

週イチZoom研究会#12
18 September 2020

NIFS次期計画検討経緯

核融合科学研究所 坂本隆一

はじめに

❖ 次期計画検討の経緯とこれからの進め方について

▶ Fusion2030研究会Webページに掲載

- <https://www-col.nifs.ac.jp/info/post-LHD/past2nextstep.html>

▶ プラズマ・核融合学会誌2020年7月号（383-390）サロン記事に掲載

- http://www.jspf.or.jp/Journal/PDF_JSPF/jspf2020_07/jspf2020_07-388.pdf

❖ 今日の報告内容

▶ 背景

- 学術研究の大型予算（大規模学術フロンティア促進事業）

▶ NIFSにおける次期計画検討（2017～）とコミュニティへの展開（2018～）

- <https://www-col.nifs.ac.jp/info/post-LHD/archives.html>

▶ 次期計画検討委員会による勧告

- Fusion2030研究会

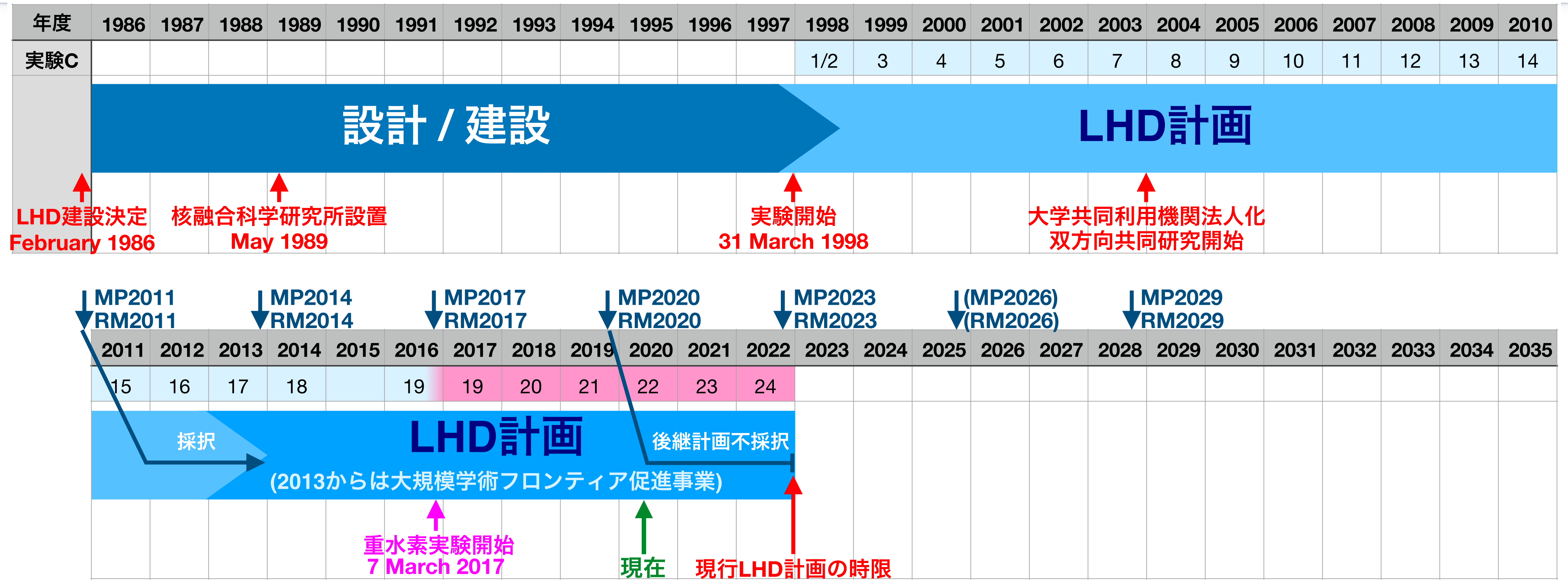
- 次期計画検討WG

▶ これまでの研究活動からの展開としての次期計画検討

発表資料、報告書等を公開しています。

背景

LHD計画プロジェクト



- 1986年度 学術審議会特定領域推進分科会核融合部会**
 - ▶ 大学における次期大型装置はヘリカル型とし、全国の研究者の英知を結集して岐阜県土岐市に建設する
 - ▶ 新大型装置の推進母体として、新たに大学共同利用機関を設立する
 - ▶ 新大型装置以外の研究においては、既存装置の活用等により引き続き推進する
- 1988年度 名古屋大学内に核融合科学研究所創設準備室および創設準備委員会が設立、大型ヘリカル装置建設了承**
- 1989年度 核融合科学研究所設置**

- 1991年度 大型ヘリカル実験棟建設工事着工**
- 1995年度 大型ヘリカル実験棟竣工**
- 1996年度 核融合ネットワークの運営開始**
- 1997年度 大型ヘリカル装置完成、実験開始 (1998年3月31日)**
- 2004年度 法人化、双方向共同研究開始**
- 2013年度 大規模学術フロンティア促進事業による予算化**
- 2017年度 重水素実験開始 (2017年3月7日)**
- 2022年度 大規模学術フロンティア促進事業予算の時限**

大規模学術フロンティア促進事業



文部科学省

世界の学術フロンティアを先導する大規模プロジェクトの推進

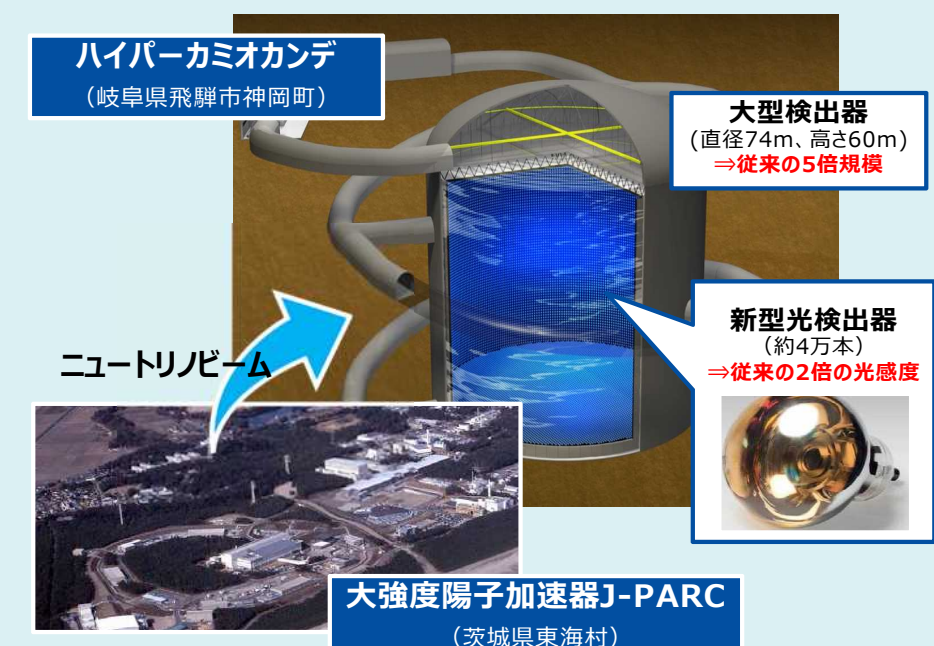
目的

- 最先端の大型研究装置等により人類未踏の研究課題に挑み、**世界の学術研究を先導**。
- 国内外の優れた研究者を結集し、**国際的な研究拠点を形成**するとともに、国内外の研究機関に対し**研究活動の共通基盤を提供**。
- **日本学術会議**において科学的観点から策定した**マスタープラン**を踏まえつつ、専門家等で構成される**文部科学省の審議会**において戦略性・緊急性等を加味し、**ロードマップを策定**。
- ロードマップの中から大規模学術フロンティア促進事業として実施するプロジェクトを選定の上、国立大学法人運営費交付金等により戦略的・計画的に推進。原則、**10年間の年次計画を策定**し、審議会における**厳格な評価・進捗管理**を実施。

大規模学術フロンティア促進事業の例

ハイパーカミオカンデ(HK)計画の推進

〔東京大学宇宙線研究所、高エネルギー加速器研究機構〕



- 日本が切り拓いてきたニュートリノ研究の次世代計画として、**超高感度光検出器**を備えた総重量26万トンの**大型検出器の建設**及び**J-PARCの高度化**により、**ニュートリノの検出性能を著しく向上** (スーパーカミオカンデの約10倍の観測性能)。
- 素粒子物理学の大統一理論の鍵となる未発見の**陽子崩壊探索**や**CP対称性の破れ**などのニュートリノ研究を通じ、**新たな物理法則の発見、素粒子と宇宙の謎の解明を目指す**。

大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の共同利用研究

〔自然科学研究機構国立天文台〕

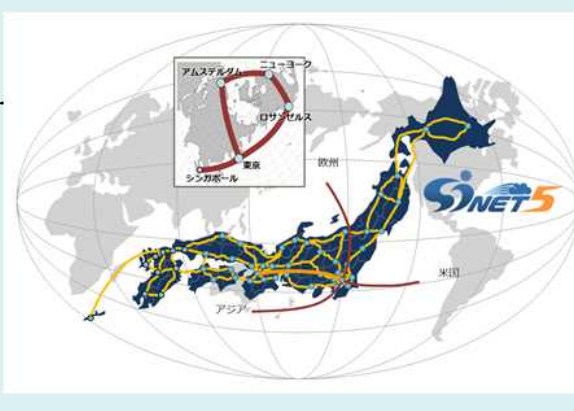
- **銀河誕生時の宇宙の姿を探り、太陽系外の惑星の謎に迫るため**、米国ハワイ州マウナケア山頂域 (標高約4,200m) に建設された**口径8.2mの「すばる望遠鏡」**を運用し、**大学等の研究者による共同利用観測に供して、世界最先端の天文学研究を推進する**。



新しいステージに向けた学術情報ネットワーク

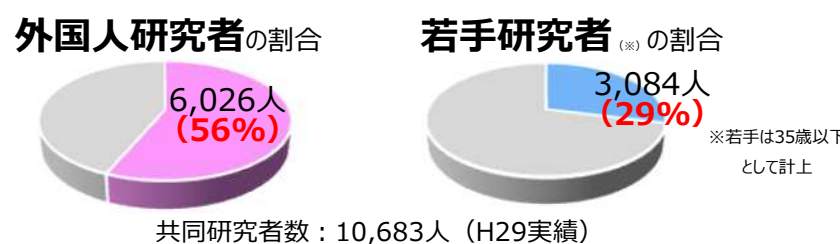
(SINET)整備 〔情報・システム研究機構国立情報学研究所〕

- **国内の大学等を高速通信回線ネットワークで結び、共同研究の基盤を提供**。
- 全国900以上の大学や研究機関、約300万人の研究者・学生が活用する**我が国の研究教育活動に必須の学術情報基盤**。



主な成果 (学術的価値の創出)

- **ノーベル賞受賞につながる画期的研究成果** (受賞歴:H14小柴昌俊氏、H20小林誠氏、益川敏英氏、H27梶田隆章氏)
- **年間約1万人の共同研究者が集結し、国際共同研究を推進**。このうちの**半数以上が外国人研究者、3割程度が若手研究者と割合が高い**。



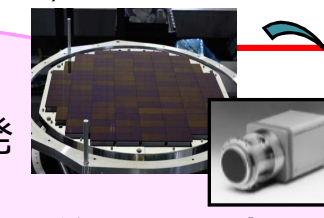
- 天文分野では、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡の**TOP10%論文割合や国際共著論文割合は、分野全体と比較しても高い**。

天文学・宇宙物理学分野	論文数	Top10%割合	国際共著割合
すばる望遠鏡	644	18.5%	86.3%
アルマ望遠鏡	878	27.3%	89.0%
日本全体	8,938	12.9%	68.0%
世界全体	103,445	9.6%	50.6%

※ 大学共同利用機関法人自然科学研究機構「InCites」(Web of Science)に基づき、2013-2017の5か年に出版された天文学・宇宙物理学分野の論文(article, review)を分析(2019年7月)。「日本全体」は、著作住所に日本を含む論文を抽出。

<産業等への波及>

- 産業界と連携した最先端の研究装置開発により、**イノベーションの創出にも貢献** (事例)・【すばる望遠鏡】超高感度カメラ技術→**医療用X線カメラへの応用**



マスタープラン (日本学術会議)

学術全般を展望し、かつ体系化しつつ、各学術分野が必要とする大型研究計画を網羅

重点大型研究計画

(速やかに実施すべき計画) を選択

参考

ロードマップ (文科省 科学技術・学術審議会)

マスタープランを参考に、優先度を明らかにする観点から、特に計画の着手、具体化に向けた緊急性・戦略性が高いと認められる計画を選定

予算要求に当り、ロードマップで高く評価されたプロジェクトについて、主な課題への対応状況を勘案しつつ、**事前評価**

大規模学術フロンティア促進事業等 (文科省)

- 原則10年間の**年次計画**を策定し、専門家等で構成される文科省の**審議会**で**進捗管理**
- 国立大学法人運営費交付金等の基盤的経費によって**長期的に安定に推進**

大規模学術フロンティア促進事業採択プロジェクト

❖ 学術研究唯一の大規模予算

- ▶ 全12プロジェクト総額で年間約350億円

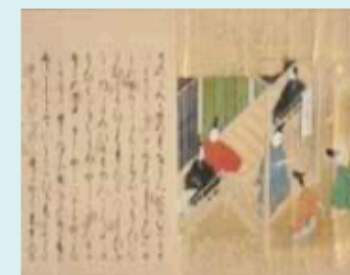
❖ 大学共同利用機関の大型装置はすべて本事業によって支援

❖ プロジェクトの支援は原則10年間の年限

- ▶ **LHD計画**
 - 2013年から2022年まで
- ▶ **次期計画**もこの予算枠での支援を想定
 - MP2023/RM2023に申請

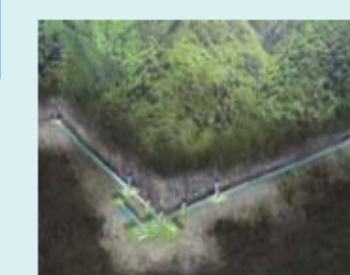
日本語の歴史的典籍の国際共同研究ネットワーク構築計画 (人間文化研究機構国文学研究資料館)

日本語の歴史的典籍30万点を画像データベース化し、新たな異分野融合研究や国際共同研究の発展を目指す。古典籍に基づく過去のオーロラの研究、江戸時代の食文化の研究など他機関や産業界と連携した新たな取組を開始。



大型低温重力波望遠鏡 (KAGRA) 計画 (東京大学宇宙線研究所)

一辺3kmのL字型のレーザー干渉計により重力波を観測し、ブラックホールや未知の天体等の解明を目指すとともに、日米欧による国際ネットワークを構築し、重力波天文学の構築を目指す。



Bファクトリー加速器の高度化による新しい物理法則の探求 (高エネルギー加速器研究機構)

加速器のビーム衝突性能を増強し、宇宙初期の現象を多数再現して「消えた反物質」「暗黒物質の正体」「質量の起源」の解明など新しい物理法則の発見・解明を目指す。前身となる装置では、小林・益川博士の「CP対称性の破れ」理論(2008年ノーベル物理学賞)を証明。



大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の共同利用研究 (自然科学研究機構国立天文台)

米国ハワイ島に建設した口径8.2mの「すばる」望遠鏡により、銀河が誕生した頃の宇宙の姿を探る。約129億光年離れた銀河を発見するなど、多数の観測成果。



「大強度陽子加速器 (J-PARC)」による物質・生命科学及び原子核・素粒子物理学研究の推進 (高エネルギー加速器研究機構)

日本原子力研究開発機構と共同で、世界最大級のビーム強度を持つ陽子加速器施設を運営。ニュートリノなど多様な粒子ビームを用いて基礎研究から応用研究に至る幅広い研究を推進。



大型電波望遠鏡「アルマ」による国際共同利用研究の推進 (自然科学研究機構国立天文台)

日米欧の国際協力によりチリに建設した口径12mと7mの電波望遠鏡からなる「アルマ」により、生命関連物質の探索や惑星・銀河形成過程の解明を目指す。



高輝度大型ハドロン衝突型加速器 (HL-LHC) による素粒子実験 (高エネルギー加速器研究機構)

CERNが設置するLHCについて、陽子の衝突頻度を10倍に向上し、現行のLHCよりも広い質量領域での新粒子探索や暗黒物質の直接生成等を目指す国際共同プロジェクト。日本はLHCにおける国際貢献の実績を活かし、引き続き加速器及び検出器の製造を国際分担。



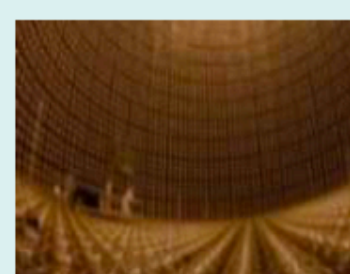
30m光学赤外線望遠鏡 (TMT) 計画の推進 (自然科学研究機構国立天文台)

日米加中印の国際協力により口径30mの「TMT」を米国ハワイに建設し、太陽系外の第2の地球の探査、最初に誕生した星の検出等を目指す。



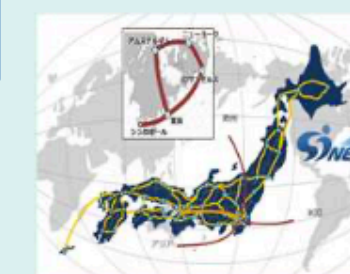
「スーパーカミオカンデ」によるニュートリノ研究の推進 (東京大学宇宙線研究所)

超大型水槽(5万トン)を用いニュートリノを観測し、その性質の解明を目指す。2015年梶田博士はニュートリノの質量の存在を確認した成果によりノーベル物理学賞を受賞。また、2002年小柴博士は、前身となる装置でニュートリノを初検出した成果により同賞を受賞。



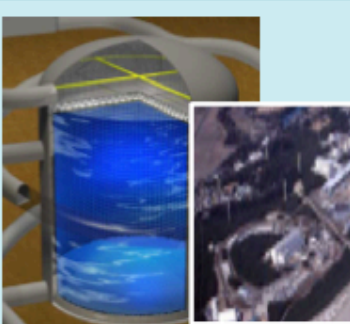
新しいステージに向けた学術情報ネットワーク (SINET) 整備 (情報・システム研究機構国立情報学研究所)

国内の大学等を100Gbpsの高速通信回線ネットワークで結び、共同研究の基盤を提供。国内900以上の大学・研究機関、約300万人の研究者・学生が活用。



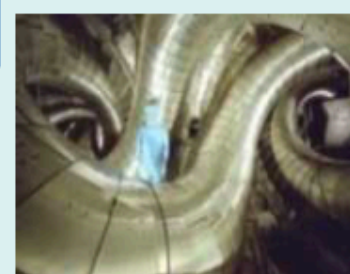
大型先端検出器による核子崩壊・ニュートリノ振動実験 (ハイパーカミオカンデ計画の推進) (東京大学宇宙線研究所、高エネルギー加速器研究機構)

ニュートリノ研究の次世代計画として、超高感度光検出器を備えた総重量26万トンの大型検出器の建設及びJ-PARCの高度化により、ニュートリノの検出性能を著しく向上。素粒子物理学の大統一理論の鍵となる未発見の陽子崩壊探索やCP対称性の破れなどのニュートリノ研究を通じ、新たな物理法則の発見、素粒子と宇宙の謎の解明を目指す。



超高性能プラズマの定常運転の実証 (自然科学研究機構核融合科学研究所)

我が国独自のアイデアによる「大型ヘリカル装置(LHD)」により、高温高密度プラズマの実現と定常運転の実証を目指す。また、将来の核融合炉の実現に必要な学理の探求と体系化を目指す。



**NIFSにおける次期計画検討（2017-）と
コミュニティへの展開（2018-）**

次期計画・将来構想検討委員会（2017年度前期）

❖ 所員からの広い意見収集と類型化

- ▶ LHDの改造をベースとした研究計画
- ▶ 新配位創成を目指した新装置による研究計画
- ▶ LHD型ヘリオトロン磁場配位を改良した高温超伝導・新装置による研究計画
- ▶ 核燃焼実験や核融合以外の研究計画（核融合研では実施が困難な計画，全く新しい展開）

2017年 5月12日	キックオフ（意見収集開始）
2017年 6月 2日	勉強会（LHDの装置状況，文科省の動向）
2017年 6月16日	勉強会（学術研究の大型プロジェクトについて）
2017年 6月22日	勉強会（将来計画検討について）
2017年 6月29日	所員からの意見収集結果紹介
2017年 7月 6日	所員からの意見収集結果紹介
2017年 7月13日	所員からの意見収集結果紹介
2017年 7月20日	所員からの意見収集結果サマリ
2017年 7月29日	勉強会（学術研究の大型プロジェクト～研究計画に関して～）

❖ 検討の留意点

- ▶ 学術研究の大型プロジェクトとして認められる学術研究計画の推進
- ▶ 大学共同利用機関として，共同研究や学生教育への貢献
- ▶ LHDの成果と未解決問題の整理
- ▶ 国内外の研究の進展など，取り巻く状況を考慮

❖ 所長への中間報告と重点検討グループの決定（2017年10月31日）

1. LHD改造計画検討グループ
2. 新配位創成検討グループ
3. 連続巻・高温超伝導検討グループ

次期計画・将来構想検討委員会（2017年度後期）

❖ 3つの検討グループによる検討活動

- ▶ 検討グループ中間報告会（2018年1月12日）
- ▶ 検討グループ中間報告への意見公募（～2018年2月16日）
- ▶ 検討グループ最終報告会（2018年3月14日）
 1. **LHD改造計画検討グループ**：核融合炉クリティカル課題解決のためのLHD高度化計画
 2. **新配位創成検討グループ**：先進的三次元ヘリカル磁場によるプラズマ閉じ込めの新開拓
 3. **連続巻・HTS検討グループ**：核融合炉の実現を加速する高温超伝導強磁場LHD改良型ヘリオトロン装置を用いた定常プラズマのエネルギー・物質循環研究
 4. **連続巻・HTS検討グループ**：高温超伝導ヘリカル装置による高核融合三重積プラズマの1年間定常保持

発表資料、報告書等を公開しています。

<https://www-col.nifs.ac.jp/info/post-LHD/archives.html>

❖ 最終報告書（2018年4月12日）

- ▶ 4つの計画案の魅力や実行可能性を総合的に判断すると、いずれの計画も長所と短所を併せ持っており、次期計画としては**主計画に加えて、所外研究機関との共同研究を含む副計画も考えて統合的に実施することが望ましい**
 - **LHDの改造計画**は、LHDの重水素実験期間内で速やかに実施できるように調整
 - **【提案A】** 高温超伝導マグネットの小型ヘリオトロン装置による研究を主計画とする案
 - **【提案B】** 超伝導マグネットの最適化配位装置による研究を主計画とする案

次期計画・将来構想検討委員会（最終報告後）

❖ 最終報告書や議論の内容等を勘案して、所長が次期計画の基本方針に関する研究所の提案内容を決定（2018年4月27日）

- ▶ 『定常核融合炉の実現を加速するために極めて重要な工学的な課題及び物理的な課題を解決するために、

「高温超伝導コイルによるヘリカル型装置の製作と定常プラズマを用いた理工学試験」

「新配位創成を目指した最適化ヘリカル型装置による研究」

を同時にかつ相補的に行うこと』を次期計画の基本方針として提案

❖ 留意点

- ▶ LHDの成果に基づき、プラズマ閉じ込め装置を用いた研究を中心に議論したが、次期計画とともに工学研究や理論研究の継続的な実施が必須
- ▶ 次期計画は、核融合研究者コミュニティの合意の下で進めるものであり、今後の次期計画検討は、コミュニティの意見を反映してより良い計画に発展させるための枠組みが必要

コミュニティへの展開（2018～2019）

❖ 運営会議の下に，次期計画検討委員会の設置（2018年6月15日）

- ▶ 所外委員とプラズマ分野，工学分野の専門委員から構成
- ▶ コミュニティの意見の集約と反映

❖ コミュニティへの展開

- | | |
|------------------------------|--------------|
| ▶ 運営会議 次期計画検討準備委員会 | 2018年 7月20日 |
| ▶ 第1回 拡大核融合ネットワーク会合 | 2018年 8月 6日 |
| ▶ 運営会議 次期計画検討委員会（第1回） | 2018年 9月18日 |
| ▶ 第2回 拡大核融合ネットワーク会合 | 2018年 10月 2日 |
| ▶ 運営会議 次期計画検討委員会（第2回） | 2018年 10月15日 |
| ▶ プラズマ・核融合学会年会 シンポジウム | 2018年 12月 6日 |
| ▶ 運営会議 次期計画検討委員会（第3回） | 2018年 12月18日 |
| ▶ 第3回 拡大核融合ネットワーク会合 | 2018年 12月26日 |
| ▶ プロジェクト成果報告会での報告 | 2019年 6月12日 |
| ▶ 運営会議 次期計画検討委員会（第4回） | 2019年 9月19日 |
| ▶ プラズマ・核融合学会年会 インフォーマルミーティング | 2019年 11月29日 |
| ▶ プロジェクト成果報告会での報告 | 2020年 5月20日 |

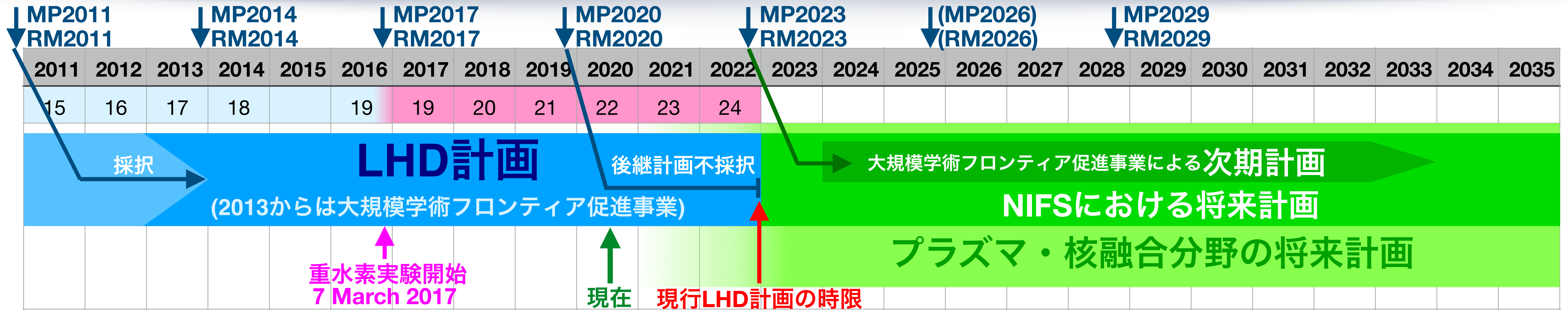
次期計画検討チームによる活動（2019年後期～）

1. コミュニティ全体の意見を反映した計画づくりのための準備

- ▶ Fusion2030研究会

2. NIFSの研究活動からの展開としての次期計画検討

プラズマ・核融合分野の将来計画



❖ 複数の研究プロジェクトによる強い研究基盤の構築

- ▶ プラズマ・核融合分野の将来計画
- ▶ NIFSにおける将来計画

- 研究課題に応じた複数の研究計画

- 大規模学術フロンティア促進事業予算の獲得を目指した研究計画 **(次期計画)**
- 多機関を結びつけて展開することが必要なプロジェクト (多様な規模・予算枠)
- 大学の研究と連携したプロジェクト
- 開発研究と連携したプロジェクト

次期計画検討の観点

❖ 大規模学術フロンティア促進事業による予算獲得を目指す

⇒ 学術研究としての評価を受ける

- ▶ 未解明の現象や問題点を解明・解決し，それらを体系化して新しい研究展開を生むための実験研究を行う

❖ 大規模な開発研究（ITER計画，BA活動/JT-60SA）と並行して行う大型の学術研究の必要性を示す

- ▶ 核融合開発に寄与できる**基礎的な知見（ブレイクスルー）**を得ることを目的
- ▶ **核融合以外の分野とも連携**できる研究課題
- ▶ 短めのターンアラウンドの研究展開

❖ プラズマ・核融合分野での人材育成に寄与

- ▶ 学生やポスドクが積極的に研究に関わることができる実験規模

次期計画検討委員会による勧告

次期計画検討の進め方

❖ 次期計画検討委員会（第4回） / 2019年9月19日

▶ 次期計画の決定プロセスについて

- 次期計画検討委員会が、コミュニティの意見を求めたり、コンセンサスを取りながら次期計画の方向性を決定

▶ 今後の検討の進め方

- 研究テーマ策定

- 核融合研の**共同研究の枠組み**（Fusion2030研究会）を利用して、**コミュニティ全体の意見反映**

- 研究計画策定・装置検討

- 核融合研に設置した**次期計画検討WG**により、**研究テーマを反映した研究計画の策定**と、それを実現する装置検討

- 研究計画検討の推進

- **次期計画検討委員会**（コミュニティの代表者）による**計画の推進（レビューと承認）**

Fusion2030研究会

❖ 核融合研究は複合科学

▶ 学術研究（科学研究，工学研究）と開発研究の同時展開

- 核融合研究は、開発目標へ向けた知の総合と、未解決問題を科学的・技術的課題へ還元し学術の地平へ散種してゆくことの双方向性、すなわち「知の循環」を必要としている。 ～『核融合を発展させる学術研究のあり方(アピール)』JSPF 2017～

▶ プラズマ・核融合分野の学術研究全体の将来展望

- 次期計画のみでは、プラズマ・核融合分野の研究課題すべてをカバーできない
- 多くの学術課題を俯瞰して、複数の研究計画を相補的に推進

❖ Fusion2030研究会による将来展望

▶ 10月以降のWG活動に期待

- 多くの研究者の参加，多くの研究課題の列挙
- 核融合エネルギーの実現に加え，他分野への展開や新分野の創成も視野

次期計画検討WG（来年度以降）

❖ NIFS内に設置する所内外のメンバーからなるWG

- ▶ コミュニティの将来展望（Fusion2030研究会サイエンスチャート）を反映した研究計画の策定と、それを実現する装置検討
 - 方針は今後の議論
- ▶ 来年度には設置
 - 学術会議MP2023／文科省RM2023への申請を視野

次期計画検討チームによる活動（2019年後期～）

1. コミュニティ全体の意見を反映した計画づくりのための準備

- ▶ Fusion2030研究会

2. NIFSの研究活動からの展開としての次期計画検討

- ▶ 次期計画・将来構想検討委員会での検討，所長方針，コミュニティへの展開を経て，
『**先進的な物理・工学特性の最適化によって高いプラズマ閉じ込め特性を実現し，自己点火核融合炉を想定し得る炉心プラズマを探求する学術研究を展開**』
を目指し，フロントローディングになるような準備研究を実施

共通性の高い研究
課題設定に修正

1. 閉じ込め磁場配位創成研究

- 非線形性や構造形成を組み入れた最適化因子やモデル・数値探索手法などの構築により、新たな3次元磁場配位の創成研究を推進

2. 高温超伝導導体開発研究

- 大型の高磁場マグネットに適用可能な高温超伝導導体の要素研究を推進

3. 大型ヘリカル装置（LHD）計画による理論モデルの検証研究