

核融合科学技術委員会(第1回)
平成27年3月26日

核融合科学研究所 学術研究の現状と今後 ～定常ヘリカル型核融合炉の実現へ向けて～

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
竹入康彦

核融合科学研究所
National Institute for Fusion Science



核融合科学研究所の研究計画

核融合科学研究所の目標

LHD計画、理論・シミュレーション研究を両輪として、定常ヘリカル型核融合炉に必要な理学・工学にかかる学理を探求し、学術研究の体系化を図る



大学共同利用機関として、また、核融合研究の中核機関として、大学等との共同研究を軸に学術研究、科学技術、人材育成・教育を牽引

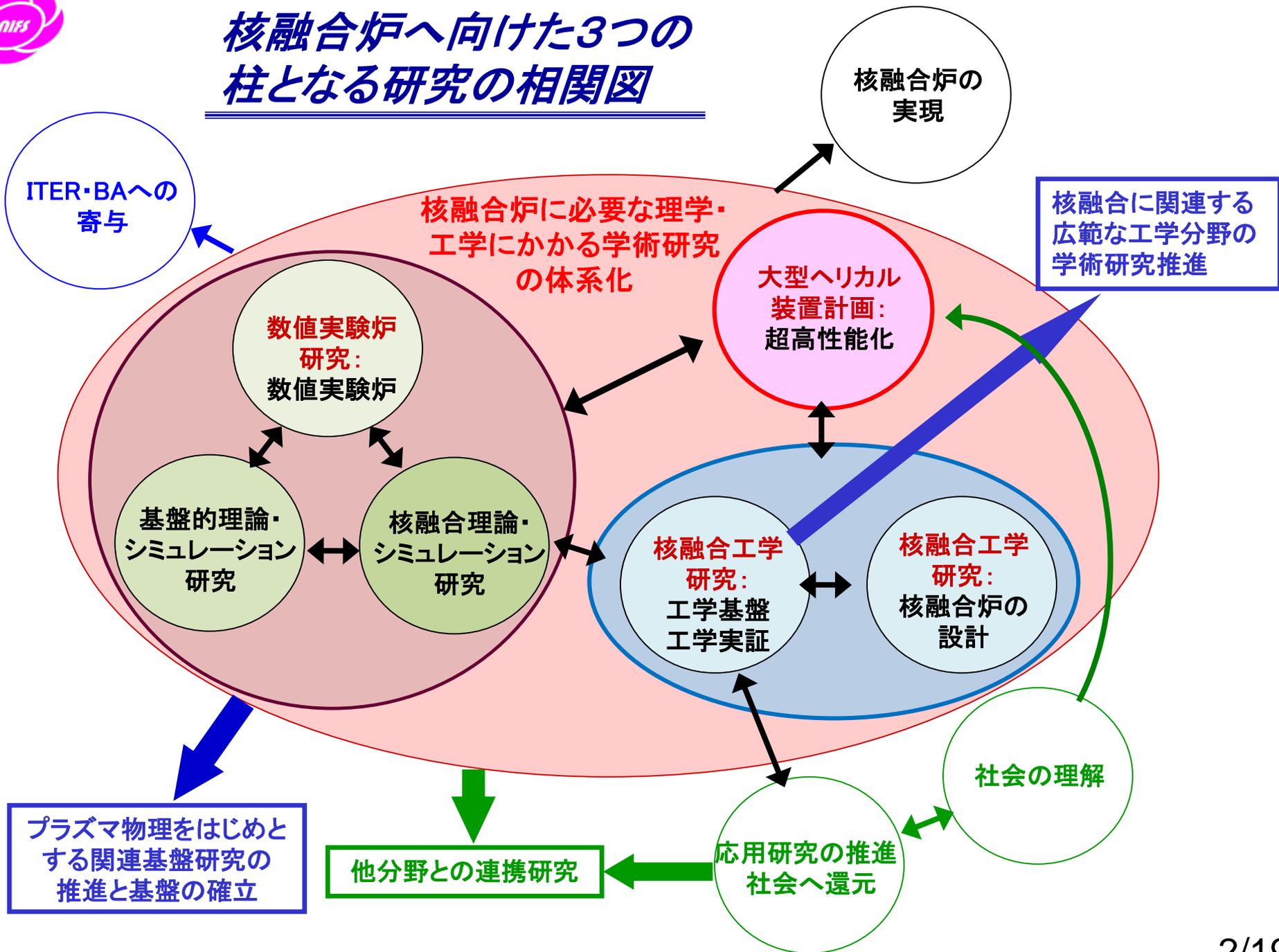
第2期中期計画(平成22～27年度)

- ・将来の核融合による大規模電力供給の実用化を目指し、大型ヘリカル装置計画、数値実験炉研究、核融合工学研究を3つの柱として、核融合炉に必要な理学・工学を探求し、学術研究として体系化を図り、25～30年後に核融合炉の実現を目指す
- ・大学共同利用機関として、また、核融合研究の中核機関として、大学等との共同研究を中心に、人材育成・教育を牽引する



3つの柱を研究プロジェクト化

核融合炉へ向けた3つの柱となる研究の相関図

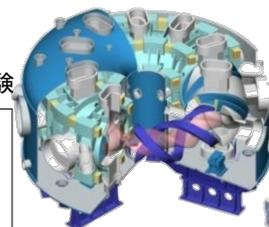


背景・課題

- 大学共同利用機関である核融合科学研究所では、我が国独自のアイデアに基づくヘリカル方式の超伝導コイルを有する大型ヘリカル装置を用いて、将来の核融合炉に不可欠な、超高性能プラズマの定常運転の実証研究を大学等と共同して推進
- ITERが採用しているトカマク方式では、定常運転と安定な制御が未解決の課題
- 将来の核融合炉の早期実現に必要な学理の探求とその体系化を図るため、プラズマの定常性に優れた大型ヘリカル装置による研究を進めて、環状プラズマの総合的理解や体系化を図ることが必須

大型ヘリカル装置(LHD)
世界最大の定常型実験装置
平成2~9年度 建設8年計画
平成10年4月 本格実験開始
17年間で13万回のプラズマ実験

装置本体の外径	13.5m
プラズマの直径	約8m
プラズマの太さ	約1.2m
プラズマの体積	30m ³
磁場強度	約3万ガウス

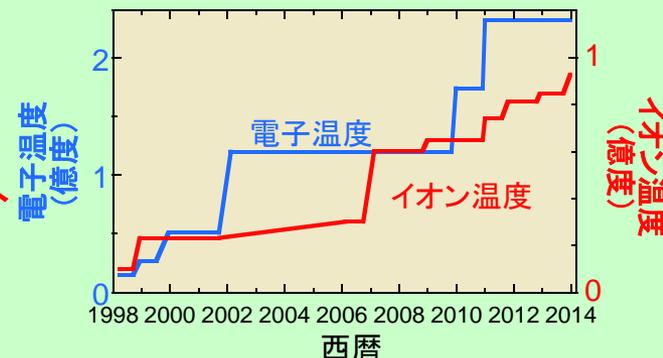


目標に向かっての現況

1) 核融合炉炉心プラズマを見通せる超高性能プラズマの実現へ

プラズマイオンの温度(1億2千万度)

イオン温度 → 9,400万度(密度10兆個/cc)を達成(H25) → 最終目標1億2000万度へ
 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) } → より高い密度で1億度以上へ



2) プラズマと磁場との高い圧力比 (ベータ値) 実現

経済的な核融合炉に必要なベータ値5%以上(磁場 0.425テスラ)を達成 → より高い磁場(1テスラ以上)での達成へ

3) 高性能プラズマの生成及び長時間のプラズマ放電保持

約1時間のプラズマ(1,200万度)の保持を達成 → 2,300万度を48分定常保持(H25) → より高温(数千万度)での1時間定常保持へ

4) 環状プラズマの総合的理解とプラズマ物理の体系化

- ブレークスルーとなる発見: 不純物の自動排出機構、不安定性の自己安定化、良好な粒子閉じ込めと高い安定性の両立、核融合条件の10倍以上となる超高密度プラズマ、等の革新的発見と体系的理解

- トカマク方式を含む環状プラズマの総合的理解 → データベースの構築と高温プラズマに関する学術研究基盤の提供



LHDのプラズマ性能の進展

大型ヘリカル装置最終目標の8合目に至る

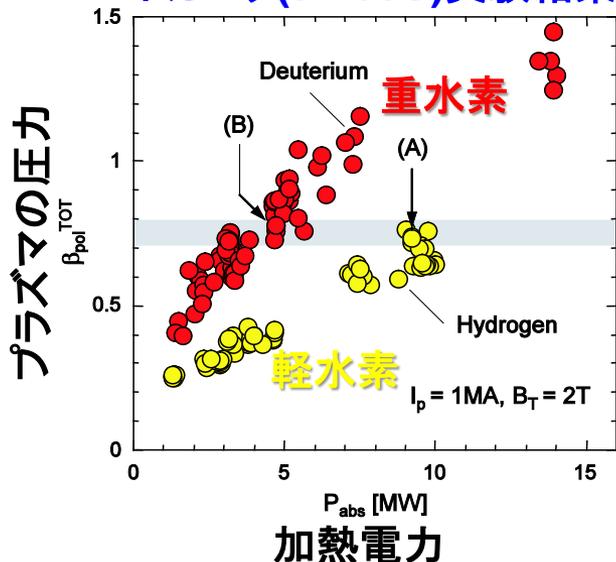
赤字は平成26年度達成

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
電子温度	2億3,000万度 (密度2兆個/cc) 1億2,000万度 (密度16兆個/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) 4.1% (磁場 1 T)	5% (磁場 1-2 T)	5%以上 (磁場 5 T以上)
定常運転	54分 (500kW) 48分 (1,200kW)	1時間 (3,000kW)	定常(1年)

～大型ヘリカル装置は目標に向かって新たなステージへ～ LHD重水素実験(H28～H36)の目的と意義

- 閉じ込め改善による高性能化を実現
 - ➔ 核融合条件により近いプラズマの研究を可能とする
 - ➔ 新たな研究領域の開拓や実験の多様性を拡大すること
- 閉じ込め物理の同位体効果を研究
 - ➔ DT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
- ヘリカル系の高エネルギーイオンの閉じ込め性能が核燃焼プラズマを展望できることを示すこと

トカマク(JT-60U)実験結果



世界的なインパクトを持つ、先駆的研究を展開

重水素を用いると、閉じ込め性能が向上することが広く実験で認められている

- ➔ なぜか、物理機構は未解明
- ➔ LHDを用いて、学術的に解明
- ➔ プラズマ物理学としても、核融合炉設計にも極めて重要な価値

平成27年度、28年度のLHD研究計画

【現状】

- ・水素で実験
- ・イオン温度9,400万度(密度10兆個/cc)、電子温度1億2,000万度(密度16兆個/cc)達成
- ・重水素実験にかかる協定等の地元自治体との締結を受け、実験準備に着手、整備中

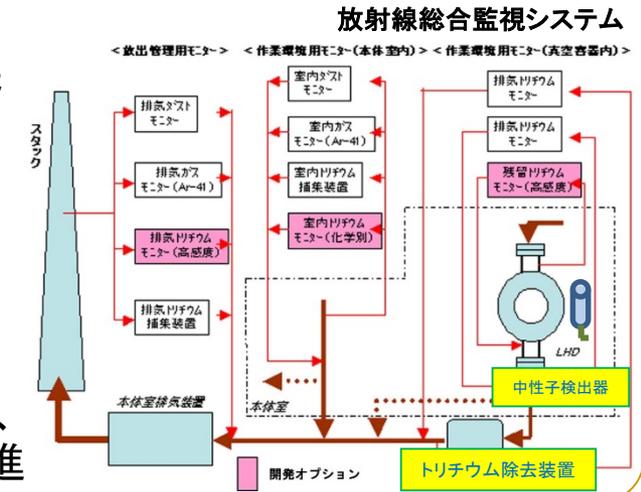
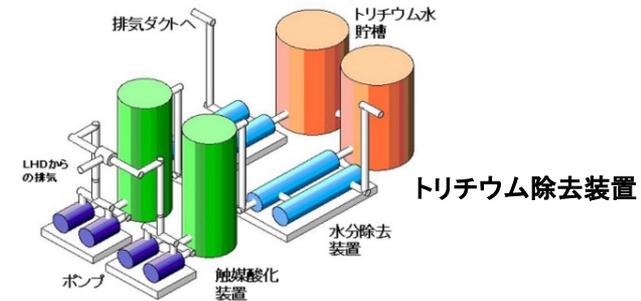


【今後】

◆研究計画: 格段のプラズマ性能の向上が期待され、学術的価値を高めることができる重水素実験の準備を完了し、開始する

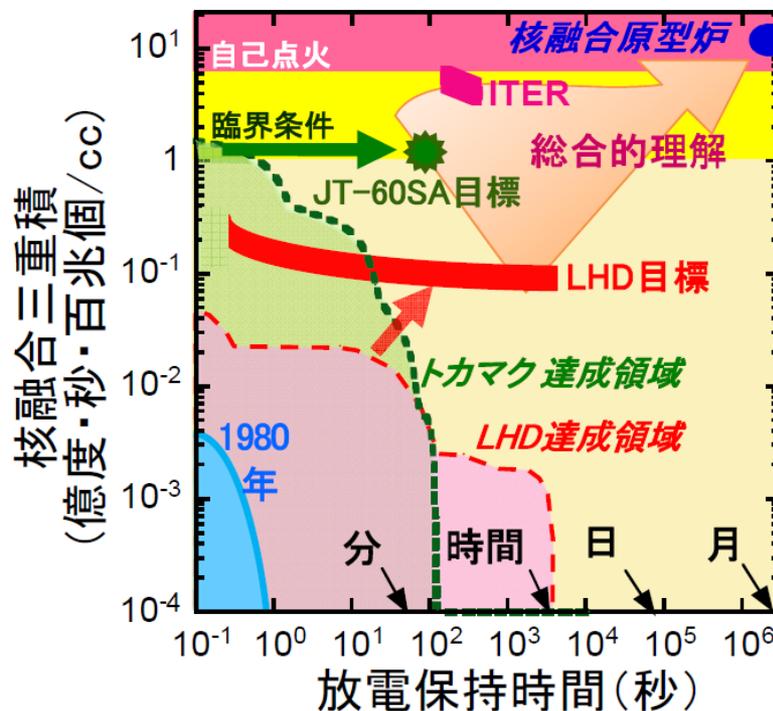
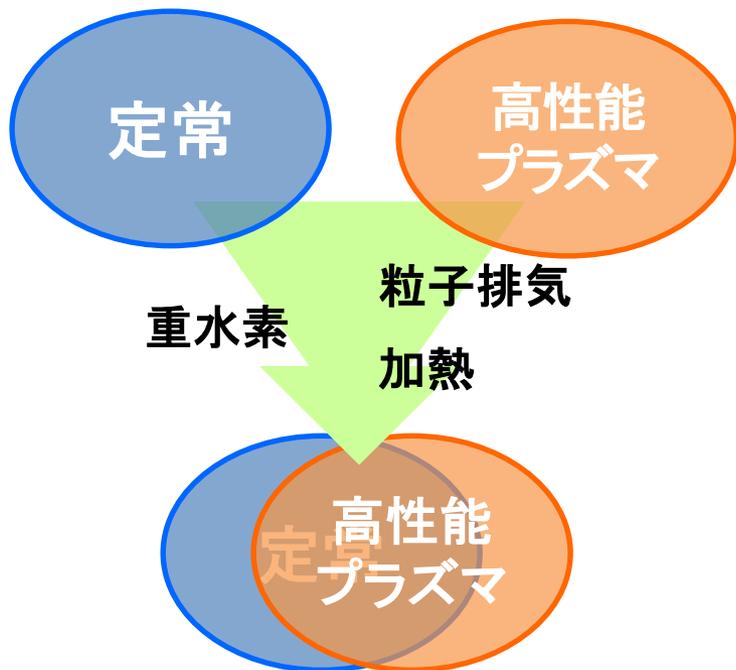
- ・重水素実験を平成28年度末から開始するために必要な設備と機器及び放射線管理区域等の整備を完了し、水素を用いた実験により、その機能を十分に確認すなわち、
 - ・整備を進めているトリチウム除去装置の機能確認
 - ・監視・停止を司る放射線総合監視システム等、安全確保に必須の設備の設計・製作と機能確認
 - ・加熱機器の増強整備と、その動作と保全確認
- これらに並行して、
 - ・安全な実験の遂行に万全を期すための、監視体制、異常・災害時の対応訓練、安全文化の醸成を徹底

これらの準備と並行して、水素によるプラズマ実験を実施し、比較参照データの精密化や物理予測モデルの高度化を推進



原型炉工学設計活動に向けたLHDの役割

-LHDは2019年まで日本における唯一の大型実験装置-



- 定常ヘリカル型核融合炉の学理・工学にかかる学術研究の体系化研究
点火を見込める高性能プラズマの実証 ← 重水素実験を軸とした超高性能化
- 環状プラズマの総合的理解
ITER及びJT-60SAによるトカマク方式の研究・開発への貢献
- 全国の大学等との共同研究、国際共同研究の推進
原型炉に向けたプラズマ物理と関連理工学に係る学理の集約
- 大学院教育を通じた人材育成と供給

