

核融合科学研究所における 炉工学分野研究活動報告

核融合科学研究所・炉工学研究センター長

野 田 信 明

核融合研究の重点化に関するタスクフォースによるヒアリング

平成18年8月21日

NIFSにおける炉工学研究活動

炉工学研究分野

ヘリカル炉設計，ブランケット，低放射化構造材料，
超伝導マグネット，トリチウム安全，
炉心プラズマ制御関連（加熱機器，プラズマ対向壁 *etc.*）

...

それぞれの分野について最前線の研究を自ら進める
国内外の共同研究の推進と支援の役割を担う

H15以前を含めた研究の流れ
H15以降の進展、成果



国内外共同研究推進の具体例

- ヘリカル炉設計 (FFHR: Force Free Helical Reactor)
炉心プラズマ設計・制御 (九州東海大, 東大等国内共同研究)
- Flibe, Li ブランケット要素技術研究
JUPITER-II(日米協力) / 東大, 静岡大, 富山大, 東北大 . . .
- バナジウム合金開発
大規模製造→素材, 加工材料の分析 (東北大, 九大, 広島大 . . .)
- バナジウム合金と液体ブランケット機能材料
東大, Max-Planck-Inst., 原子力機構 . . .
- 低放射化超伝導材料開発, 中性子照射試験
阪大, 物材機構, 原子力機構, 東北大 . . .
- 材料照射試験装置 (IFMIF) 要素技術開発
阪大, 九大, 東大, 東北大, 原子力機構

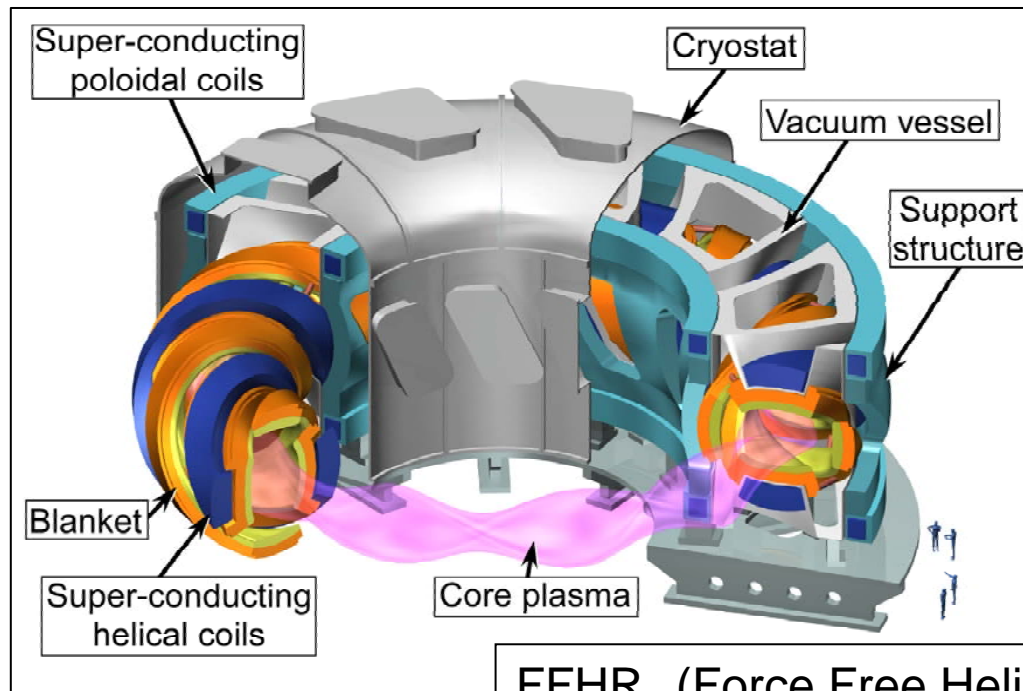
--- 一般, 計画共同研究, JUPITER-II (日米), LIME, 日中 (拠点)



ヘリカル型核融合炉 FFHR 設計研究

ヘリカル炉成立への展望をひらきロードマップの根拠を積み上げていく
炉工学分野における研究課題の掘り起こし提起するものとして重視

LHD の建設, 運転, 実験成果, データベースの取り入れ
ヘリカル炉を目標, 磁場閉じ込め方式の炉に共通する課題を意識



電磁力低減の長所を活かす
→ Force Free

LHD建設, プラズマ実験の成果
→ 磁場構造とコイル設計

安全面で有利な
溶融塩フリーベ
(LiF-BeF₂)採用

FFHR (Force Free Helical Reactor) 概念図



FFHR 設計研究・H15以降の進展

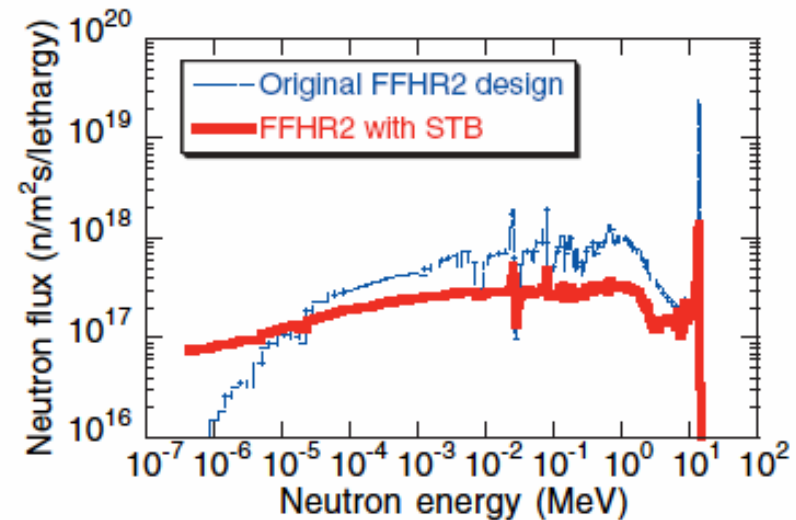
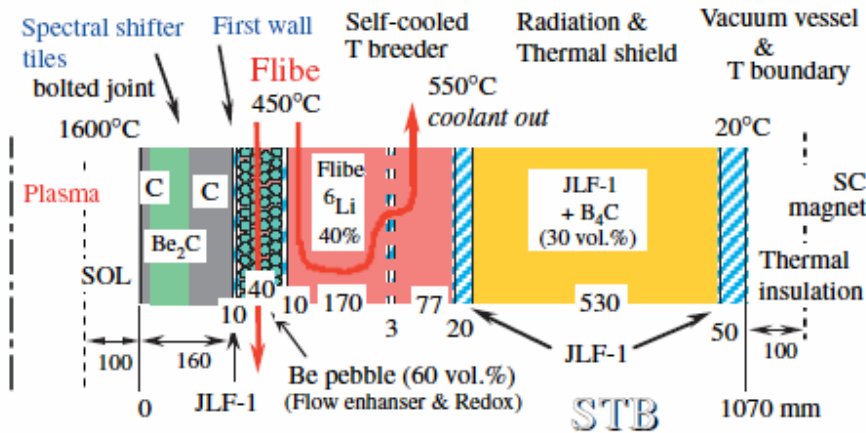
最適化を目指す研究

- 炉内構造物の長寿命化，保守交換性重視
- 大型超伝導マグネット構造設計
- 炉心プラズマ加熱機器の概念設計
-

炉システム設計研究の基盤拡大・強化

STB提案

- 炉の寿命内にブランケット交換を必要としない新概念
- 3次元コードによる核計算
- 新たな問題 タイル部熱除去

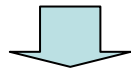


より現実的な概念構築とそれに伴う炉工学課題の提起

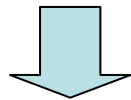


バナジウム合金開発の目的と研究活動の流れ

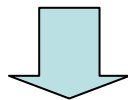
低放射化構造材料開発は重要課題
 高温・中性子環境に耐える
 寿命の長い放射化物生成を抑える



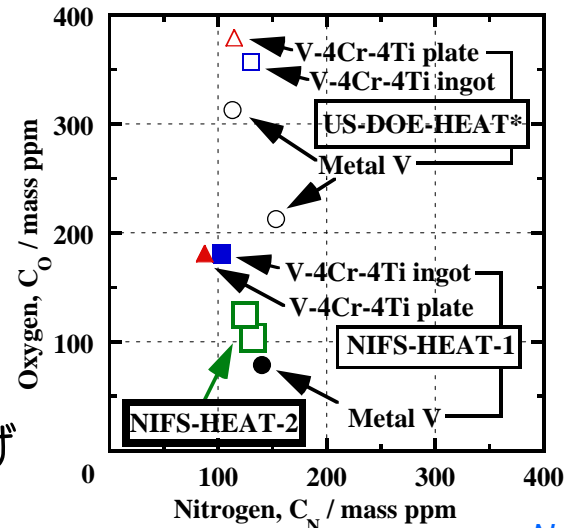
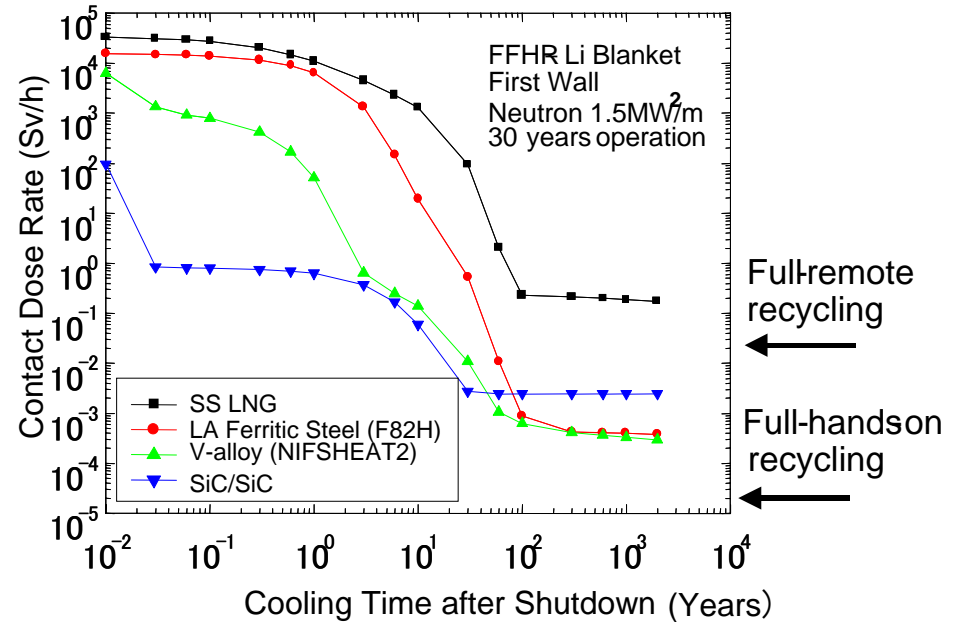
フェライト鋼, バナジウム合金
 SiC/SiC材



バナジウム合金の大規模製造
 酸素不純物少, 加工性のよい素材
 素材, 160 kg インゴット製造

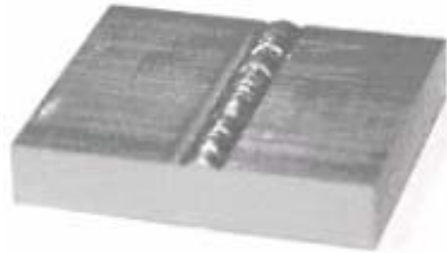


圧延, 引き抜き, 溶接
 各種加工材開発,
 基礎研究の段階引き上げ

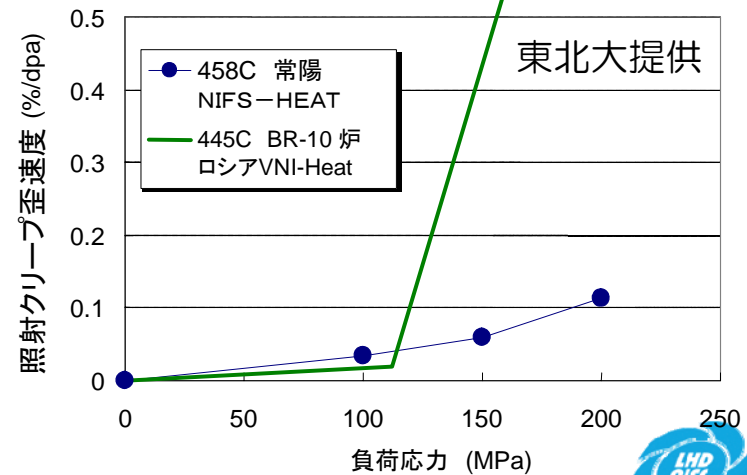
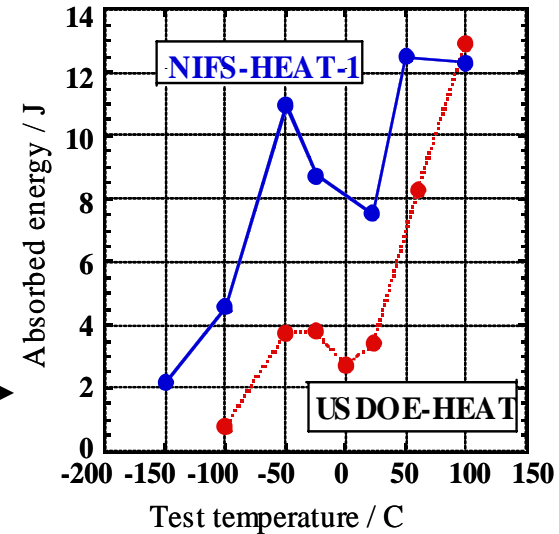


加工材，溶接材を用いる開発研究，基礎研究

溶接部材の破壊吸収
エネルギー測定
大型素材があって
はじめて可能



従来の米国，ロシアの素材
不純物量大 → 加工部材の性能劣る →
適切な試験材料ができない



クリープ管 - 熱クリープ試験前後

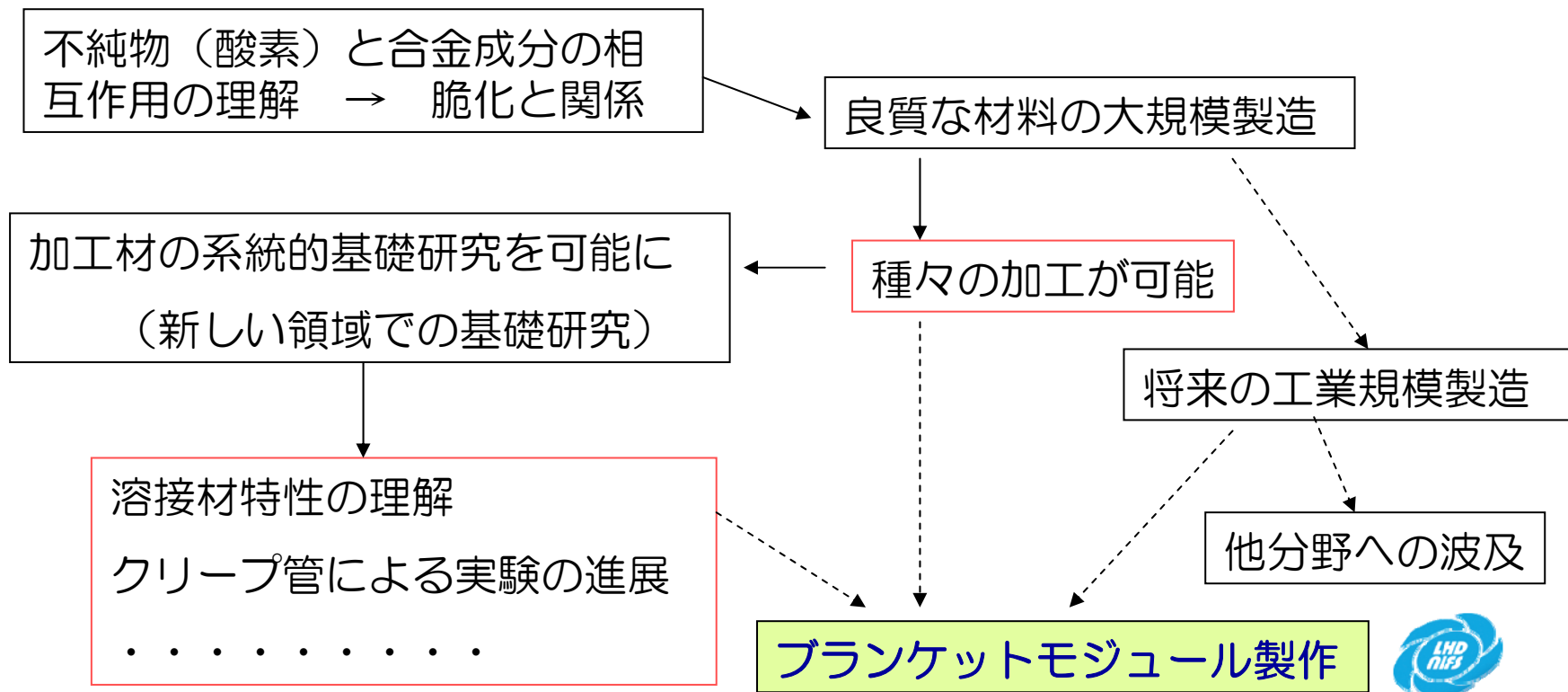


バナジウム研究 進め方の特徴

- 大学における基礎研究とプロジェクトの連携協力
- 学術としての蓄積（体系的理解の要素）と開発面の両面で前進

大学における基礎研究

NIFSによる中規模プロジェクト



核融合炉におけるブランケット

核融合炉プラント（炉システム・建家・設備・安全）

超伝導コイル

ブランケット

炉心（核融合反応）
1億度のプラズマ
（エネルギー発生）

エネルギー変換（発電、水素製造）
燃料（トリチウム）増殖
放射線遮蔽

高温の炉心 と
エネルギー変換
システムが必要

1970 - 2000
炉心プラズマ発生
1億度を達成

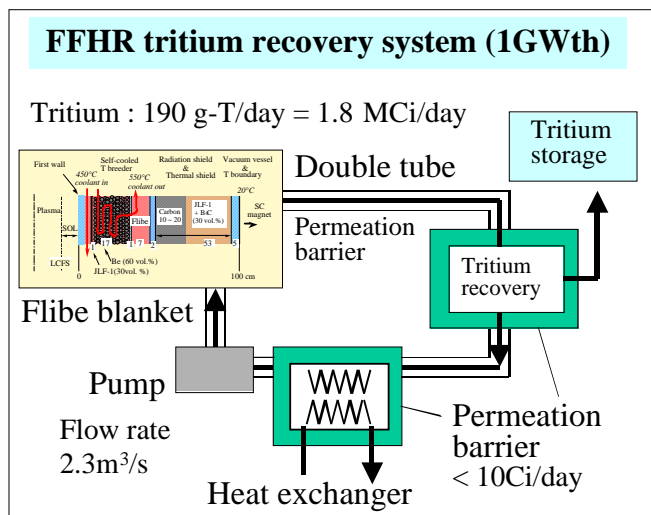
→ 長時間化，高効率化へ

ブランケットシステム
（炉工学の重要課題のひとつ）
緒についた段階

大学における炉工学研究の集約点（ブランケットモジュール）を形成していく
大学共同利用研として NIFSはその役割を果たさなければならない



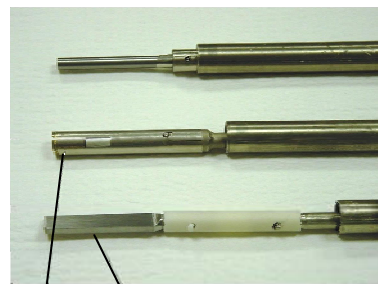
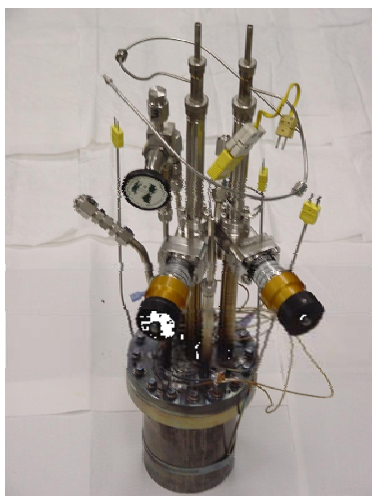
溶融塩フリーベ (Flibe) に関する研究



フリーベブランケット・回収系のトリチウム移行解析
(九大との共同研究)

溶融塩フリーベは、
トリチウム増殖能が高い
反応性が低く取り扱いが容易
MHD圧力損失が無い
トリチウム回収が容易
高温作動が可能
などの特徴があり、高効率ブランケットとして期待されている

NIFS-大学共同研究、日米協力研究JUPITER-IIなどにおいて要素技術研究を進めている



Be 低放射化フェライト鋼

フリーベの酸化還元制御による腐食抑制の実証実験 (日米協力JUPITER-II)

H18.08.21

NIFS炉工学分野報告



N. Noda 10

超伝導炉工学研究 (1)

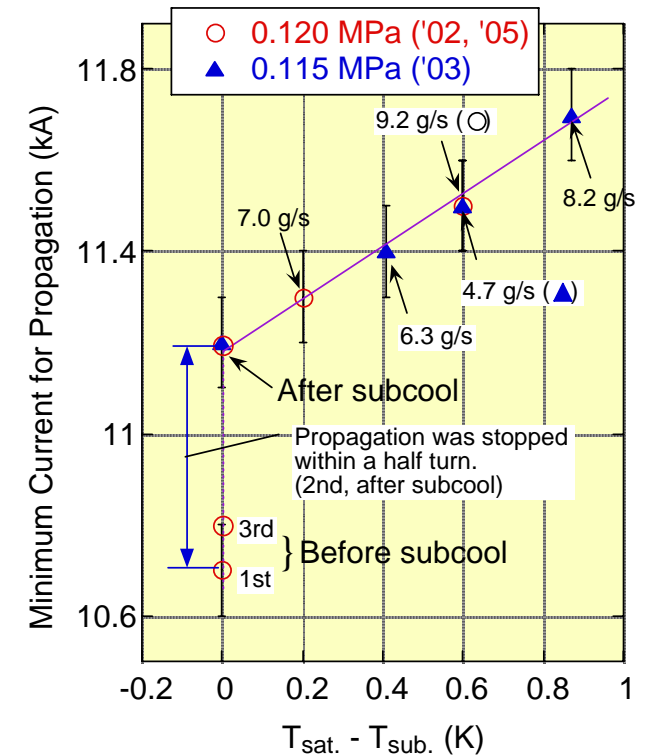
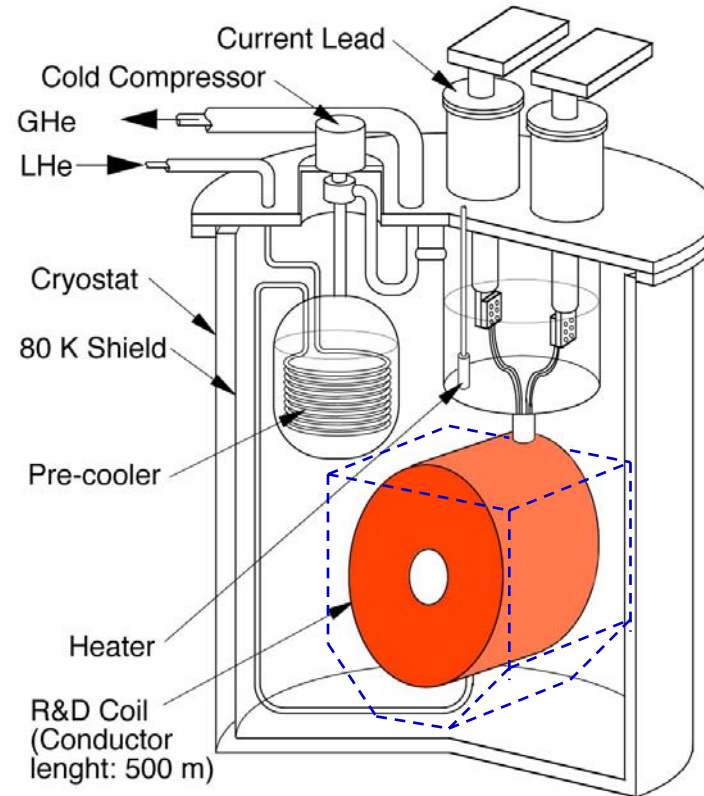
過冷却R & D – 温度低下による性能向上 –

<目的>

冷媒温度を低下させることによる超伝導マグネットの冷却安定性の改善効果を調べる

<試験設備>

- ・ R & D コイル
LHDヘリカルコイルを模擬 (同じ導体、最大磁場)
- ・ 冷却条件
入口温度 3.1-4.4 K
流量 5-9 g/s
圧力 120 kPa



冷媒温度と動的な最小伝播電流

<成果>

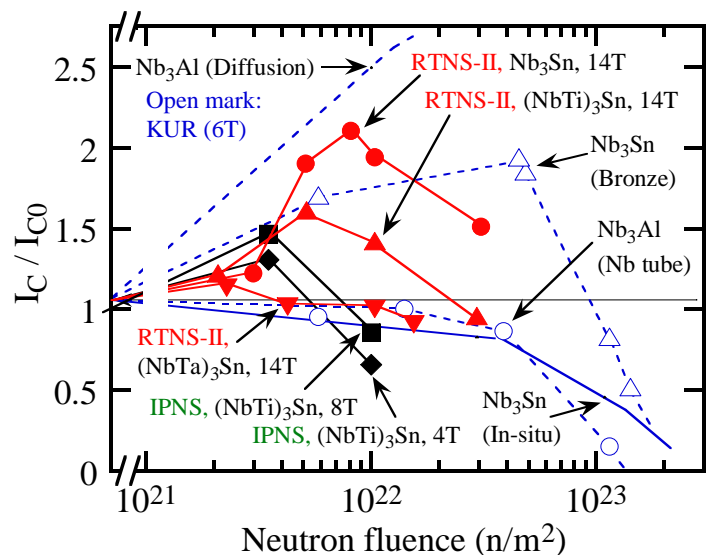
- (1) 冷媒温度を4.4 K (飽和) から3.5 Kに下げることによって、(常伝導部が拡大伝播しない) 安定な通電電流値が約10%高くなることを実証
- (2) 低温排気圧縮機を用いたコンパクトな過冷却ヘリウム発生装置を開発

この成果をLHDヘリカルコイルに適用する改造工事を実施中。11 kAに制限されている安定な通電電流値が約12 kAまで高くなることが期待できる。



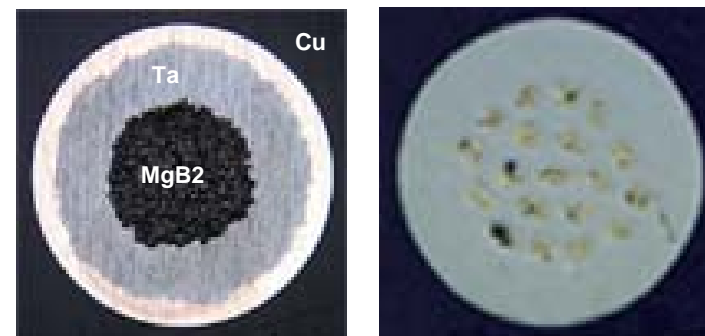
超伝導炉工学研究 (2)

中性子照射効果・低放射化超伝導線材開発



低放射化超伝導線材：
半減期の短い元素で構成された超伝導線材

直径1 mmのMgB₂、V₃Ga線材を試作



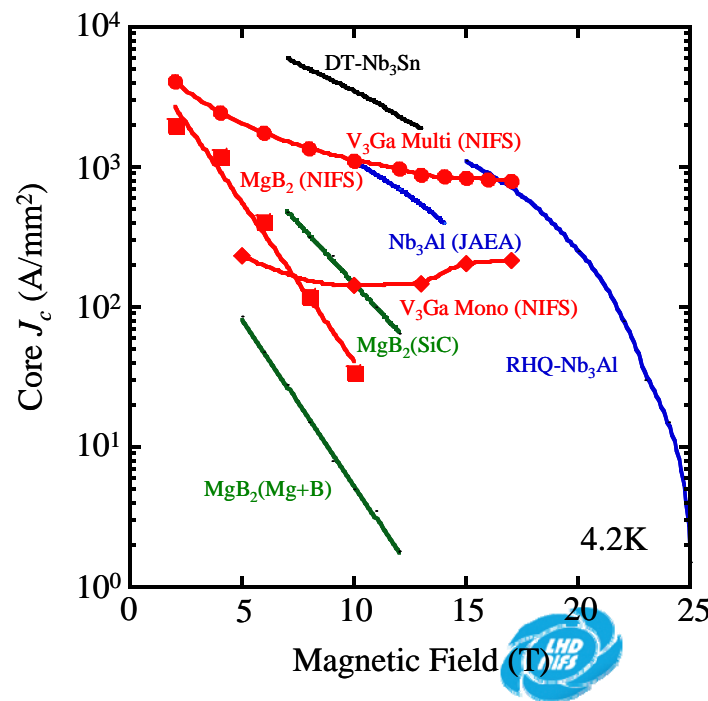
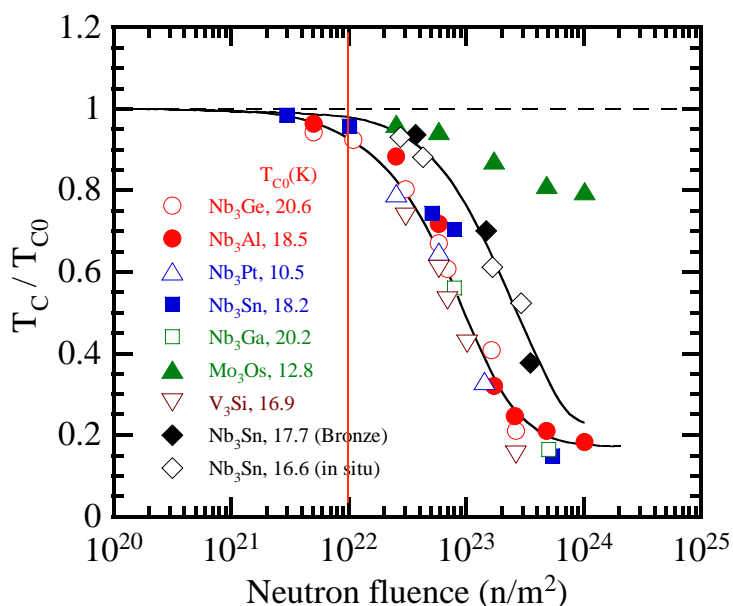
MgB₂単芯線材

V₃Ga多芯線材

中性子照射による超伝導特性の変化

Nb₃Sn、Nb₃Al線材：
Fluenceは10²²個/m²が目安

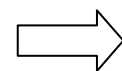
I_c増加、T_c減少前



大学共同利用機関としての役割と準備状況

炉設計や低放射化構造材開発では、その分野の最先端の課題を提示
自らの研究活動によって最前線を一歩進める役割
ブランケットシステムへの統合を目指す日米共同研究プロジェクト
JUPITER-IIや材料照射試験装置（IFMIF）要素技術開発共同研究

1 研究分担者としての研究活動
リーダーとしての指導的役割
実務支援の役割



計画全体の進展に貢献

重点化，法人化をひとつの契機として

所内炉工学・炉設計連絡会議を設置

幅広い炉工学課題全般の情報と意見交換，所内における認識の統一
所外研究者によるピアレビューを「外部評価」として実施



大学共同利用機関としての役割と準備状況（続き）

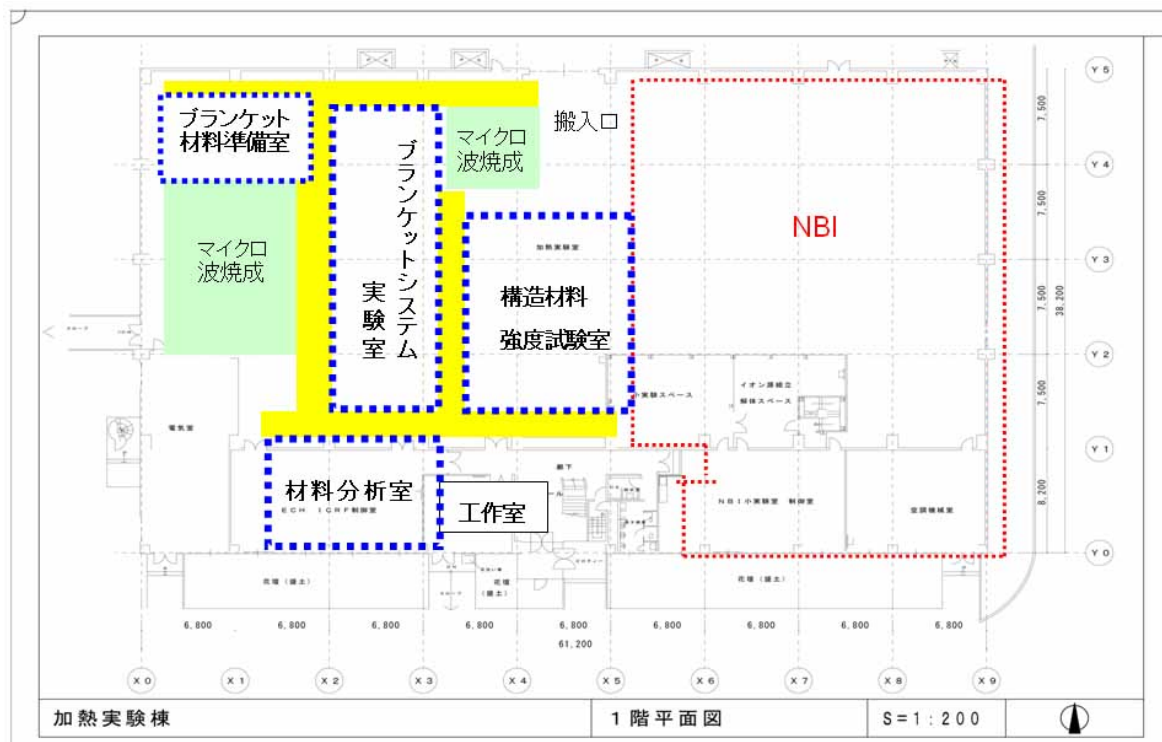
炉工学研究センターについて

外部評価の提言を踏まえた今後の計画を提案
炉工学ネットワークでさらに討論

- ①これまでの低放射化構造材料開発及び基礎研究の成果をより発展させるとともに、Flibe等液体**ブランケット**研究用流動ループ建設と研究の充実を図ること
- ② ITER, BAを含め、大学における炉工学研究推進を図るための検討作業に積極的に貢献し、大学及び原子力機構と連携協力してその方針を定め、研究のプラットフォームを確立していくこと、そのための方策として a) **炉工学ネットワーク**、**核融合フォーラムとの連携**、b) **双方向型共同研究への参画**を図ること
- ③これらを共同研究として進めていくための**センター施設の確立と充実** —加熱実験棟の改修—



炉工学研究センター，共同研究の拠点をつくる



加熱実験棟大実験室の整備計画

これまでNIFSの材料、ブランケット研究は大学との協力、国際協力を中心に進めてきた

今後は、ブランケットシステム実験を中心に大学における炉工学研究を集約する拠点をNIFSに形成する

この目的で、加熱実験棟の整備を計画している

核融合ネットワークに計画の検討・審議をお願いしている



まとめ

- 大学共同利用研として炉設計，ブランケット，LHD関連で中規模のプロジェクト的プログラムを企画，共同研究を含め実施
 - 炉設計，ブランケット開発，低放射化材料，超伝導
- これらの分野での成果はそれぞれ独創性に基づき，最前線を一步進める成果に着実に結びついている
 - 世界的規模での研究の進展に対する寄与
 - わが国の核融合研究全体に炉工学分野大学共同研究の中核としての責務を果たし，貢献している
- 重点化，法人を契機に要請される水準にふさわしい研究活動へと展開しつつある
- 学術としての蓄積を重視しつつ，開発の要求にも着実にこたえ，成果に結びつけていく