

核融合研究作業部会(第20回)資料

原型炉に向けた核融合科学研究所の
今後の学術研究について
—一定常ヘリカル型原型炉の実現に向けて—

平成21年11月12日

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
小森彰夫



核融合科学研究所の研究計画

核融合科学研究所

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

中心課題

LHD計画

- 定常ヘリカル型核融合炉を見通せる高性能重水素プラズマを実現し、その学理を探求することにより学術研究として体系化
- 定常ヘリカル型原型炉の設計、また、炉の製作に必要な工学研究を推進

理論・シミュレーション研究

- シミュレーション科学研究の基盤の確立
- 数値試験炉、数値原型炉により、定常ヘリカル型原型炉の設計に貢献

大学院教育・研究者育成

- 原型炉を見通し、双方向型共同研究、総研大等による人材育成の更なる推進



LHD計画の現状

達成値 [最終目標]

→ 更なる学術的、体系的探究に道を開く成果

中心イオン温度

水素ガス : 6,500万度 [1億2,000万度]
密度 16 兆個/cc [20 兆個/cc]
アルゴンガス: 1億5,000万度 3兆個/cc

中心電子温度

1億2,000万度 [1億2,000万度]
密度5兆個/cc [20兆個/cc]

体積平均ベータ値

5.1 % (磁場 4250 ガウス)
[≥ 5 % (磁場 1 - 2 万ガウス)]

密度

中心密度1,200兆個/cc (温度300万度) =
[400兆個/cc]

定常運転

31分45秒 (700 kW) [1時間 (3,000 kW)]
54分28秒 (500 kW)
13分20秒 (1,000 kW)
入力エネルギー 16億ジュール

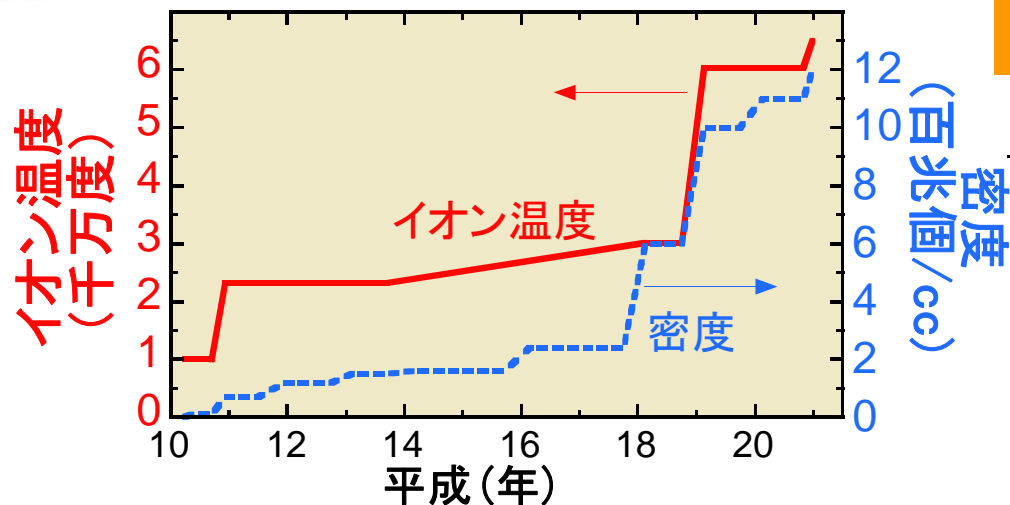
核融合実現の条件
1億度、100兆個/cc、1秒
→ 核融合三重積
プラズマ圧力条件
ベータ(β)値5%



新しい炉へのシナリオの誕生
新しい核融合条件【高密度・低温度】



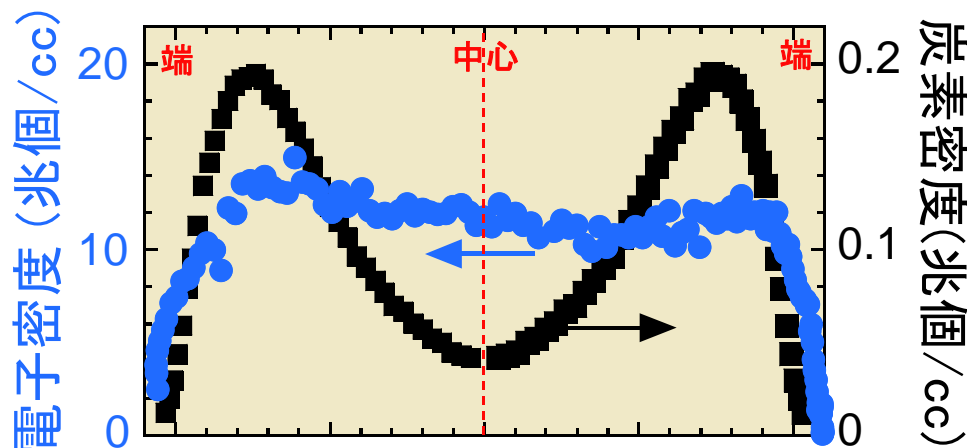
着実な性能向上と物理の新発見



目標達成の明るい見通し→7合目

平成10年の実験開始以来の性能向上

- イオン温度 6,500万度
 - 中心密度 1,200兆個/cc
- 従来型核融合条件の10倍以上
→ 革新的な超高密度シナリオ



電子と炭素イオンの分布

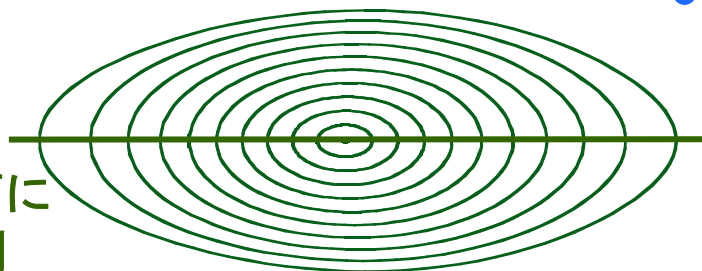
- 不純物の吐き出しを確認

温度を上げることに好都合
中心部の不純物は0.3%以下



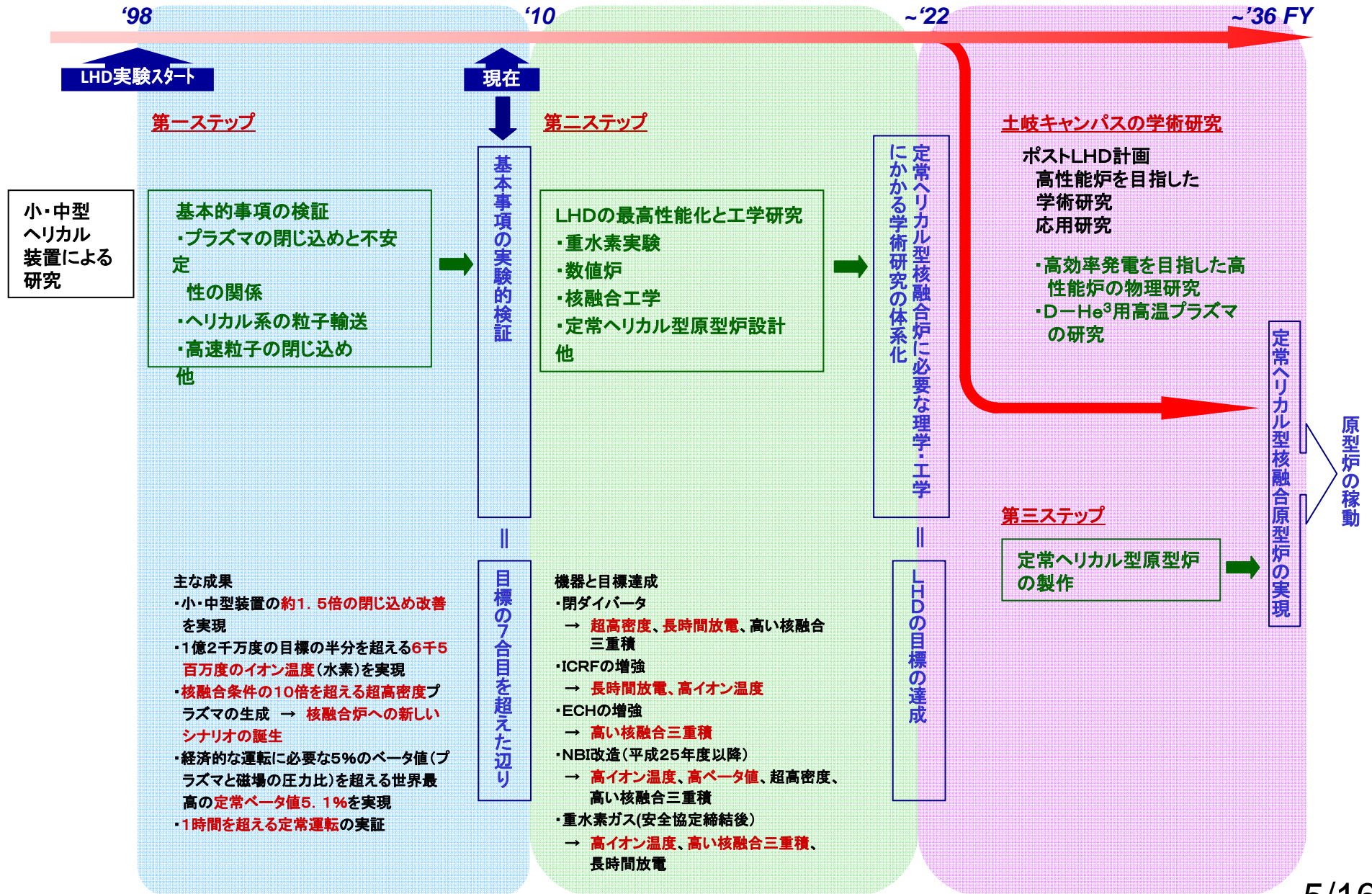
ヘリカル方式の特長を活かすとともに
トカマク方式にも相補的な関係を創出

プラズマ断面に
沿って計測





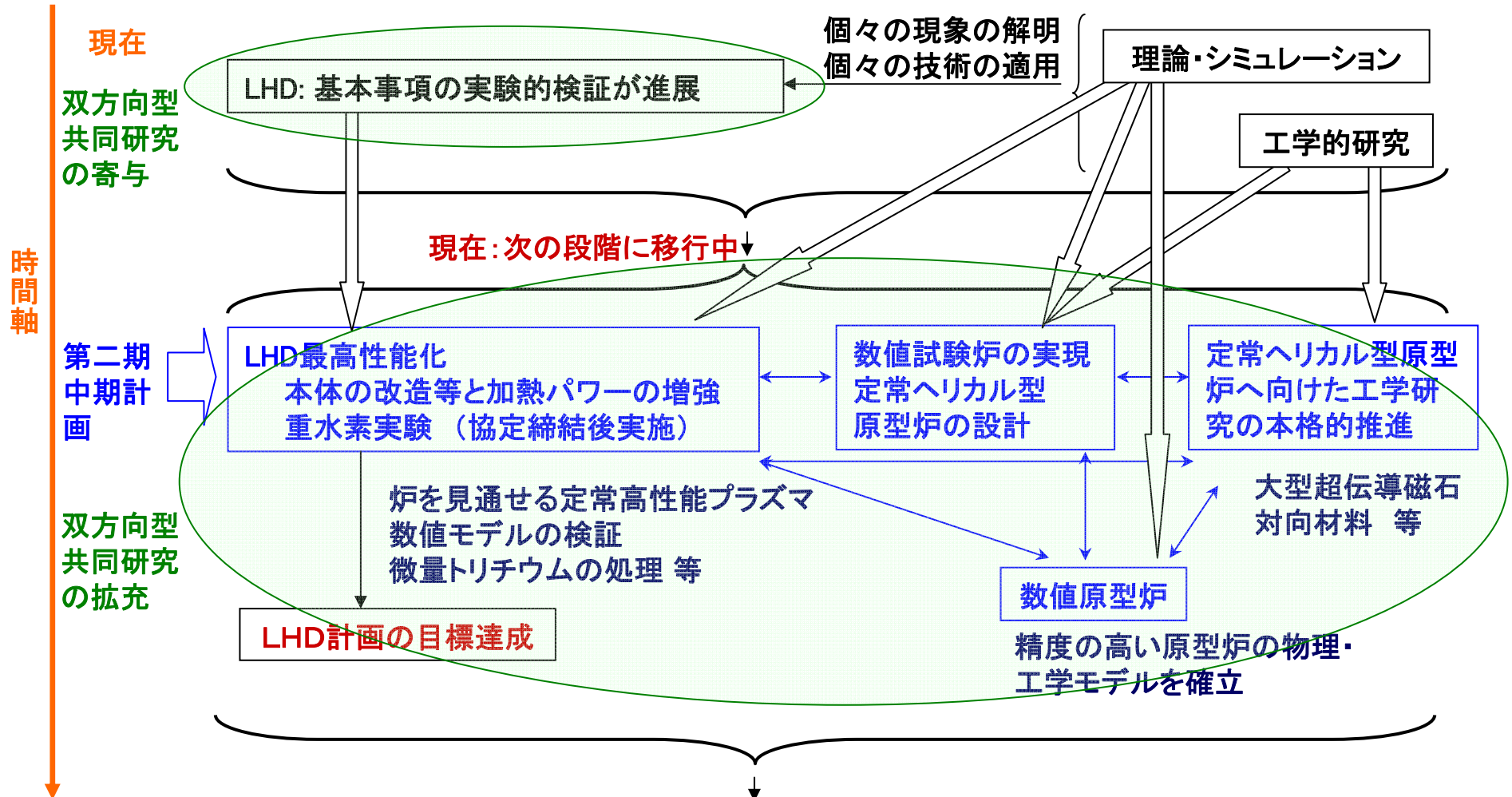
LHD計画と核融合炉へのロードマップ概略





核融合科学研究所の今後約12年のシナリオ

新しいステップに大きく踏み出す → 対応できる研究組織に改組



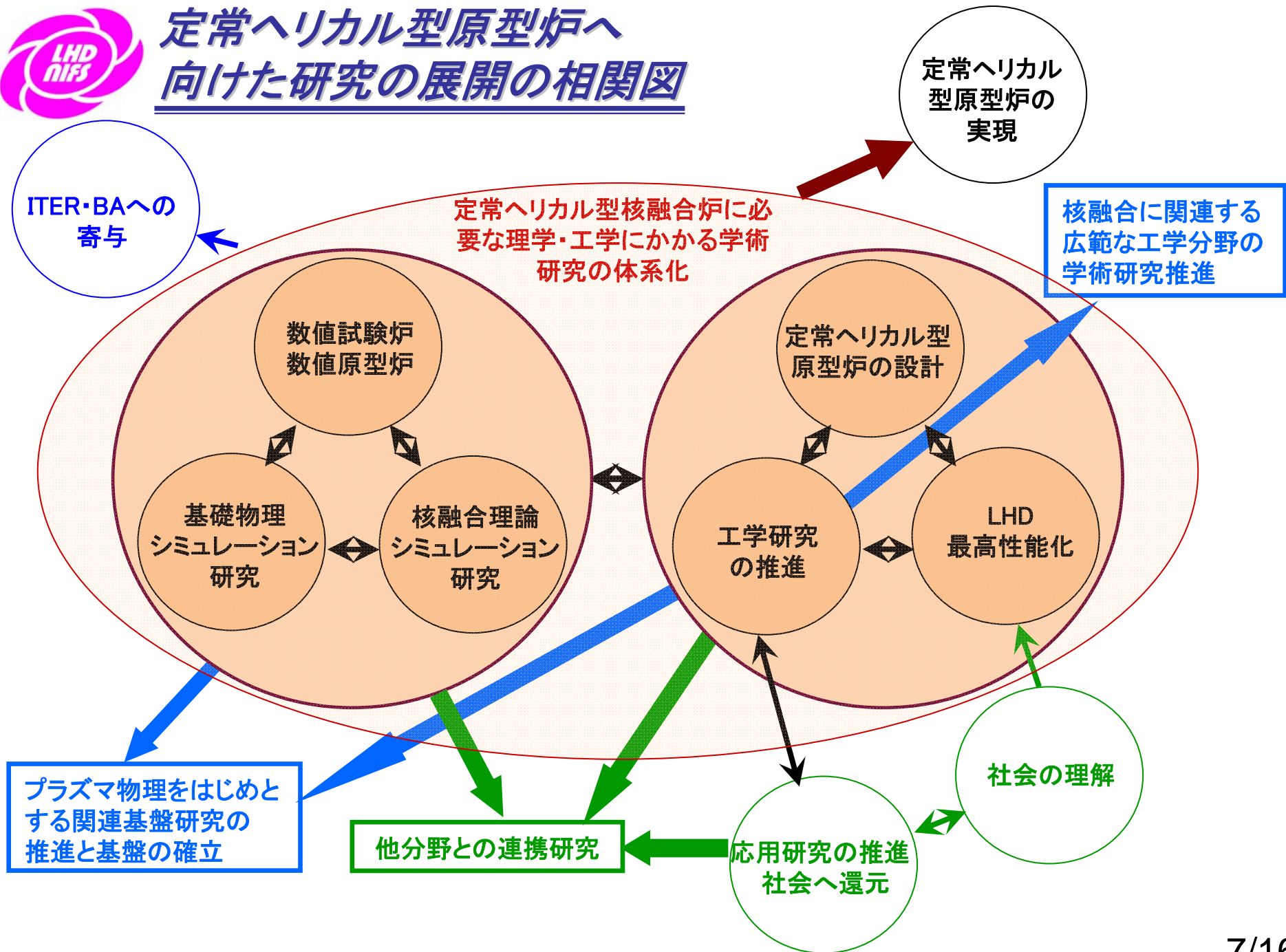
達成まで約12年

定常ヘリカル型核融合炉に必要な理学・工学にかかる学術研究の体系化

核融合研、大学が核融合炉を造る学理・技術を保有、これを使って原型炉を製作できる状況を実現
最終的には、ヘリカルとトカマクに共通 → 定常環状プラズマ型核融合炉の学術的体系化



定常ヘリカル型原型炉へ に向けた研究の展開の相関図





LHD:炉設計の推進と工学研究の推進

定常ヘリカル型原型炉の実現へ向け

工学研究を推進

特長を生かした研究によりトカマク型原型炉へも貢献

→ 我が国の自主研究開発を保障

→ トカマク原型炉に向けた開発と相補的

総合的な定常ヘリカル型原型炉設計

高い保守性能、再生持続性



大型超伝導コイル

大型ヘリカルコイル製作技術、高電流密度超伝導体研究、核発熱と中性子耐性

トリチウム管理技術

微量検出処理技術、環境安全性評価

プラズマ対向機器

高耐熱金属材料とプラズマとの共存性、長時間運転の効果

低放射化材料

循環型材料の研究、低放射化超伝導体研究

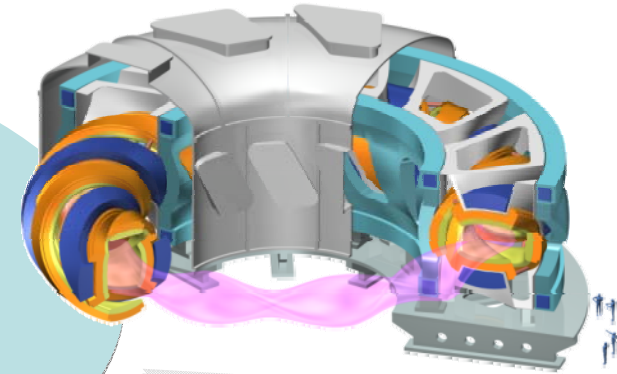
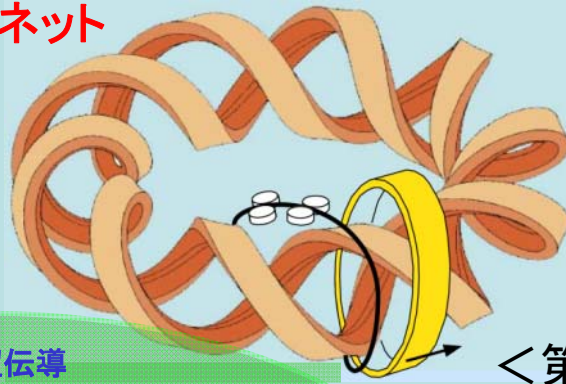
など



「定常ヘリカル型原型炉に向けた電磁石・発電システムの工学研究の推進」

中長期的な研究開発構想に基づいて実行

大型高磁場超伝導マグネット



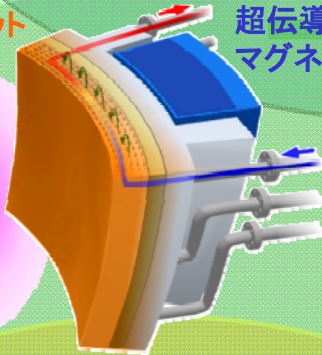
液体長寿命ブランケット

ブランケット
> 600°C

超伝導
マグネット

放射線遮蔽

炉心
プラズマ



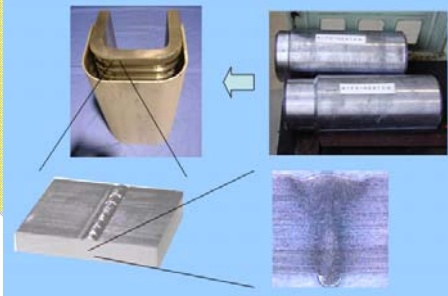
＜第2期中期計画＞
炉設計の高度化研究

実規模・実環境試験を可能
にする基幹技術の構築

定常運転
100万kW
30,000 t

高温運転

低放射化構造材料



保守交換

耐熱材

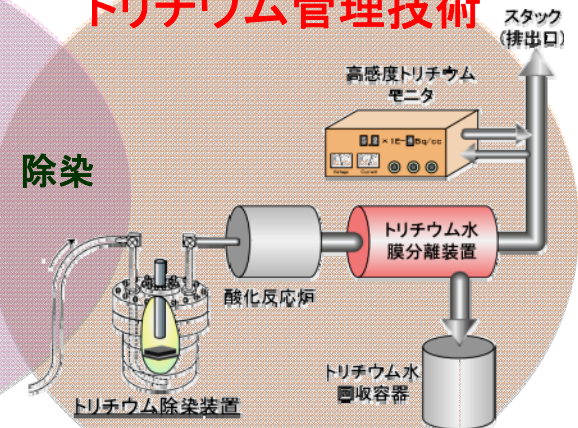
第一壁



高熱流プラズマ対向壁

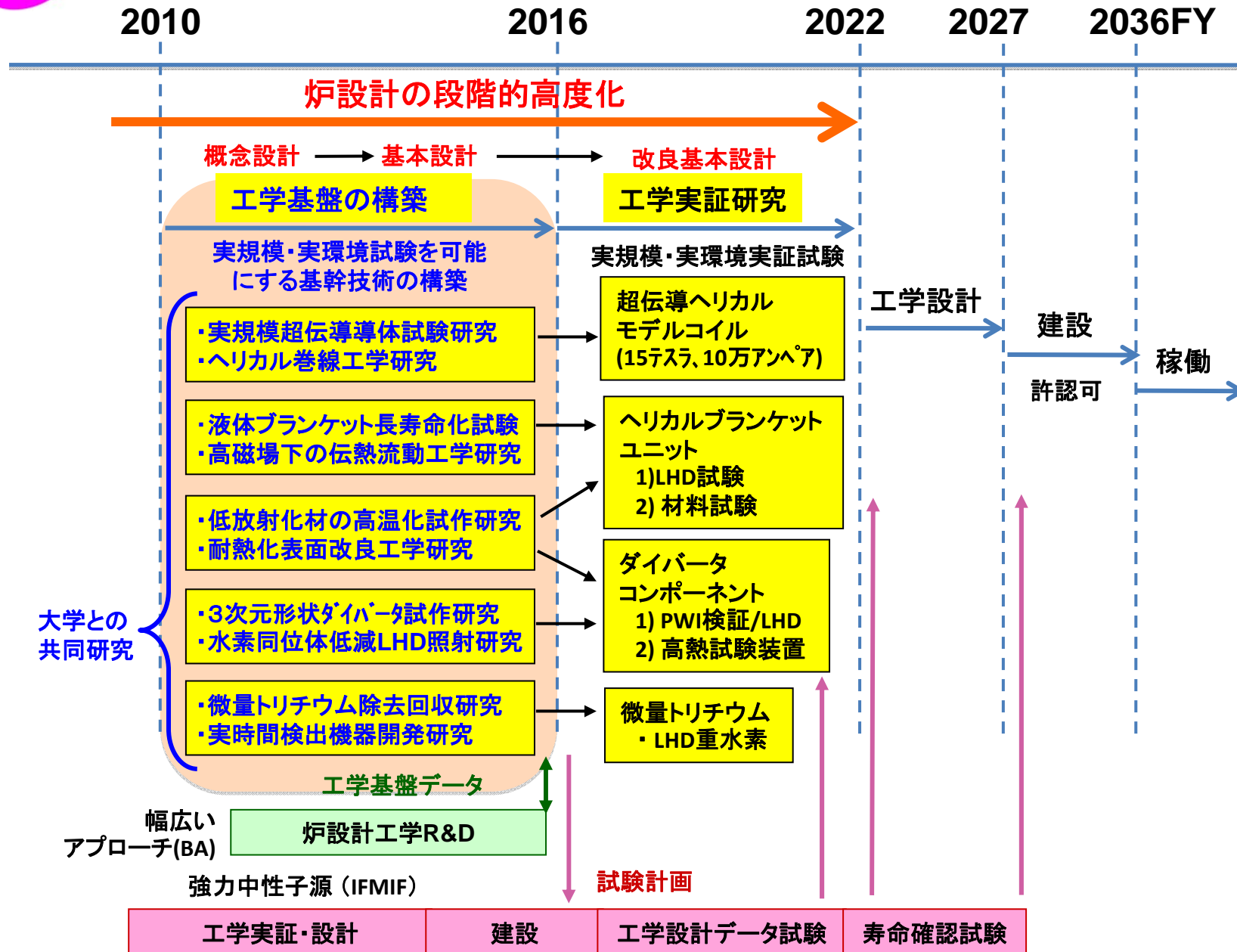
トリチウム管理技術

除染





定常ヘリカル型原型炉へのロードマップ(工学)





定常ヘリカル型原型炉へ向けた研究と共同研究

共同研究により、広範な学術研究を共に進める、あるいは補う

双方向型共同研究 } → 新たな展開
LHD計画共同研究 }

国内の大学等
(国立、公立、私立、研究機関等)

プラズマ
4センター

工学研究
ベース

共同研究契約を
結んで大学等で
実施

LHD計画共同研究

一般共同研究

NIFSの設備を
使って実施

双方向型共同研究
研究、人材育成

大学等で育まれている研究・技術をLHD
実験に適用・集約する
ため、大学等で先
ず研究・開発

核融合研

外国の大学等

数値試験炉
数値原型炉

基礎物理シ
ミュレー
ション研究

核融合理論・
シミュレー
ション研究

定常ヘリカル
型原型炉の
設計

LHD最高
性能化

工学研究の
推進

政府間協定等

ITER・BAへ
の寄与

応用研究の
推進、社会へ
の還元





双方向型共同研究

双方向型共同研究も、一般共同研究、LHD計画共同研究と同じく、核融合研の「共同研究公募案内」で募集



核融合研の共同研究 = 日本の大学等の活動を取り込んだ、我が国の核融合・プラズマコミュニティ全体の研究活動

核融合研の新機軸に対応した双方向型共同研究に展開



炉心プラズマ研究に工学研究を加える → 核融合炉に必要な理学・工学の体系化
(大学の4センター + 必要な共同研究が可能なセンター、研究室)

候補: 東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センター
富山大学水素同位体科学研究センター

双方向型共同研究は、外部評価で教育の面でも高い評価を受ける



特別研究員制度を組み込んだ教育・研究制度、即ち、新しい人材育成制度等を創設し、
原型炉を見通した核融合研究の進展に大きく貢献する → ITER・BAの推進に寄与
(個々の大学との話し合いが必要)

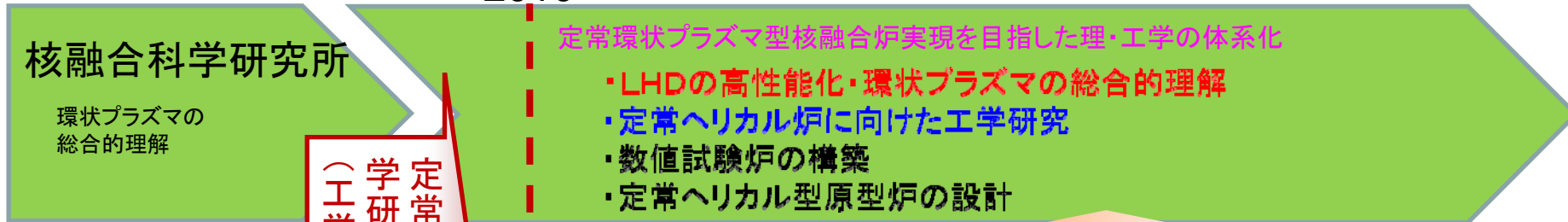


双方向型共同研究の展開

第1期中期目標・中期計画期間

2010 第2期中期目標・中期計画期間

2016 第3期



定常ヘリカル型核融合炉実現を目指す核融合科学研究所の研究計画を共有し、研究課題を分担（工学分野を新たに取り込み）

- 筑波大**
電位によるプラズマ閉じ込め向上
- 京都大**
磁場分布制御技術を用いたプラズマ流制御による輸送・安定改善
- 大阪大**
レーザーによる高速点火研究
- 九州大**
電磁波を用いたプラズマ電流駆動による定常運転の研究

成果の反映

- 筑波大学プラズマ研究センター**
 - 電位・電場勾配を利用したプラズマ輸送制御
 - ダイバータプラズマ制御・境界プラズマ研究
 - ジャイロトロン研究
- 京都大学エネルギー理工学研究所エネルギー複合機構研究センター**
 - 磁場配位による構プラズマ造形成・不安定制御
 - 閉じ込め磁場の最適化
 - 局所プラズマ計測器整備
- 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター**
 - 超高密度プラズマ生成
 - 中性子計測手法研究
 - 階層シミュレーション
- 九州大学応用力学研究所高温プラズマカ学研究センター**
 - 高ベータ定常プラズマ生成
 - マイクロ波による高密度プラズマ加熱法研究
 - 閉構造ダイバータ化
- 工学研究グループ(候補: 東北大学、富山大学)**
 - 大型ヘリカル超伝導磁場コイル研究
 - 耐熱・粒子束材料研究
 - ブランケット基礎研究



ロードマップ指摘「主要R&D（9項目）」との対応（1）

核融合エネルギーフォーラムITER・BA技術推進委員会 ロードマップ報告書指摘の「主要R&D（9項目）」	NIFSとしての研究開発
1. ブランケットの開発	
1) ITER-TBMの開発(主概念+先進概念)	国際協力を通しての支援研究
2) 原型炉用ブランケットの開発	先進液体ブランケットの原型炉適用と長期的な高度化を目指したバナジウム合金等の研究、液体増殖材物質移行・熱流動研究の推進、セラミクス被覆・センサー等機能材料・機器の研究、総合試験の検討
3) 2)に関連する基準整備	
2. ITER用超伝導コイルの性能を超える原型炉用 コイルの開発(強磁場化、高電流密度化が必要な場合)	
1) Nb3Sn以外で強磁場化する場合の技術的成立性の確認	Nb3AlやNb3SnのA15系超伝導線材のひずみ影響の研究、間接冷却方式の高強度・大電流導体の研究、高温超伝導線材を積層した大電流導体の研究、JT-60SA導体試験、超伝導マグネット材料の照射効果の研究
2) 線材の量産体制の確立	
3) 強大な電磁力を支持するための構造材の開発	
3. 原型炉向けダイバータ	
アーマーなど構造や材料をITERで最終的に性能を確認する場合、十分な事前開発の計画が必要	Wコーティングしたカーボン板のLHDでの実験研究等により、共同研究として計画的に推進
4. Li-6の濃縮・量産技術	
セラミック増殖材を採用する限り、Li濃縮はTBR確保に必須で、年間100トンレベルの製造が必要だが、そのような大容量をもった工場は国内には現状ではない	
5. トリチウム関連技術	
1) 初期装荷トリチウムの手方法の見通しの検討	
2) 冷却系配管のトリチウム透過低減皮膜の開発	液体ブランケット用被覆研究を応用した研究寄与
3) 冷却水の水質管理技術の確立	トリチウムに関する研究(LHDの重水素実験を通じ得られる低濃度トリチウム水の計量・管理技術、トリチウムと壁材料相互作用)で得られる知見に基づく冷却水水質管理研究の確立
4) 関連法整備	



ロードマップ指摘「主要R&D（9項目）」との対応（2）

核融合エネルギーフォーラムITER・BA技術推進委員会 ロードマップ報告書指摘の「主要R&D（9項目）」	NIFSとしての研究開発
6. メンテナンス手法開発	
原型炉の概念設計を確定するためには、メンテナンス（保守、分解）法を決定する必要があり、BA期間にはその結果により基本方針を決定	
1) 大型重量物の遠隔操作、移動、設置技術など	
2) ロボット技術など（他分野での成果を導入できる可能性が高い）	
7. 核融合炉の規格基準の検討開始	
8. 環境安全性評価手法の開発	
原型炉プラズマ関連シミュレーションコード開発の一環として行い、環境安全性評価コードの開発も含む	
1) 安全確保とその評価のための方法論	
2) 安全性データベース （例：核融合特有の核種に対する放射線リスク評価 及び管理基準値の提案）	
3) 総合的トリチウム安全 （環境中でのトリチウム挙動、生態系での動態、生物影響など）	LHDの重水素実験におけるトリチウムの管理を通じて得られる環境中でのトリチウム挙動を、共同研究を通じてデータベース化して蓄積し、挙動解析手法を確立
4) 社会受容性を考慮した放射性廃棄物の管理・処理・処分法、さらにはマテリアルサイクルの方法論	共同研究として進めているトリチウムの除染／回収に関する研究を評価し、廃棄物におけるトリチウム濃度の低減、さらにはリサイクル可能となる濃度レベルまでの除染方法を研究
9. JT-60SAの国内重点化装置としての実験研究	



まとめ

第二期中期計画以後

核融合炉の実現に向けて大きく踏み出す



重水素実験
数値炉
工学
定常ヘリカル型原型炉設計

を中心とした研究を大学共同利用機関として

双方向型共同研究

などの大学等との共同研究を軸に推進し

定常ヘリカル型核融合炉に必要な理学・工学にかかる
学術研究の体系化(→ 定常環状プラズマ型核融合炉)

を図る

また、核融合研究・開発を促進するため、双方向型共同研究、
総研大等で、人材育成・教育のさらなる充実を図る