

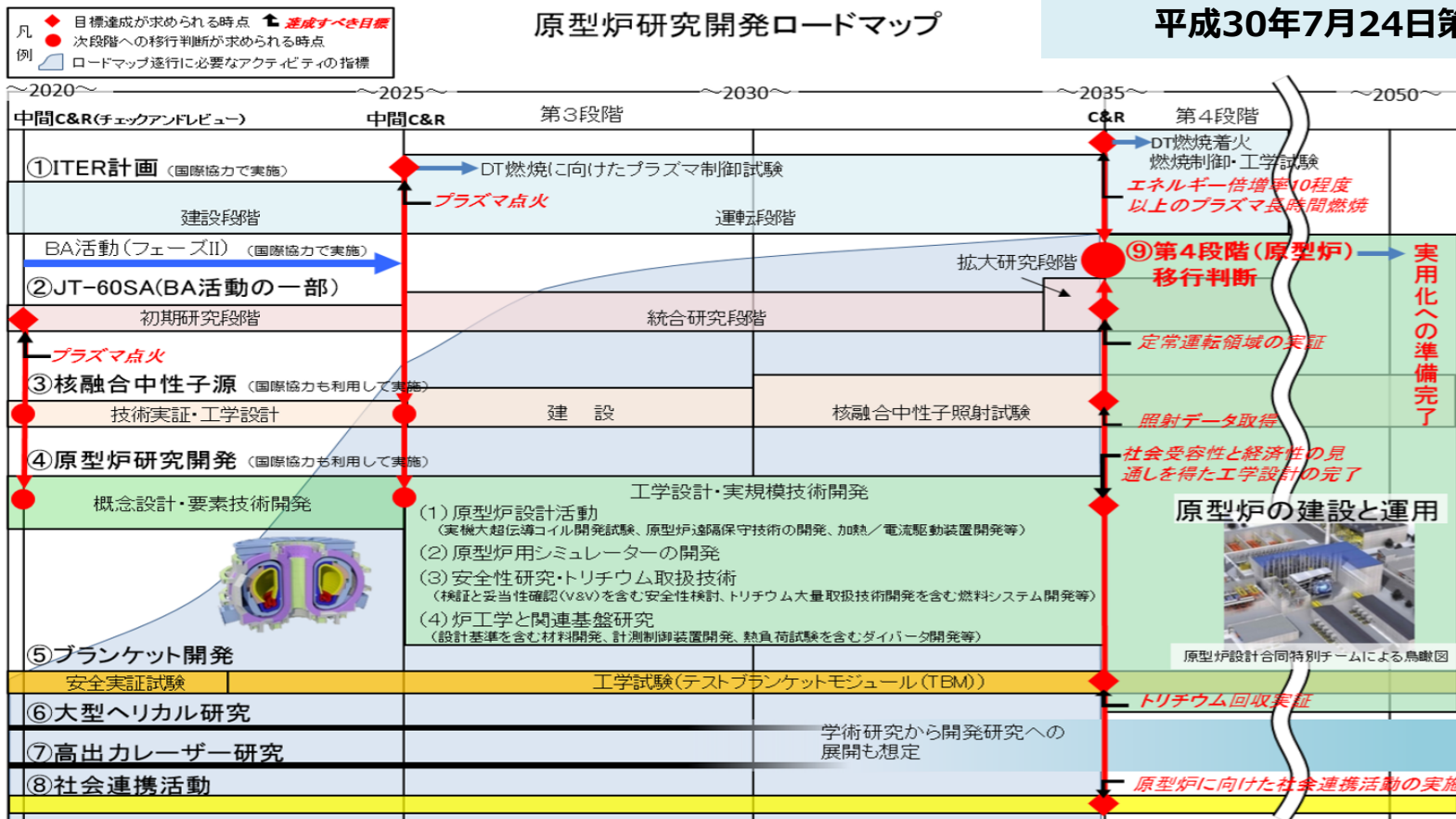
# 原型炉実現に向けた基盤整備の加速(案)

量子科学技術研究開発機構

○「核融合原型炉研究開発の推進に向けて」に記載されている、「原型炉に求められる基本概念」で定められた「**原型炉の目標**」に見通しを得るため

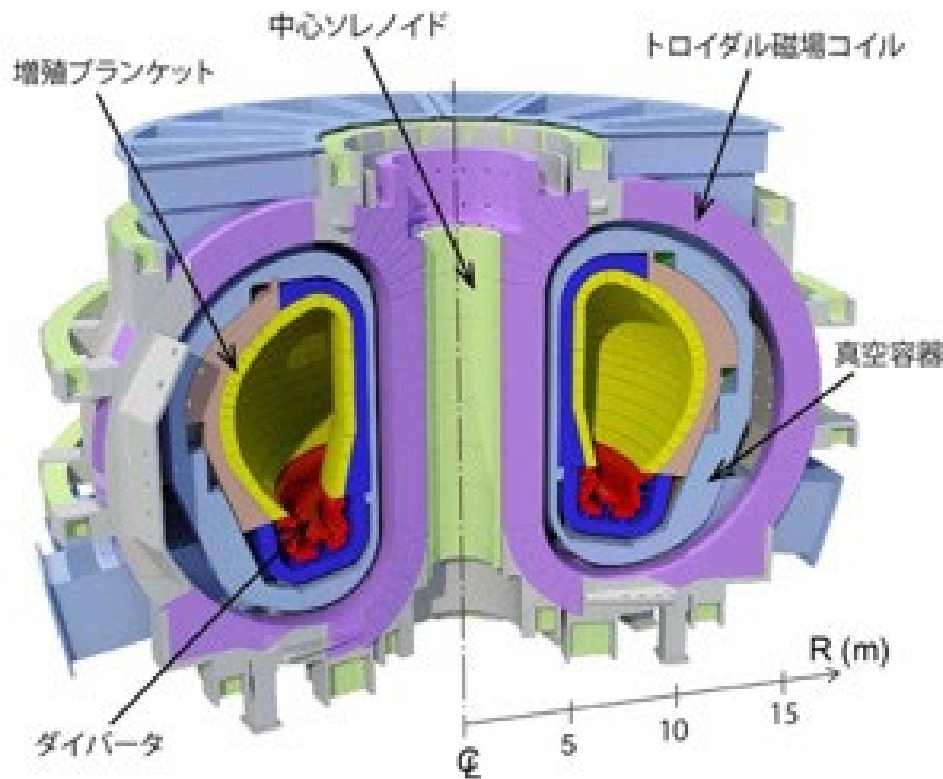
- ITER計画やBA活動の人材や技術をベースにした**全日本体制での概念設計**
- 原型炉実現に向けた基盤整備事業も活用した**要素技術の開発**を推進。

文科省核融合科学技術委員会  
平成30年7月24日策定



# 電気出力、稼働率、燃料の自己充足性 に見通しを得る原型炉概念設計を実施

- 主要機器であるトロイダル磁場コイル、増殖ブランケット、ダイバータについては、ITERの技術に基づいて設計
- ITERにない技術については、産業界の発電プラント技術及び運転経験並びに大学等による新たなアイデアを取り入れて設計
- 炉心プラズマについては、ITER及びJT-60SAで想定される成果に基づいて設計



|           |         |
|-----------|---------|
| 核融合出力     | 150 万kW |
| 有効熱出力     | 187 万kW |
| 発電端出力     | 約64 万kW |
| 循環・所内電力   | 約39 万kW |
| 正味（送電端）出力 | 約25 万kW |

概念設計に基づく要素技術の開発を推進中。

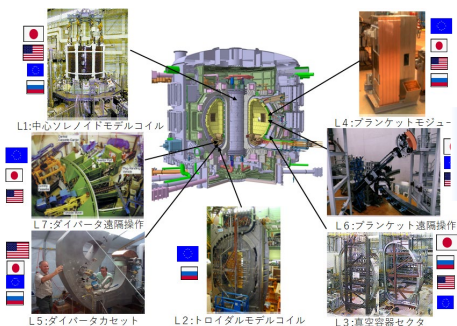
| AP項目            | 研究開発項目                          | 取組み状況   |
|-----------------|---------------------------------|---|
| 0. 炉設計          | 概念設計及び機器・設備の製作性検討と開発項目の抽出       | 原型炉概念の統合設計に向けて、トカマク複合建屋内の機器・設備の検討と配置設計を実施中。また、概念改良によりさらなる加速を仮定した際の得失についても検討の範囲に含めようとしている。                               |
| 1. 超伝導コイル       | 矩形導体機械試験                        | 製作コスト低減オプションの有力候補である矩形導体レイヤー巻概念成立性の鍵となる「2段曲率導体」による応力低減効果を検証するため、2段曲率のダミー導体を試作し機械試験を実施予定                                 |
| 7. 燃料システム       | 大量トリチウム取扱施設に関する技術・設計検討          | 数10グラム規模のトリチウムが使用できる大量トリチウム取扱施設の建設を目指し、過去の地質調査に基づく候補地の選定と許認可に対応する建屋の概念設計に着手   |
| 8. 核融合炉材料と規格・基準 | A-FNSの加速器・照射モジュール・試験施設等に関する工学設計 | A-FNS加速器の高エネルギービーム輸送系の真空設計の確立を目的として、リチウムループとビーム輸送系の模擬試験装置を用いた真空実験を実施中。A-FNS試験施設の試験セル壁構造体の核熱設計、遮蔽設計、中性子利用を考慮した試験施設設計を実施中 |
|                 | 核融合炉構造材料の標準化活動                  | 低放射化フェライト鋼F82Hの標準化に向けたデータ拡充を進めるとともに、製作技術の信頼性評価の一環として、同一事業者・同一調達仕様による試作を通じた繰り返し性(Repeatability)評価に着手                     |
|                 | 構造規格に関する予備検討                    | 構造規格の策定に向けたQST体制を構築し、予備検討に必要な真空容器の構造概念設計を実施中  |
| 10. 稼働率と保守      | 保守・保全計画の検討                      | 保守・保全計画を検討するためのQST体制を構築し、原型炉の保守・保全計画における課題と対策の検討に着手   |

| AP項目           | 研究開発項目               | 取組み状況   |      |
|----------------|----------------------|---|------|
| 0. 炉設計         | 小規模技術開発              | ダイバータ冷却ユニットに関するR&Dを実施予定(仕様調整中)  | 競争入札 |
| 1. 超伝導コイル      | 高強度構造材料の試作・試験        | 候補組成の小溶解材の試作及び極低温での機械試験を実施予定(仕様調整中)   | 競争入札 |
|                | 超伝導導体の試作・試験          | 高強度超伝導線材の試作および極低温での特性試験、短ピッチ撚線成形試験を実施予定(仕様調整中)  | 確認公募 |
| 2. ブランケット      | ブランケット・リミターシステムの概念設計 | 円筒型ブランケットの構造設計、遠隔機器と整合するリミター構造概念を実施予定(公告手続中)  | 競争入札 |
| 3. ダイバータ       | 定常高密度プラズマ実験装置に関する検討  | ダイバータシミュレーションコードを用いた感度解析等に基づくダイバータ級定常高密度プラズマ実験装置の検討、非接触プラズマデータ取得、物理モデル高度化を実施予定(公募手続中) | 確認公募 |
| 4. 加熱・電流駆動システム | 原型炉用高周波負イオン源の開発      | 数十キロワット級のフィラメントアーク放電及びRF放電の負イオン源において、低ガス圧放電の放電特性、負イオンビームの発散角の計測および評価を実施予定(公募手続中)      | 確認公募 |
| 9. 安全性         | 安全性評価コードの開発          | 通常運転時に原型炉から放出される微量トリチウムの環境中での拡散を評価するコードの開発、合理的な計測手法の開発等を実施予定(公募手続中)                   | 確認公募 |
| 11. 計測・制御      | 原型炉に向けた計測器の検討・開発     | 原型炉のための線積分トムソン散乱法の開発研究を実施予定(公募手続中)  | 確認公募 |

# ITER計画とBA活動の成果を最大限活用して 原型炉に向けた研究開発に取り組んでいる

## 工学R&D

ITER建設に必要な  
要素技術の蓄積



## 実験炉

核融合燃焼の実証

**ITER計画** 熱出力:  
50万kW

● TBM計画 (ITER利用計画)

## 原型炉

発電の実証

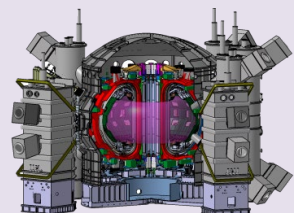
熱出力:~150万kW

電気出力:数十万kW



● 幅広いアプローチ活動

【茨城 那珂研】



サライト・トマク計画事業  
(JT-60SA)

【青森 六ヶ所研】



IFERC事業  
原型炉設計  
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

ITER計画/BA活動で得られた  
知見に加え、原型炉工学設計・  
実規模技術開発フェーズにおけ  
る工学R&Dが不可欠

IFERC:

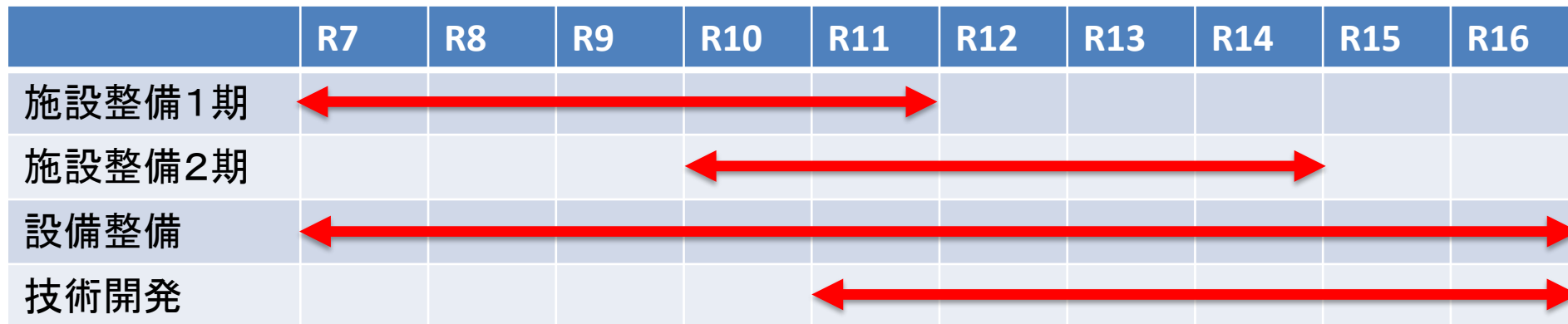
国際核融合エネルギー研究センター

IFMIF/EVEDA:

国際核融合材料照射施設/工学実証・工学設計活動

- **フュージョンエネルギー・イノベーション戦略で掲げられた産業化も考慮しつつ、ITERと原型炉の間にある技術的ギャップを早期に解消するため、工学設計・実規模技術開発フェーズにおけるR&Dを加速する必要がある。**
- **R&Dの加速により、ITER計画やBA活動で得られた日本の技術や人材を、散逸せずに原型炉研究開発に継承することが可能。**
- **原型炉建設に必要な技術開発と施設・設備については「原型炉開発に向けたアクションプラン」に纏められている。ITER計画やBA活動で培った技術と経験や国内外の施設・設備の現状も踏まえて、QSTに整備すべきと考える施設・設備は以下の通り。**
  - ◆ トリチウム大量取扱施設
  - ◆ ブランケット試験施設（ホット施設・コールド施設）
  - ◆ 大規模遠隔保守・炉内機器保守技術開発施設
  - ◆ ビーム加熱・高周波加熱装置試験施設
  - ◆ 中性子照射施設
  - ◆ 超伝導機器試験施設
  - ◆ ダイバーク試験施設

など



○ 大規模施設・設備の整備には時間を要することから、**早急に着手することが必要**。

○ 施設整備1期の概要

- ◆ トリチウム大量取扱施設の実施設計と建設
- ◆ ブランケット・コールド施設の実施設計と建設
- ◆ ブランケット・ホット施設の基本設計と実施設計
- ◆ 大規模保守技術開発施設の実施設計と建設
- ◆ 高周波加熱装置試験施設の基本・実施設計と建設
- ◆ 中性子照射施設の基本設計と実施設計
- ◆ 照射後試験施設の概念・基本・実施設計
- ◆ ダイバータ試験施設の基本・実施設計と建設
- ◆ 炉心プラズマ研究開発拠点の実施設計と一部建設

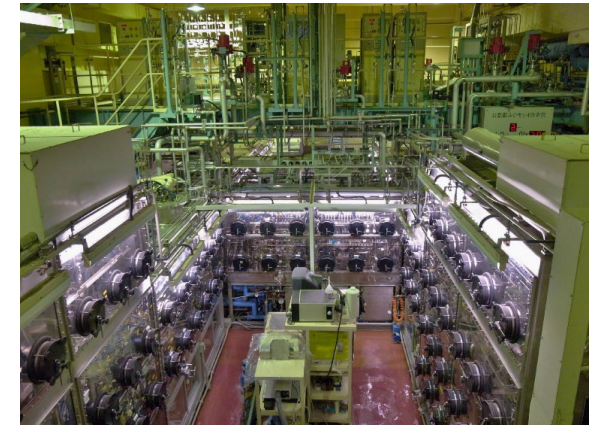
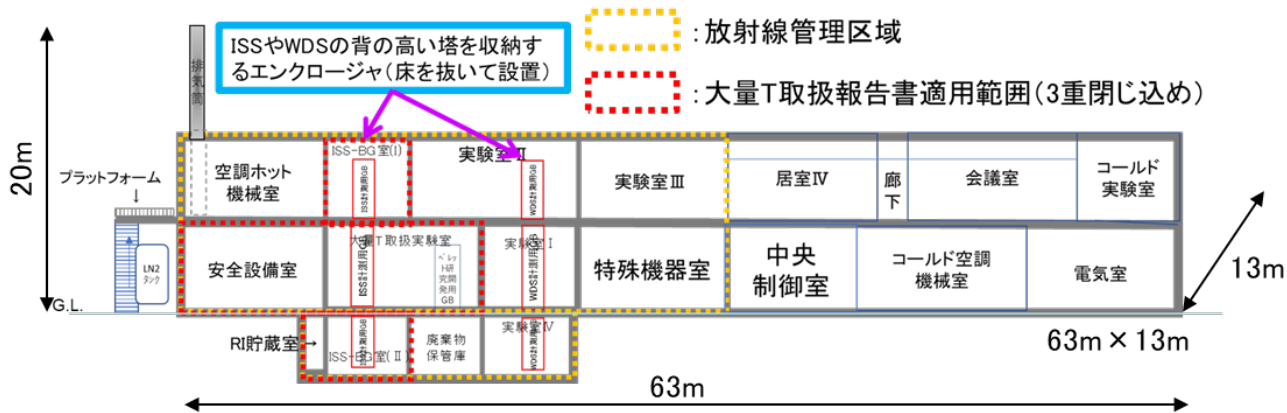
○ 施設整備2期の概要

- ◆ ブランケット・ホット施設の建設
- ◆ 中性子照射施設の建設
- ◆ 照射後試験施設の建設
- ◆ 炉心プラズマ研究開発拠点の建設



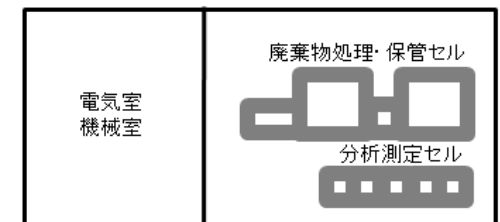
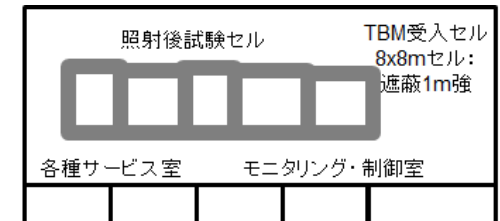
## ○ トリチウム大量取扱施設

- これまで経験がほとんどない高濃度トリチウム水処理システムの実証や燃料ペレット製造技術の検証など様々な技術検証が不可欠であるが、**国内に取扱施設はない**
- **原型炉の法整備のためにも、取扱技術を早期に蓄積することが急務**



## ○ ブランケット試験施設（ホット施設）

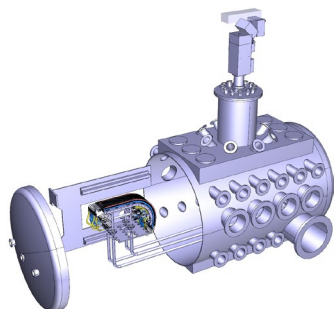
- **中性子照射施設で照射されたサブモジュールの照射後試験などに不可欠な施設**
- **発電と燃料生成を行うブランケット技術は、知財保護の観点だけでなく、経済安全保障の上でも、国内の試験施設で実施する必要がある**
- **ITERと原型炉の間にある技術的ギャップも大きく、実規模技術開発に早期に着手すべき**



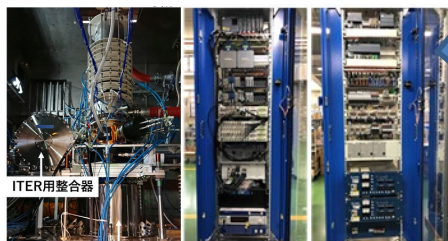
## 超伝導機器試験施設 (増強&新設)



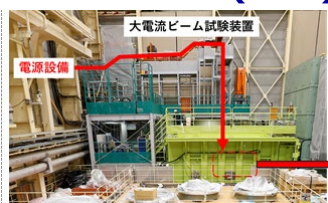
## プラズマ対向機器(ダイバータ)試験施設(増強)



## 高周波加熱装置試験施設(増強)



## 原型炉用ビーム加熱装置試験施設(新設)



## 炉心プラズマ研究開発拠点 (中央変電所更新)



## 計測装置研究開発拠点 (増強)



## 炉心プラズマ研究開発拠点 (共同研究棟新設)



## 六ヶ所研究所(土地の購入&拡張、電源設備の増強)



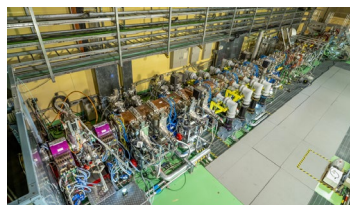
### 熱負荷試験装置(増強)



### 安全実証試験装置(増強)



### 原型加速器(LIPAc)を活用し 中性子照射施設を新設



### 新設するコールド試験施設

- ① 大規模遠隔保守技術開発施設
- ② 炉内機器用保守技術開発施設
- ③ ブランケットコールド試験施設
- ④ Li回収・レアメタル精錬・水素触媒等研究施設

現在の敷地

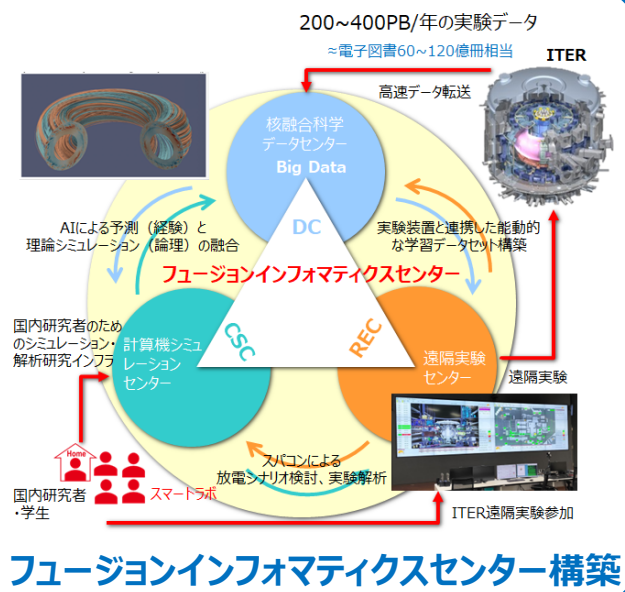
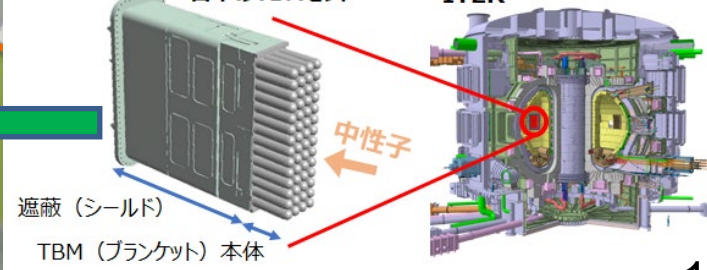
拡張部分

### 新設するホット試験施設

- ① トリチウム大量取扱施設
- ② ブランケット照射後試験施設  
(廃棄物保管施設含む)

日本のTBMセット

ITER



- 中国では、大規模試験施設群「CRAFT」の建設を進めるなど、核融合の要素技術の獲得に向けた大規模試験を既に開始
- 英国では、2040年までに原型炉相当のSTEPを建設する計画に着手

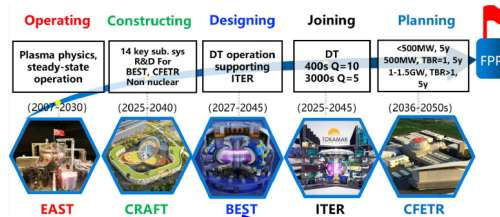
**国際協力を視野に入れつつも、国際競争の観点から日本の優位性を確保することが重要**

第33回原型炉開発総合戦略  
タスクフォース配布資料より

## 各国におけるフュージョンエネルギーに関する最近の取組

### <中国>

- ▶ 2050年代の発電実証に向け、圧倒的な予算を投じ、政府主導で計画を進めている。
- ▶ 2023年12月、核融合技術開発に焦点を当てた、国営企業25社によるコンソーシアム「中国核融合エネルギー社」を設立。

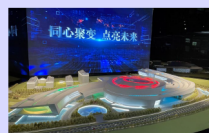


核融合の要素技術を獲得するための大規模試験施設群「CRAFT」を2019年に建設開始し、2025年の完成を見込む。既に14の建屋があり、核融合に必要な機器ごとに大規模試験を実施。土地・建屋の資金については地元自治体が、試験設備は国が負担。



ITERに先立ってDT運転を行うトカマク型核融合実験炉「BEST」を2023年に建設開始し、2027年に運転開始を見込む。

ITER完成までの間、DT運転を行う装置は中国にしかなく、核融合の実現に必要な人材を世界中から招聘する計画。



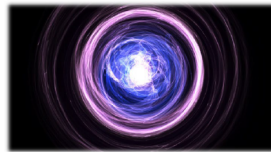
## 各国におけるフュージョンエネルギーに関する最近の取組

### <英国>

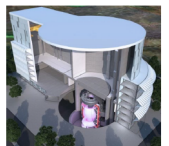
- ▶ 2023年10月、2021年に策定した戦略を更新。
- ▶ 2040年までに、原型炉に相当するSTEP (Spherical Tokamak for Energy Production) を建設するため、実施主体 UKIFS (UK Industrial Fusion Solutions) を設立。建設地を選定するとともに、2024年までの予算として、2.4億ポンドを措置。
- ▶ 原子力施設(核分裂)の規制を核融合施設には適用しない旨を記載する法律が2023年10月26日に成立。今後、規制の枠組みの構築に向けて、専門家とともに、フュージョン特有のガイドライン、規制の大綱、損害賠償、輸出管理等を含む、ワークプログラムを制定する予定。
- ▶ EURATOM(欧州原子力共同体)からの離脱とともに、2027年まで6.5億ポンドの予算パッケージを公表。

- up to £200 million for a Fuel Cycle Testing Facility
- up to £200 million for vital R&D
- up to £50 million for growing and improving the Culham campus
- up to £55 million for a Fusion Skills Programme
- up to £35 million additional funding for the Fusion Industry Programme
- up to £25 million to enhance international collaborations
- up to £18 million for a Technology Transfer Hub
- up to £11 million to further support the STEP programme

Towards Fusion Energy 2023  
The next stage of the UK's fusion energy strategy



October 2023



STEP概念図



建設予定地  
ウエストバートン火力発電所跡地

- ITERと原型炉の間にある技術的ギャップを早期に解消するため、**工学設計・実規模技術開発フェーズにおけるR&Dを加速する必要がある。**
- ロードマップやアクションプランに沿って研究開発を進めるためには、世界の状況も考慮して**工学設計・実規模技術開発フェーズで必要となる試験施設・設備の整備に早急に着手することが必要。**これにより、ITER計画やBA活動で得られた日本の技術や人材を、散逸する前に原型炉研究開発に継承することが可能。
- 試験施設・設備は、QSTにおける研究開発で使用するだけでなく、フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点として産業界への供用も視野に入れており、**産業界におけるイノベーション創出やトカマク以外の方式の研究開発にも貢献可能。**その結果として、フュージョンテクノロジーの産業化、フュージョンインダストリーの育成、原型炉の建設コスト低減に繋がる可能性がある。
- アカデミアや産業界の人材を結集した全日本体制の構築とともに、**QST人員の拡大を図ることが必要。**