

第14回核融合エネルギー連合講演会 シンポジウム2 「原型炉研究開発の課題と取組」
2022年7月7-8日, オンライン

原型炉課題解決に向けた 大学の取組

今川信作

自然科学研究機構 核融合科学研究所

- 現在、原型炉に向けた研究開発は文部科学省の原型炉開発総合戦略タスクフォースが2017年に策定した「**原型炉開発に向けたアクションプラン**」に沿って推進されている。
- 原型炉設計活動は産学が連携する原型炉設計合同特別チームを中心に進められている。
- **全日本体制による取組を一層強化**するため、大学・研究機関等の参画が特に有効な課題については、**QST とNIFSが中核機関**となり大学等との共同研究を、**新しい枠組み**として2019年から実施している。

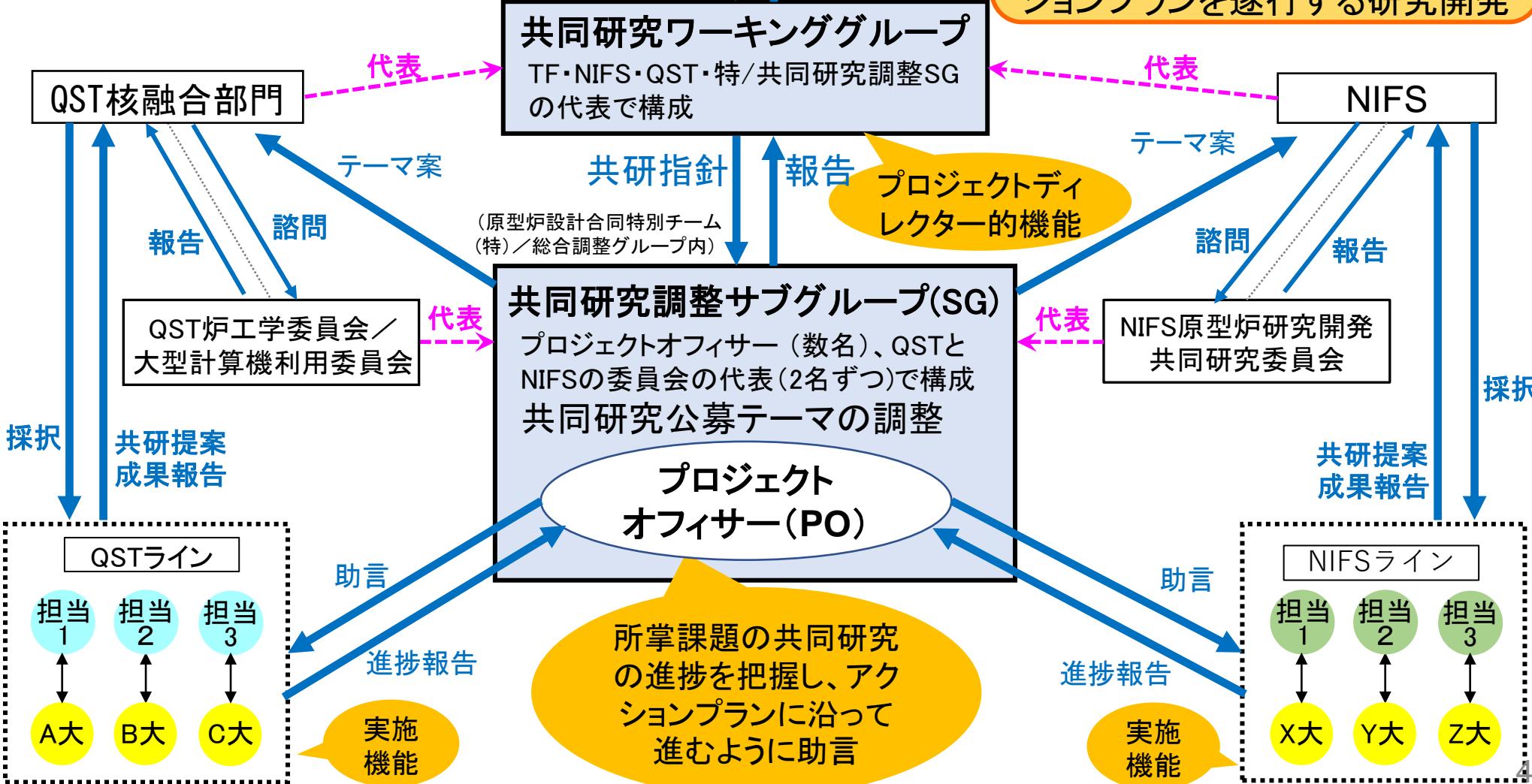
- 大学等を対象とした原型炉に向けた共同研究をとりまとめる新たな体制を整備し、**自主・自律を前提とする大学等の優れた取組を支援**することにより、**国と各機関で、一体となって原型炉研究開発に取り組むこと**を目的とする。
- アクションプランを直接的に遂行する共同研究はQST、大学等の自主・自律を前提とし中・長期的な人材育成を含むアクションプランを遂行するための共同研究はNIFSが、それぞれ中核機関の役割を担っている。
- また、プロジェクトディレクター的機能を持つ共同研究ワーキンググループが、QSTとNIFSが実施する共同研究のガイドラインを示し、共同研究調整サブグループ会合において、課題毎の**プロジェクトオフィサー (PO)**が共同研究の公募テーマ立案、担当する共同研究の進捗把握・助言する体制で運用されている。

原型炉研究開発共同研究の運用体制

QST共同研究:
アクションプランを直接的に遂行する研究開発

原型炉開発総合戦略タスクフォース(TF)

NIFS共同研究:
大学等の自主・自律を前提とし、中・長期的な人材育成を含むアクションプランを遂行する研究開発



<QST共同研究の公募>

アクションプランを直接的に遂行する研究課題(公募時に指定)

- ・研究期間は**3年程度(最長5年)**、予算申請額は100万円以下/年。

<NIFS共同研究の公募>

(A) 課題指定型

研究課題を公募において指定し、アクションプランに基づき、中長期的な視点に立った概念として先進的な研究課題。

- ・研究期間は**3年**、予算申請額は3年間総額で上限1,500万円

(A') 課題指定型(若手優先)

研究課題を公募において指定し、アクションプランに基づき、中長期的な視点に立った概念として先進的な研究課題。若手研究者を育成するために、応募年度4月1日時点で**39歳以下**の研究者が、一人で取り組む研究に限って公募するものとする。

- ・研究期間は**3年以内**、予算申請額は総額で上限500万円

(B) 課題提案型

アクションプランの課題に対応するため、新興・融合分野との連携等により、これまでになかったような新たなアプローチで取り組む課題。終了時の審査により重要性が確認された場合には、その翌年度に課題指定型の枠で公募することも検討する。

- ・研究期間は**単年度**のみ、予算申請額は上限100万円

QST 2022年度 原型炉研究開発共同研究 新規公募テーマ (1/2)⁶

AP項目	公募テーマ・概要
1. 超伝導コイル	<p data-bbox="343 251 1189 291">原型炉超伝導コイル用高強度超伝導線材の開発研究</p> <p data-bbox="343 322 2032 472">原型炉超伝導コイルでは、ITERよりも高磁場下で大電流導体が求められる一方、ITER超伝導コイル導体試験から横方向の電磁力や経路歪みによる導体電流値の劣化が懸念されており、SC概念設計および導体設計においてこの課題解決が必須である。本研究では、原型炉SC概念設計および超伝導導体概念設計に資するため、原型炉級の電磁力下および歪み下における超伝導導体を想定し、耐歪み特性に優れた超伝導線材について検討する。</p> <p data-bbox="1328 504 2038 544">(20)SC概念設計(26)、(20)超伝導導体概念設計(26)</p>
5. 理論・シミュレーション	<p data-bbox="343 558 969 598">原型炉における燃焼率評価の高精度化</p> <p data-bbox="343 629 2032 739">原型炉の開発においては、核融合出力や追加熱の影響を高精度に評価し、定常放電に至る効率的なプラズマ立ち上げ手法の構築が必要不可欠である。本共同研究では、追加熱により発生した高エネルギーイオン分布を考慮し、核燃焼効率を高精度に評価する統合シミュレーションコードを用いて、定常放電への立ち上げ手法の検討を進める。</p> <p data-bbox="919 771 2038 811">(20) ディスラプション・核燃焼プラズマ・乱流輸送第一原理系SMCの重点開発・利用</p>
5. 理論・シミュレーション	<p data-bbox="343 822 1411 862">原型炉における非接触ダイバータ制御へ向けたシミュレーション研究</p> <p data-bbox="343 901 2032 1051">原型炉ダイバータにおける熱・粒子負荷の低減には、非接触ダイバータプラズマ運転が必須である。これまで、従来の統合ダイバータコードを用いた原型炉ダイバータプラズマ特性の解析、高精度な要素モデルの検討・開発が進められてきた。本共同研究では、それらの研究を発展・集約させ、原型炉ダイバータにおける非接触プラズマに対する統合ダイバータコードを中心としたシミュレーション研究を行う。これにより、ダイバータプラズマ設計や安定的な非接触ダイバータの制御手法開発に貢献する。</p> <p data-bbox="919 1096 2038 1136">(20) ディスラプション・核燃焼プラズマ・乱流輸送第一原理系SMCの重点開発・利用</p>
5. 理論・シミュレーション	<p data-bbox="343 1143 948 1183">原型炉における定常運転シナリオ検討</p> <p data-bbox="343 1215 2032 1329">核融合原型炉における定常運転シナリオの考案は、概念設計を進める上で必要となるプラズマの情報を決定するうえで必須な課題である。本共同研究では、同シナリオを検討するための物理モデルの考案およびコード開発を進め、考慮すべき物理現象を可能な限り取り入れた数値計算を実現することで信頼度の高い運転シナリオを得る。</p> <p data-bbox="810 1360 2038 1400">(20) ディスラプション・核燃焼プラズマ・乱流輸送第一原理系SMCの重点開発・利用</p>

QST 2022年度 原型炉研究開発共同研究 新規公募テーマ (2/2)⁷

AP項目	公募テーマ・概要
5. 理論・シミュレーション	原型炉における摂動磁場印加によるELM制御の適用可能性に関する研究 原型炉においては、振幅の大きいエッジローカライズドモード(ELM)が発生することはダイバータへの熱負荷の観点から許容されない。既存実験装置では摂動磁場を印加することでELMが抑制される結果が得られており、ITERでも同手法での制御を想定している。本共同研究では、中性子照射環境が厳しい原型炉でも設置可能な炉外コイルなどを用いた摂動磁場印加によるELM制御の適用可能性などを検討し、原型炉におけるELM制御手法の確立に資する。 (20) ディスラプション・核燃焼プラズマ・乱流輸送第一原理系SMCの重点開発・利用
	8.核融合炉材料と規格・基準 低放射化フェライト鋼のクリープ疲労に関する研究 原型炉ブランケットやダイバータ等の炉内構造物の構造設計では、クリープ疲労損傷による健全性評価が必要である。本課題では、低放射化フェライト鋼F82Hを対象に、実負荷条件を考慮したクリープ疲労寿命データ蓄積を進め、健全性評価のためのクリープ疲労限界条件について検討を行う。 (15)Q/産/学:照射効果を踏まえた構造設計基準の在り方を提示(26)
8.核融合炉材料と規格・基準	核融合中性子照射場の欠陥生成挙動に関する研究 核融合炉や原子炉などの高エネルギー中性子照射に晒される材料内では、高エネルギー粒子同士の衝突連鎖反応(カスケード損傷)によって大量のはじき出し欠陥が生成するが、これは実験的観察が極めて困難な極短時間領域(100ピコ秒以下)の現象であることから、計算機シミュレーションを用いた理論解析評価に頼らざるを得ない。これまで、カスケード損傷で生成する欠陥挙動とPKAエネルギーの関係を大規模分子シミュレーション解析によって統計的に明らかにしてきた。本研究では、大規模分子シミュレーション解析で取得したビッグデータを適用した機械学習モデルを開発し、核融合原型炉環境下における欠陥生成挙動を理論的に予測し得る基盤技術を開発する。 (15)Q/N/大: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(35)
	8.核融合炉材料と規格・基準 A-FNS照射キャプセル内の液体金属伝熱媒体と鉄鋼等材料の化学的共存性改善に関する研究 A-FNSにおいて、照射キャプセルに納められる試験片と試験片間に充填される液体金属伝熱媒体との化学的共存性が課題となっている。本研究では、鉄鋼材(F82)と液体金属伝熱媒体との化学的共存性改善法の確立に関する研究を実施する。また、鉄鋼材以外の照射候補材(タングステンなど)に対しても液体金属伝熱媒体との共存性試験を実施し、必要に応じて共存性改善を検討する。 (15) 核融合中性子源の設計・建設(30)
8.核融合炉材料と規格・基準	核融合中性子源の活用に関する研究 核融合中性子源の核融合材料照射以外の効果的な活用方法について評価し、核融合中性子源の産業や学術への応用利用を高める。 (15) 核融合中性子源の設計・建設(30)

NIFS 2022年度 原型炉研究開発共同研究 新規公募テーマ

AP項目	公募テーマ及びアクションプランとの対応	備考
2. ブランケット	(1) 第一壁W被覆材を通したトリチウム(水素同位体)透過に及ぼすHeの影響評価 (内容) 第一壁に入射する荷電交換トリチウム粒子が冷却水へ透過することが問題となり得る。イオン照射装置やプラズマ照射装置を用いて、温度範囲、Heのフラックス、D/Tのフラックス、入射エネルギーなど第一壁条件下になるべく近い状態でW中の水素同位体の透過に及ぼすHeの影響を定量的に明らかにする。 固体増殖・水冷却ブランケット, 先進ブランケット	再公募
	(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 (内容) 腐食挙動等に影響を与える液体金属や溶融塩増殖/冷却材中の不純物(問題となる核変換生成元素も含む)の濃度評価及び低減について、原型炉条件かつ密閉循環系に対して適用可能な技術を確立する。 先進ブランケット	再公募
3. ダイバータ	(3) 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 (内容) 部分的非接触ダイバータ運転では、接触部のタングステンの損耗が無視できない一方で、ダイバータ板への再堆積によりネットの損耗はそれほど大きくない可能性もある。この場合、形成された再堆積層のタングステンの物性が、ダイバータ板の寿命を決める要因となる。プラズマ照射装置等を用いて、再堆積タングステン層を生成し、その物性分析を実施する。 ダイバータ開発目標の整合性確認と炉設計への適用, 材料・機器開発	再公募
	(4) 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 (内容) 原型炉ダイバータにおいて、ダイバータ板の角度やリフレクタの配置などを、非接触状態の形成・維持のために最適化する手法を開発するため、実験およびモデリングを行う。 プラズマ運転シナリオ	再公募
3. ダイバータ	(5) デタッチメントプラズマ実験に基づくシミュレーションモデル構築 デタッチメントプラズマ実験における精度の高いプラズマ計測および分光計測データを基に、分子イオンの存在や、分子の振動・回転励起、中性粒子間弾性衝突など原子・分子過程の影響を含むデタッチメントプラズマのモデリングを行い、周辺・ダイバータシミュレーションコードへの導入を進める。 プラズマ運転シナリオ	新規

AP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燃り導体の機械的・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

API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
	高温高圧水圧下における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

NIFS2021年度原型炉研究開発共同研究の採択課題

API項目	アクションプランと採択課題の対応(赤:新規, 青:2年目, 緑:3年目)
2. ブランケット	<p>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」</p> <hr/> <p>(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)</p>
3. ダイバータ	<p>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」</p> <hr/> <p>(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)</p> <p>(21-1) 溶射法と摩擦攪拌表面処理およびレーザ加工によるタングステン補修技術開発(物材機構・渡邊誠)</p> <hr/> <p>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」</p> <hr/> <p>(21-2) 酸化物分散強化銅合金の大型化に関するフィージビリティ研究(東北大・余浩)</p>
5. 理論・シミュレーション	<p>ダイバータSMCおよび炉心プラズマ統合SMC</p> <hr/> <p>(21-3) 分子動力学に基づく水素リサイクリングモデルの原型炉への適用(山形大・斎藤誠紀) (課題提案型)</p>
7. 燃料システム	<p>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」</p> <hr/> <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)</p> <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)</p>

アクションプラン項目	2019年度		2020年度		2021年度		2022年度	
	QST公募	NIFS公募	QST	NIFS	QST	NIFS	QST	NIFS
0. 炉設計			1		1		1	
1. 超伝導コイル	1		1		2		3	
2. ブランケット	1	2	2	2	1	1	1	
3. ダイバータ	2	2	2	3	3	3	3	5
4. 加熱・電流駆動システム	1		1		2		2	
5. 理論・シミュレーション	6		7		7	1	9	
6. 炉心プラズマ			1		1		1	
7. 燃料システム	3	1	4	2	5	2	5	1
8. 核融合材料と規格・基準	24		14		21		23	
9. 安全性	2							1
10. 稼働率と保守			1		1		1	
11. 計測・制御			2		2		2	
合計	40	5	36	7	46	7	51	7

毎年約150名の大学教職員と100名近い学生が参画