 <p>写真:核融合科学研究所提供</p>	レポート NIFS 核融合研究所 見学記 その1 概要 SCE・Net 郷 茂夫 (見学申請代表者)	R-99 発行日： 2024 年 10 月 9 日
	出典：2)-(1) 学術研究基盤 LHD 計画 / 核融合科学研究所 (nifs.ac.jp) 無断転用を禁ずる。	

(左上のイラストは、ヘリカル型フュージョン炉の一部の写真で、大蛇のようにねじれ曲がったものが核融合反応炉内部の超伝導コイル収納管です。この大蛇様のコイルの間を縫って、一億度のプラズマが生成し、磁力で閉じ込められます(この写真では見えない)。これは岐阜県土岐市にある「核融合科学研究所」の核融合大型実験装置 LHD です。)

見学先、日時、訪問場所、見学参加者：

- (1) 見学先：自然科学研究機構 核融合科学研究所 (以降、英名より”NIFS”と略称する)
 英名； National Institute for Fusion Science
 住所： 〒 509-5292 岐阜県土岐市下石町 322-6
- (2) 日時：2024 年 9 月 5 日 (木) 13:40~16:30
- (3) 場所： なお、図 1-1 に研究所構内図を示す。
 JR 中央線 多治見駅より、バスで東に 15 分、小高い丘陵上地域の広い自然環境の中に建設されている。核融合施設と言う名では市街地の近くには建設することは困難。
- (4) 見学参加者：11 名、全員 SCE-Net 会員、
 氏名；鹿子島 達志，原戸 卓雄，西村 二郎，山田 知純，戸井田 良晴，紫垣 由城，堀中 新一，河副 定次，横堀 仁，郷 茂夫 (見学申請代表者)，他 1 名。
- (5) 今回の見学は、全工程を通じて、高畑一也教授 (NIFS, 超伝導応用物理研究部門) に案内いただいた。なお、教授には SCE-Net 公開講座の講師も引き受けていただいている。

NIFS 見学記／「窓」投稿の分割作成について：

今回の NIFS 見学の全ての見学内容を見学順に記述すると、テーマの順不同や難易度による追加解説等で、相当長いボリュームになるので、以下のようにします。

その 1： 概要。

その 2： 感想記。

上記以外の見学内容と質疑応答の核融合技術面の詳細記録は、筆者が窓に連載している「核融合の手引き」の中で、後日、前提的技術解説も含めて投稿します。

使用用語の注釈；核融合 (炉)，フュージョン (炉)，Fusion，u 炉 は同じ意味で使う。

1. NIFS 沿革と研究組織、現状の研究開発範囲

1-1. 沿革 ¹⁾

- 1986 年 2 月 (昭和 61 年) 学術審議会特定研究領域推進分科会核融合部会「大学における今後の核融合研究について」報告……………大型ヘリカル装置建設(岐阜県土岐市に建設)、推進母体として新たな大学共同利用機関の設立。
- 1988 年 3 月 (昭和 63 年) 核融合研究所の組織及び次期大型ヘリカル装置計画の概要策定。
- 1995 年 8 月 (平成 7 年) 大型ヘリカル実験棟竣工。
- 1997 年 12 月 (平成 9 年) 大型ヘリカル装置 LHD 完成、建設期間は、全工程で 8 年を要した。
- 1998 年 4 月 (平成 10 年) LHD 実験開始。
- 2004 年 4 月 (平成 16 年) 大学共同利用機関法人「自然科学研究機構」発足、研究所として

再編し、国立大学法人総合研究大学院大学設立、
 2017年3月(平成29年) LHD 重水素実験開始。
 2022年12月(令和4年) LHD 重水素実験終了。
 2023年4月(令和5年) 研究組織等を改編、ユニット体制移行。
 現在(2024年) LHDはミッションを学際的研究に転換し、学術研究基盤として運用開始。

1-2. 大学の参画経緯

大学としては、当初1986年は名大,京大,広島大の各センターが合併して研究所を設立した。

1-3. 現状の研究開発範囲¹⁾

- 核融合エネルギーを利用できる形で実現するために必要となる**プラズマ物理**をはじめ、**ミクロな量子プロセスや材料科学、装置を構成する機器の工学技術**まで、様々な研究課題に取り組んでいる。
- 核融合科学学際連携センターは、核融合科学の学際化・学際連携、開発研究との連携、産学官連携による核融合技術の社会実装を推進するために設置された。**大学や開発研究機関、産業界との共同研究を先導・支援する**総合拠点として、三つの学際的新領域とユニット群をつなぎ、既存分野の枠を超えた挑戦的・学際的な共同研究を展開する。

2. 要員と組織

2-1. 要員

高畑先生のご説明では、
 当研究所の要員は、
 所長以下、研究員：100名、
 技術者：50名、
 学生：50名、
 他に事務職員がいる。

2-2. 予算：2024年度予算額（運営費交付金）：70億円

→（筆者メモ）なんと少ないことか、政府,文科省は正当な評価をしているのか、情けない。

研究所構内図

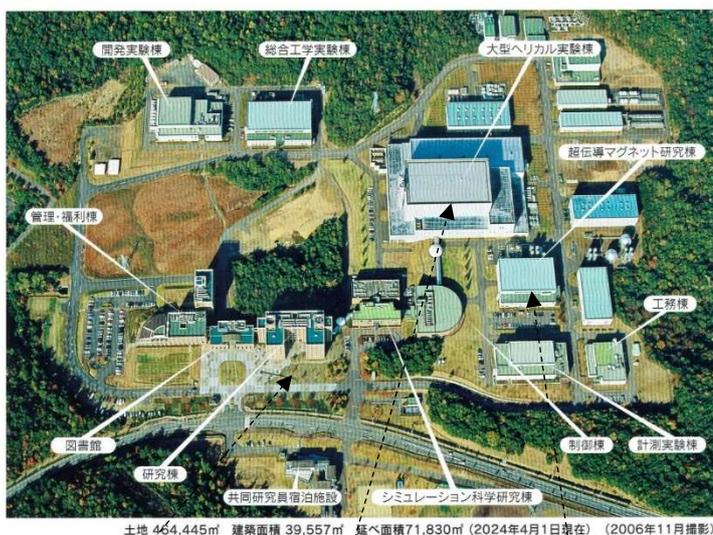


図 1-1. 出典：1), 玄関,研究棟, LHD 収納実験棟, 超電導研究棟
 土地 464,445m², 建築面積 39,557m², 延べ面積 71,830m² (2024年4月1日現在)

2-3. 組織（ユニット体制とプラットフォーム¹⁾

NIFSの組織は、所長の下に、研究部、技術部（機械、電気・電子、計測、制御）と管理部（事務部）がある。メインの研究部は、機能的にユニットとプラットフォームに分かれる。**ユニット**とは；研究所の課題を10のユニットの研究テーマの集合体として再定義し、2023年度から、ユニット体制による新しい組織に生まれ変わったもの。**プラットフォーム**は、ユニットが実施する共同研究の基盤となる様々な研究装置群のこと。NIFSが所有するプラットフォームは下記の三つの部門によって運営されている。

- (1) 大型ヘリカル装置(LHD)部門、ここは周辺重要装置 ①加熱装置、②冷却装置、③真空排気装置、等の付属機器を含む。
- (2) 計算機部門；プラズマシミュレータ、データ解析、など。
- (3) 工学系施設専門部門：装置の管理と運用。

3. 核融合実験施設，設備の概略

ヘリカル大型装置 LHD は現在休止中である。

3-1. 収容建屋

ヘリカル LHD（ご本尊と呼ぶ）装置が設置されている建屋の説明；

100m×100m×50mH の巨大な建屋，奈良の大仏殿より大きい。

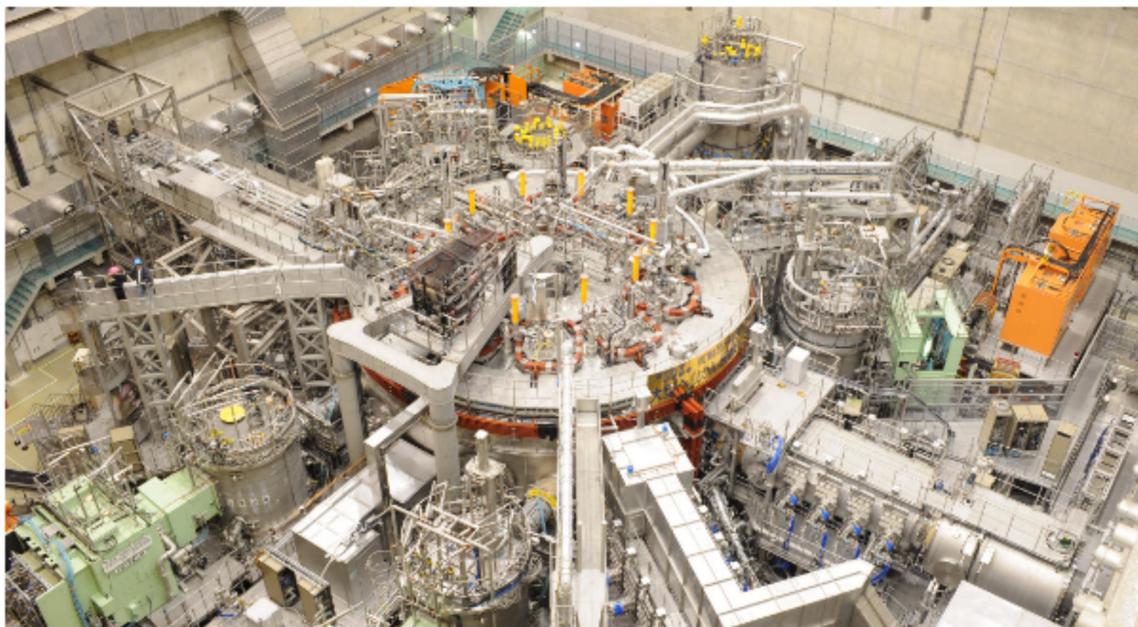
建屋の入口ドア（多分，大きな機械などの搬入用）コンクリ 2mの厚み，756ton もある。

建設以来，今まで **20 回**くらいしか開けたことがない。

建屋の壁はコンクリ製，2メートルある。その厚さの設計は，高エネルギー中性子遮蔽のため（実際はそんな厚さは必要ないと言われた）。

3-2. 見学した実験施設，設備（モデルでの説明も含む）

◎ このセクションが，先生の説明と質疑応答が最も多かったところであり，LHD 本隊構造，部品構造・機能，核融合反応のメカニズム，磁力線的作用，将来性等のテーマごとにかかなりレベルの高い話があったが，その詳細記録は「核融合の手引き」に載せる。



LHDの実験室内部（中心の丸い部分がLHD本体）

図 1-2. LHD の実験室内部（全景） 出典：2)-(2)

- **LHD 本体**（図 I-3 に示す）の上部より覗いて，真空容器内部が見えた，現在，内部清掃の作業員 10 名ほどが反応器の真空容器の中で作業中。

<以下が，大型ヘリカル装置の基本性能を表す。>

学術研究基盤 LHD 装置パラメータ； 出典：1)

装置の外径； 13.5m， 高さ； 9.1m， 総重量:1,500ton

プラズマの大半径； 3.9m， 小半径； 0.6m， **プラズマ体積： 30 m³**

磁場強度：**3 T テスラ**，(3 万ガウス)

給加熱電力:36 MW (3 万 6000 キロワット)

プラズマパラメータ； 出典：1)

最高イオン温度:10keV (1 億 2000 万℃)

最高電子温度:20keV (2 億 3000 万℃)

最大到達密度:1.2×10²¹ m³ (1 立方 cm 当たり 1200 兆個)

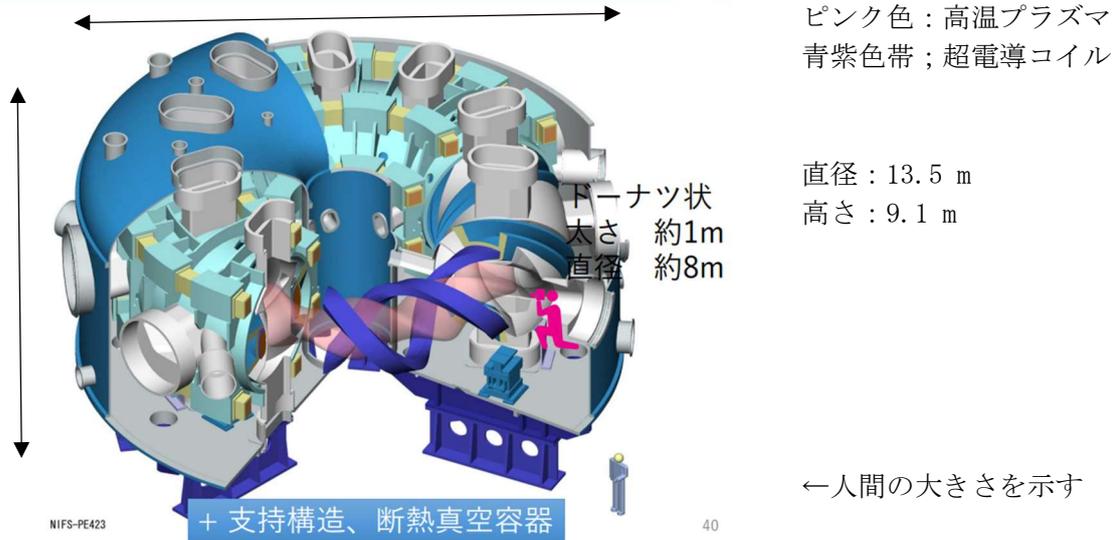


図 1-3. LHD 本体の断面モデル／輪切りにしたもの 出典；2)-(3)

<他の見学設備>

- オレンジ色の設備；超高压電源装置，非常に大きな超絶縁ガイシの基礎あり，
 - 緑色の箱型設備；+／-の電位差を掛ける，直線加速器の電位差装置，
 - 高周波加熱器の導入配管，発生装置は別室にある，
 - 超高温度測定システム，
 - 高真空ポンプ，
 - ブランケット（反応器内壁に張り詰める高速中性子吸収材），
 - ダイバータ（生成物ヘリウム【灰】を系外に排出する装置），
 - 液体 He 冷却装置；超電導コイル冷却用，
- その他，多くの機器を見学した。

4. 超伝導模型電車の見学(オプション)

メインの見学の終了後，オプションの超電導実験を見学した（高畑先生の解説）．
初め，簡単な小中学生向けの実験かなと思ったが，新たな知見も得て，面白かった．
普通の常強磁性の鉄ネオジム製磁石の線路，数メートルの周回レール，
電車：高温超電導体材料の板を底部に張り付けた発泡スチロール製の電車．
冷却は，液体窒素で行う（ $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），電車をレールの上に置き，しゃもじで液体窒素を電車の小さな箱の中の流し込む，液体窒素に長く漬けて冷却しているわけではない．
その電車を，手で軽く押すと，電車は，レール上で**一定の距離で浮いたまま**，慣性でずっと走り続ける，空気抵抗が無ければ，永久的に周回運動をする．
次に，レールからかなり離れたテーブルの上で，電車を冷却する，そして，その電車をレールの上に乗せようとする，電車はレールから飛び跳ねて逃げてしまう（乗らない）．
（参考；超伝導は，ピン止め効果によって**記憶した磁場が変化するのが嫌う**．だから，磁石が近づいてきたら，記憶した磁場が変化しないようにするために，超伝導体は磁石から離れていく．超伝導は反磁性を持つが，これは**ピン止め効果**によるものである．出典 4）

5. フュージョン開発の世界の動向 および ITER 建設延期について

フュージョン開発は，世界では優に 50 例を越えると言われるが，過半はあまり見込

みのない構想の打ち上げという面もある。もちろん、独自の先進的な考え方で、プロジェクトを進めているものもあり、高畑先生は、海外での核融合開発例とし、以下のような4つくらい有力な例を挙げていた。

ただ、「2030年代に実現する」などというような見通しにはコメントは出来ないとのこと。
(筆者メモ；「核融合が出来る」と言うことが何を指しているかわからないが、多方面で消費される商用電力供給と言うことであれば、そんな年代に可能になるとは思われない。)

- (1) **トカマク・エナジー** (Tokamak Energy Ltd, 英国プロジェクト)
イギリスの核融合ベンチャー、トカマク・エナジー
トカマク型, 20 万 kW、想定。
- (2) **コモンウェルス・フュージョン・システムズ** (Commonwealth Fusion Systems, Cambridge, アメリカ), 核融合関係研究開発企業。
トカマク型, そういう意味ではイーターと同じ。
2023 年代に核融合発電を実現させるという。目標電力発生量 ; 20~100 万 k w
高温超電導技術採用 50 テスラでも消えない。
テスラ ; 磁力線強度 2 倍 → 反応器はずっと小さくなる :
しかし、トカマクを製造する技術は無く、日本メーカーと共同研究となっている。
特に、**高温超伝導**は、装置もコストも小さくなる。しかし、日本メーカーしか出来ない。
- (3) **TAE テクノロジーズ** (TAE, カリフォルニア州、アメリカ)
第 4 世代核融合反応 : $p + 11B \rightarrow 3 \alpha$ (He)
反応器型式 : 直線型、超伝導は使っていない。
NIFS と共同研究をしている、
(ニュース補足 ; 2023/3 NIFS と米国の核融合スタートアップ「TAE テクノロジーズ」は共同で、軽水素とホウ素による核融合実験に世界で初めて成功した。D-T 核融合に比べて反応条件は厳しいが、放射線である中性子が発生しない点で優れる。)
- (4) **Helical Fusion**、ヘリカル・フュージョン社 (日本の会社)
型式:ヘリカル、株式会社 Helical Fusion。
NIFS と Helical Fusion、世界初となる商用核融合炉の早期実用化に向け「HF 共同研究グループ」および専用実験スペースを設置。
核融合炉の定常稼働に最適なヘリカル式で、両社の連携を深化するという。
- (5) **ITER 建設延期について**
すでに公表されているように、フランス南部で建設中のトカマク型核融合装置(非常に大型の試験機だが、DT 核融合反応は行いが発電はやらない)は、韓国製の部品不良(溶接のクラック)に起因して、プロジェクトの建設は9年延期するという。ITER は日、仏はじめ世界の 35 ヶ国の共同プロジェクトで、各国に部品の製作を分担して、**物納された部品を組み立てる**という。
ITER を構成するこれらの重要部品には、日本でしか作れないものが多くある、それを技術力の弱い低技術力国にも分担させている。物納された部品は、守秘義務があり、分解できず、中身がわからない状況という。ITER 計画の進展に影がさしている。

6. NIFS の今後の計画

NIFS のヘリカル装置は、1998 年に完成、稼働開始してきた。しかし、2025 年をもって、NIFS の LHD 試験研究開発は終了となる。

世界での、ヘリカル型核融合装置は、ドイツの MaxPlanck 研究所にもあり、2015 年稼働開始した。MaxPlanck のヘリカル(w7-x)³⁾ は、径 10m クラスの LHD と同程度のサイズである。コイルの巻き方や形状など、一見見た目には、非常に複雑で奇異な印象を受けるが、ドイツ人らしく、コンピュータで綿密な設計をしている。

NIFS の LHD は対称形であるが、プラズマが一部逃げる部分があり、三次元的に、コイルを上下にずらすことによりプラズマを逃げにくくしたいと考えている。
現状では、MaxPlanck のヘリカルの方が、性能はやや優れているという。

NIFS は、新しい装置を再設計しており、数年後建設する、というより発展させた計画を持っている。新しい装置は、今の LHD の横に建設するという。

<記念写真>



参加者 11 名の記念写真；左端が高畑先生。

文献；

- 1)  2024 年 10 月 3 日付許可証，提供元；核融合科学研究所。
この中に，使用許可された，多数の図表，文字文章ページが URL として含まれている。
【許可書】3-04_核融合科学研究所画像
- 2)  2024 年 6 月 28 日付許可証，提供元；核融合科学研究所。
この中に，使用許可された，多数の図表，文字文章ページが含まれている。その中から，重要な文献を，付属番号を付けて表示する。
資料使用許可書
byNIFS_20240628
(1) LHD のプラズマ真空容器内部，(2) LHD の実験室内部，
(3) LHD 本体の断面モデル。
- 3) [ヴェンデルシュタイン 7-x \(w7-x\) - 検索 画像 \(bing.com\)](#)
独，MaxPlanck，新型核融合炉「ヴェンデルシュタイン 7-X」
- 4) [超伝導とは一なぜ超伝導体は磁石で浮くのか \(butsurimemo.com\)](#)
ピン止め効果の解説

見学記 その 1 以上