

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会
核融合科学技術委員会(第21回)・原型炉開発総合戦略タスクフォース(第20回)
議 事 次 第

1. 日時：令和2年6月29日(月) 13:00~15:00

2. 開催方法：オンライン開催

3. 議題：

- (1) 核融合科学技術委員会(第20回)書面審議結果について
- (2) 第26回ITER理事会の開催結果及びBAフェーズIIの開始について
- (3) 原型炉に向けた技術基盤構築の進捗状況について
(レーザー方式の進捗状況に係るヒアリング)
- (4) 原型炉設計合同特別チームの活動について
- (5) 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

4. 配布資料：

- 資料1-1 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会運営規則
- 資料1-2 研究開発プログラム評価票
- 資料2-1 第26回ITER理事会の結果について
- 資料2-2 幅広いアプローチ(BA)活動フェーズIIの開始について
- 資料3 レーザー方式の進捗状況
- 資料4 原型炉設計合同特別チームの令和元年度活動報告・令和2年度活動計画
- 資料5 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
- 参考資料1 第10期核融合科学技術委員会、原型炉開発総合戦略タスクフォース委員名簿
- 参考資料2 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会運営規則第3条第2項に基づき主査が定める指針

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会
核融合科学技術委員会運営規則

令和元年 5 月 15 日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
核融合科学技術委員会
令和 2 年 6 月 10 日一部改正

(趣旨)

第 1 条 科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会（以下「委員会」という。）の議事の手続その他の委員会の運営に関し必要な事項は、科学技術・学術審議会令（平成 12 年 6 月 7 日政令第 279 号）、科学技術・学術審議会運営規則（平成 31 年 3 月 13 日科学技術・学術審議会一部改正）及び科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会運営規則（平成 31 年 4 月 17 日科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会一部改正）に定めるもののほか、この規則の定めるところによる。

(タスクフォース)

- 第 2 条 委員会は、その定めるところにより、特定の事項を機動的に調査するため、タスクフォースを置くことができる。
- 2 タスクフォースに属すべき委員、臨時委員及び専門委員（以下「委員等」という。）は、委員会の主査が指名する。
 - 3 タスクフォースにタスクフォースの主査を置き、当該タスクフォースに属する委員等のうちから委員会の主査の指名する者が、これに当たる。
 - 4 タスクフォースの主査は、当該タスクフォースの事務を掌理する。
 - 5 タスクフォースの会議は、タスクフォースの主査が招集する。
 - 6 タスクフォースの主査は、タスクフォースの会議の議長となり、議事を整理する。
 - 7 タスクフォースの主査に事故があるときは、当該タスクフォースに属する委員等のうちからタスクフォースの主査があらかじめ指名する者が、その職務を代理する。
 - 8 タスクフォースの主査は、タスクフォースにおける調査の経過及び結果を委員会に報告するものとする。

(議事)

第 3 条 委員会及びタスクフォース（以下「委員会等」という。）は、当該委員

会等に属する委員等の過半数が出席しなければ、会議を開くことができない。

2 委員会等の主査が必要と認めるときは、委員等は、委員会の主査が定める指針に従い、情報通信機器等を利用して会議に出席することができる。

3 前項の規定により情報通信機器等を利用した出席は、第1項に規定する出席に含めるものとする。

(書面による審議)

第4条 委員会等の主査は、やむを得ない理由により会議を開く余裕がない場合においては、事案の概要を記載した書面を委員等に送付し、その意見を徴し、又は賛否を問い、その結果をもって委員会等の決定とすることができる。

2 前項の規定により書面による調査検討を行った場合、委員会等の主査又は主査の職務を代理する者が次の会議において報告をしなければならない。

(会議の公開)

第5条 委員会等の会議及び会議資料は、次に掲げる場合を除き、公開とする。

- 一 委員会等の主査の職務を代理する者の指名その他人事に係る案件
- 二 行政処分に係る案件
- 三 前二号に掲げるもののほか、個別利害に直結する事項に係る案件、又は審議の円滑な実施に影響が生じるものとして、委員会等において非公開とすることが適当であると認める案件

(議事録)

第6条 委員会等の主査は、委員会等の会議の議事録を作成し、所属の委員等に諮った上で、これを公表するものとする。

2 委員会等が、前条の各号に掲げる事項について調査審議を行った場合は、委員会等の主査が所属の委員等に諮った上で当該部分の議事録を非公表とすることができる。

(雑則)

第7条 この規則に定めるもののほか、委員会等の議事の手続その他委員会等の運営に関し必要な事項は、委員会等の主査が当該委員会等に諮って定める。

研究開発プログラム評価票

(令和 2 年度)

中目標 (環境エネルギー科学技術分野) :

核融合エネルギーは、燃料資源が地域的に偏在なく豊富であること、発電過程で温室効果ガスを発生しないこと、少量の燃料から大規模な発電が可能であること等の特性を持つ。また、安全性の面でも優れた特性を有することから、エネルギー問題と環境問題を根本的に解決する、将来の基幹的エネルギー源として期待されている。

大目標の達成に向け、文部科学省は、国際約束に基づく ITER (国際熱核融合実験炉) 計画・BA (幅広いアプローチ) 活動を推進しつつ、これらの進捗状況を踏まえ、トカマク方式を主案とする原型炉開発のための技術基盤構築に向けた戦略的取組を推進する。並行して、トカマク以外の方式 (ヘリカル方式、レーザー方式) や、核融合理工学の研究開発を進めることにより、将来に向けた重要な技術である核融合エネルギーの実現に向けた研究開発に取り組む。

なお、これらの取組を推進するに当たっては、原型炉開発に向けたロードマップを策定し、量子科学技術研究開発機構、核融合科学研究所、大学、産業界等を網羅する全日本の連携体制で臨む。

また、現行 BA 活動終了後の日欧協力の在り方について検討を進めているところであり、その結果に応じて、必要があれば、本計画を見直すこととする。

| 中目標の達成状況の測定指標 (平成 28 年度～30 年度) <small>※政策評価の事前分析表から転記</small> | 事業名 (事業期間) <small>※中目標の達成に必要な事業 (必要に応じ、国立研究開発法人において運営費交付金等により実施されている事業も記載)</small> | 予算規模 | 評価年度 | 評価の種類 | 科学技術基本計画等への貢献状況 <small>※科学技術基本計画やその他政府の計画等への貢献状況</small> | 備考 <small>※その他の気づき等</small> |
|--|--|--|------|-------|---|--------------------------------|
| ①ITER 建設作業の進捗と計画の着実な進展への貢献 (ITER 計画において我が国が分担する機器製作等を担う国内機関である量子科学技術研究開発機構が毎年度定める事業計画中の課題の達成割合) 93.4% (5 年平均) ②先進プラズマ研究開発のプラットフォームの構築 (BA 活動の実施機関である量子科学技術研究開発機構が定める事業計画のうち、先進プラズマ研 | ITER 計画 (建設段階) 等の推進 (H18～H47 以降) | H28 年 : 228.0 億円 H29 年 : 189.9 億円 H30 年 : 188.8 億円 | H29 | 中間評価 | | |

【核融合科学技術委員会】

| | | | | | | |
|---|---|--|------------|-------------|--|--|
| <p>究開発のプラットフォーム構築に資する課題の達成割合) 91%(5年平均) ③原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得(定性的指標)※1 ④核融合エネルギー実現に向けた社会の理解と支援の基盤構築※2</p> | | | | | | |
| <p>トカマク方式に対する相補的・代替的な役割の発揮※3</p> | <p>ヘリカル方式 (超高性能プラズマの定常運転の実証) (大学共同利用機関法人核融合科学研究所)</p> | <p>H28年度: 43億円 H29年度: 43億円 H30年度: 41億円 (大規模学術フロンティア促進事業)</p> | <p>H28</p> | <p>進捗評価</p> | | <p>※学術分科会研究環境基盤部会学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会において評価</p> |
| | <p>レーザー方式 (大阪大学レーザー科学研究所)</p> | | | | | |

| | | |
|---|--------------|--|
| <p>※1 原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得(定性的指標)</p> | <p>H28年度</p> | <p>原型炉用超伝導コイルの概念構築に向けた検討の進展などにより、原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得に貢献した。</p> |
| | <p>H29年度</p> | <p>新たな原型炉研究開発の在り方を示すものとして、核融合科学技術委員会において「核融合原型炉研究開発の推進に向けて(平成29年12月18日)」をとりまとめるとともに、原型炉設計合同特別チームにおいて、原型炉の炉構造・遠隔保守の概念構築に向けた検討を深めるなど、原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得に貢献した。</p> |
| | <p>H30年度</p> | <p>アクションプランに示された研究課題のうち、優先的に実施すべき課題を抽出するため「原型炉研究開発ロードマップについて(一次とりまとめ)」(平成30年7月24日)をとりまとめるとともに、原型炉設計特別チームにおける検討の結果、原型炉の設計要件である数10万キロワットの電気出力を発生できる見通しを得るなど、原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得に貢献した。</p> |

【核融合科学技術委員会】

| | | |
|-----------------------------------|--------|--|
| ※2 核融合エネルギー実現に向けた社会の理解と支援の基盤構築 | H28 年度 | アウトリーチ・ヘッドクォーターの設置について核融合科学技術委員会で議論を進めるなどにより、社会の理解と支援の基盤構築に貢献した。 |
| | H29 年度 | 社会の理解と支援の基盤構築に貢献するべく、アウトリーチ活動など、社会連携活動強化に向けた提言を「核融合原型炉研究開発の推進に向けて（平成29年12月18日核融合科学技術委員会）」の中で取りまとめた。さらに、アウトリーチ・ヘッドクォーターの設置など戦略的なアウトリーチ活動の展開方策を、「核融合エネルギー開発の推進に向けた人材の育成・確保について（平成30年3月28日核融合科学技術委員会）」において取りまとめた。 |
| | H30 年度 | アウトリーチ・ヘッドクォーターを設置（平成31年2月26日）し、今後の社会連携活動強化に向けた議論を始め、社会の理解と支援の基盤構築に貢献する端緒を掴んだ。 |
| ※3 相補的・代替的な役割の発揮状況 | H28 年度 | 重水素実験を開始した。（ヘリカル方式） 流体不安定性を回避した新型核融合燃料ペレットを考案し、実験を開始した。（レーザー方式） |
| | H29 年度 | イオン温度1億2,000万度を達成した。（ヘリカル方式） 超高磁場印加加熱、イオン加熱、衝撃波加熱などより効率的な加熱法を目指した実験を実施した。（レーザー方式） |
| | H30 年度 | 核融合炉に外挿可能な超高性能プラズマを実現するとともに、水素同位体効果の解明を進めた。（ヘリカル方式） 核融合燃料高速点加熱の物理機構を解明した。また、数kJのレーザーエネルギーで核融合プラズマ200億気圧を実証した。（レーザー方式） |

| <p>研究開発プログラムの評価に当たっての気づき</p> | <p>核融合研究開発については、国際約束に基づく ITER（国際熱核融合実験炉）計画・BA（幅広いアプローチ）活動を推進しているとともに、研究開発の加速と課題達成を促すためには、多角的なアプローチが必要であることより、ITER や BA で採用されているトカマク方式の着実な進展を図るとともに、相補的・代替的なヘリカル方式・レーザー方式、更には革新的概念の研究を並行して行うべきとして、核融合科学研究所および大学等での学術研究基盤を推進し、研究成果を要素還元するなど、オールジャパンで取り組んでいる。更に核融合科学研究所および大学等は、これからの核融合研究を担う多くの優秀な人材を育成すべく、国内外との共同研究を通して、多様な研究の機会を提供するなどの役割を担っている。</p> <p>核融合研究開発は現在、実験炉の開発等を行う第三段階計画から原型炉の実現に向けた第四段階への移行を見据えるべき時期に入っており、我が国の原型炉に向けた新たな政策を示すため、核融合科学技術委員会において「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」（平成 29 年 12 月 18 日）を策定した。その中では、原型炉研究開発のビジョンを明確にし、原型炉建設判断を行うにあたって達成すべき目標とその時期を示し、「チェックアンドレビュー」（以下 C&R）を実施することとしている。C&R 項目は本プログラム評価の中期目標達成の測定指標と実質的に同義であることより、C&R をプログラム評価と連動することとする。</p> | | | | | | | | | | |
|--|--|---|----------|-----------------------------|---|--------------------------|--|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------|
| <p>各測定指標と C & R 各項目との関係</p> | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="352 943 836 987">中目標の達成状況の測定指標等</th> <th data-bbox="836 943 1501 987">C & R 項目</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="352 987 836 1099">① ITER 建設作業の進捗と計画の着実な進展への貢献</td> <td data-bbox="836 987 1501 1099">① ITER による自己加熱領域での燃焼制御の実証 ③ ITER による統合化技術の確立</td> </tr> <tr> <td data-bbox="352 1099 836 1234">② 先進プラズマ研究開発のプラットフォームの構築</td> <td data-bbox="836 1099 1501 1234">② 原型炉を見据えた高ベータ定常プラズマ運転技術の確立 ④ 原型炉に係わる材料開発</td> </tr> <tr> <td data-bbox="352 1234 836 1346">③ 原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得</td> <td data-bbox="836 1234 1501 1346">⑤ 原型炉に係わる炉工学技術開発 ⑥ 原型炉設計</td> </tr> <tr> <td data-bbox="352 1346 836 1458">④ 核融合エネルギー実現に向けた社会の理解と支援の基盤構築</td> <td data-bbox="836 1346 1501 1458">⑦ 社会連携</td> </tr> </tbody> </table> | | 中目標の達成状況の測定指標等 | C & R 項目 | ① ITER 建設作業の進捗と計画の着実な進展への貢献 | ① ITER による自己加熱領域での燃焼制御の実証 ③ ITER による統合化技術の確立 | ② 先進プラズマ研究開発のプラットフォームの構築 | ② 原型炉を見据えた高ベータ定常プラズマ運転技術の確立 ④ 原型炉に係わる材料開発 | ③ 原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得 | ⑤ 原型炉に係わる炉工学技術開発 ⑥ 原型炉設計 | ④ 核融合エネルギー実現に向けた社会の理解と支援の基盤構築 | ⑦ 社会連携 |
| 中目標の達成状況の測定指標等 | C & R 項目 | | | | | | | | | | |
| ① ITER 建設作業の進捗と計画の着実な進展への貢献 | ① ITER による自己加熱領域での燃焼制御の実証 ③ ITER による統合化技術の確立 | | | | | | | | | | |
| ② 先進プラズマ研究開発のプラットフォームの構築 | ② 原型炉を見据えた高ベータ定常プラズマ運転技術の確立 ④ 原型炉に係わる材料開発 | | | | | | | | | | |
| ③ 原型炉の工学設計に向けた見通しの獲得 | ⑤ 原型炉に係わる炉工学技術開発 ⑥ 原型炉設計 | | | | | | | | | | |
| ④ 核融合エネルギー実現に向けた社会の理解と支援の基盤構築 | ⑦ 社会連携 | | | | | | | | | | |
| <p>(参考)</p> <p>トカマク方式の着実な進展を図るとともに、相補的・代替的なヘリカル方式、レーザー方式、革新的概念の研究を並行して行う。</p> | | | | | | | | | | | |
| <p>C & R および次段階への移行判断の実施時期</p> | | | | | | | | | | | |
| <p>2021 年頃</p> <p>2025 年以降数年内</p> | <p>第三段階</p> <p>(科学的・技術的実現性)</p>  | <p>第 1 回中間 C & R</p> <p>第 2 回中間 C & R</p> | | | | | | | | | |

| | | |
|---------|--|-------|
| 2035 年頃 | 原型炉移行判断 | C & R |
| | <div data-bbox="676 300 791 344" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">第四段階</div> <p data-bbox="692 371 1046 407">(技術的実証・経済的実現性)</p> <div data-bbox="782 443 833 564" style="text-align: center;">  </div> | |
| 21 世紀中葉 | 実用化判断 | |
| | <div data-bbox="676 712 791 757" style="border: 1px solid black; padding: 2px;">実用段階</div> | |

第26回ITER理事会の 結果について

文部科学省 研究開発局
研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当） 付

日程： 令和2年6月17日（水）～18日（木）

※新型コロナウイルスの感染拡大防止の観点から、初めてテレビ会議により開催。

議長： ルオ 中国科学技術部核融合エネルギー計画執行センター長

出席者：

（日本）山脇 文部科学審議官、鎌田 QST那珂研副所長 ほか

（欧州）ガリバ 欧州委員会エネルギー総局副総局長代行 ほか

（米国）ビンクリー エネルギー省科学局次長 ほか

（ロシア）ボロフコフ 連邦政府官房副補佐官 ほか

（中国）ホワン 科学技術部副部長 ほか

（韓国）イ 科学技術情報通信部宇宙・原子力・巨大科学政策局長 ほか

（インド）グローバー 原子力委員会委員 ほか

（ITER機構）ビゴ機構長、多田副機構長 ほか

議題：

- （1）開会挨拶（議長、各極首席代表、機構長）
- （2）ITER計画進捗報告
- （3）ITER建設活動のマネジメント
- （4）その他



（令和元年11月）



（令和2年3月）

1. ITER計画の進捗について

- 2025年初プラズマまで約70%建設が進捗。
- コロナ禍下においても、以下主要なマイルストーンが達成されたことを確認。

(1) 超伝導トロイダル磁場(TF)コイルの製作・サイトへの納入完了

- ① 日本：初号機を1月に完成し、4月にサイトへ納入。2号機についても現在サイトへ納入中。
- ② 欧州：初号機を2月に完成し、4月にサイトへ納入。



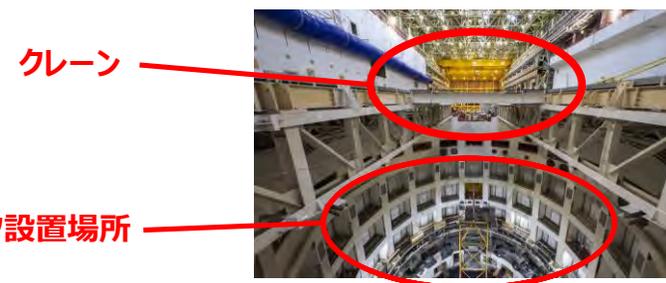
※ビゴITER機構長、森核融合議連会長、渡海元文科大臣、青山文科政務官ほか列席

(2) 真空容器の製作完了

- 韓国が初号機を4月に完成し、7月にサイトへ納入予定。

(3) 組立建屋とトカマク建屋を結ぶクレーンの完成

- 欧州が組立建屋とトカマク建屋を結ぶクレーンを3月に完成し、ITERの組立・据付に向けた準備が完了。



- 他方、コロナの感染は引き続き継続しており、ITER機構がプロジェクトに与える影響を分析した後、次回11月の理事会で議論される予定。

2. ITER機構の運営評価について

- 第三者による運営評価がITER機構の運営に対し肯定的な結果であることを確認。

ITERサイト・日本機器製作の現状



文部科学省

- ITER建設サイトでは、トカマク設置場所（トカマクピット）や周辺施設（計測建屋、トリチウム建屋等）の建設、電源設備・冷却設備の搬入及び設置等の建設活動が進捗（2020年4月末時点、2025年運転開始（初プラズマ）まで、69.3%完了（2019年4月は62.5%））。
- 日本調達機器の製作については、2020年1月に超伝導トロイダル磁場（TF）コイルの初号機を完成させるなど、着実に進展。

組立建屋（2020年3月）



© ITER Organization

トカマク建屋（2020年3月）



© ITER Organization

日本の機器製作



超伝導トロイダル磁場（TF）コイル：
ITERサイト納入ミニ式典（2020年4月）

※ビゴ機構長、多田副機構長、3ドメイン長ほか出席

（2016年10月）



© ITER Organization

（2020年3月）



© ITER Organization



中性粒子ビーム入射装置：
イタリアの試験施設において日
本製の100万ボルト高電圧電
源の耐電圧試験を完了
（2019年11月）



高周波加熱装置：
日本分担の8機中4機の加熱
装置（ジャイロトロン）の製作を
完了（2019年8月）

幅広いアプローチ（BA）活動 フェーズⅡの開始について

文部科学省 研究開発局
研究開発戦略官（核融合・原子力国際協力担当） 付

幅広いアプローチ（BA）活動等について

令和2年度予算額 : 4,854百万円
 (令和元年度補正予算額 : 2,384百万円)
 令和元年度予算額 : 7,292百万円



文部科学省

幅広いアプローチ（BA）活動とは

ITER計画を補完・支援するとともに、核融合原型炉に必要な技術基盤を確立するための先進的研究開発を実施する、国会承認条約に基づく日欧の国際科学技術協カプロジェクト

実施極 : 日、欧

協定 : 2007年6月1日発効

(日欧いずれかが終了を提起しない限り自動延長)

実施地 : 青森県六ヶ所村、茨城県那珂市

事業期間 : 2020年3月 フェーズI完了 (JT-60SA組立等)
 2020年4月 フェーズII開始



幅広いアプローチ（BA）活動等の位置付け

(科学的・技術的実現性)

(技術的実証・経済的実現性)

ITER計画 (実験炉)

- ・燃焼プラズマの達成
- ・長時間燃焼の実現 等



核融合原型炉

- ・発電実証
- ・経済性見通し



実用化
段階

BA活動等

- ・ITER運転シナリオの検討
- ・核融合原型炉に向けた技術基盤の構築 等



核融合エネルギー
実現までのロードマップ

各拠点における具体的取組内容

(1) 先進超伝導トカマク装置JT-60SAの建設と利用【茨城】

- 以下の研究開発を実現するため、臨界プラズマ試験装置JT-60を超伝導化し、先進超伝導トカマク装置JT-60SAを建設。

1,779百万円 (4,231百万円)
 【令和元年度補正予算額 : 2,384百万円】

- ITERではできない高圧力実験を実施し、核融合原型炉に求められる安全性・信頼性・経済性のデータを獲得。
- ITERに先立ち様々な予備的データを取得し、ITERの運転開始や技術目標達成を支援。



JT-60SA



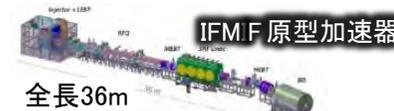
組立が完了したJT-60SA

- 令和2年3月に世界最高水準の先進超伝導トカマク装置JT-60SAの本体が組立完了。令和2年度は、初プラズマ達成に向けた統合コミショニング等を実施。

(2) 核融合中性子源用原型加速器の建設と実証【青森】

- 核融合原型炉に必要な高強度材料の開発を行う施設的设计・建設に係る知見を獲得するため、主要機器となる高性能原型加速器の製作プロセス開発や性能実証を実施。
- 令和元年度は、世界最長の高周波四重極線形加速器(RFQ)を用いて、世界最高強度の5MeV、125mAの重陽子ビーム加速に成功。令和2年度は、RFQを用いて5MeV・長パルスビーム試運転を実施。

622百万円 (536百万円)



全長36m

(3) 国際核融合エネルギー研究センター事業等【青森】

- 核融合原型炉に向けた総合的取組として、2,452百万円 (2,525百万円) 以下の研究開発を実施。
 - 核融合原型炉の概念設計や技術検討
 - シミュレーション研究
 - ITER等の遠隔実験解析 等
- 令和元年度は、原型炉基本設計の完了やベリリウムの革新的精製技術の開発など着実に成果を創出。令和2年度は、原型炉設計・研究開発等を進展。



新スパコン「六ちゃんーⅡ」

➤ 令和元年7月25日

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 核融合科学技術委員会（第18回）

■「幅広いアプローチ（BA）活動（フェーズ2）」の事前評価 とりまとめ

➤ 令和元年8月23日

科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会（第69回）

■「幅広いアプローチ（BA）活動（フェーズ2）」の事前評価結果報告

※日欧担当者間で協議、令和2年度概算要求等

➤ 令和2年3月2日

現行のBA協定に基づく日欧共同宣言（ブリュッセル共同宣言）を補完する共同宣言に日欧政府代表が署名

- 日欧政府間のBA活動継続に対する強い意欲やBA運営委員会での議論を踏まえ、事業内容・予算見積り等について協議。
- 上記協議を踏まえ、合意した内容につき、**現行のBA協定に基づく日欧共同宣言を補完する共同宣言**として、**本年3月2日に日欧代表により署名**。



署名式（2020年3月2日、ブリュッセル）
左：児玉特命全権大使
右：シムソン欧州委員（エネルギー担当）

<共同宣言のポイント>

- ✓ 事業期間中の**日欧BA貢献割合は1：1**とする。
- ✓ 両極は、**毎年50kBAUA（約48億円）を上限とする貢献**を行う。
- ✓ 日本はホスト分として、上記貢献分の**3分の2以上を負担**する。
- ✓ 活動は**両極の法規制及び予算の範囲内**で行う。

※ 日欧協議の結果、当面5年間は、日本側は平均で年間74億円程度（事業貢献分46.5kBAUA、ホスト分31kBAUA）、欧州側は年間約3,825万ユーロ（46.5kBAUA）の負担を想定。

BAフェーズIIの主要な目標

全般的考え方

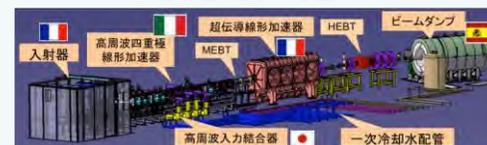
フェーズ I で整備した研究環境を活用するとともに、装置の性能等を所期の目標に向けて高め、ITER計画を補完・支援する研究成果を創出

国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計 (IFMIF/EVEDA) 事業

フェーズの進行

- 原型加速器を完成し、信頼性等の実証のために連続運転ができるよう高度化を図るほか、リチウムループにおける不純物除去システムの開発を実施
- 将来の中性子源に向けて必要な概念設計及び工学設計を実施

IFMIF/EVEDA原型加速器



国際核融合エネルギー研究センター(IFERC) 事業

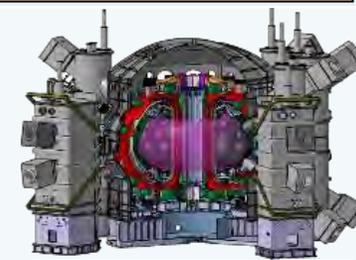
- 予備的な原型炉設計活動と研究開発活動を完了
- ITER実験、原型炉設計のためのシミュレーションコード群の開発を着実に進展
- ITER遠隔実験に向けた環境を整備



国際核融合エネルギー研究センター (IFERC) 事業

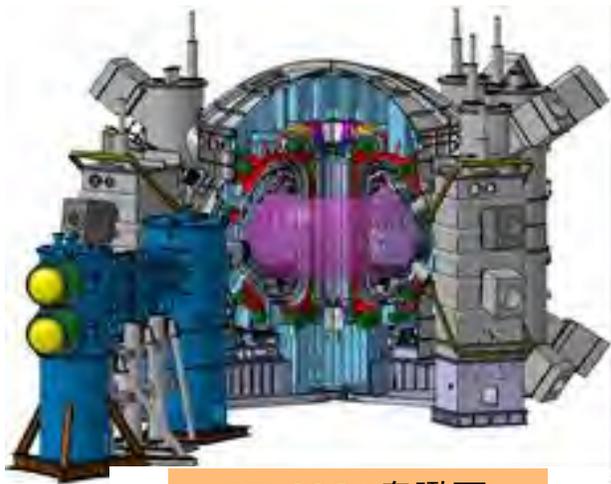
サテライト・トカマク計画 (STP) 事業

- 「ITER支援」としてITERファーストプラズマ時のコミッショニングや、プラズマ制御性向上に貢献
- 原型炉研究開発ロードマップの履行や原型炉移行判断に必要な実証実施を推進



先進超伝導トカマク装置JT-60SA

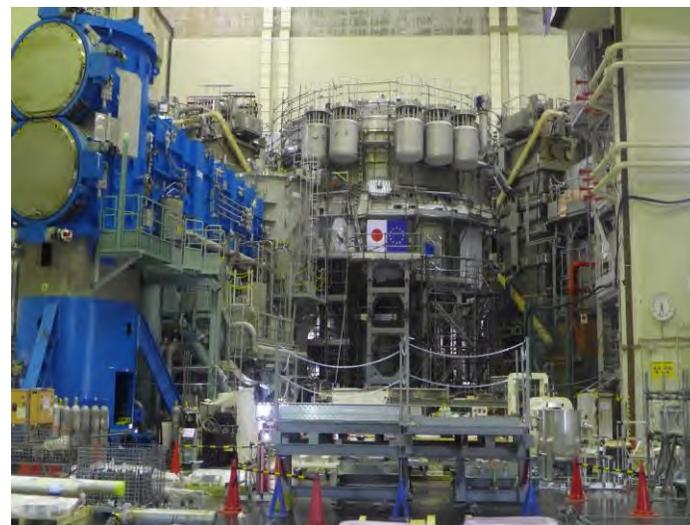
- ITERの建設完了まで世界最大の超伝導トカマク型実験装置となる**JT-60SAの組立が2020年3月に完了**。本年中の初プラズマを含む**統合試験運転**の開始に向け、各機器の健全性を確認中。
- 今後、日欧連携でJT-60SAにおける実験を行い、**核融合原型炉建設に求められる安全性・経済性等のデータの取得**や、ITERに先立ち取得する様々な予備的データを通じたITERの運転開始や技術目標達成への支援などの取組を進める。また、昨年11月に署名した協力取決めに基づき、**ITER機構との科学技術協力を進める**。



JT-60SA鳥瞰図

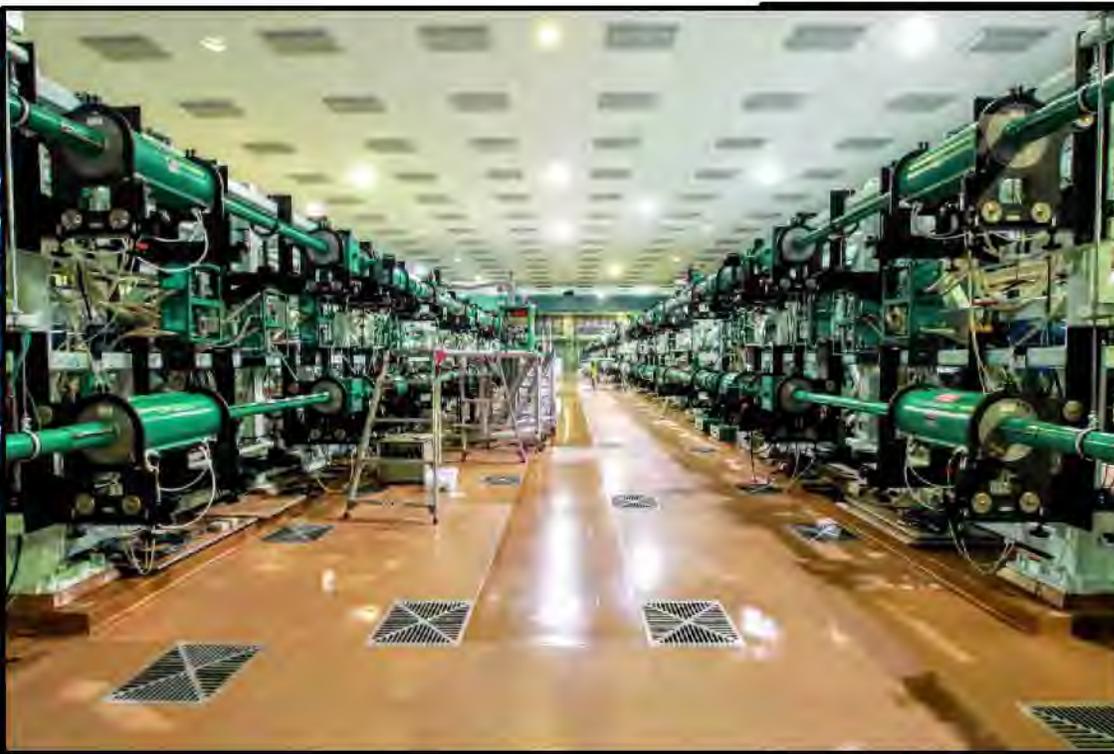


TFコイルの組立中



完成したJT-60SA

原型炉開発総合戦略タスクフォース - レーザー方式の進捗状況 -



藤岡慎介(大阪大学レーザー科学研究所 副所長/教授)

本研究は、自然科学研究開発機構核融合科学研究所の双方向型共同研究、
文部科学省の共同利用共同研究拠点制度、科学研究費補助金事業等の支援により実施いたしました。



レーザー方式から原型炉に資する研究課題

- アクションプラン策定時にレーザー方式から原型炉に資する技術課題を整理.
- レーザー方式と磁場方式の研究者が議論を行いながら, 原型炉に資する研究開発を検討・実施.

[詳細割愛]レーザー炉特有の研究開発

- [米国] National Ignition Facility (NIF) では間接照射・中心点火方式を採用し, 自己加熱によって, 核融合出力を倍増.
- [日本] 我が国独自の直接照射・高速点火方式により, NIFの3倍以上の効率で, 太陽中心の約1/15の圧力 (2 PPa/200億気圧) を実現.

核融合エネルギー実現を加速するパワーレーザープラットフォーム

- パワーレーザーの技術革新によって, 高繰り返しレーザーを用いた核融合科学の展望が開かれた.

アクションプランにおけるレーザー方式の位置づけ

アクションプラン策定時に「レーザー方式と原型炉の共通技術基盤」を整理・レーザー炉特有の研究開発も参考資料として作成・

“ヘリカル方式, レーザー方式の研究開発は, 将来を展望する革新的技術の研究開発に必要な規模にて(原型炉開発と)並行して行われるべきことを認識しつつ, それら(ヘリカル方式, レーザー方式)が原型炉に向けた共通の技術基盤を提供できる部分について, アクションプランに取り入れることとした.”

共通技術課題

| 合同特別チームの活動フェーズ | 概念設計の基本設計 | | 概念設計 | 工学設計 |
|-------------------|--|--|---------------------------------|-------|
| | 2015 | 2020頃 | 2025頃 | 2035頃 |
| 14. レーザー方式 | (引用3.)ダイバーターシミュレーションコードの開発とその検証 (引用3.)ダイバーター概念設計と運転シナリオ構築 (引用7.)燃料供給システムのITERでの実証 (引用7.) (燃料システム)要素技術の開発 (引用7.) T大量取扱施設建設/技術実証 (引用11) 核時計測器の開発, ITER/JT-60SA等での運用実績の蓄積, 計測器の仕様策定 | | | |
| 物質・プラズマ相互作用の総合的理解 | (16) C1/N/大: プラズマによる物体損耗の数値モデル化 (27) (16) C1/N/大: プラズマによる物体損耗のモデル実験 (27) (16) C1/N/大: 材料試験装置部詳細設計 (20) | (16) C1/N/大: プラズマによる物体損耗の数値モデル化 (27) (16) C1/N/大: プラズマによる物体損耗のモデル実験 (27) | | |
| 液体金属壁開発 | (16) C1/N/大: 液体金属壁基礎実験装置詳細設計 (20) | (25) C1/N/大: 液体金属壁基礎実験試験 (29) | (25) C1/N/大: 液体金属壁基礎実験試験 (29) | |
| ペレット製造・入射技術 | (18) C1/N/大/産: ペレット製造法の詳細設計 (19) (18) C1/N/大/産: ペレット入射装置の詳細設計 (19) | (20) C1/N/大/産: 大量ペレット製造装置の製作 (23) (20) C1/N/大/産: ペレット入射装置の製作 (25) | | |
| トリチウムの貯蔵・ハンドリング技術 | (16) C1/C5/N/大/Q: トリチウム貯蔵/供給系の詳細設計 (18) (16) C1/C5/N/大/Q: トリチウム回収系の概念設計 (18) (19) C1/N/大/Q: トリチウム回収系の詳細設計 (22) | (19) C1/N/大/Q: トリチウム回収系の詳細設計 (22) (22) C1/C5/N/大/Q: トリチウム貯蔵/供給系のデモ製造 (27) | | |
| 過酷環境下における計測技術 | (15) C1/C5/N/大: レーザー生成過酷環境の特性評価 (18) (18) C1/N/大: レーザー生成過酷環境の提供 (35) | | (18) C1/N/大: レーザー生成過酷環境の提供 (35) | |

レーザー炉固有

| 合同特別チームの活動フェーズ | 概念設計の基本設計 | | 概念設計 | 工学設計 |
|--------------------|---|---|---|-------|
| | 2015 | 2020頃 | 2025頃 | 2035頃 |
| 参考 レーザー炉特有の研究開発 | 炉心プラズマ物理検証 (FIREX-D) 自己点火実証 (FIREX-D) 繰り返し炉工試験 レーザー方式原型炉設計 | | | |
| 炉心プラズマ | (15) C1/N/大: 炉心プラズマ基礎実験 (17) (16) C1/N/大: 国際連携検討 (18) (19) C1/N/大: 国際連携準備 (22) (17) C1/N/大: 自己点火炉心プラズマ数値設計 (21) | (22) C1/N/大: 高利得炉心プラズマ数値設計 (29) | (22) C1/N/大: 高利得炉心プラズマ数値設計 (29) | |
| 繰り返し炉工試験装置 | (16) C1/N/大/産: 繰り返し炉工試験装置概念設計 (14) (18) C1/N/大/産/QW/N: 20 kJ/10 Hz レーザー詳細設計 (19) (18) C1/N/大/産: 大量ペレット製造法の詳細設計 (19) (18) C1/N/大/産: ペレット入射装置の詳細設計 (19) (15) C1/N/大/産: ペレット追尾装置の詳細設計 (22) | (23) C1/N/大/産: ペレット追尾装置の製作 (28) (23) C1/N/大/産: 連続照射統合試験 (28) (20) C1/N/大/産/QW/N: 20 kJ/10 Hz レーザー建設 (25) (20) C1/N/大/産: 大量ペレット製造装置の製作 (23) (20) C1/N/大/産: ペレット入射装置の製作 (25) | (23) C1/N/大/産: ペレット追尾装置の製作 (28) → (23) C1/N/大/産: 連続照射統合試験 (28) | |
| 炉工学技術 | (16) C1/N/大: 壁/プラズマ相互作用の総合的理解 (27) (16) C1/N/大/産: 液体金属壁基礎実験装置詳細設計 (20) (16) C1/N/大: 材料試験装置部 詳細設計 (20) (19) C1/N/大/産: トリチウム回収系の詳細設計 (22) (19) C1/N/大/産: トリチウム貯蔵/供給系の製造 (27) | → (16) C1/N/大: 壁/プラズマ相互作用の総合的理解 (27) (22) C1/C5/N/大: トリチウム貯蔵/供給系のターゲット製造系及びトリチウム回収系への繋ぎ込み (25) (22) C1/C5/N/大: トリチウム回収系の製造 (25) (21) C1/N/大: 液体金属壁基礎実験装置製作 (24) (24) C1/N/大: 材料負荷照射試験 (27) (25) C1/N/大: 液体金属壁基礎実験試験 (29) | | |

原型炉と原理が大きく異なるレーザー方式が、 原型炉と共通の技術基盤の開発に貢献しうる項目を整理

① 壁・プラズマ相互作用の総合的理解

- ・ 熱負荷や中性子負荷を受けた材料の特性や損耗過程を解明し、物質とプラズマの境界領域の物理を体系化。
- ・ ダイバータシミュレーションコード、原子分子過程、プラズマ壁相互作用のモデルの高精度化に貢献。

② 液体金属壁開発

- ・ レーザー方式原型炉ではコンパクトな炉を指向して、リチウム-鉛を用いた液体金属壁を採用。
- ・ 液体金属流は、原型炉開発においても先進ブランケットや先進ダイバータとしての活用を期待。
- ・ 数十cm厚の液体壁の形成及びリチウム-鉛の循環方法(耐腐食ポンプ等)を開発。

③ ペレット製造・入射技術

- ・ 燃料供給のための重水素・三重水素氷状ペレットの特性評価、大量生産・自動選別技術の設計、開発。
- ・ トリチウム遺漏を考慮した入射装置の設計、開発

④ トリチウムの貯蔵・ハンドリング技術

- ・ 遺漏を考慮したトリチウムの貯蔵、供給、回収系の基礎技術の開発と概念設計。

⑤ 過酷環境下における計測技術

- ・ 高輝度X線、ガンマ線、中性子線による計測器及びセンサーの誤動作。
- ・ 原型炉で想定される過酷環境を再現し、計装の開発に資する。

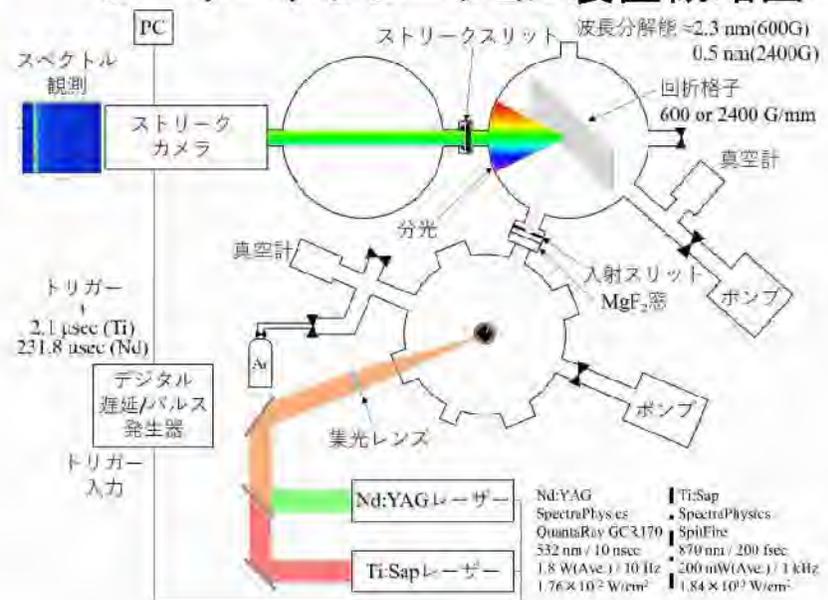
パルスレーザーで高Zプラズマを生成し、 原型炉周辺のプラズマ診断に貢献する原子分子データを取得

大阪大学 上田先生他
科学研究費補助金事業他

炉壁で発生する不純物粒子の挙動観察には、
プラズマに対し非侵襲な分光計測が有力。
→ 欠落している原子・分子データの補填が必要。



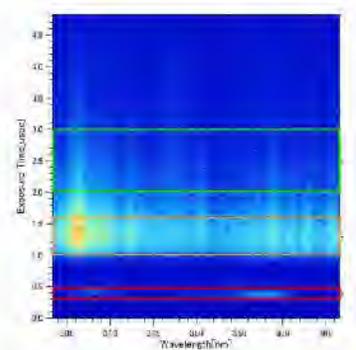
レーザーアブレーション装置概略図



VUV分光器



ストリーク撮影像



レーザーアブレーションプラズマからの
真空紫外スペクトルを取得

得られた原子・分子データは、周辺プラズマ分光計測で利用可能。
かつ、周辺プラズマシミュレーションの高精度化にも貢献。

レーザー照射による表面溶融層の形成実験により、 過渡負荷下での溶融損耗過程の模擬実験が可能に

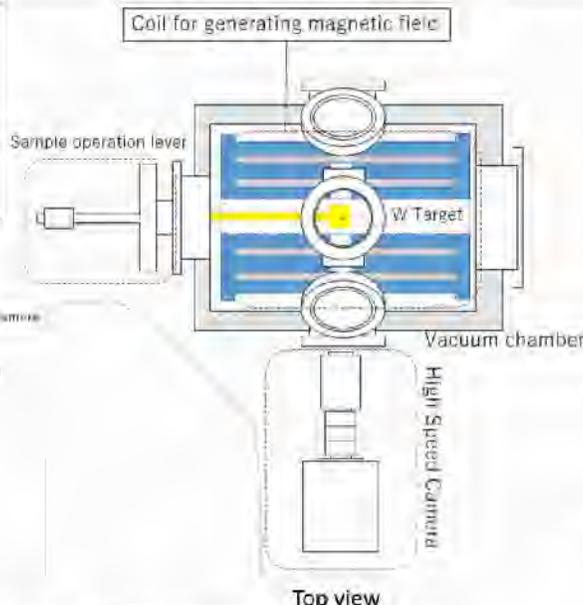
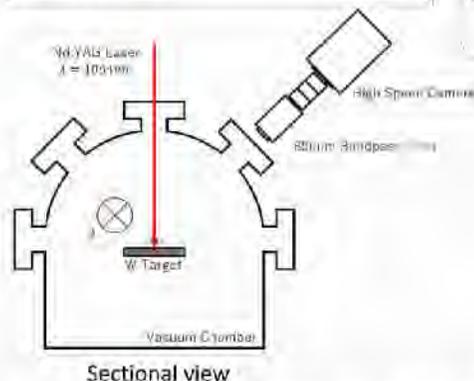
壁面への過渡熱負荷で形成される溶融層の挙動予測が原型炉設計に必要

→ 熱勾配の効果、高磁場による作用など不明な点が多い。



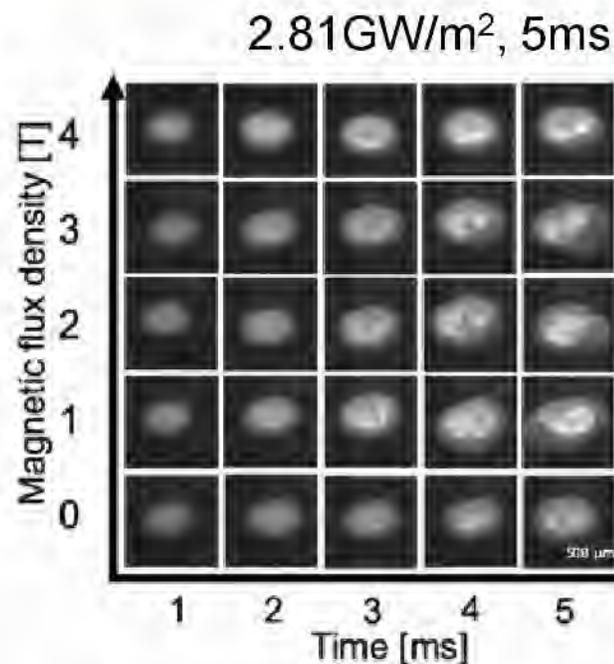
レーザー照射で過渡負荷を模擬し、高速カメラで観察

- Sample: W($10 \times 10 \times 1$ mm)
- 9.2×10^{-5} [Torr]
- Laser: 5kW-3ms (Square)
- Magnetic Field: 0-1.5[T]
- HSV: Nac MEMORCAM Hx-7s
- 20000FPS



レーザー照射による溶融層形成装置概略図

大阪大学 上田先生他
科学研究費補助金事業他

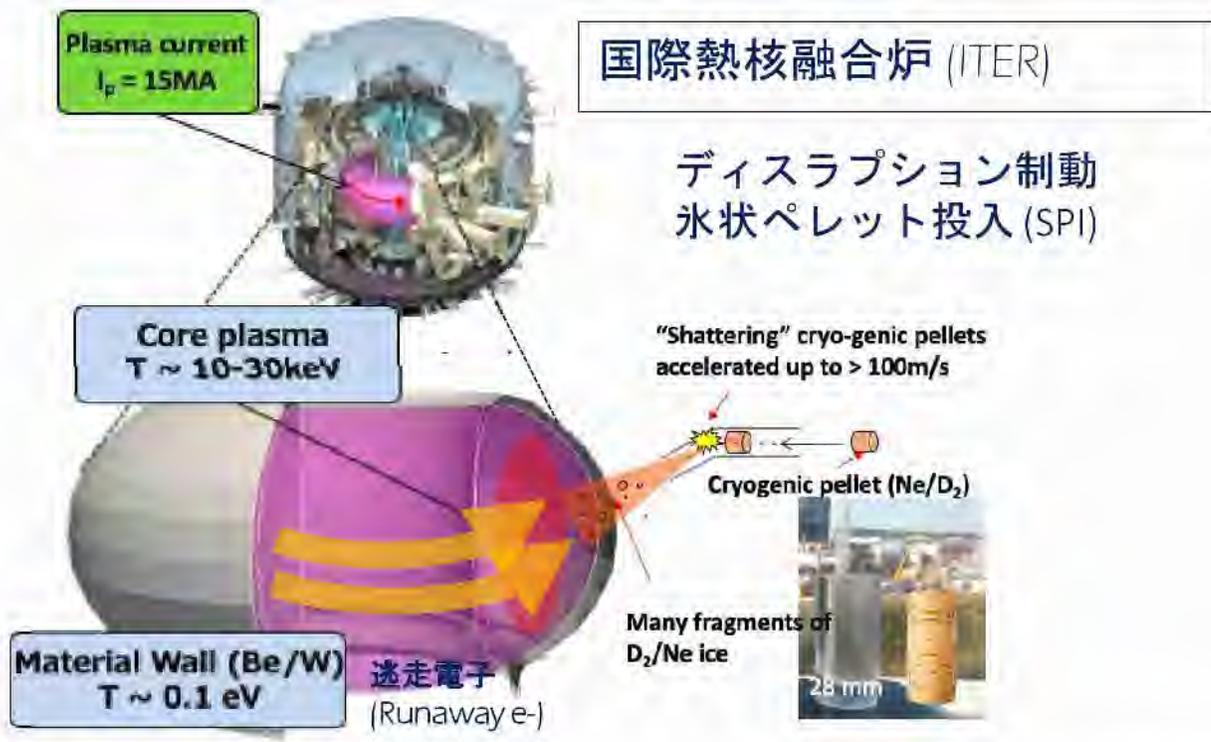


- W溶融層からの自発光を単色化し、溶融挙動のその場観察に成功
- 高磁場になるにつれて溶融層の不安定性を確認

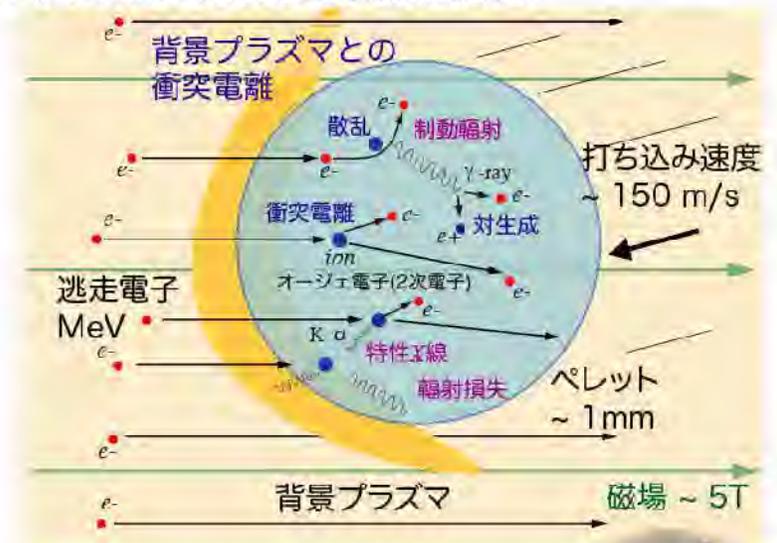
- 得られた溶融層挙動観察像は、溶融損耗モデルの妥当性検証に有用かつ希少なデータ。
- トカマク実装置での溶融層挙動観察データと比較し、磁場環境下での溶融層挙動の総合的理解が目標。

相対論的電子群と物質の相互作用の運動論的描像は、 トカマクにおけるディスラプション制御と高速点火レーザー核融合に共通

量研機構 松山先生他
科学研究費補助金事業(申請中)

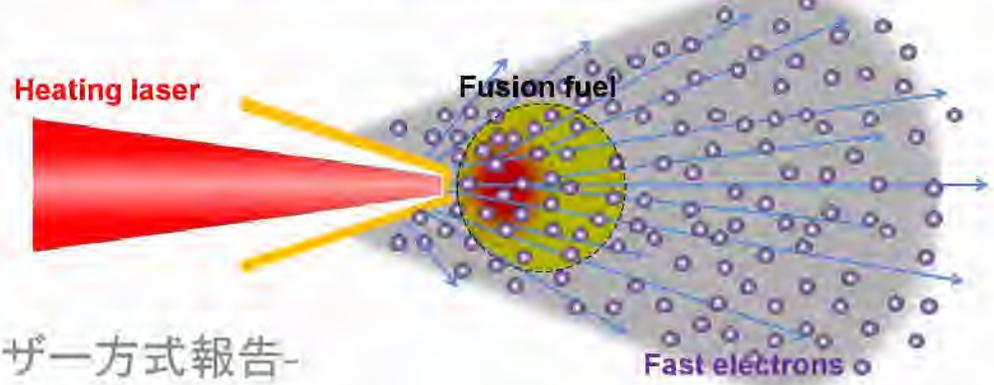


MeV逃走電子による粉碎氷状ペレットの プラズマ形成の運動論的描像



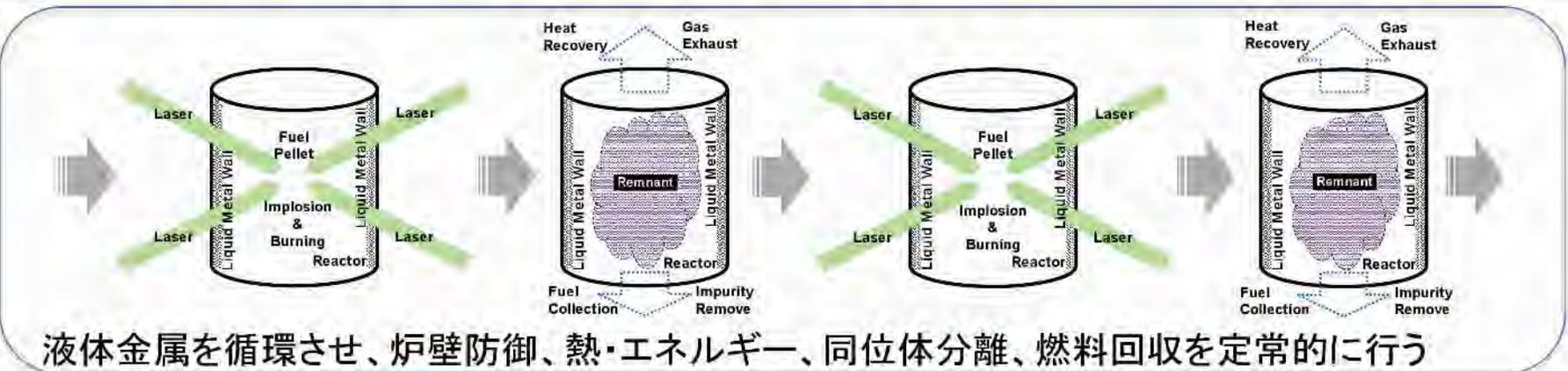
レーザー核融合高速点火方式

高速点火核融合では爆縮した高密度
コアを加熱レーザーで加速したMeV
電子で加熱する。



14. レーザー方式 液体金属壁開発

液体金属壁の形成には**金属蒸気の排気技術**が必要。
液体金属による拡散ポンプの設計と検証を準備中。



長岡技術科学大学 菊池先生他
科学研究費補助金 申請中

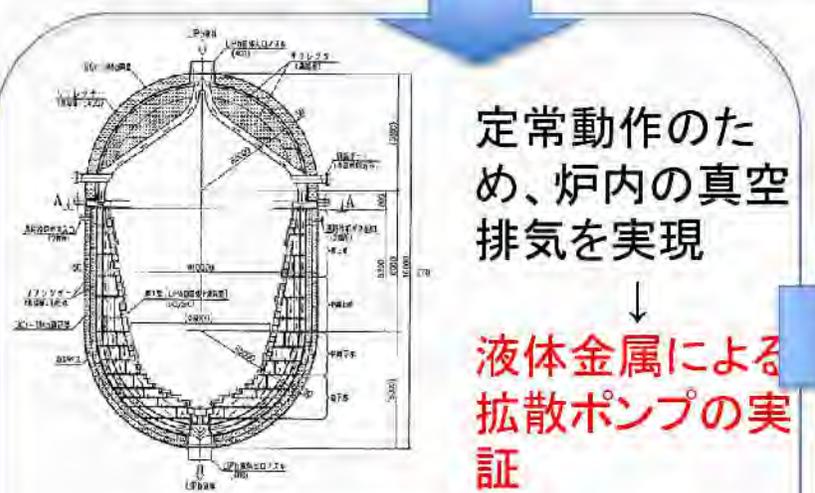
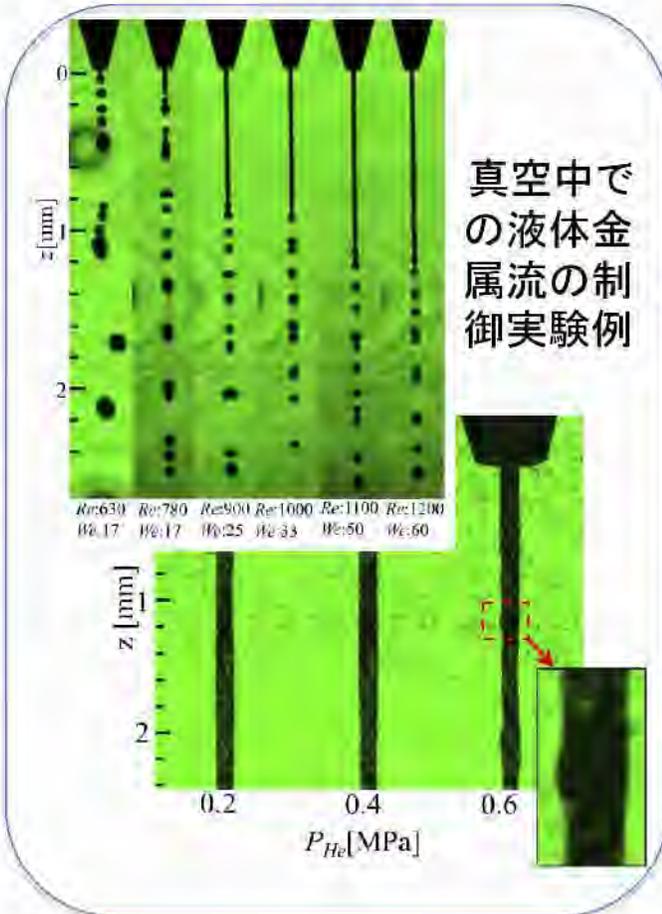


図 6.5 炉チャンバー基本構造図

レーザー核融合炉「光陽」概念設計、大阪大学レーザー核融合研究センター、レーザー核融合炉技術委員会報告書、平成6年12月



レーザー核融合原型炉 Koyo-Fの要求仕様を念頭に、 ターゲット射出装置の開発を実施

高速点火方式によるレーザー核融合原型炉 (Koyo-F) で想定されたターゲットインジェクションの仕様

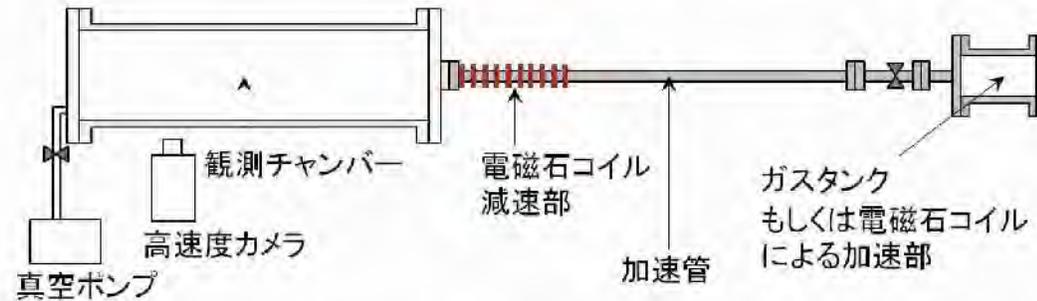
| | |
|------------------|-------------|
| 飛行速度 | 100 [m/s]以上 |
| 射出位置精度 | ± 10 [mm]以内 |
| 飛行姿勢精度 (転がり角) | 2 [deg]以下 |
| 最大加速度 | 500 [G]以下 |
| 繰り返し率 | 2 [Hz]以上 |

兵庫県立大学 古賀先生他
双方向型共同研究他

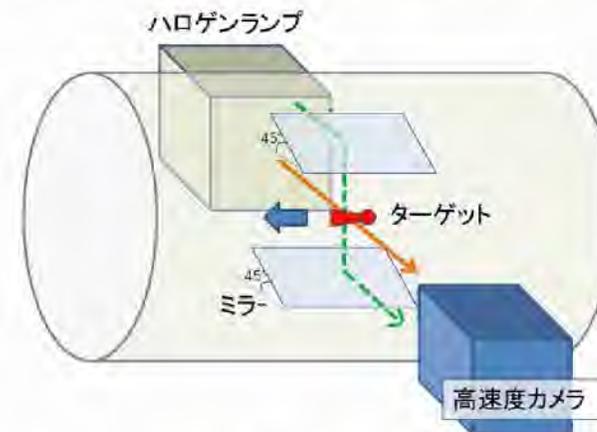


画像解析により姿勢を評価

射出されたターゲットの高速度カメラ撮影画像

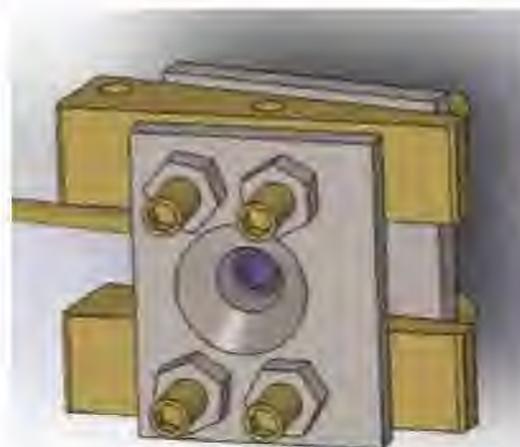
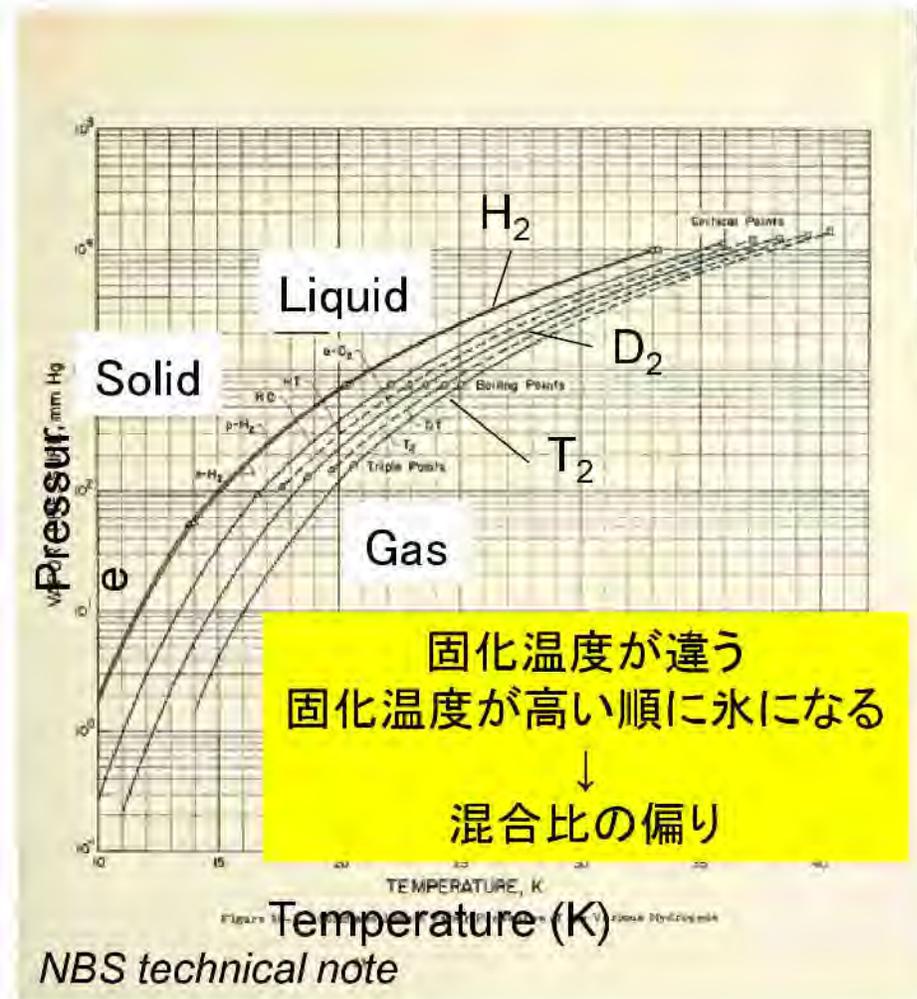


ターゲット射出システムの概略図



原型炉でのDTペレット導入技術の開発のため、
固体DTの一様性、硬さなどの物性を解明中。

2020年度核融合科学研究所
原型炉研究開発共同研究



固体DT充填セル



固化したDT

原型炉設計では固体DTペレットの
i)最大導入速度、ii)導入頻度、iii)冷凍機能力
を決定しなければならない



決定には固体DTの物性が必要

現在は軽水素から推定した物性値を使用している。実際にはトリチウムが混じることで、ベータ崩壊による熱、ダメージ、Heの発生を予測

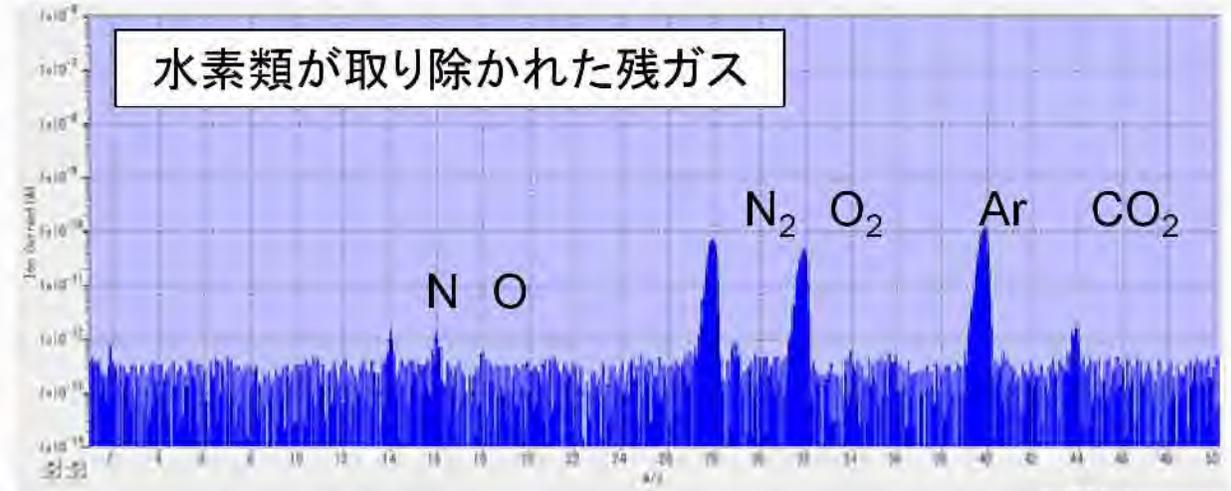
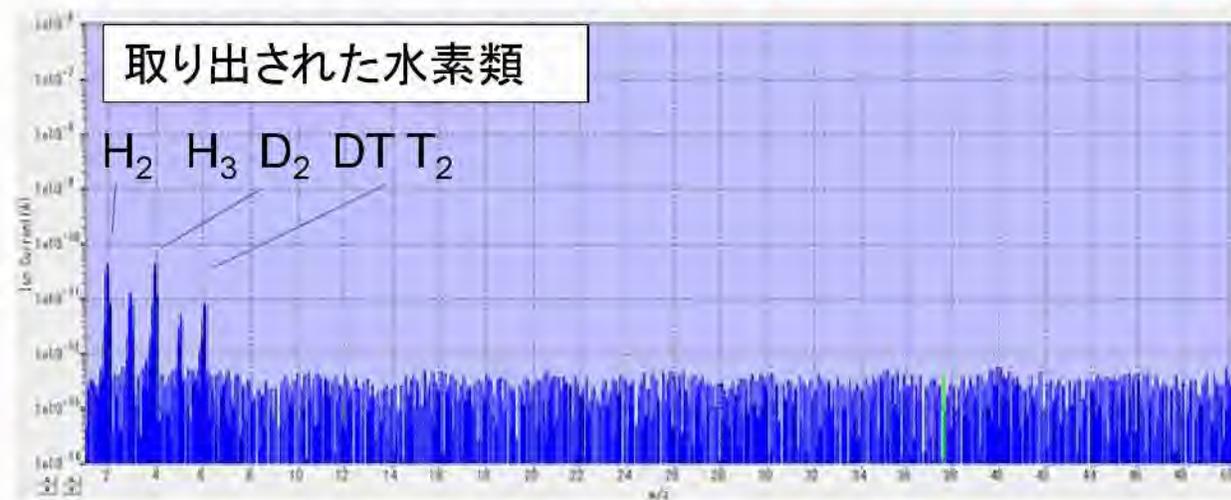
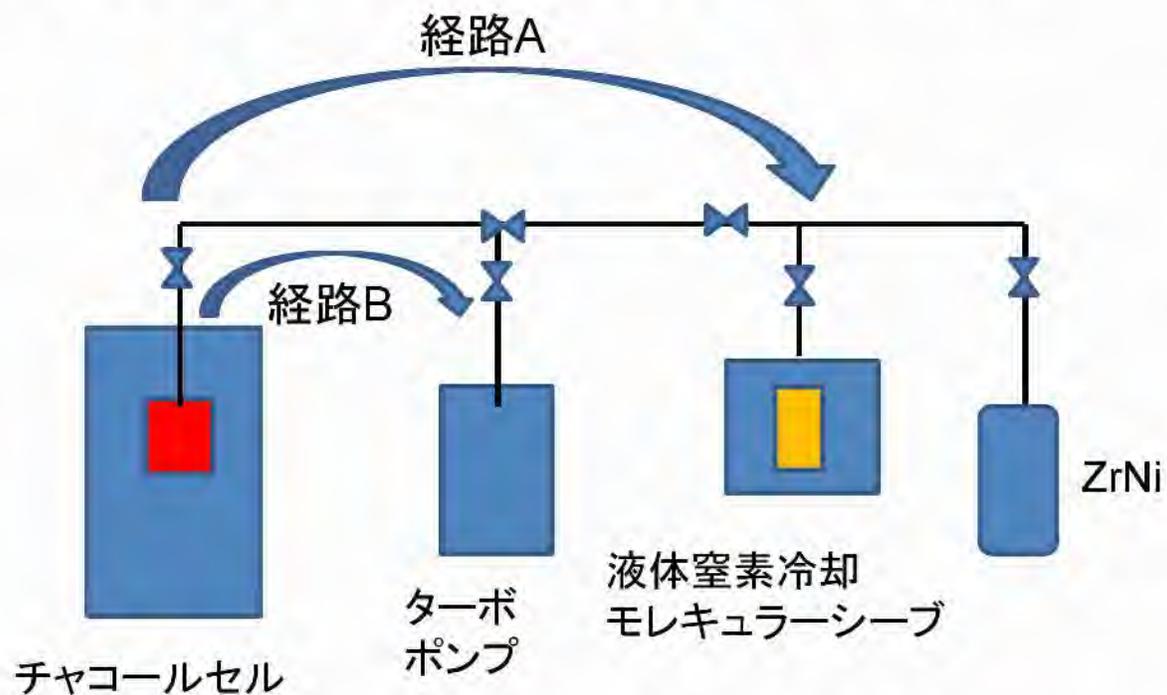
大阪大学レーザー科学研究所にて、
国内で初めて、固体DTの作製と観測に成功！

均一な固体DTを作り、
物性評価、ペレット品質評価手法の確立を目指す

某企業が40年以上保管していた高濃度トリチウム含有廃棄物から、水素分子状トリチウムを精製回収する技術を共同研究

大阪大学-企業 共同研究

経路Aと経路Bを制御し水素類を選択的に捕集



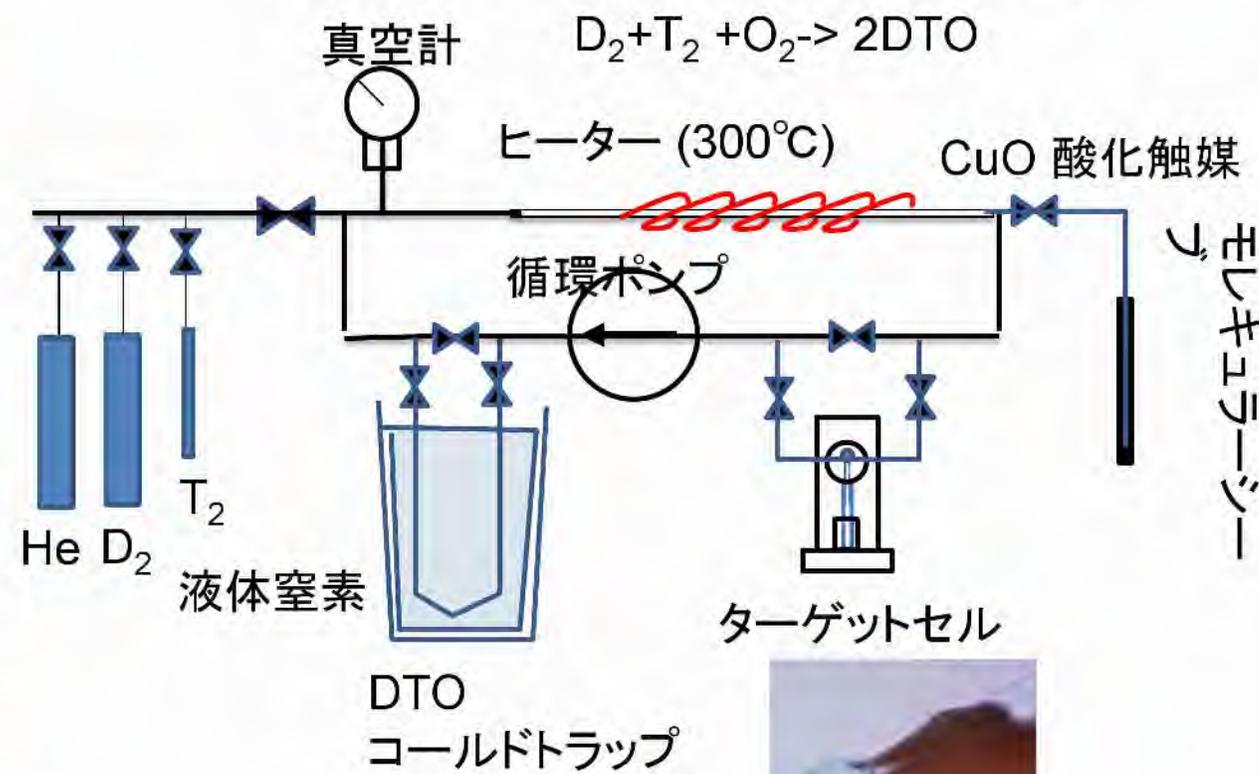
2020/6/23

富山大学 波多野先生 他
双方向型共同研究

トリチウム酸化及び燃料への充填装置



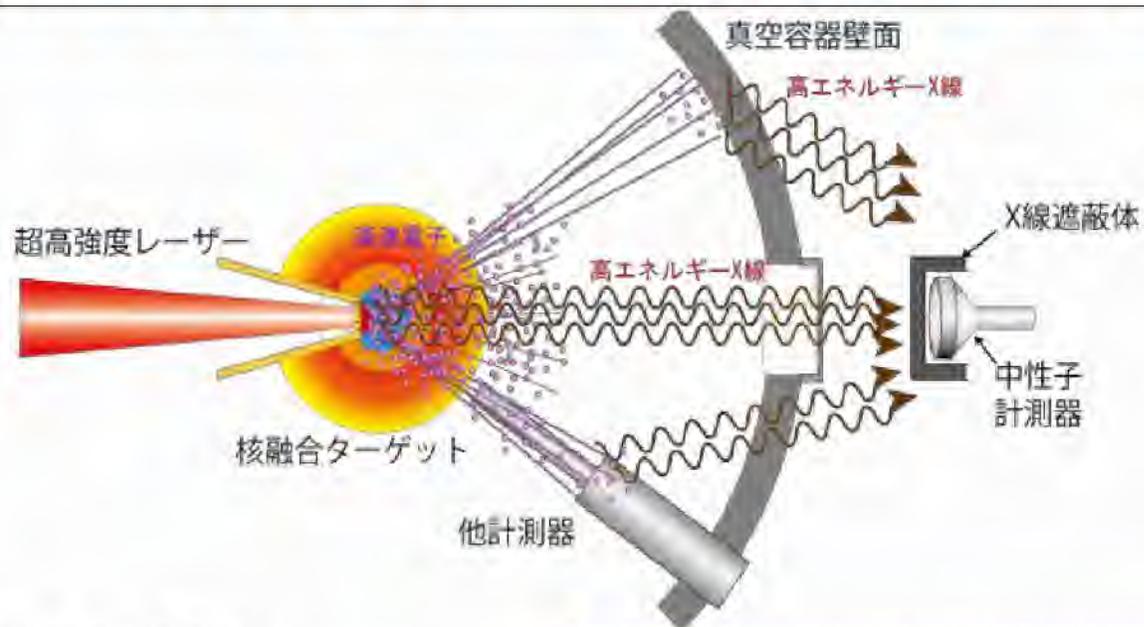
トリチウム酸化及び燃料への充填装置



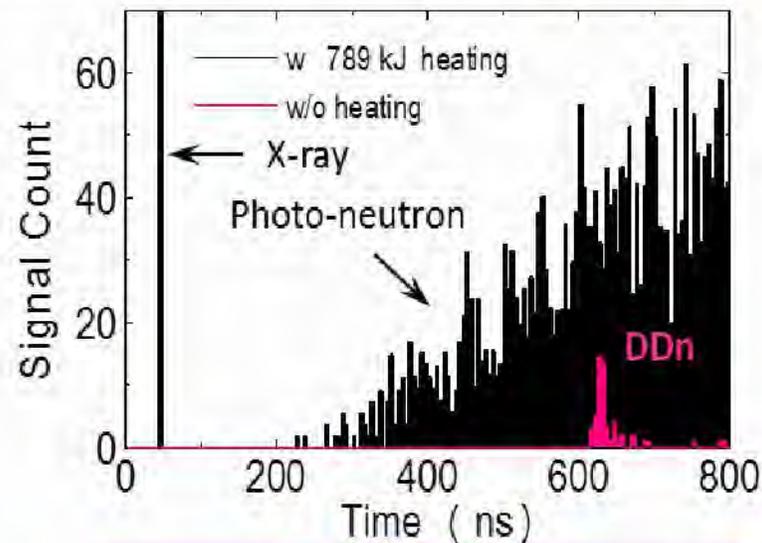
14. レーザー方式 過酷環境下における計測技術

高強度レーザーと物質の相互作用で生成される

中性子, 荷電粒子, X線, 電磁波が混在する過酷計測環境



光核反応起因の
中性子による
DD中性子信号の汚染



制御用PCの
ソフト及びハードエラー

```

A problem has been detected and windows has been shut down to prevent damage
to your computer.

The end-user manually generated the crashdump.

If this is the first time you've seen this stop error screen,
restart your computer. If this screen appears again, follow
these steps:

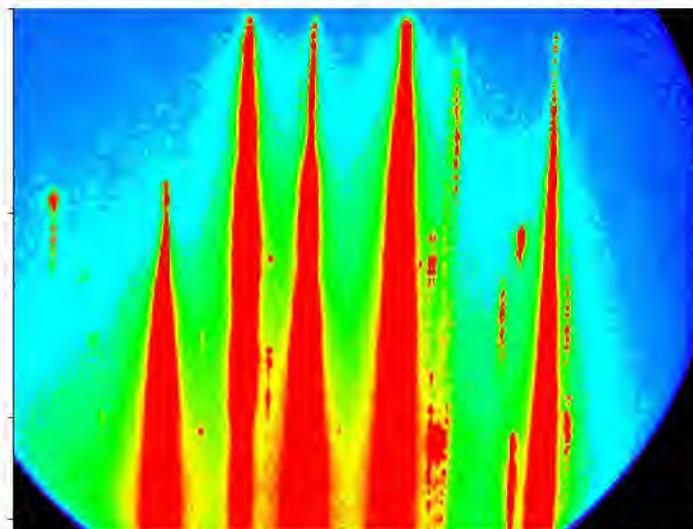
Check to make sure any new hardware or software is properly installed.
If this is a new installation, ask your hardware or software manufacturer
for any windows updates you might need.

If problems continue, disable or remove any newly installed hardware
or software. Disable BIOS memory options such as caching or shadowing.
If you need to use Safe Mode to remove or disable components, restart
your computer, press F8 to select Advanced Startup Options, and then
select safe mode.

Technical information:
*** STOP: 0x000000E2 (0x00000000,0x00000000,0x00000000,0x00000000)

collecting data for crash dump ...
initializing disk for crash dump ...
beginning dump of physical memory.
pumping physical memory to disk: 30
    
```

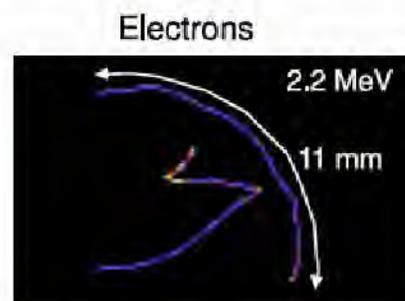
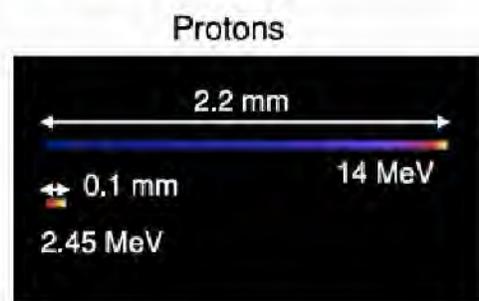
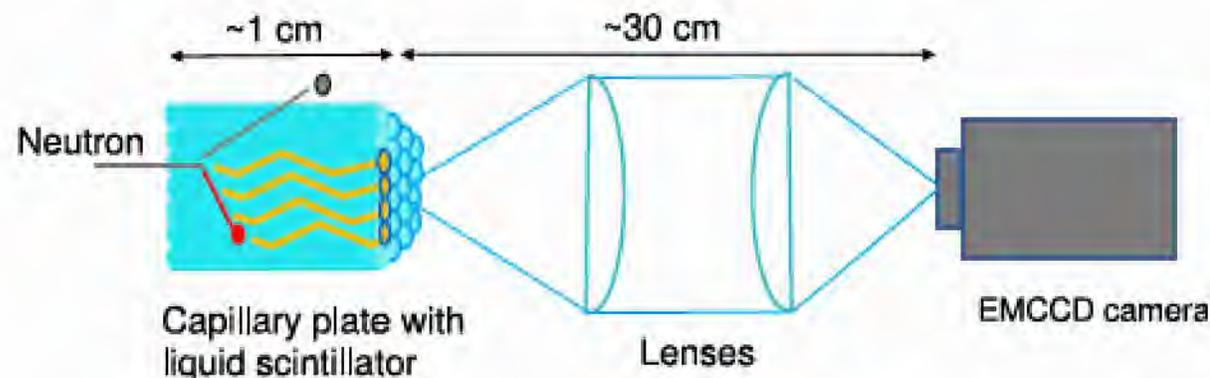
高輝度X線による
ストリークカメラの放電



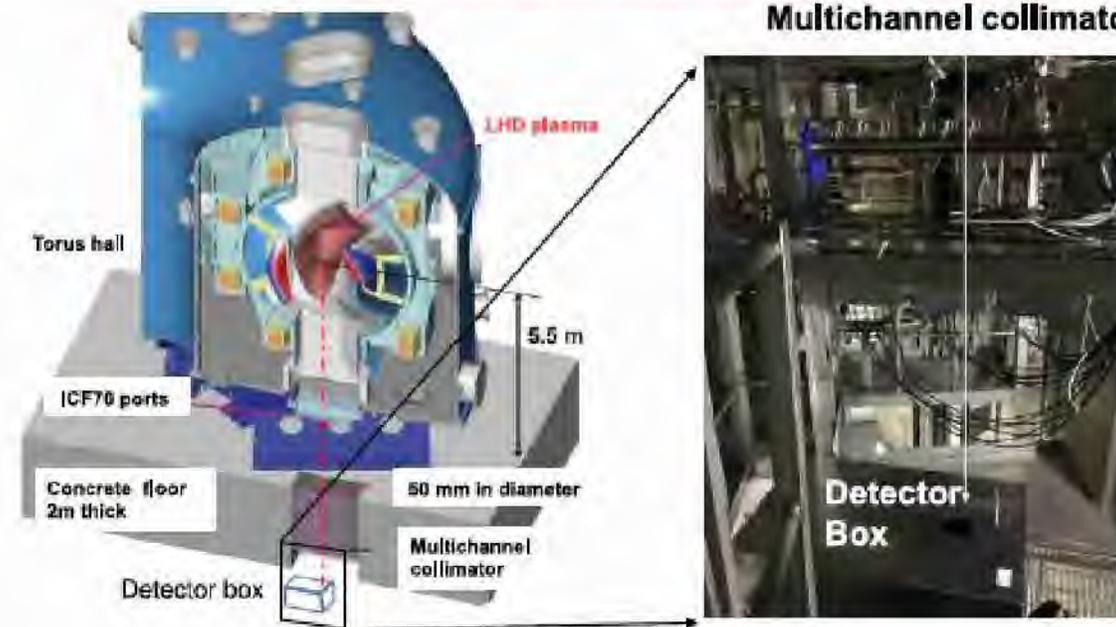
レーザー核融合で開発した、過酷計測環境下における中性子計測手法を、
大型ヘリカル装置での重水素実験における二次反応計測に導入。

核融合科学研究所 西谷先生 他
双方向型共同研究・科学研究費補助金

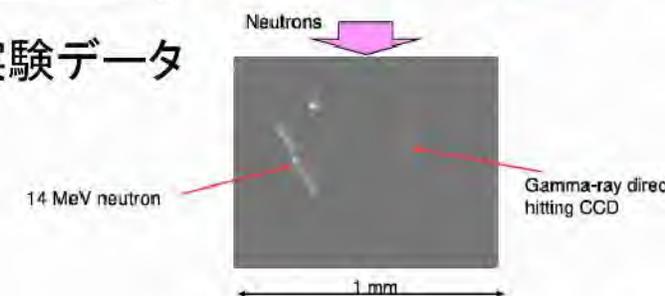
2次元飛跡検出による耐γ線中性子検出器



飛跡の相違を用い、γ線バックグラウンドの中から、
DD中性子と二次反応DT中性子を弁別



実験データ



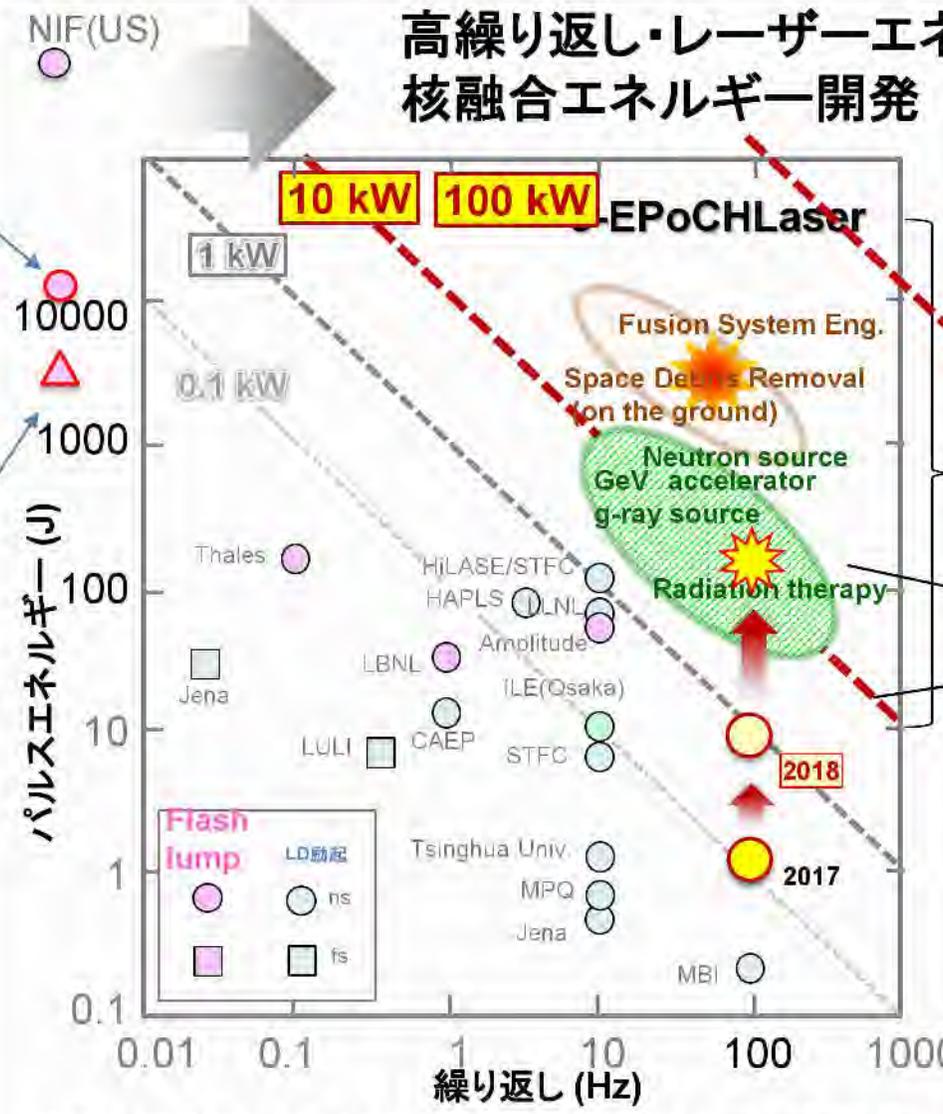
レーザー科学の飛躍的進展により、
高繰り返し大エネルギーレーザーが実現可能に

シングルショット
大エネルギーレーザー
キロジュール・ナノ秒
GEKKO-XII

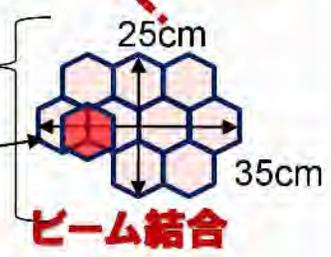


キロジュール・ピコ秒
LFEX

高繰り返し・レーザーエネルギーレーザーによる
核融合エネルギー開発



キー技術



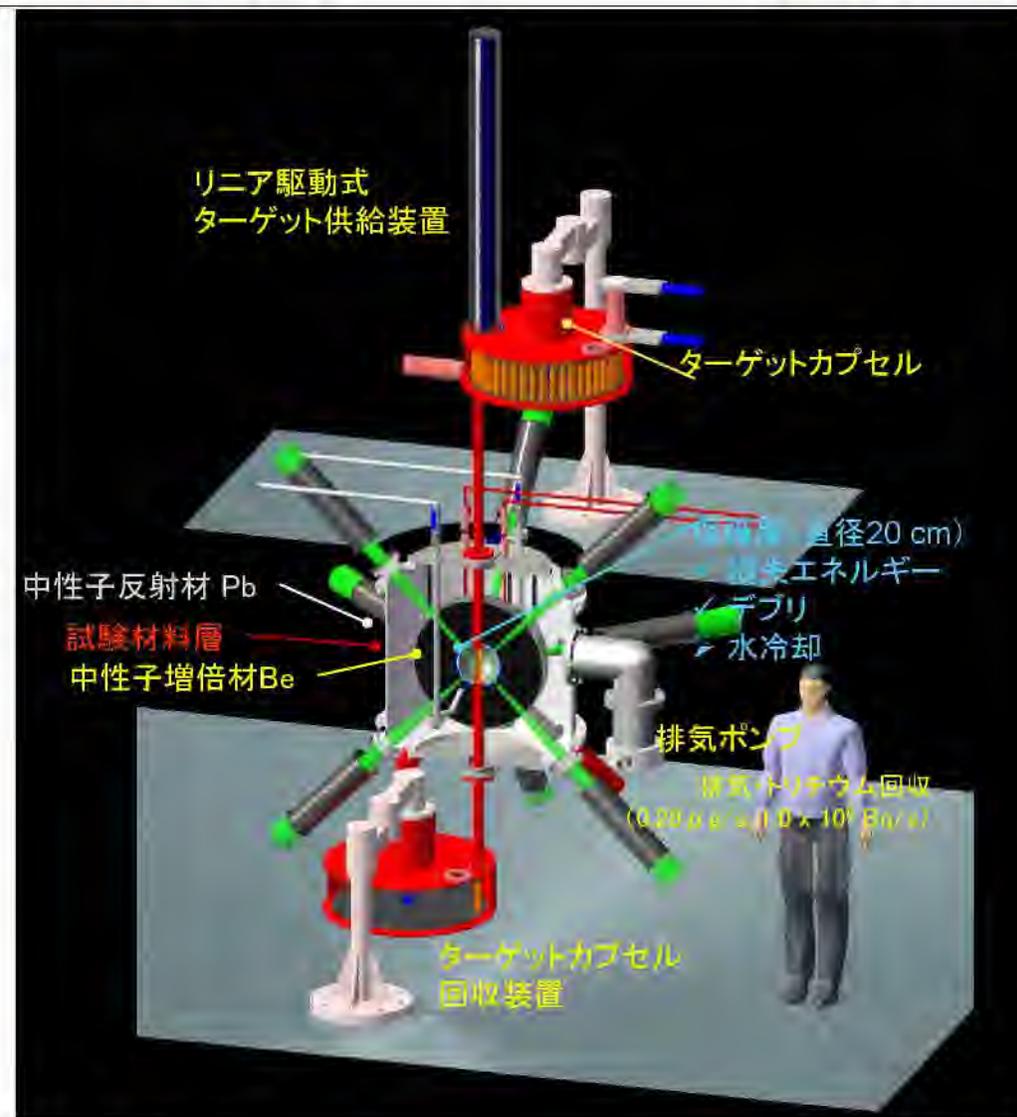
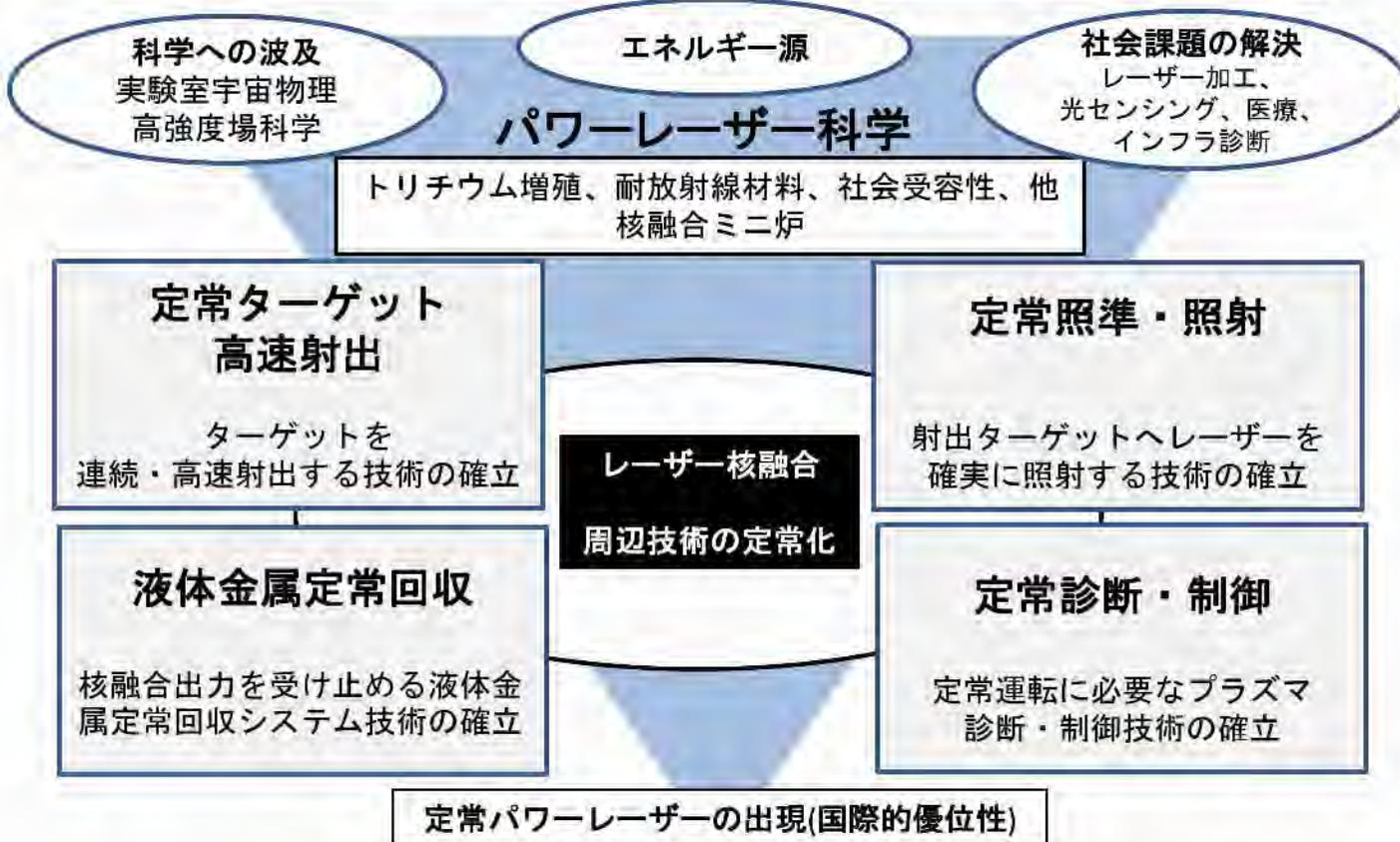
セラミックレーザー

レーザーダイオード

高繰り返しパワーレーザーと周辺基幹技術を結合し、 核融合発電と多様な理学・工学の粋を結ぶプラットフォームを目指す

定常パワーレーザーと周辺基幹技術の開発が誘起する
核融合発電と多様な理学・工学の結合

単発(10発/日)から定常(100万発/日)へのパラダイム・チェンジ



レーザー方式から原型炉に資する研究課題

- アクションプラン策定時にレーザー方式から原型炉に資する技術課題を整理.
- レーザー方式と磁場方式の研究者が議論を行いながら, 原型炉に資する研究開発を実施.

[詳細割愛]レーザー炉特有の研究開発

- [米国] National Ignition Facility (NIF) では間接照射・中心点火方式を採用し, 自己加熱によって, 核融合出力を倍増.
- [日本] 我が国独自の直接照射・高速点火方式により, NIFの3倍以上の効率で, 太陽中心の約1/15の圧力 (2 PPa/200億気圧) を実現.

核融合エネルギー実現を加速するパワーレーザープラットフォーム

- パワーレーザーの技術革新によって, 高繰り返しレーザーを用いた核融合科学の展望が開かれた.

原型炉設計合同特別チームの 令和元年度活動報告・令和2年度活動計画

原型炉設計合同特別チーム

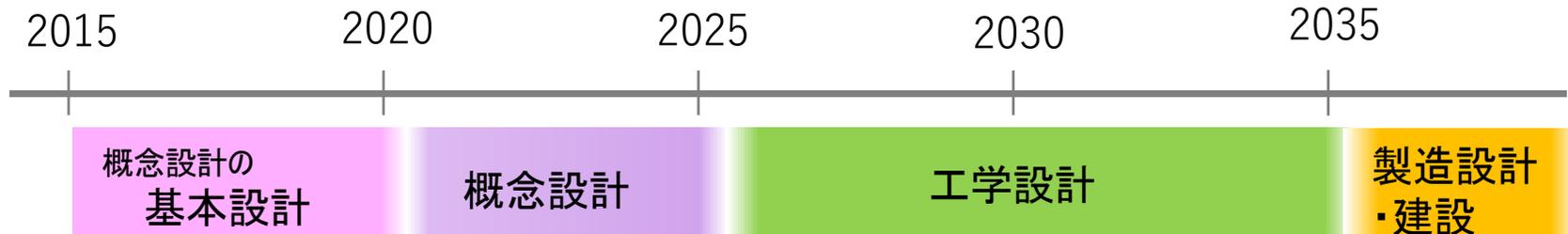
令和元年度の活動概要

- **メンバー総数: 102名 (R1年1月)**
QST: 34、産業界: 22、大学等: 46

- **産学共創の場の構築**
・技術・調整会合 : 30回 (延べ 466人)



原型炉設計の流れ



第1回中間C&R

- 原型炉の全体目標の策定
- 原型炉概念設計の基本設計
- 炉心、炉工学への開発要請の提示

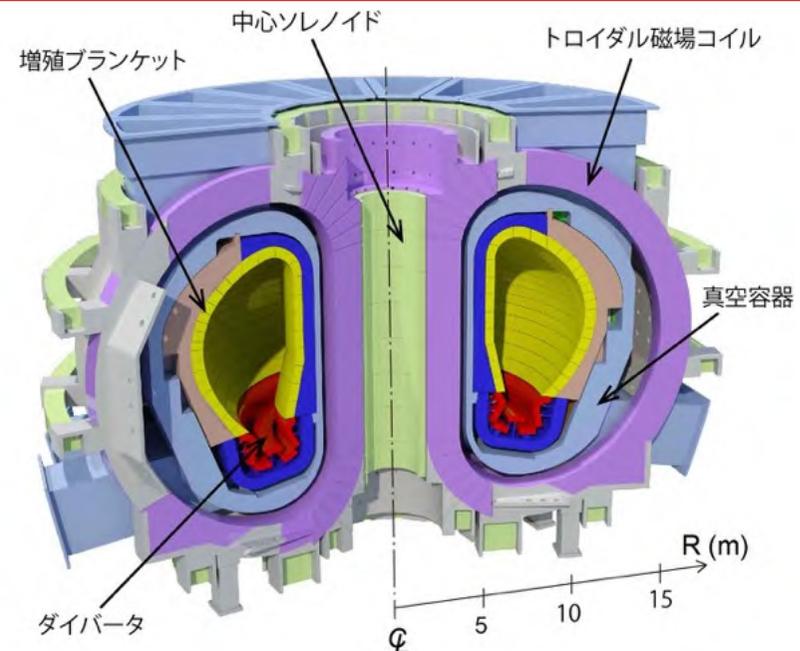
第2回中間C&R

- 原型炉概念設計の完了
- 炉心、炉工学開発課題の確定と開発計画の作成

移行判断

ITERの次段階に構想しうる原型炉概念

- プラズマ主半径 $R_p = 8.5 \text{ m}$
十分なプラズマ電流誘導により
運転裕度を確保
- 核融合出力 $P_{\text{fus}} \sim 1.5\text{-}2 \text{ GW}$
ダイバータの除熱成立性



原型炉 JA DEMOの概念図

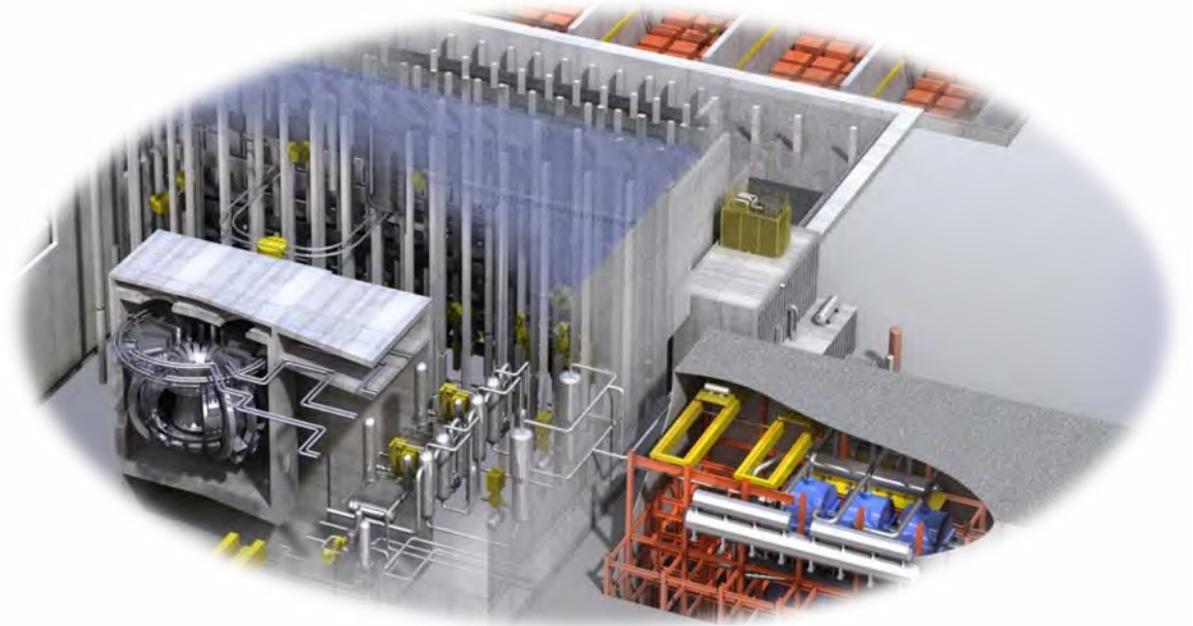
原型炉の目標・設計方針

原型炉の目標

核融合エネルギーの実用化に備え、

- 数十万kW を超える定常かつ安定した電気出力
- 実用に供し得る稼働率
- 燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増殖

を実現すること。



設計方針

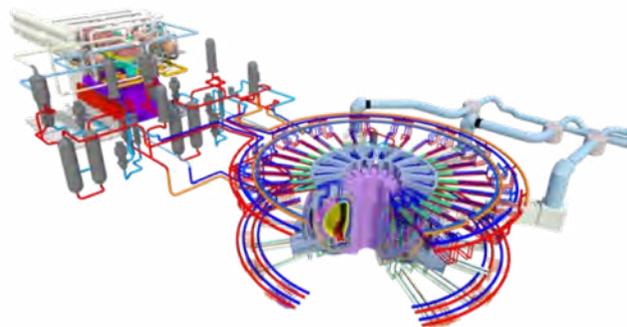
まずは成立する概念を一つ構築、そのあとに概念を改良

| 炉本体 | プラント設備 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● 定常運転 ● 核融合出力: 1.5 – 2 GW ● 炉寸法: 主半径 8 – 8.5 m | <ul style="list-style-type: none"> ● 加圧冷却水 (15.5 MPa, 290 – 325°C) ● 電気出力: > 0.5 GWe (発電端) |

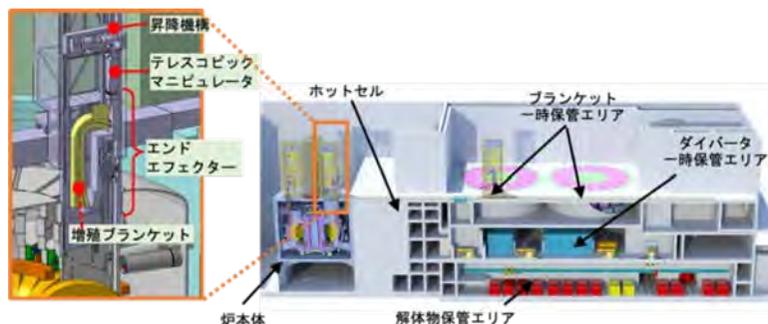
← ITER・軽水炉の技術基盤を活用しつつ、原型炉特有の課題克服に注力

原型炉の基本概念を明確化(プレス発表)

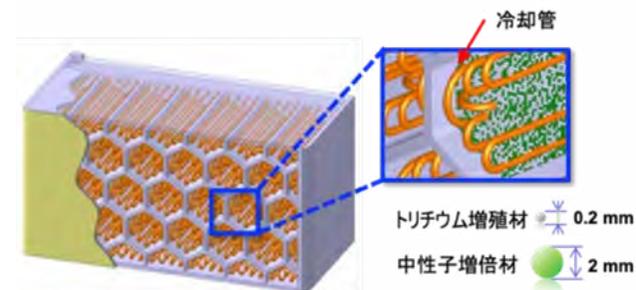
- オールジャパン体制の原型炉設計合同特別チームの設計活動により、ITERの技術基盤に産業界の発電プラント技術や運転経験等を取り込み、21世紀中ごろに発電実証を行うための日本独自の原型炉の基本概念を明確化した成果を、**プレス発表(令和元年11月26日)**。
- 炉心の設計が中心であった原型炉概念を大きく進展させて核融合エネルギー発電プラントの全体像を示した。
 - 高い電気出力を得ることとダイバータ除熱能力の両立
 - 約64万キロワットの電気出力を発生
 - 実用化を見通すための遠隔保守方式を構築
 - 原型炉の運転後期には稼働率～70%
 - トリチウムの自己充足性を満足
 - 増殖ブランケット筐体の堅牢性を確保し、トリチウム生産性を向上できる設計を考案



発電システム



遠隔保守概念



増殖ブランケット

1. 超伝導コイル

トロイダル磁場コイル概念

- ITER方式を採用し、超伝導コイル設計のベースラインを構築

超伝導線材: Nb₃Sn

導体構造: ケーブルインコンジット

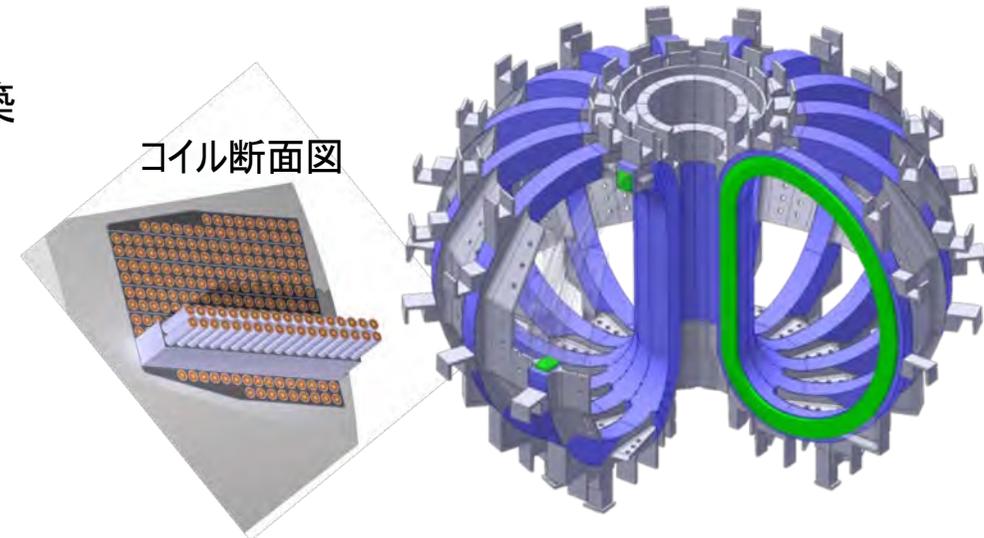
巻線方式: ラジアルプレート、ダブルパンケーキ

- 補正磁場コイルによる製作公差を緩和
- クエンチ時の放電時定数評価(共同研究)

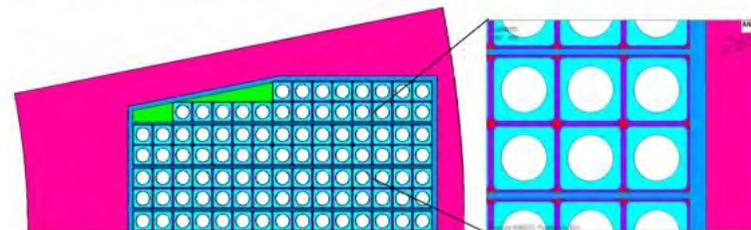
矩形導体を用いた概念検討

- 製作性簡略化やコスト低減を考慮した副案の検討に着手
- 矩形導体方式によるラジアルプレートを用いない概念
 - ✓ 導体絶縁材の応力低減が課題
- コイルケース最適化、長方形ジャケットの採用により、**剪断応力を大幅に低減**

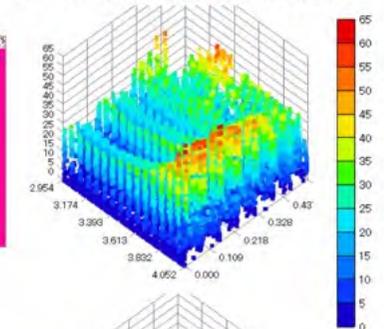
トロイダル磁場コイルの概念図



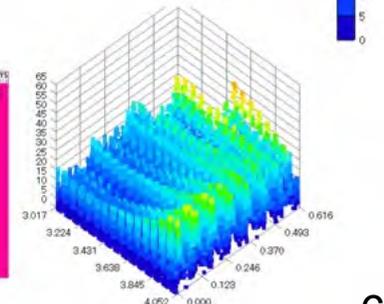
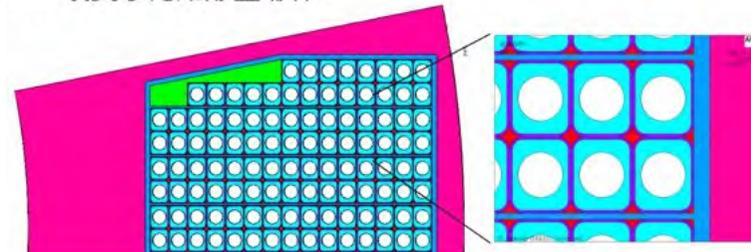
従来の矩形型導体



ターン絶縁材の層間剪断応力分布



改良した矩形型導体

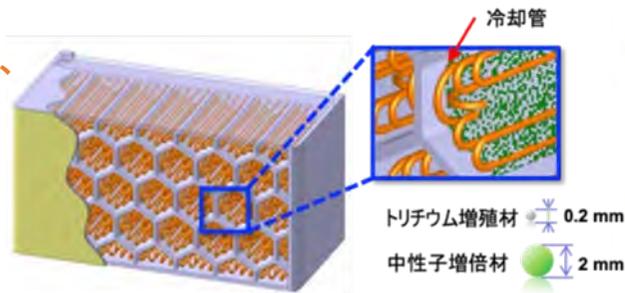


2. ブランケット 3. ダイバータ

増殖ブランケット概念

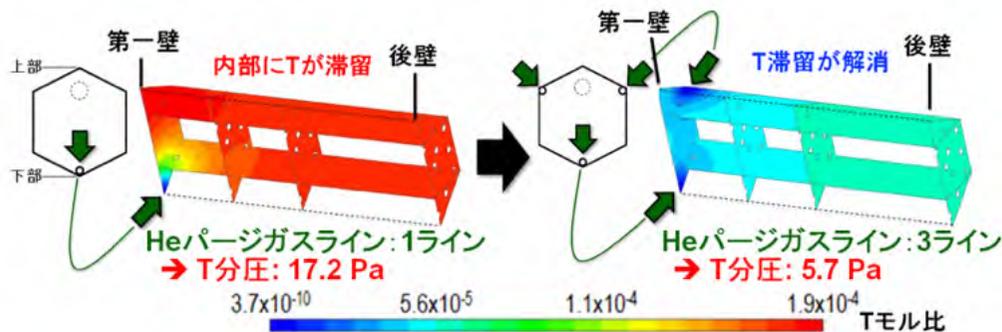
- 内部冷却配管の破断による事象進展抑制のため、筐体の耐圧構造化

ハニカムリブ構造を採用し、トリチウム増殖比の低下の問題を解決



増殖トリチウムの回収

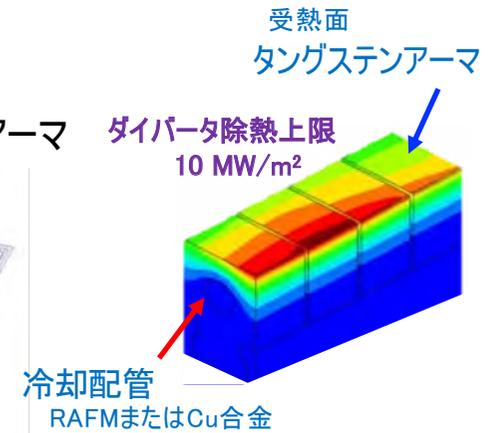
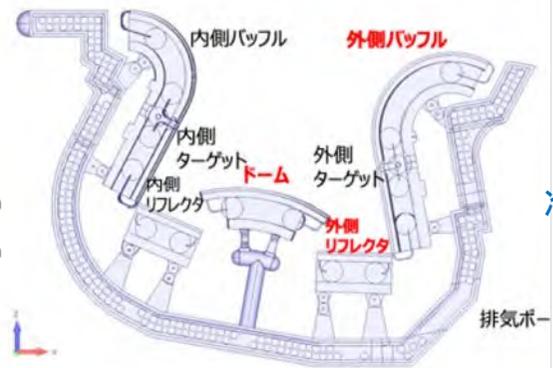
- ペブル充填部でのパーティガス流動解析
 - パーティガス配管を3本でトリチウムの滞留を解消
 - 100秒程度で筐体内のトリチウム濃度が定常



ハニカムブランケット増殖領域内のトリチウム濃度分布

ダイバータ機器概念

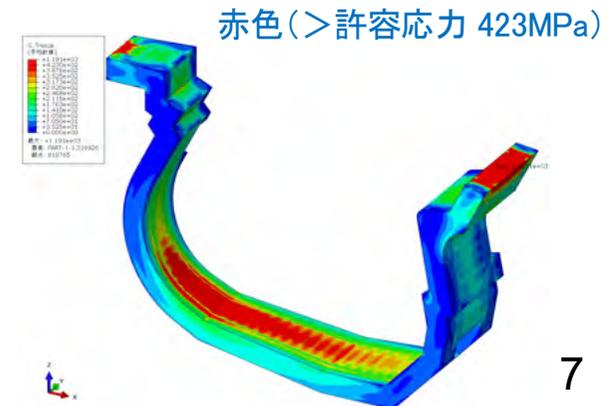
- ITERの延長技術を採用
 - ✓ 水冷却方式、タングステンアーマ



ダイバータ・カセットの構造解析

- 除熱解析結果に基づく熱応力解析を実施

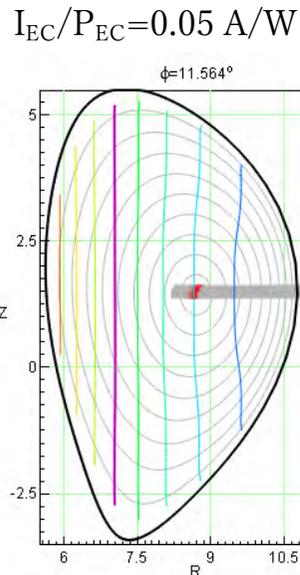
- ✓ カセットボディ中央の最高温度領域で高応力が発生
- 冷却流路設計の見直し、電磁力に対する健全性確認を実施予定



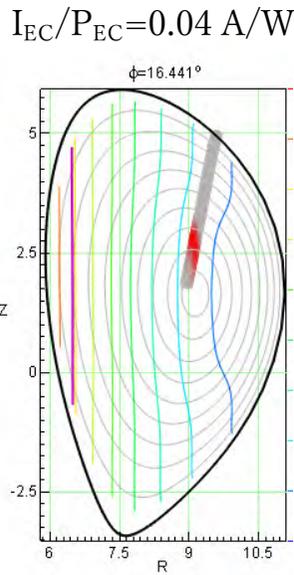
加熱・電流駆動

- 中性粒子ビーム入射 (NBI)
 - 電子サイクロトロン波 (EC)
- を併用する方針
- EC入射位置を決定するため、異なる入射位置における電流駆動効率を評価 (共同研究)

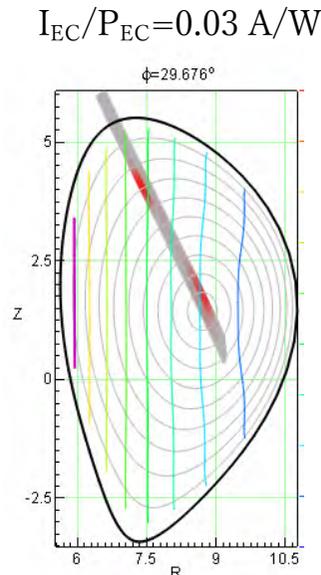
横側入射



上側入射

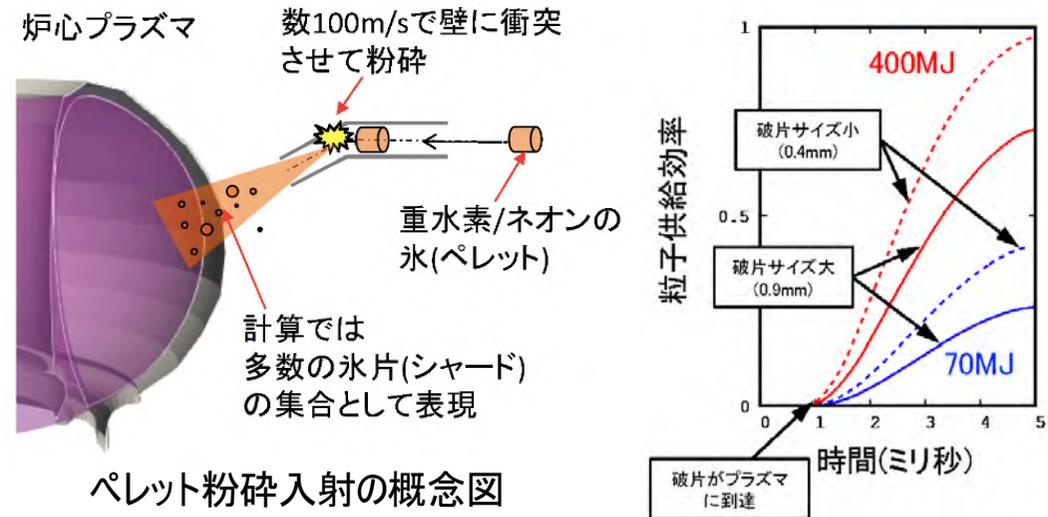


内側トップ入射



ディスラプション緩和システム

- 炉心プラズマの強制消滅装置 (ディスラプション緩和システム) としてITERに導入予定のペレット粉碎入射のシミュレーションコードを開発
- 粒子供給効率を最適化する条件を評価



プラズマ蓄積エネルギー及び氷片サイズを変えた場合の粒子供給効率の比較

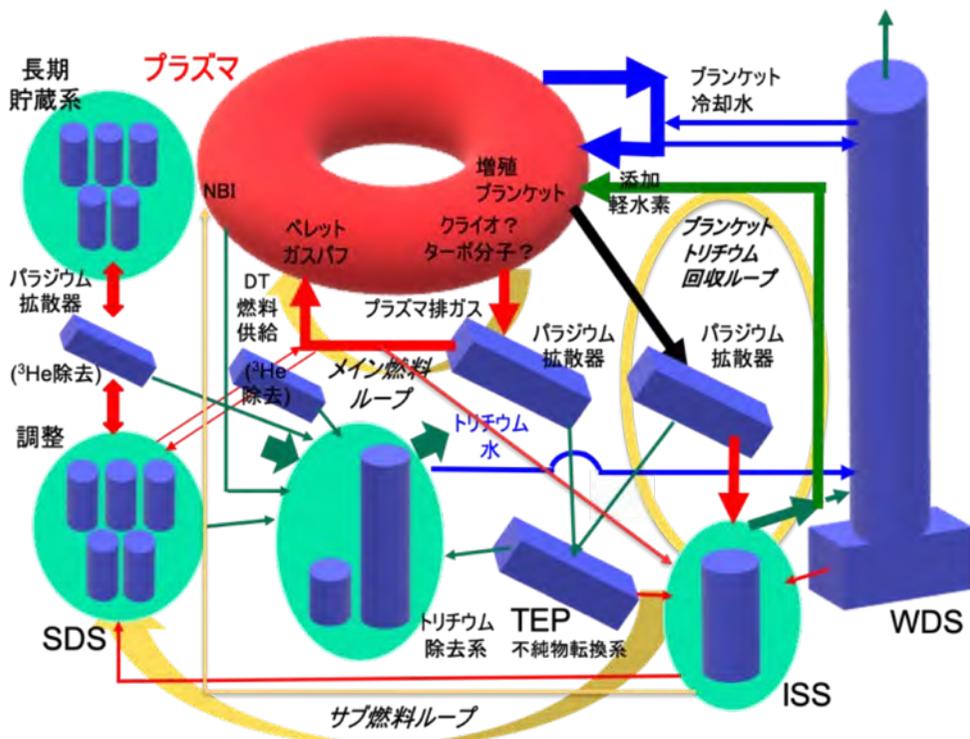
計測・制御ワーキンググループ

- 候補計測器の分類と選定
 - 炉心プラズマ制御概念
- を検討予定 (8月～)

7. 燃料システム

燃料システム構成

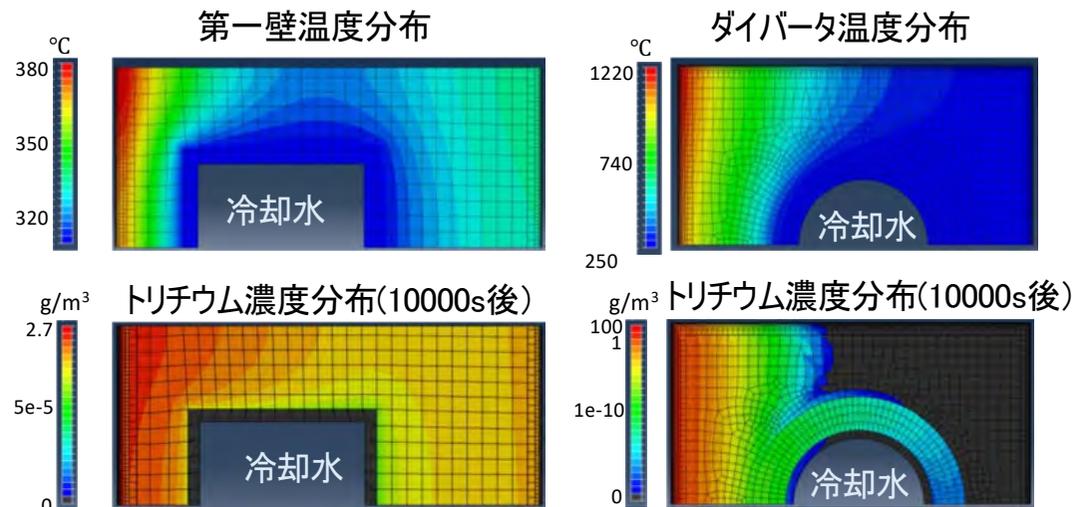
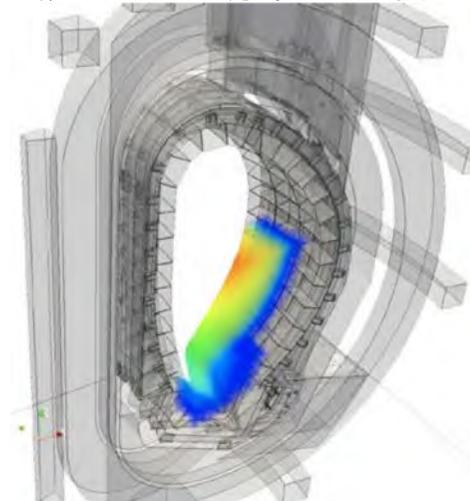
- トリチウムインベントリ低減を考慮した概念を構築中
 - ✓ メイン燃料ループ(ダイレクトリサイクル)
 - ✓ サブ燃料ループ
 - ✓ ブランケットトリチウム回収ループ
- トリチウムバランス評価コードによる最適化を実施中



炉内トリチウムインベントリ評価

- 炉内トリチウムインベントリ評価コードを開発
 - ✓ 2次元温度分布を考慮した過渡解析
 - ✓ プラズマ実験によるトリチウム挙動データ(更新中※)
- 第一壁やダイバータ領域の温度分布に基づいたプラズマ対向材中のトリチウム濃度を評価中

炉内トリチウム分布イメージ図



8. 核融合材料と規格・基準

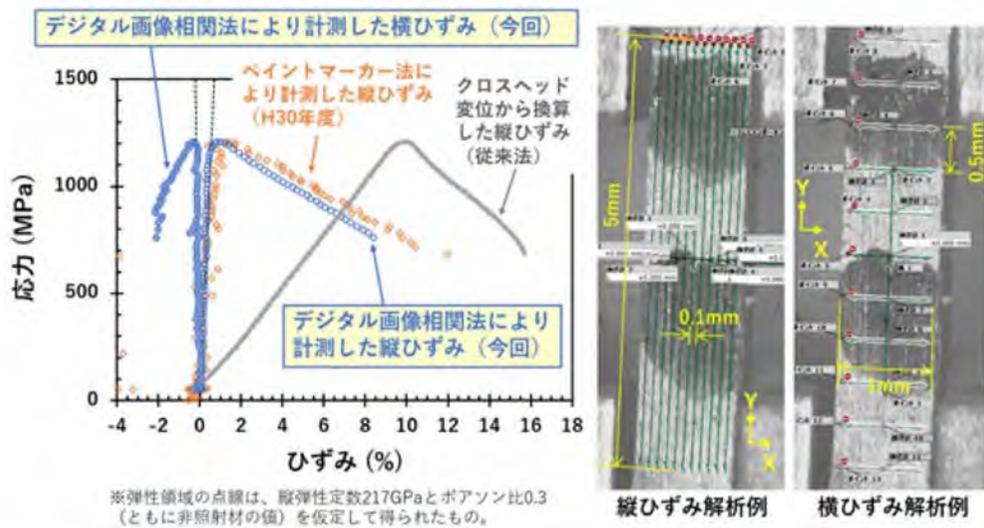
9. 安全性

材料特性ハンドブック整備

- 低放射化フェライト鋼F82Hについて、新たにクリープ試験結果に基づいた時間依存の設計応力強さ、設計疲労線図を定めた。
- 腐食速度の温度依存性データ等の**水化学管理指針**に要するデータ取得を開始。

照射後微小引張試験技術

- デジタル画像相関法による非接触でのひずみ解析手法を改良して**高精度なひずみ計測を実現**
- これまで計測が困難であった横ひずみの計測を初めて可能とした。



真空容器の耐圧性評価

- 事故時の真空容器内圧：
0.5MPa
 - SUS316L@200°Cの応力強さ (392MPa)を超えているのは、下部ポート付け根のピーク応力のみ。
- **成立性に見通し**

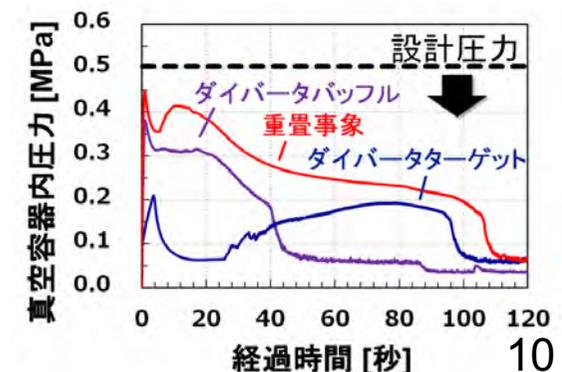


トレスカ応力
(赤色：400MPa以上)

ディスラプション起因の重畳事象解析

- 熱クエンチによるダイバーターターゲット部(冷却水圧力5MPa)の損傷後、垂直位置移動現象によるダイバーターバッフル部(冷却水圧力15.5MPa)が損傷する事象解析

- 圧力緩衝システムの導入により、**真空容器内の圧力は設計値(<0.5MPa)以内**

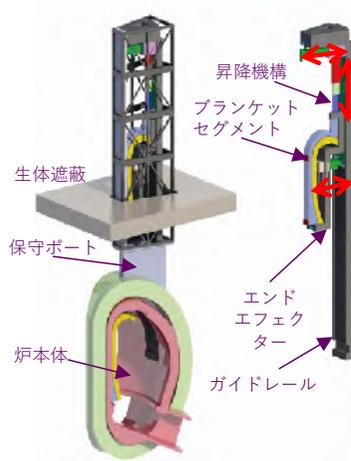
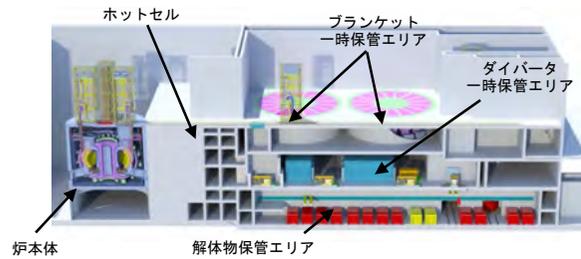


10. 稼働率と保守

遠隔保守概念

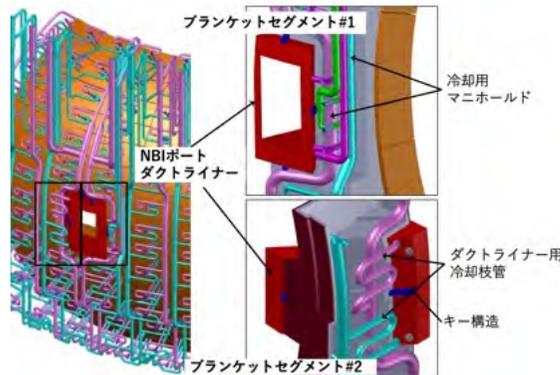
- ブランケットとダイバータの独立保守
- 並行作業による全16セクターの保守期間短縮を検討
- 稼働率~70%

(運転2年間、保守準備2ヵ月、保守8ヵ月)



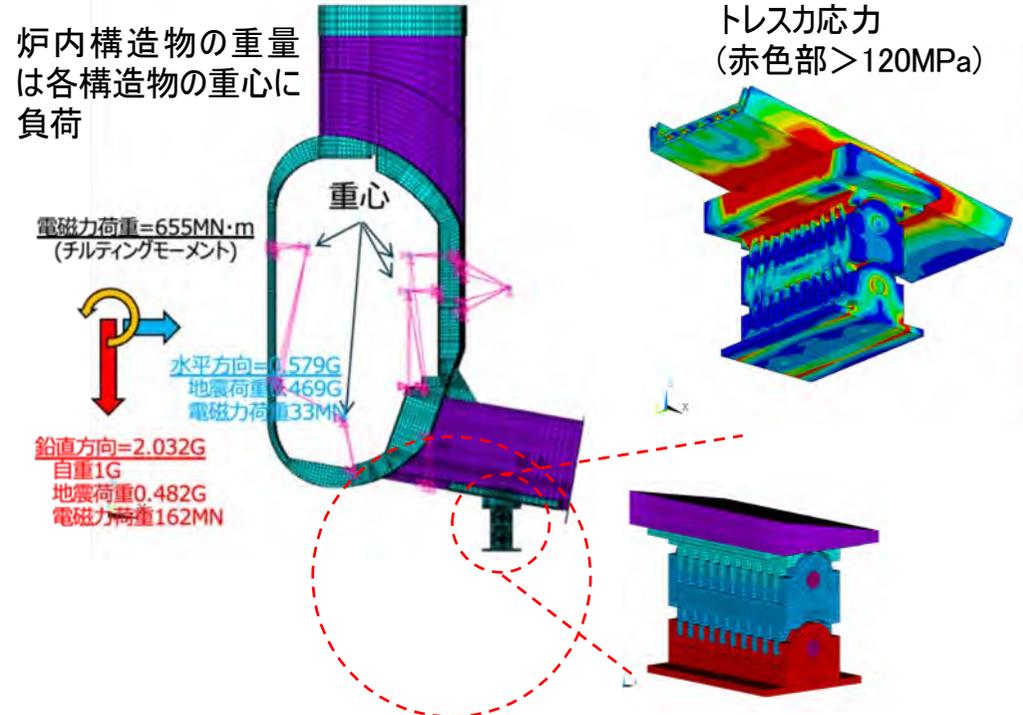
NBIポート部のブランケットセグメント構造

- NBI入射貫通部(1.2m X 0.6m)ではブランケットセグメントに大きな切り欠き部が存在。
- 冷却配管の取り回しが課題
- 冷却用マニホールドの配置や支持方法を含めた構造概念を構築



真空容器の支持脚構造

- マルチリンク式支持脚(←ピンに対する剪断荷重低減)
- 荷重条件:
 - ✓ 自重(1G)、電磁力:ITERの1.5倍、地震:ITERと同等、ベーキング(200°C)



- 今後、支持脚と下部ポートの接続部の強度アップ、形状の再検討を行う。



令和2年度の活動計画

- これまでの活動と設計検討の成果に基づき、炉心プラズマ及び炉工学において開発が必要な課題の取りまとめる。
- 原型炉概念設計の完了に向けた設計方針の検討
 - ✓ 原型炉のあるべき姿からのバックキャストによる概念設計
 - これまでは既存技術基盤からの原型炉概念の基本設計
 - 今後は、安全性を前提に、エネルギーの安定供給及び経済性の向上、環境負荷の低減、を見通せる原型炉を目指した概念設計
 - ✓ 5ヶ年計画の立案
- 令和2年から運転開始のJT-60SAや組立開始のITERの成果の反映と、設計ツールとしてのスーパーコンピュータの活用



令和元年度の主要外部発表、今後の予定

PET2019 周辺プラズマ理論WS (2019年8月、米国)

- 口頭発表：「原型炉ダイバータプラズマのモデリングの進展」

ISFNT14 核融合炉工学に関する国際シンポジウム (2019年9月、ハンガリー)

- 基調講演：「原型炉に向けたダイバータ物理・工学設計研究」
- 口頭発表：「日本の原型炉概念設計の進展と戦略」
- 口頭発表：「日本の原型炉ブランケット設計の進展」

ITC28 国際土岐コンファレンス (2019年11月、日本)

- 招待講演：「日本の原型炉概念設計の進展」

ACASC アジア応用超電導・低温工学会議 (2020年1月、日本)

- 招待講演：「日本の原型炉超伝導システムの概念設計」

今後の予定

IAEA FEC IAEA 核融合エネルギー会議 (2021年5月、フランス)

- 口頭発表：「日本の原型炉設計の進展」
- 口頭発表：「原型炉ダイバータ設計」

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

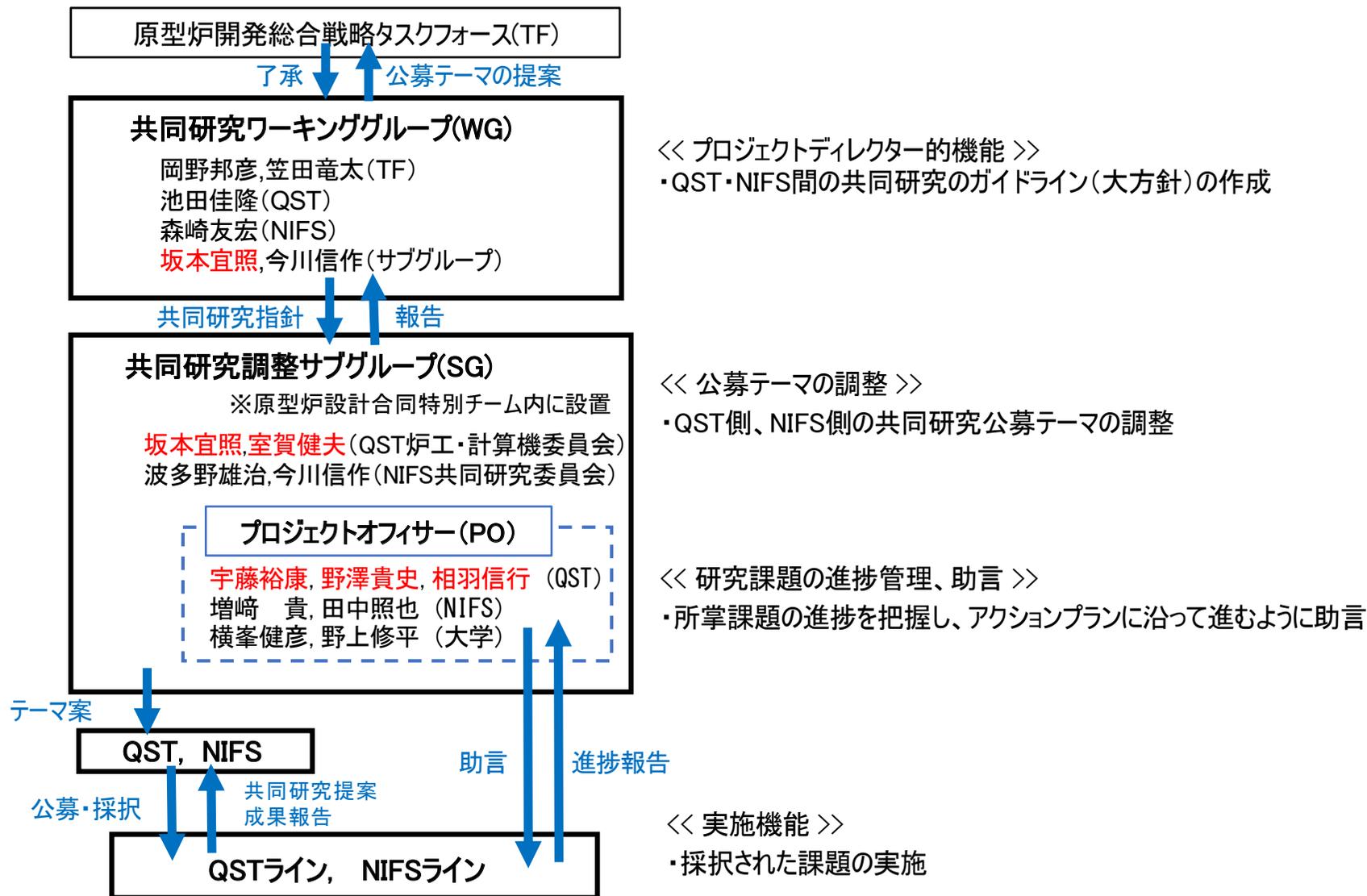
令和2年6月29日
共同研究ワーキンググループ

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



共同研究の実施に向けた調整状況

第4回共同研究調整SG会合 (2019年10月24日)

議事概要



- (1) 第1回中間C&Rに向けた原型炉の作業目標
 - ✓ 特別チームの進捗状況と今後の作業目標を確認
- (2) PO（プロジェクトオフィサー）の役割
 - ✓ POの役割とアクションプラン課題の分担案を協議

第5／6回共同研究調整SG会合 (2020年5月8日／2020年6月2日)

議事概要



- (1) POの役割
 - ✓ POが担当する共同研究の調整
- (2) 合同成果報告会
 - ✓ 2020年度は、核融合エネルギーフォーラムの会合との連携、学会のシンポジウムとポスター発表の活用を試行
 - ✓ プラズマ・核融合学会シンポジウムの企画内容を協議

第4回共同研究WG会合 (2020年3月24日)

議事概要



- (1) 2020年度共同研究の実施状況
 - ✓ R1年度共同研究の成果概要を確認
 - ✓ 「先進ブランケット」や「燃料循環システム要素技術開発」は課題の詳細化が必要と認識
- (2) 2020年度共同研究の採択状況
 - ✓ 2020年度共同研究の採択課題を確認
- (3) 合同成果報告会の準備状況
 - ✓ 参加者を拡大するため、単独ではなく、学会の一部あるいは前後に連続した開催、核融合エネルギーフォーラムの会合との連携を検討すべき
- (4) その他
 - ✓ POは特別チームの「統括」として委嘱するして連携を強化
 - ✓ 人事異動に伴うWGとSGのメンバー交代を了承

QST 2020年度原型炉共研公募テーマ(新規)

| AP項目 | 公募テーマ | 応募 | 採択 | AP項目 | 公募テーマ | 応募 | 採択 | |
|----------------|---|----|----|------------------------------------|---|---------------------------|--|---|
| 0. 炉設計 | (1) 原型炉のコスト評価に関する研究 | 1 | 1 | 8. 核融合材料と規格・基準 | (12) 機械的/物理的特性評価のための微小試験片技術に関する研究 | 2 | 2 | |
| 2. ブランケット | (2) 原型炉TBMのための先進ブランケット概念に関する研究 | 1 | 1 | | (13) 低放射化フェライト鋼の照射後組織・特性変化予測に関する研究 | 2 | 2 | |
| | (3) 原型炉内のトリチウムインベントリ評価に関する研究 | 1 | 1 | | (14) 核融合炉内構造物構造設計指針策定に係る(照射)構造物の健全性評価に関する研究 | 1 | 1 | |
| 3. ダイバータ | (4) 原型炉ダイバータ機器に関する研究 | 1 | 1 | | (15) 核融合炉構造の非破壊検査技術に関する研究 | 1 | 1 | |
| | (5) ダイバータ材料の照射効果に関する研究 | 1 | 1 | | (16) 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 | 1 | 1 | |
| 4. 加熱・電流駆動システム | (6) 原型炉の加熱・電流駆動システムに関する研究 | 1 | 1 | | (17) 高温高圧水環境下での低放射化フェライト鋼の水素同位体挙動に関する研究 | 1 | 1 | |
| 5. 理論・シミュレーション | (7) 炉心プラズマの乱流輸送シミュレーション研究 | 1 | 1 | | (18) 核融合中性子源の照射モジュールシステムに関する研究 | 0 | 0 | |
| | (8) 核燃焼制御に向けた統合輸送シミュレーション研究 | 1 | 1 | | (19) 核融合中性子源のLiターゲットシステムに関する研究 | 0 | 0 | |
| 6. 炉心プラズマ | (9) 原型炉における定常高ベータプラズマの実現に向けたMHDシミュレーション研究 | 1 | 1 | | 10. 稼働率と保守 | (20) 原型炉のバックエンドシナリオに関する研究 | 1 | 1 |
| | (10) 原型炉プラズマ運転シナリオに関する研究 | 1 | 1 | | | 11. 計測・制御 | (21) ITER実験DB構築に向けた大規模データレプリケーションの実証試験研究 | 1 |
| 7. 燃料システム | (11) 原型炉の燃料システムに関する研究 | 4 | 4 | (22) ITER実験DBを活用するデータ駆動型モデリング手法の研究 | 1 | | 1 | |

<公募・審査の日程>

| | | | |
|-------------|------|------------|------------------------------------|
| 2019年12月13日 | 公募開始 | 2020年～3月中旬 | 新規応募・継続課題の審査と採否の審議 採択通知と契約手続き開始 |
| 2020年1月14日 | 公募締切 | 2020年 4月下旬 | |

<新規課題への応募と採択>

応募25件
採択25件

QST 2020年度 共同研究一覧(1/2)

| AP項目 | 研究課題名 | 研究代表者(職位) | 新・継 |
|----------------|--|--------------------|-----|
| 0. 炉設計 | (1) 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(助教) | 新規 |
| 1. 超伝導コイル | 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(教授) | 継続 |
| 2. ブランケット | (2) 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(准教授) | 新規 |
| | (3) 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トリチウム蓄積特性研究 | 核融合科学研究所・時谷政行(准教授) | 新規 |
| 3. ダイバータ | (4) 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熔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(助教) | 新規 |
| | (5) 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(教授) | 新規 |
| 4. 加熱・電流駆動システム | (6) 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(講師) | 新規 |
| 5. 理論・シミュレーション | (7) 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(准教授) | 新規 |
| | (8) 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(准教授) | 新規 |
| | (9) 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(教授) | 新規 |
| | 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(助教) | 継続 |
| | 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(教授) | 継続 |
| | 原型炉に向けた3次元平衡解析 | 京都大学・中村 祐司(教授) | 継続 |
| | 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(准教授) | 継続 |
| 6. 炉心プラズマ | (10) 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(准教授) | 新規 |
| 7. 燃料システム | (11-1) 原型炉における真空容器内トリチウム除染手法の構築 | 核融合科学研究所・芦川直子(助教) | 新規 |
| | (11-2) 高温ガス炉を用いた初期装荷トリチウム確保方策の検討 | 九州大学・松浦秀明(准教授) | 新規 |
| | (11-3) 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(助教) | 新規 |
| | (11-4) 高温高圧トリチウム水およびトリチウム水蒸気からの金属壁を介したトリチウム移行量評価 | 九州大学・片山一成(准教授) | 新規 |

QST の原型炉研究開発共同研究の課題(2/2)

| AP項目 | 研究課題名 | 研究代表者(職位) | 新・継 |
|---|---|------------------------|-----|
| 8. 核融合材料と規格・基準 | (12-1) 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(教授) | 新規 |
| | (12-2) 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(教授) | 新規 |
| | (13-1) 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(教授) | 新規 |
| | (13-2) 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・佐藤紘一(教授) | 新規 |
| | (14) 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(教授) | 新規 |
| | (15) 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(教授) | 新規 |
| | (16) 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(助教) | 新規 |
| | (17) 高温高圧水素下におけるF82H鋼中のトリチウム放出・透過挙動 | 近畿大学・大塚哲平(准教授) | 新規 |
| | 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(准教授) | 継続 |
| | 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(准教授) | 継続 |
| | 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(講師) | 継続 |
| | 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(教授) | 継続 |
| | 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(准教授) | 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 | 東京工業大学 近藤 正聡(准教授) | 継続 | |
| 10. 稼働率と保守 | (20) 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(講師) | 新規 |
| 11. 計測・制御 | (21) 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(特任准教授) | 新規 |
| | (22) 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(教授) | 新規 |

実施中の共同研究課題: 36件(新規: 25件、継続: 11件)

2019年度QST共同研究の成果概要 (1/6)

| AP項目 | 成果概要 |
|----------------|--|
| 1. 超伝導コイル | <p>原型炉TFコイル導体及び導体配列の概念設計検討(福井工大・伊藤保之) アクションプランの「超伝導コイルのSC概念基本設計」に資するため、TFコイル導体の温度マージンの評価方法を検討した。導体に沿う液体He入口を起点とする経験磁場分布を基に、液体Heの流れに乗って各点で発生するジュール熱を積算し、断熱かつ熱伝導を無視して導体の温度上昇を評価した。ITERで採用されている分流開始温度を指標とするよりも0.7~1Kの温度マージン増大を見込めることが判った。</p> |
| 2. ブランケット | <p>原型炉における先進ブランケット初期概念の検討(核融合研・田中照也) 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、液体金属LiPb流動時のMHD圧力損失を評価。インボード側のブランケット冷却母管経路における磁場が最大10Tとなるため、約14mの金属配管に流動させるとMHD圧力損失は417MPaに達するが、電気絶縁管壁を模擬した計算では約1.4MPaに抑えられる結果を得た。</p> |
| 3. ダイバータ | <p>原型炉タングステンダイバータの非定常熱負荷による溶融挙動と蒸気遮蔽効果(大阪大学・伊庭野健造) アクションプランの「W水冷却ダイバータ機器の原型炉適用性の判断」に資するため、高磁場下レーザー照射実験、蒸気遮蔽シミュレーション、W材の溶融層挙動と蒸気遮蔽現象の研究を実施。蒸気遮蔽シミュレーション結果を基に、最大200MW/m²、200msの過渡負荷に対して、蒸気遮蔽を考慮することで損耗が90%低減されることを示した。</p> |
| | <p>原型炉における熱・粒子制御に関する物理課題の検討とモデル化(名古屋大学・田中宏彦) アクションプランの「ダイバータプラズマシミュレーション開発」、「炉内粒子挙動シミュレーションコード」に資するため、非接触ダイバータプラズマへの輻射輸送効果を調べ、内側ストライク点で再結合プラズマであったものが広い範囲で電離プラズマへと変わっており、粒子バランスの点で大きな影響を明らかにした。</p> |
| 4. 加熱・電流駆動システム | <p>原型炉における電子サイクロトロン電流駆動効率の改善と入射システムの検討(京都大学・長崎百伸) アクションプランの「ECH/NBI技術仕様の決定」に資するため、理論解析コードを改良して原型炉プラズマパラメタ領域での電流駆動効率を向上させるための方策を検討し、170GHzと180GHzの2つの波を同じ磁気面で吸収させパワー比を変化させることにより、わずかに電流駆動効率を増大できることを示した。</p> |
| 5. 理論・シミュレーション | <p>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スキームの開発(九州大学・糟谷直宏) アクションプラン「理論・シミュレーション」に資するため、統合シミュレーションスキームの開発を進めた。不純物輸送コードTASK/TIに新古典輸送モデルを導入し、不純物輸送計算を実行した。インターフェイスを整備し、プラズマ輸送解析モジュール、平衡解析モジュール、波動解析モジュールとの結合を可能とし不純物制御を行うコード基盤が完成した。</p> |
| | <p>内部輸送障壁形成に関する大域的ジャイロ運動論シミュレーション(京都大学・今寺賢志) アクションプラン「理論・シミュレーション」に資するため、大域的ジャイロ運動論コードGKNETにハイブリッド電子モデルを実装し、内部輸送障壁のシミュレーション研究を進めた。反転磁気シア配位において外部からの運動量入射を必要としない内部輸送障壁の自発的形成に成功した。電子加熱により径電場シアが増大し、乱流が抑制される機構を同定した。</p> |

2019年度QST共同研究の成果概要 (2/6)

| AP項目 | 成果概要 |
|----------------|--|
| 5. 理論・シミュレーション | <p>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) アクションプラン「理論・シミュレーション」に資するため、ジャイロ運動論モデルを用いて電磁揺動効果を調べた。解析コード基盤を整備し、実験データ解析ツールを開発するとともに、高ベータプラズマのペDESTAL領域の安定性解析を行い運動論的バルーニングモードと理想MHDバルーニングモードの比較を行い、運動論効果の影響を明らかにした。</p> |
| | <p>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) アクションプラン「理論・シミュレーション」に資するため、運動論的統合輸送シミュレーションコード開発を進めた。速度空間における径方向拡散係数に運動量依存性を導入し、実効粒子拡散係数と実効熱拡散係数の比によってその妥当性評価を行った。実験データを再現するための数値係数の範囲を同定し、運動量依存性を含むモデルとして確立させた。</p> |
| | <p>原型炉に向けた3次元平衡解析 (京都大学・中村祐司) アクションプラン「理論・シミュレーション」に資するため、3次元平衡コードを利用して原型炉における平衡計算及びトロイダルリップルの評価を進めた。あわせてアルファ粒子損失を評価するため、GNETとのインタフェース開発を進めた。さらに低放射化フェライト鋼が3次元平衡に及ぼす影響を明らかにする研究に着手した。</p> |
| | <p>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) アクションプラン「理論・シミュレーション」に資するため、非接触ダイバータに関連する基礎物理過程の解明、その他モデルの高度化等に取り組んだ。タングステン不純物輸送モデルの高度化のため、ジャイロ運動論モデルと巡回中心近似モデルとの比較により磁気ドリフトや温度勾配に起因する熱力の重要性を明らかにした。</p> |
| 6. 炉心プラズマ | <p>原型炉の炉心プラズマの性能評価 (名古屋大学・岡本敦) 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」に資するため、トカマクプラズマ中での高速イオンの減速・ピッチ角散乱に基づき駆動電流や加熱パワーを評価するための非定常フォッカープランクコードTOTALコードに導入し、量研のコードとのベンチマークにより良好な一致を確認した。中心入射と周辺入射の2本のNBを用いて、原型炉プラズマにおける電流分布制御のシミュレーションを実施。</p> |
| 7. 燃料システム | <p>表面制御による核融合炉材料中のトリチウム透過低減技術開発 (静岡大学・近田拓未) 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、F82H鋼を高温高圧水への曝露試験を100~500 h実施し(溶存酸素5 ppb以下、溶存水素1.6 ppm)、曝露後の試料表面には、Fe_3O_4と$FeCr_2O_4$が生成され、500 hの曝露試験では1 μm程度の酸化物層が形成され、未曝露の試料と比較して重水素透過係数がそれぞれ約1/40、1/100まで減少した。</p> |
| | <p>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 (近畿大学・大塚哲平) 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、303 K、323 Kおよび368 Kにおいて純ニッケル(Ni)中にガス吸収させたトリチウムの水中への透過実験を実施した。この結果、Ni/水界面を介した水素透過係数は、Ni/真空界面の水素透過係数の数分の一程度に低下することがわかった。</p> |

2019年度QST共同研究の成果概要 (3/6)

| API項目 | 成果概要 |
|----------------|--|
| 7. 燃料システム | <p>原型炉におけるトリチウム蓄積量の予測及び実時間トリチウム除染法の検討(核融合研・芦川直子) 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、QST六ヶ所研のプラズマ照射装置で重水素プラズマ曝露したタングステン試料に対し、昇温脱離法と等温脱離法による重水素脱離を実施。昇温勾配が早い場合は半値幅が狭く高い脱離ピークが得られ、等温脱離では緩やかな脱離カーブが得られことを原型炉運転温度領域で示した。</p> |
| 8. 核融合材料と規格・基準 | <p>破面寸法による微小引張試験片SS-J3の破断延性評価に関する検討(岐阜大学・中田隼矢) 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、照射模擬材を用いて引張変形に伴う平行部断面の形状変化を実験と有限要素法によって評価し、照射模擬材では非照射材と比べて、断面収縮率が大きくなる可能性が初めて示唆された。</p> |
| | <p>中性子照射試験に向けた微小試験片による疲労試験技術の開発(東北大学・野上修平) 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、平板型微小疲労試験片による室温低サイクル疲労試験の有効性を示し、中性子照射用疲労試験片の更なる選択肢を提案した。</p> |
| | <p>微小試験片による破壊靱性の評価及び試験指針の検討(大阪大学・大畑充) 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、微小破壊靱性試験のための、必要寸法要件と板厚効果補正手法を提案した。また、脆性破壊限界の塑性拘束効果を評価するための材料固有のワイブルパラメータ(塑性拘束に依存しない限界ワイブル応力分布)を決定する手法を整理した。</p> |
| | <p>低放射化フェライト鋼のクリープ特性に及ぼす試験片寸法の影響(核融合研・長坂琢也) 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、微小試験片によるクリープ試験法の開発をすすめ、試験片の厚さがクリープ特性に及ぼす影響を明らかにした。</p> |
| | <p>原型炉構造材料のクリープ強度特性評価(福井大学・旭吉雅健) 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、構造不連続部の材料強度評価をすすめ、F82H鋼接合材のクリープデータ分析評価と構成式の構築、多軸クリープ試験方法の提示に至った。</p> |
| | <p>原型炉構造材料の疲労及びクリープ疲労強度特性評価(立命館大学・伊藤隆基) 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、単軸および多軸負荷での疲労試験およびクリープ疲労試験の材料強度データの分析・評価ならびに材料試験による材料強度データの追加取得を行い、原型炉構造材料の強度評価手法の最適化のための基礎データの検証を行った。</p> |

2019年度QST共同研究の成果概要 (4/6)

| AP項目 | 成果概要 |
|----------------|--|
| 8. 核融合材料と規格・基準 | <p>F82H鋼における真応力-真ひずみ曲線の取得及び解析 (福島高専・鈴木茂和) 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、微小引張試験技術の改良をすすめ、画像解析によるF82H鋼の真応力-真ひずみ曲線取得方法を提案した。</p> |
| | <p>低放射化フェライト鋼微小試験片の磁気特性の温度依存性評価 (岩手大学・鎌田康寛) 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、微小試験片を用いた磁気特性評価手法の検討をすすめ、試料振動型磁力計を用いた高温磁気データ収集を可能にするとともに、得られた知見をもとに小型試験片用の小型の高温磁気計測装置を開発した。</p> |
| | <p>水素をトレーサーに用いた炉内構造物の損傷検出・評価技術の開発 (鹿児島大学・駒崎慎一) 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、水素をトレーサーとして用いた損傷検出・評価技術を新たに開発し、内部欠陥を有するF82Hの疲労寿命予測手法の確立に向け一定の見通しを得た。</p> |
| | <p>原型炉内異材接合体製作技術及び残留応力推定法に関する研究 (大阪大学・芹澤 久) アクションプランの「ブランケット構造体製作技術の確立」に資するため、接合体の健全性評価の指標として、微細組織観察および解析に加えて、接合条件ならびに接合プロセスに対応した有限要素法熱弾塑性解析による残留応力の推定を行い、最適な異材接合体作製法、異材接合体の使用限界に関する指針を得た。</p> |
| | <p>低放射化フェライト鋼とステンレス鋼の異材溶接部における各種欠陥の評価 (大阪大学・森 裕章) 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、溶接部の低温割れ感受性とミクロ欠陥の相関を明らかにし、溶接後熱処理による溶接部欠陥制御に関する知見を得た。</p> |
| | <p>原型炉ダイバータ構造材料の水腐食に関する研究 (室蘭工大・中里直史) 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長時間腐食挙動を明らかにし、水化学管理指針に関する知見を得た。</p> |
| | <p>照射下における低放射化フェライト鋼の組織安定性に関する研究 (東京大学・阿部弘亨) 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、イオン照射を行い、析出物の照射下安定性、特に照射誘起非晶質化 (RIA) に関する照射量や照射温度、化学組成影響についての知見を拡充した。</p> |

2019年度QST共同研究の成果概要 (5/6)

| AP項目 | 成果概要 |
|-----------------------|---|
| 8. 核融合材料と規格・基準 | <p>低放射化フェライト鋼の照射下微細組織発達に及ぼす核変換ガス原子の影響 (北海道大学・橋本直幸) 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、イオン照射によりF82H及びモデル材料中にHe及びHを導入し、イオン照射下における二次欠陥の形成・成長挙動を調査することで、粒界の点欠陥に対するシンク効果の有効性に関する知見を整理した。</p> |
| | <p>超微小試験法による低放射化フェライト鋼の強度特性評価 (東北大学・近藤創介) 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、マイクロピラー圧縮試験の開発をすすめ、本手法によりイオン照射したF82H鋼の照射硬化を評価可能であり、中性子照射材と比較しうることが明らかとなった。</p> |
| | <p>低放射化フェライト鋼中における水素同位体及びヘリウムの挙動に関する研究 (鹿児島大学・佐藤紘一) 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中における欠陥と水素同位体との相互作用を計算機シミュレーションや陽電子消滅実験によって、また、ヘリウムバブルの動的挙動をTEM観察によって明らかにし、水素同位体及びヘリウムの拡散・捕捉挙動に関する物理的素過程に関する知見を得た。</p> |
| | <p>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) 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、各種の照射場の理論的定量化を進め、劣化評価モデルの欠陥生成パラメータとして導出するための方法論の開発が進展した。</p> |
| | <p>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) Nトラップの設計を行うとともに、HトラップとNトラップの総合評価試験に関連する作業を実施した。さらにNトラップによる窒素濃度の低減効果の評価を行うために、長時間Li循環試験装置の改良を実施した。</p> |
| | <p>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) 窒素回収用の小型リチウムループにおいて、液面制御のためにカバーガス圧計・差圧計およびその制御系を追設するなど、カバーガスシステムに対して安定した長期運転のための大幅な改修を行った。</p> |

2019年度QST共同研究の成果概要 (6/6)

| AP項目 | 成果概要 |
|-----------------------|---|
| 8. 核融合材料と規格・基準 | <p>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) ターゲット液膜流の波高分布と周波数分布に関する事前知識(事前分布)を実験データを用いてアップデートする「ベイズ推定モデル」を開発した。これにより、光コム距離計を用いたターゲット液膜流診断法の欠点である欠測の補間が可能になった。</p> |
| | <p>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) 大阪大学Liループ噴流試験部を用いて、模擬Liターゲットの自由表面変動の流れ方向依存性を計測した。有義波高は流れ方向について線形的に増加するが、ある地点において増加率が增大することが観察された。CFDシミュレーションでも下流域において表面変動が大きくなる結果を得た。</p> |
| | <p>核融合中性子源設計に向けたリチウムターゲット下流配管とクエンチタンク構造に関する研究(京都大学・横峯健彦) 水流動装置を用いて、ノズルからクエンチタンク直前までのターゲット部の液膜流の流れを詳細に観察した。左右側壁面による水流の乱れとノズル出口での気泡の巻き込みが観察された。さらに、液面付近に発生した気泡の気液界面側への移動と液膜流からの放出も観察された。</p> <p>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(東工大・近藤正聡) 照射キャプセルの伝熱媒体として充填する液体金属の候補材(NaK, Na, Li)とF82H及びSS316試験片の静止場腐食試験を550°C、295時間の条件で実施した。腐食に伴う試験片の質量増減を電子天秤で計測し、試験片表面を光学顕微鏡(OM)と電子顕微鏡・エネルギー分散型X線分析(SEM/EDX)により分析した。今後、データベースの拡充、実験データの考察を進め、使用する液体金属を選定する。</p> |
| 9. 安全性 | <p>サプレッションプールでの水蒸気凝縮過程における非凝縮性ガスの影響(早稲田大学・古谷正裕) アクションプランの「原型炉プラントの安全上の特徴整理」に資するため、水蒸気と不凝縮ガスとして空気との混合ガスを、鉛直円筒管底面から注入するプールのスクラビング凝縮二相流実験装置を製作し、予備実験として空気流量をパラメータとし、0 L/min(水蒸気のみ)から0.4 L/minの範囲で凝縮熱通過率を計測した。空気流量の増大と共に凝縮熱通過率が低下する傾向を持つことを明らかにした。</p> |
| 10. 稼働率と保守 | <p>核融合原型炉で発生する放射性廃棄物の管理シナリオに係る検討(福井大学・川崎大介) 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、核融合原型炉施設の運転計画および廃止措置シナリオを想定した上で、廃止措置によって発生する放射性廃棄物の物量とレベル区分を推定した。トカマク建屋の機器についてはL1, L2, L3相当となる物量をそれぞれ求めるとともに、単一機器の放射能濃度分布に基づいて切断・分離を行うことにより、放射性廃棄物の発生量を低減できることが示唆された。</p> |

NIFS 2020年度原型炉共研新規公募テーマ(課題指定型)

| アクションプラン項目 | 公募テーマ及びアクションプランとの対応 | 備考 |
|------------|--|-----|
| 3. ダイバータ | (3) ダイバータ機器健全性評価技術の開発 (内容)ダイバータの受熱板や冷却管、及びそれらの界面を対象に、その健全性の検査、補修、状態監視など、保全や補修技術に関する要素技術を開発する。 | 再公募 |
| | 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」 | |
| 7. 燃料システム | (8) 原型炉用DTペレットの製作・検査に関する要素技術の開発 (内容)重水素とトリチウムの混合ペレットを製作して、固化過程、物理的性質、均一性や混合比の検査法等について要素技術を開発する。 | 新規 |
| | 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」 | |

<公募・成果報告会・審査の日程>

| | |
|--------------------|----------------------------|
| 2019年12月2日 公募開始 | 2020年2月27日 新規応募課題の審査と採否の審議 |
| 2020年1月7日 公募締切 | 2020年3月下旬 採択通知と契約手続き開始 |
| 2020年1月16日 継続課題の審査 | |

<新規課題への応募と採択>

応募5件: 課題指定型4件(課題3に3件, 課題8に1件, 若手優先は無し), 課題提案型1件

採択2件: 課題指定型2件(課題3を1件, 課題8を1件), 課題提案型0件

課題提案型の分野: 2. ブランケット; 先進ブランケット(1件) → 不採択

NIFSの原型炉研究開発共同研究の課題

| アクションプラン 項目 | アクションプランと採択課題の対応(赤:新規, 青:継続, 緑:終了) |
|----------------|--|
| 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>(19-1) 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)(継続) (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) (19-6) 熔融塩抽出及び電気化学的手法を用いた液体増殖材中不純物の低減(京都大・八木 重郎)</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> <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>(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)</p> <hr/> <p>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」</p> <hr/> <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)</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) (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> |

NIFS 2019年度原型炉研究開発共同研究の成果概要(1/2)

| AP項目 | 成果概要 |
|------------------------------------|---|
| <p>2 (課題指 定型 (若手))</p> | <p>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) 低放射化フェライト鋼F82Hを基板として、有機金属分解法を用いて三種のセラミックス被覆を作製し、抵抗率の温度依存性を測定した。被覆材料として、先行研究で絶縁性能を満たしたEr_2O_3に加え、基板と熱膨張率の差が小さく高い密着性が期待できる酸化ジルコニウム(ZrO_2)、その二つを組み合わせたEr_2O_3-ZrO_2二層被覆を用いた。ZrO_2と二層被覆では抵抗率が$10^4\sim 10^8\Omega\text{m}$と大きく変動したが、最大値は$\text{Er}_2\text{O}_3$よりも高いことから成膜条件を最適化することで、絶縁性能の向上が可能であると考えられる。ホットプレス法を用いて、セラミックス-鉄被覆の接合実験も開始した。</p> |
| <p>2 (課題指 定型)</p> | <p>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) 液体ブランケットの候補炉内構造材料である低放射化フェライト鋼(RAFM)やバナジウム合金に加え、特に溶融塩に対して優れた耐食性を示すハステロイX (HX)、更には炉外機器の一般構造材料として使用される事が想定される316Lステンレス鋼を対象とし、電子ビーム溶接で6種類の接合試料、TIG溶接によりRAFMと316Lの接合試料を製作した。また、攪拌流動場試験装置を新たに1基製作した。</p> |
| <p>2 (課題提 案型)</p> | <p>溶融塩抽出及び電気化学的手法を用いた液体増殖材中不純物の低減(京都大・八木重郎) PbLi 中のO 不純物及びPo を模擬したTe の除去に関して試験を実施した。実験槽内でPbLiと接液させた溶融塩(LiCl-KCl)にガラス状炭素電極を浸漬し、PbLi を対極としてCyclic voltammetry (CV)測定を450°Cにおいて実施し、PbLiに投入した酸素不純物が溶融塩に分配されることを実証した。また、炭素電極の代わりにAg, Au, Cu, Fe, Ni, W の線を用いてPbLi に単体のTe を投入する実験を行い、Au 電極の場合にCV値に大きな変化が認められ、Teの除去にも有効であることを確認した。</p> |

NIFS 2019年度原型炉研究開発共同研究の成果概要(2/2)

| AP項目 | 成果概要 |
|----------------------|---|
| <p>3 (課題指定型)</p> | <p>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) 2019年度は、Taを1%、3%および5%添加したW-Ta圧延板と、参照材としての純W圧延板を製作し、これらの材料の再結晶挙動と機械特性、プロトン照射による硬さと微細組織の変化を評価した。開発した合金の非照射特性は、我々のグループで開発した一連の材料(KドーパやRe添加)と同等かそれ以上であった。照射挙動については、2020年度以降も引き続き評価する。</p> |
| <p>3 (課題指定型)</p> | <p>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、改良、ならびに計算を実施し、衝突輻射(CR)モデルを用いて計算された実効的な速度係数は、これまで流体コードで使用されている経験的な速度係数と比較すると、電離過程では大きく、再結合過程では小さくなることなどを明らかにした。また、トムソン散乱計測に分光計測を組み合わせることでトムソン散乱計測位置を変更することなくスケール長を計測する手法を新たに考案し、再結合フロントにおけるスケール長(減衰の1/e幅)の定量的な評価を可能とした。</p> |
| <p>7 (課題指定型)</p> | <p>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ストロンチウムセレート系電解質にパラジウム電極を設置し、イオン電導の複素インピーダンスを測定して時定数を求め、ダイナミックモデルで燃料系のインベントリと高速応答性を評価した。また、このプロトン導電体の特性から想定されるプロトンポンプの概念設計を行い、ダイバータ排気への適用性、適合性を検討するとともに、バイパス流路を設置したときの原型炉一次燃料系の時定数(処理時間)とインベントリに及ぼす影響を評価した。さらに、実機制作に必要な構成機械要素や日本の原型炉トリチウムプラント設計製作能力の予備的な評価を行い、最も厳しいコンポーネントが有機物を用いない粗引ポンプであることを指摘した。</p> |

第 10 期核融合科学技術委員会 委員名簿

(任期：平成 31 年 4 月 26 日～令和 3 年 2 月 14 日)

主 査

小川 雄一 東京大学名誉教授

委 員

渥美 法雄 電気事業連合会原子力部長

五十嵐 道子 科学ジャーナリスト

植竹 明人 一般社団法人日本原子力産業協会常務理事

上田 良夫 大阪大学大学院工学研究科教授

大野 哲靖 名古屋大学大学院工学研究科教授

岡野 邦彦 株式会社 O D A C 取締役

尾崎 弘之 神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科教授

岸本 泰明 京都大学エネルギー理工学研究所長

栗原 研一 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構

核融合エネルギー部門長

小磯 晴代 高エネルギー加速器研究機構名誉教授

兒玉 了祐 大阪大学レーザー科学研究所長

高梨 千賀子 東洋大学経営学部経営学科教授

高本 学 一般社団法人日本電機工業会専務理事

竹入 康彦 自然科学研究機構核融合科学研究所長

松尾 亜紀子 慶應義塾大学理工学部機械工学科教授

第10期原型炉開発総合戦略タスクフォース 委員名簿

(任期：令和元年5月28日～令和3年2月14日)

主 査

岡野 邦彦 株式会社ODAC取締役

委 員

伊神 弘恵 自然科学研究機構核融合科学研究所准教授

今澤 良太 量子科学技術研究開発機構核融合エネルギー部門
ITERプロジェクト部計測開発グループ主任研究員

奥本 素子 北海道大学高等教育推進機構
オープンエデュケーションセンター准教授

笠田 竜太 東北大学金属材料研究所教授

木戸 修一 株式会社日立製作所
ライフ事業統括本部デジタルフロント事業本部
スマートセラピー統括本部核融合・加速器部長

坂本 隆一 自然科学研究機構核融合科学研究所教授

中島 徳嘉 自然科学研究機構核融合科学研究所教授

蓮沼 俊勝 三菱重工業株式会社
エネルギー・環境ドメイン原子力事業部プロジェクト部 核
融合推進グループPJ企画チームリーダー

東島 智 量子科学技術研究開発機構核融合エネルギー部門
研究企画部長

福家 賢 東芝エネルギーシステムズ株式会社
パワーシステム企画部参事

藤岡 慎介 大阪大学レーザー科学研究所教授

吉橋 幸子 名古屋大学工学系研究科総合エネルギー工学准教授

令和 2 年 6 月 1 0 日
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
核融合科学技術委員会主査決定

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会運営規則
(令和元年 6 月 21 日科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委
員会決定、令和 2 年 6 月 10 日一部改正) 第 3 条第 2 項に基づき主査が定める指針

科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会運営規則(令和元
年 5 月 15 日科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会核融合科学技術委員会決定、
令和 2 年 6 月 10 日一部改正。以下「運営規則」という。) 第 3 条第 2 項に基づき主査が
定める指針を次のように定める。

- 一 情報通信技術等を利用して会議に出席するときは、遠隔会議システム(映像と音声
の送受信により相手の状態を相互に認識しながら通話をすることができるシステムを
いう。以下同じ。)を利用しなければならない。
- 二 遠隔会議システムの利用において、映像及び音声がいずれも送受信できなくなった
場合にあつては、当該遠隔会議システムを利用する委員等は、音声を送受信できなくな
っていた間、退席したものとみなす。
- 三 遠隔会議システムによる出席は、可能な限り静寂な個室その他これに類する施設で
行わなければならない。なお、運営規則第 5 条に定めるところにより会議が非公開で行
われる場合は、委員等以外の者に視聴させてはならない。