原型炉プラズマ対向機器開発のための要素技術の工学的評価

プロジェクト名：**PHENIX**

PFC evaluation by tritium Plasma, HEat and Neutron Irradiation eXperiments

2013年度～2018年度（平成25年度～平成30年度）

	Japan	USA
Representative	上田良夫（大阪大学）	Peter Pappano (DOE)
Coordinator	波多野雄治（富山大学）	Peter Pappano (DOE)
Task 1	横峯 健彦（京都大学） 上田良夫（大阪大学）	Lance Snead (ORNL) Richard Nygren (SNL)
Task 2	檜木 達也（京都大学） 長谷川晃（東北大学）	Yutai Katoh(ORNL)
Task 3	大矢恭久（静岡大学） 波多野雄治（富山大学）	Brad Merrill (INL) Dean Buchenauer (SNL)

本研究の目的

1. Heガス冷却系における熱流現象の解明、ダイバータ設計に資する熱伝達係数の取得、及びそれに基づく冷却性能の改善（タスク1）
2. タングステン系材料（合金、組織制御材、接合材含む）の熱負荷環境下での健全性評価（タスク1，タスク2）
3. ダイバータ高温条件を含む温度領域（500℃～1450℃）における、タングステン系材料の中性子照射影響（熱伝導特性、機械的特性）の解明と、ダイバータ設計に資するデータベースの構築（タスク2）
4. 上記温度条件における中性子照射タングステン系材料中のトリチウム挙動の解明とプラズマ照射影響の評価、ダイバータ設計に資するデータベースの構築（タスク3）
5. 核融合炉環境下におけるプラズマ対向機器の健全性評価（除熱性能10 MW/m^{2}を目安）と、安全性評価（トリチウム滞留・透過評価）、並びに高い信頼性を有する原型炉ダイバータを実現するための課題の明確化（タスク1、タスク2、タスク3）

研究テーマ概要（タスク1，2，3）

Task1 **Task2**

W系材料の評価・開発
照射材熱負荷評価

Task2

熱機械特性に及ぼす
中性子照射影響

Task2

アーマー材と構造材の
接合技術開発と
その照射影響評価

Task1

構造材と冷却材の熱伝達
特性の解明

Task3

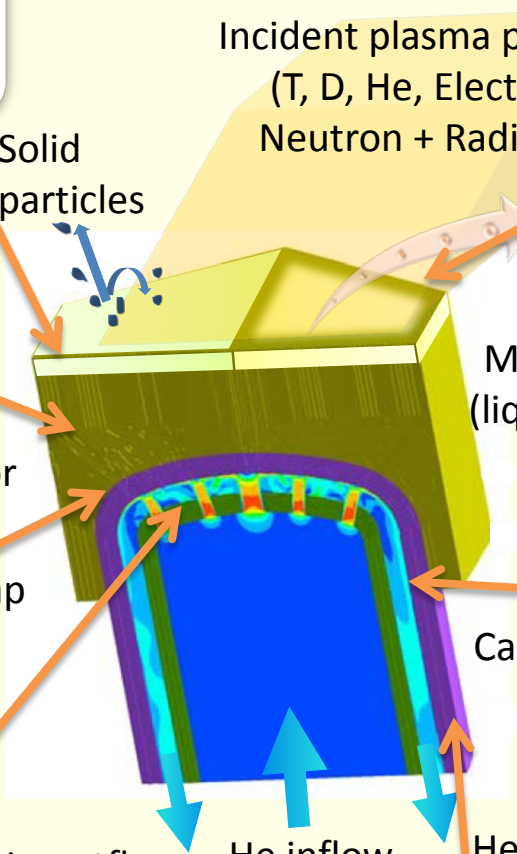
照射材のトリチウム
蓄積量評価

Task3

照射材のトリチウム
透過量評価

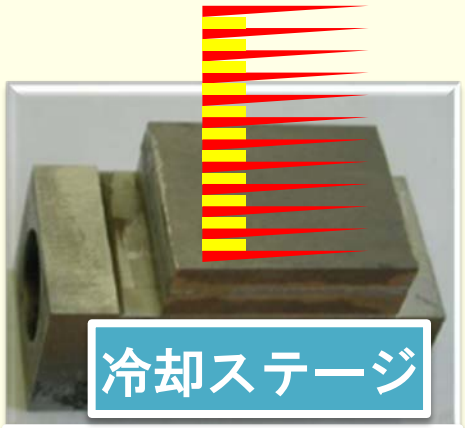
Task1

プラズマ対向機器の健全性評価



タスク1の詳細

熱負荷（パルス、定常）



W積層材・
先進W材素子
組織制御材、合金
添加物強化材

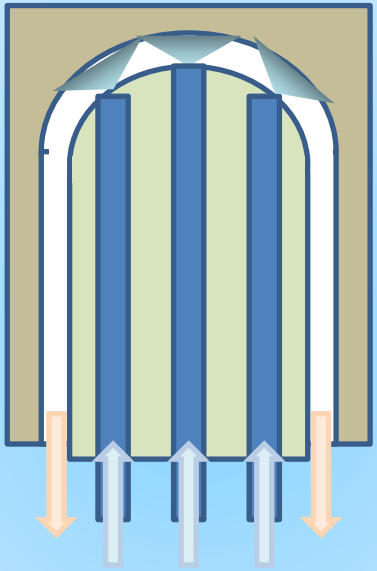
熱負荷（パルス・定常）

ΔT（温度勾配）

熱応力（熱衝撃）
影響評価

Heガス伝熱実験

定常熱負荷
5～20MW/m^2



Heガス入口
300～600°C
～15MPa

数値モデル化

タスク1、タスク2、タスク3成果

総括熱流解析

入射熱流束

接合熱抵抗

熱伝導率分布

熱伝達係数

熱-構造解析による
システム評価
（PFC除熱・健全性評価）

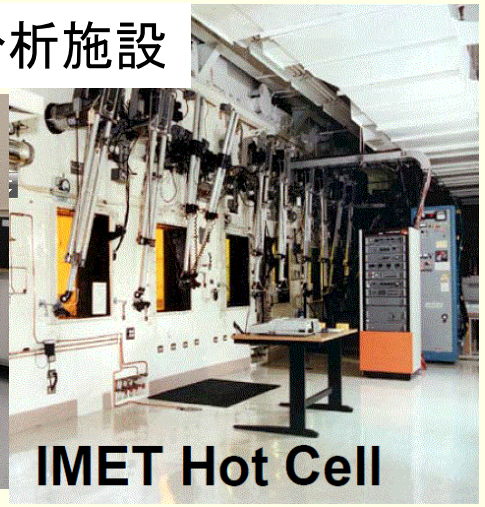
安全性評価（T挙動）

タスク2の詳細

照射材料の選定

- W基本材料、W合金、及びW先進材料
- 先進材料は日米双方で開発
- 研究情報を共有し、双方の材料開発にフィードバック
- 積層材に関しては、日本主導で開発

照射試料分析施設



中性子照射（前半：2~3年目、後半：4～5年目）

- 照射温度（500℃～1450℃）、照射量（～3 dpa）
- 3dpaの中性子照射は前半に実施
- 1dpa程度までは、前半と後半で実施
- 前半の結果を後半での照射試料開発へﾌｨｰﾄﾞﾊﾞｯｸ
- イオン照射で高dpa条件を模擬（～15 dpa）

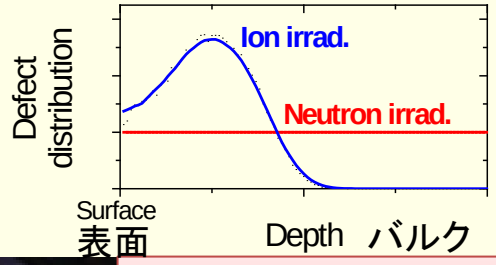
中性子照射後試験

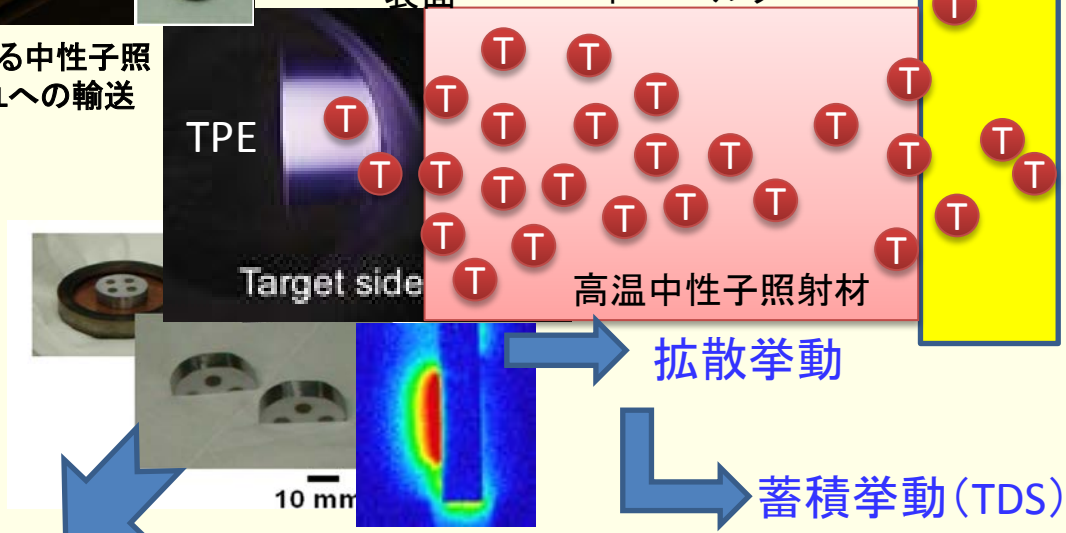
- LAMDA、IMETでの照射後試験：熱伝導、破壊靭性、強度、微細組織等
- IR Facilityでの熱負荷試験
- 東北大大洗施設も活用

タスク3の詳細

ダイバータ条件を模擬するため500～1450℃という高温で中性子照射（～3dpa）を行い、同等温度領域でトリチウムを含む水素同位体の蓄積・透過挙動を調べる。

HFIRにおける中性子照射およびINLへの輸送



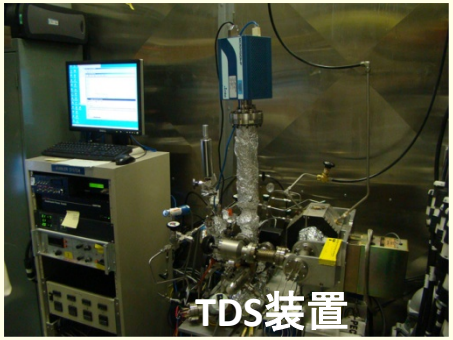


透過挙動(TPE)

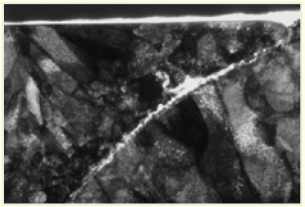
拡散挙動

蓄積挙動（TDS）

米国側で新たに設計した透過ホルダーを活用し、その場で透過挙動を測定



表面微細組織観察（TEM）



- ✓ 材料中のトリチウムの拡散係数
- ✓ トラップ密度（トリチウム蓄積量）
- ✓ 脱離エネルギー
- ✓ 再結合定数

モデリングやシミュレーション（TMAPなど）により、PFCのトリチウム透過量、蓄積量評価

安全性評価

プロジェクトの現状

- HFIRでの照射条件、照射試料についての検討
  - Wの中性子照射影響：はじき出し損傷、元素変換
  - 変換元素（W→Re、Ta、Os）は、欠陥の挙動に大きな影響

  → Eu酸化物により熱中性子をシールドして、元素変換速度を抑制し、より核融合炉環境に近い条件で照射を行う。
  - ORNL（オークリッジ国立研究所）HFIR
- Heガスマルチジェット環境での熱伝達研究
  - GIT（ジョージア工科大学）
- W材料の熱負荷試験の検討
  - ORNL（オークリッジ国立研究所）
- 高エネルギーイオン損傷Wのリテンション、透過
  - INL（アイダホ国立研究所）