

# 原型炉研究開発体制の強化のための 大学等の連携強化について

共同研究ワーキンググループ

# 共同研究の目的・運用体制（概要）

## 1. 目的

大学等を対象とした原型炉に向けた共同研究をとりまとめる新たな体制を整備し、自主・自律を前提とする大学等の優れた取組を支援することにより、国と各機関で、一体となって原型炉研究開発に取り組むことを目的とする。

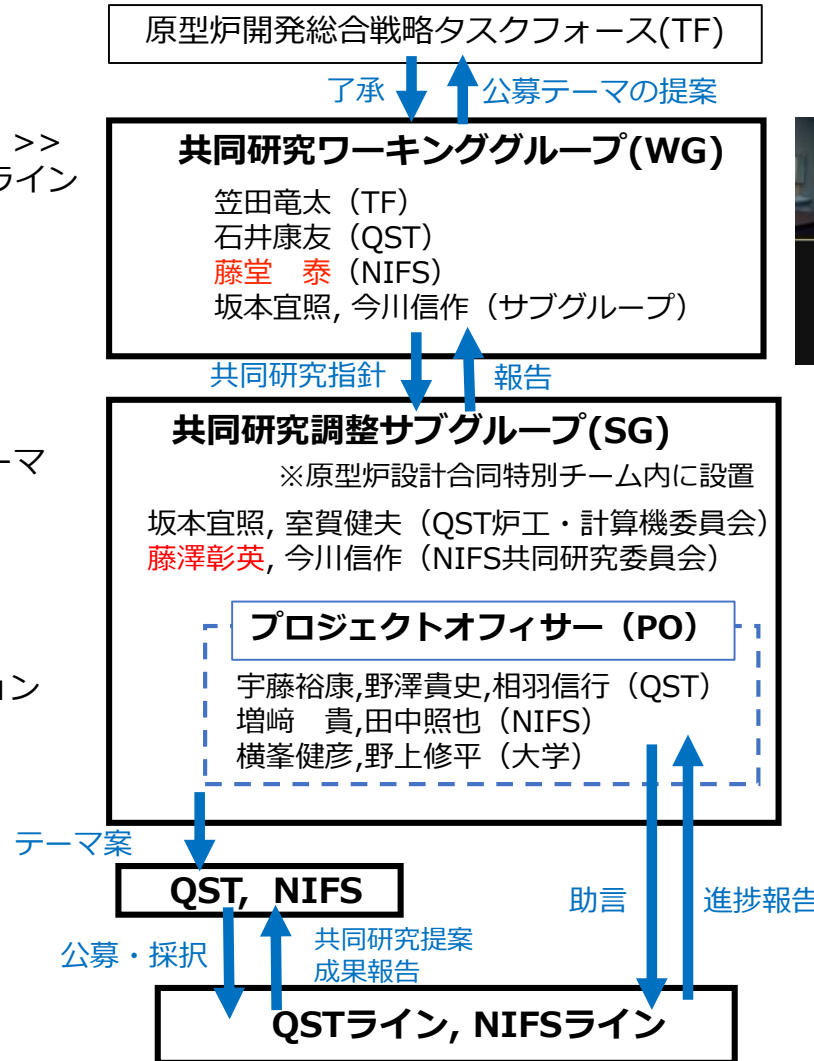
## 2. 運用体制

<< プロジェクトディレクター的機能 >>  
・QST・NIFS間の共同研究のガイドライン（大方針）の作成

<< 公募テーマの調整 >>  
・QST側、NIFS側の共同研究公募テーマの調整

<< 研究課題の進捗管理、助言 >>  
・所掌課題の進捗を把握し、アクションプランに沿って進むように助言

<< 実施機能 >>  
・採択された課題の実施



赤字：R3年度からのメンバー

# 共同研究の成果報告の実施

## 核融合エネルギーフォーラム 実用化戦略クラスター DEMO設計サブクラスター会合@2020.11.17

- |  |  |
|--|--|
| 1) 原型炉設計合同特別チームによる原型炉基本概念について  | 特別チーム  |
| 2) 原型炉研究開発共同研究の進捗について  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 原型炉研究開発共同研究の概要</li> <li>• 高温高圧水と金属との界面における水素輸送モデルの構築と検証</li> <li>• 原型炉内異材接合体製作技術および残留応力推定法に関する研究</li> <li>• 原型炉の炉心プラズマの性能評価</li> <li>• 原型炉タングステンダイバータの非定常熱負荷による<br/>溶融挙動と蒸気遮蔽効果に関する研究</li> <li>• MHD圧力損失低減用機能性被覆の創製と特性評価</li> </ul> | 今川信作 (NIFS)<br>大塚哲平 (近大)<br>芹澤 久 (阪大)<br>藤田隆明 (名大)<br><br>伊庭野建造 (阪大)<br>近田拓未 (静岡大) |
| 3) 今後の原型炉検討に関する総合討論  |  |

研究代表者が報告

## プラズマ・核融合学会 第37回年会@2020.12.3

### シンポジウム：原型炉研究開発共同研究の進展 [核融合炉工学 / 領域企画]

#### 趣旨説明

坂本宜照

1. 原型炉設計の進展と共同研究の成果概要
2. 構造材料共同研究の進展
3. 理論シミュレーション共同研究の進展
4. ダイバータ共同研究の進展
5. 先進ブランケット共同研究の進展

宇藤裕康

野澤貴史

相羽信行

増崎 貴

田中照也

#### 総合討論

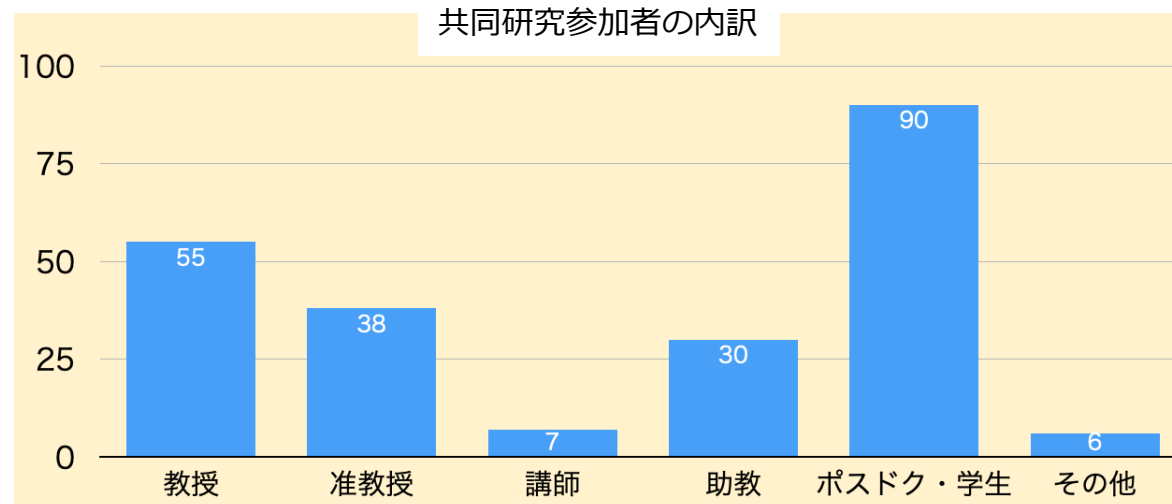
司会：今川信作

POが報告

# QST 共同研究の実施概要

## ● 2020年度は36件の共同研究を推進

- ▶ 90名のポスドク・学生が参画  
(人材育成に貢献)



## ● QST核融合炉工学研究委員会にて成果報告会を開催（参加者67名）

- ▶ 共同研究優秀賞（2件）を選定
- ✓ JET ILW実験におけるプラズマ対向機器表面およびダストの三重水素蓄積特性研究（時谷・NIFS）
- ✓ 核融合中性子源照射モジュールの液体金属伝熱媒体と鉄鋼材料の材料共存性に関する実験的研究（近藤・東工大）



QST原型炉研究開発共同研究成果報告会(2021.3.1)

## ● 2021年度 QST共同研究公募を実施（契約手続き中）

- ▶ 新規応募：17件（5件：炉工学、10件：中性子源、理論：2件）を採択
- ▶ 継続申請：29件（21件：炉工学、1件：中性子源、理論：7件）を採択

# 2020年度QST共同研究の成果概要 (1/5)

AP項目	成果概要
0. 炉設計	<p><b>原型炉の運用コスト評価に向けたシステムコードの高精度化 (核融合科学研究所・後藤拓也)</b>                      アクションプランの「コスト評価」に資するため、核融合炉の運用コストおよびCOEを評価するモデルの検討を行い、原型炉で想定されているパラメータを基に初期評価を実施した。原型炉の建設費と稼働率から想定される運用コストの評価結果から、COEを下げるためには、保守交換にかかる費用と保守交換までの運転時間を増大させることが非常に重要であることが明らかになった。</p>
1. 超伝導コイル	<p><b>原型炉TFコイル導体及び導体配列の概念設計検討 (福井工業大学・伊藤保之)</b>                      アクションプランの「SC概念設計」に資するため、TFコイルの電磁気学的動特性評価を簡便且つ精度良く評価可能なモデルを作成し、TFコイルの高速放電時に炉内構造物に発生する渦電流を加味した評価を実施することにより、真空容器設計と整合する導体電流値および導体配列構成の最適化を行った。</p>
2. ブランケット	<p><b>原型炉における液体ブランケットの流路設計研究 (東北大学・江原真司)</b>                      アクションプランの「原型炉TBMのための先進ブランケット概念検討と素案提示」に資するため、第一壁流路に対する磁力線とのなす角、並びに液体金属LiPbの第一壁流動時のMHD効果を分析。垂直磁場印加時と比較してMHD圧損を1/100程度にするには、なす角を6°以内にする必要があるが、第一壁での最大なす角は14.5°に至り、第一壁流路の向きや形状調整が必要と分かった。</p> <p><b>JET ILW実験におけるプラズマ対向機器表面およびダストの三重水素蓄積特性研究 (核融合科学研究所・時谷政行)</b>                      アクションプランの「三重水素挙動の解明、三重水素取扱技術の開発」等に資するため、JET装置のILW実験で使用されたタングステンダイバータタイルの分析により、残留三重水素量のポロイダル分布、三重水素が炭素やベリリウムから成る堆積層に共堆積により蓄積していること、タイル加工時に形成された構造がベリリウムの堆積層形成に影響していることを示した。</p>
3. ダイバータ	<p><b>原型炉タングステンダイバータへのパルス熱負荷による溶融挙動と蒸気遮蔽効果を含めた寿命評価 (大阪大学・伊庭野健造)</b>                      アクションプランの「ダイバータ開発目標の整合性確認と炉設計への適用」に資するため、タングステンにパルス熱負荷が加わった際の溶融層の挙動と蒸気遮蔽の影響を調べ、磁場強度に対する溶融層挙動の依存性を初めて確認、熱パルス波形の違いによって蒸気遮蔽効果の効率が異なることを明らかにし、想定される熱負荷では既存の予測よりも損耗が小さくなる可能性を示した。</p> <p><b>ダイバータへの適用をめざすタングステン材料の照射データベースの構築 (東北大学・長谷川 晃)</b>                      アクションプランの「ダイバータ機器構成材料 中性子照射影響」に資するため、ダイバータ用のタングステン材料として最も有望な粉末焼結と圧延加工により作製した純タングステン板材に焦点を絞って、照射前（非照射）の状態における材料の機械的特性や再結晶に関する組織安定性、熱伝導率などのデータを収集・整理し、照射データベース整備に向けた課題と準備が進展した。</p>
4. 加熱・電流駆動システム	<p><b>原型炉における電子サイクロトロン加熱・電流駆動システムの概念設計検討 (摂南大学・小田靖久)</b>                      アクションプランの「ECH/NBI技術仕様決定」に資するため、ECによる電流駆動効率の向上、高周波源システムのプラント設備の検討を実施した。光線追跡法と速度分布解析を組み合わせた計算コードを開発し速度分布関数変形の加熱パワー依存性を明らかにするとともに、16系統のジャイロトロンと伝送系を建屋に沿って配置し、配置による伝送距離や機器数の比較を行った。</p>



# 2020年度QST共同研究の成果概要 (2/5)

AP項目	成果概要
5. 理論・シミュレーション	<p><b>炉心プラズマの乱流輸送シミュレーション研究 (京都大学・今寺賢志)</b>            アクションプランで設定されている「炉心プラズマ統合SMCの開発」や「水素同位体の粒子輸送モデルの開発」を通して、グローバルジャイロ運動論コードGKNETを用いた原型炉の運転モード開発を進めた。本年度は解析磁場平衡を実装したGKNETを用いた磁気面形状効果の解析等に進展があった。</p>
	<p><b>原型炉における不純物制御に向けた統合輸送シミュレーションモデルの高度化 (九州大学・糟谷直宏)</b>            アクションプランで設定されている「炉心プラズマ統合SMCの開発」を通じて、炉心プラズマの予測に利用するコード開発等により、原型炉プラズマの予測精度向上を目指した。本年度は統合シミュレーションにより電子サイクロトロン加熱印加によるバルクプラズマ分布制御とそれに伴う中心不純物蓄積制御によって放射崩壊を回避できることを示した。</p>
	<p><b>プラズマ輸送・電流駆動を考慮した原型炉における定常高ベータプラズマの実現に向けた数値解析 (鳥取大学・古川 勝)</b>            アクションプラン「炉心プラズマ統合SMC」などを通して、原型炉における定常高ベータプラズマ実現するための検討を進めた。本年度は電流密度分布を自己無撞着に決めたMHD平衡を用いて、理想MHD安定性解析コードMARG2Dコードにより安定性を評価した。その結果、核融合出力1.75 GW, 規格化ベータ値 <math>\beta_N = 4.0</math> のプラズマを見いだした。</p>
	<p><b>原型炉に向けたジャイロ運動論モデルによる電磁乱流シミュレーション解析 (名古屋大学・前山伸也)</b>            アクションプラン「炉心プラズマ第1原理系SMC群の開発」を通じて、原型炉プラズマ解析に向けて、乱流輸送における電磁揺動効果をジャイロ運動論モデルに基づき評価を進めた。本年度は異なるプラズマ配位において解析を行い、運動論的バルーニングモードが理想バルーニングモード安定性限界より広範な領域で不安定化することを確認し、ELM発生条件やInter ELMの発展の違いに、非理想MHD効果が影響を与える可能性について議論した。</p>
	<p><b>核燃焼効率評価のための統合輸送コード開発 (京都大学・村上定義)</b>            アクションプラン「炉心プラズマ統合SMC」などを通して、原型炉プラズマの核燃焼効率評価のための統合シミュレーションコード開発を進めた。本年度はTASK/FPに有限軌道幅の効果を導入した。有限軌道幅版TASK/FPが新古典輸送を記述できているか確認するために電子の径方向拡散係数の積分値と新古典拡散係数の理論値との比較を行った。</p>
	<p><b>原型炉に向けた3次元平衡解析 (京都大学・中村祐司)</b>            アクションプラン「プラズマ応答特性・制御系モデリング」などを通して、原型炉における3次元MHD平衡解析の高度化を進めた。本年度はVMECコードを用い、原型炉プラズマに対し、トロイダルリップルを評価した。また、GNETコードとのインターフェイスを整備し、この平衡に対しアルファ粒子損失を評価した。その結果、損失は1%以下であることを確認した。</p>
	<p><b>原型炉ダイバータシミュレーションの予測精度向上に向けた基礎的検討 (慶應義塾大学・星野一生)</b>            アクションプラン「プラズマ運転シナリオダイバータプラズマシミュレーション開発」などを通して、ダイバータシミュレーションの精度及び信頼性の向上に取り組んだ。本年度は非接触ダイバータに関連する基礎物理過程の検討、不純物輸送モデルの高度化等を進めた。原型炉ダイバータ特性の解析を通じて弾性散乱モデルの問題点を明らかにした。</p>

# 2020年度QST共同研究の成果概要 (3/5)

AP項目	成果概要
6. 炉心プラズマ	<p><b>定常運転原型炉プラズマにおける不純物入射によるダイバータ熱負荷低減シナリオの検討 (名古屋大学・岡本 敦)</b>                      アクションプランの「物理モデル構築と性能予測コード高度化」等に資するため、境界輸送障壁モデルと不純物イオンの輸送をモンテカルロ法で評価する機動計算コードの開発を進めた。これらにより、核融合出力の立ち上げ・立ち下げ、不純物入射を含む原型炉お運転シナリオを正確にシミュレーションすることが可能になった。</p>
7. 燃料システム	<p><b>原型炉における真空容器内三重水素除染手法の構築 (核融合科学研究所・芦川直子)</b>                      アクションプランの「燃料インベントリの評価」等に資するため、真空容器内機器の崩壊熱による昇温制御に基づく三重水素除染手法を検討中。原型炉での運転シナリオを考慮し、310℃でDプラズマ照射後に400℃に昇温して、D脱離量を分析。310℃でも一部の水素同位体の脱離を確認できるが、プラズマ照射後の昇温により、より多くの追脱離が確認された。</p>
	<p><b>高温ガス炉を用いた初期装荷三重水素確保方策の検討 (九州大学・松浦秀明)</b>                      アクションプランの「初期装荷Tの確保方策の検討」に資するため、高温ガス炉HTTRを用いた三重水素調達方法を検討した。Zrの高温ガス炉環境下における三重水素の拡散係数、溶解度係数を評価した。またリチウム装荷用ロッド内の三重水素量、及び流出量を評価するための解析モデルを開発し、HTTRでの三重水素製造量及び流出量を評価した。</p>
	<p><b>プラズマ-対向壁複合系での燃料粒子挙動とヘリウムの効果 (九州大学・大宅 諒)</b>                      アクションプランの「燃料インベントリの評価」に資するため、原型炉内の燃料粒子バランスのモデル（燃料粒子のイオン化、再結合、輸送、ガスパフ、排気、壁吸蔵、リサイクリングを考慮）の構築を進めた。対向壁の燃料インベントリについて、タングステンへの中性子照射により燃料粒子のインベントリは増加するが、プラズマ中にヘリウムが含まれるとインベントリは大きく減少することが分かった。</p> <p><b>高温高圧三重水素水および三重水素水蒸気からの金属壁を介した三重水素移行量評価 (九州大学・片山一成)</b>                      アクションプランの「Tと材料の相互作用など基礎データ取得」に資するため、熱交換器を想定したステンレス管の内側にインコネル600管を挿入した二重管構造の実験装置を設計・作成し、高温高圧条件を再現可能な三重水素透過実験装置を完成させた。当該装置において、高温高圧条件（300℃、14MPa）を維持し、6日間の三重水素透過実験を実施し、三重水素の透過を確認。</p>
8. 核融合材料と規格・基準	<p><b>微小試験片を用いた低放射化フェライト鋼の磁気特性評価技術の開発 (岩手大学・鎌田康寛)</b>                      アクションプランの「低放射化フェライト鋼に関する微小試験片試験技術の信頼性評価・規格化」に資するため、RAFM鋼の磁性とそれに及ぼす照射効果、及びそれらのデータ利用状況に関する調査を進めた。また、小型試験片の磁気計測装置の開発を進め、具体的には高磁場まで磁場印加するための磁極間挿入機器の小型化を進め、プロトタイプ機を製作した。</p> <p><b>機械的特性評価のための微小試験片技術に関する研究 (大阪大学・大畑 充)</b>                      アクションプランの「低放射化フェライト鋼に関する微小試験片試験技術の信頼性評価・規格化」に資するため、微小引張及び破壊靱性試験のためのガイドライン策定の要素技術の検討を進めた。微小試験片を用いた破壊靱性の試験技術、微小平板引張試験片を用いたモデル評価の構成方程式、微小試験片を用いた引張・クリープ試験のラウンドロビン試験による統計的信頼性の知見を得た。</p>

# 2020年度QST共同研究の成果概要 (4/5)

AP項目	成果概要
8. 核融合材料と規格・基準	<p><b>各種照射場での低放射化フェライト鋼の微細組織・強度特性変化予測に関する研究 (北海道大学・橋本直幸)</b>                      アクションプランの「He影響の理解の進展、核融合中性子照射影響の解明、照射劣化モデルの構築」に資するため、F82H及びモデル材料にイオン照射を行い、粒界の点欠陥に対するシンク強度に及ぼすHeの影響や、析出物の照射下安定性に関する照射条件、化学組成影響を整理するとともにμピラー圧縮試験を用いた照射後F82H鋼の強度評価に関するピラーサイズ依存性を明らかにした。</p>
	<p><b>低放射化フェライト鋼の照射欠陥挙動予測技術のための要素モデルの構築 (鹿児島大学・佐藤統一)</b>                      アクションプランの「He影響の理解の進展、核融合中性子照射影響の解明、照射劣化モデルの構築」に資するため、F82Hにおける格子欠陥と核変換ガス原子 (ヘリウム・水素同位体) との相互作用を計算機シミュレーション及びTEM観察実験によって明らかにし、同ガス原子の拡散・捕捉挙動に関する物理的素過程に関する知見を獲得した。</p>
	<p><b>多軸応力下における原型炉構造材料の健全性評価に関する研究 (立命館大学・伊藤隆基)</b>                      アクションプランの「照射効果を踏まえた構造設計基準の在り方を提示」に資するため、疲労及びクリープ疲労試験における多軸負荷の影響評価と解析手法の高度化を開始し、特に改良共通勾配法による寿命予測の精緻化が進んだ。また、多軸応力場におけるクリープ、耐脆性・延性破壊抵抗の評価手法の高度化に着手した。</p>
	<p><b>核融合炉構造の非破壊検査技術に関する研究 (鹿児島大学・駒崎慎一)</b>                      アクションプランの「照射効果を踏まえた構造設計基準の在り方を提示」に資するため、構造健全性の検証に必要な非破壊検査技術の開発を実施した。具体的には、水素をトレーサーとした予寿命予測技術の高度化、コンプトン散乱によるHIP接合界面の健全性評価に良い見通しを得た。また、冷却流路の渦電流探傷法の適用性検討を進め、材料応答に関する知見を得た。</p>
	<p><b>核融合炉ブランケット及びダイバータ材料の高温高圧水腐食に関する研究 (室蘭工業大学・中里直史)</b>                      アクションプランの「コールド試験による接合被覆部・環境影響データ取得」に資するため、水の放射線分解により酸素が発生した環境を模擬した高温高圧水中での原型炉ダイバータ構造材料の腐食データを拡充するとともに、異材接合部製作条件の検討を進め、接合部製作指針に関する知見を得た。</p>
	<p><b>高温高圧水下的におけるF82H鋼中の三重水素放出・透過挙動 (近畿大学・大塚哲平)</b>                      アクションプランの「原型炉に要求される材料スペックの明確化、技術仕様の提示」に資するため、高温高圧水中におけるF82H鋼の腐食挙動を調べるとともに、F82H鋼中の三重水素が1次冷却水にどのように放出されてくるのかを実験的に調べ、F82Hの酸化皮膜性状が水素同位体透過挙動に影響を及ぼすことを明らかとした。</p>
	<p><b>核融合中性子照射場の理論的定量化に関する研究 (京都大学・森下和功)</b>                      アクションプランの「He影響の理解の進展、核融合中性子照射影響の解明、照射劣化モデルの構築」に資するため、数keVオーダーの高エネルギー粒子照射を模擬した原子シミュレーション解析によって、はじき出し欠陥の生成量やサイズ分布に関する基礎的知見を獲得した。</p>
	<p><b>液体リチウム中の非金属不純物の制御法に関する研究 (九州大学・片山 一成)</b>                      リチウム純化系試験用ループの改良を実施し、各種純化試験が可能となることを確認した他、リチウム中の重水素測定の高精度化を実施した。また、水素トラップによる三重水素回収試験を実施し、三重水素の水素トラップ材であるイットリウムへの移行係数を評価した。</p>



# 2020年度QST共同研究の成果概要 (5/5)

AP項目	成果概要
8. 核融合材料と規格・基準	<p><b>液体リチウムループにおける窒素回収 (京都大学・八木 重郎)</b>            トラップ材として5%Ti/Feを装荷し、550℃で窒素回収試験を実施した。初期の回収挙動は過去の静止場で実施した試験よりも高い性能を示した。窒素トラップ材中の窒素分析手法の確立を行い、回収試験後のトラップ材の分析結果、実効的な窒素の拡散係数は純鉄比較し2桁程度低いものの、純チタン中と比べて非常に高いことが確認でき、窒素濃度分布の直接分析に成功した。</p>
	<p><b>核融合中性子源の設計に向けたリチウムターゲットの流動評価に関する研究 (名古屋大学・辻 義之)</b>            回帰型ニューラルネットワークの一種である双方向長短期記憶 (BLSTM) を応用し、リチウムターゲット自由表面状態の解析法の開発を進めた。従来の解析モデルとの予測精度比較を行った結果、BLSTMによる解析においては<math>R^2 &gt; 0.9</math>と非常に高い精度で表面状態予測をすることが可能となることが明らかとなり、ターゲット表面診断におけるBLSTM法の有効性を示した。</p>
	<p><b>強力中性子源のための高速リチウム流動安定性評価に向けたLi実験によるターゲット厚さ計測手法の検証とノズル内壁表面粗さの影響評価 (大阪大学・帆足 英二)</b>            阪大のリチウムループ試験装置におけるレーザーを用いた波高計測から、ターゲット下流域においては膜厚がノズル出口に対して15～20%程度厚くなり、最大波高が線形に増加する傾向を確認し、下流域での接触診断系の可能性を示した。計算と実験の比較から下流の湾曲流路での挙動は直線流路の照射域での挙動に近く、直線流路との相関を得ることで実機の予測は可能であることを示した。</p>
	<p><b>核融合中性子源照射モジュールの液体金属伝熱媒体と鉄鋼材料の材料共存性に関する実験的研究 (東京工業大学・近藤 正聡)</b>            A-FNS照射キャプセルに充填するアルカリ液体金属とF82Hの共存性試験を、250～300時間の静止場Li及びNa中で実施した。Liでは、723Kの条件では殆ど腐食しないが、823Kでは微細組織の境界を中心に腐食が生じた。Naでは、623Kの条件では殆ど腐食しないが、723KになるとNaの微細組織の境界に沿った組織への侵入や表面の僅かな酸化が生じるようになり、823Kでは腐食反応が顕著になった。</p>
10. 稼働率と保守	<p><b>核融合原型炉の廃止措置検討と廃棄物の減容化対策 (福井大学・川崎大介)</b>            アクションプランの「バックエンドシナリオ検討」に資するため、原型炉における廃止措置廃棄物を分析。分析の結果、真空容器：L3、超伝導コイル：クリアランスレベル (CL)、及び生体遮蔽：CLに分類されることが分かった。さらに、真空容器の支配核種はCo60であり、70年後に解体を開始するとL3廃棄物の3/4がクリアランスレベルに至ることが分かった。</p>
11. 計測・制御	<p><b>大容量データ遠隔レプリケーションの実証試験研究 (国立情報学研究所・山中 顕次郎)</b>            アクションプラン 11.計測・制御 (20) ITER実験DB構築のため、ITER全実験データ複製に向けた技術開発を進めた。データベース両マスタ両方向同期レプリケーション方式を提案、ITERと議論を進めた。ITER-REC協力で継続的に使用する専用線 (L2VPN) が開通。また地球一周回線を構築し、高遅延三地点転送実験を行い、高速転送技術MMCFTPの改善点を明らかにした。</p>
	<p><b>核融合の大規模データを活用するデータ駆動型モデリング手法の研究 (核融合科学研究所・横山雅之)</b>            アクションプラン 11.計測・制御 (20) 学習・推定ツールの開発に向け、幅広い意見交換、研究開発を進めた。統数研との共同研究会集を開催し、共同研究参加者がそれぞれ専門とするトピックス (熱輸送モデリング、データ同化手法を用いた輸送シミュレーション、画像解析、時系列データ解析等) におけるデータ駆動型手法の導入や試行、検証に大きな進展があった。</p>

# QST 2021年度 共同研究一覧 (1/2)

API項目	研究課題名	研究代表者	所属	新・継
0.炉設計	原型炉の運用コスト評価に向けたシステムコードの高精度化	後藤 拓也	核融合科学研究所	継続
1.超伝導コイル	電磁応力下における多重撚り導体の機械的・電磁氣的現象把握と線材高強度化設計指針の構築	伴野 信哉	物質・材料研究機構	新規
	耐放射線性絶縁材料の特性データの取得	西嶋 茂宏	福井工業大学	新規
2.ブランケット	原型炉における液体ブランケットの流路設計研究	江原 真司	東北大学	継続
3.ダイバータ	先進的ろう付接合法によるW/RAFM鋼製ダイバータ受熱機器の開発	時谷 政行	核融合科学研究所	新規
	原型炉タングステンダイバータへのパルス熱負荷による溶融挙動と蒸気遮蔽効果を含めた寿命評価	伊庭野 健造	大阪大学	継続
	ダイバータへの適用をめざすタングステン材料の照射データベースの構築	長谷川 晃	東北大学	継続
4.加熱・電流駆動システム	高効率レーザー装置を用いたNBI光中性化セルの開発	安藤 晃	東北大学	新規
	原型炉における電子サイクロトロン加熱・電流駆動システムの概念設計検討	小田 靖久	摂南大学	継続
5.理論・シミュレーション	核燃焼プラズマに向けたマルチスケール乱流輸送現象の外挿性	前山 伸也	名古屋大学	新規
	核燃焼効率評価のための統合輸送コード開発	村上 定義	京都大学	継続
	原型炉プラズマの閉じ込めに対する3次元効果	中村 祐司	京都大学	新規
	原型炉ダイバータシミュレーションの予測精度向上に向けた基礎的検討	星野 一生	慶應大学	継続
	選択的加熱による粒子・熱輸送制御に関するグローバルジャイロ運動論シミュレーション研究	今寺 賢志	京都大学	継続
	原型炉における不純物制御に向けた統合輸送シミュレーションモデルの高度化	糟谷 直宏	九州大学	継続
	プラズマ輸送・電流駆動を考慮した原型炉における定常高ベータプラズマの実現に向けた数値解析	古川 勝	鳥取大学	継続
6.炉心プラズマ	定常運転原型炉プラズマにおける不純物入射によるダイバータ熱負荷低減シナリオの検討	岡本 敦	名古屋大学	継続
7.燃料システム	JET ILW実験におけるプラズマ対向機器表面およびダストの三重水素蓄積特性研究	矢嶋 美幸	核融合科学研究所	継続
	原型炉における真空容器内三重水素除染手法の構築	芦川 直子	核融合科学研究所	継続
	高温ガス炉を用いた初期装荷三重水素確保方策の検討	松浦 秀明	九州大学	継続
	高温高圧三重水素水および三重水素水蒸気からの金属壁を介した三重水素移行量評価	片山 一成	九州大学	継続
	プラズマ-対向壁複合系での燃料粒子挙動とヘリウムの効果	大宅 諒	九州大学	継続

# QST 2021年度 共同研究一覧 (2/2)

AP項目	研究課題名	研究代表者	所属	新・継
8.核融合材料と規格・基準	Li過剰型固体増殖材料の機械的特性変化と擦過現象	佐々木 一哉	弘前大学	新規
	核融合中性子照射場の理論的定量化に関する研究	森下 和功	京都大学	継続
	機械的特性評価のための微小試験片技術に関する研究	大畑 充	大阪大学	継続
	微小試験片を用いた低放射化フェライト鋼の磁気特性評価技術の開発	鎌田 康寛	岩手大学	継続
	各種照射場での低放射化フェライト鋼の微細組織・強度特性変化予測に関する研究	橋本 直幸	北海道大学	継続
	低放射化フェライト鋼の照射欠陥挙動予測技術のための要素モデルの構築	佐藤 紘一	鹿児島大学	継続
	多軸応力下における原型炉構造材料の健全性評価に関する研究	伊藤 隆基	立命館大学	継続
	核融合炉構造の非破壊検査技術に関する研究	駒崎 慎一	鹿児島大学	継続
	核融合炉ブランケット及びダイバータ材料の高温高圧水腐食に関する研究	中里 直史	室蘭工業大学	継続
	高温高圧水下におけるF82H鋼中の三重水素放出・透過挙動	大塚 哲平	近畿大学	継続
	核融合中性子源照射モジュールの液体金属伝熱媒体と鉄鋼材料の材料共存性に関する実験的研究	近藤 正聡	東京工業大学	継続
	高速リチウム噴流の遠隔計測手法の確立と表面安定性に関する研究	帆足 英二	大阪大学	新規
	A-FNS 加速器のためのエネルギーフィルタを備えた中間エネルギービーム輸送系の設計	林崎 規託	東京工業大学	新規
	核融合中性子源ターゲットシステムのリチウム安全取扱いに関する研究	大矢 恭久	静岡大学	新規
	液体リチウムターゲットの流動診断測定システムに関する研究	辻 義之	名古屋大学	新規
	核融合中性子源の放射性物質の排出に伴う環境影響の研究	横山 須美	藤田医科大学	新規
	核融合中性子源用加速器のビーム輸送解析に関する研究	阪井 寛志	高エネルギー加速器研究機構	新規
	ビームオンターゲットの熱流動特性の理論解析	中村 誠	釧路高等専門学校	新規
	数値流体力学(CFD)シミュレーションによるA-FNS 高中性子束試験モジュールにおけるHe 流動特性に関する研究	結城 和久	山口東京理科大学	新規
核融合中性子源ターゲットシステムの液体リチウム中不純物の計測に関する研究	片山 一成	九州大学	新規	
液体リチウム流動ループ中での窒素トラップの健全性評価	八木 重郎	京都大学	新規	
10.稼働率と保守	核融合原型炉の廃止措置検討と廃棄物の減容化対策	川崎 大介	福井大学	継続
11.計測・制御	核融合の大規模データを活用するデータ駆動型モデリング手法の研究	横山 雅之	核融合科学研究所	継続
	大容量データ遠隔レプリケーションの実証試験研究	山中 顕次郎	国立情報学研究所	継続

# NIFS 2020年度原型炉研究開発共同研究の課題

API項目	アクションプランと採択課題の対応 (赤: 2020年度新規, 青: 継続)
2. ブランケット	先進ブランケット; 「原型炉TBMのための先進ブランケット概念検討と素案提示」、 「小型試験体製作、機能・特性試験」、および「実環境相当の統合循環ループ試験」
	(19-1) MHD圧力損失低減用機能性被覆の創製と特性評価 (静岡大・近田 拓未) (19-2) 液体ブランケット異材接合部の増殖/冷却材との共存性研究 (東京工業大・近藤 正聡)
3. ダイバータ	材料・機器開発; 「ダイバータ機器の保全や補修技術の評価と開発」
	(20-1) 高周波超音波によるダイバータ冷却管接合界面の伝熱特性評価 (東北大・遊佐 訓孝)
	材料・機器開発; 「ダイバータ機器構成材料の中性子照射影響」 (19-3) 耐照射性および再結晶遅延性能の向上のためのタングステン合金の開発 (東北大・長谷川 晃)
	プラズマ運転シナリオ; 「ダイバータプラズマシミュレーション開発」 (19-4) 非接触プラズマにおける原子分子過程と粒子輸送に関する実験とモデリング (名古屋大・大野 哲靖)
7. 燃料システム	燃料循環システム技術開発; 「燃料循環システム要素技術(不純物除去、同位体分離など)の開発」
	(19-5) 高速応答原型炉燃料サイクルとプロトンポンプフロントエンド (京都大・小西 哲之) (20-2) 固体DT燃料ペレットの検査手法の開発 (大阪大・山ノ井 航平)



# NIFS 2020年度原型炉研究開発共同研究の成果概要(1/2) 13

AP項目	成果概要
<p style="text-align: center;">2 (課題指定型 (若手))</p>	<p><b>(19-1) MHD圧力損失低減用機能性被覆の創製と特性評価 (静岡大・近田 拓未)</b>                      低放射化フェライト鋼F82Hを基板として有機金属分解法で作製した膜厚500 nm 以下のZrO<sub>2</sub> 被覆と厚さ10 μm のFe 箔をホットプレス法により接合した。接合後においても実機環境下における絶縁性能の要求値を満たし、Fe 箔との密着性も要求値を満たした。Li-Pb 曝露試験においてFe 箔が保護層としての機能を果たすことが確認され、本課題の開発目標を概ね達成した。</p>
<p style="text-align: center;">2 (課題指定型)</p>	<p><b>(19-2) 液体ブランケット異材接合部の増殖/冷却材との共存性研究 (東京工業大・近藤 正聡)</b>                      EBWとTIGによる低放射化材料と構造材料との異材接合材・共材接合材を作製し、9種類12枚の試験片を対象に、Pb-16Li とFLiNaK の5000時間試験を開始した。浸漬前の接合試験片に対して王水を用いた湿式のエッチング処理を行い、電子顕微鏡により微細組織観察を実施した結果、JLF-1 と316L のEBW 異材接合材の溶融部は、母材部よりも緻密な微細組織を示す事がわかった。</p>
<p style="text-align: center;">3 (課題指定型)</p>	<p><b>(20-1) 高周波超音波によるダイバータ冷却管接合界面の伝熱特性評価 (東北大・遊佐 訓孝)</b>                      ダイバータ冷却管接合界面を模擬したタングステン-無酸素銅接合試験体を多数製作し、高周波超音波を用いた測定を行い、接合界面の欠陥の存在を検知可能であることを確認した。一方で接合条件が同一であっても接合面からの反射波の空間分布及びその度合いは異なりうることも明らかとなった。よって、当初計画通り、サーモグラフィー測定及び接合部断面観察に基づき高周波超音波試験結果を評価・分析することが必要であると結論付けられ、予備試験も含めた準備を行った。</p>
<p style="text-align: center;">3 (課題指定型)</p>	<p><b>(19-3) 耐照射性および再結晶遅延性能の向上のためのタングステン合金の開発 (東北大・長谷川 晃)</b>                      W-1~5%Ta 合金について、0.5 dpaまでのプロトン照射と硬さ測定による耐照射性の評価を実施した。Re添加材と同様に、受け入れまま材は硬さが低下し、再結晶材はわずかな照射硬化を示した。また、La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>粒子を分散したW圧延板を製作し、再結晶挙動と機械特性を調べた結果、非照射特性は、同じく第二相分散であるK ドープを施した材料と同程度であった。</p>

# NIFS 2020年度原型炉研究開発共同研究の成果概要(2/2) <sup>14</sup>

AP項目	成果概要
3 (課題指定型)	<p>(19-4) 非接触プラズマにおける原子分子過程と粒子輸送に関する実験とモデリング (名古屋大・大野哲靖) コード改変が容易な2次元流体コードLINDAを、直線ダイバータ模擬実験装置NAGDIS-IIを対象として整備を進めた。今年度は、ヘリウムプラズマのコード整備を進め、収束計算で得られたシミュレーション結果は概ね実験値を再現することに成功した。また、原子・分子イオンの割合が同程度となる非接触プラズマ計算にも適用可能とするため、同程度のプラズマ密度を扱える多流体LINDAコードの整備を進めた。今後、衝突輻射コードと中性粒子輸送コードとの結合を行う。</p>
3 (課題指定型)	<p>(19-5) 高速応答原型炉燃料サイクルとプロトンポンプフロントエンド (京都大・小西哲之) プロトン導電体セルとして、バリウムジルコネート系およびバリウムセレート系の2種類の試料を作成し、大気中とH<sub>2</sub>ガス中にて、400℃/500℃/600℃/700℃の条件下で電圧1V、周波数100mHz から200kHz までの電気化学測定を行った。今回作成した試料では、バリウムセレート系の方が高いイオン伝導度を示し、500℃において要求値を満たすことが確認された。実験結果を基に、プロトン導電体ポンプのダイバータ排気から燃料系フロントエンドへの適合性について装置概念を検討した。インベントリを最小化しつつ、十分な移送速度を得るためには粗引きポンプとの整合性が必要となるが、適切なポンプが存在しないため、今後可能な排気移送系を再検討する必要があることが明らかになった。</p>
7 (課題指定型)	<p>(20-2) 固体DT燃料ペレットの検査手法の開発 (大阪大・山ノ井 航平) 本研究は、均一で気泡の無い固体DTの作製及び光学的な検査手法の確立を目指している。今年度は、ベータ崩壊の影響がない環境で同位体分布の評価法を確立することを目的に、コールド実験を兼ねた軽水素(H)及びH<sub>2</sub>-D<sub>2</sub>混合ガス(HD)での均一な固体の作製及び屈折率の測定を実施した。セル内の温度分布をヒーターで調整し、液化と固化を繰り返すことにより、クラックの無い固体の作製に成功し、また、高い精度で屈折率を測定できる実験系を構築した。</p>

# NIFS 2021年度原型炉共研公募テーマ（新規）案

- 継続の共同研究課題は7件（ブランケット2件、ダイバータ3件、燃料システム2件）
- 2021年度は、次の6課題を公募するが、予算の制約により3件程度の採択を予定（公募要項に明記）
- 課題指定型（若手優先）と課題提案型の公募も継続

アクションプラン項目	2021年度公募テーマ（課題指定型，課題指定型（若手優先））	備考
2. ブランケット	(1) 第一壁W被覆材を通した三重水素（水素同位体）透過に及ぼすHeの影響評価	新規
	(2) 液体増殖/冷却材中の不純物濃度評価及び低減技術の確立	新規
	(3) 炉内機器プラズマ対向面の補修技術の開発	新規
3. ダイバータ	(4) 長寿命ダイバータ配管材料の開発	新規
	(5) 原型炉におけるダイバータ板の損耗と再堆積層の特性評価	新規
	(6) ダイバータの非接触状態形成・維持へのダイバータ形状の影響に関する研究	新規

## <今後の予定>

2021年6月15日

NIFS委員会での公募要領の審議

2021年7月上旬

公募開始

2021年7月下旬

公募締切

2021年8月上旬

NIFS委員会での応募課題の審査

2021年9月

採択通知と契約手続き開始