



核融合工学研究プロジェクトの 2021年度研究成果、および、 2022年度研究計画について

核融合工学研究プロジェクト総主幹
室賀健夫

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

2021年度 年度計画

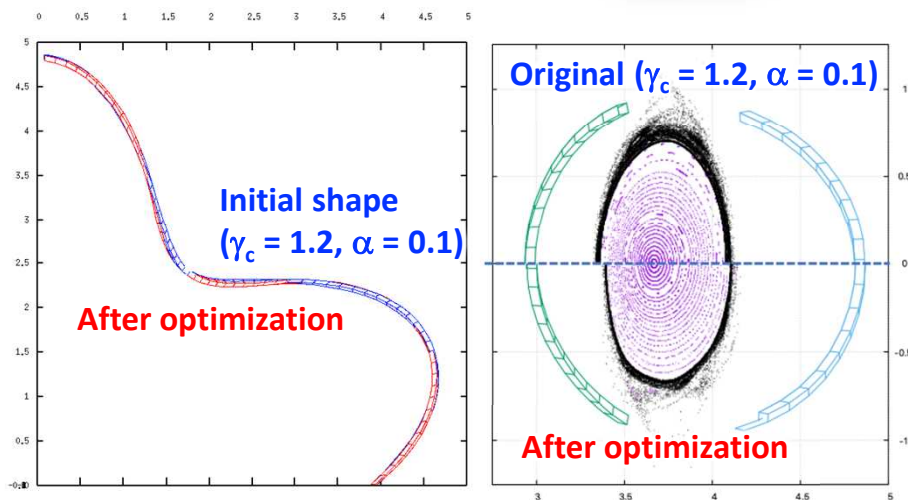
第3期中期目標・中期計画

【12-1】核融合炉の早期実現を目指し、炉設計研究と要素技術開発研究のリンクを強化して総合的な研究開発を進め、(1)「大口径強磁場導体試験装置」等を用いた先進高温超伝導導体試験、(2)「熱・物質流動ループ」を用いた液体増殖材システムの腐食を含む物質移行、(3)バナジウム合金、銅合金、タングステン合金など高性能材料のデータベース構築、(4)超高熱流機器試験体のLHDプラズマ照射と総合性能評価を行う。さらに、第2期で立ち上げた大型試験設備等による共同研究の機能強化、他分野や産業界との連携等を引き続き促進するとともに規格・基準構築に向けての知見の集積を行う。これらに基づいて、**大型高磁場超伝導マグネットと先進ブランケットシステムの実規模試作の工学設計をまとめるとともに、ヘリカル炉の実現に向けた学術研究ロードマップを報告書にまとめる。**

※ 3月中に、完遂

早期発電実証ヘリカル炉の概念設計を提示・推進

ヘリカルコイル巻線則の最適化による炉心プラズマ閉じ込め性能の改善と、先進工学概念の採用による機器のコンパクト化・循環電力の低減を織り込み、**LHDの2倍サイズで10万kW級の発電を可能とする新装置FFHR-b3の概念設計を推進**

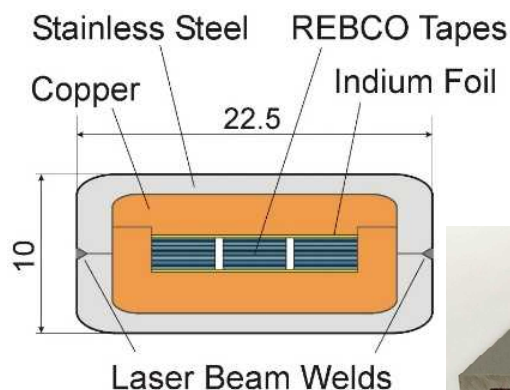


ヘリカルコイル形状最適化OPTHECSコードとこれまで開発した統合物理解析ツールを用い、FFHR-b3設計に必要な炉心プラズマ性能とブランケット設置スペースを両立できるヘリカルコイル形状を探索

次世代核融合装置をターゲットとした高温超伝導導体開発

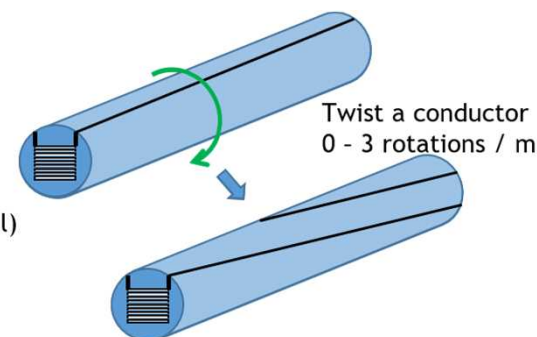
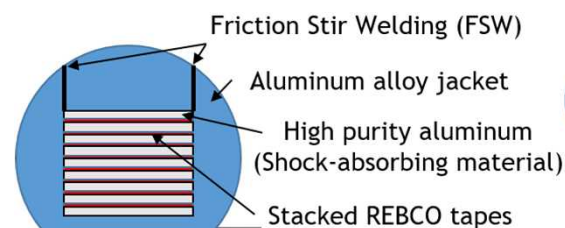
大電流・大型高温超伝導導体(3種類)の開発 (機能強化重点支援: FY2019-2021)

STARS



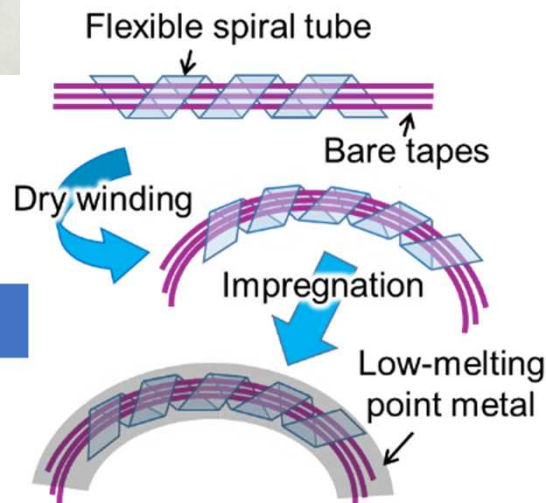
REBCO 線材の単純積層を銅ジャケット & ステンレスジャケットに入れた強固な構造

FAIR



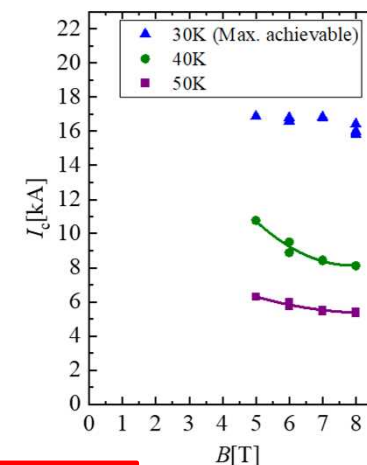
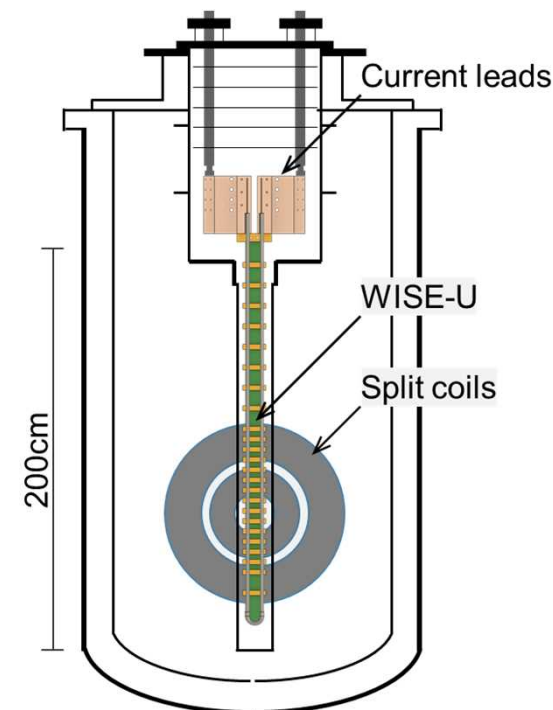
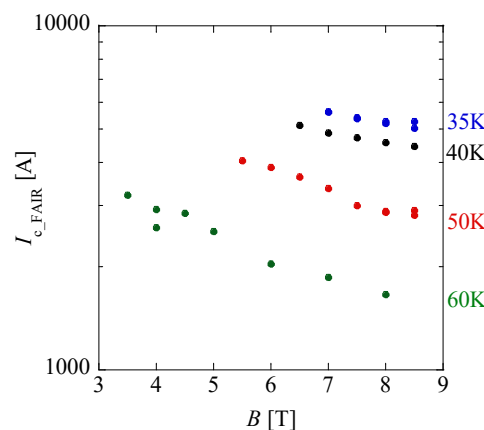
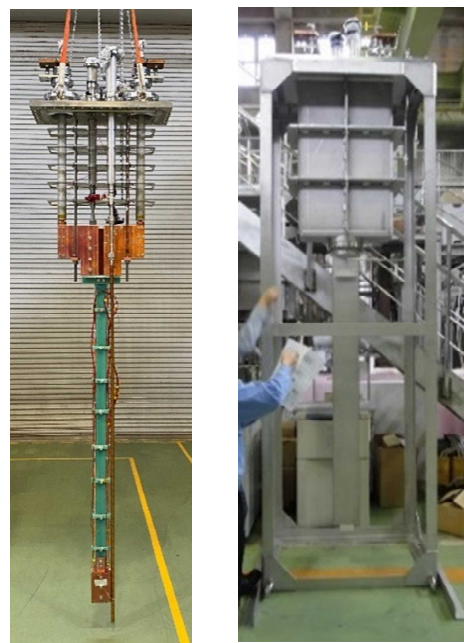
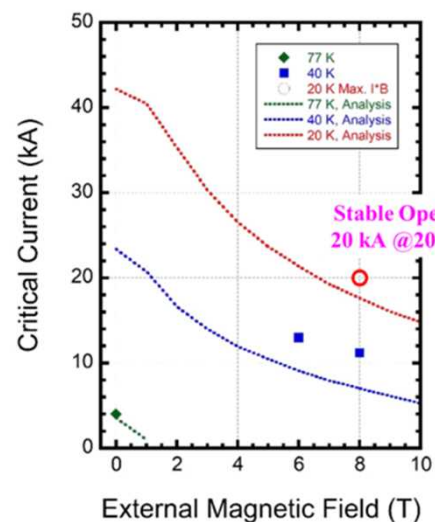
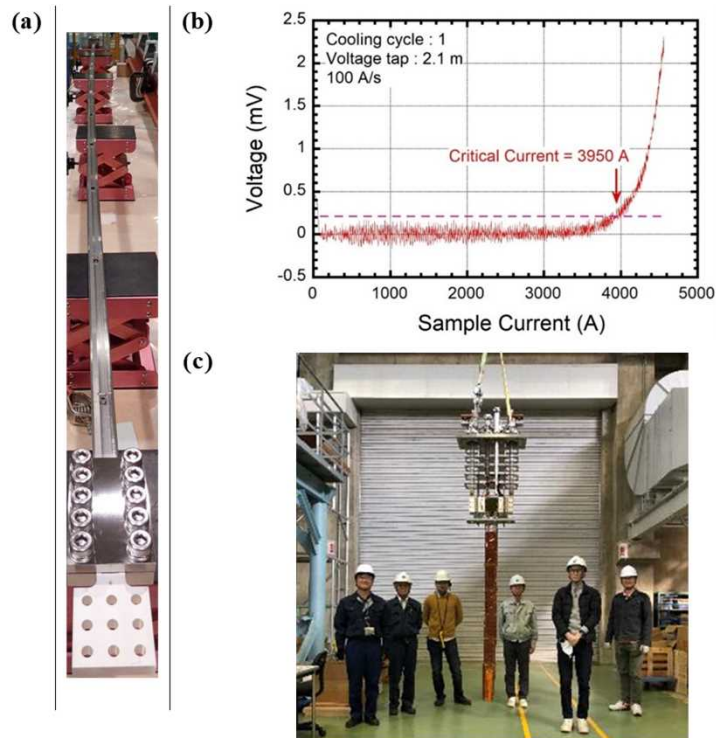
REBCO 線材を積層し、アルミ合金に入れて全体に撚りも入れた構造

WISE



REBCO 線材を積層し巻線した後に低融点金属で固めてコイルを形成

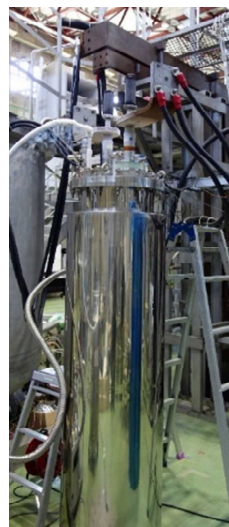
次世代核融合装置をターゲットとした高温超伝導導体開発



3種類の導体について >20 K、<8.5 T までの超伝導特性を評価

次世代核融合装置をターゲットとした高温超伝導導体開発

小型導体試験装置
(-200°C (液体窒素)、
磁場なし)

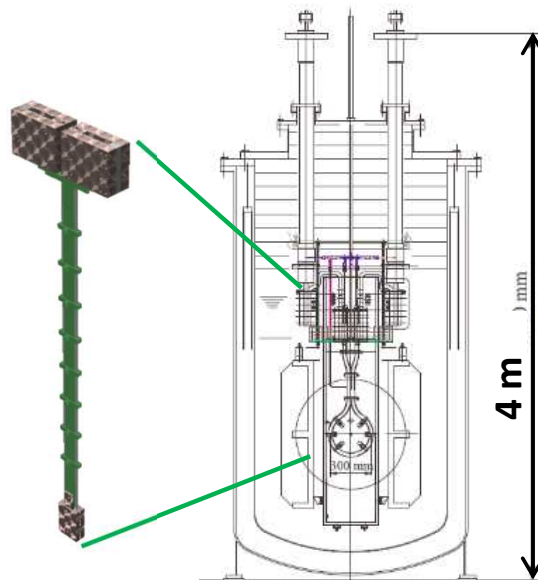


短尺導体
1 m 試験

1 m

短尺導体 (3 m)
試験

大型超伝導導体試験装置
(-250°C 、磁場 9 テスラ)



短尺導体 (2~3 m) 試験

4 m

大口径高磁場導体試験装置
(-250°C 、磁場 13 テスラ)



短尺導体 (3~10 m) 試験
(電磁力印加 1000 回以上)



3.3 m

高温超伝導を用いた
核融合炉マグネットの
基盤技術の確立！

3 m

年次計画

2019年度

2020年度

2021年度

短尺導体製作 (1 m)

短尺導体製作 (3 m)

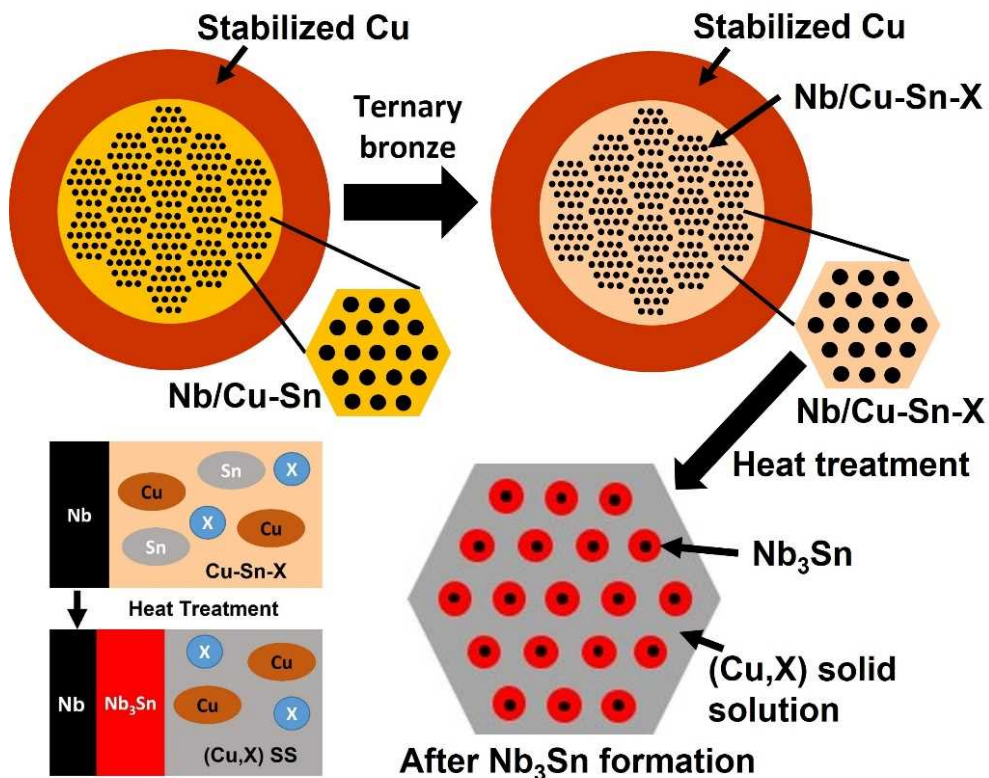
短尺導体試験
液体窒素中

短尺導体試験 (液体ヘリウム中)
磁場 9 テスラ 13 テスラ

高温超伝導
3次元ヘリカルコイル
製作技術の構築と実証

長尺導体 (> 5 m) 試作、コイル要素製作

低温超伝導線材の高強度化



- ✓ Cu-Sn-X三元系合金母材による内部固溶強化ブロンズ法が進展した。
- ✓ Nb_3Sn 相の生成に伴い、 (Cu,X) 固溶体に相変態し、 Nb_3Sn 相の保護材として作用する。
- ✓ 三元系合金母材は Nb_3Sn 相生成促進効果を確認した。

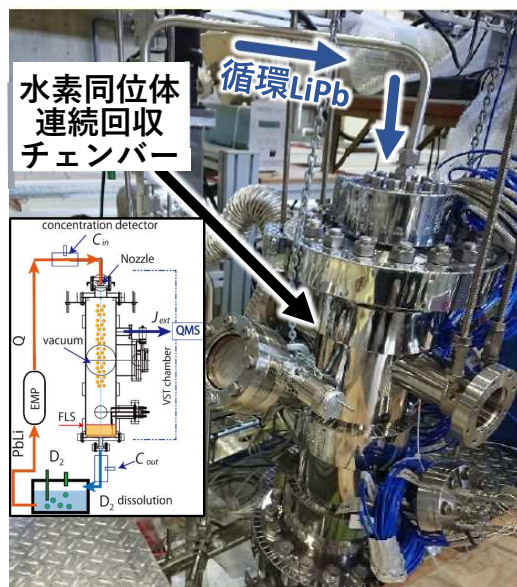
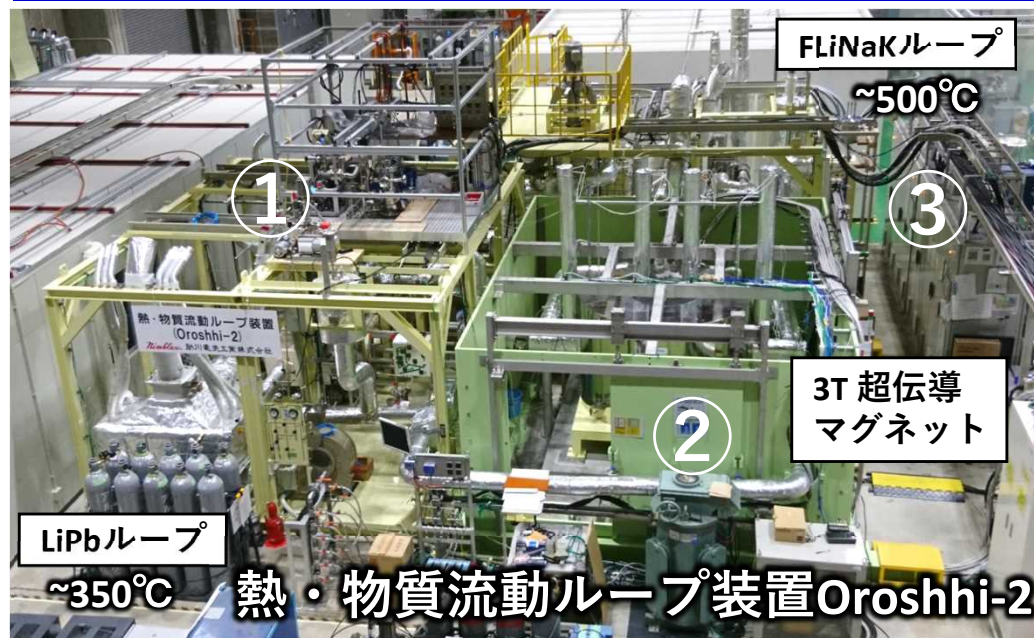
内部補強線材 母材	初期 I_c (I_{c0})	許容圧縮応力 ($I_c\sigma/I_{c0}=95\%$)	不可逆 圧縮応力 ($\sigma_{irr}=100\%I_{c0}$)
Cu-14Sn-2In-0.3Ti	93.3 A	51.5 MPa	41.3 MPa
Cu-10Sn-5In-0.3Ti	51.33 A	147.9 MPa	216.4 MPa
Cu-10Sn-10Zn-0.3Ti	68.1 A	105.6 MPa	151.3 MPa
Cu-16Sn-0.3Ti (Ref.)	131.6 A	41.5 MPa	< 20.5 MPa

- ✓ 圧縮応力の負荷-除荷における I_c 変化から、許容圧縮応力と不可逆圧縮応力を見積もった。

許容圧縮応力 -- 圧縮応力下での I_c 特性が初期 I_c の95%を示す応力
不可逆応力 - 完全除荷した際の I_c が初期 I_c の100%に戻る応力

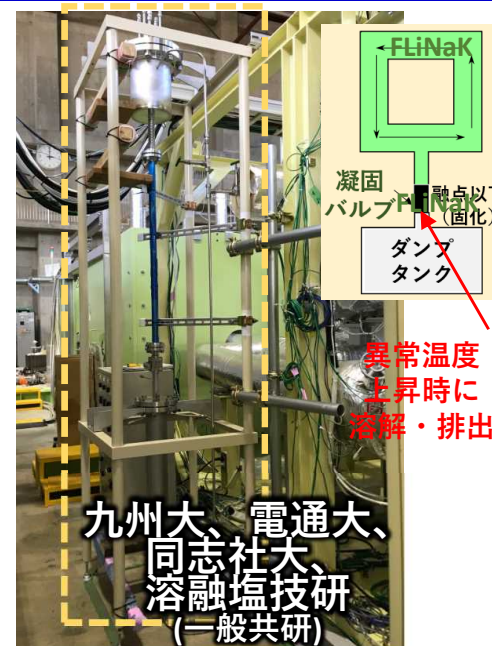
- ✓ 第三元素であるZnやIn元素の高濃度化に伴い、不可逆圧縮応力が大幅に向上した。
- ✓ 許容圧縮応力よりも高い不可逆圧縮応力特性は、許容応力まで印加後除荷しても初期 I_c 特性を維持することを示し、繰り返し圧縮応力印加に対する大きな耐性を示した。
- ✓ 三元系ブロンズ合金における溶質元素としてIn元素が適していることが明らかとなった。

ブランケットの水素燃料回収、除熱特性、安全技術検証

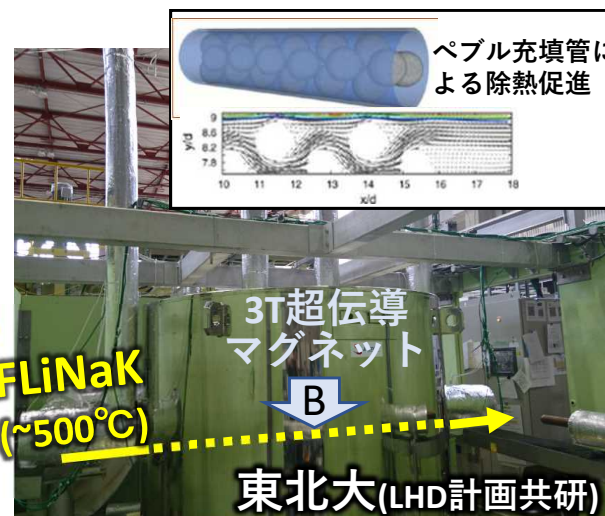


① 循環LiPb からの連続水素回収 試験

- ・循環LiPbへの重水素(D)溶解及びLiPb中のD濃度検出が行えることを確認し、循環回収実験を開始



③ FLiNaK 凝固バルブ 試験



② FLiNaK 強磁場下 除熱特性試験

- ・ FLiNaKループへの試験部接続、加熱制御系の取付け完了。

→解除後、昇温試験開始

- ・ ループ本体の遠心ポンプ不具合修理及び移動制限により大幅遅れ

- ・ 解除後、流動実験開始
- ・ 平行して次の試験体準備等、2021年度で遅れ回復を計画

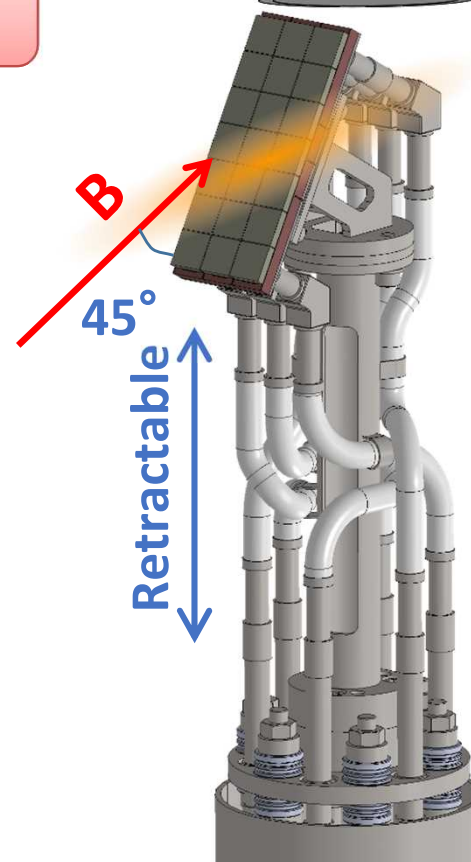
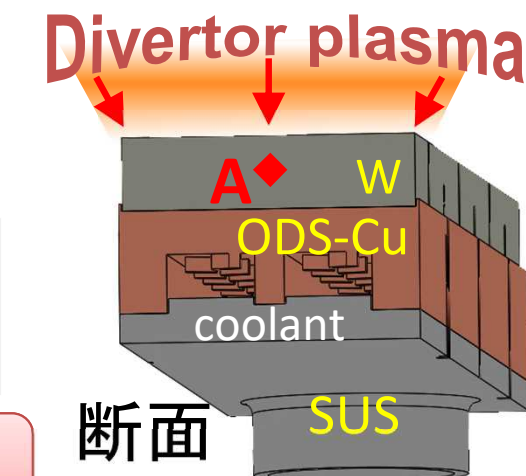
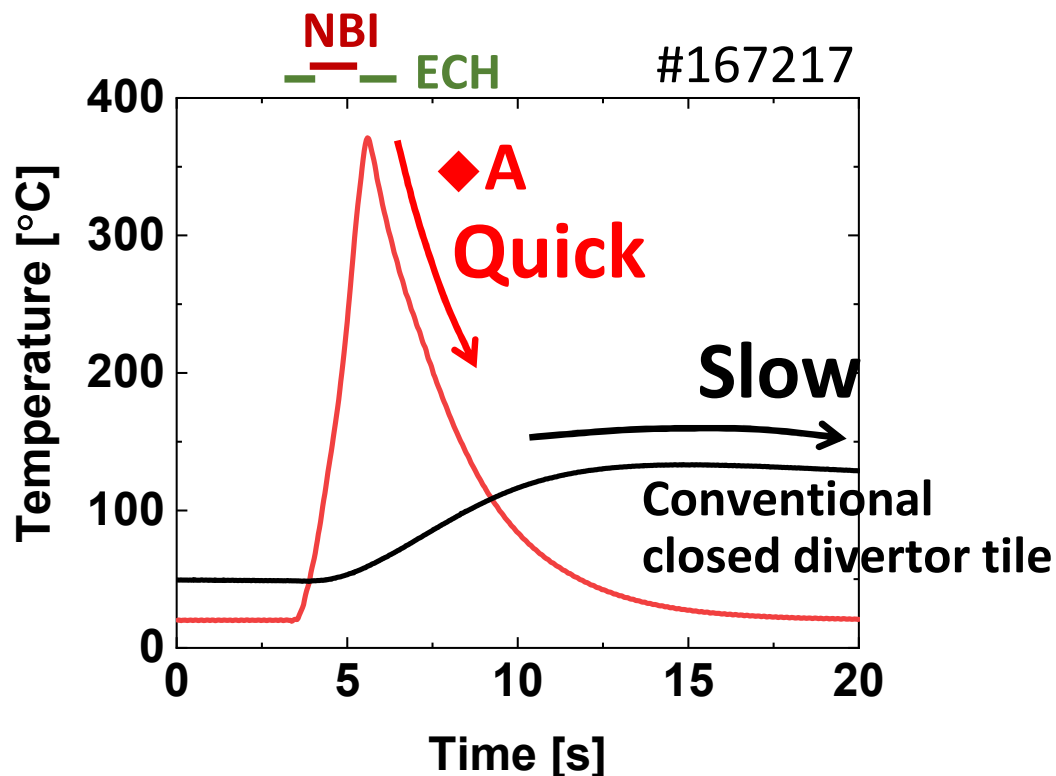
2021年度新規：LiPbループの不純物評価実験(NIFS)の立ち上げ

大学から2022年度以降の実施課題提案 工学P-8/12

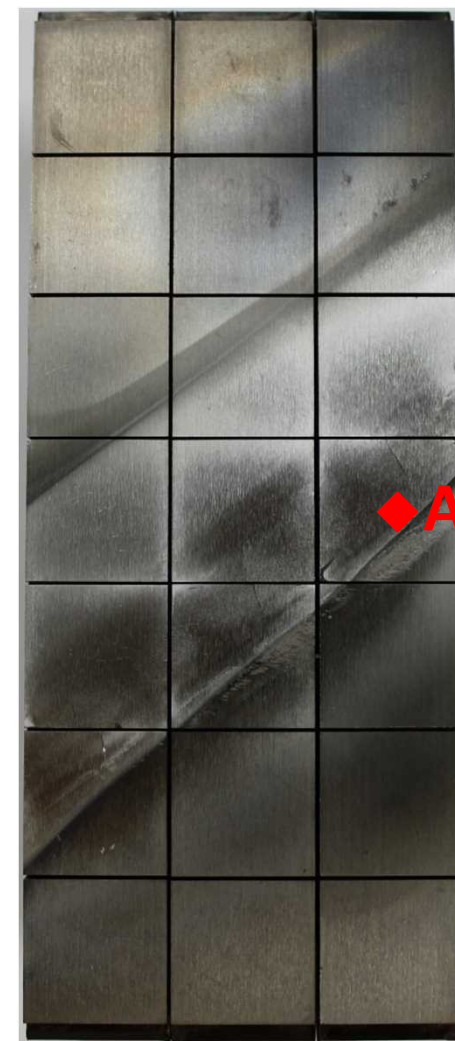
超高熱流機器の高性能化と長寿命化

「AMSB新構造ダイバータ受熱機器試験体」
LHD ダイバータプラズマ 1,180 shots 照射

高効率な除熱性能と信頼性を実証



照射後も除熱性能に変化なし

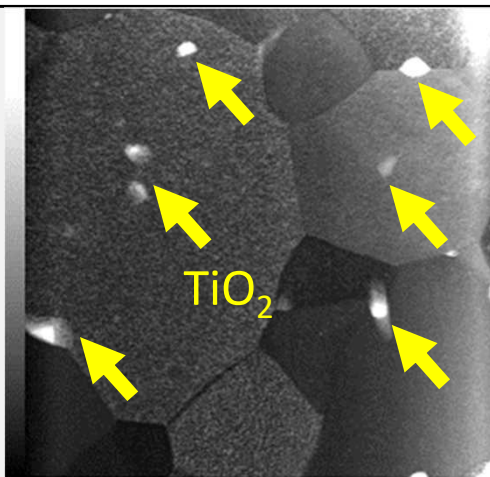


超高熱流機器の高性能化と長寿命化

プラズマ対向材料(W)の分散強化(Dispersion Strengthening)による高性能化研究

→耐熱性に優れた酸化物分散強化タングステン (DS-W)の効率的な製造ための調査。

昨年まで: 試作材評価



母相に熱的に安定な
ナノ粒子を分散

NIFS-新型AMSBダイバータ
における30MW/m²入熱時
の表面温度(1600度)での
真空焼鈍試験

1. 強度低下抑制
2. 結晶粒粗大化抑制

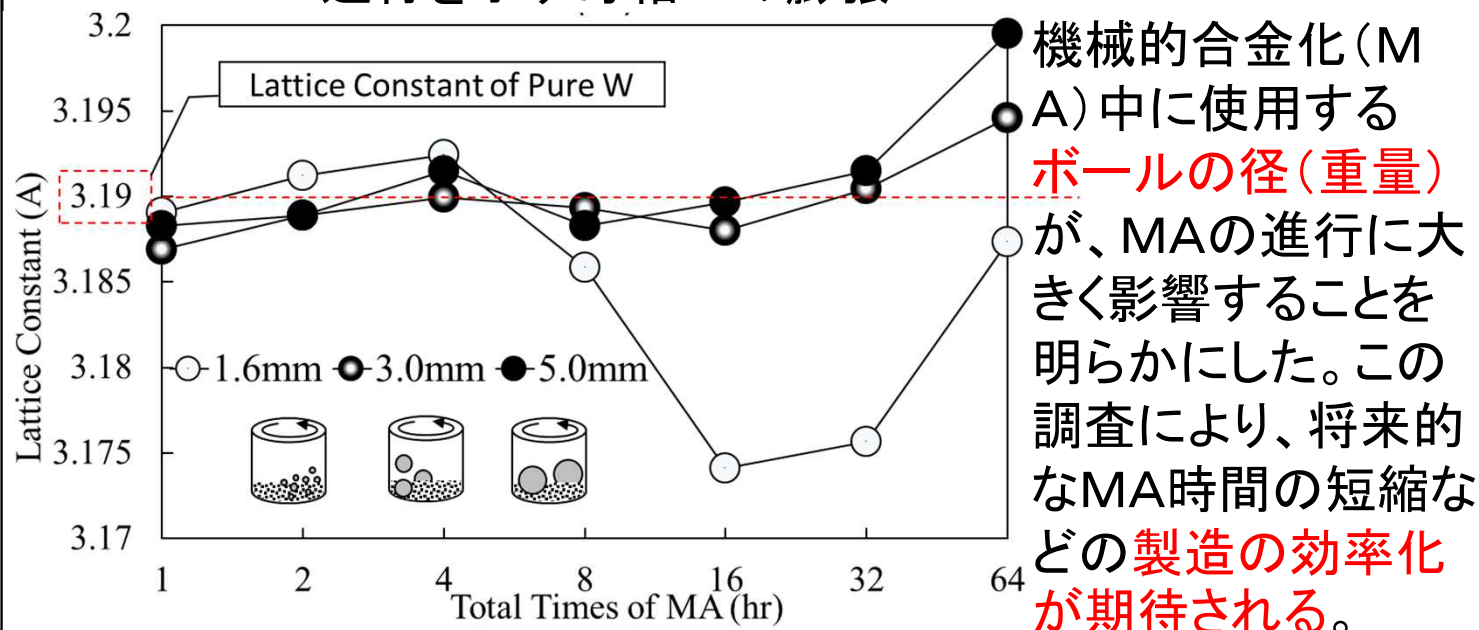
今年度: 合金化過程の詳細な調査

製造工程 ①原料 → ②機械的合金化(MA) → ③焼結 → ④完成

MA過程は性能に大きく影響するため、詳細に調査する必要がある

成果

MA進行を示す母相Wの膨張



材料分析用タンデム加速器の 高性能化

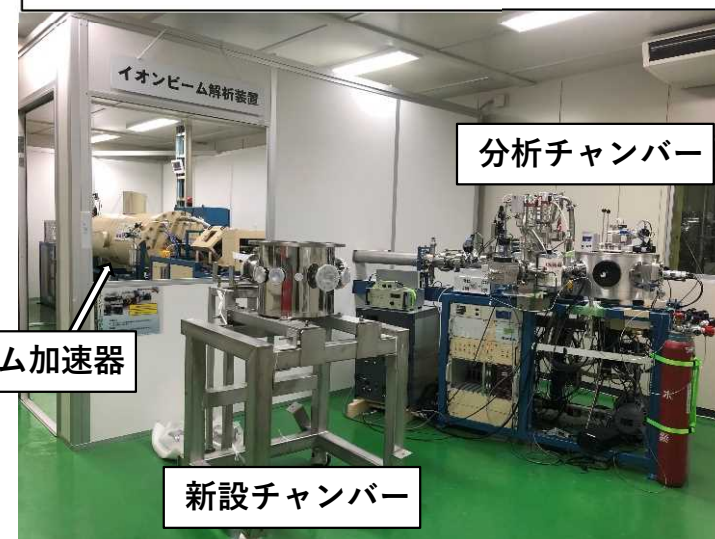
1) 照射損傷実験用ビームラインの増設

- ビームラインの増設を規制庁へ申請 ⇒ 承認済
- チャンバーを新たに導入した（整備中）

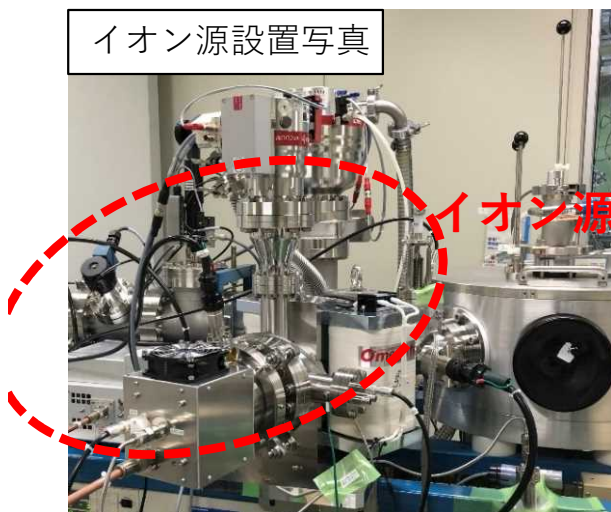
2) イオン源の整備 & 動作確認

- イオン源（オメガトロロン社製、 H^+ と H_2^+ 分離照射可能）を分析チャンバーに設置
- ⇒ イオン源の動作確認および自動ガスバルブの整備を実施した
- ⇒ 今後、水素同位体および材料元素の動的計測環境を構築する

ビームラインの増設（設置後写真）



イオン源設置写真



①ラザフォード

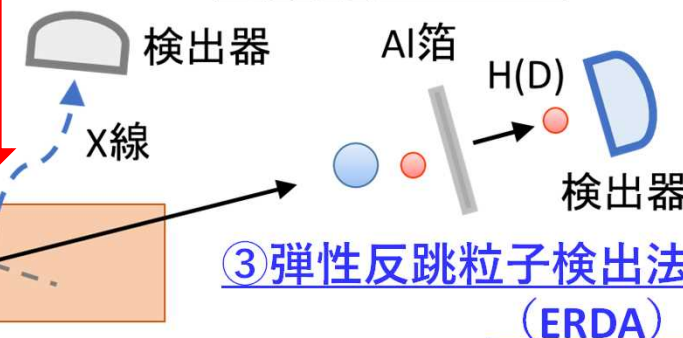
後方散乱法 (RBS)



イオン源

②粒子線励起

X線分析 (PIXE)



③弾性反跳粒子検出法 (ERDA)

2022年度 年度計画(素案)

- 外部評価の指摘への対応
- 第4期中期計画に対応する研究の立ち上げ

第4期中期目標・中期計画(素案)

【8】核融合科学分野において、高度な極限技術の複合系である**核融合システムの実現に向けた課題について学際化に取組み**、技術の普遍化を図る。そのために、特に、大型高磁場超伝導マグネット、超高熱流プラズマ対向機器、中性粒子ビーム入射加熱等に関わる核融合科学研究所が有する**先端的中核試験設備の高度化を進め**、国内外の研究機関との共同研究を推進する。これにより、高効率核融合炉の設計に資するとともに、関連研究分野との連携を強化し、広く科学技術の基盤醸成に貢献する。

【9】核融合科学分野において、発電のみならず、大規模・安定な**水素製造も可能とする核融合炉の概念の構築**とそれに必要な技術の高度化を進めるとともに、**水素の効率的利用に関連する学術研究を推進**するなど、エネルギーの高効率利用に核融合極限技術を適用し、広くエネルギー科学研究を展開することにより、**水素エネルギー社会・カーボンフリー社会の実現に貢献**する。