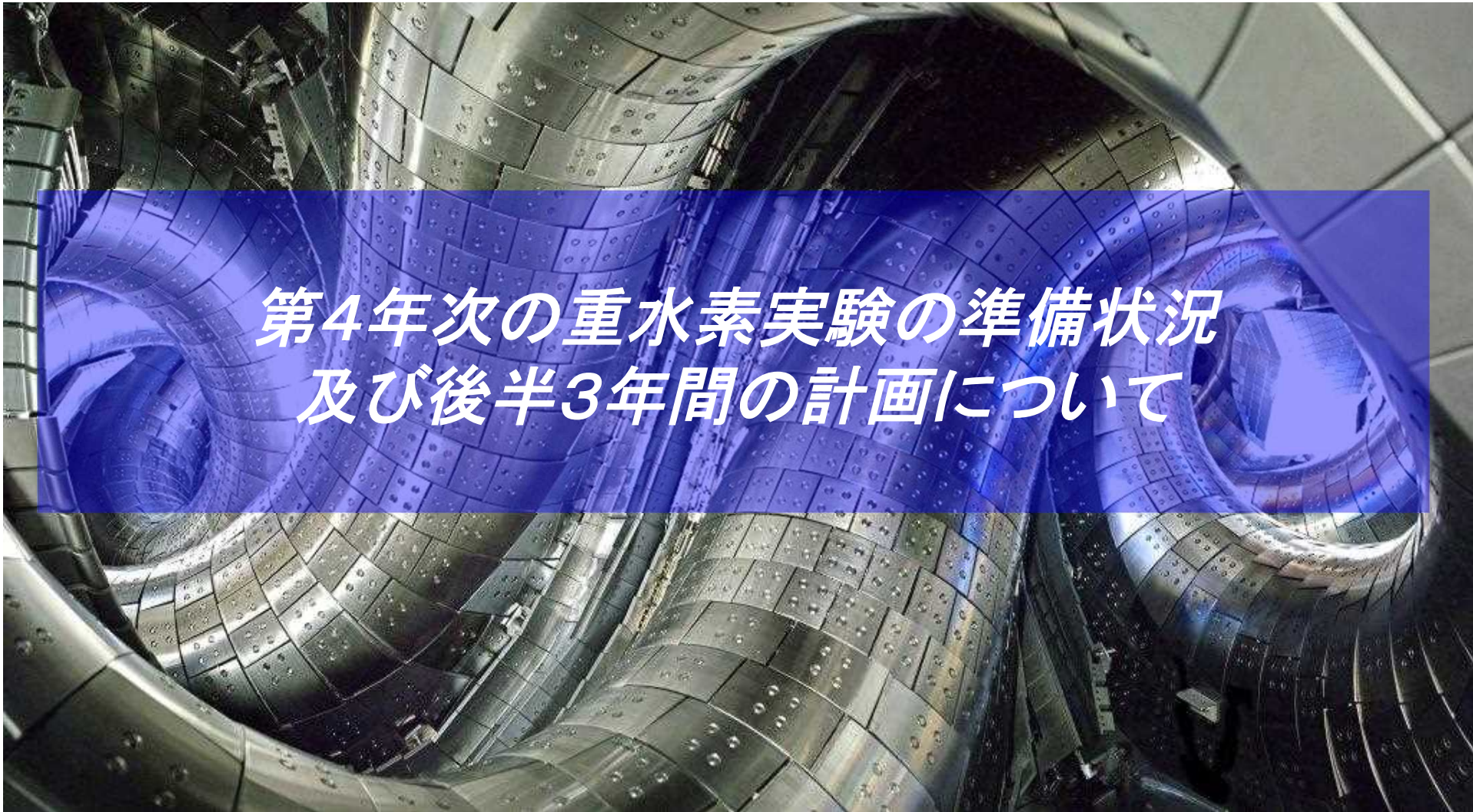


The background of the slide is a photograph of the interior of a tokamak reactor. It shows the complex, curved, and metallic structure of the vacuum chamber, which is composed of many small, rectangular tiles. The lighting is dramatic, with strong highlights and shadows, emphasizing the industrial and scientific nature of the environment.

第4年次の重水素実験の準備状況 及び後半3年間の計画について

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



第4年次の重水素実験の準備状況について

2020年度のLHDプラズマ実験(第4年次の重水素実験)について、10月上旬頃※の実験開始を予定し、現在メンテナンス作業を進めています。

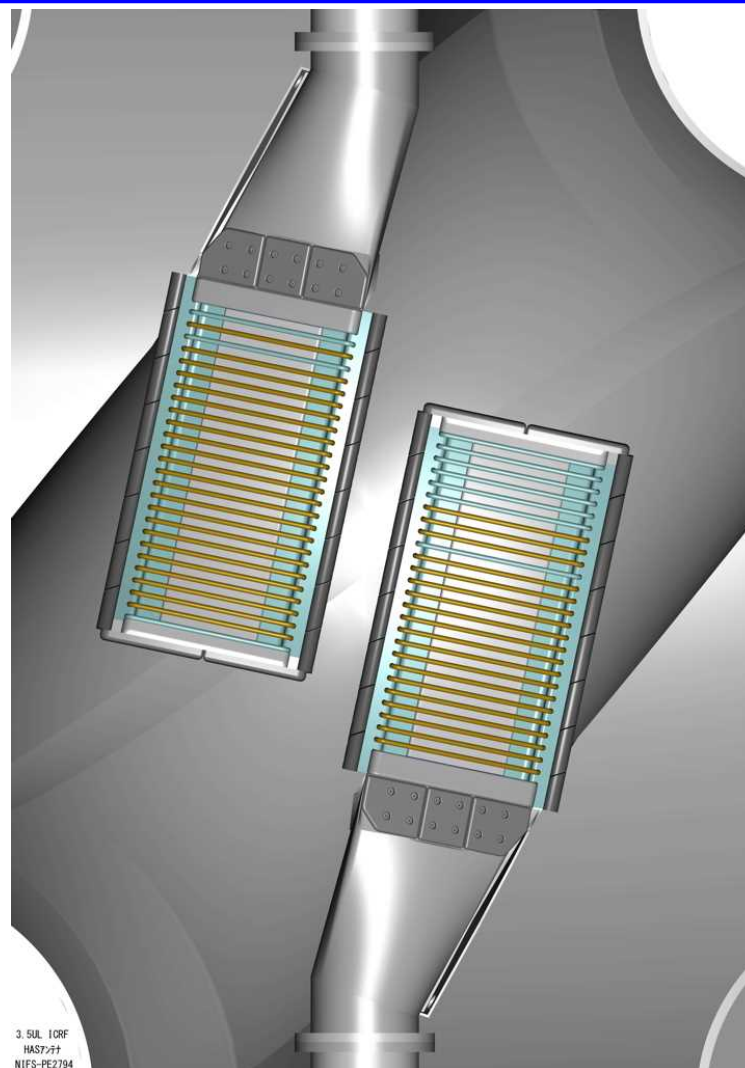
併せて、同実験を進める上で必要となる機器の整備とともに、放射線発生装置(プラズマ発生装置)及び密封されていない放射性同位元素に関して、放射性同位元素等の規制に関する法律に基づき、原子力規制委員会へ変更承認申請を行うことを予定しています。

ここでは、主要な整備機器、及び変更承認申請の概要についてご説明します。

※実験開始予定時期につきましては、新型コロナウイルス感染症対策により、変更する場合があります。

2020年度の重水素実験に向けた主要整備機器 ～イオンサイクロトロン加熱に用いるアンテナの追加設置～

- ・将来の核融合炉では、核融合反応の結果生成される高いエネルギーを有するアルファ粒子（ヘリウム-4の原子核）による加熱により、プラズマの維持を行います。
- ・このことから、高エネルギー粒子の閉じ込めは世界各国の装置で重要な研究課題として位置づけられており、LHD重水素実験においても、主要研究課題の一つに掲げています。
- ・2019年度、イオンサイクロトロン加熱（ICH）用アンテナを真空容器内に設置し、電磁波を用いたイオンの加熱により高エネルギー粒子の生成を試みました。
- ・2020年度の実験では、アンテナをもう1対追加し、高エネルギー粒子の更なる生成を試みます。
- ・なお、本アンテナ設置に伴い、中性子発生量の研究所管理値に変更はありません。



ICHに用いる2セット目のアンテナ

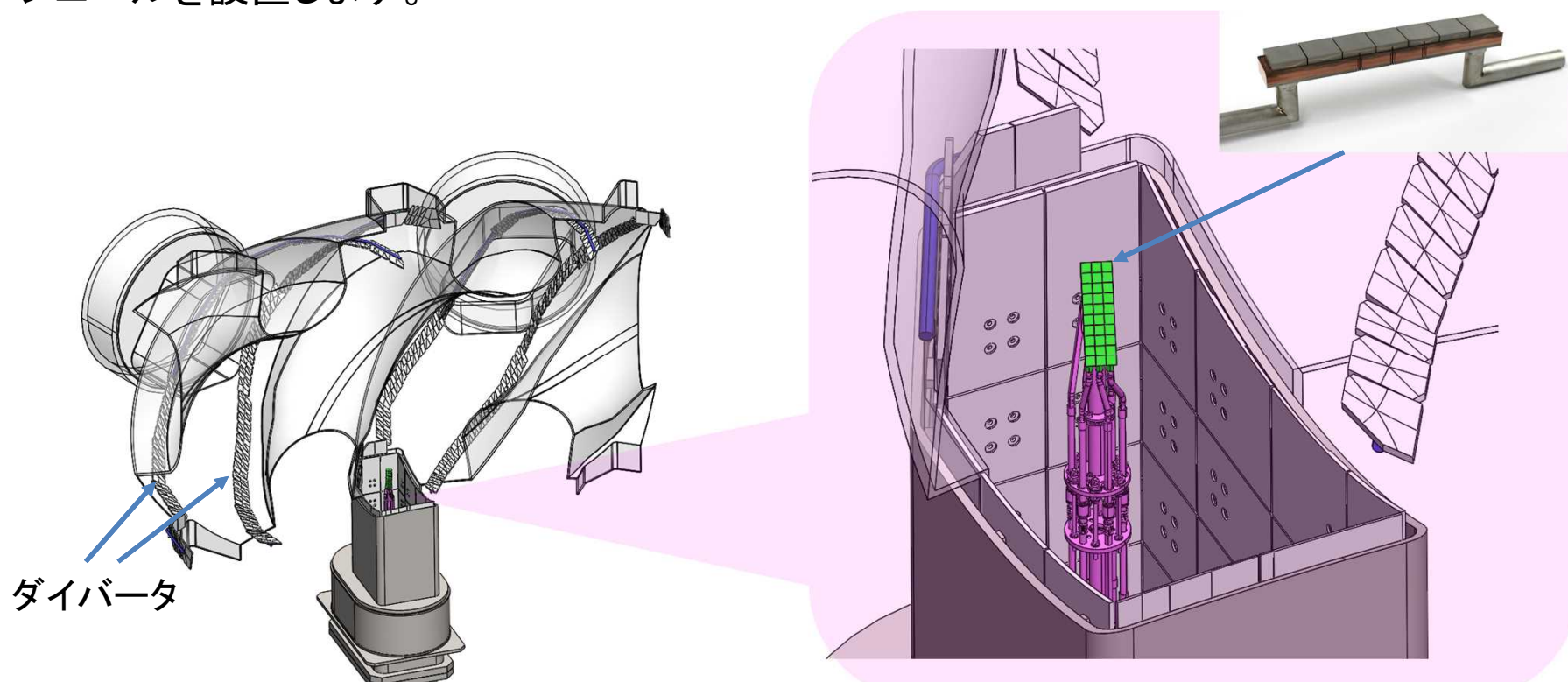


2020年度の重水素実験に向けた主要整備機器

～駆動型ダイバータテストモジュールの設置～

磁場閉じ込め核融合プラズマでは、磁場のカゴにより高温プラズマを真空中で保持していますが、その周辺部では、プラズマの温度を十分に下げて、ダイバータと呼ばれる機器でプラズマを終端させています。

重水素実験の後半3年間で行うプラズマの定常運転に必要な制御法の確立の準備研究として、粒子吸蔵性が低く損耗にも強いタンゲステンの試験のため、駆動型ダイバータテストモジュールを設置します。





放射性同位元素等の使用に係る変更承認申請について

安全管理計画に記載のとおり、LHDによる重水素実験の後半3年間では、プラズマ実験に加えて、中性子応用実験を本格化し、以降の展開を図る計画です。その中性子応用実験の準備研究、並びにLHDによる重水素実験の研究成果と核融合研究の進展を踏まえたプラズマ照射試料の追加等に対して、放射線発生装置(プラズマ発生装置)及び密封されていない放射性同位元素に関して、放射性同位元素等の規制に関する法律に基づき、原子力規制委員会へ変更承認申請を行う予定です。

変更承認申請の内容

1. 放射線発生装置(プラズマ発生装置)の使用に係る変更
使用の目的に「中性子の医療応用等に向けた研究」を追加
2. 密封されていない放射性同位元素の使用に係る変更
 - 2-1. プラズマ照射試料に新たな材料を追加するとともに、承認済みのプラズマ照射試料の一日最大使用数量を変更
 - 2-2. プラズマ照射された第一壁材料の詳細な分析を行う測定室の設置

上記変更承認申請に伴う研究所管理値の変更、及び周辺環境への影響はありません。

詳細は、次ページ以降においてご説明いたします。



放射性同位元素等の使用に係る変更承認申請について

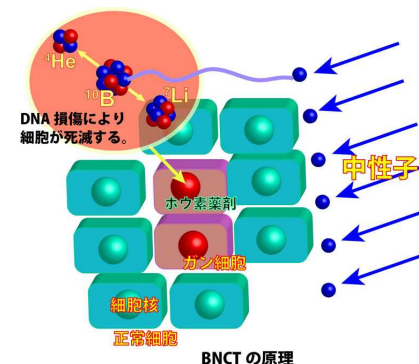
～ 1. 放射線発生装置(プラズマ発生装置)の使用に係る変更 ～

安全管理計画に記載のとおり、重水素実験の後半3年間では、プラズマ実験に加えて、LHDで発生した中性子の応用研究も展開する計画です。その準備研究の一環として、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)によるガン治療への核融合中性子の適用を目指した研究を開始し、

- ✓ BNCTにおけるガン治療効果の定量評価手法の確立
- ✓ 核融合中性子を利用したBNCT用放射線場の最適化検討
- ✓ BNCT治療時における放射線の細胞に対する影響の解明を目指した基礎研究に取り組みます。

【BNCT:ホウ素中性子捕捉がん治療法】

低エネルギー中性子との高い反応率を有するホウ素を含んだ薬剤をがん細胞に取り込ませ、中性子・ホウ素の反応により発生する高エネルギー粒子によりがん細胞のみを選択的に治療する手法です。



参照:大阪大学
村田教授研究室

中性子応用実験の準備研究のため、LHDの放射線発生装置としての使用の目的(ヘリカル型核融合炉開発のための炉心プラズマの物理的・工学的研究)に、「**中性子の医療応用等に向けた研究**」を追加する申請を行います。



放射性同位元素等の使用に係る変更承認申請について

～ 2. 密封されていない放射性同位元素の使用に係る変更 ～

2-1. 後半3年間のLHDプラズマ実験で計画しているダイバータ板の全金属化に向けた準備研究のため、承認済みのプラズマ照射試料の数量を変更するとともに、プラズマ照射試料に新たな材料を追加します。

変更の内容

一日最大使用数量を変更する材料

(固定試料)	タングステン	25枚	→	200枚
	アルミナ	30枚	→	100枚
(挿入試料)	タングステン	20枚	→	30枚

新たに追加する材料と一日最大使用数量

(第一壁材料)	タングステン・銅冶金接合体	6枚
(固定試料)	タングステン・ニッケル銅合金	10枚
	タングステン・ニッケル鉄合金	10枚
	タングステン・レニウム合金	30枚
(挿入試料)	タングステン・ニッケル銅合金	10枚
	タングステン・ニッケル鉄合金	10枚
	タングステン・レニウム合金	30枚
	アルミナ	20枚



長さ: 15 cm、幅: 2 cm

タングステン・銅冶金接合体(1枚)※の例

※先にご説明した駆動型ダイバータテストモジュールに搭載します。

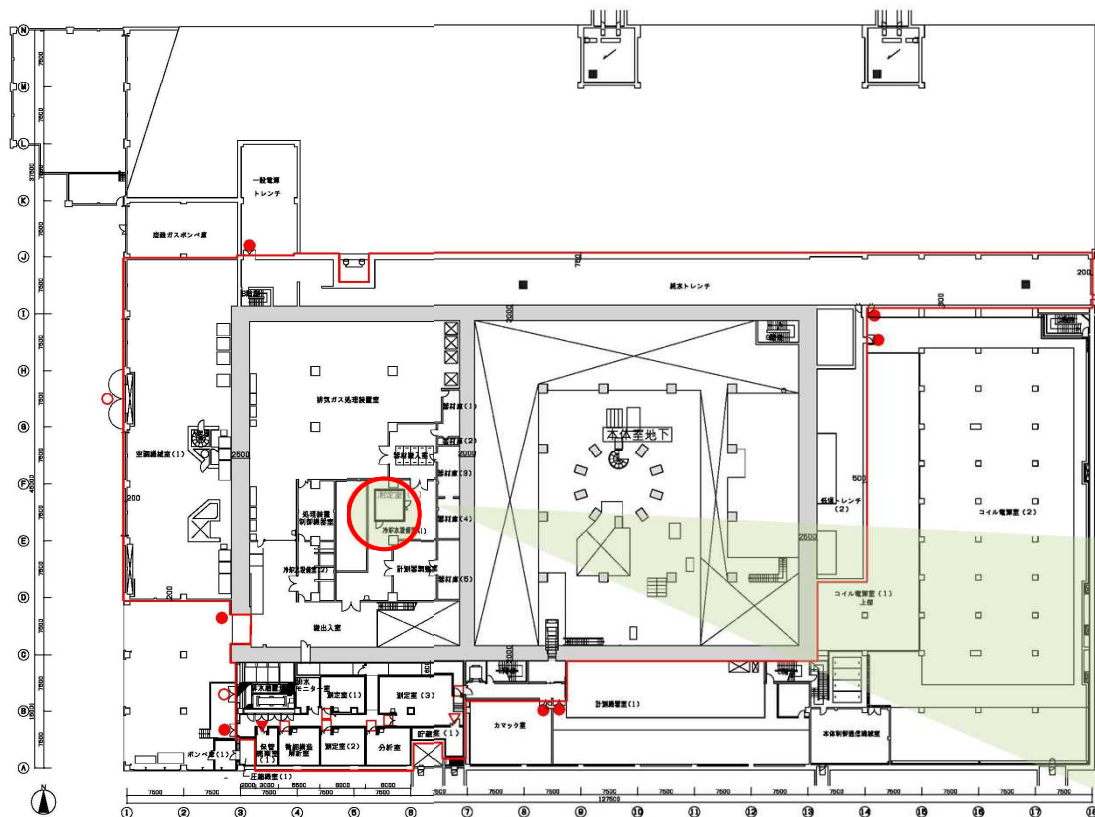
プラズマ照射試料の数量の変更等の申請を行いますが、これによる研究所管理値の変更、遮蔽性能の強化等の設備の変更はありません。また、周辺環境への影響もありません。



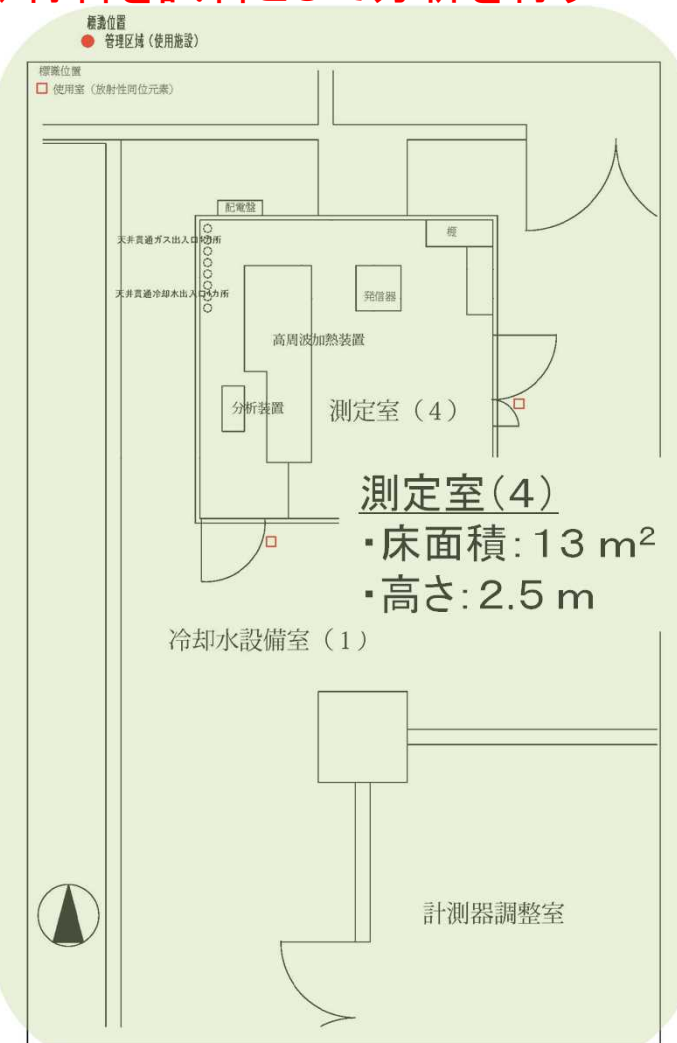
放射性同位元素等の使用に係る変更承認申請について(続き)

～ 2. 密封されていない放射性同位元素の使用に係る変更 ～

2-2. プラズマ照射された第一壁(ダイバータ板及び保護板)材料を試料として分析を行う測定室(4)を設置します。



大型ヘリカル実験棟地下1階



測定室(4)は、重水素実験の進展に備えて、大型ヘリカル実験棟地下1階の管理区域内に予め用意しておいたエリアに設けます。重水素プラズマで照射された試料を分析する場合は放射性同位元素として管理する必要があり、関係法令に基づき申請を行うものです。 8/13



放射性同位元素等の使用に係る変更承認申請について(続き)

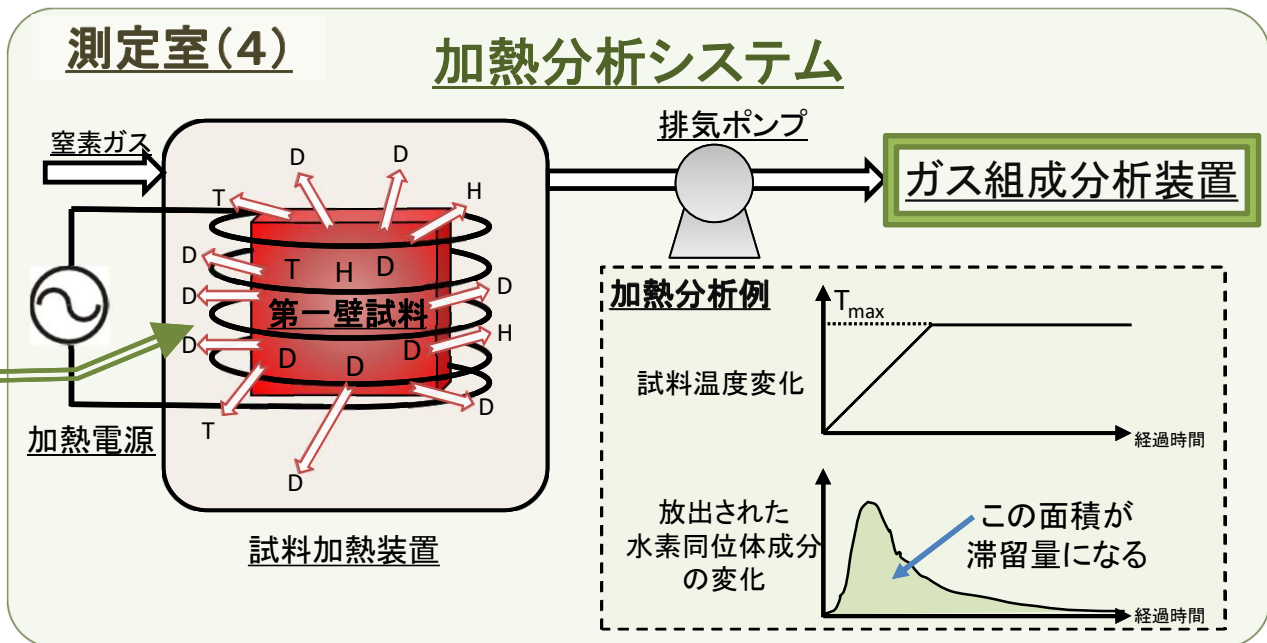
～ 2. 密封されていない放射性同位元素の使用に係る変更 ～

測定室(4)で行う分析の概略

- ・第一壁試料内に取り込まれた水素同位体の滞留量評価を目的としています。方法として、試料を高温に加熱し水素同位体成分を試料より放出させ、放出ガスを分析することで滞留量を測定します。
- ・第一壁試料を加熱する装置とガス組成分析装置からなる加熱分析システムを測定室(4)に設置します。



LHD真空容器内



第一壁材料は、真空容器内に設置されているため、研究試料(第一壁試料)として使用する場合は、放射性同位元素として管理する必要があります。第一壁試料を分析する加熱分析システムを管理区域内で使用するため、測定室(4)を設置します。

本件につきまして、本変更承認申請による管理区域の境界・面積、及び事業所の境界における放射線量に変更はありません。

後半3年間の計画について

安全管理計画に従った重水素実験の今後の計画（重水素実験後半3年間の主要計画）は、研究計画等の重大な変更には当たりませんが、更なる具体化の検討を進める上で、その検討状況を令和元年12月開催の重水素実験安全評価委員会においてご説明し、安全管理計画に従っていることを確認していただきました。

ここでは、その際、ご質問のあった後半3年間における主要な加熱装置であるイオンサイクロトロン加熱したプラズマにおける中性子発生率についてご報告いたします。



今後の計画について ～ LHD重水素実験計画 ～

重水素実験は、「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画」に記載のとおり、前半6年間・後半3年間で予定しています。

LHD実験年次計画(安全管理計画での重水素実験9年間における研究所管理値をまとめた表より)

	前半6年間		後半3年間
実験年度	初年度 (第19サイクル)	第2～6年度	第7～9年度
事 項	予備的实验 (施設検査)	プラズマ 高性能化実験	総合性能実験
年間トリチウム 最大発生量	370億ベクレル(1キュリー) (各年度積算量)		555億ベクレル (1.5キュリー) (各年度積算量)
年間トリチウム 最大放出量	37億ベクレル(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)

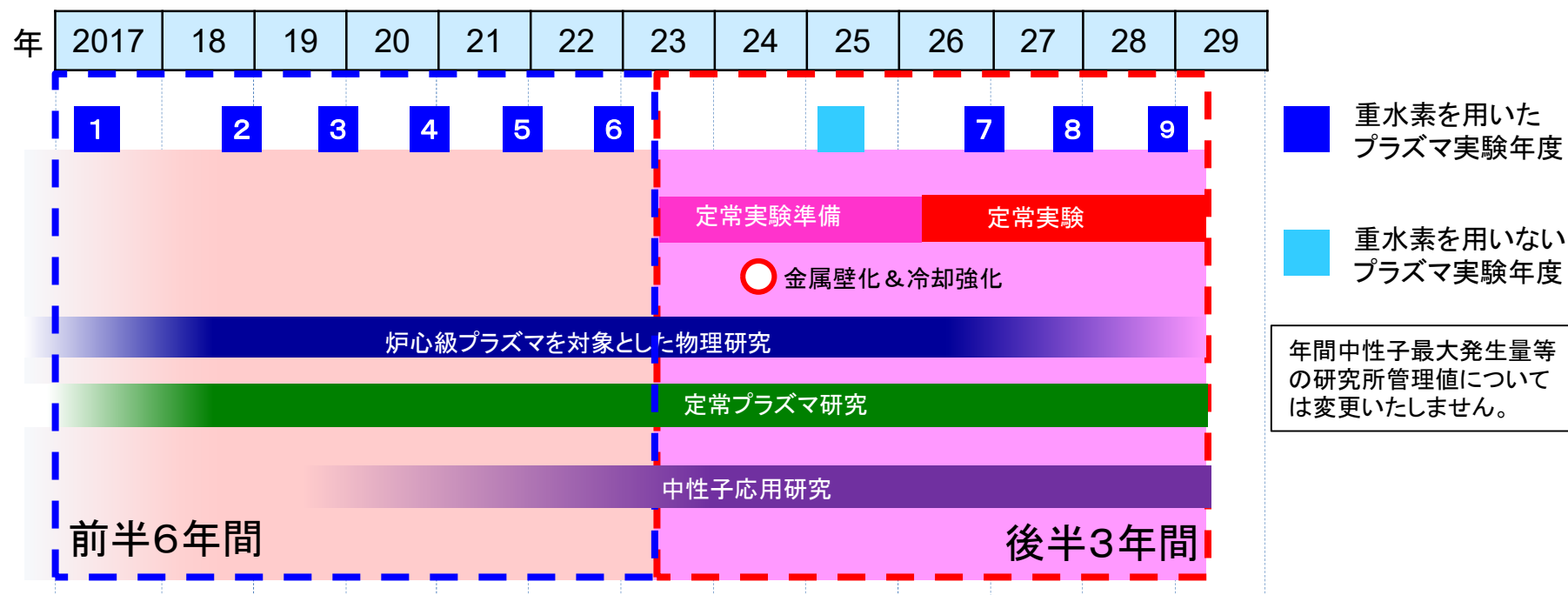
10億ベクレル(=1 GBq)

進捗状況に応じ、軽水素で実験を行う年、あるいは、実験を休止する年がある場合は9年間に含めません。



LHD重水素実験の後半3年間の計画について

- 前半6年間終了後、定常実験に向けた準備期間を経て、本格的な長時間放電を行うことにより、真の定常を実現し、その制御法を確立します。
 - ✓ 1.5年間の改造期間の後、重水素を用いない(軽水素やヘリウムを用いた)プラズマ実験年度を1回、その後、重水素を用いたプラズマ実験年度を3回実施する計画です。
- 定常プラズマ制御に向けた学術基盤を構築します。
- 定常制御に関して蓄積された知見は、ITERや原型炉へ続く核融合研究に大きく貢献します。



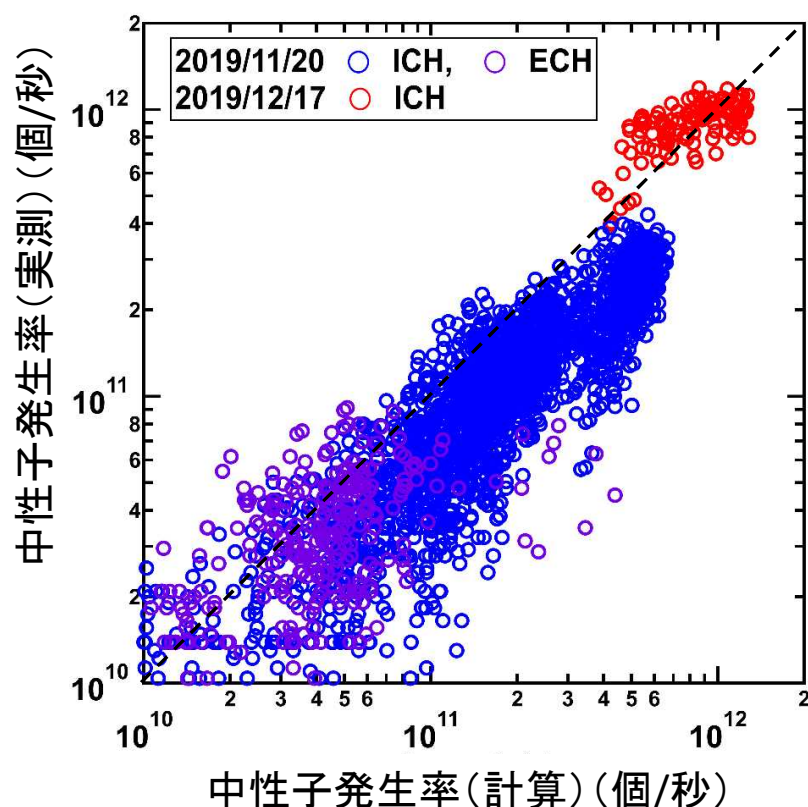
※ 本計画の具体化の内容は、適宜、安全評価委員会において説明し、確認いただく予定です。



イオンサイクロトロン加熱によって発生する イオンの高エネルギー成分の中性子発生率に対する影響

重水素実験の後半3年間の実験では、長時間放電に適したイオンサイクロトロン加熱(ICH)が重要な役割を担います。12月の評価委員会において、ICHによって生成されるイオンの高エネルギー成分による中性子発生率に対する影響について、ご質問がありましたので、第3年次の重水素実験結果に基づいて報告します。

イオンの高エネルギー成分が発生しない電子サイクロトロン加熱(ECH)によって保持されたプラズマの結果(○)とICHによって保持されたプラズマ(○、●)に対して、プラズマの温度と密度を基に計算によって評価した中性子の発生率と中性子検出器によって実測した中性子の発生率を比較しました。



- ✓ ICHプラズマからの中性子発生率は、安全管理計画で想定している高性能プラズマの最大中性子発生率(1.9×10^{16} 個/秒)よりも遥かに少ない。
- ✓ 計算による評価と実測はほぼ一致する。
- ✓ ICHプラズマとECHプラズマの中性子発生率の傾向は、ほぼ同様でした。



ICHによって発生するイオンの高エネルギー成分は、現状では中性子発生率に影響しない。

後半3年間の実験に向けて、ICHに伴う中性子発生量の予測精度を更に上げるべく、今年度も引き続き、ICH実験を継続する予定です。