment



Preparation plan of equipment and facilities for safety for the start of deuterium experiment



Preparation schedule of machine upgrade for the start of deuterium experiment



Upgrade of NBI for deuterium experiments

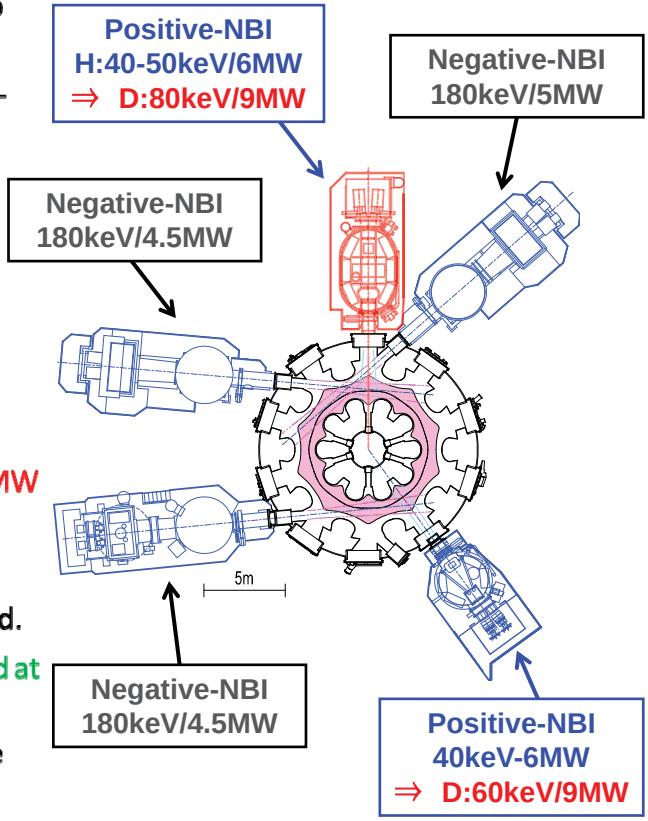
- Optimum beam current will be reduced to 70% by D-ion extraction:
  - Beam optics is governed by the Child-Langmuir law.

$$J_{si} = \frac{4\varepsilon_0}{9}\frac{V^{3/2}}{{d_s}^2}\sqrt{\frac{2Ze}{m_i}}$$

- Strategy of NBI for deuterium operation
  - ✓ Positive-ion based NBIs:
    - Beam energy will be increased from 40 to 60/80keV and their power will be increased from 6MW to 9MW.
  - ✓ Negative-ion based NBIs:
    - No significant upgrade is planned.

  ⇒ Beam power will be deteriorated at the initial phase of D-operation.

  The beam power will be recovered by the optimization of grids after D-operation.



Neutron Diagnostics

Fusion reaction producing neutrons in deuterium plasmas :
d + d → n (2.5 MeV) + ^{3}He (0.82 MeV)
→ p (3.0 MeV) + t (1.0 MeV)
Secondary reaction : d + t → n (14 MeV) + α (3.5 MeV)

DD neutron rate expected in LHD is >10^{16}n/s, comparable to JT-60U, TFTR, and JET.

Role of neutron diagnostics

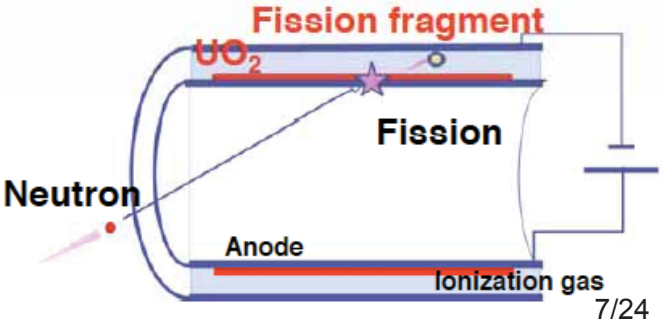
1. Measurement of fusion output, which estimates amount of tritium
2. Study on beam-ion behavior
   - Global confinement property and slowing down of beam ions
   - Radial profile of beam ions

   →Beam deposition

   →Effect of Alfvénic modes on radial transport of beam ions
3. Confinement study of MeV tritons isotropic in velocity space

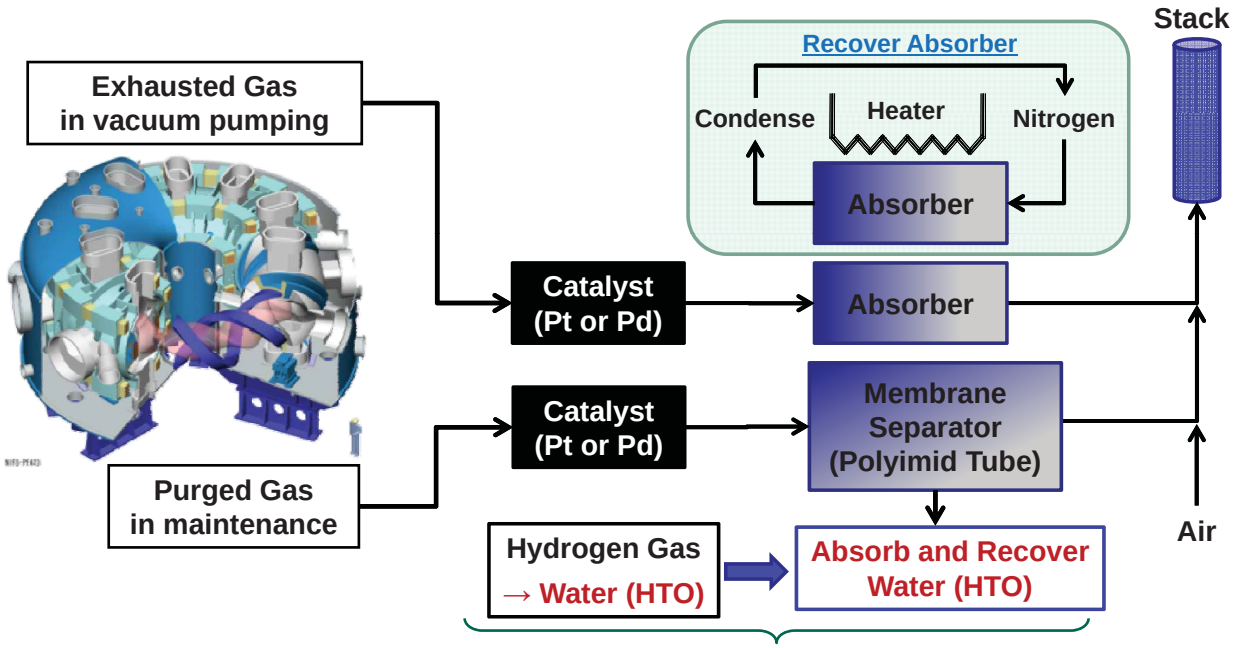
^{235}U fission chamber satisfies

1. Wide dynamic range
   -> Pulse counting mode
   + Campbelling mode
2. Fast time response (~1 ms)
3. Good n-γ discrimination capability
4. Long-term high reliability



Tritium Removal System

Two types of tritium recovery system are installed.
- Molecular sieve type for exhausted gas in the vacuum pumping
- Polyimide membrane type for purged gas in the maintenance



Recovering Rate: >95 %

(1) Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

1. After the conclusion of the Agreement for the LHD deuterium experiment with local government bodies on March 28, 2013, the preparation schedule for the machine upgrade, the installation of safety equipment, and the equipment for building and facilities was defined, including the establishment of safety management system, toward the start of the deuterium experiment in 2016.
2. NBI systems has been upgraded for the deuterium beam injection with a high priority to enhance the ion heating power in the deuterium experiment.
3. Neutron flux monitor system development has firstly been started as the most important diagnostics for the deuterium experiment, and as a primary safety equipment, the tritium removal system has been designed and constructed.
4. Neutron shielding is designed for individual devices, and devices are listed, which should be removed due to weakness against neutrons and less necessity.
5. Building and facilities have been remodeled for the radiation controlled area.
6. Legal license procedure and preparation of various kinds of operation and safety manuals are scheduled.

2. Deuterium Experiment Preparation System

(1) Moving toward the initiation of deuterium experiments in Heisei 28 [2016], is the preparation of equipment and facilities being planned appropriately?

(2) Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate? Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

Preparation system for the initiation of the LHD deuterium experiment

- **Division for deuterium experiments management** is responsible for the preparation for the LHD deuterium experiment.
- D-exp management division mainly consists of division directors of NIFS including the safety-related divisions, which enables fast decision and top-down implementation.
- Under the D-exp management division, **LHD upgrade team** carries out the design and construction for individual items including the safety management, according to the planned preparation schedule for the initiation of the deuterium experiment.


○整備スケジュール策定（竹入、西村(清)、高性能化機器設計グループ）

○主要整備項目（竹入、西村(清)）
- 放射線総合監視システム（西村(清)、田中(将)）
  - システム整備
    - 放射線監視盤（田中(将)、赤田、佐藤、磯部、三宅、林浩）
    - 中央制御室（高橋(康)、横田、前野）
  - 要素ハードウェア整備
    - トリチウム除去装置（田中(将)、西村(清)、鈴木(直)、近藤、加藤(り)）
    - 中性子計測（磯部、小川(国)、三宅、林浩、小渕、河合(将)）
    - 監視・管理用放射線計測（田中(将)、赤田、佐藤、三宅、林浩）
    - 監視カメラシステム増強（庄司、成嶋、三宅、土伏、渋谷、施設・安全管理課）
    - 入退管理・インターロック（成嶋、赤田、三宅、林浩、横田）
- 貫通孔処理（今川、岡田(宏)）
  - 定期・重要構成（加熱）：長壁、岡田(宏)
  - 重要定（低温）：今川、三宅
  - 周辺（計測）：磯部、林浩
- 機器遠隔操作化、遮蔽・放射線対策
  （磯部、中西、庄司、小川(国)、向井、大砂、小渕、林浩、三宅）
- 配管、機器の更新撤去（磯部、中西、庄司、小川(国)、向井、大砂、小渕、林浩、三宅）
- ガス供給システム（宮澤、坂本、安井、長原）
- 真空排気系、排気ガス処理対策、試料加工工作室（坂本、本島、時谷、鈴木(直)、林浩己）
- 防塵室整備（森崎、本島、田中(宏)、林浩己）
- 冷却水系（森崎、坂本）
  - 本体冷却水系（坂本、本島、林浩己、土伏）
  - 加熱冷却水系（長壁、関哲夫、吉村(泰)、木崎、小林(篤)）
  - 真空容器加熱冷却装置（森崎、田中(宏)、林浩己、土伏）
- 申請関係（西村(清)、磯部、三宅）
- 施設関連整備（西村(清)）
  - 防水改修（西村(清)、磯部、施設・安全管理課）
  - 空調・排水改修（西村(清)、赤田、佐藤、施設・安全管理課）
  - 電気設備改修（関、施設・安全管理課）
  - 内装改修（磯部、時谷、駒田、施設・安全管理課）
  - 天井等耐震化（森崎、長壁、関、横田、施設・安全管理課）

○重水素対応マニュアル整備（西村(清)、今川、森崎、磯部、三宅、林浩）
- 放射線管理マニュアル（別紙参照）
- 運転マニュアル（別紙参照）
- 異常時対応マニュアル（別紙参照）

○管理区域（西村(清)、成嶋、赤田、小川(国)、三宅、林浩、施設・安全管理課）
- 入退管理方法
- 管理区域の種別
- 管理区域への人室制限、機器・道具類の持ち込み・持ち出し制限
- 修繕、保守

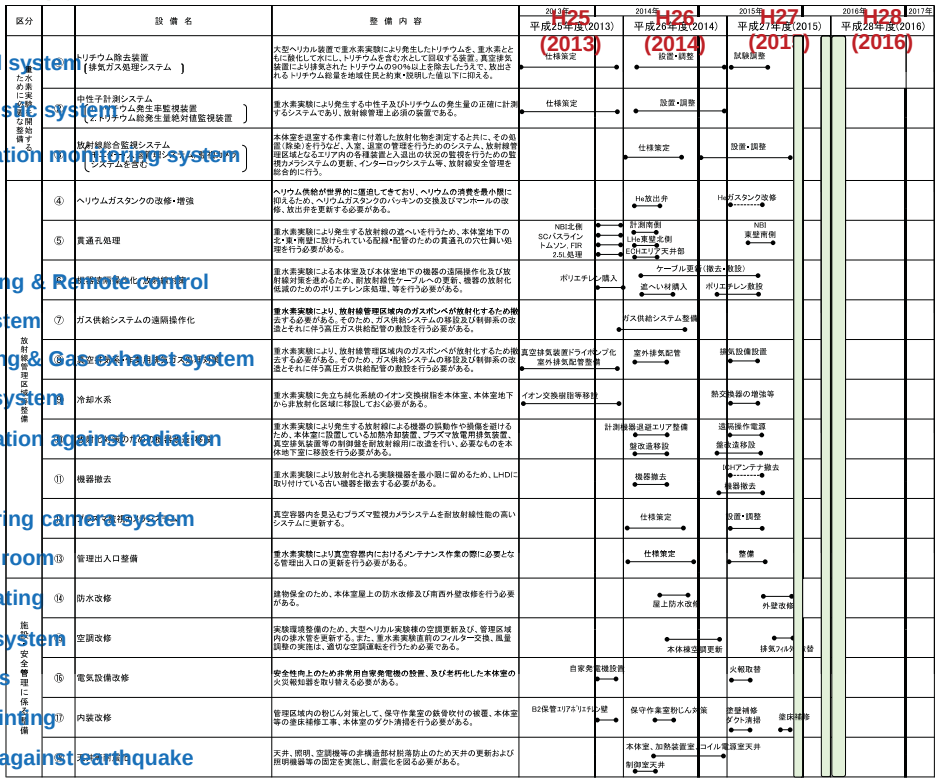
○安全管理計画との整合性管理（竹入、西村(清)、高性能化機器設計グループ）

Preparation items executed by LHD upgrade team

Preparation items and schedule for the initiation of the LHD deuterium experiment

Conducted by LHD upgrade team

Tritium removal system
Neutron diagnostic system
Integrated radiation monitoring system
He gas tank
Filling holes
Neutron shielding & Remote control
Gas puffing system
Vacuum pumping & Gas exhaust system
Cooling water system
Device modification against radiation
Device removal
Plasma monitoring camera system
Access control room
Water-proof coating
Air circulating system
Electric facilities
Coating and painting
Reinforcement against earthquake



Strategy to select removed and/or reformed devices which are weak against radiation

Step 1: Check list submission for existing devices in the LHD torus hall and basement

- Status of existing devices and their robustness against radiation were checked.
- Diagnostics and/or control systems which are obviously weak against radiation were picked up, and were decided to be removed.
- Done in October, 2013.

Step 2: Manual preparation for operation and radiation safety

- Manuals for operation and radiation safety were prepared for each device and maintenance work.
- Device has to be removed if manual is not prepared.
- Done in May, 2014.

Step 3: Implementation plan submission

- Suitability and feasibility of the plan were checked.
- Done in June, 2014.

All devices are now being classified into three groups according to the implementation plan, for the judgement of removal or reformation.

Removal of devices that are weak against radiation is ongoing

List of devices that were and will be removed according to stages classified based on the check list

チェックリストに基づく撤去対象既設計測機器一覧

No.	機器名称	設置位置	管理者	撤去実施担当	撤去作業予定時期	撤去済	撤去完了日
1	X線PHA	3.5L	武藤,貞	小渕	2014.2中	済	14.03.31
2	X線PHA	6O	武藤,貞	小渕	2014.3までに実施	済	14.05.20
3	ARMS	9O	尾崎	尾崎	第18サイクル終了後		
4	CHERSOンチレーション検出器	4.5L	後藤	後藤, 中川(翔)	第18サイクル終了後	済	14.3.27
5	シ-FNAアレイ	3.5L, 6O	長壁	長壁	15.03に実施		
6	AXUV	8O AD01-03(上部)	大舘	小渕	14.06 予定	済	14.06.11
7	AXUV	8O AD01-03(下部)	大舘	小渕		済	14.05.13
8	軟X線アレイ	3.5U, 3.5L, 6.5U	大舘	大舘	15.3-5に実施		
9	VUVカメラ	6T	大舘	大舘	15.3-5に実施		
10	VUVカメラ	10O	大舘	小渕	14.06 予定	済	14.07.17
11	軟X線アレイ	6O	武村	武村	15.3に実施		
12	軟X線カメラ(SADCD)	6T	鈴木(千)	鈴木(千)	第18サイクル開始前	済	14.03.05
13	ARUVD	3.5U, 4O	田村(直)	田村(直)	第18サイクル終了後		
14	Dispersion干渉計	10O	秋山	秋山	15.03		
15	制御データ処理装置 山口型1関ダイバータ計測室	本体横A,C,Dステージ-8 保護地下遮蔽エリア	庄司	土谷, 田中宏	14.06		
16	真空3次元磁気プローブ	8O	小川(雄)	小川(雄)	第18サイクル開始前	済	14.03.27
17	ベリスコープ	2.5U, 5.5U	居田, 吉沼	吉沼	2014.04.18	済	14.04.18
18	SPRED	3-O	鈴木(千)	小渕	第18サイクル開始前	済	14.07.08
19	2.5U 損失高速イオンプローブ	2.5 U	小川(雄)	小川(雄), 小渕	14.06 予定	済	14.06.10
20	レーザーブローオフ	2.5 L	向後	向後	第18サイクル終了後		
21	CXS	2.5 UL	吉沼	吉沼	第18サイクル開始前	済	14.03
22	CXS	5.5 UL	吉沼	吉沼	第18サイクル開始前	済	14.03
23	CXS	7.5 UL	吉沼	吉沼	14.02に実施		
24	CXS	8O	吉沼	吉沼	15.00に実施		
25	CXS	10T	吉沼	吉沼	14.01に実施		
26	CXS	10.5UL	吉沼	吉沼	14.01に実施		
27	スニファープローブ	2O, 3.5U, 7O, 9.5L	伊神	伊神	15.03に実施		
28	ECHアンテナ対向壁監視カメラ	2O	伊神	伊神	第18サイクル終了後	済	14.03
29	IRカメラ	2O	伊神	伊神	第18サイクル終了後	済	14.03
30	ディスコーンアンテナ	9.5L	伊神	伊神	第18サイクル終了後		
31	ECH 監視カメラ	3O, 7O	高橋 (亮)	高橋 (亮)	第18サイクル終了後		
32	IRカメラ	10O	伊川	伊川	第18サイクル終了後		
33	電気表示盤及びパトライト	本体壁面	後藤	後藤	14.06 予	済	
34	IRポロメータ	6T, 8.5U, 6.5L, 8O, 10O	向井	向井	15.03に実施		
35	プラズマ監視カメラ	6T	庄司	庄司	第18サイクル終了後		
36	IRカメラ	8O,10SU	増崎	増崎	第18サイクル終了後		

An example :
X-ray PHA based on Si detector





Reduce the neutron/gamma-ray streaming

- Effective dose outside the controlled area < 1.3mSv/3weeks
- We will have ~2,100 shots per year. -> effective dose < 0.6μSv/shot
- Some holes made for diagnostic/controlling at the basement level should be filled to satisfy the effective-dose limit.
- Now, filling holes at the northern side was completed.
- This work will be finished before the start of the deuterium experiment.

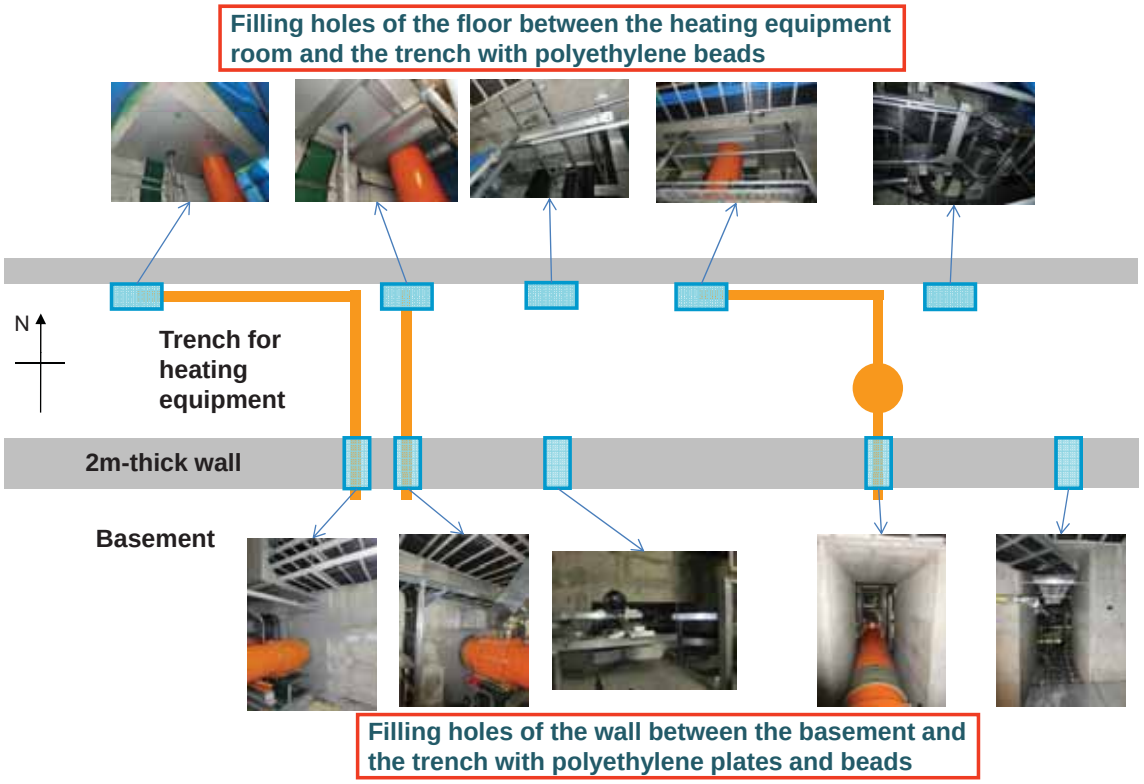
Example of shielding



Effective dose at the basement level by calculation (after shielding)

Effective dose (μSv/shot)
- Northern side : 0.13
- Eastern side : 0.29
- Southern side : 0.16
- Western side : 0.06

Filling holes of northern wall in basement



Removed/reformed devices which are weak against radiation

- Last year, all systems equipped with LHD were classified into three groups based on the check list: “remove”, “reform”, and “satisfy”.
- Devices classified into “remove” are now antecedently removed.
- Implementation planning sheet is submitted and defined this year.
- Removing/reforming devices will be done according to the planning sheet.

PHA diagnostics



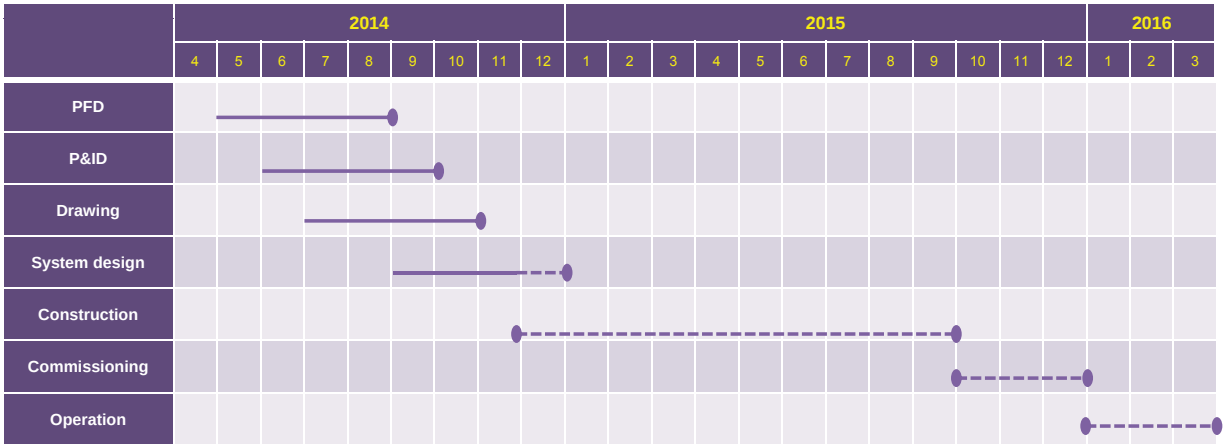
After removing PHA diagnostics



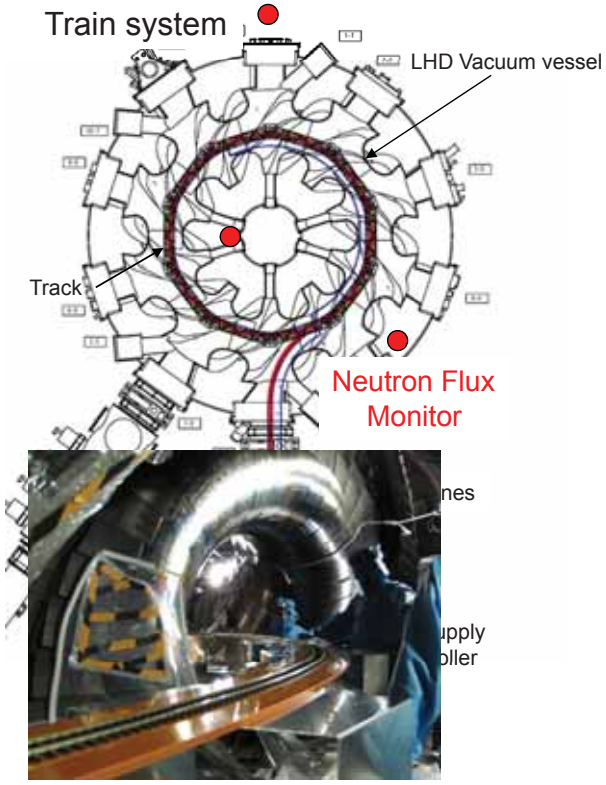
/24

Exhaust gas processing system
~ Tritium removal systems ~

- Exhaust gas processing system
  - Two types of tritium removal system
    - Molecular Sieves [MS] type and Permeable Membrane [PM] type
- Schedule of construction and commissioning
  - Completion: PFD, P&ID, design of components and layout
  - Next step: Control system design, construction and commissioning



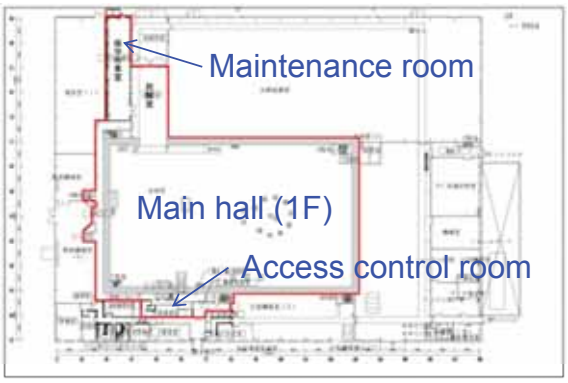
Absolute calibration of neutron flux monitor using ^{252}Cf neutron source



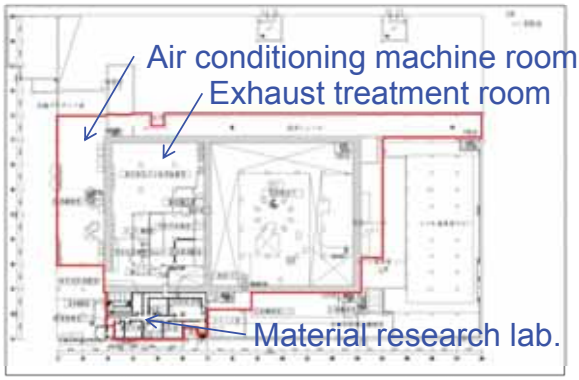
- To measure the total number of neutron, the neutron flux monitor system needs to be absolutely calibrated.
- Calibration will be carried out along the guide line decided in the WS on the neutron calibration*.
- To avoid rescue circumstance of the source, the train and track system should be reliable.
- We have developed a train that can run continuously at least for three days.
- Test installation of the track inside the vacuum vessel has already been performed twice to measure the time necessary to install, and to find points at issue for the installation.

*J.D. Strachan et al., Rev. Sci. Instrum. **61** (1990) 3501.

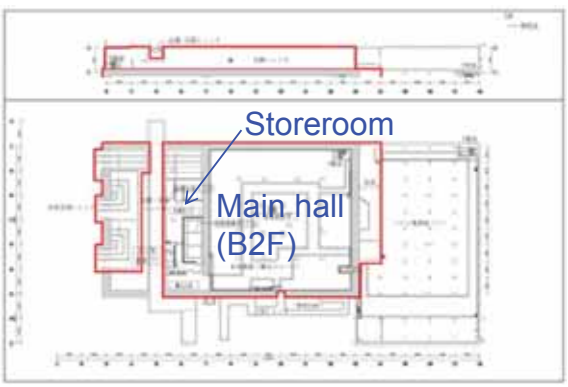
Refurbishment of LHD Building



1st Floor



1st Floor of basement



2nd Floor of basement

Controlled area is enclosed by red lines.

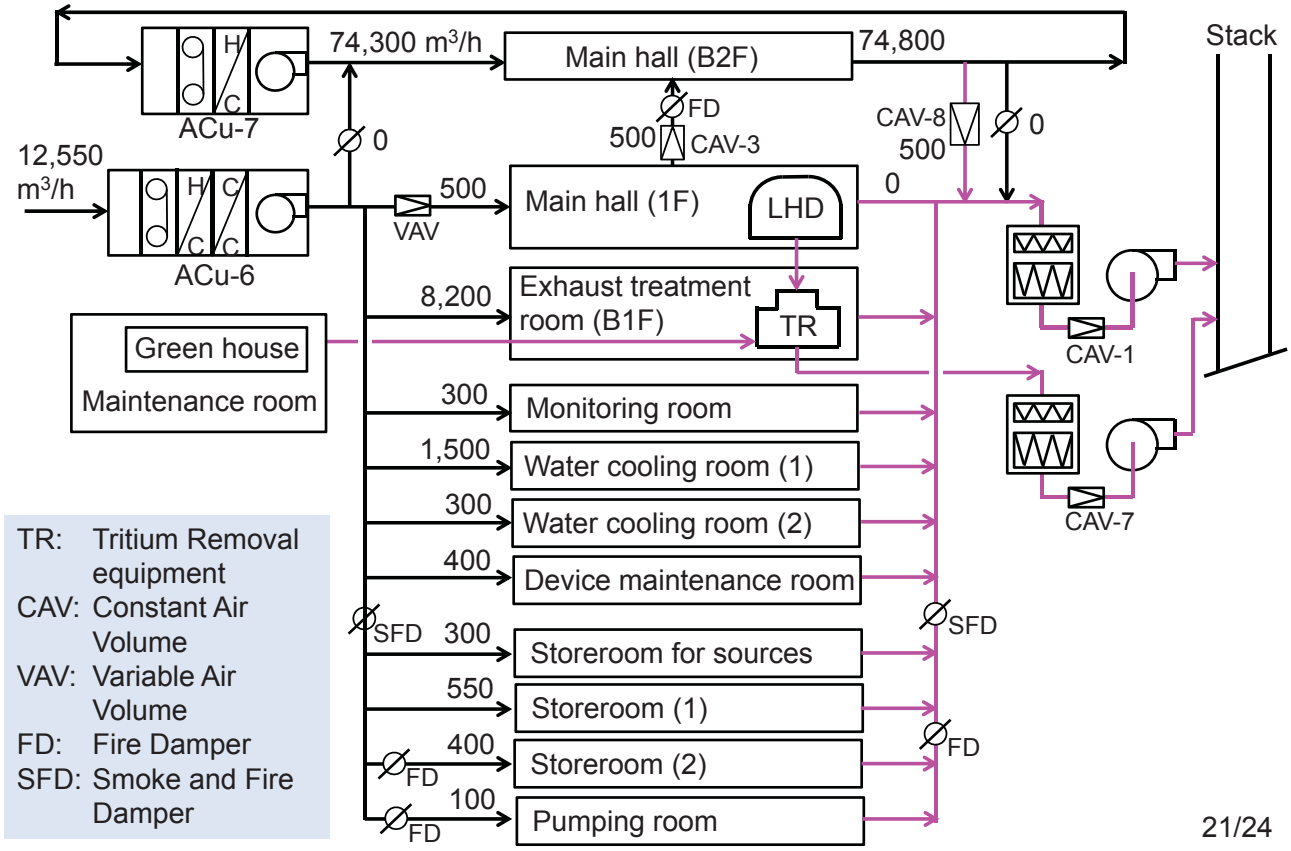
<Major items of refurbishments>

(1) Preparation of rooms in LHD building, such as access control room, material research labs., and maintenance room.

(2) Maintenance of air conditioning machine

(3) Installation of an emergency power generator of 100 kW providing for 10 days

Air Balance of LHD Building

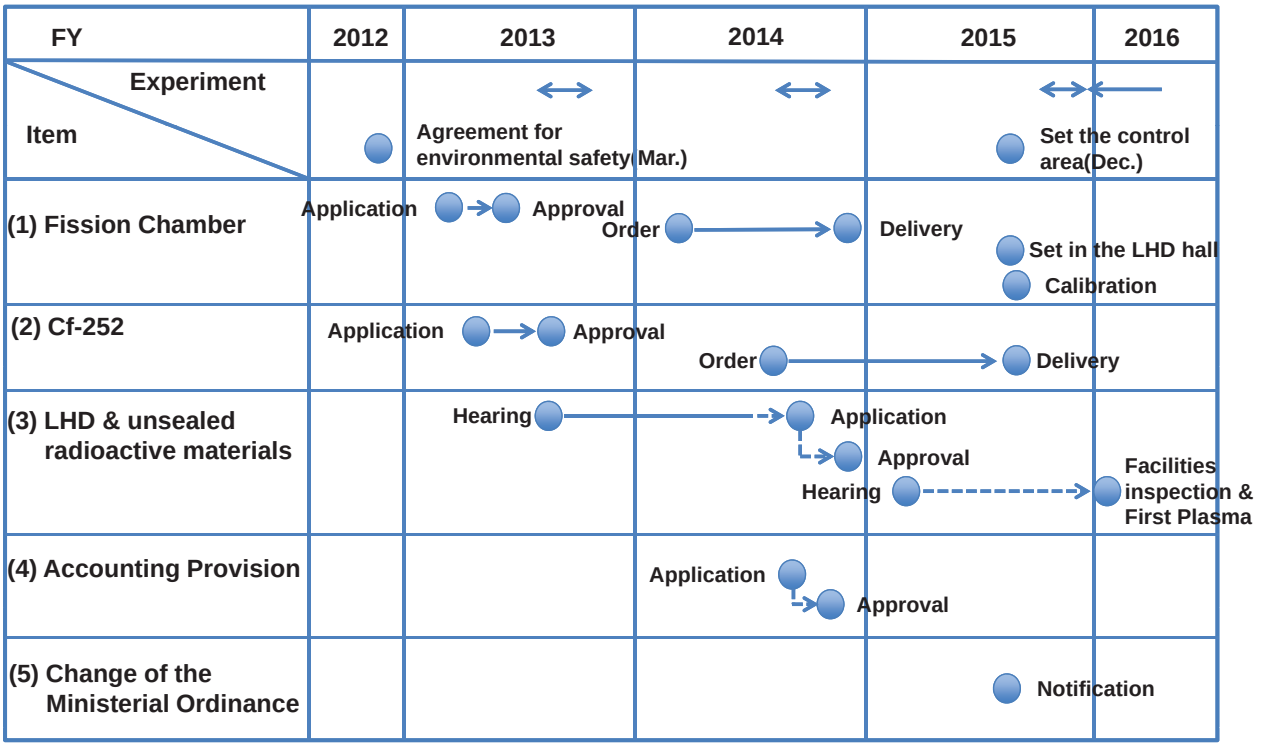


Application Procedure for the Licenses

Apparatus etc.	Act	Definition
Fission Chamber (U-235)	**Act on the Regulation of Nuclear Source Material, Nuclear Fuel Material and Reactors (The Reactor Regulation Act)**	**Nuclear Fuel Material (enriched Uranium)**
Cf-252 sealed source (800MBq)	**Act on Concerning Prevention from Radiation Hazards due to Radioisotopes, etc. (Radiation Hazard Prevention Act)**	**Radio-isotope (sealed source)**
LHD	**Given above**	**Radiation Generating Device (Plasma Generator)**
Material for the first wall and the plasma irradiation	**Given above**	**Radio-isotope (unsealed source)**

Some licenses have to be obtained before starting the LHD deuterium experiment.

Schedule for obtaining the Licenses



LHD deuterium experiment will start after the facilities inspection preparation.

(2) Is the preparation system for the initiation of deuterium experiments appropriate? Is preparation of the facilities, including safety equipment, and machinery being advanced appropriately?

1. Division for deuterium experiments management was established, which is responsible for the preparation for the initiation of deuterium experiments, and conducts and accelerates the preparation of the facilities and the establishment of the safety management.
2. LHD upgrade team for the deuterium experiment has carried out the design and construction of the safety equipment and the device upgrade required for the deuterium experiments.
3. Along the planned schedule, the device upgrade and the preparation of the safety equipment including the establishment of the safety management have progressed under the organized preparation system.
4. Filling holes of walls for reduction of the neutron streaming has been completed to 80%. Devices which are weak against the radiation are classified for the judgement of removing/ reforming based on the submitted implementation plan, and the removal has partly started.
5. Tritium removal systems and the neutron diagnostic system as the safety equipment are now under construction, and the preparation for the absolute calibration of neutron flux monitor has successfully progressed.
6. Refurbishment of the LHD building for setting the radiation controlled area has been completed, and the related facilities, such as the exhausted water and the air conditioning system, are under construction.
7. Procedure for the legal licenses proceeds without any problem, and the required licenses should be obtained before the start of LHD deuterium experiments.

[3] Safety management planning

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?

運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画され ているか。

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?

運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

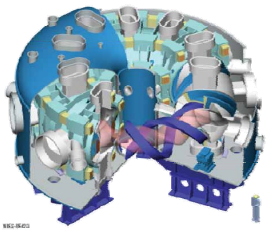
(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画され ているか。

Fundamental Concept for Safety management

Deuterium Experiment

Neutron
Tritium
Radio-active Materials



LHD
Plasma Generating Device

Regulation for Safety Management

○Act Concerning Prevention from Radiation Hazards due to radioisotopes, etc. (Legal Level)
○Final report of the Deuterium Experiment Security Evaluation Committee (NIFS management Level)
○Arbitration proposal by the Environmental Dispute Coordination Commission(in deference)

Basic Concept

○**Minimize quantity of occurring tritium.**
⇒ Examination of the experiment parameter

○**Limit the quantity of tritium remaining in a VV which does not exceed a management level, even if a gross quantity is released.**
⇒ Examination of the experiment plan

○**Keep the management level of the radiological generations which have a possibility to give influence on the environment.**
⇒ Preparation of exhaust, drainage, the ventilation equipment

○**Pay attention severely about a leak of the tritium component water.**
⇒ Preparation of a safekeeping method, safekeeping facilities

the Safety Management Plan Evaluation Committee

Management of low level radiation
⇒ Develop and establish the measurement technique and is useful for the Fusion Reactor in Future

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

The basic concept for the safety management, such as the NIFS management level been set severer than laws and ordinances, is considered to be excessive as the standard for general facility treating with radiation. However, this was based on an Arbitration proposal by the Environmental Dispute Coordination Commission and on a local opinion. Furthermore, from the Safety Management Plan Evaluation Committee, "The NIFS management value is sufficiently low compare with that of laws and ordinances, but research of a such small amount radiation promotes the development of its measurement equipment and a research to establish its measurement technique." is evaluated to be appropriate.

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?
重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?
安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?
重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?
運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?
重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?
重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画され ているか。

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?

運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

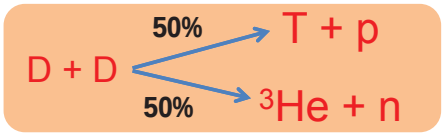
(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

Neutron and tritium measure and control



Number of Tritium
= Number of Neutron

To manage these safely, it is necessary to grasp quantity of the neutron production precisely

The fission chamber detectors are used to grasp quantity of neutron precisely. (See § 2.3.3.1)

1. N, γ-ray protection
2. Provision for tritium **(One of the most important issue)**
3. Management of Exhaust, drain water, RI and RA-waste
4. Radiation Controlled Area & Security
5. Integrated Radiation Monitoring System

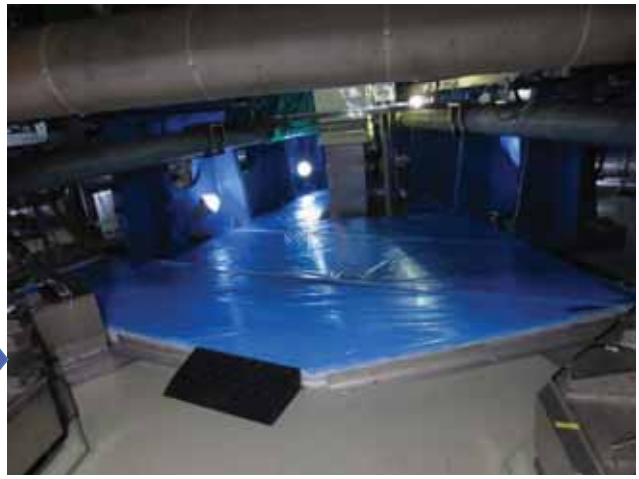
1. Neutron and γ-ray Protection

Reduction of radio-activation by neutron ⇨ **one of the important safety issue**

- **Concrete under the LHD machine will be strongly radio-activated.**
- **To reduce the radio-activation of concrete, we have a plan to cover the concrete with 5 cm thick borated polyethylene (PE).**

This year, covering concrete on one-torus section with PE was done.

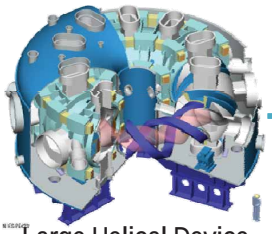
- **We will finish covering concrete at the other torus sections before starting deuterium experiment.**



Covering concrete on one-torus section by Polyethylene blocks

2. Provision for tritium
- Exhaust gas processing system -

- Specifications of tritium removal systems
  - Type of tritium removal system:
    - Oxidation catalyst + absorbent [**MS type**]
    - Oxidation catalyst + polymer membrane [**PM type**]
  - Maximum flow rate :
    - MS type: 20 Nm^3/h
    - PM type: 300 Nm^3/h
  - Detritiation factor [DF] : > 20



Large Helical Device (LHD)

Maximum tritium production: 55.5 GBq/y

Detritiation factor > 20

Tritium removal systems
MS type
PM type

Tritium removal system
Oxidation catalyst → Recovery of HTO

Chemical form of tritium
HTO

Environmental monitoring

Stack

Tritium active sampler

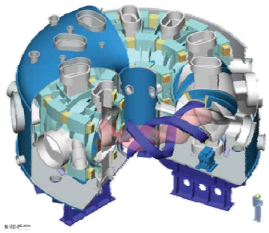
Dilution by room air (24610 m^3/h)

Collection and delivery to JRIA

- MS type tritium removal system -

Features of system

- Catalysts: Pt-Al_2O_3 for hydrogen, Pd-Al_2O_3 for hydrocarbons
- Low throughput [< 20 m^3/h]
- High tritium concentration
- Operation: period of plasma exp.

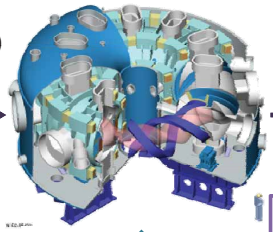


- PM type tritium removal system -

Features of system

- Catalyst: Pt-Al_2O_3 for HT
- Application of polymer membrane =>
- High throughput [< 300 m^3/h]
- Low tritium concentration
- Operation: period of maintenance

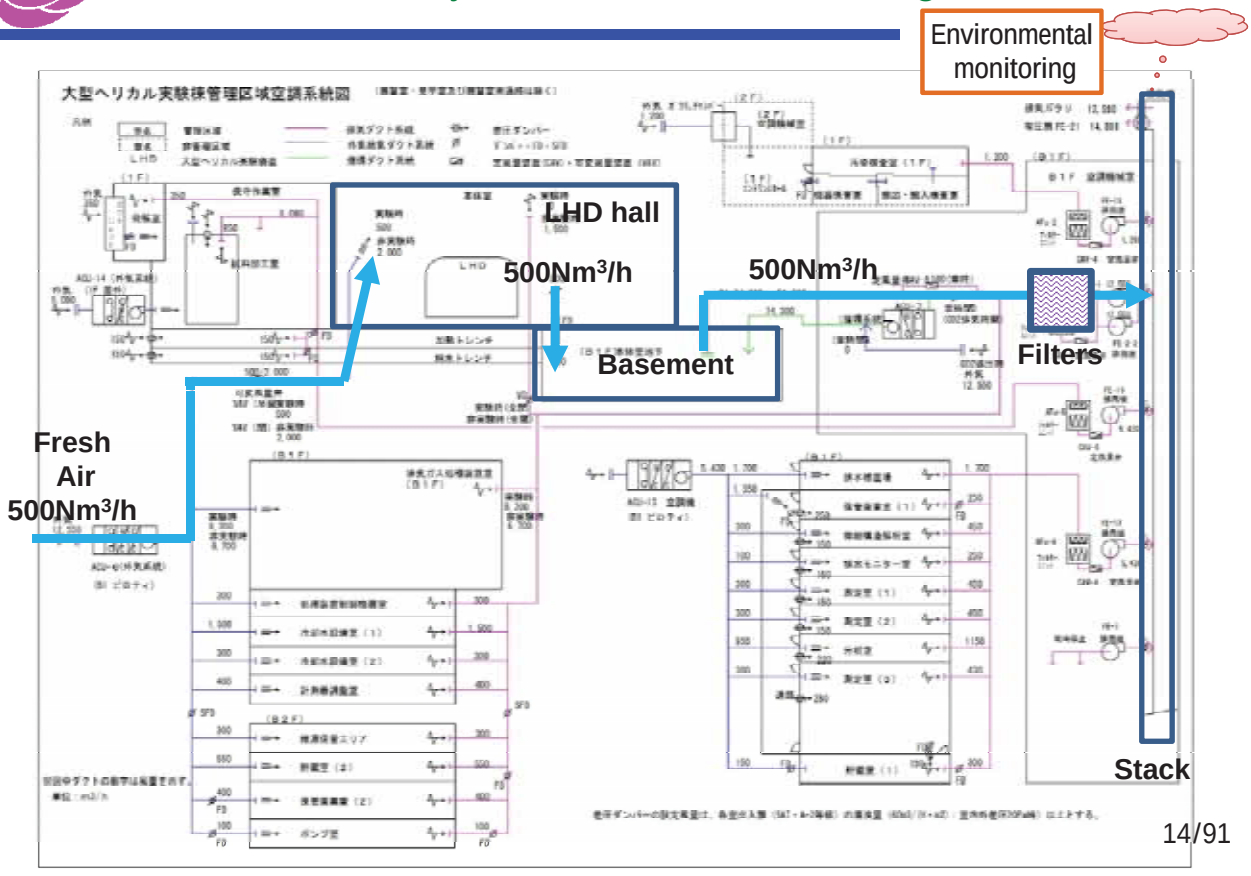
Merits of membrane:
- No regeneration system
- High throughput
- Continuous operation
- Compact system
- Control of performance
- Ease maintenance



[Exhaust and Ventilation]

- Since Ar in air is activated during Deuterium Experiment, we have to minimize the ventilation of the main experiment hall keeping negative pressure.
- To keep the concentration of Ar-41 below the limit in law, we vent air with 500Nm^3/h.
- A ventilation systems of ACU-6 and ACU-14 have ability to keep the pressure in the main hall and the maintenance workroom negative.
- Radio-active dusts are removed by the pre-filter and hepa-filter before exhausting.

- Air ventilation system of the LHD building -

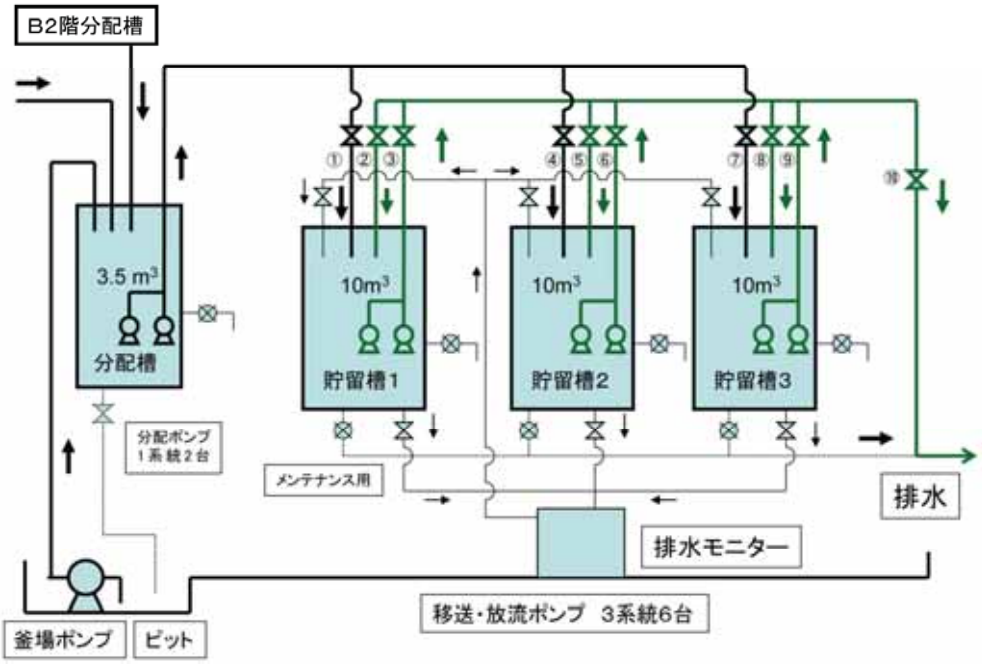


[Drain water and Recovered water]

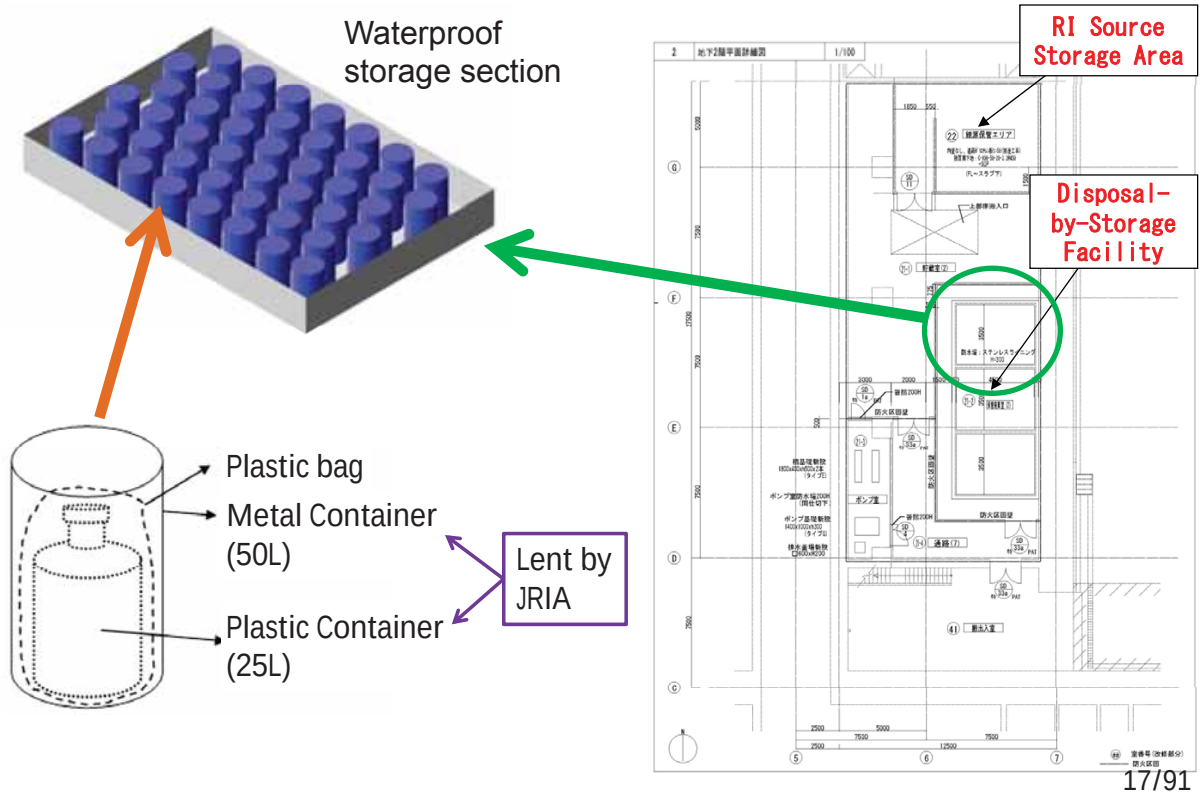
○ All drainage that occurred in Controlled Area except the recovered water is kept in a retention tank temporarily and discharged after confirmation the radio-activity concentration below NIFS management level (tritium : 0.6 Bq/cm^3). (Legal level : 60 Bq/cm^3)

○ Drainage that exceeds NIFS management level (0.6 Bq/cm^3) is treated as same as recovered water described below.

○ Recovered water, which produces by the tritium removal system and contains the triated water (HTO), is contained in an exclusive safekeeping container and asks Japan Radio-Isotope Association (JRIA) for taking care of.



- Storage of Recovered Water -



3. Management of Exhaust, drain water, RI and RA-waste 3

[Radio-Active Waste]

Radio-Active wastes are classified into 8 categories as follows and put in the metal-container(50L) of the JRIA designation. These are kept at one time in a Disposal –by-Storage Facility and are asked JRIA for processing.

1) combustibles (type1)
2) incombustibles
3) incompressible incombustibles
4) combustibles* (type2)
5) filters
6) Ion-exchange resin (consultation required)
7) inorganic substances
8) organic substances

1) combustibles (type1)
   - flammable waste such as work gloves, the mask, a paper towel, cloth Wes, etc.
2) incombustibles
   - a glass vial, glassware vinyl chloride, silicon, china, aluminum foil, Teflon fit, etc.
3) incompressible incombustibles
   - the soil, a steel frame, a pipe, a concrete piece, a casting, etc.
4) combustibles* (type2)
   - plastic, a poly-vial, a poly-seat, rubber gloves, Styrofoam, etc.
5) filter
   - Pre-filter, hepa-filter to arrange to exhaust facilities
6) ion-exchange resin (consultation required)
   - Ion-exchange resin such as primary cooling facilities
7) inorganic substances
   - Be in 25L of poly-container, and it is held by 50L of metal-container
8) organic substances
   - With liquid scintillation waste fluid, etc.
     Be in 25L of poly-container, and it is held by 50L of metal-container

[Radioisotope]

(1) The radioisotope which is used as a radiation detector and for the calibration

Enriched U-235 (fission chamber) : Neutron measurement
Cf-252 : Source for calibration of the neutron measurement

(2) The materials which are activated by a neutron or absorb Radioisotope

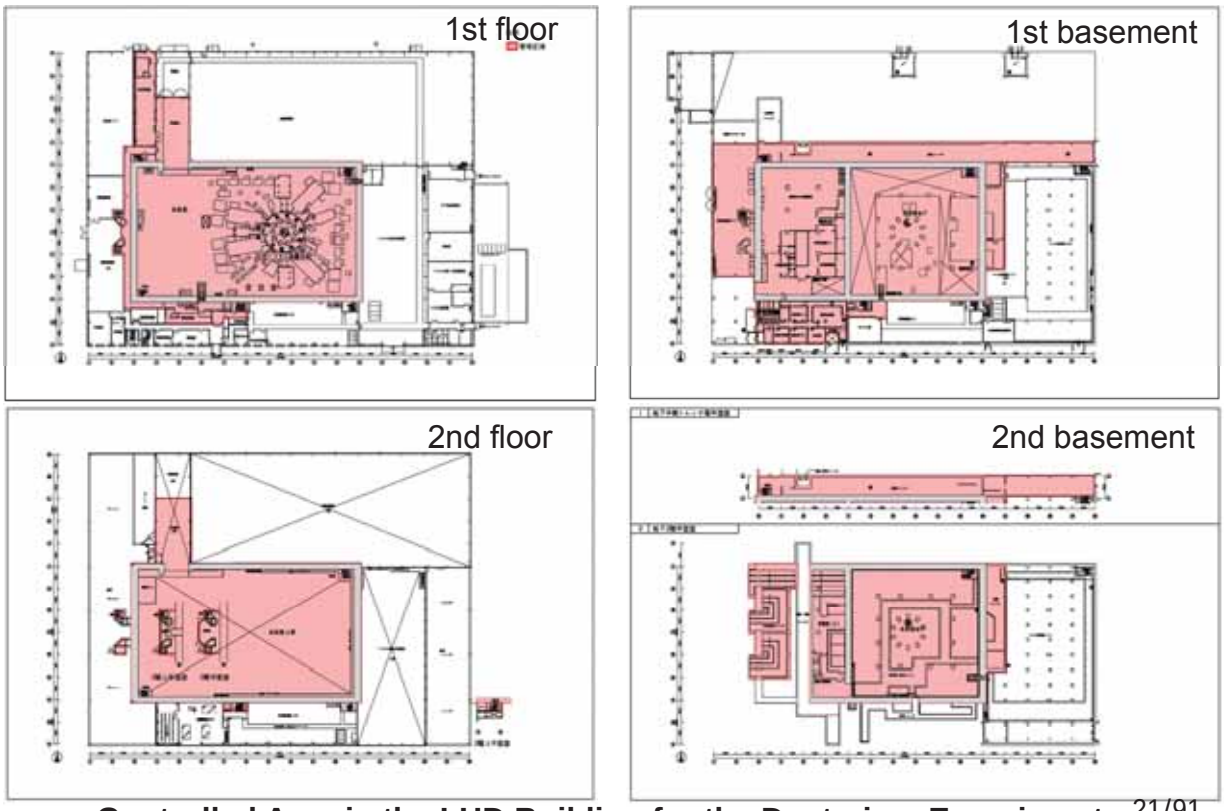
SUS sample, carbon sample, silicon sample : used for PWI studies

○ Main radionuclide

Graphite : T, C-14, Be-7
SUS316 : T, C-14, Cr-51, Mn-53, Mn-54, Fe-55, Fe-59, Co-56, Co-57, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Zr-95, Nb-95m, Nb-94, Nb-95, Nb-93m, Mo-93, Tc-99

These materials are controlled in the Storage Facility.

4. Controlled Area & Security
- Controlled Area -



Controlled Area in the LHD Building for the Deuterium Experiments

Access Control
- Gates and Security Code (SQRC) -

Access Gates and SQRC (Security QR Code) for authentication

SQRC seal are affixed on personal dosimeters. Then, no one can enter the controlled area without personal dosimeter.



Personal dosimeter with SQRC



SQRC reader



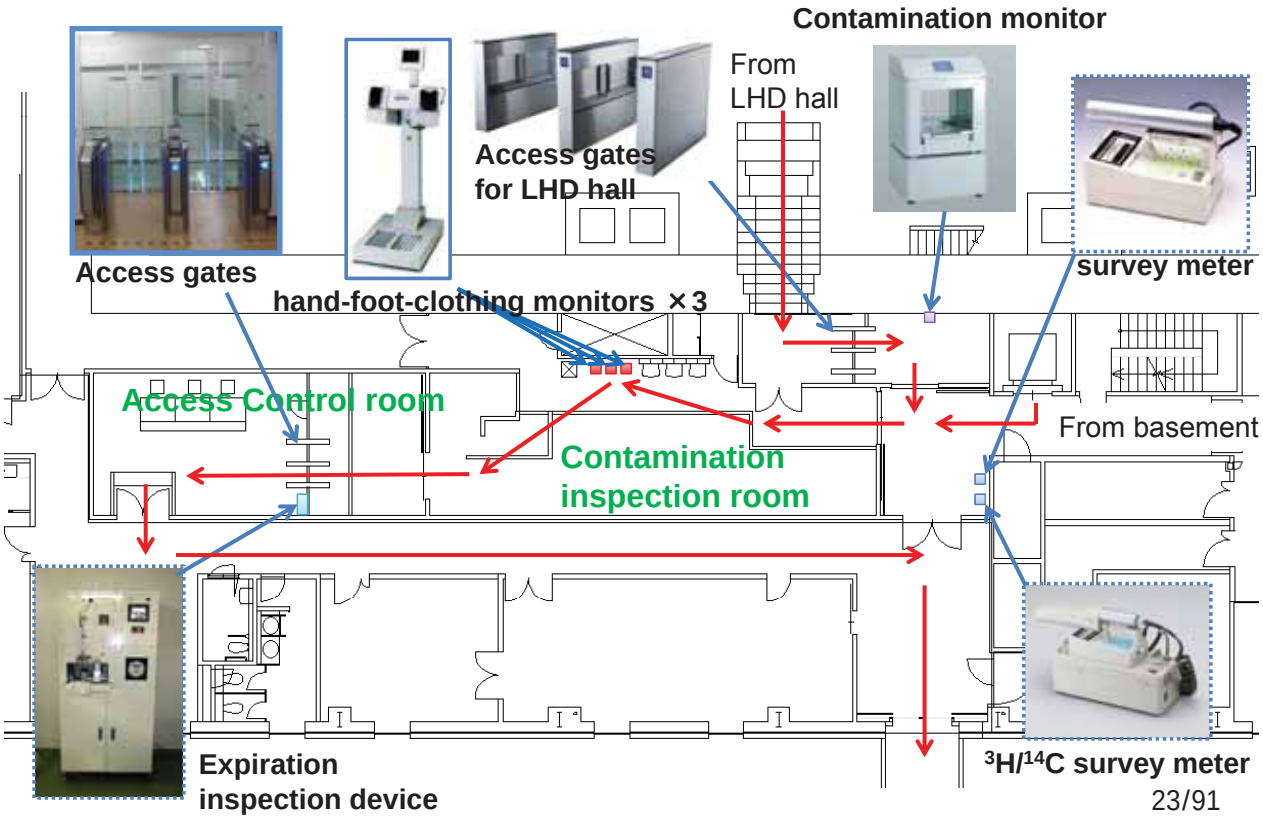
Access gates



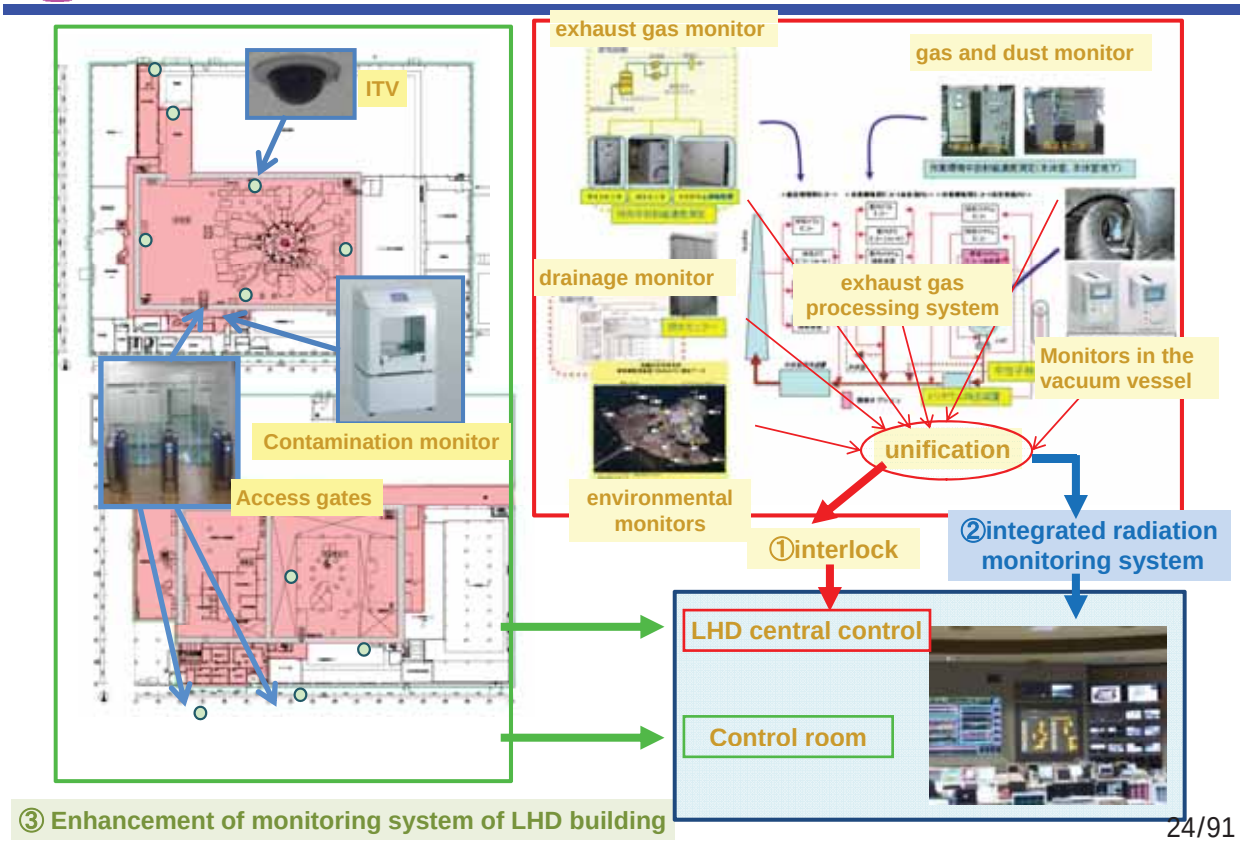


Access control room and rocker room

- Exit Flow and Contamination Test Apparatus -



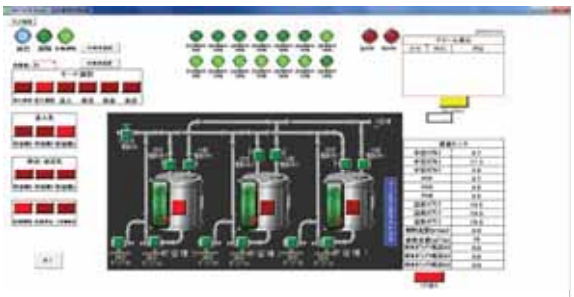
5. Integrated Radiation Monitoring System



③ Enhancement of monitoring system of LHD building

Example of Monitoring Displays

DRAINAGE CONTROL SYSTEM



RMSAFE (SITE BOUNDARY)





STACK and LHD HALL GAS MONITOR



RMSAFE(LHD HALL)

Measuring Instruments (1)

Measuring equipment

・prepared and started operations to get BG data



Stack gas monitors



^{3}H sampler for stack gas



Low background Liquid scintillation counters(LSC-LB7)



Drainage tanks



Drainage monitor



Ultra Low Level Liquid Scintillation Spectrometer (1220 QUANTULUS)



Auto Well Gamma System (AccuFLEX 7000)

Measuring Instruments (2)




Air monitors for the LHD hall



Monitoring post of RMSAFE



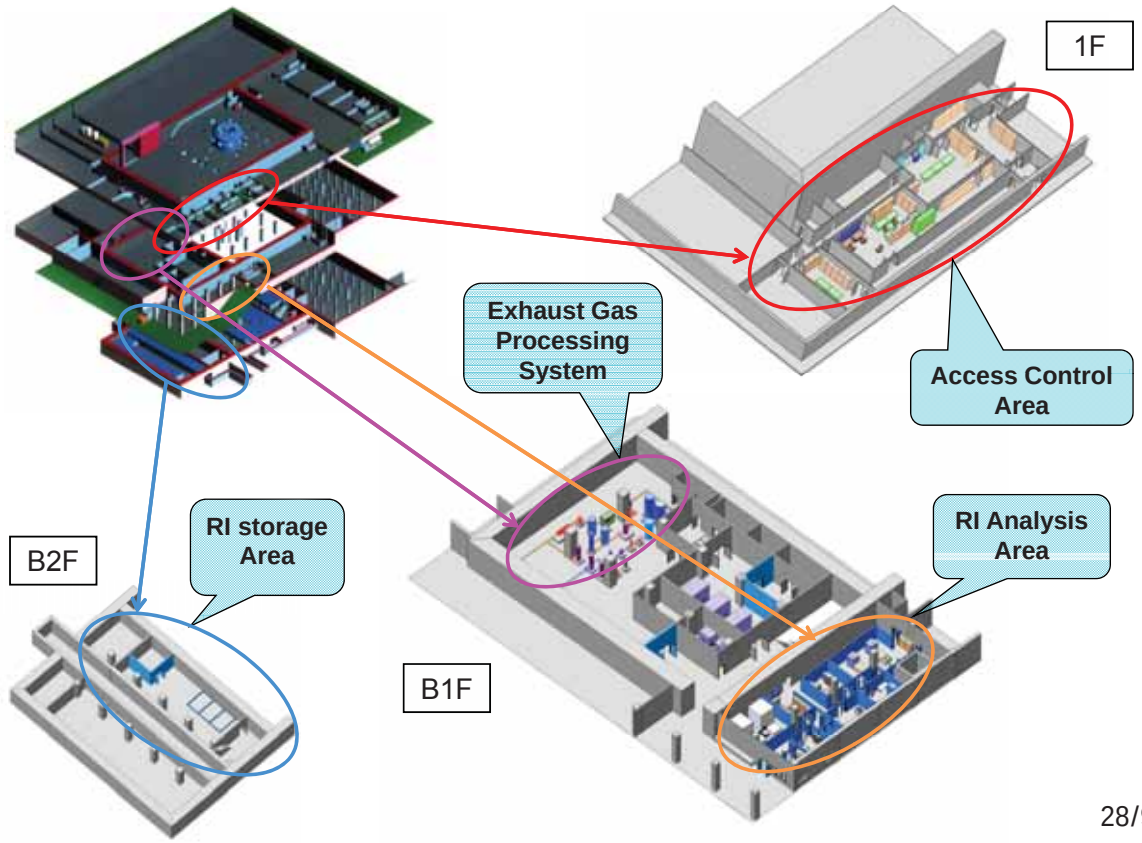
hand-foot-clothing monitors



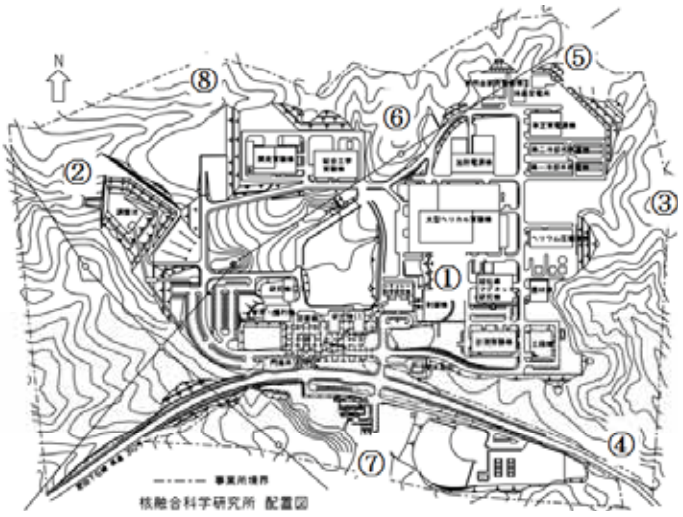


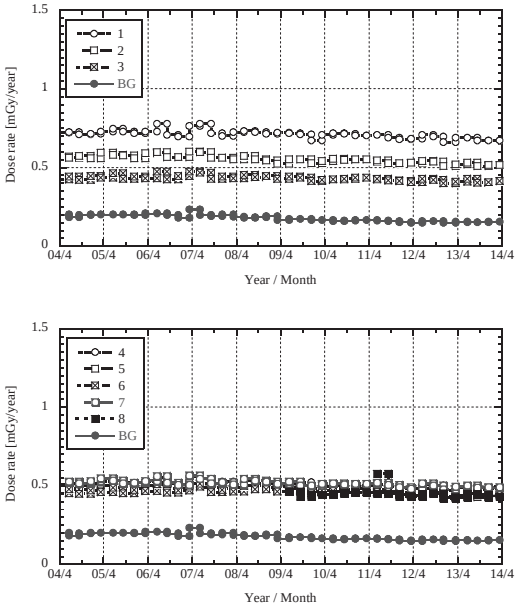
Survey meters

Renovated LHD Building to apply D-experiments



Environmental Radiation Monitoring





Cumulative dose were monitored by glass dosimeter installed in the site (1) and site boundary (2-8).

Data shows the flat background dose.

Environmental Radiation Monitoring
- Background of Radioactivity -

Environmental background of radioactivity → It is need to estimate the influence of the deuterium experiments

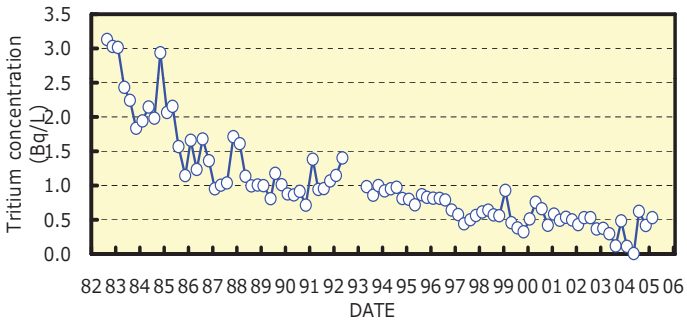
Following environmental background is being measured.

- **Radioactivity in the Stack Gas**
- **Atmospheric tritium**
  - Three chemical type of tritium was measured separately
    water vapor (HTO), molecular hydrogen (HT) and hydrocarbons (CH_3T)
- **Tritium in the river water (HTO)**
  - Recent date is under 0.5 Bq/L.
- **Tritium in plant samples (FWT and OBT)**
  - Pine needles at NIFS and Shiomi-park
- **Environmental radionuclides**
  - rain, atmospheric dust, atmospheric deposition and surface soil

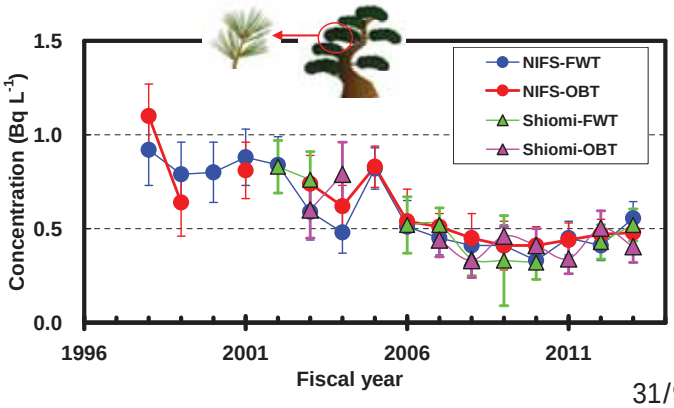
- Examples of Background of Radioactivity Data-

Tritium concentration in the river water





Tritium concentration in the plant

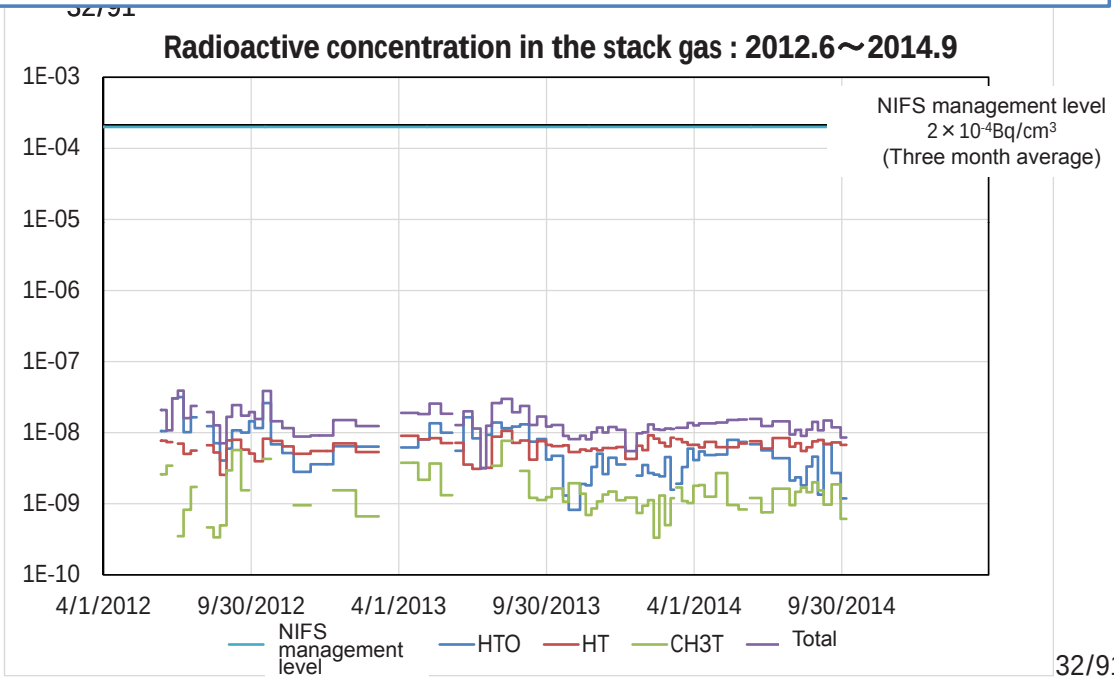


FWT: Free Water Tritium
OBT: Organically Bound Tritium

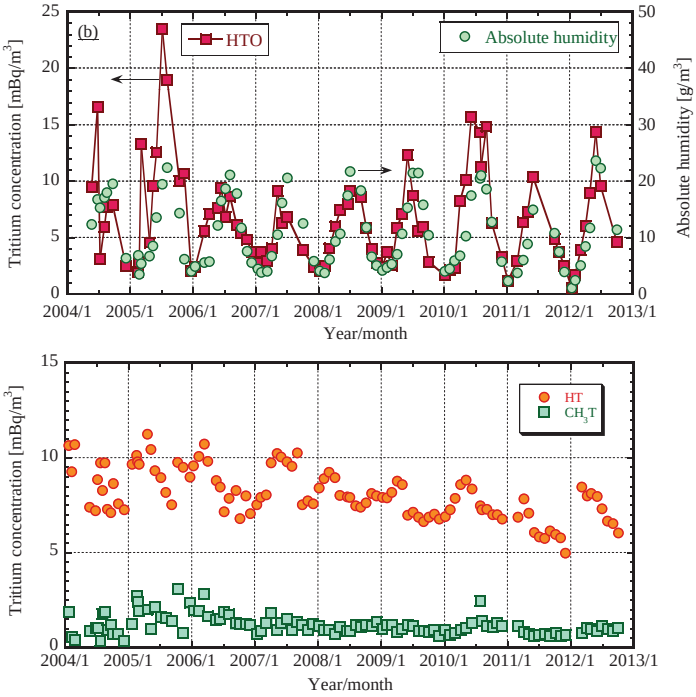
Background of Radioactivity

- Radioactivity in the Stack Gas -

Radioactivity in the stack gas is measured as background data in order to estimate the influence of the deuterium experiments.



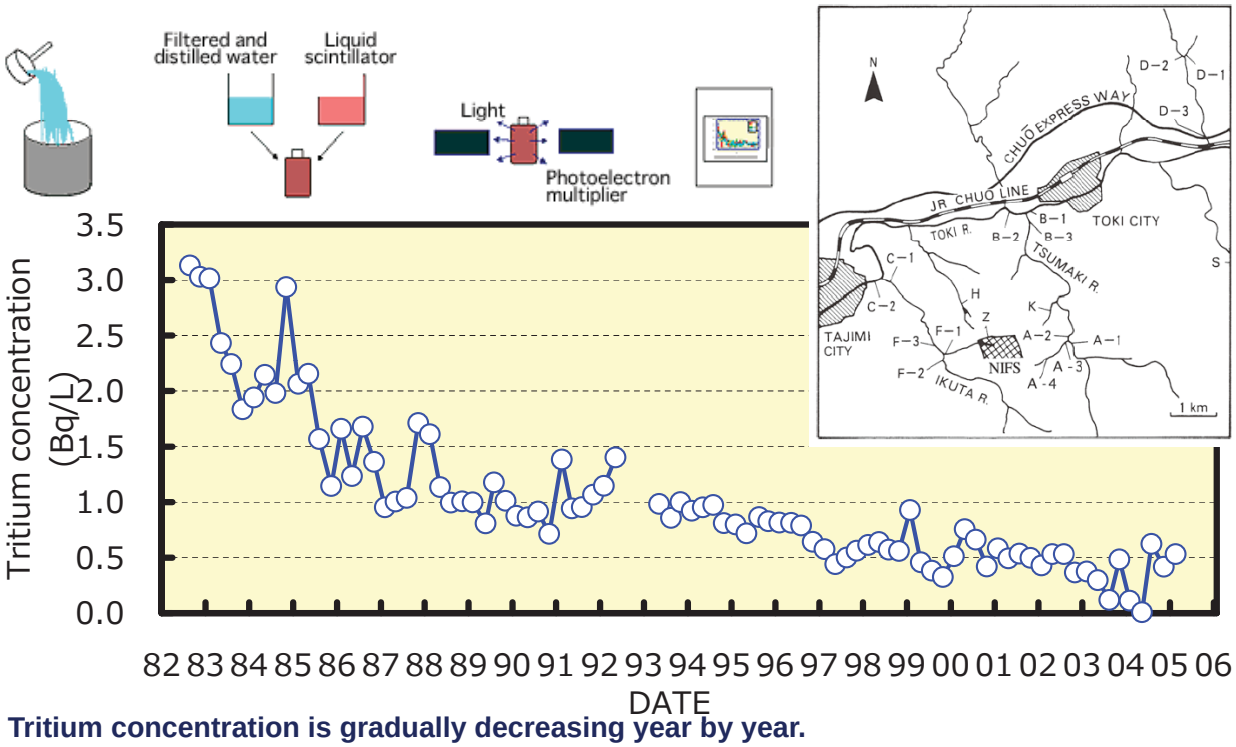
- Tritium monitoring in the atmosphere -



- ✓Atmospheric tritium concentrations of three chemical forms such as HTO, HT and CH_3T had been measured since 2004.
- ✓Tritium concentrations of HTO, HT and CH_3T were distributed around **2-23 mBq/m^3**, **5-11 mBq/m^3** and **0.5-3 mBq/m^3**.
- ✓The HTO concentration depends on humidity in air.
- ✓Recent decreasing rate of HT concentration to half was estimated **19.4 years**.

Atmospheric tritium was separately collected as water vapor (HTO), molecular hydrogen (HT) and hydrocarbons (CH_3T) by using this sampling system.

- Tritium monitoring in the river water -

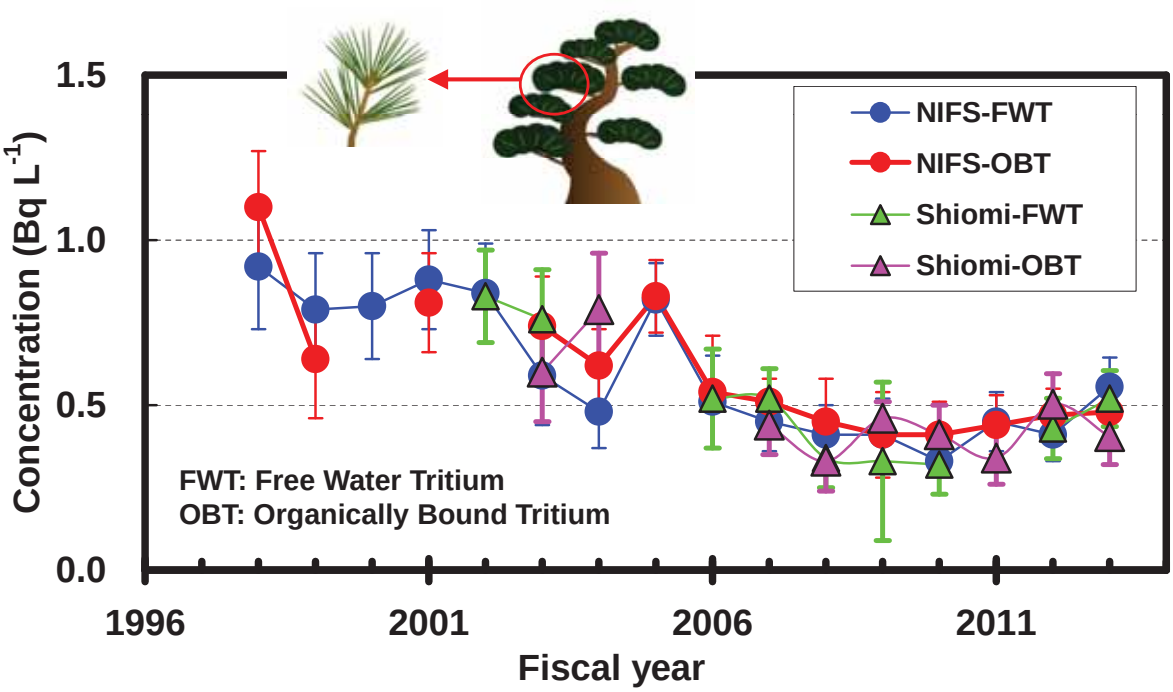


Tritium concentration is gradually decreasing year by year.

Recent date is under 0.5 Bq/L.

This result is similar to background tritium concentration in Japan.

- Tritium monitoring in plant samples -



We monitored tritium concentration in pine needle samples.
Shiomi park is located about 5km south of NIFS.
FWT and OBT concentrations are gradually decreasing, and recent data is background level.

- Environmental monitoring of radionuclides -

Rain sampler



Air sampler



Atmospheric deposition sampler



Surface soil sampling



Passive type sampler (atmospheric water vapor)



In order to understand the background level of radionuclides, we stated the rain, atmospheric dust, atmospheric deposition and surface soil collection.

We also started the passive type sampling of HTO in atmospheric water vapor. A passive type sampler which does not require any power supply is more effective for the study on atmospheric HTO behavior around the LHD.

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

In the deuterium experiment, a neutron and tritium are produced, and this neutron activates the surrounding materials. Activated materials radiate the secondary Gamma-ray. To manage these safely, it is necessary to grasp quantity of the neutron production precisely. To measure the quantity of neutron precisely, the fission chamber detectors are used. To ensure this measurement, the calibration using 252-Cf will be carried out in LHD.

The deuterium experiment is limited by the quantity of the neutron production and the experiment is planed not to exceed the maximum neutron budget.

Protection against the neutron and gamma-ray are designed using the DORT-code and FISPACT-code. In this calculation, some shielding materials and some through holes are taking account. To reduce the radio-activation by the neutron, some holes are buried by the polyethylene and floor concrete under the LHD machine will be covered with the Borated Polyethylene brocks.

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

To minimize the influence of the radiation and tritium to the environment, NIFS management levels, which are lower than the levels in law, are set. Exhaust, ventilation, drainare and their monitoring system are equipped to keep the NIFS management level. The radiation monitoring system is also equipped.

Radio-Active wastes are classified into 8 categories and put in the container of the JRIA designation. These are kept at one time in a Disposal –by-Storage Facility and are asked JRIA for processing.

To reduce the tritium in the exhaust, 2 type of tritium removal systems are designed and equipped as the exhaust gas processing system. Tritium concentration is control 1/25 lower than that in law. Recovered water from the tritium removal systems is contained trebly in the JRIA container and is kept in the waterproof storage section. Some tritium monitors are set to get the background data.

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

Control area is set in the LHD building. To reduce unguarded expansion of the radiation contamination, entrance of this area is only one. Rocker room, contamination inspection room, decontamination room, etc. are set taking account the flow line. Key of each room is electric lock and controlled at the access control room.

Radiation related equipment is connected to the Integrated Radiation Monitoring System and be monitored their conditions on this system. Some date is connected to the LHD interlock system.

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?
重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。
(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?
安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。
(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?
重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。
(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?
運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。
(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?
重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。
(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?
重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

Present NIFS Regulations for Experiment

Followings are present NIFS regulations for LHD experiment

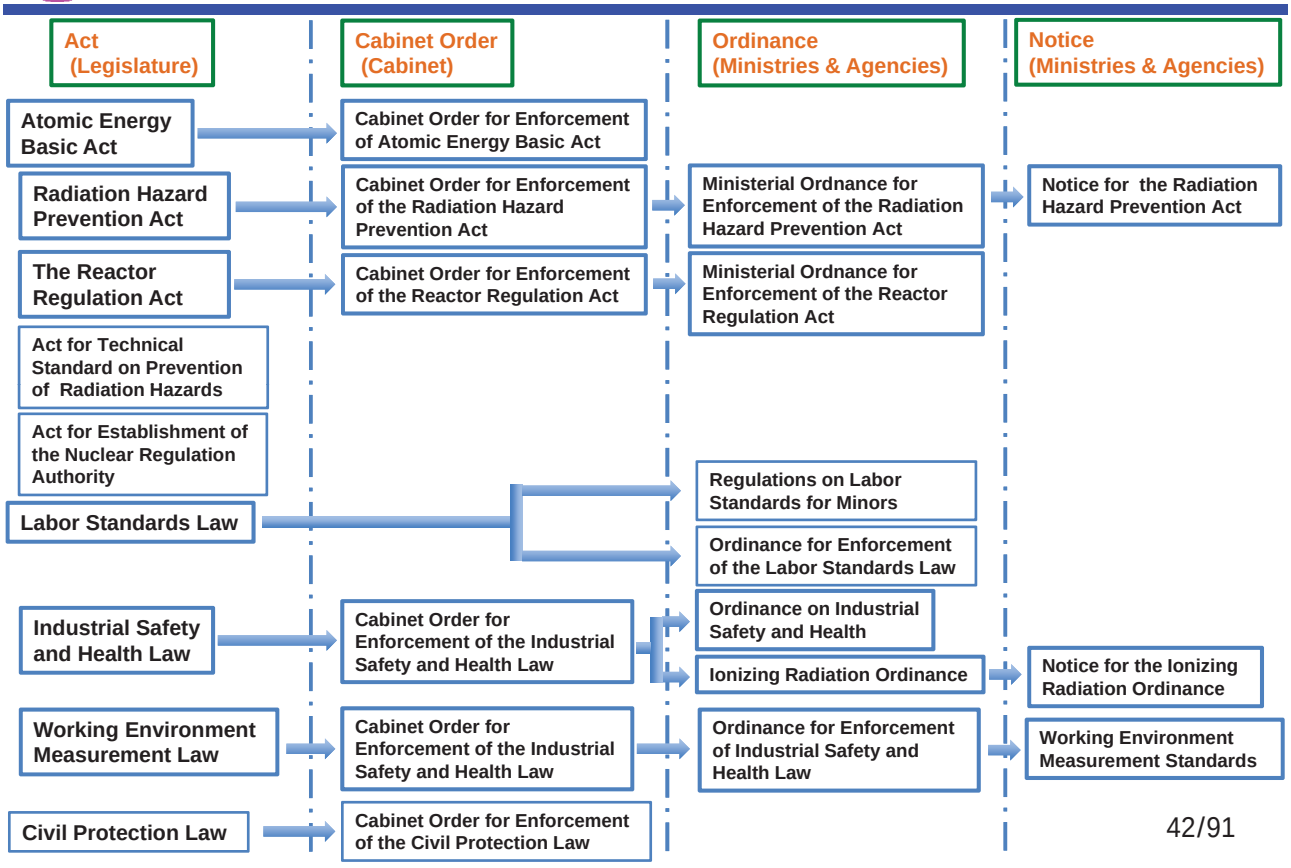
※ [NIFS Regulation of Prevention of Radiation Hazards] is revising to fit the Deuterium Experiment now

NIFS Safety and Health Regulation
核融合科学研究所安全衛生管理規則

NIFS Regulation of Prevention of Radiation Hazards (revising for D-experiment)
核融合科学研究所放射線障害予防規程（案）
NIFS Detailed Regulation of the Vacuum Maintenance on LHD
核融合科学研究所大型ヘリカル装置真空維持管理細則
NIFS Detailed Regulation of the Heavy Ion Beam Probe
核融合科学研究所重イオンビームプローブ装置の維持管理細則
NIFS Detailed Regulation of Experimental Devices
核融合科学研究所における実験装置等の維持管理細則
NIFS Detailed Regulation of the X-rays Device
核融合科学研究所におけるエックス線装置の維持管理細則
NIFS Detailed Handling Regulation of very small amount Sealed Radioisotope
核融合科学研究所微量密封放射性同位元素等取扱細則

NIFS Detailed Regulation of the Ion Beam Analyzer
核融合科学研究所イオンビーム解析装置の維持管理細則

- General Hierarchy of Law related to Radiation -



- Rules for Deuterium Experiment -

Act → Ordinance → NIFS Regulation → NIFS Internal Rules → Manual etc.



We establish internal rules and manuals before starting Deuterium experiment.

- Examples of NIFS Regulation –

NIFS Regulation of Prevention of Radiation Hazards



核融合科学研究所放射線障害予防規程（案）

目次

第１章　総則（第１条～第６条）
第２章　組織及び職務（第７条～第１８条）
第３章　管理区域（第１９条、第２０条）
第４章　維持及び管理（第２１条～第２３条）
第５章　使用（第２４条～第２５条）
第６章　測定（第２６条～第３０条）
第７章　教育及び訓練（第３１条）
第８章　健康診断（第３２条、第３３条）
第９章　記帳及び保管（第３４条～第４１条）
第１０章　危険時の措置（第４２条、第４３条）
第１１章　報告（第４４条、第４５条）
第１２章　その他（第４６条～４７条）

第１章　総則

（目的）
第１条　この規程は、核融合科学研究所（以下「研究所」という。）における放射線の発生を伴う装置並びに放射性物質等の取扱い及び管理に関する事項を定め、放射線障害の発生を防止し、あわせて公衆の安全を確保することを目的とする。
２　放射線障害の防止に関しては、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律（昭和３２年法律第１６７号、以下「法」という。）、及び反応性物質安全規則（昭和４７年法律第３７号）、電離放射線障害防止規則（昭和４７年労働省令第４１号、以下「電離則」という。）等の関係法令に定めるもののほか、この規程の定めるところによる。

（適用範囲）
第２条　本規程は、研究所の放射線施設に立ち入るすべての者に適用する。

（用語の定義）
第３条　この規程において、次の各号に掲げる用語の定義は、それぞれ当該各号に定めるところによる。
(1)-(1)「装置」とは次に掲げるものをいう。
イ　法第２条第４項に規定する放射線発生装置
ロ　イに掲げるもののほか、電離則第１３条第１項に規定する放射線を発生する装置又は放射性同位元素の使用施設をいう。
(1)-(2)「放射性同位元素」とは、法第２条第２項に規定するものをいう。
(1)-(3)「放射性物」とは、放射線発生装置から発生した放射線によりその放射能を誘起する同位元素によって汚染された物をいう。
(1)-(4)「放射性物質等」とは、放射性同位元素、放射性物及び放射性同位元素又は放射性物で汚染された物をいう。
(1)-(5)「放射線施設」とは、法第３条第２項第５号から第７号までに規定する使用施設、貯蔵施設及び廃棄施設並びに核燃料棟をいう。
(1)-(6)「管理区域」とは、放射線管理の為にのみ立入られる区域であって、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則（昭和３５年総理府令第５６号、以下「法施行規則」という。）第１条第１号に規定する管理区域をいう。
(1)-(7)「放射性廃棄物」とは、放射性物質等であって廃棄しようとする物をいう。

(2)「放射線業務」とは装置又は放射性物質等を取り扱う業務をいう。
(3)「業務従事者」とは装置又は放射性物質等の使用、管理並びにこれに付随する業務に従事する



るため、管理区域に立ち入る者で、所長が放射線業務従事者に指定した者をいう。
(4)「一時立入者」とは見学等の目的で、一時的に管理区域に立ち入るもので管理区域責任者の許可を得た者をいう。

（他の規程との関連）
第４条　装置又は放射性物質等の取扱いに係る保安については、本規程に定めるもののほか、次の各号に掲げる規則その他保安に関する規程等の定めによる。
(1)　核融合科学研究所安全衛生管理規則　（平成１６年規則第３号）
(2)　核融合科学研究所電気保安規則　（平成１６年規則第７号）
(3)　核融合科学研究所高圧ガス（一般）取扱予防規則　（平成１６年規則第８号）
(4)　核融合科学研究所高圧ガス（冷凍）取扱予防規則　（平成１６年規則第９号）
(5)　核融合科学研究所防災規則　（平成１７年規則第６号）

（細則等の制定）
第５条　所長は、法及びこの規程に定める事項の実施に関し、装置又は放射性物質等の維持・管理に関する取扱い及び運用基準等を、維持管理細則として別に定めるものとする。

（遵守等の義務）
第６条　業務従事者及び管理区域に一時的に立ち入る者は、放射線障害主任者が放射線障害防止のために行う指示を遵守し、その指示に従わなければならない。

第２章　組織及び職務

（管理組織）
第７条　研究所における放射線業務に従事する者及びこれらの安全管理に従事する者の組織は、別表第１のとおりとする。

（安全衛生委員会）
第８条　研究所における放射線障害の防止に関する事項は、核融合科学研究所安全衛生委員会（以下「安全衛生委員会」という。）において審議する。

（放射線管理室）
第９条　研究所の安全衛生推進部長（以下「部長」という。）の下に放射線管理室を置く。
２　放射線管理室は、放射線施設における放射線安全管理に関する次に掲げる業務を行う。
(1)　装置の保守及び点検
(2)　装置及び管理区域に係る放射線の量の測定並びに放射性物質等による汚染の状況の測定
(2)-1)　管理区域への立ち入る者の入退域及び被ばく線量の管理及び汚染の状況の管理
(2)-2)　放射性物質等の受入れ、譲渡、使用、保管、運搬及び廃棄に関する業務及び管理
(2)-3)　放射性廃棄物の管理及び処理に関する業務
(2)-4)　排気及び排水の管理
(3)　放射線業務従事者及び一時立入者に対する教育及び訓練の実施
(4)　放射線測定機器の保守管理
(5)　放射線業務従事者の登録に関する業務
(6)　前各号の業務に関する記帳及び記録並びにその管理
(7)　関連法令に基づく申請、届出及び報告に係る書類の作成業務
(8)　注意事項等の掲示
(9)　放射線に関する安全マニュアルの作成
(10)　その他放射線障害の防止のための必要な技術的事項
３　放射線管理室に室長を置き、室長が放射線取扱主任者の意見を聴いて、運営する。
４　放射線管理室長（以下「室長」という。）は、第２項の放射線安全管理に関する業務を総括する。

- Examples of NIFS Regulation –

NIFS Detailed Regulation of Experimental Devices



核融合科学研究所における実験装置等の維持管理細則

制　定　平成１６年７月１５日　所長裁定

（趣旨）

第１　核融合科学研究所放射線障害予防規程（平成１６年度規則第５号。以下「規程」という。）第５条の規定に基づく核融合科学研究所（以下「研究所」という。）の第２に定める実験装置等の維持及び管理に関し必要な事項は、この細則の定めるところによる。

（用語の定義）

第２　この維持管理細則の適用を受ける「実験装置等」は次の各号に定めるところによる。

(1) 大型ヘリカル実験棟に設置された大型ヘリカル装置本体、中性粒子入射加熱装置及び電子サイクロトロン共鳴加熱装置

(2) 総合工学実験棟に設置された中性粒子入射加熱試験装置

（装置管理区域及び装置監視区域）

第３　規程第１９条第２項に基づいて指定する装置等に係る管理区域（以下「装置管理区域」という。）は別図１及び別図２のとおりとする。ただし、装置管理区域は、設備、機器等の保守点検、改装工事のためやむを得ない場合に限り、その指定を一定期間解除又は変更することができる。

２　装置管理区域の外側に近接する区域にあって、放射線の発生するおそれのある実験を行う期間（以下「マシンタイム」という。）、業務従事者が装置等の運転監視や保守管理等を行うため常時立ち入る区域（以下「装置監視区域」という。）は、別図１及び別図２のとおりとする。

（装置管理区域範囲の一時解除又は変更の手続き）

第４　第３第１項ただし書きの規定に基づき、装置管理区域責任者は、装置管理区域の指定を一時的に解除又は変更しようとする場合は、変更の内容、期間、安全対策、理由等を記入した所定の申請書を所定の期日までに、放射線管理室長（以下「室長」という。）を経由して安全衛生推進部長（以下「部長」という。）に提出しなければならない。

２　部長は、前項の規定による装置管理区域解除又は変更の申請があったときは、室長及び放射線取扱主任者（「主任者」という。）と協議の上、解除又は変更の可否を決定し、その旨を装置管理区域責任者に通知するとともに所長に報告するものとする。

３　装置管理区域責任者は、装置管理区域解除又は変更が許可された場合はその内容を立ち入るものに周知しなければならない。

（放射線測定器の設置）

第５　規程第２７条に規定する放射線の量を測定するため、次に掲げる場所に放射線測定器（以下「測定器」という。）を設置する。

(1) 研究所の敷地境界に１箇所以上

(2) 敷地内にあって実験棟の近くに１箇所以上

(3) 装置監視区域内に１箇所以上

(4) 装置管理区域内に１箇所以上

（巡視）

第６　規程第２２条に規定する巡視は、次に掲げる事項について行うものとする。ただし、(3)は大型ヘリカル実験棟のみとする。

(1) 装置管理区域の区画、標識及びインターロック等の確認

(2) 出入管理システムの作動確認

(3) 自動表示装置の作動確認

(4) 各モニター設備の作動確認

(5) 放送設備の作動確認

(6) その他管理状況の確認

２　前項の巡視の実施項目は、別表１－１及び別表１－２に定める。

３　装置管理区域責任者は、巡視結果を所定の期間ごとに、室長に提出しなければならない。

４　停電、断水、設備等の故障その他の事故及び地震、火災等の災害により、緊急に巡視内の巡視を行う必要が生じたときは、その都度、実施するものとする。

（点検）

第７　規程第２３条に規定する点検は、次に掲げる事項について行うものとする。

(1) 実験棟の周囲の状況

(2) 実験棟の主要構造及び建ぺいの異常の有無

(3) 装置管理区域区画等の異常の有無

(4) 各モニター設備の異常の有無

(5) 標識、注意事項表示等の状況

(6) その他実験棟内の異常の有無

２　前項の点検の実施項目は、別表２－１及び別表２－２に定める。

３　装置管理区域責任者は、点検結果を所定の期間ごとに、室長に提出しなければならない。

（実験計画等の提出）

第８　装置管理区域責任者は、マシンタイム開始日までに、当該マシンタイム中における実験計画書を、室長に提出しなければならない。

２　装置管理区域責任者は、マシンタイムごとに測定された放射線量を１週間ごとにまとめ、その結果を所定の期間ごとに室長に提出しなければならない。

３　装置管理区域責任者は、装置を使用した運転記録を作成し、その結果を所定の期間ごとに、室長に提出しなければならない。

（実験の制限）

第９　マシンタイム中の実験は、装置監視区域内設置測定器の一週間当たり（月曜日を起算日とする。以下同じ。）の積算線量が 100 マイクロシーベルトの内となることを管理目標とし、管理区域の境界で三ヶ月間の積算線量が 1.3 ミリシーベルトを超えない範囲で行わなければならない。

２　装置管理区域責任者は、装置監視区域内設置測定器の一週間当たりの積算線量が 80 マイクロシーベルトを超えたときは、実験を停止し、次に掲げる項目について室長に報告しなければならない。

(1) 装置監視区域内設置測定器の当該週積算線量

(2) 発生箇所および原因

(3) 防止対策

３　装置管理区域責任者は前項の事態が発生したときは、室長の承認がなければ実験を継続して



(1) 装置管理区域の区画、標識及びインターロック等の確認

(2) 出入管理システムの作動確認

(3) 自動表示装置の作動確認

(4) 各モニター設備の作動確認

(5) 放送設備の作動確認

(6) その他管理状況の確認

２　前項の点検の実施項目は、別表１－１及び別表１－２に定める。

３　装置管理区域責任者は、点検結果を所定の期間ごとに、室長に提出しなければならない。

４　停電、断水、設備等の故障その他の事故及び地震、火災等の災害により、緊急に巡視内の巡視を行う必要が生じたときは、その都度、実施するものとする。

（点検）

第７　規程第２３条に規定する点検は、次に掲げる事項について行うものとする。

(1) 実験棟の周囲の状況

(2) 実験棟の主要構造及び建ぺいの異常の有無

(3) 装置管理区域区画等の異常の有無

(4) 各モニター設備の異常の有無

(5) 標識、注意事項表示等の状況

(6) その他実験棟内の異常の有無

２　前項の点検の実施項目は、別表２－１及び別表２－２に定める。

３　装置管理区域責任者は、点検結果を所定の期間ごとに、室長に提出しなければならない。

（実験計画等の提出）

第８　装置管理区域責任者は、マシンタイム開始日までに、当該マシンタイム中における実験計画書を、室長に提出しなければならない。

２　装置管理区域責任者は、マシンタイムごとに測定された放射線量を１週間ごとにまとめ、その結果を所定の期間ごとに室長に提出しなければならない。

３　装置管理区域責任者は、装置を使用した運転記録を作成し、その結果を所定の期間ごとに、室長に提出しなければならない。

（実験の制限）

第９　マシンタイム中の実験は、装置監視区域内設置測定器の一週間当たり（月曜日を起算日とする。以下同じ。）の積算線量が 100 マイクロシーベルトの内となることを管理目標とし、管理区域の境界で三ヶ月間の積算線量が 1.3 ミリシーベルトを超えない範囲で行わなければならない。

２　装置管理区域責任者は、装置監視区域内設置測定器の一週間当たりの積算線量が 80 マイクロシーベルトを超えたときは、実験を停止し、次に掲げる項目について室長に報告しなければならない。

(1) 装置監視区域内設置測定器の当該週積算線量

(2) 発生箇所および原因

(3) 防止対策

３　装置管理区域責任者は前項の事態が発生したときは、室長の承認がなければ実験を継続して

- Examples of NIFS Regulation –

NIFS Detailed Handling Regulation of very small amount Sealed Radioisotope



核融合科学研究所微量密封放射性同位元素等取扱細則

制　定　平成13年12月18日　所長裁定

最終改正　平成18年5月19日

（目的）

第１条　この細則は、核融合科学研究所放射線障害予防規程（平成16年度規則第５号）第46条の規定に基づき、核融合科学研究所における微量密封放射性同位元素等（以下「微量RI等」という。）に起因する障害等の予防及び安全な取扱い方法に関し、必要な事項を定めることを目的とする。

なお、ここでいう「微量RI等」は、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法令に定められた諸条件に抵触しない数量のものを指す。

（定義）

第２条　この細則においては、次の各号に掲げる微量RI等について定めるものとする。

(1) 購入、譲受け又は一時的に所内に持ち込み使用するもの。

(2) 微量RI等が装着、組入されている機器、器具、試薬及び材料のうち、含まれる放射性同位元素の数量が明確であり、入手時に放射性同位元素についての記載事項と表示があるもの。

(3) その他、放射線管理室長（以下「室長」という。）及び放射線取扱主任者（以下「主任者」という。）が管理の必要性を認めたもの。

（管理）

第３条　前条に規定する微量RI等は、放射線管理室が管理するものとする。ただし、室長及び主任者が特に指定した微量RI等については、その使用者が管理することができる。

２　放射線管理室は、微量 RI 等を保管し、出入庫管理を行う。

３　室長は、微量RI等の管理状況について主任者及び安全衛生推進部長（以下「部長」という。）を経由して、少なくとも年１回は所長に報告しなければならない。

（使用者）

第４条　微量RI等を使用できるのは、放射線業務従事登録者又は室長の認めた者とする。

（使用届）

第５条　微量RI等を所内で使用する場合は、使用責任者は別に定める微量密封放射線同位元素使用届を室長に提出するものとする。

２　室長は、前項の使用届を許可したときは、別に定める微量密封放射性同位元素使用許可書を交付する。

３　所外から一時的に微量RI等を持ち込み使用する場合も同様とする。

（貸出と返却）

第６条　微量RI等の貸出を希望する者は、放射線管理室へ交付された微量密封放射性同位元素使用許可書を呈示するとともに、別に定める微量密封放射線同位元素借用書を提出し、微量RI等を借用する。

２　使用責任者は、微量RI等を返却する場合は、放射線管理室へ返却し、受領書の発行を受ける。

３　他の事業所へ貸し出す場合は、当該事業所の放射線安全管理責任者に貸し出すものとする。

（使用の中止）

第７条　使用責任者は、使用期間中であっても、室長又は主任者から使用の中止を求められたときは、使用を中止しなければならない。また、それが貸し出された微量RI等の場合、返却しなければならない。



（使用責任者の義務）

第８条　使用責任者は、次に掲げる諸事項を実施する義務を負う。

(1) 微量 RI 等の安全かつ確実な保管

(2) 微量 RI 等の安全かつ確実な使用のために必要な実験環境又は作業環境の整備

(3) 微量 RI 等を使用者が安全かつ確実に使用するために必要な指導と監督

(4) 使用中若しくは保管中の微量RI等に事故又は異常が発生した場合の応急措置の実施と放射線管理室への速やかな報告

(5) その他の安全確保上必要な措置

（新規入手）

第９条　微量RI等を新規入手する場合は、室長及び主任者の承認を得なければならない。

２　微量RI等を新規入手した者は、入手後、速やかに入手した微量RI等に、検定書の写し及び別に定める微量密封放射性同位元素入手届を添えて室長に提出しなければならない。

（譲受け、譲渡し）

第10条　微量RI等の譲受け及び譲渡しは、室長及び主任者並びに譲受け又は譲渡す事業所の放射線安全管理責任者との間で事前に合意に達したときにのみ承認される。

２　譲受け又は譲渡す者は、その行為の完了後、速やかに内容を室長及び主任者に報告しなければならない。

（廃棄）

第11条　微量RI等の廃棄手続きは、室長及び主任者の承認を得て、放射線管理室が行う。

２　廃棄にあたっては、法令等を遵守し、手続きを進める。

（危険時等の措置）

第12条　地震、火災及びその他の災害等により、使用中若しくは保管中の微量RI等に所在不明、その他の異常が発生した場合又は発生するおそれのある場合は、これを発見した者は、直ちに使用責任者に連絡しなければならない。

２　前項の連絡を受けた使用責任者は、直ちに応急の措置を講ずるとともに、速やかに室長及び部長を経由して、主任者及び所長に報告しなければならない。

附　則

この細則は、平成13年12月18日から実施する。

附　則（平成14年11月25日）

この細則は、平成14年11月25日から実施する。

附　則（平成16年7月15日）

この細則は、平成16年7月15日から実施し、平成16年4月1日から適用する。

附　則（平成18年5月19日）

1　この細則は、平成18年5月19日から実施する。

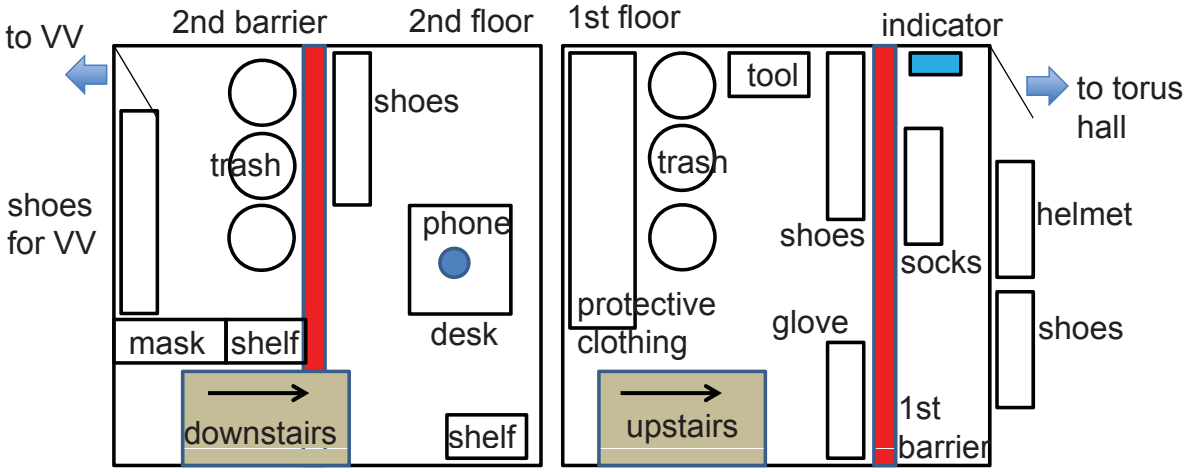
2　平成19年3月31日までに製造された3.7MBq 以下の密封された放射線同位元素のうち規制の下限値（数量と濃度）を超えるものは、本細則を適用するものとする。

- Procedure for in-Vessel Work –
* Prevent the tritium exposure

One should pass through anterior chamber to enter LHD vacuum vessel

Anterior chamber has
- isolated air conditioning system
- 2 level control areas divided by barriers
- survey system for fist check

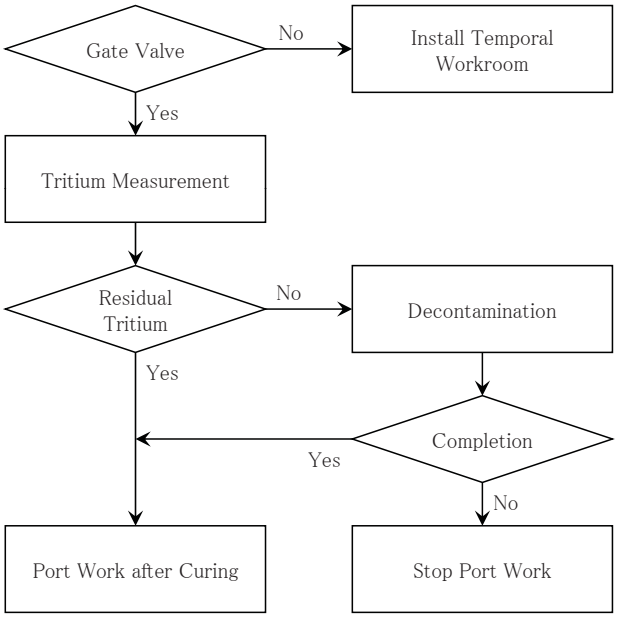
One should
- wear protective clothing depending on work level
- check radiation level, oxygen concentration before entering vacuum vessel



anterior chamber

- Procedure for port Work (Vacuum related) –
* To prevent the tritium exposure

- One should minimize tritium leak to LHD hall
- Staffs who completed the training of tritium handling in Toyama Univ. can conduct port work.



- LHD vacuum vessel is kept in a negative pressure during port work

with gate valve
- Measure residual tritium using a tritium monitor
- After confirming non-existence of residual tritium, port work is conducted with a proper curing
- If residual tritium cannot be decontaminated, port work is stopped

w/o gate valve
- Port work is conducted in a temporal work room with a ventilation equipment

- NIFS management level 1 –

○ Controlled Area (Working area)
1 mSv/week (100 mSv/5years)
40 Bq/cm^2

○ Boundary of Controlled Area
1.3 mSv/3month
4 Bq/cm^2

○ Site Boundary
50 μSv/year

○ Tritium production
37 GBq /year (former 6 years)
55.5 GBq/year (later 3 years)

○ Maximum Tritium release into environment
3.7 GBq/year

- NIFS management level 2 –

○ Tritium Concentration in Working Environment (Law)

Types of Radioisotopes		Limit in Working environment
Isotope	Chemical form	(Bq/cm^3)
^{3}H	Gaseous tritium	1×10^4
^{3}H	triated water or vapor	8×10^{-1}

○ Tritium Concentration in Exhaust (NIFS management level)

Types of Radioisotopes		Limit in Air or Exhaust	Limit in Drainare or Waste water
Isotope	Chemical form	(Bq/cm^3)	(Bq/cm^3)
^{3}H	Gaseous tritium	7×10^1	
^{3}H	triated water or vapor	2×10^{-4}	6×10^{-1}
		(5×10^{-3})	(6×10^1)

( ) : Concentration Limit in Law

- Radiation Monitoring Equipment -

使用目的	使用場所	検出対象	頻度	測定器	検出方法	サンプリング時間	検出下限	研究所管理値	備考
中性子計測	本体室	中性子	プラズマ定常運転	フィッションチェンバー	電離箱	リアルタイム		1-6年：2.1E19/年 9-年：3.2E19/年	引抜、警報値を設定する
排気測定	排気塔	トリチウム	連続	ガスモニター	通気式電離箱	5分～	5E-3Bq/cm³	5E-3Bq/cm³ (法規制値)	異常値を検出
			積算	トリチウム捕集装置	貴金属触媒＋モレキュラーシーブにより捕集後液シン測定	1週間	2E-5Bq/cm³以下	総排出量、年間3.7E+9Bq（0.1Ci） 3ヶ月平均濃度 2E-4 Bq/cm³	総量及び濃度管理
		放射化空気(Ar-41)	連続	ガスモニター	通気式電離箱		5E-4Bq/cm³	5E-4Bq/cm³ (法規制値)	本体室の計測値及び中性子発生率と併せて確認
		ダスト（α線、β線）	連続	ダストモニター	濾紙上に集塵して検出				
排出量算出	真空排気ガス処理系	トリチウム	連続	ガスモニター	通気式電離箱	2～3分	0.1Bq/cm³	35 Bq/cm³ (注1)	
	真空容器換気処理系	トリチウム	連続	ガスモニター	通気式電離箱	2～3分	5E-3Bq/cm³	5E-3Bq/cm³	排気口管理レベルを下回ること
排水測定	貯留槽	トリチウム C-14	連続	β線水モニター	液シン	10分	0.3Bq/cm³水	0.6Bq/cm³水	
			採水	低BG液体シンチレーションカウンター	液シン	約3時間測定	1E-3Bq/cm³水		
		放射化物	連続	γ線水モニター	NaI検出器	10分	1E-2Bq/cm³水	核種毎の法規制値	
			採水	低BG半導体測定装置	ゲルマニウム検出器				核種確認
	除お装置処理水	トリチウム	採水	低BG液シン	液シン	約3時間測定	1E-3Bq/cm³水		引渡し数量の確認
放射線測定	敷地境界線量	X（γ）線	連続	電離箱	Ar加圧型電離箱	1ヶ月 リアルタイム		50μSv/年	
			積算	線量計	ガラス線量計	1週間又は3ヶ月			
		中性子	連続	比例計数管	He-3計数管	1ヶ月 リアルタイム			
			積算	線量計	電子線量計	1週間又は3ヶ月			

注1）トリチウム回収率95%時の最大出口濃度

：研究所管理値の監視　：法令値の監視

- Communication to the local government -

NIFS must report the emergency occurrence to the fire department, the police station and the hometown local government (Toki, Tajimi, Mizunami cities and Gifu Prefecture).
Following items are considered and discussed with the local governments.

- ○ Communication means
  - ・satellite phone (facsimile), electric generator, bicycle, etc.
- ○ Working time of the communication system
  - ・24 hours
- ○ Matters needing reports
- ○ the Important matter which should be reported without delay
- ○ the Matter which should be reported in advance or without delay
- ○ Report of the disaster occurrence which scale is less than that of former matter

- Communication to the local government 1 -

[Communication Means]
○ NIFS maintains satellite phones (facsimiles) which possessed battery.
In addition, these are connected to the non-common use generation facilities which is available for 7 days.
○ When a satellite phone (facsimile) is cut off, NIFS dispatches person in Toki city hall, Tajimi city hall, Mizunami city hall and the Tounou Promotion Bureau.

[the Communication System]
Because the monitoring system is operating all day, some person work as a responsible person by turns.
A responsible person communicates to the local government and to the other staff.

- Communication to the local government 2 -

[Matter Needing Reports]
○ When the accidents such as fires
○ When the recovered water containing tritium more than the limits of laws and ordinances leaked out in the facility by accidents
○ When the annual dose of radioactivity at the site boundary exceed the limit in law
○ When tritium or Argon-41 more than the limits of law and ordinances was exhausted
○ When the recovered water more than the limits in laws and ordinances was drained away
○ The earthquake that occurs after caution declaration based on a law, and earthquakes which level exceeds five minus
○ When the situation that might have an influence on the neighboring environment by the disasters and stopped deuterium experiment

- Communication to the local government 3 -

[the Important matter which should be reported without delay]

- Quantity of annual production of a neutron and tritium exceeds the NIFS management level
- When the keeping recovered water leaked out in an facility by accidents
- The annual dose of radioactivity of the site border is time beyond the NIFS management level
- When tritium or Argon-41 more than the NIFS management level was exhausted
- When the recovered water more than research institute management level was drained away
- When a deuterium experiment is stopped by the disasters such as earthquakes, and repair of the major equipment became the necessary for the experiment reopening

- Communication to the local government 4 -

[the Matter which should be reported in advance or without delay]

- The start time of the deuterium experiment in each fiscal year and end time (notify the assembly)
- When there are the maintenance plan of the research facility, a research plan and research contents and these changes (prior communication)
- Results of research (regularly)
- A certain matter of the publication duty
- After the deuterium experiment of each fiscal year, annual production quantity of a neutron and tritium, annual exhausted quantity of tritium to environment, the annual cumulative dose at the site boundary

- Communication to the local government 5 -

[Report of the disaster occurrence which scale is less than that of former matter]

NIFS reports the following cases to the local governments.

- ○ When the Meteorological Agency announces that there was rolling more than seismic intensity 4 caused by the earthquake in Toki-city, Tajimi-city and Mizunami-city
- ○ When, by a typhoon and/or a seasonal rain front, the disasters such as a landslide and the large-scale fallen tree may occur

In addition,

- ○ Publication to the homepage
  NIFS uploads on the homepage.
- ○ Reporting means, reporting time zone
  It is decided after local discussion with local government,.

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

On starting the deuterium experiment, NISF is pushing forward the change of the rule and the establishment according to the Industrial Safety and Health Law, the Atomic Energy Basic Act and the Civil Protection Law in addition to the present safety regulations.

"NIFS Regulation of Prevention of Radiation Hazards" was submitted to the Supervisory Authority as a regulation relating to the radiation generator due to the incorporation of 2004. Since the RI for the calibration and the radioactive materials for PWI research is used in the deuterium experiment, this regulation is revised.
This regulation is in the top priority, and the various manuals are maintained to push forward the deuterium experiment while checking the consistency with this regulation.

For the works which have a possibility to contact with tritium, such as in-vessel working and port working, work procedures are provided to keep a safety work. For the in-vessel work, the anterior chamber is provided as an entrance of the vacuum vessel and prevents spread of tritium contamination to the outside.

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

The NIFS management levels for the dose at the site boundary and the tritium concentration for the exhaust and the drainage are set to control the safety by NIFS. In addition, the management values of the neutron and tritium production and of the environmental dose are set, and their measuring methods and position to ensure these values are set. Measurement of the background level before the deuterium experiment is started about the possible measuring equipment.

In the event of an emergency, communication means, such as a satellite phone, to the local governments are secured, and the reporting matters and the announcement of their data are established.

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?
重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。
(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?
安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。
(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?
重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。
(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?
運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。
(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?
重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。
(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?
重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

The operation manual, the radiation management manual, and the emergency

We are preparing the following three manuals.

- ○ Facility Operation Manual
- ○ Radiation Management Manual for Facility
- ○ Emergency Manual

These manuals stimulate revision to better things while using them.

- Facility Operation Manual -

- ○ Preparing the Operation Manual for the Facilities which will be used in the Deuterium Experiment.
- ○ This manual is prepared as one of materials which we decide whether this facility should remove before deuterium experiment or not.
- ○ Each facility is checked its rating, usefulness and the resistivity against neutron exposure.
- ○ Facility which is not submitted these materials and not cleared check is removed before the Deuterium Experiment.

- Model of the Facility Operation Manual -

○○○○運転マニュアル（案）

2014年4月16日

1．目的
　このマニュアルは、○○○○を安全に行うため、必要な事項を定めるものとする。

2．運転・監視体制について
　運転に拘わる責任体制を明確にしておくこと。

3．定期点検について
　別途定める項目に従い、定期点検を実施すること。

4．運転開始の手続きについて
　4-1．始業前点検
　　4-1-1．放射線総合監視システムが動作していることを確認する。
　　4-1-2．始業点検表に基づき機器・設備の点検を実施する。
　　（機器毎に、その必要性に応じて確認項目を設ける。）
　4-2．機器の作動
　　（機器毎に記述する。）

5．運転時について
・担当者あるいは運転員は、常に、機器の健全性の確認に努めること。
・作業時には、常時放射線モニタを監視し、異常のあった場合には、直ちに＊＊＊に連絡すること。
　（機器毎に、その必要性に応じて項目を設ける。）

6．運転終了時の手続きについて
　6-1．停止作業
　6-2．運転後の点検
　　終了点検表に基づき機器・設備の点検を実施する。
　　終了を機器責任者（名称？）が確認を行うこと。

7．異常時の対応について
　別途定める異常時対応マニュアルに従って、行うこと。

8．その他

以上

- Operation Manual for Vacuum Evacuation System

真空排気装置　運転マニュアル（案）

2014年5月20日

1.　目的
このマニュアルは、真空排気装置を安全に運転するために、必要な事項を定めるものとする。

2.　装置構成
真空排気装置は主として以下の３系統で構成される。
①　真空容器排気系
②　ベルジャー排気系
③　プラズマ放電排気系

3.　運転・監視体制について
研究教育職員を責任者として技術職員が運転・監視に当たる.
・大気圧からの排気運転、大気開放運転については、実験統括主幹の指示の下、装置担当者及び運転員が運転操作を行うこと。
・プラズマ実験時における運転は、実験責任者の指示の下、装置担当者及び運転員が運転操作を行うこと。
・その他の運転に関しては、装置担当者の判断の下、装置担当者及び運転員が運転操作を行うこと。

4.　定期点検について
定期点検は以下の様に分類される。
①　週間点検
②　月間点検
③　年次点検
このうち①、②の項目については別途設ける点検リストに従って点検を行うものとする。
年次点検はポンプの運転時間やバルブの開閉回数等を考慮し、装置担当者の判断の下、行うものとする。

5.　運転開始前の点検について
運転開始前に以下の項目について点検、確認を行う。詳細は別途設ける点検リストに従うものとする。
①　電源供給の確認
②　停止状態における各機器の健全性確認
③　排気ガス処理装置が正常運転していることの確認
④　圧縮空気装置、GN2 供給装置から規定圧力のガスが供給されていることの確認
⑤　規定流量の冷却水が流れていることの確認

6.　運転時について
・真空排気装置の運転モードは大きく以下の様に分類される。
①　大気圧からの排気
②　超高真空状態での定常排気
③　大気開放
④　クライオポンプ再生・冷却
⑤　放電洗浄・ベーキング対応
⑥　プラズマ実験時
各モードにおける運転の詳細は別途設ける運転手順書に従うものとする。
・運転中は遠隔操作端末により本装置の真空ポンプ等各機器の運転状況の監視及び警報監視を行う。

7.　異常時の対応について
想定される異常時を以下に挙げる。
①　冷却水停止
②　故障等による真空ポンプの停止
③　停電、地震
④　中央制御装置による停止要請信号
別途定める異常時対応マニュアルに従って、行うこと。

8.　その他

以上

- Radiation Management Manual for Facility -

○ Deuterium Experiment : We have to keep the NIFS management level for an exhaust, drainage and dose level at the site boundary.

○ Port related Work : We have to minimize the tritium leakage into the environment.

In addition to the Facility Operation Manual, we push forward the preparation of the Radiation Management Manual in the viewpoint of the radiation management every apparatus.

- Model of the Radiation Management Manual -

○○○○放射線安全管理マニュアル（案）

2014 年 4 月 16 日

1. 概要

本マニュアルは、○○装置（以下略して装置という）を用いて実験を行う際の安全上の注意事項について記している。

装置使用者となる者は本マニュアルを必ず読んでおかなくてはならない。

本マニュアルの内容を変更する必要が生じた場合には、装置管理区域責任者を中心として変更案を作成し、放射線取扱主任者（以下略して主任者という）の承認を得るものとする。改定時には、装置使用者に再周知する。

2. 装置の主な仕様

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

3. 使用者登録

装置の使用は、放射線業務従事者として登録された者で、装置使用の申請許可を得た者（以下、装置使用者という）に限る。

4. 実験計画書の提出

装置使用者は装置管理区域責任者に実験計画書を提出し、装置管理区域責任者は所長に装置使用許可申請書を提出する。

5. 管理区域への入退

装置管理区域を別図のように定める。管理区域への出入口は図中○○の○○及び○○の○ヵ所である。入退室に際しては以下の事項を遵守すること。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

6. 表示および インターロック

○○への出入口に自動表示灯が設置されており、○○電源が入ると自動的に運転中と表示される。

○○には非常停止ボタンが設置されており、万が一、閉じ込められた場合にも非常停止ボタンを押せば自動的に装置は停止する。

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

7. 装置使用方法

装置使用者は、別に定める運転マニュアルにしたがって装置を運転すること。

「装置」でなく「作業」の場合は、以下の様に書き換える。

作業方法

「作業者は、別に定める「トリチウム拡散防止マニュアル」にしたがって作業を行うこと」

8. 巡視・点検

維持管理細則にしたがって巡視・点検を行うこと。実施結果は装置管理区域責任者を通して装置責任者及び安全管理室に提出すること。

9. 放射線量測定

実験に際して、装置使用者はルクセルバッジ等をつけておくこと。

装置管理区域責任者は、放射線線量をガラス線量計などを用いて定期的に測定し、装置使用者に周知する。

10. 緊急時の対応

万一事故が起こった場合には、装置使用者は直ちに守衛室及び装置管理区域責任者あるいは当該実験責任者を通じて放射線取扱主任者及び安全管理室に通報し、別途緊急時マニュアルに従って必要な処置をおこなうこと。また維持管理細則の定める報告の必要がある時は、装置管理区域責任者は速やかにこれを報告すること。

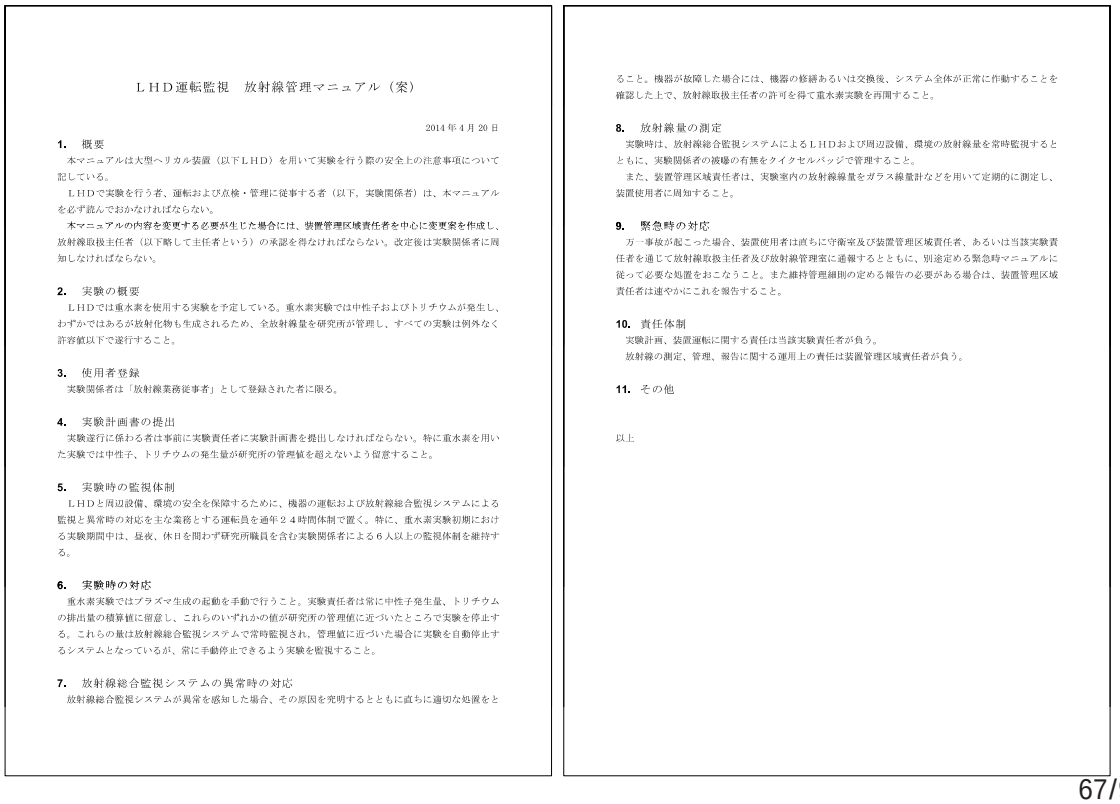
11. 責任体制

実験計画、装置運転に関する責任は当該実験責任者が負う。

放射線の測定、管理、報告に関する運用上の責任は装置管理区域責任者が負う。

12. その他

以上



ＬＨＤ運転監視　放射線管理マニュアル（案）

2014 年 4 月 20 日

1. 概要

本マニュアルは大型ヘリカル装置（以下ＬＨＤ）を用いて実験を行う際の安全上の注意事項について記している。

ＬＨＤで実験を行う者、運転および点検・管理に従事する者（以下，実験関係者）は、本マニュアルを必ず読んでおかなければならない。

本マニュアルの内容を変更する必要が生じた場合には、装置管理区域責任者を中心に変更案を作成し、放射線取扱主任者（以下略して主任者という）の承認を得なければならない。改定後は実験関係者に周知しなければならない。

2. 実験の概要

ＬＨＤでは重水素を使用する実験を予定している。重水素実験では中性子およびトリチウムが発生し、わずかではあるが放射化物も生成されるため、全放射線量を研究所が管理し、すべての実験は例外なく許容値以下で遂行すること。

3. 使用者登録

実験関係者は「放射線業務従事者」として登録された者に限る。

4. 実験計画書の提出

実験遂行に係わる者は事前に実験責任者に実験計画書を提出しなければならない。特に重水素を用いた実験では中性子、トリチウムの発生量が研究所の管理値を超えないよう留意すること。

5. 実験時の監視体制

ＬＨＤと周辺設備、環境の安全を保障するために、機器の運転および放射線総合監視システムによる監視と異常時の対応を主な業務とする運転員を通年２４時間体制で置く。特に、重水素実験初期における実験期間中は、昼夜、休日を問わず研究所職員を含む実験関係者による６人以上の監視体制を維持する。

6. 実験時の対応

重水素実験ではプラズマ生成の起動を手動で行うこと。実験責任者は常に中性子発生量、トリチウムの排出量の積算値に留意し、これらのいずれかの値が研究所の管理値に近づいたところで実験を停止する。これらの量は放射線総合監視システムで常時監視され，管理値に近づいた場合に実験を自動停止するシステムとなっているが、常に手動停止できるよう実験を監視すること。

7. 放射線総合監視システムの異常時の対応

放射線総合監視システムが異常を感知した場合、その原因を究明するとともに直ちに適切な処置をとること。機器が故障した場合には、機器の修繕あるいは交換後、システム全体が正常に作動することを確認した上で、放射線取扱主任者の許可を得て重水素実験を再開すること。

8. 放射線量の測定

実験時は、放射線総合監視システムによるＬＨＤおよび周辺設備、環境の放射線量を常時監視するとともに、実験関係者の被曝の有無をクイクセルバッジで管理すること。

また、装置管理区域責任者は、実験室内の放射線線量をガラス線量計などを用いて定期的に測定し、装置使用者に周知すること。

9. 緊急時の対応

万一事故が起こった場合、装置使用者は直ちに守衛室及び装置管理区域責任者、あるいは当該実験責任者を通じて放射線取扱主任者及び放射線管理室に通報するとともに、別途定める緊急時マニュアルに従って必要な処置をおこなうこと。また維持管理細則の定める報告の必要がある場合は、装置管理区域責任者は速やかにこれを報告すること。

10. 責任体制

実験計画、装置運転に関する責任は当該実験責任者が負う。

放射線の測定、管理、報告に関する運用上の責任は装置管理区域責任者が負う。

11. その他

以上

- Emergency Manual -

We are preparing the Emergency Manual during the Deuterium Experiment to keep the consistency with the conventional disaster prevention manual.

○ Basic way of thinking to an emergency and a disaster

We have to pay attention to a neutron and tritium which have a possibility to give influence to environment, when a disaster and/or an accident occurs.

Followings are basic way of thinking to the deuterium experiment safety at an emergency and a disaster.

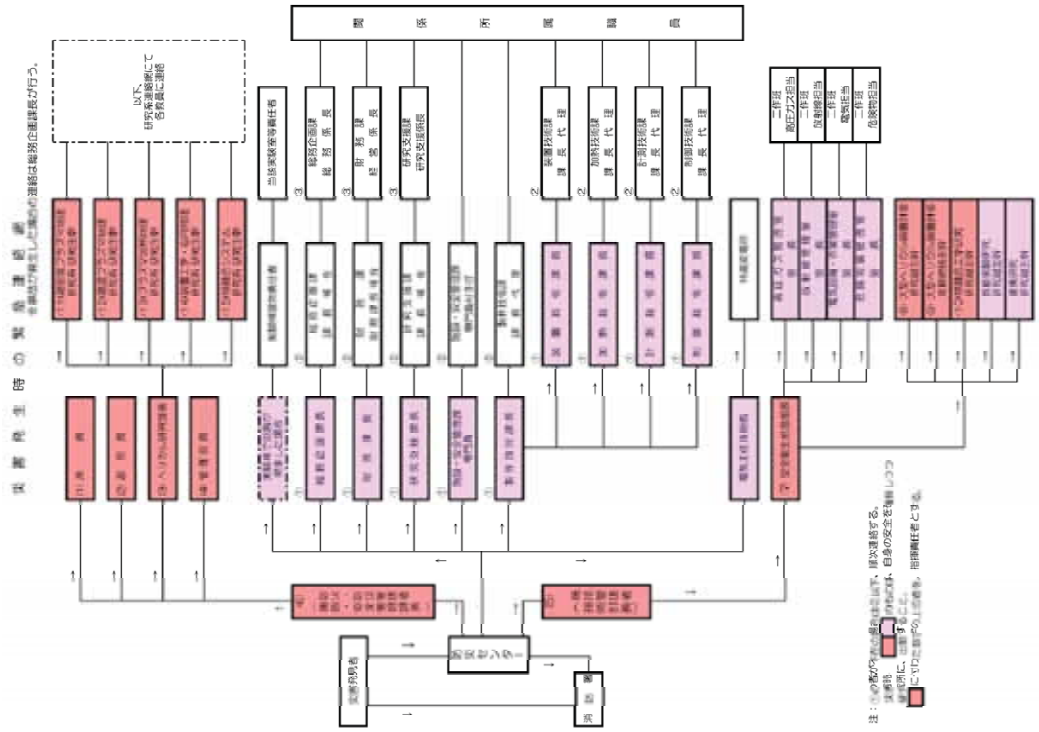
1) Minimize the quantity of occurring tritium,

2) Limit the quantity of tritium remaining in a VV which does not exceed the management level, even if a gross quantity is released,

3) Keep the management level of the radiological generations, such as Ar-41, which have a possibility to give influence on the environment

4) Pay attention severely to a leak of the recovered water.

- Network at Emergency -



- Self Fire Brigade (Plan at D-experiment) -



- Emergency Manual -



防災マニュアル

2010年版

2011年1月

自然科学研究機構　核融合科学研究所



目　次

第1章　総　則

第1節　防災マニュアルの目的 …… 1
第2節　防災対策の基本方針 …… 1
第3節　防災マニュアルの適用範囲 …… 1
第4節　防火・防災管理者 …… 1
第5節　統括管理者 …… 1

第2章　予防管理対策

第1節　予防管理組織 …… 1
第2節　災害予防等の遵守事項 …… 2

第3章　災害対策

第1節　異常事態発生時の対策 …… 2
第2節　地震発生時の対策 …… 2
第3節　災害時の組織・体制 …… 3
第4節　対策 …… 3

第4章　防災教育及び防災訓練

第1節　防災教育 …… 3
第2節　防災訓練 …… 4

第5章　災害復旧

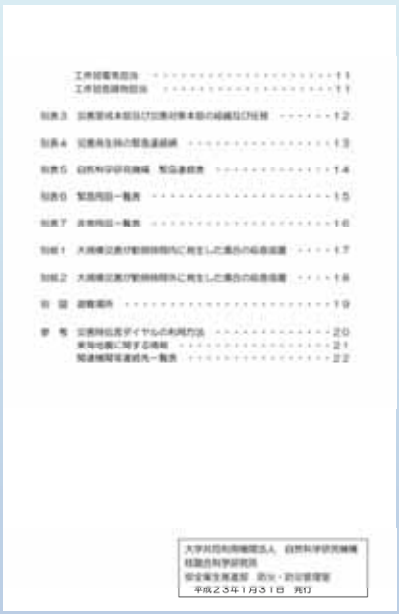
第1節　災害復旧 …… 4
第2節　二次災害の防止 …… 4

別表1　予防管理組織表 …… 5

別表2　自衛防災隊組織表 …… 6

別表3別図　自衛防災隊の業務分担

編成図 …… 7
情報連絡系 …… 8
消火栓図 …… 8
配置図 …… 9
工作設備設置図 …… 9
工作設備圧力容器設置図 …… 10
工作設備配置図 …… 10



工作設備概要図 …… 11
工作設備詳細図 …… 11

別表3　災害対策本部及び災害対策本部の組織及び任務 …… 12

別表4　災害発生時の報告連絡網 …… 13

別表5　自然科学研究機構　緊急連絡表 …… 14

別表6　緊急用品一覧表 …… 15

別表7　非常用品一覧表 …… 16

別紙1　大規模災害が勤務時間内に発生した場合の総合指揮 …… 17

別紙2　大規模災害が勤務時間外に発生した場合の総合指揮 …… 18

別　図　避難場所 …… 19

参　考　災害時伝言ダイヤルの利用方法 …… 20
東海地震に関する情報 …… 21
関連機関等連絡先一覧表 …… 22

大学共同利用機関法人　自然科学研究機構
核融合科学研究所
安全衛生推進室　防火・防災管理室
平成23年1月31日　発行

(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?

Since the equipment was installed in the LHD hall and the LHD basement and these area is set as the Controlled Area after the start of the deuterium experiment, "Radiation Management Manual", "Facility Operation Manual" and "Radiation and equipment controlled area management Manual" are provided and revised for each equipment. Each manual has been written in a uniform format along the model that has been created by the Development Task Force Team for LHD Deuterium Program.

"Radiation and equipment controlled area management Manual " is written for the radiation source handling, radiation generating device, and the devices that generate radiation in operation even when LHD is not operating. This manual is developed to control the safety even during non-experimental period.

“Emergency Manual” is written about the communication system, the disaster prevention system, the responsibility at the time of the experiment, etc. taking into account the conventional disaster prevention manual. In particular, the security about a radiation and tritium is ensured by setting the top priority to check the RI safekeeping facilities and the tritium recovery system in the Emergency Manual for the deuterium experiment. For example, workers’ safety is ensured to set the time that worker can stay in the LHD hall, when worker enters into the LHD hall, in the view point of the radiation exposure.

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?

重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。

(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?

安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。

(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?

重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。

(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?

運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。

(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

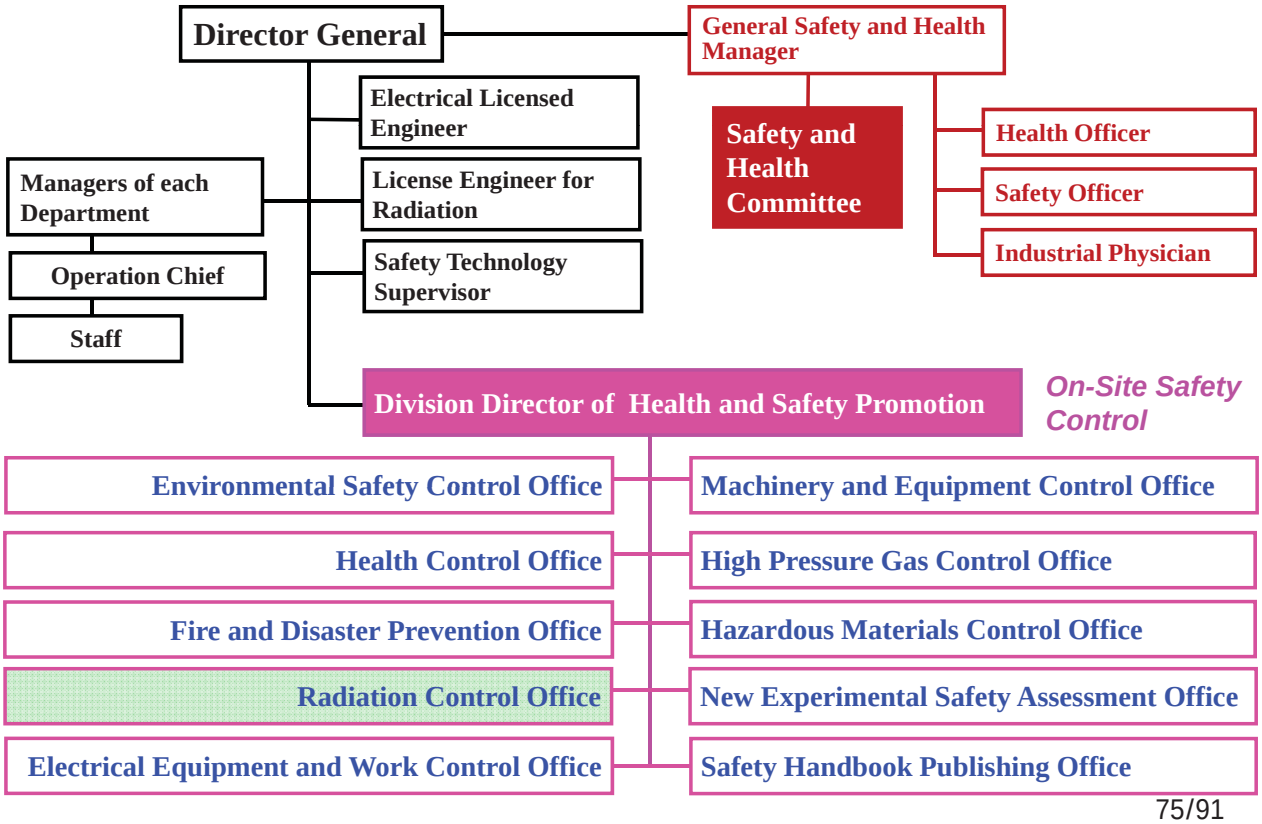
the organization and the system for safety management

NIFS Safety Promoting Organization

Director General organizes the Safety and Health Committee as a general safety and health manager based on the Industrial Safety and Health Law.
Member of the S&H Committee are the safety officer, the health officer, industrial physician and a few selected NIFS staff.
Meeting is held once in a month and things about safety and health are discussed.
Division of Health and Safety Promotion, which has 10 offices, carries out the safety and heath related matter pointed out by the above committee.

Radiation Control office is expanded and performs the administrative task in the deuterium experiment while getting support of the Radiation Safety Committee (plan).

- Structure of NIFS Safety Promoting Organization -



- Radiation Safety System -

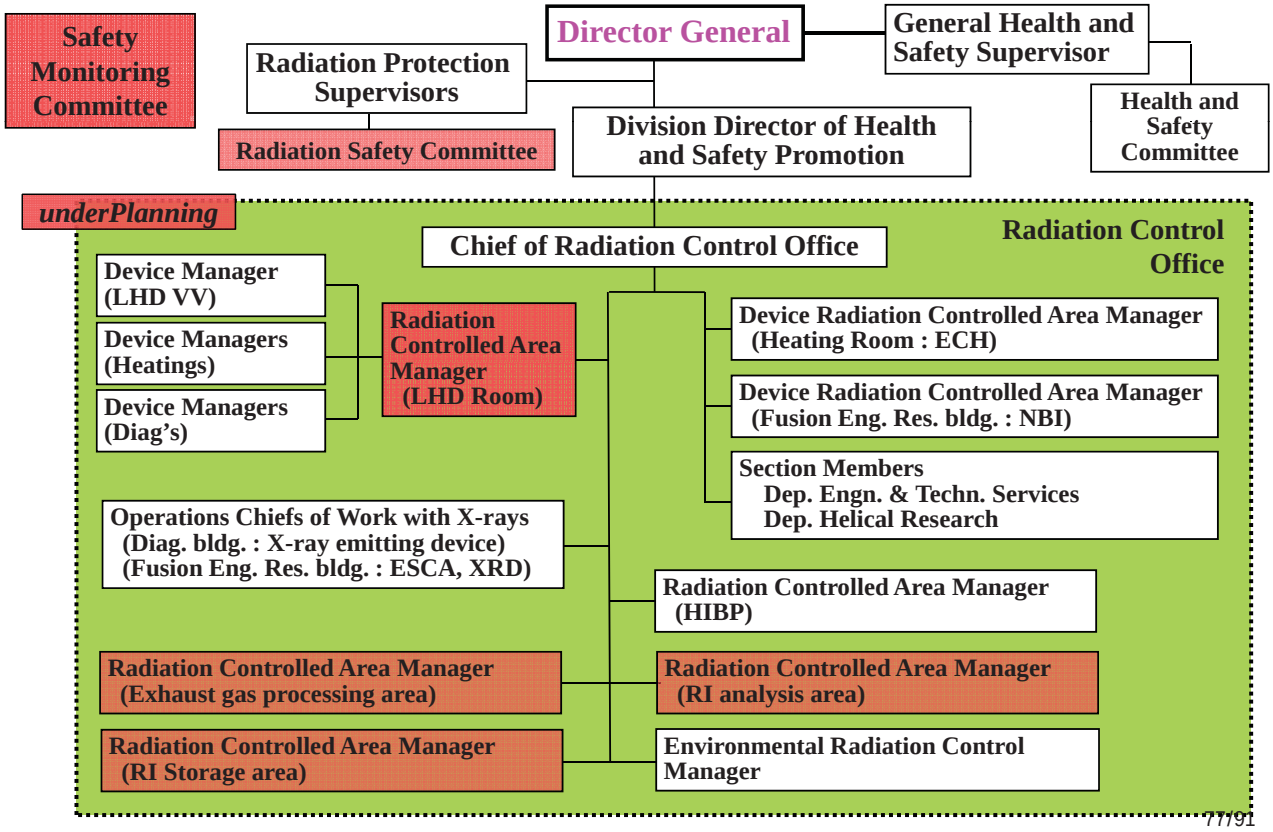
NIFS Radiation Safety System

Control office which will be expanded to deal with the deuterium experiment performs the administrative.

The Safety Monitoring Committee is organized by the local government as a third party organization independent of NIFS, and performs monitoring about the security of the deuterium experiment.

After the deuterium experiment begins, the Monitoring of various apparatuses, facilities is performed for 24 hours in a whole year.

- Radiation Control System -



(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

Safety management system of NIFS is established based on the Industrial Safety and Health Law and is consist of the General Safety and health manager, who is the Director General, the Health Officer, the Safety Officer and the Industrial Physician. The Safety and Health Committee is organized above member and a few additional members, and discuss the things related to health and safety on a meeting once a month. Furthermore, Division of Health and Safety Promotion with 10 offices is organized by the Director General. This division is carrying out matters pointed out by this committee and makes plan for improvement of the safety and prevention the work-related accident.

After the start of the deuterium experiment, the Radiation Control Office is expanded and deals with the safety management. In addition, the Radiation Safety Committee (tentative name) is established as a radiation management section other than the Radiation Control Office. And Safety Monitoring Committee (tentative name) is established by the local government and monitors the safety.

(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?

Monitoring the equipment and management of the Disposal-by-Storage Facility are parts of the function of the Integrated Radiation Monitoring System, and these are carried out in 24-hours both experimental and non-experimental period. When there is an abnormality, necessary staff is assembled in accordance with emergency contact network and deals with correspondence.

(3-1) Is the fundamental concept regarding safety management appropriate at the time of the formulation of the deuterium experiment execution plan as also based upon the opinions of local residents?
重水素実験の目的は適切か、またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。
(3-2) Are safety management equipment, facilities, and experiment equipment being planned appropriately for the safe accomplishment of the deuterium experiment and to support management?
安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。
(3-3) In order to safely accomplish the deuterium experiment, are various types of regulations being formulated appropriately?
重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。
(3-4) Are the operation manual, the radiation management manual, and the emergency manual being formulated appropriately?
運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。
(3-5) Are the organization and the system for safety management when the deuterium experiments are being conducted being constructed appropriately?
重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。
(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?
重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

Education

- General Safety Lectures and Radiation Safety Lectures are held twice for each in the end of fiscal year for the workers including students to renew the permission of working in the next fiscal year.

- Radiation Safety Lectures after the deuterium experiment start are also held twice in a year. For a person who enters the radiation controlled area, new lecture of the non sealed RI treatment is opened.

- Safety education
  - All the co-researchers are requested to take a safety lecture and a radiation safety lecture before they start the collaboration work.
  - A guide line is presented in the “NIFS Safety Handbook”
  - A covenant should be signed after the lecture.

- Radiation safety control
  - Co-researchers who want to engage in the controlled area (ex. LHD hall) should be registered as radiation worker before they start the research
    - Registration should be carried out at their own universities
    - If their university could not go through the registration procedure, NIFS would do it instead
  - A card key to access the controlled area is issued to the radiation worker

Education for the foreign co-researchers

- Safety education for the foreign co-researchers is carried out in English by their caretaker
  - All the co-researchers are requested to take a safety lecture before start of their collaboration work in the controlled area.
  - A guide line is presented in the “NIFS Safety Handbook”
  - A covenant should be signed after the lecture
- Warning signs are presented in English.
- English version of NIFS Safety Handbook is available.



Work Safety Check Sheet October 2005

I am aware of my own responsibilities according to the laws and regulations to do work safely in accordance with the Safety Handbook published by the Safety and Health Promotion Department. In particular, I will observe the points listed below.

(1) Follow the training, cautions and directions received from the NIFS supervisors.
(2) Participate in the Tool Box Meetings (TBM) and danger anticipation (KY) activities.
(3) Willingly cooperate to keep the work site organized, orderly and clean (one task, one clean-up).
(4) Get permission in advance for the use of fire and give complete consideration to the prevention of fire accidents.
(5) Refrain from unsafe acts and strive to eliminate the causes of unsafe conditions. Furthermore, immediately act according to the safety-related cautions and instructions of the safety and health supervisors, the safety leader and other such persons.
(6) When accidents or disasters occur or are discovered, inform the NIFS Superintendent.
(7) Wear the proper clothing for safe working (long-sleeve shirt, long trousers and safety shoes) and wear a protective helmet properly.
(8) Use the designated safety routes and use ascending and descending facilities to go up to or down from places more than 1.5 m high. Do not engage in reckless behavior.
(9) Use proper mobile scaffolding, footstools and ladders for working at heights above 2 m; do not use them in incomplete stages of assembly.
(10) Abide by safety signs, such as “Do Not Enter”.
(11) Always wear a safety harness when working in places more than 2 m high. Use them effectively to prevent falls.
(12) The scope of the day’s work and the work procedures and methods are arranged in advance; so do not engage in any actions on your own according to your own judgment or desires.
(13) Do not throw things down from high places.
(14) In electrical work, take care to avoid electrical shock.
(15) Do not stand below loads suspended from a crane.
(16) Do not stand long objects and lean them against other objects.
(17) Do not remove safety devices (interlocks).

*If I am instructed to stop working because I was working in an unsafe manner or for failing to follow any of the 17 above listed points, I will do so immediately.

Detachment line

Receipt of the Worker Safety Check Sheet (This receipt is kept by the Safety Leader.)

Date

Health and Safety Promotion Department Manager

I have received the Worker Safety Checklist. I will abide by the items described herein.

Affiliation (section and department or company name)

Name (signature)

Safety Guidance Instructor’s Name ( )

83/91

Training and Nurturing for Safety Responsible Manager

Training

For a person who want to work in LHD, it is necessary to take class not only for "a vacuum work in LHD“ but also for "the tritium safely handling course" which is held in the Hydrogen Isotope Research Center in Toyama University. In this class, students learn the actual tritium handling.
The contents of the training are as follows.

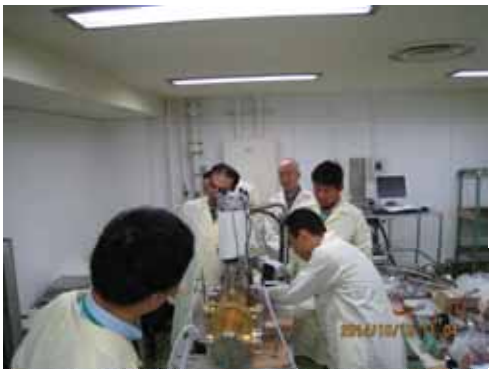
- knowledge about tritium
- the lecture about the radiation preventive rule
- the tritium measurement using the tritium detecting device
- tritium decontamination
- training of safe port work

Identification of completion is conferred on a person of completion by the center.

Safety Lecture



Tritium Safely Handling Course





- Training Program of Tritium Safely Handling Course -

トリチウム安全取扱い研修日程表

		9:00 9:15	10:30 10:45	11:30	12:00	13:30	15:00 15:15	16:00	16:45
(1日目)						共同利用控室（集合） オリエンテーション (1)センター長挨拶 (松山) (2)研修について (西村) (3)教育訓練 (水素研予防規程) (阿部)	休憩	講義 (1)トリチウムの基礎、(松山) (2)計測器の取扱説明(阿部)	講義・実習 (1)研修概略・注意点について(林) (2)現場にて管理区域立入に関する説明(阿部) (3)荷解き、作業準備
(2日目)	共同利用控室（集合）	講義・実習 (1)真空装置作業説明(鈴木・林) (2)真空装置内トリチウム濃度測定(トリチウムモニタ取扱) (3)トリチウム除去 (除去装置の取扱)	休憩	実習 (1)フランジ作業 (2)真空排気	昼食	実習 (1)QMASS確認 (2)リークチェック (3)チャンバー大気開放 (4)トリチウム濃度測定	休憩	実習 フランジ作業 (作業者を変えて)	
(3日目)	共同利用控室（集合）	実習 片づけ、廃棄物処理、汚染検査	休憩	実習 スミア・サーベイメータ・液体シンチレーション実習	修了式 修了証授与他	昼食			

Disaster Drill in NIFS

Disaster prevention drill in LHD is held once a year.
Toki south fire department participates this drill.
The training includes the report to the local governments.

The radiation control office which is incorporated in the self-defense disaster prevention team supports the radiation-related correspondence.

Fire Drill in LHD

Fire Drill in LHD during experiment period is performed some times in a year.

These Drills are opened to the governments and the media.

Disaster Drill in NIFS





Fire Drill in LHD





Nurturing for Safety Responsible Manager

Detailed knowledge about the radiation is necessary on pushing forward a deuterium experiment safely.

Therefore NIFS recommends to be qualified the license of "first class chief responsible for handling of radioactive substances" to several people every year.

Eight people passed it and were able to acquire a qualification so far.
Seven qualified people already exist.
Nine people passed a subject examination this year and they can get a qualification when they receive the technical training.
NIFS is going to increase qualified people in future.

(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

As same as before, education and training system is maintained after the start of the deuterium experiment, and the fresh training course and field education is conducted for new workers and update course for the continuators. However, the fresh training course are performed for two days incorporating the training using unsealed RI handling.

In NIFS, the disaster drill for the entire Institute is currently conducted once in a year combined with the report training to the local government, and has the participation of the Toki south fire department. Also, in LHD, the Fire Drill is conducted at least once a year assuming fire and earthquake during the experimental period.

The Radiation Control Office is incorporated in the work squad of the private disaster prevention brigade, and supports the radiation related step according to their duties. For the deuterium experiment, it is planned to increase the ripeness of the training by increasing the number of training and performing it regularly and to perform a necessary action as far as possible.

(3-6) Are education and training for the safe execution of the deuterium experiments, and nurturing for those responsible for safety management being undertaken appropriately?

In order to get a knowledge of radiation safety in many researchers and technical officers, NIFS encourages the qualification of “first-class radiation protection supervisor” to a few people every year, as an effort of nurturing the safety responsible reader. 8 person got this qualification by this effort. Including the existing qualified personnel, there are 9 researchers and 7 technical officers who have been qualified. Also, 9 person has passed the written test, and it is possible to qualify when receiving the technical training. In the future, It is planned to go to increase the qualified person in future.

Tritium is produced during the deuterium experiment same as a neutron. There is a possibility to contact with tritium in the works such as in-vessel working and port working. To accomplish such work safely, it is necessary a responsible person who has a knowledge and an experience to treat tritium safely. In order to nurture such a responsible person, “the tritium safely handling course” is held in the Hydrogen Isotope Research Center in Toyama University as a part of the research collaboration. The contents of the training are knowledge about tritium, the lecture about the radiation prevention regulations, the tritium measurement, tritium decontamination, and safely port work using the device which really handles tritium. An identification of completion is conferred on a completed person by the center. 17 people have completed the training so far.

4. Understanding by Society and Citizens

(1) Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

(2) Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

(3) Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

4. Understanding by Society and Citizens

(1) Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

(2) Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

(3) Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

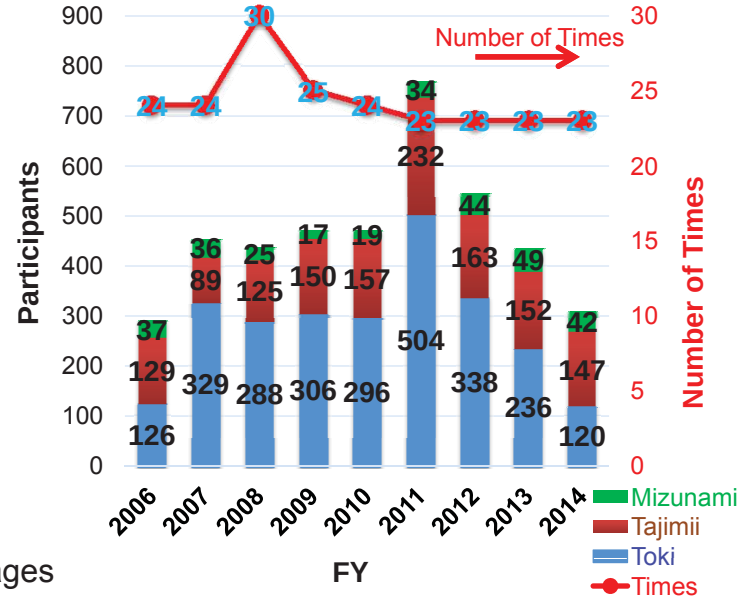
Outreach activities to increase social recognition (1)

NIFS has been focusing on the following activities with a view to increase social recognition of the necessity of fusion research and also NIFS's scientific achievements.

Public Forum

- Explanation about LHD and Deuterium Experiment to increase local citizen's recognition of NIFS's scientific achievements
- Forums take place at community centers at Toki City, Tajimi City, and Mizunami City, since 2006
- In FY 2014, 309 citizens joined the Forum
- Total: 4,190 (for 9 years)





Web

- Release of information by web pages
- Upgrading of Q&A web page
- Creation of special website featuring scientific events, symposia and conferences

Outreach activities to increase social recognition (2)

Publications

- Design and publication of the PR magazines and leaflets:
  "Plasma-kun Dayori" and "NIFS NEWS" issued every 2 months
  "Fusion – Energy to Pave the Way for Future",
  "NIFS Do Research Aimed at Extracting Energy from Sea Water",
  "Introduction to NIFS and the NIFS Tour",
  and "Welcome to NIFS"



Participation in the local events and festivals

- Science Fair in Mizunami City
- Toki Pottery Festival in Toki City
- Oroshi Pottery Festival in Toki City
- Tajimi Pottery Festival in Tajimi City
- Tajimi Festival in Tajimi City
- Children's Art Festival in Tajimi City etc.





・Achievement in FY 2013

- Scientific Handcraft: 29 times
- Scientific Experiments: 6 times
- Participants: about 1,100 children

(1) Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

1. Public forum has been held at 23 – 30 places every year since 2006 to explain the LHD deuterium experiment, and the total participants were counted to 4,190 for 9 years, leading to increasing in the local citizen's recognition of the NIFS's scientific achievements and the safety of the deuterium experiment.
2. Safety information and the Q&A on the deuterium experiment are uploaded on the NIFS Web site.
3. PR magazines and leaflets are constantly published to the local residence, and public visitors are positively accepted to show LHD, counted to over 4,000 people per year.

4. Understanding by Society and Citizens

(1) Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

(2) Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

(3) Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

Cooperation with Local Autonomies

Agreement for the LHD Deuterium Experiment

- 1997: NIFS makes mention on tritium generation in D-D experiment
- 1998: Consultation on letter of agreement starts with local autonomies
- 2000: NIFS advances letter of agreement to councils and citizens
- 2001: Citizens take the case to council for common nuisance for abort of D-D experiment
- 2003: Adjustment of common nuisance unsuccessful
- 2006: Public forums start at local community centers
- 2007: Committee of Safety Evaluation of D-D experiment organized
- 2011: Great Higashi-Nihon earthquake
- 2012: NIFS asks conclusion of letter of agreement to local autonomies
- 2013: Concluded the Agreement for D-D experiment with local autonomies



Collaboration Research with "Toki City Plasma Research Committee"

- In 1979 move of IPP Nagoya Univ. to Toki City makes collaboration research start
- Mainly with elementary, junior-high and high school teachers at Toki City, and occasionally with science teachers at Tajimi City and Ena City
- Activity contents are as follows:
  - holding of lecture meeting on energy and environment
  - measurement of environmental radio-activities at 18 locations in Tono region



(2) Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

1. Negotiation with local governments is fluently made to establish mutual understanding for the NIFS activities including the deuterium experiment.
2. Public forums held by NIFS have been supported by the residents' associations, as well as the local governments.
3. Agreement for the deuterium experiment was concluded with the local governments, and based on this agreement the safety monitoring committee is organized for the deuterium experiment by the local governments.
4. Collaboration research with "Toki-City plasma research committee" is carried out on measurement of environmental radio-activities, and promotes the understanding of the safety of the deuterium experiment.

4. Understanding by Society and Citizens

(1) Is enhanced understanding of the safety of the deuterium experiment being advanced appropriately to local residents?

(2) Is promotion of the deuterium experiment plan being designed in conjunction with local governments?

(3) Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

Release of Information to Public (1)

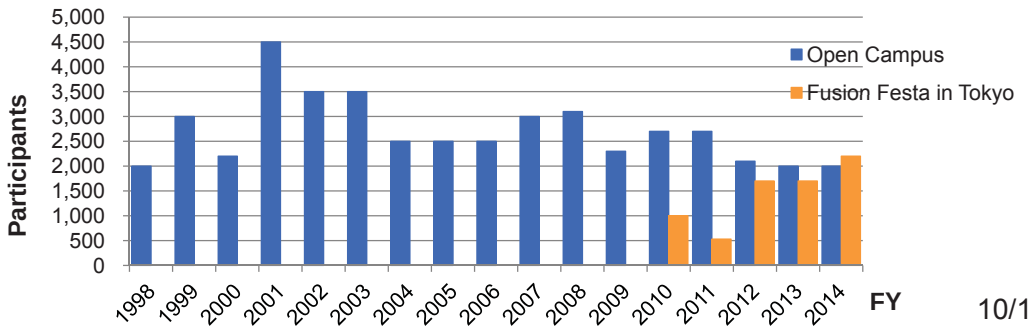
NIFS has been conducting various events and activities for the purpose of informing the public about our research activities.

Open Campus
- Once a year in autumn, since 1998
- More than 40 events such as NIFS introduction, science experiments, and open lecture





Fusion Festa in Tokyo
- Once a year in Tokyo as science event along the lines of Open Campus, since 2010
- Open lectures and experience-based event like scientific handcraft



Release of Information to Public (2)

Open Lectures for Local Residents

- Every year in July and during the International Toki Conference, two academic lectures are given for city residents.
- Showing panels and LHD model at NINS Symposium

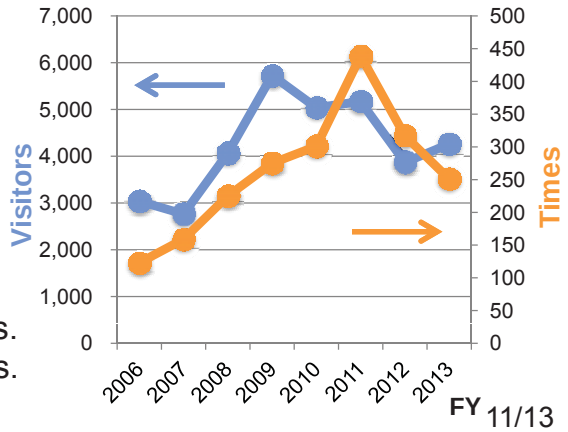


Release of information by Mailing Lists

- "Mail News": release of event information in accordance with holding period (registered number: 1,157)
- "Mail Magazine": research activities of NIFS disseminated twice a month (registered number: 361)

NIFS Tour

- Throughout the year, NIFS welcomes visitors for the facility tour.
- Visitors can see several experimental facilities and hear a summary of NIFS research activities.
- Tour is on weekday and takes about 90 minutes.
- Three staffed specializing in NIFS tour.



11/13

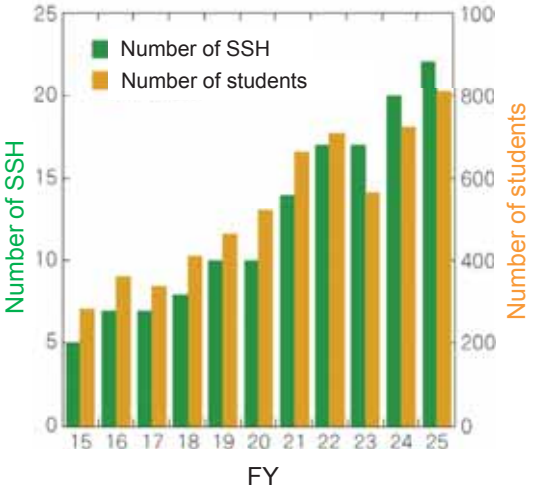
Release of Information to Public (3)

Educational contributions

- Educational partnership activities of Super Science High School (SSH) :
  22 high schools, 809 students participated.
- Visiting lectures: 7 high schools
- Internship programs for junior-high school, high school and technical college students:
  7 schools, 21 students







Press Release

- 10 times in FY2013
- Providing news to Japan Science and Technology Agency (JST) Science Portal, Science Media Center of Japan, The American Association for the Advancement of Science (AAAS) "Eurek Alert!" both at home and abroad.



12/13

(3) Is the importance of fusion research and its safety being widely disseminated in society?

1. Open campus has been held every year since 1998, showing the NIFS research activities, and the participant is over 2,000.
2. “Fusion Festa in Tokyo” has been held every year since 2010, for showing the importance of the fusion energy development widely to public people, and the participant is over 2,100.
3. Open academic lectures are given for city residents twice a year.
4. NIFS research activities are disseminated as a “Mail Magazine” twice a month.
5. Super Science High School (SSH) activities and the internship programs for students should contribute to public science education.
6. These activities, as well as the frequent press releases, contribute to wide dissemination of the importance of fusion research in society.

参考資料

１　平成２６年度　外部評価「重水素実験実施計画」の評価結果・・・・・・　１

２　平成２６年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会及び専門部会
構成名簿　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・１０

３　核融合科学研究所運営会議外部評価委員会規則 ・・・・・・・・・・・・ １２

４　平成２６年度 核融合科学研究所運営会議外部評価委員会日程 ・・・・・１３

参考資料 1

平成26年度 外部評価「重水素実験実施計画」の評価結果

単位：人

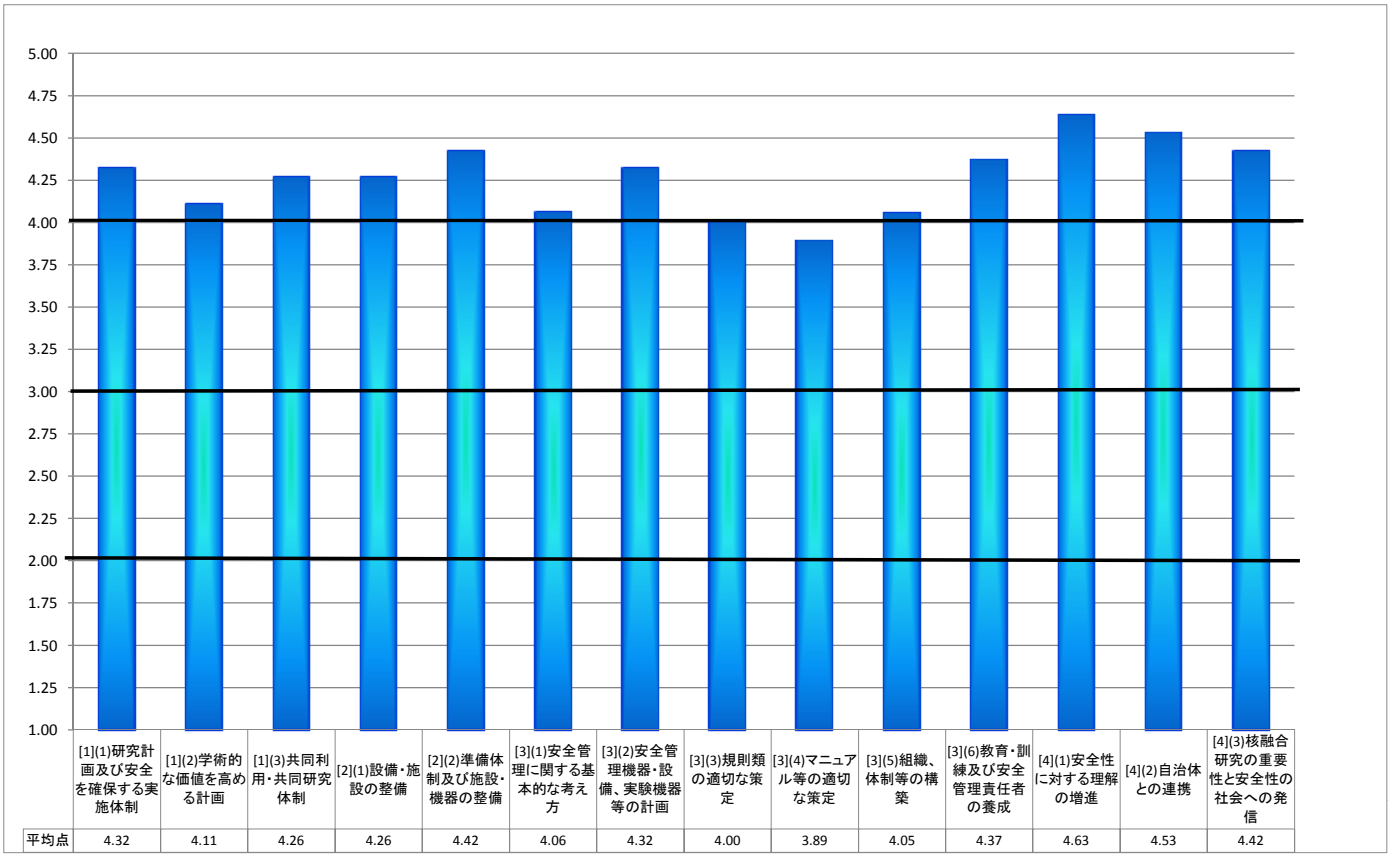
項目	[1](1)研究計画及び安全を確保する実施体制	[1](2)学術的な価値を高める計画	[1](3)共同利用・共同研究体制	[2](1)設備・施設の整備	[2](2)準備体制及び施設・機器の整備	[3](1)安全管理に関する基本的な考え方	[3](2)安全管理機器・設備、実験機器等の計画	[3](3)規則類の適切な策定	[3](4)マニュアル等の適切な策定	[3](5)組織、体制等の構築	[3](6)教育・訓練及び安全管理責任者の養成	[4](1)安全性に対する理解の増進	[4](2)自治体との連携	[4](3)核融合研究の重要性と安全性の社会への発信
秀	8	4	8	6	9	3	9	4	3	6	9	14	11	8
優	9	13	8	12	9	12	7	11	11	8	8	4	7	11
良	2	2	3	1	1	2	3	4	3	5	2	0	1	0
可	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
不可	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平均点	4.32	4.11	4.26	4.26	4.42	4.06	4.32	4.00	3.89	4.05	4.37	4.63	4.53	4.42

評価の対応表		
秀	極めて高く評価する	5
優	高く評価する	4
良	評価する	3
可	妥当（適切）である	2
不可	妥当（適切）でない	1

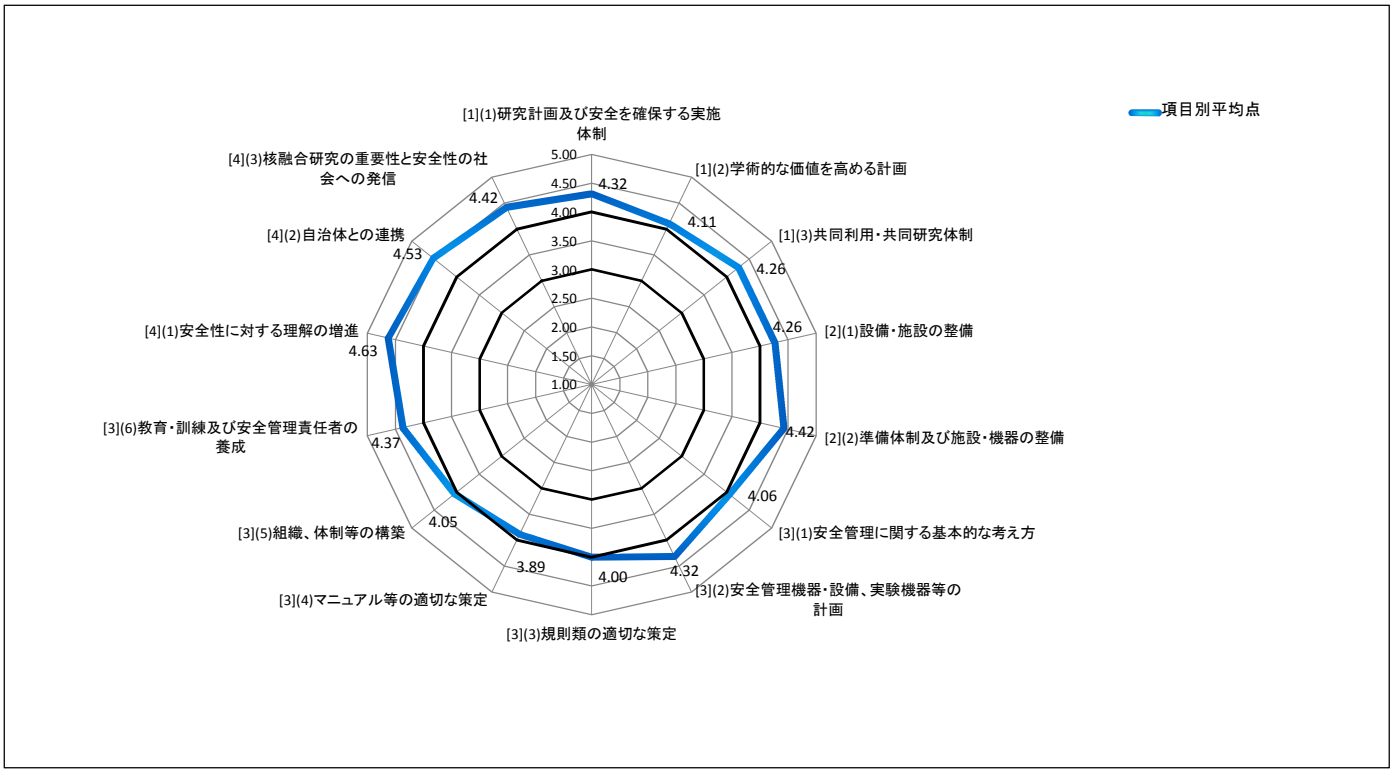
※ 評価結果は、国内委員及び外国人委員の結果を合わせたものになっています。一部の評価項目において、無回答の委員がいるため、回答者数は、評価項目によって、異なります。

項目	評 価 の 観 点
[1]	（研究計画）
[1](1)	重水素実験の目的は適切か。またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。
[1](2)	環状プラズマの総合的理解の推進に寄与し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を高める計画となっているか。
[1](3)	計画の実施に当たり、幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制となっているか。
[2]	（重水素実験準備体制）
[2](1)	平成28年度の重水素実験開始に向けて、設備・施設の整備は適切に計画されているか。
[2](2)	重水素実験開始に向けた準備体制は適切か。安全設備も含めた施設・機器の整備は適切に進められているか。
[3]	（安全管理計画）
[3](1)	安全管理に関する基本的な考え方は、地元の意見も踏まえた重水素実験実施計画の策定に際して、妥当なものか。
[3](2)	安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。
[3](3)	重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。
[3](4)	運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。
[3](5)	重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。
[3](6)	重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。
[4]	（社会の理解）
[4](1)	地元市民に対して、重水素実験の安全性に対する理解の増進を適切に進めているか。
[4](2)	重水素実験計画の推進にあたり、自治体と連携を図っているか。
[4](3)	広く核融合研究の重要性と安全性を社会に発信しているか。

評価項目別の平均点数



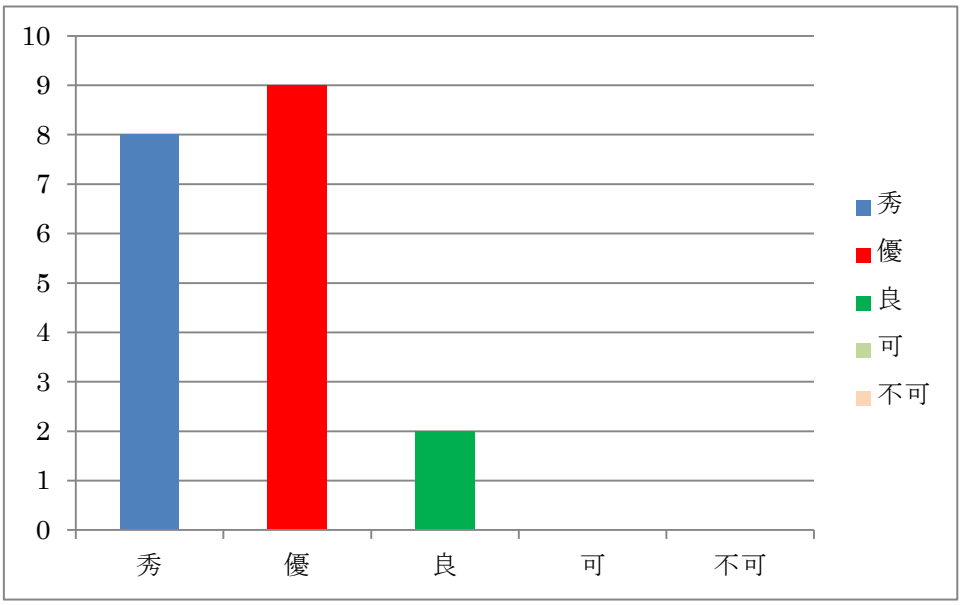
	[1](1)研究計画及び安全を確保する実施体制	[1](2)学術的な価値を高める計画	[1](3)共同利用・共同研究体制	[2](1)設備・施設の整備	[2](2)準備体制及び施設・機器の整備	[3](1)安全管理に関する基本的な考え方	[3](2)安全管理機器・設備、実験機器等の計画	[3](3)規則類の適切な策定	[3](4)マニュアル等の適切な策定	[3](5)組織、体制等の構築	[3](6)教育・訓練及び安全管理責任者の養成	[4](1)安全性に対する理解の増進	[4](2)自治体との連携	[4](3)核融合研究の重要性と安全性の社会への発信
平均点	4.32	4.11	4.26	4.26	4.42	4.06	4.32	4.00	3.89	4.05	4.37	4.63	4.53	4.42



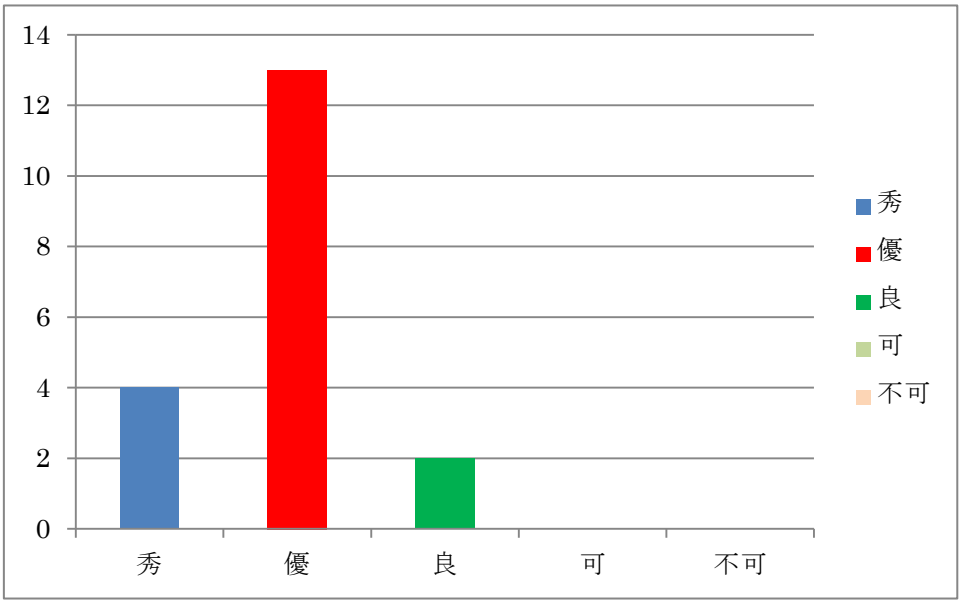
評価項目別の人数分布

［１］研究計画

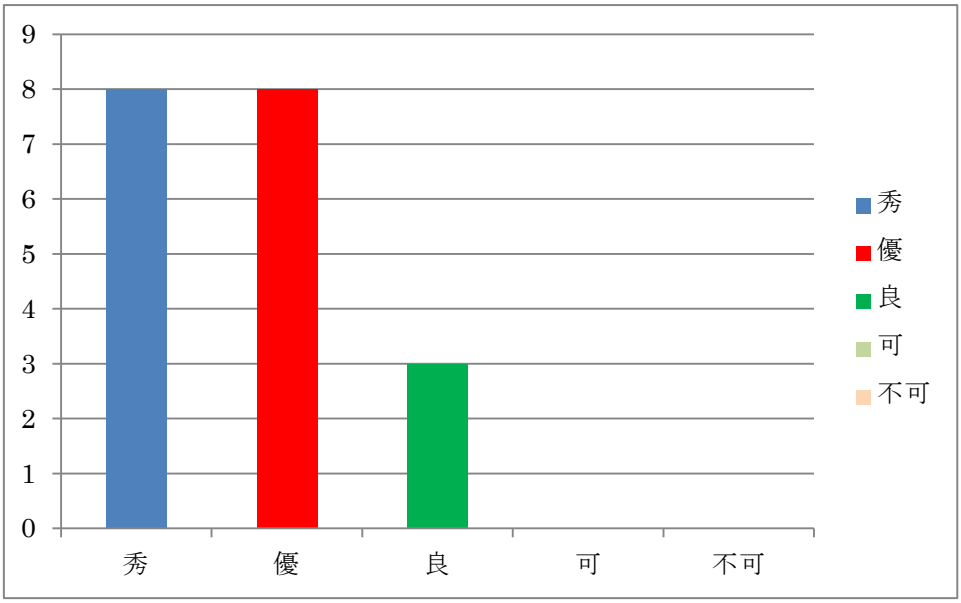
（１）重水素実験の目的は適切か。またその目的を達成する研究計画及び安全を確保する実施体制となっているか。



（２）　環状プラズマの総合的理解の推進に寄与し、核融合の実現へ向けて学術的な価値を高める計画となっているか。

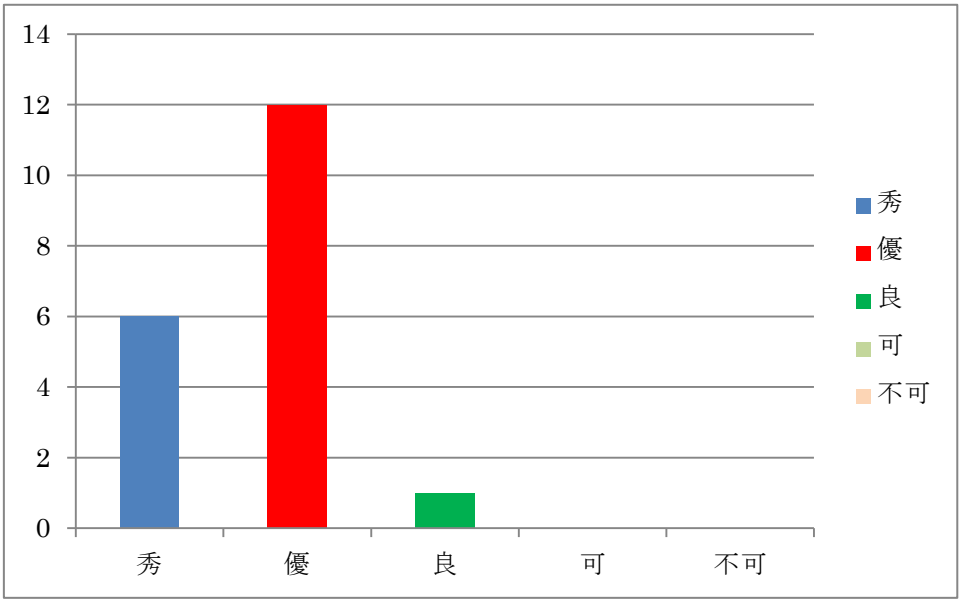


（３）　計画の実施に当たり、幅広い研究者が参画し得る共同利用・共同研究体制となっているか。

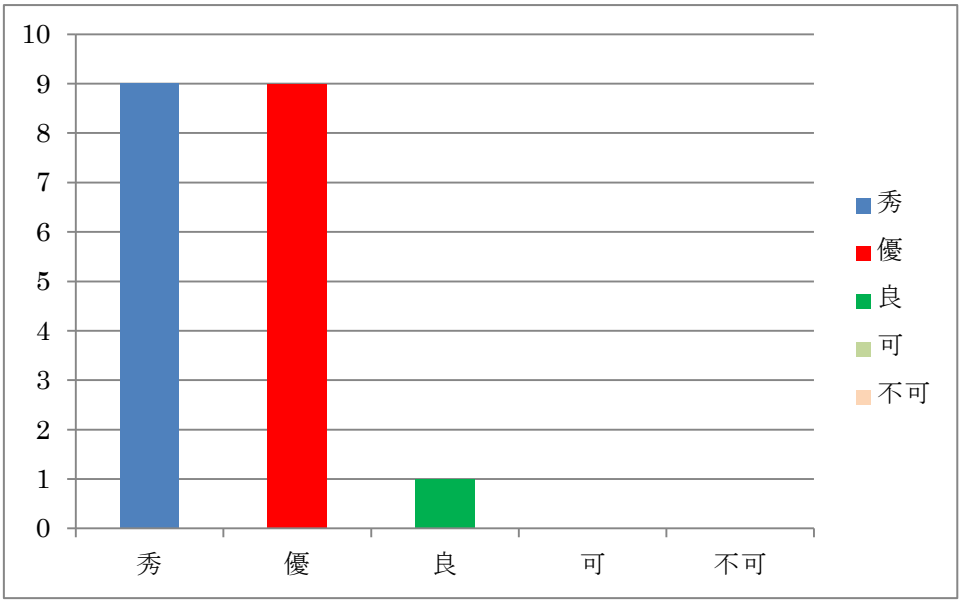


［２］重水素実験準備体制

（１）　平成 28 年度の重水素実験開始に向けて、設備・施設の整備は適切に計画されているか。

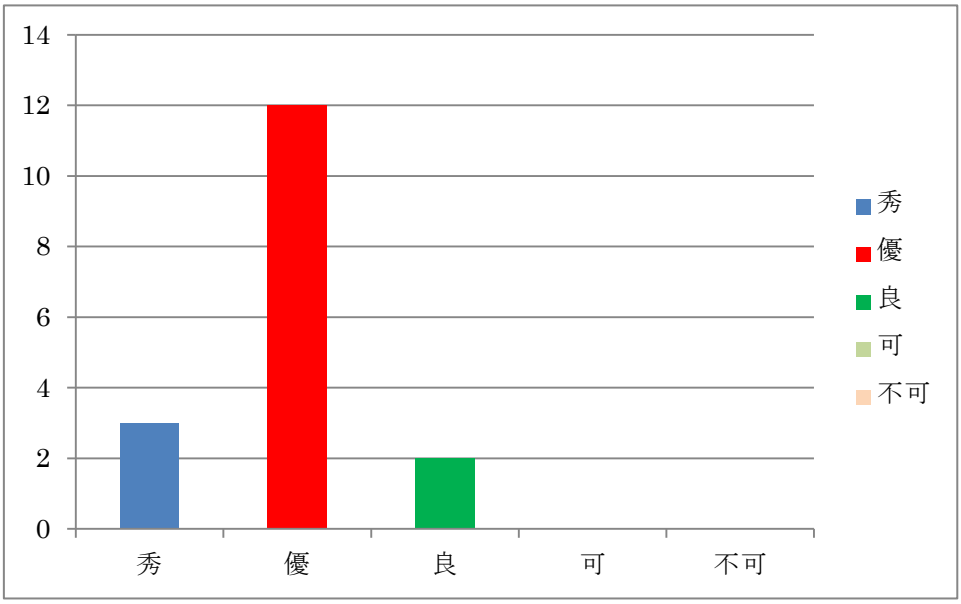


（２）　重水素実験開始に向けた準備体制は適切か。安全設備も含めた施設・機器の整備は適切に進められているか。

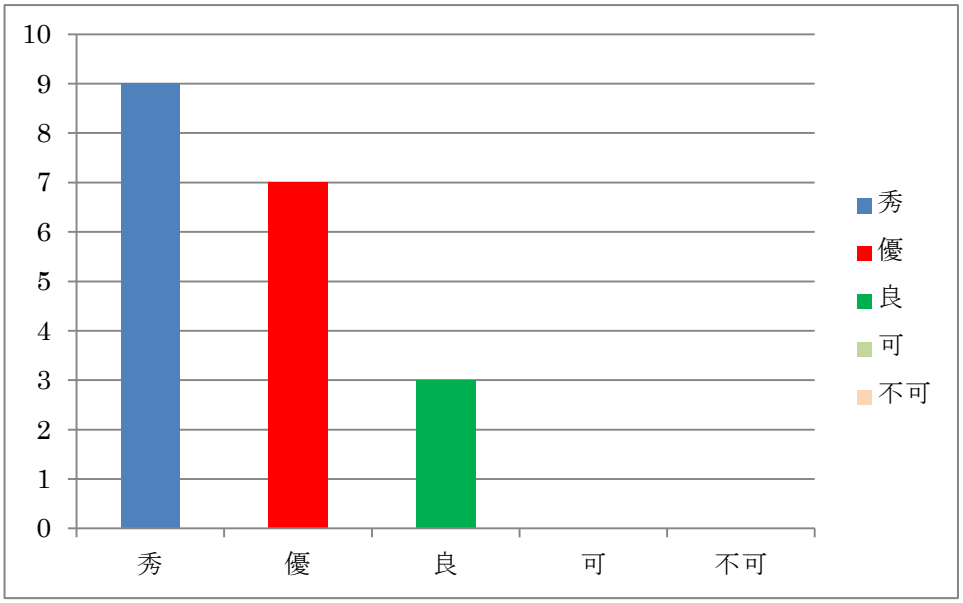


［３］安全管理計画

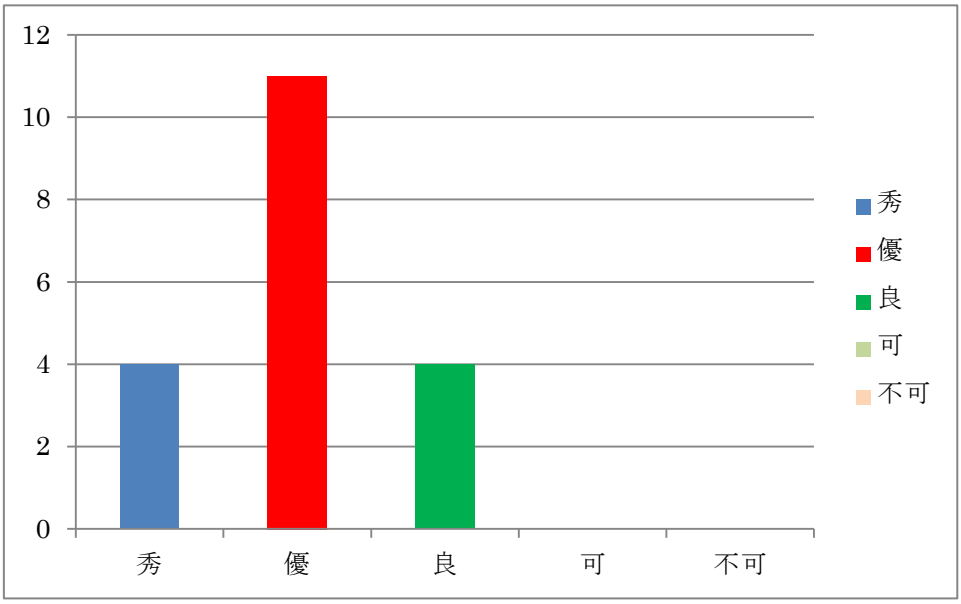
（１）　安全管理に関する基本的な考え方は、地元の意見も踏まえた重水素実験実施計画の策定に際して、妥当なものか。



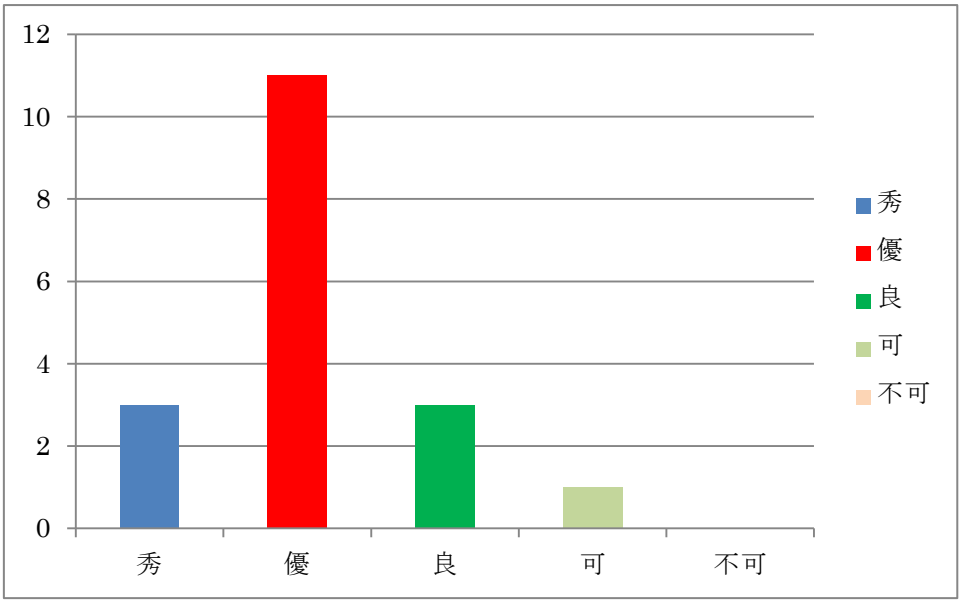
（２）　安全管理機器・設備、実験機器等は重水素実験を安全に遂行し、維持管理するために適切に計画されているか。



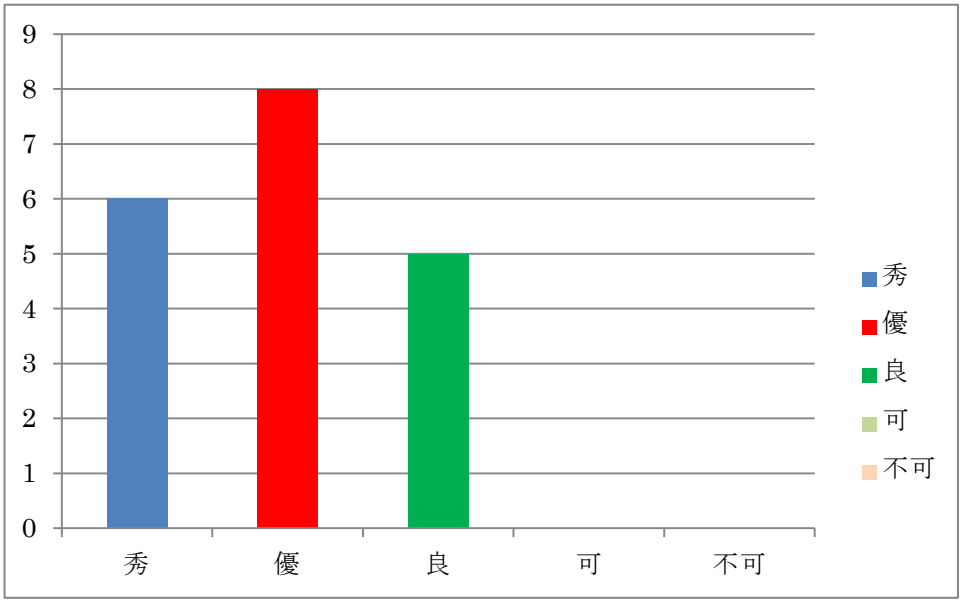
（３）　重水素実験を安全に遂行するために、規則類は適切に策定されているか。



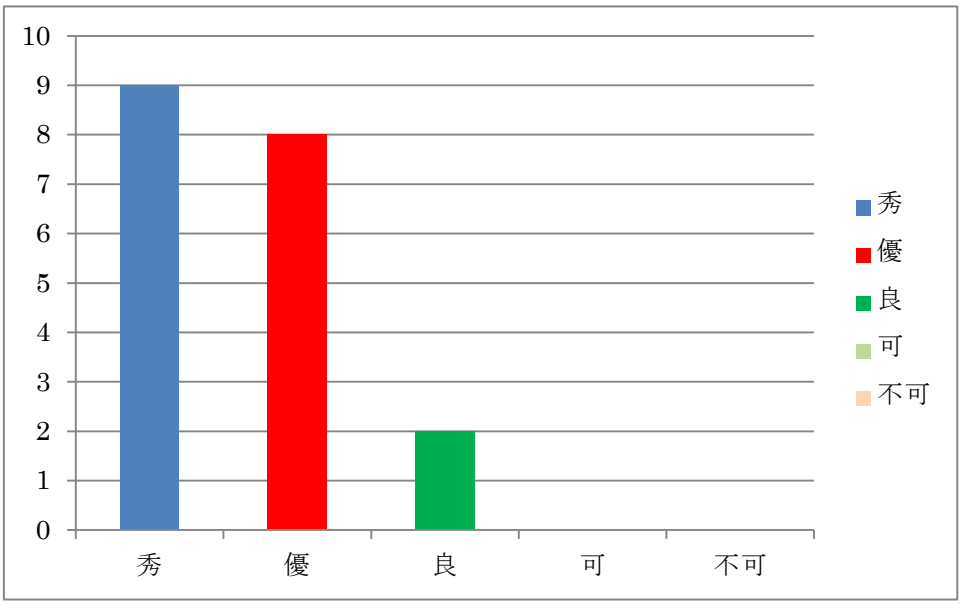
（４）　運転マニュアル、放射線管理マニュアル、緊急時マニュアル等は適切に策定されているか。



（５）　重水素実験を実施する際の安全管理のための組織、体制等を適切に構築しているか。

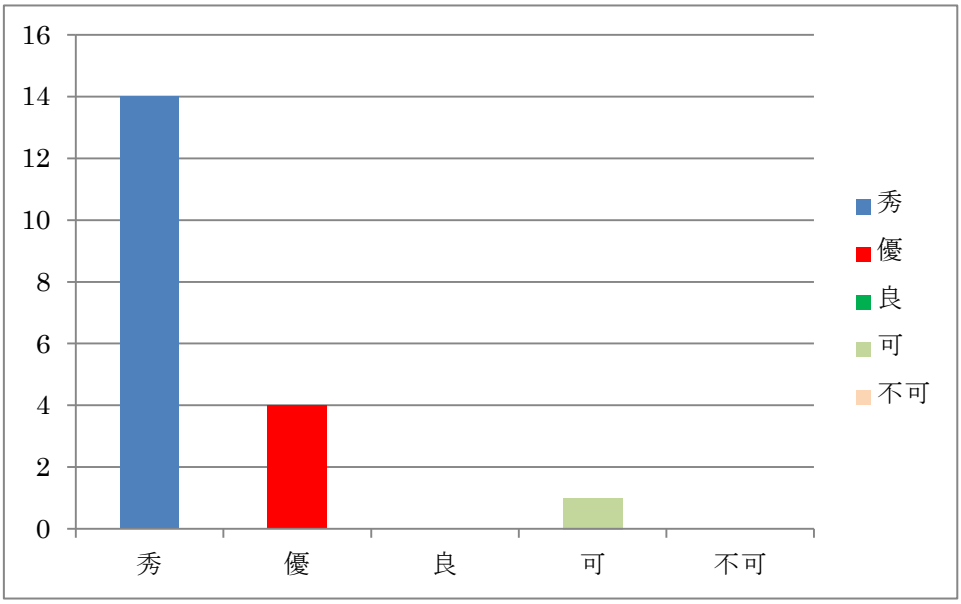


（６）　重水素実験の安全な遂行に向けた教育・訓練及び安全管理責任者の養成は適切に計画されているか。

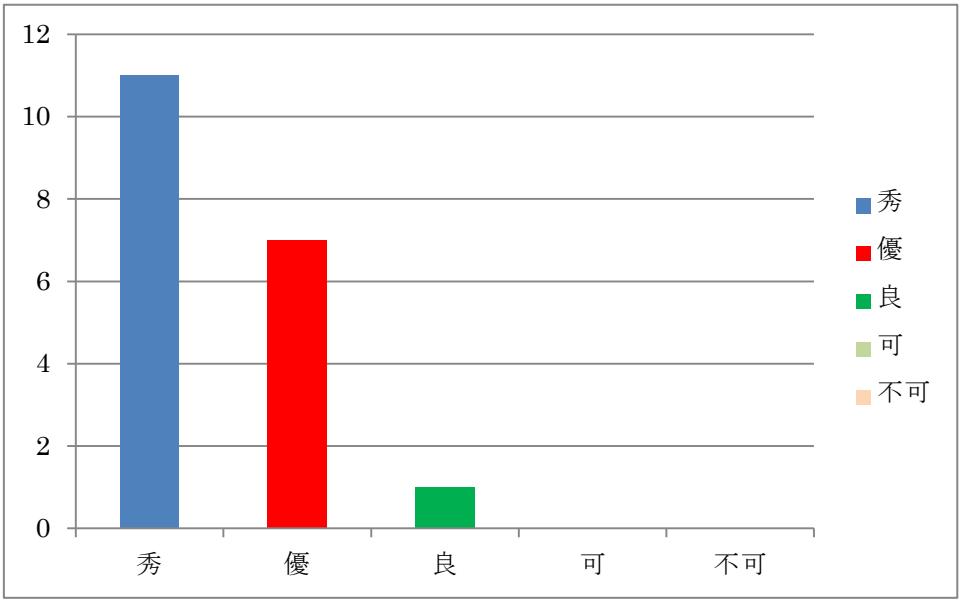


［４］　社会の理解

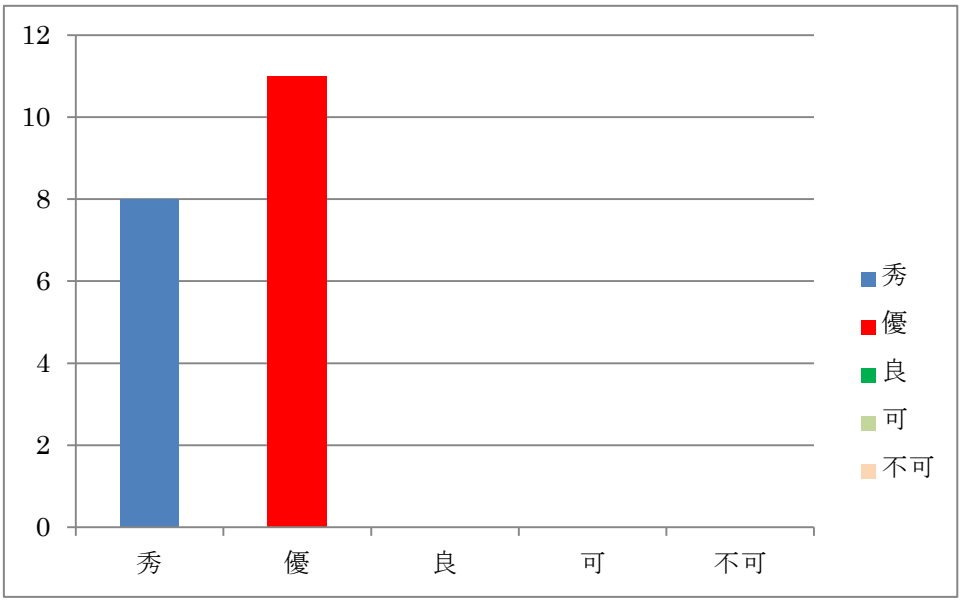
（１）　地元市民に対して、重水素実験の安全性に対する理解の増進を適切に進めているか。



（２）　重水素実験計画の推進にあたり、自治体と連携を図っているか。



（３）　広く核融合研究の重要性と安全性を社会に発信しているか。



平成２６年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会及び専門部会構成名簿

１．平成２６年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会　構成名簿

［外部評価委員会　国内委員］

□	疇地　宏	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター長
	安藤　晃	東北大学大学院工学研究科教授
	市村　真	筑波大学プラズマ研究センター長
	大野　哲靖	名古屋大学大学院工学研究科教授
◎	小川　雄一	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
○	佐野　史道	京都大学エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター長
	図子　秀樹	九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センター長
□	福山　淳	京都大学大学院工学研究科教授
	御手洗　修	東海大学熊本教養教育センター教授
	森　雅博	日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門副部門長

［外部評価委員会　外国人委員］

Gyung-Su Lee	Research Fellow, National Fusion Research Institute, Republic of Korea
Keith Rule	Senior Engineer - Environmental services, Princeton Plasma Physics Laboratory, USA
Michael Tendler	Professor, Alfven Laboratory, Royal Institute of Technology, Sweden
Thomas Klinger	Directorate, Max-Planck-Institute for Plasma Physics, Germany

◎委員長、○副委員長、□専門部会幹事

・外部評価委員会委員の任期は、平成 27 年 3 月 31 日までとする。

２．平成２６年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会専門部会　構成名簿

【重水素実験実施計画 専門部会】

［外部評価委員会　国内委員］

□	疇地　宏	大阪大学レーザーエネルギー学研究センター長
	安藤　晃	東北大学大学院工学研究科教授
	市村　真	筑波大学プラズマ研究センター長
	大野　哲靖	名古屋大学大学院工学研究科教授
◎	小川　雄一	東京大学大学院新領域創成科学研究科教授
○	佐野　史道	京都大学エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター長
	図子　秀樹	九州大学応用力学研究所高温プラズマ力学研究センター長
□	福山　淳	京都大学大学院工学研究科教授
	御手洗　修	東海大学熊本教養教育センター教授
	森　雅博	日本原子力研究開発機構核融合研究開発部門副部門長

［外部評価委員会　外国人委員］

Gyung-Su Lee	Research Fellow, National Fusion Research Institute, Republic of Korea
Keith Rule	Senior Engineer - Environmental services, Princeton Plasma Physics Laboratory, USA
Michael Tendler	Professor, Alfven Laboratory, Royal Institute of Technology, Sweden
Thomas Klinger	Directorate, Max-Planck-Institute for Plasma Physics, Germany

［外部評価委員会　委員以外（専門委員）］

瓜谷　章	名古屋大学大学院工学研究科教授
笹尾　眞實子	同志社大学研究開発推進機構研究員、東北大学名誉教授
高木　郁二	京都大学大学院工学研究科教授
松山　政夫	富山大学水素同位体科学研究センター長
百島　則幸	九州大学アイソトープ総合センター教授

◎委員長、○副委員長、□専門部会幹事

核融合科学研究所運営会議外部評価委員会規則

制　　定　平成１６年１２月２８日　規則第２７号
最終改正　平成２２年　７月３０日

（設置）
第１条　核融合科学研究所の研究等の実績に関する評価を行うため，核融合科学研究所運営会議（以下「運営会議」という。）に核融合科学研究所運営会議外部評価委員会（以下「委員会」という。）を置く。
（組織）
第２条　委員会は，２５名以内の委員をもって組織する。
２　委員は，核融合科学研究所の研究等に関し識見を有する者で構成し，運営会議の議を経て，所長が委嘱する。
（任期）
第３条　前条第２項の委員の任期は，２年とし，再任を妨げない。
２　前項の委員に欠員が生じたときは，その都度補充する。この場合における委員の任期は，前任者の残任期間とする。
（委員長）
第４条　委員会に委員長及び副委員長を置く。
２　委員長及び副委員長は，第２条第１項の委員のうちから運営会議で選出する。
３　委員長は，委員会を招集し，その議長となる。ただし，委員長に事故があるときは，副委員長が議長となる。
（意見の聴取）
第５条　委員会は，必要に応じて，次に掲げるものから意見を聴くことができる。
⑴ 核融合科学研究所運営会議共同研究委員会
⑵ 核融合ネットワーク
⑶ その他必要と認める者
（専門部会）
第６条　委員会は，必要に応じて，専門部会を置くことができる。
２　前項の専門部会には，委員以外の者を加えることができる。
（庶務）
第７条　委員会の庶務は，管理部総務企画課において処理する。
（雑則）
第８条　この規則の実施に関し必要な事項は，別に委員会が定める。

附　則

１　この規則は，平成１６年１２月２８日から施行する。
２　この規則の施行後最初の委嘱に係る委員の任期は，第３条第１項の規定にかかわらず，平成１８年3月３１日までとする。

附　則

１　この規則は，平成１８年9月１５日から施行する。
２　この規則の施行後最初の委嘱に係る委員の任期は，第３条第１項の規定にかかわらず，平成２０年3月３１日までとする。

附　則

この規則は，平成１８年１２月２２日から施行し，平成１８年１０月１日から適用する。

附　則

この規則は，平成２２年8月１日から施行する。

参考資料 4

平成２６年度核融合科学研究所運営会議外部評価委員会日程

○ 第１回委員会及び第１回専門部会

日　　時　　平成２６年９月１２日（金）１３時４０分～１５時１０分
場　　所　　核融合科学研究所管理・福利棟４階第３会議室
出 席 者　　小川委員長、佐野副委員長、疇地、市村、
森の各委員
瓜谷、高木、西谷、松山の各専門委員



○ 第２回委員会及び第２回専門部会

日　　時　　平成２６年１１月２９日（土）１３時００分～１６時５０分
場　　所　　名古屋ダイヤビルディング２号館４階２４２会議室
出 席 者　　小川委員長、疇地、安藤、市村、大野、
図子、福山、御手洗、森、Lee、Tendler、
Klinger の各委員
瓜谷、笹尾、高木、松山、百島の各専門委員



○ 第３回委員会及び第３回専門部会

日　　時　　平成２７年１月２９日（木）１０時００分～１２時００分
場　　所　　核融合科学研究所管理・福利棟４階第３会議室
出 席 者　　小川委員長、佐野副委員長、疇地、市村、
大野、福山、森の各委員
瓜谷、笹尾、高木、松山の各専門委員



○ 第４回委員会及び第４回専門部会

日　　時　　平成２７年２月２４日（火）１３時４０分～１５時００分
場　　所　　核融合科学研究所管理・福利棟４階第３会議室
出 席 者　　小川委員長、佐野副委員長、疇地、安藤、
市村、大野、福山、御手洗の各委員
笹尾、高木、松山、百島の各専門委員





大学共同利用機関法人 自然科学研究機構

核融合科学研究所

〒509-5292 岐阜県土岐市下石町 322-6

http://www.nifs.ac.jp/