

# 2030年代発電実証を目指す原型炉に向けた取り組み Activities toward JA DEMO aimed at demonstrating power generation in the 2030s





# 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所の取組み Activities of Rokkasho Institute for Fusion Energy

## ● 核融合炉で発電するための主要課題

1) 核融合反応を起こす (ITER, JT-60SA)

2) 発生エネルギーの取り出し

3) 燃料の生成

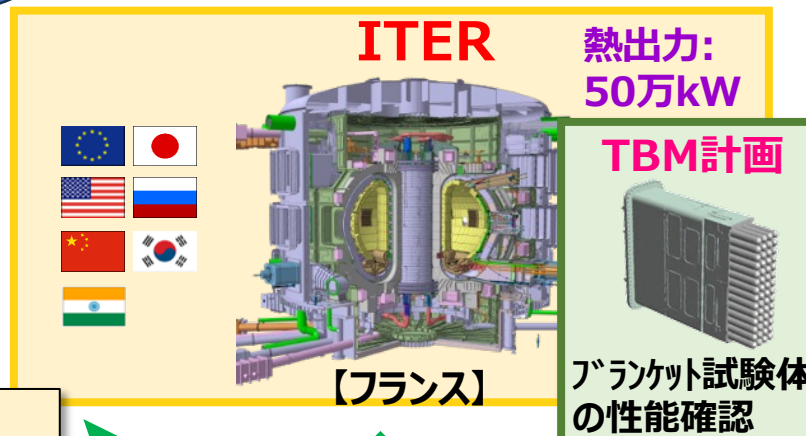
那珂研

六ヶ所研

**実験炉** Experimental reactor  
核融合燃焼の実証

**原型炉**  
DEMO reactor

発電実証  
発電量: 数十万kW



課題  
1) 核融合反応を起こす

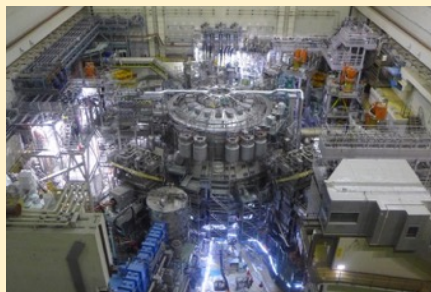
ITERを支援する

ITERでできないことを補う

課題  
2) 発生エネルギーの取出  
3) 燃料の生成

## ● 幅広いアプローチ活動 Broader Approach (BA) activities

【茨城 那珂研】 サテライト・トカマク計画事業 (JT-60SA)

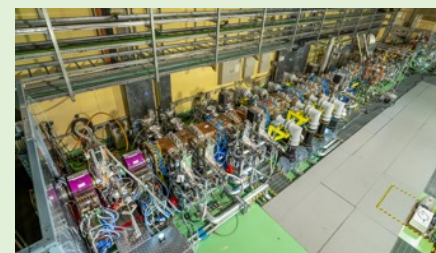


【青森 六ヶ所研】  
IFERC事業



原型炉設計・  
R&D  
スーパーコンピュータ  
ITER遠隔実験

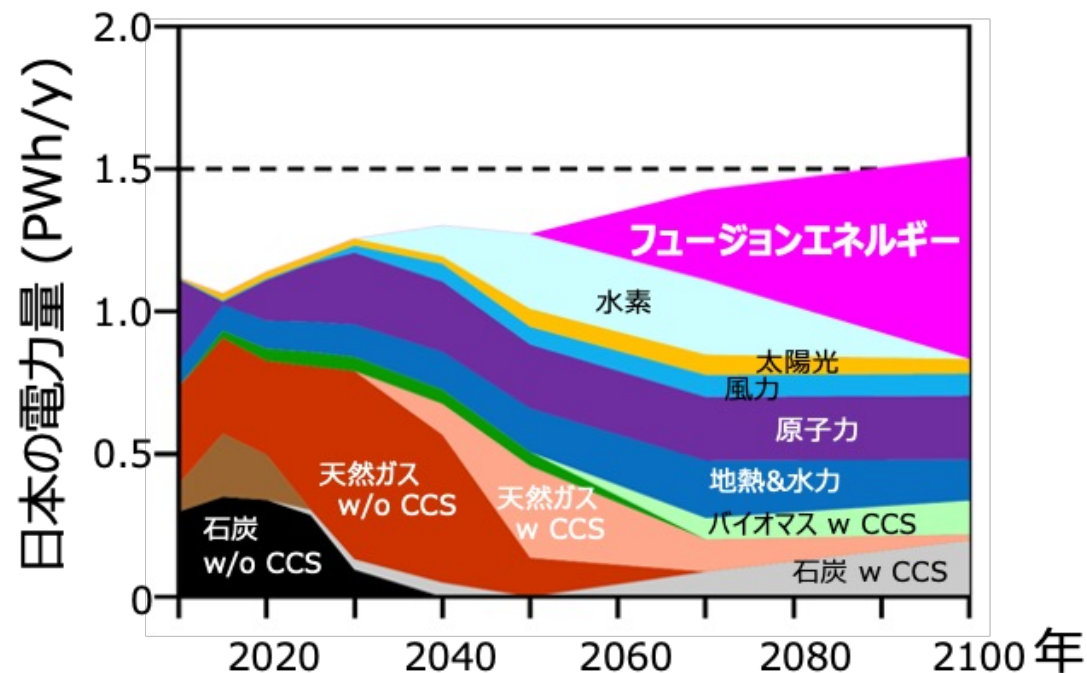
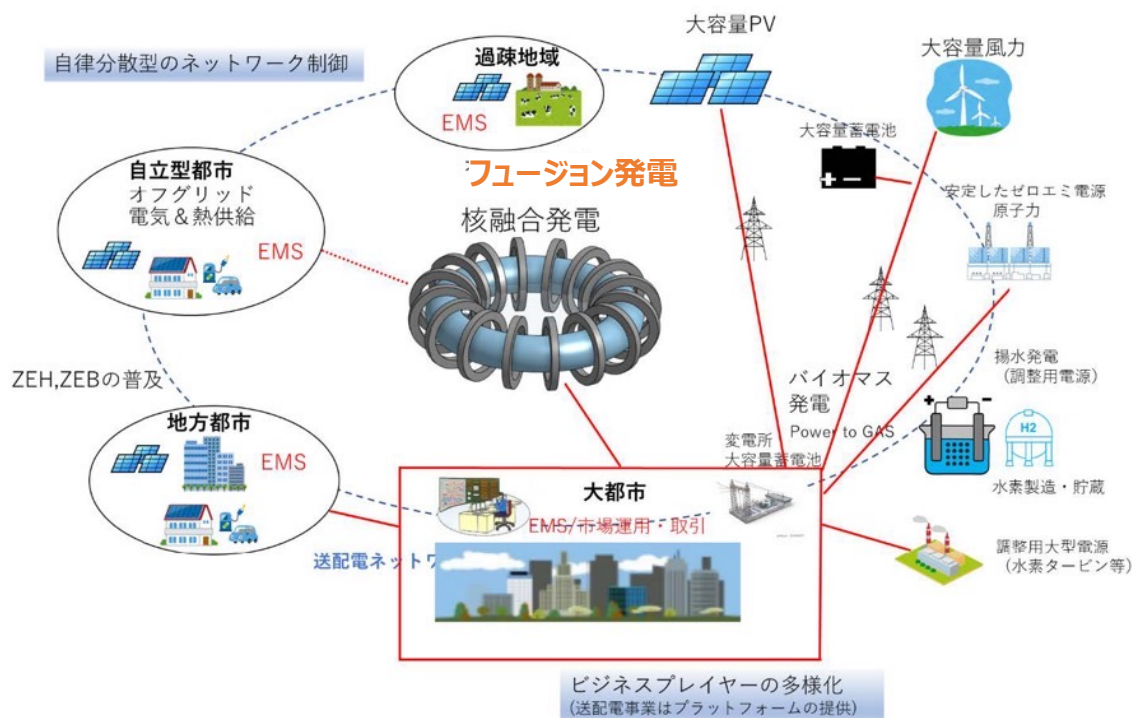
IFMIF/EVEDA事業



材料照射施設のため  
の世界最大電流の  
加速器開発

# フュージョンエネルギーの導入ポテンシャル Potential for introducing fusion energy

- 原型炉概念に基づき、高出力・小型化した商用炉を想定し、フュージョンエネルギーの導入シナリオを評価
  - ✓ 日本では脱炭素オプションが限られるため、**21世紀後半に温室効果ガス排出の実質ゼロを目指すパリ協定の実現に、重要な役割を果たし得る。**



- フュージョン炉を中核としたエネルギーシステムの将来予測
  - ✓ **フュージョン発電は主に大都市に向けて安定なベースロード電力を供給**
  - ✓ **大都市には再生可能エネルギー及び原子力からの電力も供給され、需給のバランスは調整用大規模発電、揚水発電、大容量蓄電池、水素製造・貯蔵設備を活用**

政府の方針「**世界に先駆けた2030年代の発電実証**」に向けて、原型炉計画の加速案を検討

### ● 最短で建設に着手

- ✓ ITER及びJT-60SAで開発した技術（超伝導、加熱・電流駆動装置、ダイバータなど）を最大限活用し、既存技術からのギャップを小さくする
  - **設計、R&D、試作を大幅に簡略化**

### ● 多段階の運転開発期の目標を設定

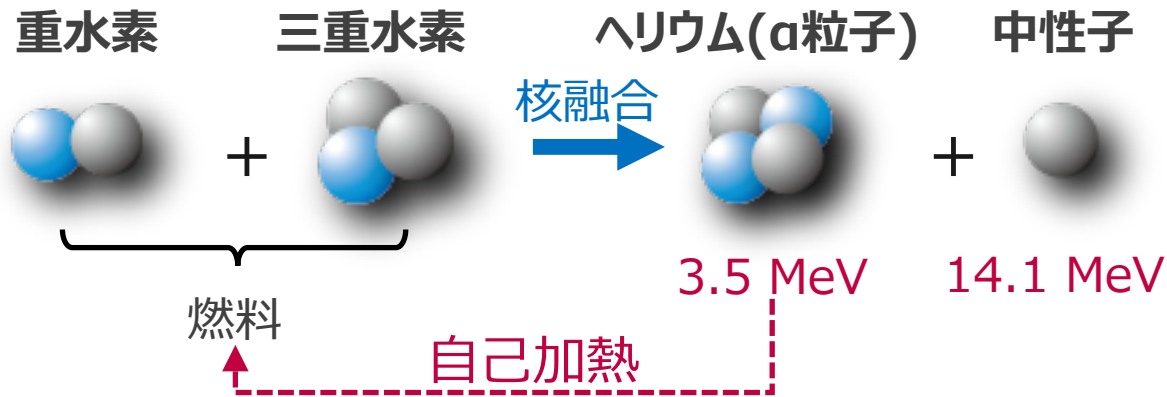
- ✓ 2030年代に発電を実証し、定期的に交換するブランケット性能とプラズマ性能を段階的に向上することで**原型炉目標を達成**
  - ・ 100MWクラスの正味電力
  - ・ 実用に供し得る稼働率
  - ・ 燃料の自己充足性



# 2030年代に実証する「科学的・技術的に意義」のある発電

## Scientifically and technologically significant power generation to be demonstrated in the 2030s

### ● 自己加熱割合の高い**燃焼プラズマ**であること（科学的意義）



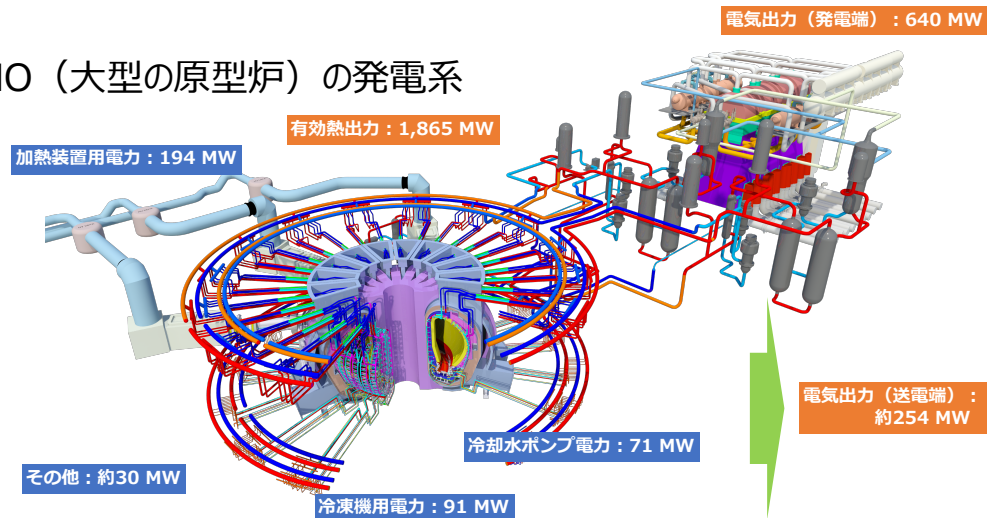
核融合炉では、高速の $\alpha$ 粒子がプラズマを自己加熱することで燃焼プラズマを維持

**$Q > 10$  : 自己加熱割合が2/3以上  
(外部加熱割合は1/3以下)**

→ ITERサイズの原型炉で実現が可能

### ● 商用炉への道筋を得るため**正味の電気出力**を得ること（技術的意義）

JA DEMO（大型の原型炉）の発電系



核融合炉では、プラズマの加熱や超伝導コイルの冷却に必要な電力が大きい

**正味電力ゼロは、数十万キロワットの発電タービン出力に相当**

→ ITERサイズの原型炉で実現が可能

# ITERサイズ原型炉の多段階目標と装置仕様

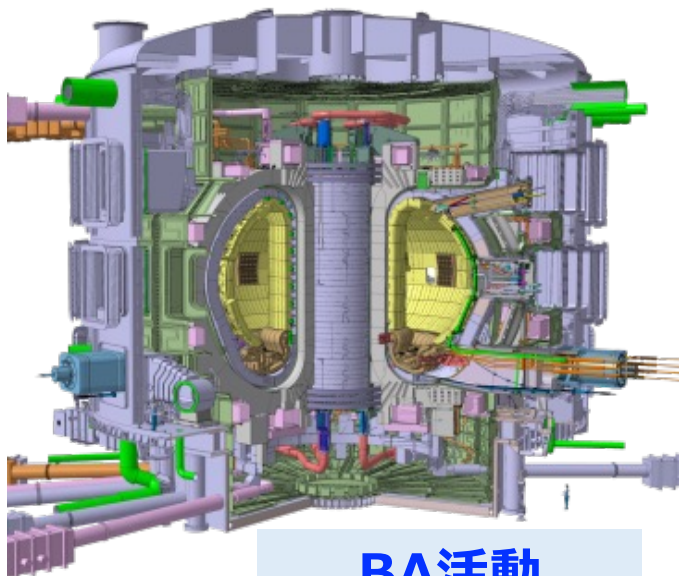
## Multi-stage goals and equipment specifications for an ITER-sized DEMO reactor

	第1期 システム統合運転期（発電実証）	第2期 ブランケット機能試験期（+燃料増殖実証）	第3期 拡張運転期（+定常運転実証）
目標の概要	<ul style="list-style-type: none"> <li>短パルス運転（数分）</li> <li>発電端出力 &gt; ~180MW</li> <li>正味電力 ~ 0</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>長パルス運転（数時間）</li> <li>正味電力 ~ 0</li> <li>三重水素自己充足性の確認</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>定常運転</li> <li>正味電力 &gt; 0（~100MW）</li> <li>三重水素自己充足性の実証</li> <li>保守シナリオの確認</li> </ul>
	 <p>発電ブランケット (厚さ : 0.45m)</p> <p>ITERと同じプラズマ</p>	 <p>増殖ブランケット (厚さ : 0.85m)</p> <p>第1期よりも小さい プラズマ(~570m<sup>3</sup>)</p>	 <p>増殖ブランケット (厚さ : &lt;0.85m)</p> <p>第2期よりも大きい プラズマ</p>
装置仕様	<p>発電実証 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ITERベースの運転シナリオ <ul style="list-style-type: none"> <li>核融合出力 : ~500MW</li> <li>Q値(プラズマへの入力/出力パワーの比): 10</li> <li>パルス幅 : ~400秒</li> </ul> </li> <li>発電ブランケット <ul style="list-style-type: none"> <li>発電に特化したブランケット</li> <li>ITERと同サイズ</li> </ul> </li> <li>加熱・電流駆動装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>電子サイクロトロン加熱のみ</li> </ul> </li> </ul>	<p>発電実証 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>プラズマ圧力を上げた運転シナリオ <ul style="list-style-type: none"> <li>核融合出力 : ≥500MW</li> <li>Q値 : ~10</li> </ul> </li> <li>加熱・電流駆動装置 <ul style="list-style-type: none"> <li>電子サイクロトロン加熱/中性粒子ビーム加熱</li> </ul> </li> <li>蓄熱システム（オプション）</li> </ul> <p>燃料増殖実証 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>増殖ブランケット</li> </ul>	<p>発電実証 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>JT-60SAの成果を反映した運転シナリオ <ul style="list-style-type: none"> <li>核融合出力 : &gt;500MW(第2期を上回る出力)</li> <li>加熱・電流駆動装置の高効率化</li> </ul> </li> </ul> <p>燃料増殖実証 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>改良型増殖ブランケット</li> </ul> <p>保守シナリオの確認 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>多段階運転期の移行時に遠隔操舵でのブランケット交換手順・時間の確認</li> </ul>



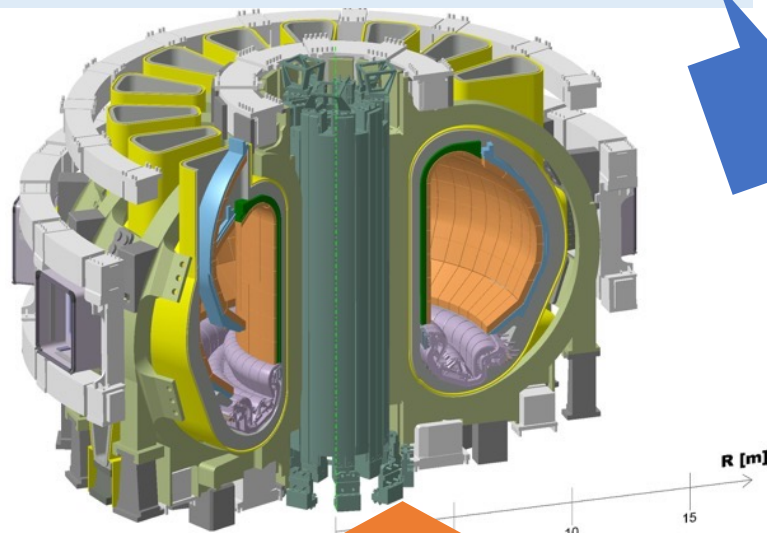
- 従来のアプローチ：ITER&BA活動 → 原型炉 → 商用炉
- フュージョンエネルギー・イノベーション戦略に基づく新アプローチ：  
社会実装に必要な技術を先取りして開発することで社会実装を加速

実験炉 ITER  
(燃焼プラズマ実証)



BA活動  
(ITERを補完)

ITERサイズ原型炉  
(発電、安全性、環境適合性の実証)



大規模施設整備・技術開発

第1世代商用炉  
(経済性実証)



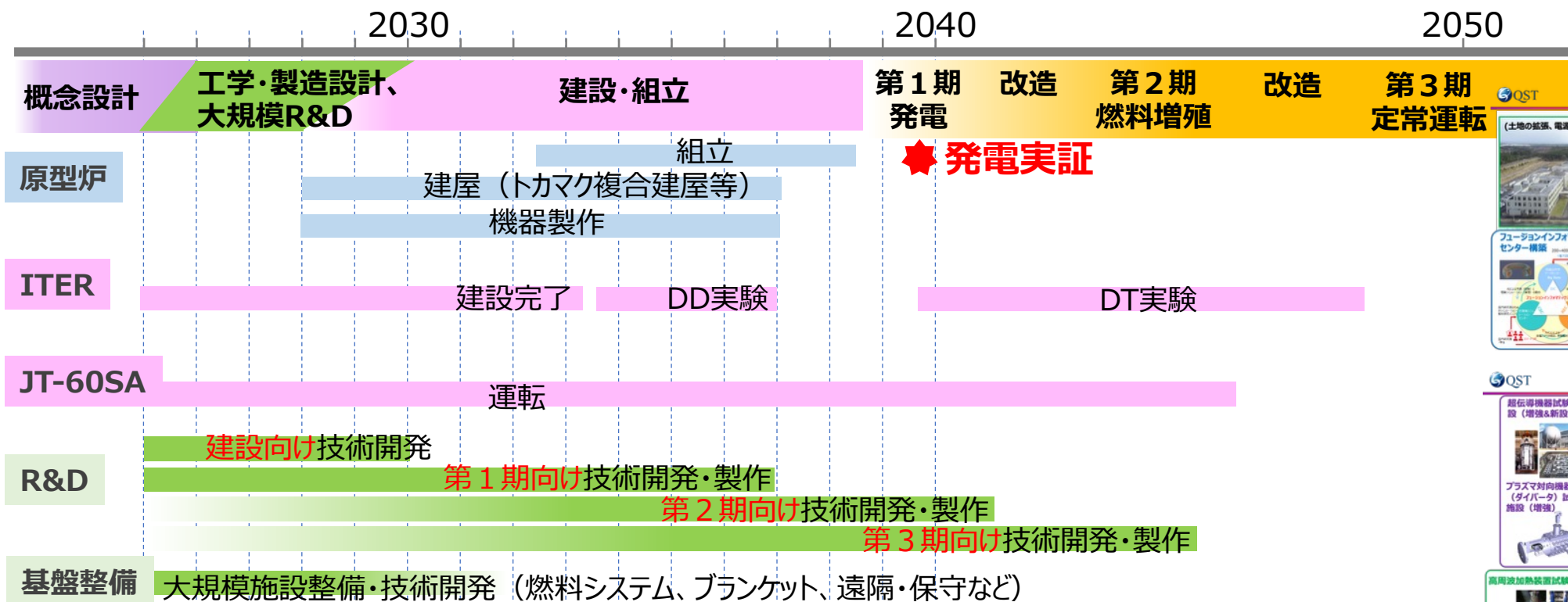
社会実装に必要な技術開発

フュージョンテクノロジー・  
イノベーション拠点

# 2030年代の発電実証を目指したスケジュール

## Schedule for demonstrating power generation in the 2030s

- 2030年代発電実証に向けては、以下に取り組むことが肝要
  - ✓ ITERとJT-60SAの建設・組立・運転の経験を活用し、**産業界の力を結集して原型炉を建設**
  - ✓ **QST等に整備される研究基盤施設を運用**し、建設と並行してムーンショット目標や産業界・大学と連携して、フュージョン機器産業に繋がる技術開発を推進
  - ✓ **原型炉とITERのリアルツイン運転**により、運転の効率化・リスク低減





# 原型炉概念設計における取組：原型炉設計合同特別チーム

## Activities on DEMO Conceptual Design: Joint Special Design Team for fusion DEMO

### ● 原型炉設計合同特別チームによる概念設計

- ✓ フュージョンエネルギー・イノベーション戦略を踏まえ、参加企業及びメンバーを拡充し、**産学連携体制を強化**

2025年11月現在のメンバー数：226名  
(大学等：67、産業界：109、QST：50)

- ✓ ITERサイズ原型炉の概念設計では、特別チームがこれまで実施してきた「**JA DEMOの概念設計**」と建設が進む「**ITERのリアルな設計**」を有機的に統合
- ✓ 今年度中に概念設計を完了



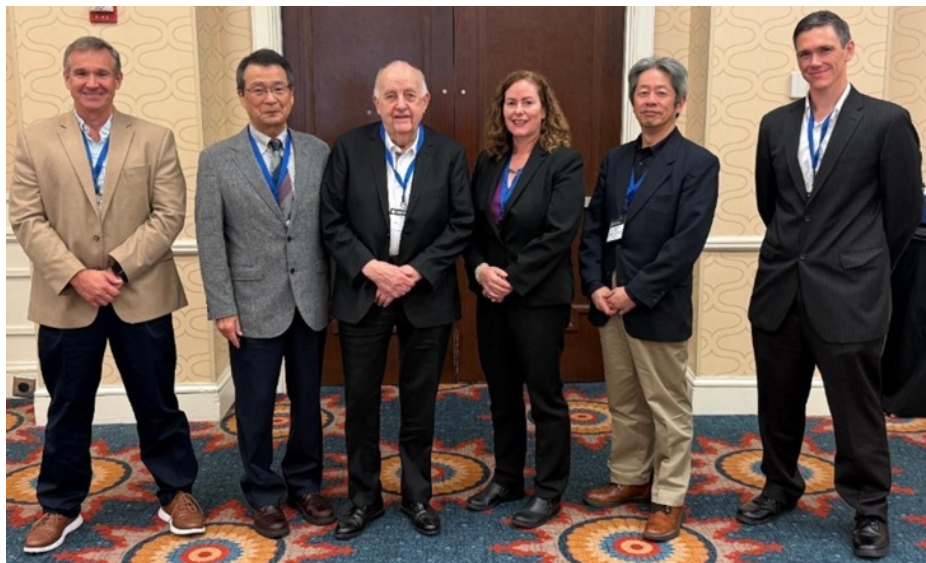


### ● BRIDGE（研究開発とSociety5.0との橋渡し）プログラム

- ✓ 「フュージョンエネルギーシステムに関する国際標準化」の実施主体として、国際標準化の骨子策定、若手人材育成等を推進
- ✓ 日本機械学会JSMEと米国機械学会ASMEにおいて、「トカマク型核融合発電施設の国際規格策定における協力協定」を締結

### ● 安全確保の基本方針

- ✓ 今後の安全規制に関する検討のため、原子力規制庁のフュージョン装置の開発を進める事業者等との意見交換会合に対応
- ✓ ITERサイズ原型炉の概要、スケジュール、燃料サイクルシステム、安全確保の基本方針等について説明
- ✓ 今年度中に安全規制上の論点整理

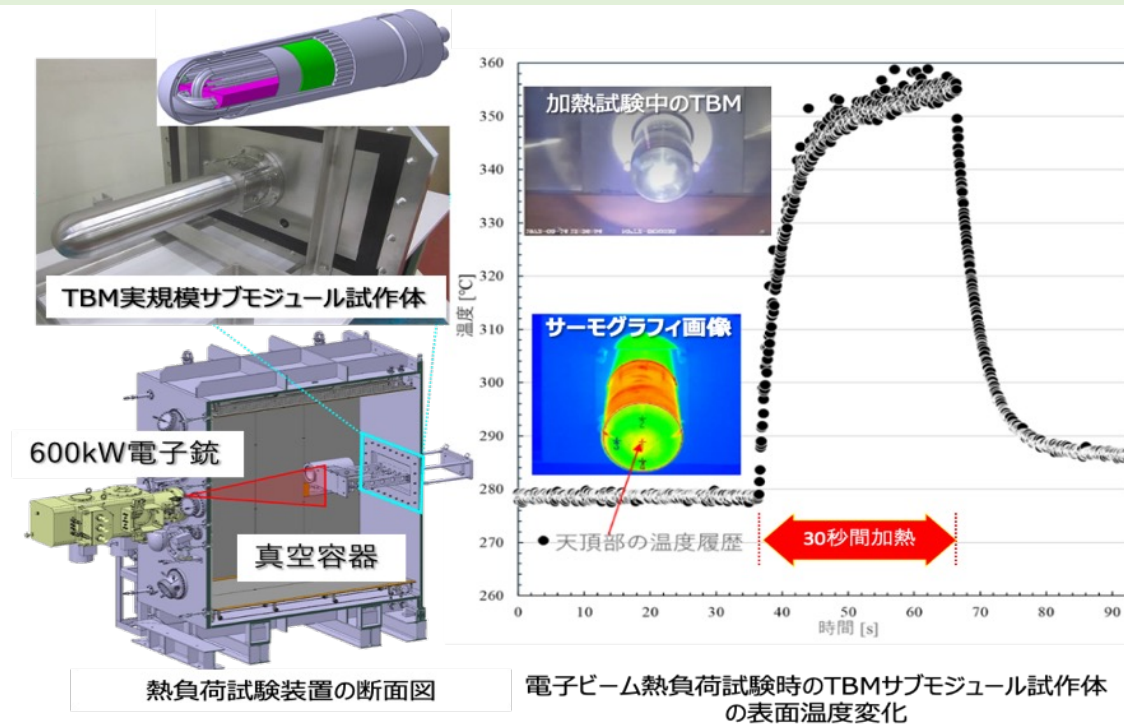


原型炉建設に向けて必要な活動を着実に実施



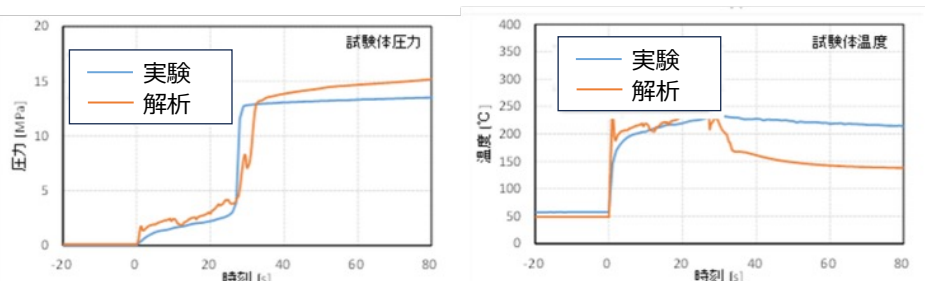
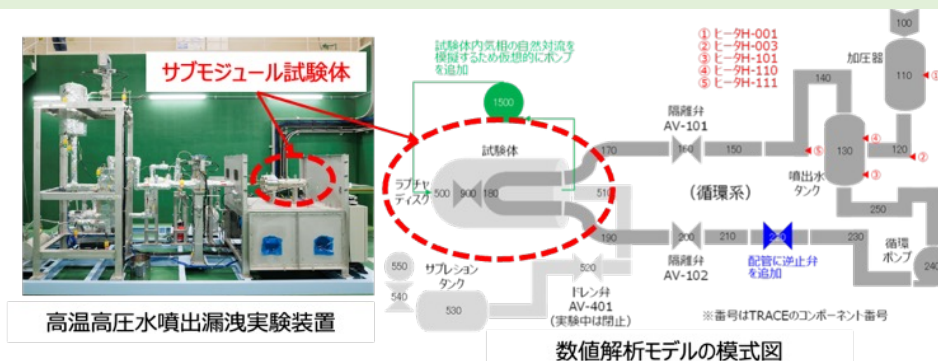
### ● ITER-TBMサブモジュール試作体の熱負荷試験の初期データを取得

- ✓ ITERで求められる試験条件で電子ビーム照射を行い二重半球形状の冷却性能を評価
- ✓ 冷却不良によるホットスポットは認められず、設計通りの除熱性能を確認



### ● 高温高压水噴出漏洩試験において、数値解析コードによる実験結果を検証

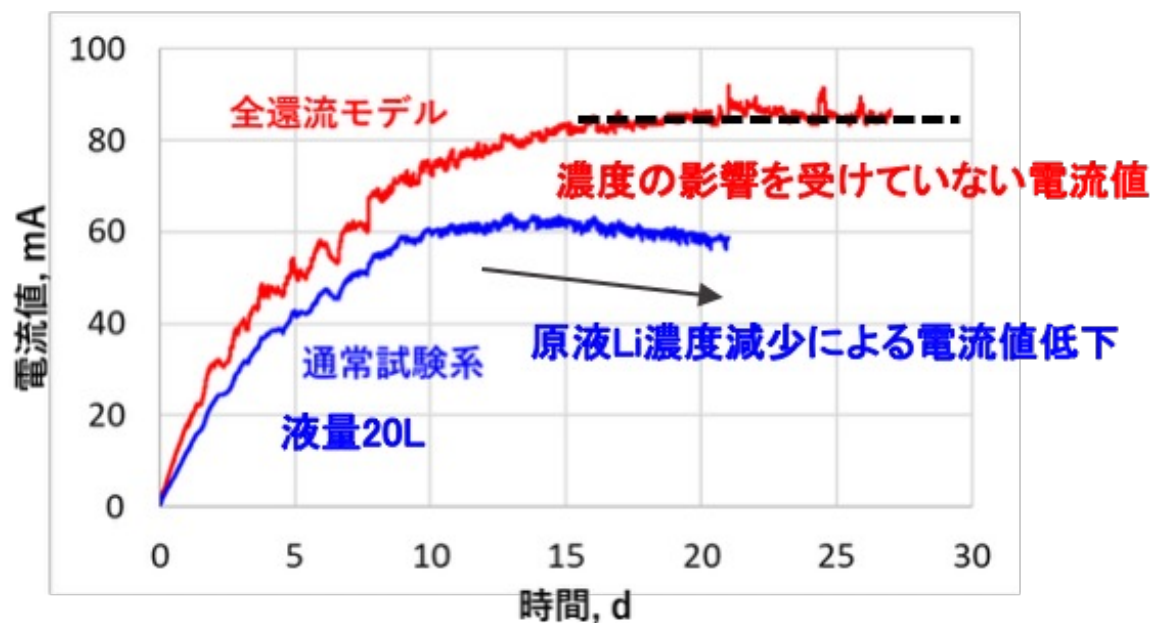
- ✓ ラプチャーディスクによりサブモジュール内の配管破断に伴う冷却水漏洩事象を模擬
- ✓ 圧力変化は数値解析と整合、温度変化は数値解析との乖離があり、試験体フランジ部等の解析モデルを改良中



**TBMシステムの最終設計承認に必要な安全実証試験を着実に実施**

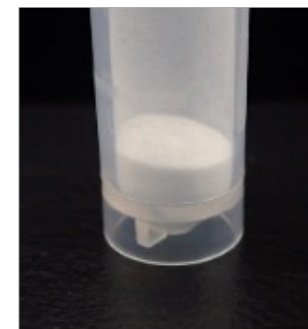
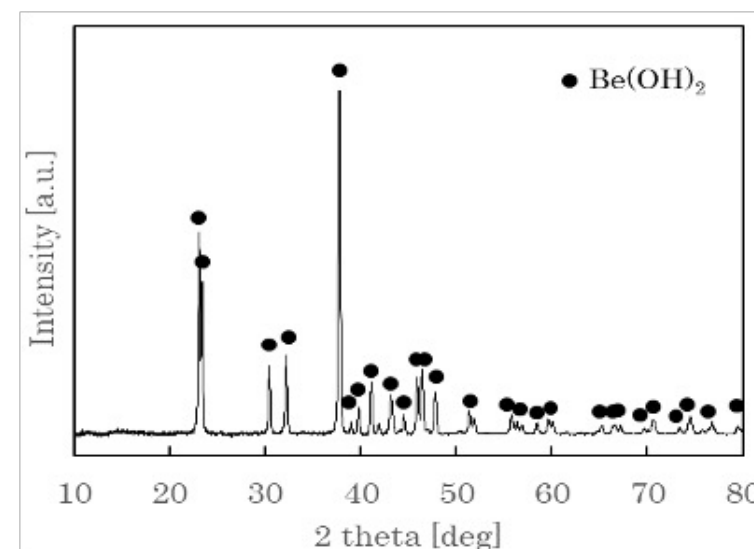
### ● リチウム(Li)回収技術の進捗

- ✓ Li濃度に影響されない**Li回収速度評価法**（全還流モデル）を確立
- ✓ **リチウム6濃縮**では、カスケードシステムの分離係数を電圧印加方式の工夫により、1.04→1.08へ改善する分離条件を確立



### ● 低温精製技術開発の進捗

- ✓ Be実鉱石の溶解液から単相の水酸化Beの回収に成功
- ✓ 青森県重点事業「地域発省エネ・脱炭素技術による産業創出事業」で、**青森県における産業立地に向けた検討を推進**



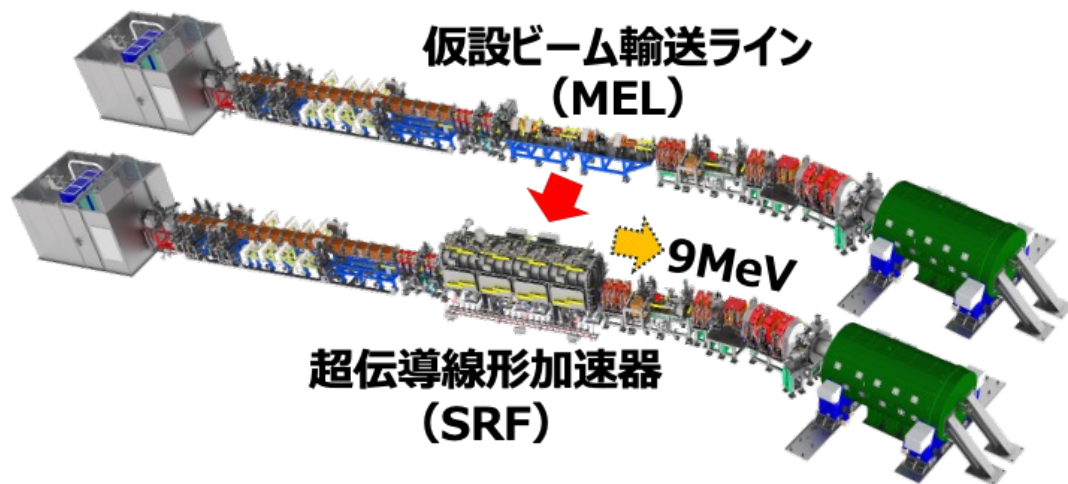
回収Be(OH)<sub>2</sub>粉末

実鉱石から回収の水酸化ベリリウム粉末

**QST認定ベンチャー（LiSTieおよびMiRESSO）と連携して技術開発を着実に推進**



- 9MeV加速に向けて超伝導高周波加速器(SRF)の搬入を完了



- 欧州の核融合中性子源IFMIF-DONES計画に日本も参加

技術目標：

- ① 核融合炉内の環境を模擬した十分な強度と照射量の中性子源を提供
- ② 核融合炉等の設計・許認可・建設・安全運転のための材料照射試験データを獲得

- 日本は10dpa及び20dpaのデータを取得予定





# フュージョンインフォマティクスセンターに向けた取組

## Activities toward a Fusion Informatics Center

### ● フュージョンインフォマティクスセンター

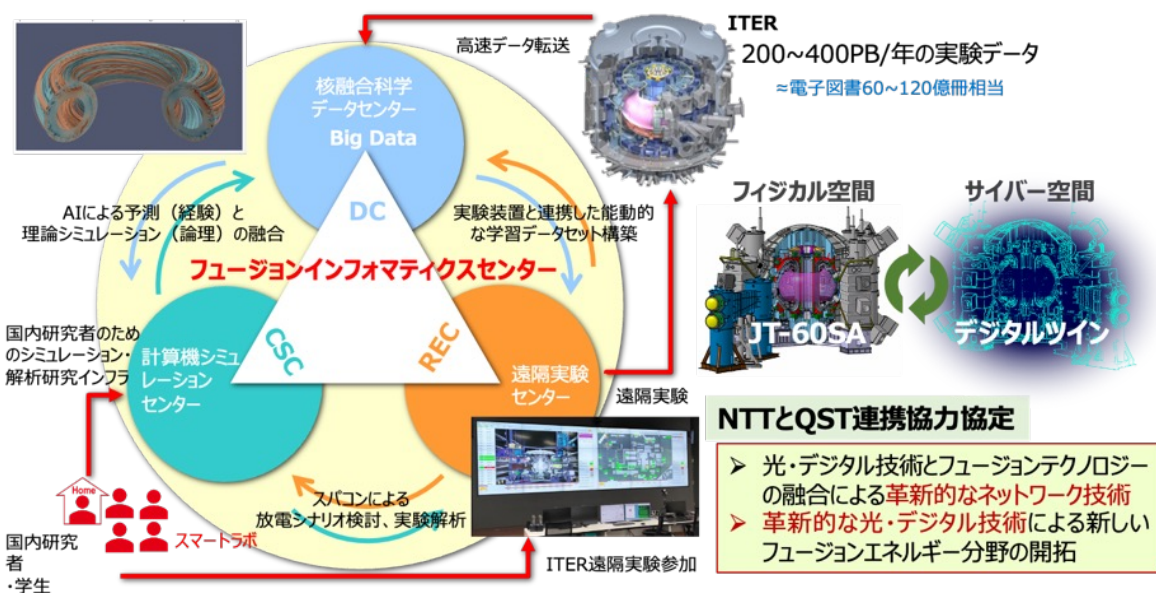
- ✓ ITER、JT-60SA等の実験データや**大規模シミュレーションデータ** (big data) とスーパーコンピュータ (データ駆動科学、理論シミュレーション) を活用し、プラズマ性能の解析研究・高精度予測を行う
- ✓ 計算機シミュレーションセンター、遠隔実験センター、核融合科学データセンターを統合

### ● 3代目となるスーパーコンピュータの運用開始

- ✓ 核融合科学研究所(NIFS)と共同で調達
- ✓ 総理論演算性能は先代の約10倍の性能 (約40.4ペタフロップス)

### ● 核融合プラズマの遠隔リアルタイム予測制御を実証

- ✓ 世界で初めて、約1,000km離れた**スーパーコンピュータ上のデジタルツイン**を用い、核融合実験プラズマを**遠隔リアルタイム制御**することに成功
- ✓ 計測していない物理量をデジタルツインで予測して制御
- ✓ 京大、NIFS、統計数理研との共同成果

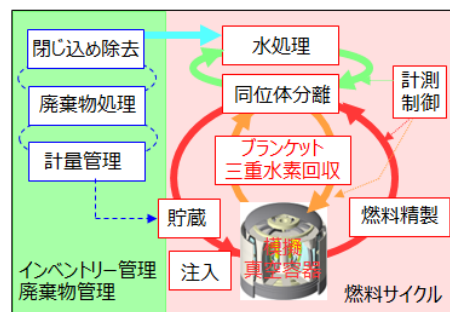


# 燃料サイクルシステムの取組：燃料システム安全試験施設

## Activities on fuel cycle system: Fuel system safety test facility

### ● 燃料システム安全試験施設

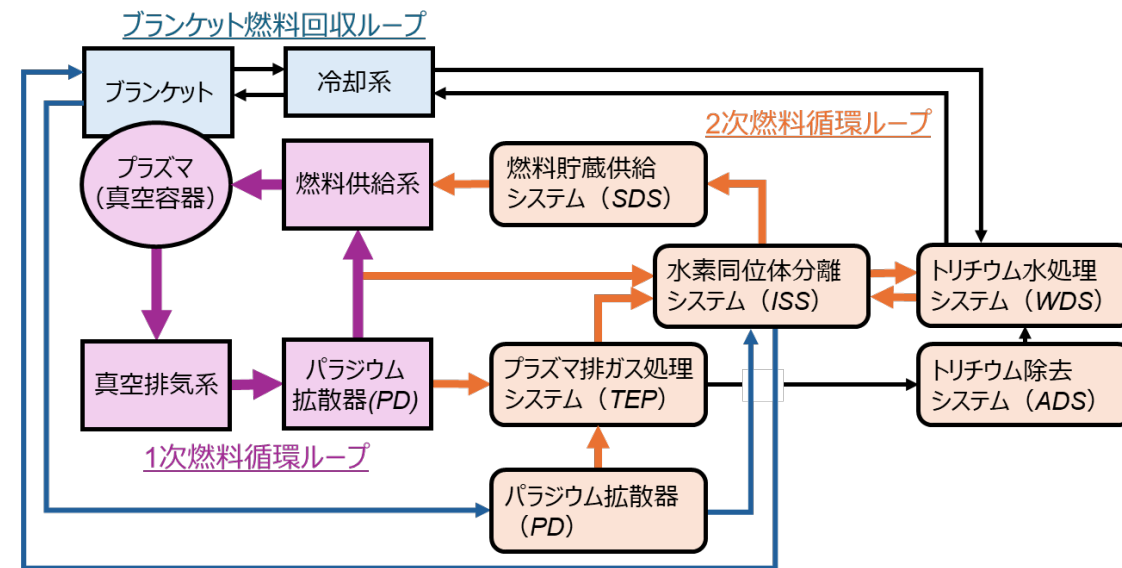
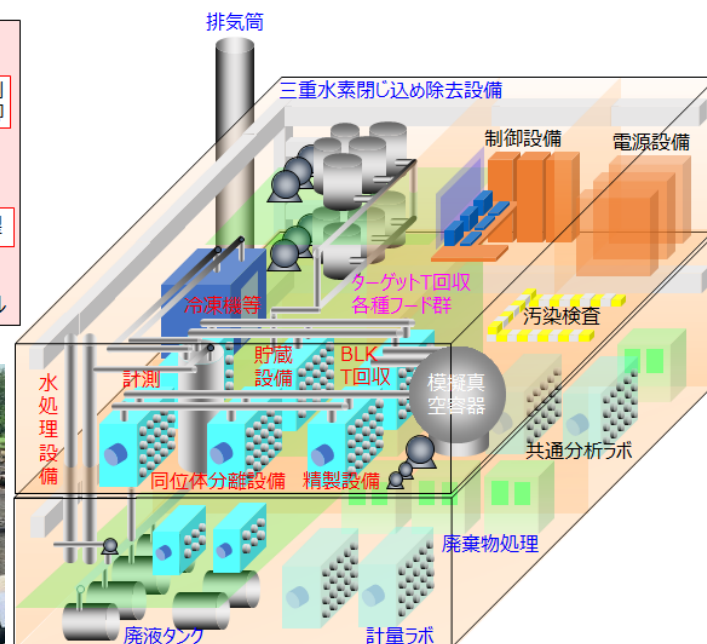
- ✓ 原型炉の燃料サイクルシステム向けに、これまで経験がほとんどない高濃度三重水素（トリチウム）水処理システムの実証やDT混合燃料ペレット製造技術の検証を行う必要がある。
- ✓ 原型炉の法整備のためにも、トリチウムの取扱技術を早期に蓄積することが重要



設備概念



埋蔵文化財調査の様子



- ✓ 燃料システム安全試験施設の建屋概念を構築
- ✓ 用地の埋蔵文化財調査、施設建屋建設地のボーリング調査実施
- ✓ 今後、実施設計、建設を経て、フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点の施設として運用



ご清聴、有難うございました。

