



核融合工学研究プロジェクト(H22~)

原型炉に向けたヘリカル核融合炉 FFHR-d1 の概念設計活動と
主要5課題のR&Dを推進

✓ 核融合工学研究プロジェクト(Fusion Engineering Research Project, FERP)の
主目的は「ヘリカル型核融合炉の実現に向けた工学基盤の構築」

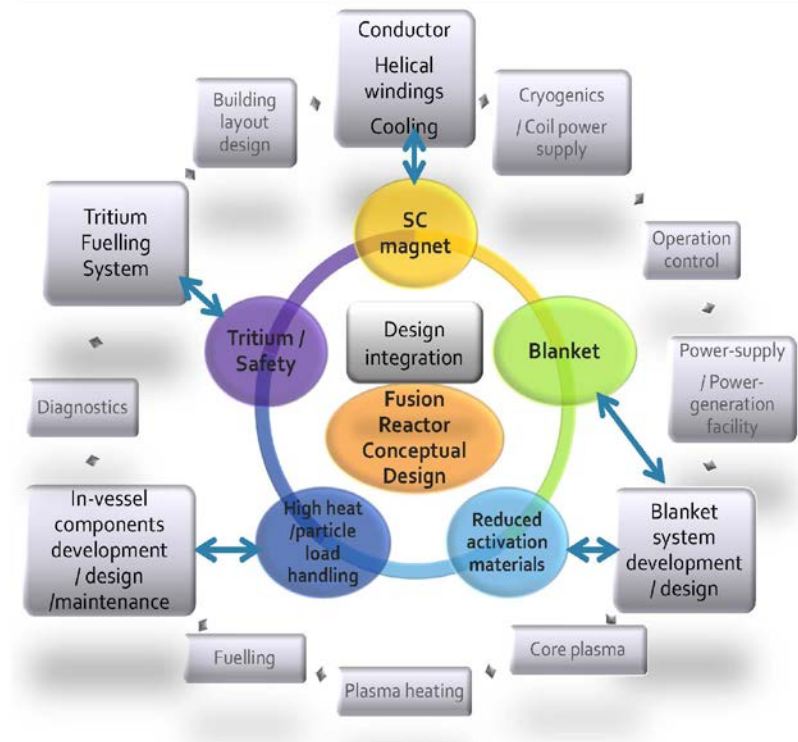
- FERPは13のタスクグループで構成
- 5つの主要R&Dを推進

✓ ヘリカル型核融合炉FFHR-d1概念設計活動

- 3-D CADによる構造設計(最大電磁応力<600 MPa)
- 3-D 中性子輸送計算(ダイバータの中性子負荷)
- 炉心プラズマ設計(準最適化ヘリオトロン)
- **FFHR-d1概念設計中間報告書をH25年4月に発行**

✓ 主要5課題のR&D推進

- 超伝導マグネット(超伝導コイル試験)
- 液体ブランケット(熱・物質流動ループ試験)
- 材料研究(材料特性、被覆技術)
- ダイバータ(Wモノブロック試験)
- トリチウム・安全



FERPにおける13のタスクグループと5つの主要R&D

ヘリカル型核融合炉FFHR-d1概念設計活動

● 第1ラウンド (H22-23年度)

- FFHR-d1基本スペックの確定

● 第2ラウンド (H23-26年度)

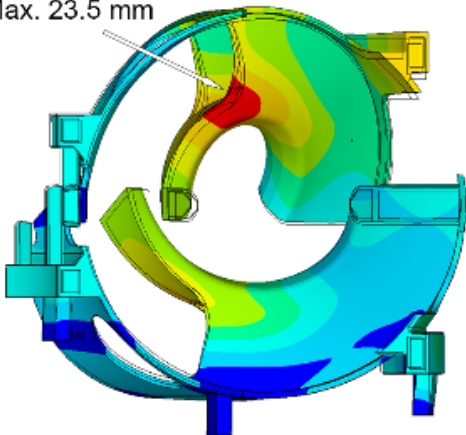
- FFHR-d1炉内機器の3D検討

→ 画期的新型ダイバータ構造の提案

- LHD・数値プロジェクトとの連携:

→ プラズマ立ち上げシミュレーションの進化

Max. 23.5 mm



トラス内側ダイバータを超伝導
ヘリカルコイル裏側に配置可能な
新型ダイバータ構造

→ ダイバータの中性子照射量を低減
→ メンテナンスも容易に

1次元モデルによるプラズマ立
ち上げシミュレーション
→ MHD平衡と新古典輸送の
随時計算が可能に

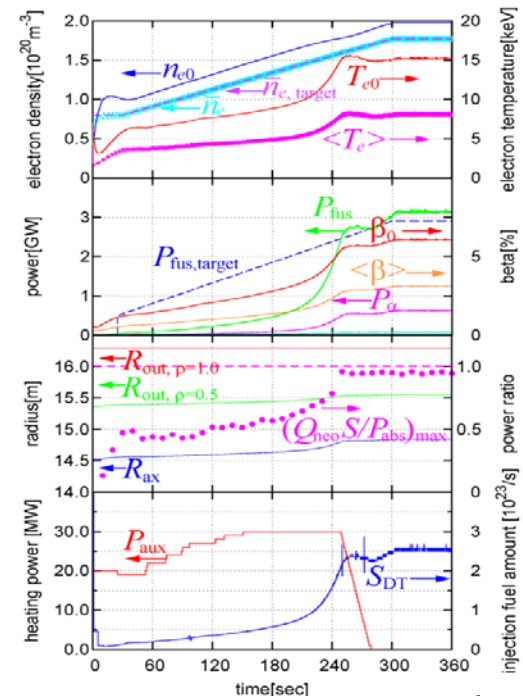
● 第3ラウンド (H25-27年度)

- 建設工程とメンテナンス手法の検討

✓ 大型超伝導コイルの製作

✓ ダイバータ及びブランケットの据付と
真空容器リークテストの整合性

✓ 各機器の配置と設置手順



「核融合原型炉に向けた電磁石・発電システムの工学研究の推進」 の設備整備状況



5つの大規模実験研究による核融合工学領域の構築

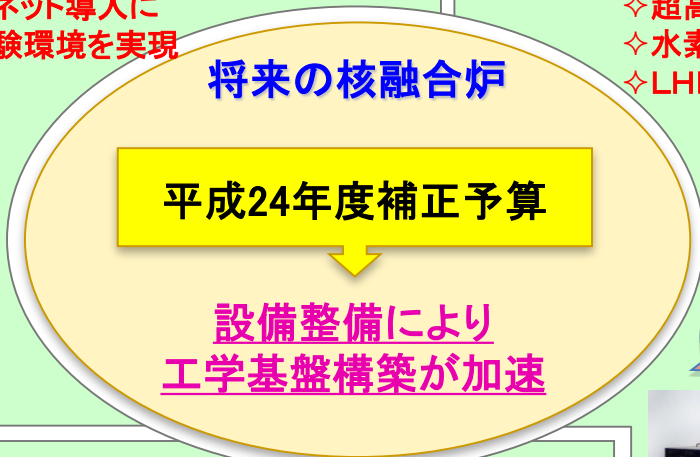
(2) 大型高磁場超伝導マグネット研究

- ◇ヘリウム液化冷凍機更新と13テスラマグネット導入により世界で唯一の温度可変大口径導体試験環境を実現



(3) 高熱流プラズマ対向壁研究

- ◇超高熱負荷試験装置ACT2
- ◇水素蓄積分析装置
- ◇LHD照射試験装置



(4) 長寿命液体ブランケット研究

- ◇FLiNaK/LiPb流動ループOrosh²i-2稼働
- ◇3テスラでのMHD圧力損失測定を実施



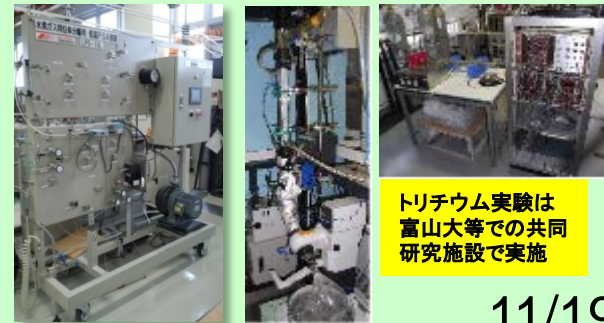
(1) 低放射化材料研究

- ◇材料微細構造組成分析装置
- ◇超高真空クリープ試験装置
- ◇接合材試作試験装置
- ◇電子ビーム加工機, etc.



(5) 微量トリチウム管理技術研究

- ◇水素試験・計測装置

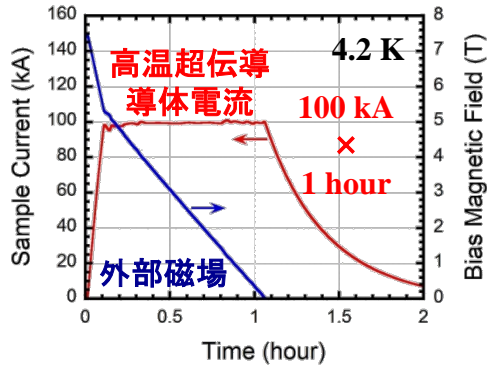




R&Dに核融合研究作業部会の審議を反映

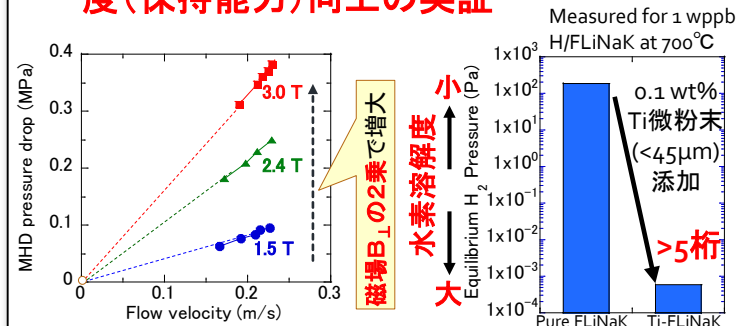
100 kA級高温超伝導導体開発

✓ 100 kAの大電流を1時間安定に保持
【世界記録更新】



Orosh²i-2における熱・物質流動ループ試験

✓ MHD圧力損失測定
✓ 金属微粉末添加による熔融塩水素溶解度(保持能力)向上の実証



科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会 核融合研究作業部会

核融合研究作業部会 配布資料 平成27年1月
「核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中核的役割を担うチーム報告 - 原型炉技術基盤チャート -」
11の原型炉の構成要素についての技術課題

1. 超伝導コイル

Nb₃Sn、Nb₃Al、ReBCO(線材の実用化)、導体試験、等

2. ブランケット

先進ブランケット開発、実環境下での統合循環ループ試験、熱交換、発電、トリチウム回収、等

3. ダイバータ

プラズマ運転シナリオ、熱除去特性、材料開発、粒子制御特性

7. 核融合燃料システム開発

燃料循環システム、初期装荷トリチウム、等

8. 核融合炉材料開発と規格・基準策定

構造材料技術仕様の提示、規格化に向けた活動、中性子照射データ取得、先進材料、等

2010

2012

2015

2017

2022

炉設計の段階的高度化

→ 概念設計

→ 基本設計



大型ヘリカル装置

最高性能化

先端基礎学術研究

連携

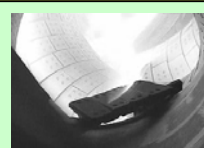
工学基盤の構築

実機能・実規模・実環境・
工学実証研究

別事業体による
核融合炉の工学設計

核融合作業部会の指摘に基づく工学基盤構築の実施

(1)低放射化材料研究



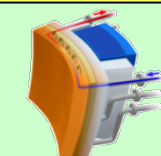
超高熱負荷対向壁
の製作と核融合模
擬条件での実証研
究

(2)大型高磁場超伝導
マグネット研究



100 kA級導体開
発とヘリカル巻線
の試作

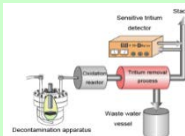
(3)高熱流プラズマ
対向壁研究



ブランケットの試作
と核融合模擬条件
での実証研究

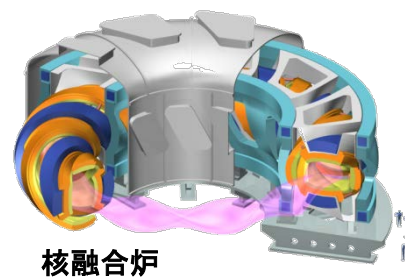
(4)長寿命液体
ブランケット研究

(5)微量トリチウム
管理技術研究



微量トリチウムの
分離・回収装置の
実証研究

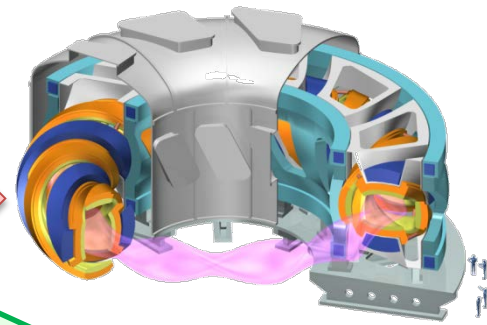
寄与



核融合炉

大学等との共同研究と人材育成

数値実験炉研究プロジェクト



数値実験炉

実験による比較・検証

コアプラズマ

周辺プラズマ

統合輸送コード

高エネルギー粒子

燃料補給・加熱

運動論

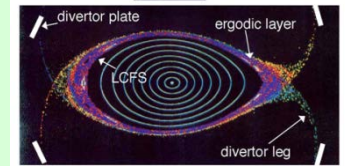
流体

輸送

階層間結合、
コア・周辺
結合、複合
物理結合

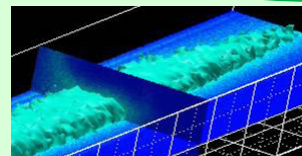
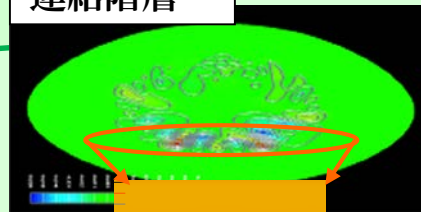
プラズマ壁相
相互作用

周辺輸送



基礎物理

連結階層



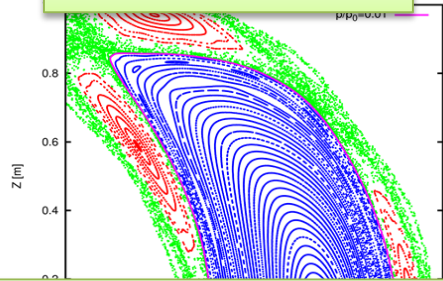
多階層複合物理

シミュレーション
科学基盤

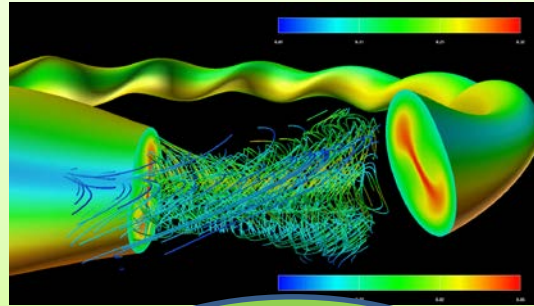
数値実験炉研究プロジェクト(1)

核融合プラズマの物理機構解明とその体系化／ヘリカル型の数値実験炉の構築

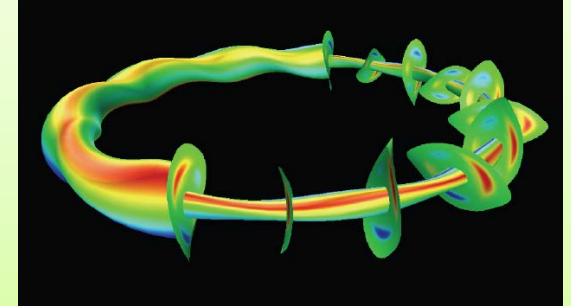
3次元平衡(HINT2)



非線形MHD(MINOS)



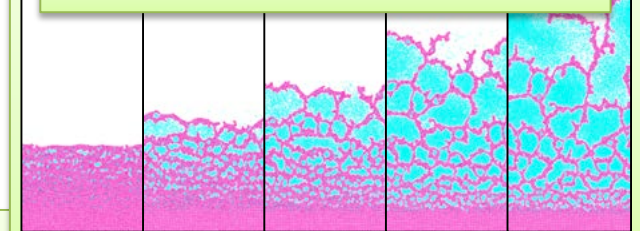
高エネルギー粒子(MEGA)



乱流輸送(GKV-X)

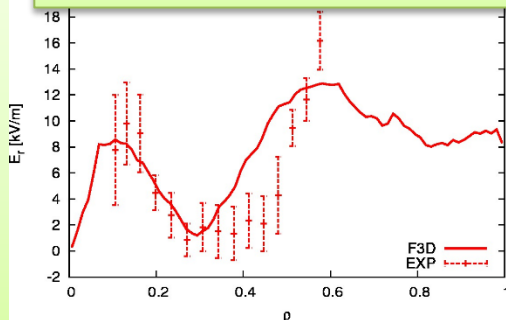


プラズマ壁相互作用(MC-MD)

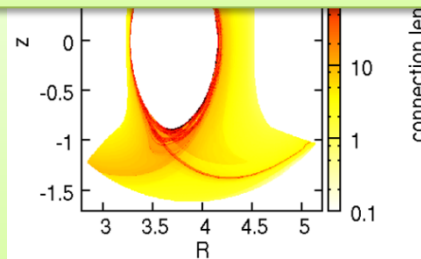


数値実験炉構築
に向けたシミュ
レーションコード
の開発・高精度化

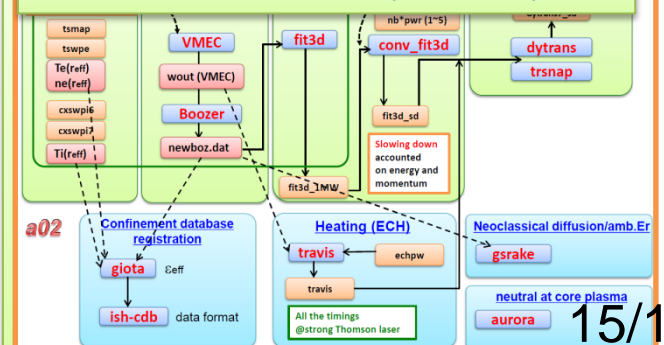
新古典輸送(FORTEC-3D)



周辺プラズマ輸送
(EMC3-EIRENE)



統合輸送コード(TASK3D)

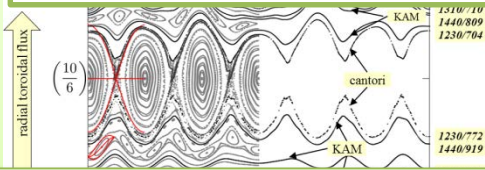


数値実験炉研究プロジェクト(2)

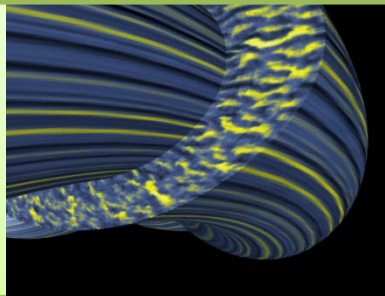
核融合プラズマの物理機構解明とその体系化／ヘリカル型の数値実験炉の構築

核融合プラズマの物理機構解明とその体系化

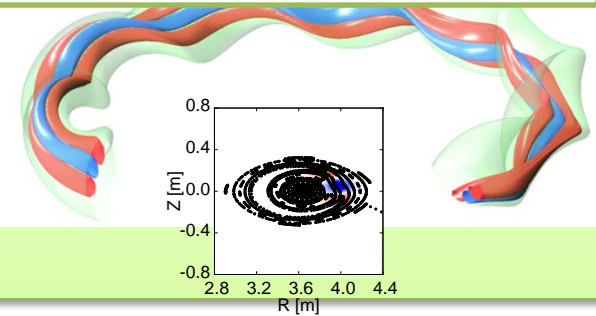
周辺プラズマ: 乱れた磁場が存在する周辺領域でのプラズマ輸送を評価するためのカオティック座標系の構築。(国際共同研究)



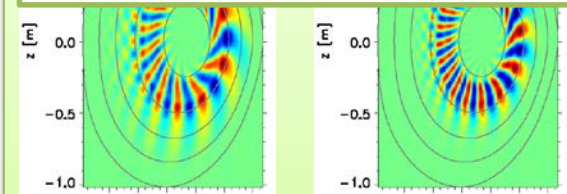
乱流輸送: 電磁的ジャイロ運動論シミュレーションを行い、LHDにおけるITG乱流輸送への運動論的電子などの影響を解析



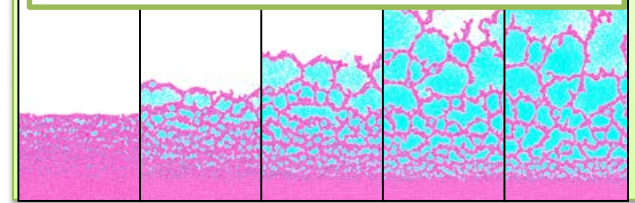
非線形MHD: RMPが印加されるとプラズマ中に磁気島が形成され、磁気島内部で圧力分布が平坦化される。このため、不安定モード構造が大きく変化する。



高エネルギー粒子: 高速イオン圧力分布およびアルフベン固有モードに起因する電子温度揺動分布をDIII-D実験結果と比較して、シミュレーションの有効性を実証した。(国際共同研究)



プラズマ壁相互作用: 分子動力学法-モンテカルロ法のハイブリッドシミュレーションにより、ヘリウム照射時のタングステン表面におけるファズ構造形成過程を再現。



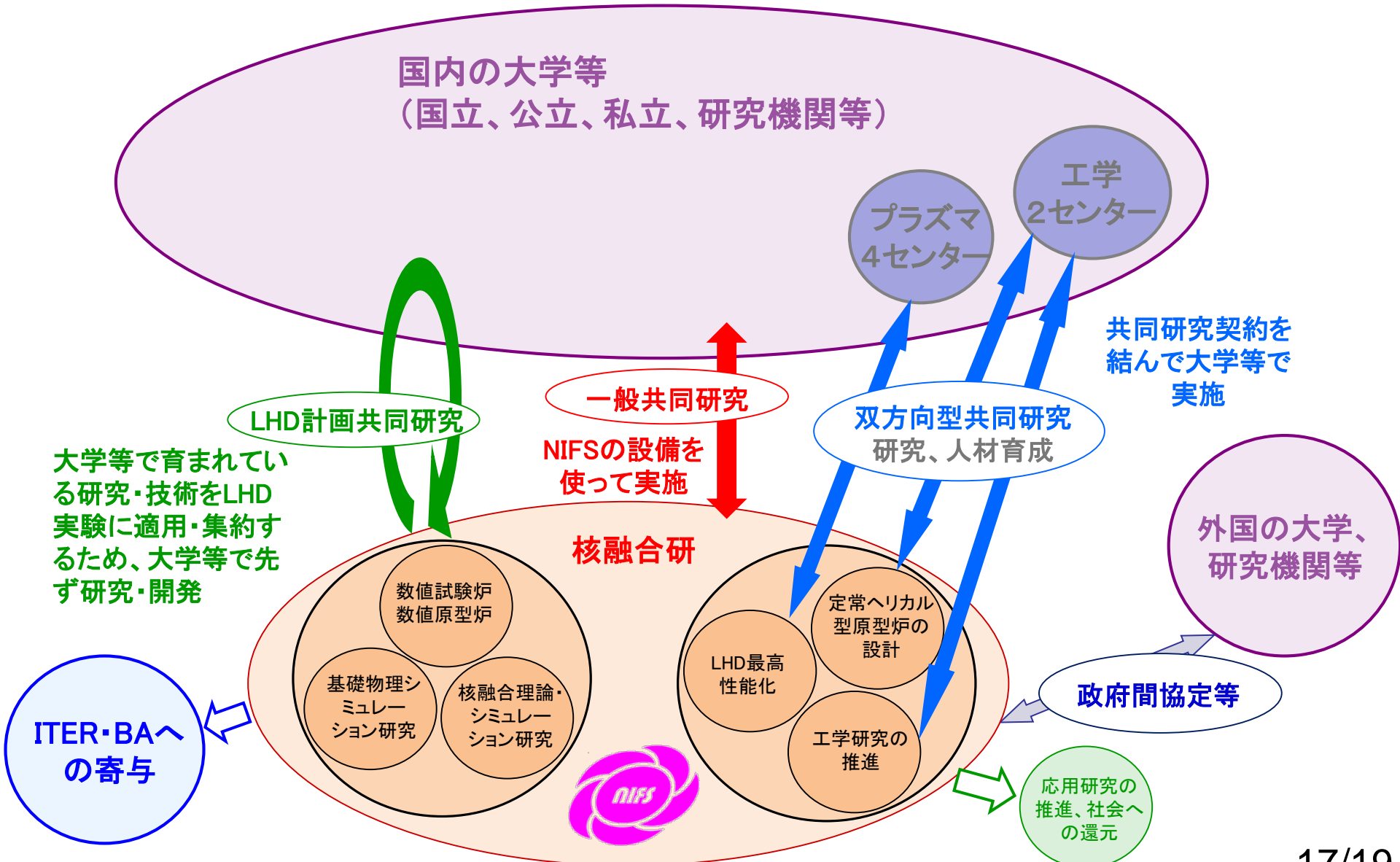
H27年度の計画：理論・実験検証による計算コードの高精度化、LHDをはじめとする核融合プラズマの物理機構解明、ヘリカル型の数値実験炉の構築を目指したプロジェクト研究を推進する。特に、

- 重水素実験期における中性子発生量評価の簡便なツール開発
- 運動論シミュレーションコードの複数イオン種化
- 各種シミュレーション成果のモデル化と統合輸送コードへの移植・統合化の推進
- 周辺プラズマおよび不純物輸送解析、タングステンダイバータのナノ構造形成機構解明



定常ヘリカル型原型炉へ向けた研究と共同研究

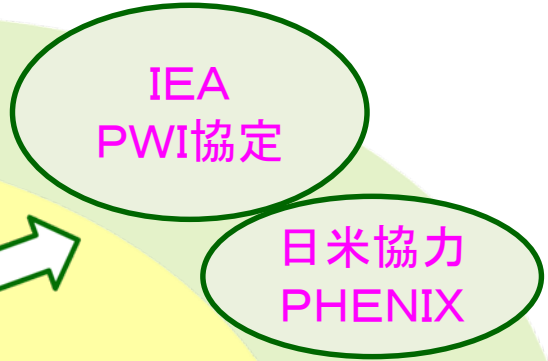
共同研究により、広範な学術研究を共に進める、あるいは補う



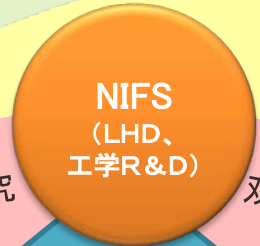


双方向型共同研究

6つの大学附置研究所・センター(プラズマ関連4センターと炉工学関連2センター)の持つ施設を核融合研の共同利用施設として位置づけ、共同研究を全国展開すると共に、センター間の連携により分野境界領域研究を強力に推進。

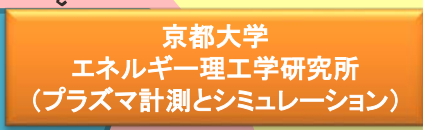
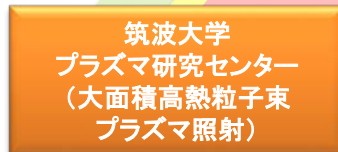


国際協定における日本側研究基盤の更なる強化にも直接的に貢献

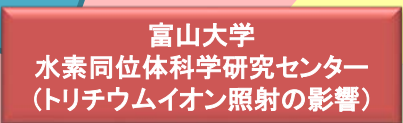
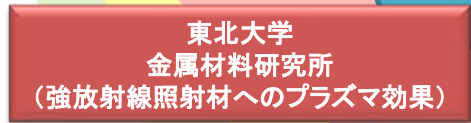
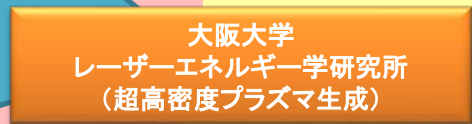
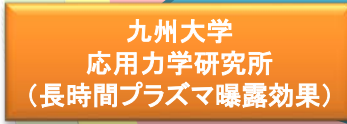


双方向型共同研究

- 第2期中期計画期間では2つの工学研究センターの参画により、**センター間連携**を強力に推進。
- 原型炉を意識した連携課題として、各センターの特長を活かせる原型炉を指向した研究課題として「**熱・粒子制御**」と「**EBW加熱・電流駆動**」を取り上げ、具体的な協力関係を構築。
- LHD重水素実験の開始を見据え、研究試料の放射線管理区域間移動等、核融合炉材料研究の全国的な展開も模索。



核融合研究コミュニティ
(国内) (国外)



まとめ

核融合炉の実現に向けて

プロジェクト体制で研究を推進



大型ヘリカル装置計画P(重水素実験)
数値実験炉研究P
核融合工学研究P(定常ヘリカル型原型炉設計を含む)

の3本柱を中心とした研究を大学共同利用機関として

工学分野を取り込んだ双方向型共同研究

などの大学等との連携・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)

が順調に進んでいる。

また、将来の核融合研究・開発を担う人材育成・教育が、双方向型共同研究、総研大等で進められている。