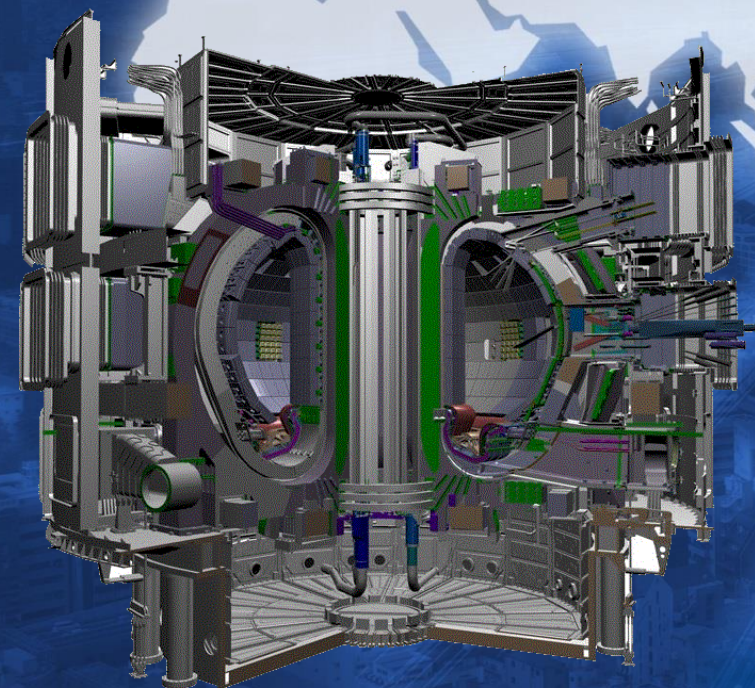
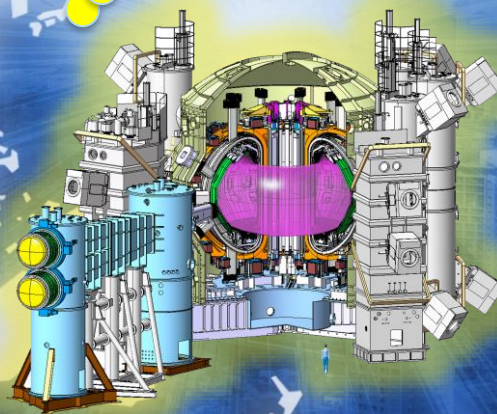


フュージョンエネルギー開発の 現状と展望

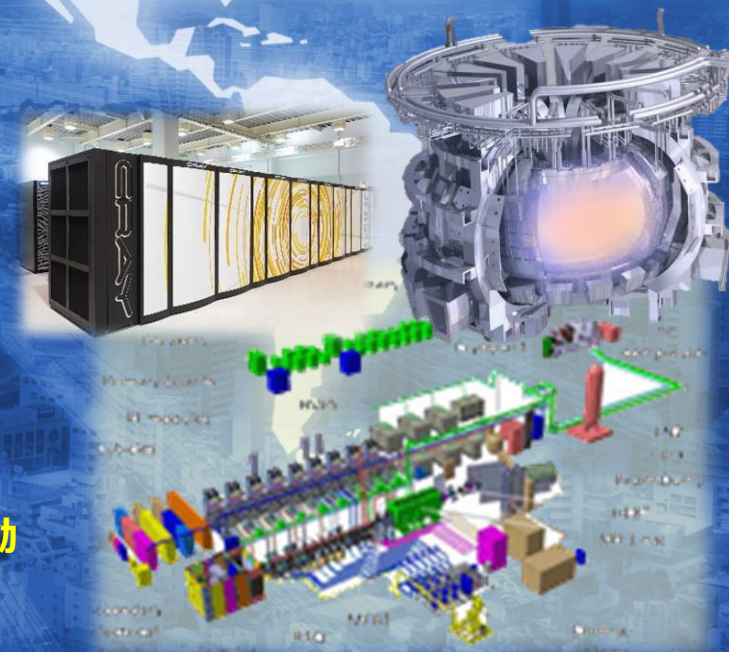


ITER計画



BA活動

幅広いアプローチ活動



石田 真一

量子科学技術研究開発機構
量子エネルギー部門

試験装置 科学的実現性

JT-60



- 臨界プラズマ条件の達成
- 5.2億度のプラズマ温度達成

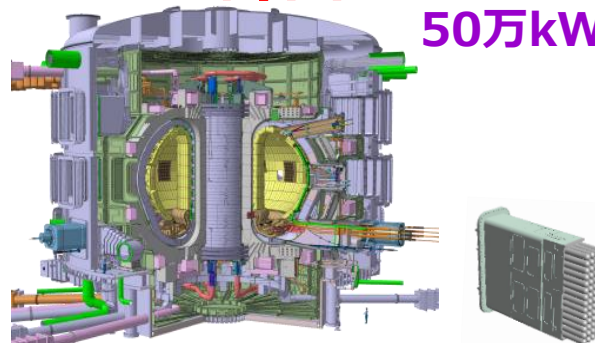
実験炉 核融合燃烧の実証

ITER計画

熱出力:
50万kW



【フランス】



- TBM計画 (ITER利用計画)

原型炉 発電の実証

電気出力:数十万kW



- A-FNS計画 (材料照射施設)



幅広いアプローチ活動

【茨城 那珂研】

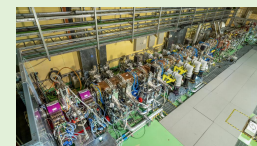


サテライト・トマク計画事業
(JT-60SA)

【青森 六ヶ所研】



IFERC事業
原型炉設計
スーパーコンピューター
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

IFERC:

国際核融合エネルギー研究センター

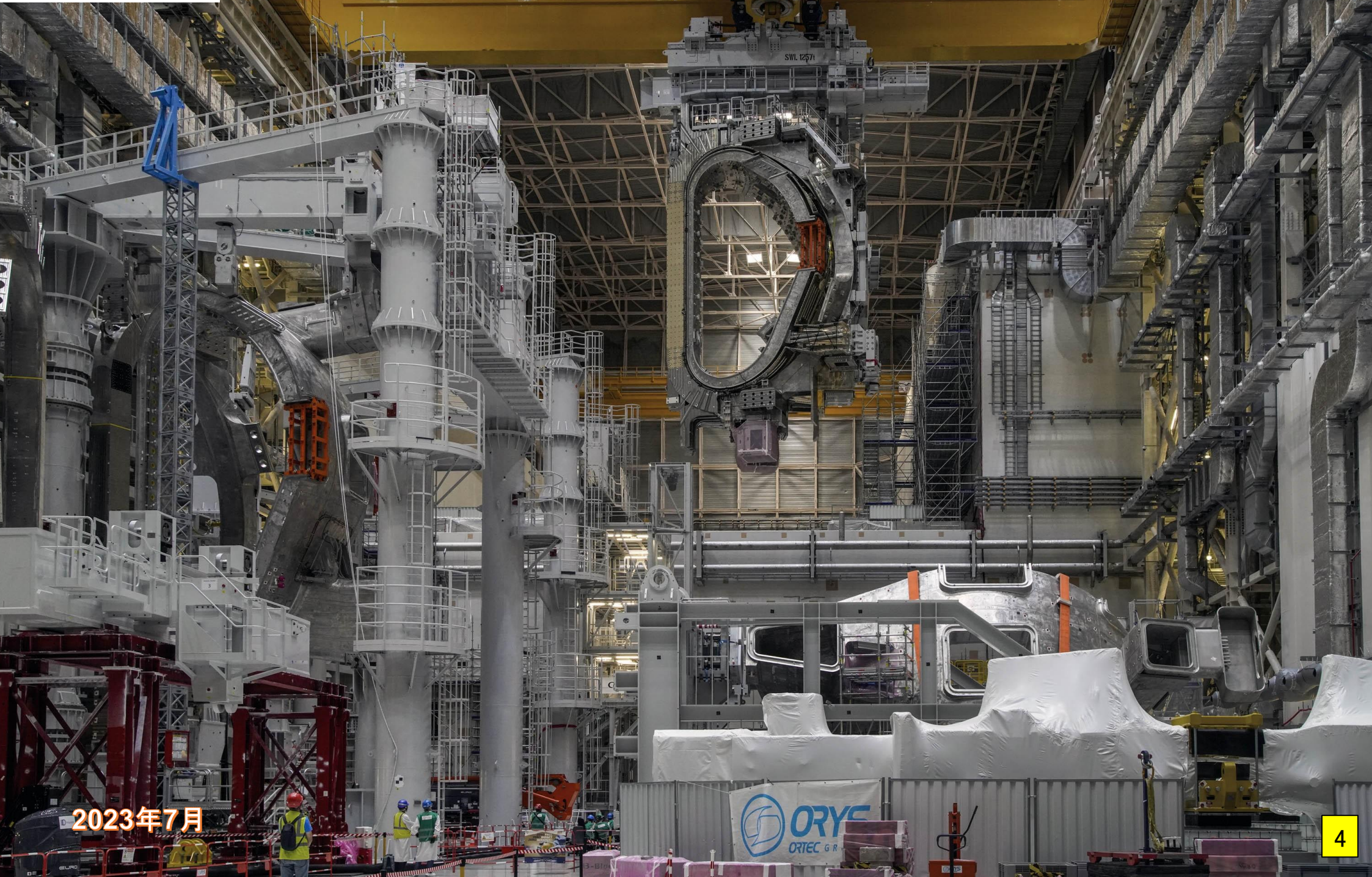
IFMIF/EVEDA:

国際核融合材料照射施設/工学実証・工学設計活動

2007年建設開始・2009年ITER組立開始



本体組立建屋における組立作業

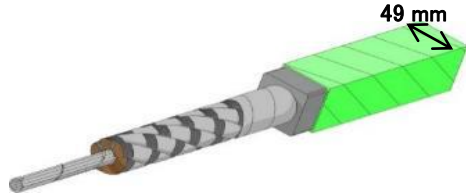


2023年7月

いずれも人類初、First of a Kindの頭文字を取ってFOAK機器と呼ぶハイテク機器

中心ソレノイド(CS)コイル(一部)

日本分担:CSコイル導体(全数)



トロイダル磁場(TF)コイル(一部)

日本分担: TFコイル導体

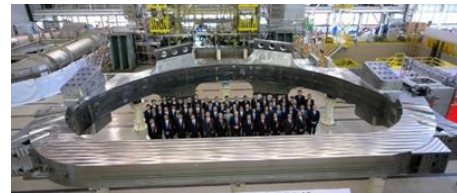
33導体(25%)

TF構造物

19機分(全数)

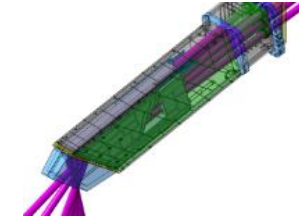
TFコイル巻線・一体化

9機分(47%)

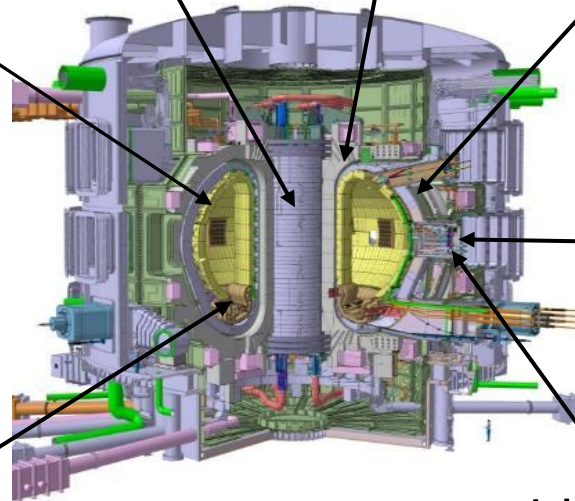
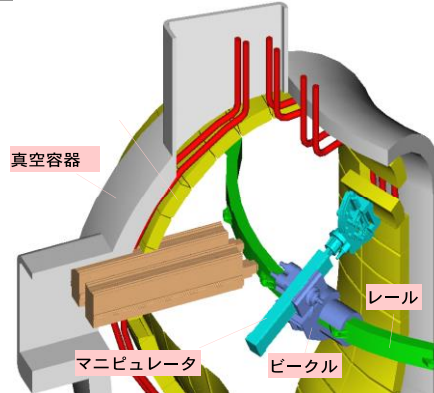


プラズマ計測装置(一部)

日本分担: 電子温度・密度計測、中性子計測など5つの計測装置(約15%)



ブランケット遠隔保守機器



高周波(EC)加熱装置(一部)

日本分担: ジャイロトロン8基(全体の1/3)、水平ランチャー(ポートプラグを含む)



ダイバータ外側ターゲット



トリチウムプラント(一部)

日本分担: トリチウム除去系



中性粒子入射加熱装置(一部)

日本分担:

1MV電源高電圧部 3機(全数)

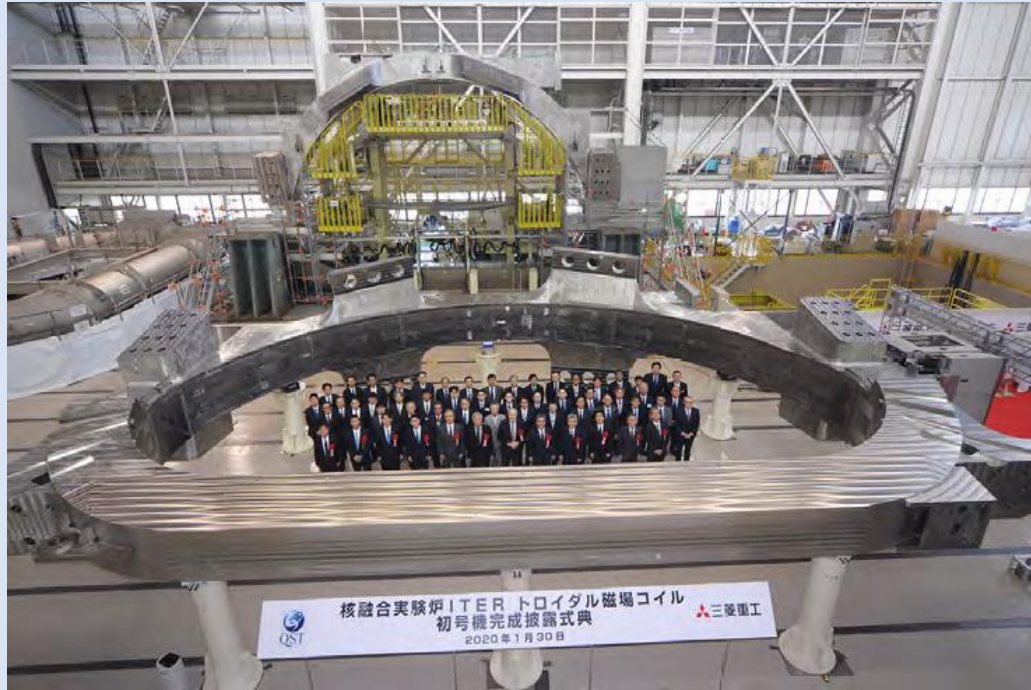
高圧ブッシング 3機(全数)

加速器 1機(33%)



QST 日本が分担するITER機器の製作状況

超伝導トロイダル磁場コイル：全9機を納入。
1mm以下の高精度加工を実現。



中心ソレノイドコイル導体：2018年3月に完了。

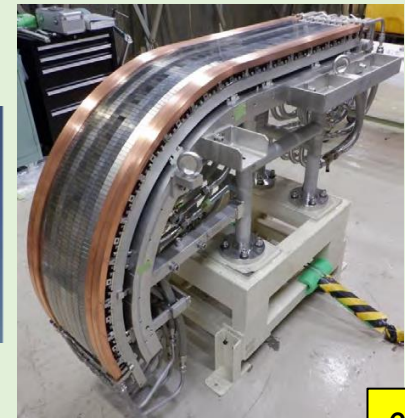
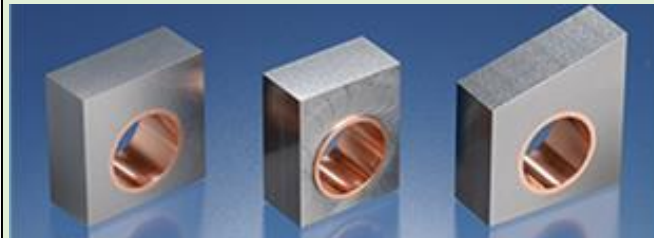
高周波加熱装置：ジャイロトロン全8機が完成。
うち7機まで1MW/300秒の性能実証。



中性粒子入射加熱装置：実機試験施設をイタリア・パドバのRFX研に建設。日本の高電圧電源機器は120万V耐電圧試験に合格。日本と欧州の電源機器の組合わせ試験を実施。



ダイバータ：～20MW/m²の高熱負荷に耐えるタングステンモノブロックを開発。実規模プロトタイプを製作するとともに、量産化ラインによる実機用材料の製造を開始。



JT-60SA研究の目的

(1) ITER目標達成のための先導的支援研究

ITER運転シナリオの最適化等をJT-60SAを用いて事前に実施し、ITERを支援

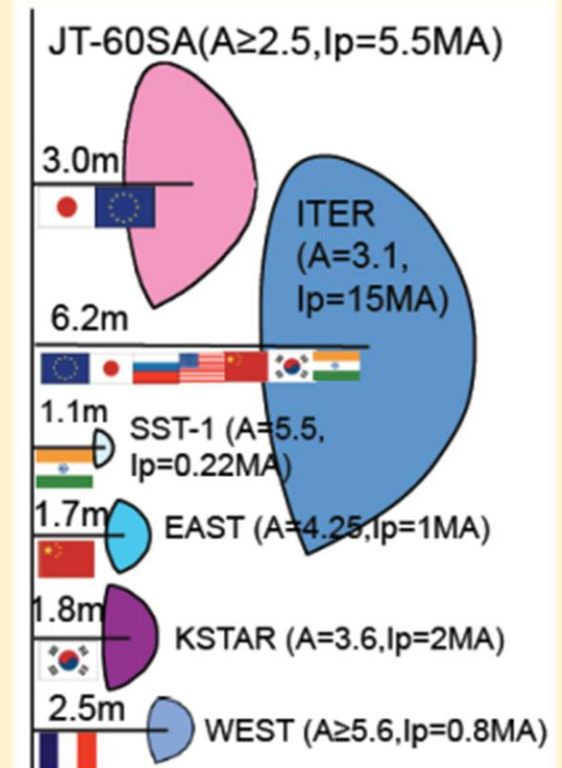
(2) 原型炉に向けた先端的運転手法の開発

経済性に優れる高圧力(β_N)プラズマの定常維持手法の開発でITERを補完

(3) 人材育成

ITERや原型炉を主導する人材の育成

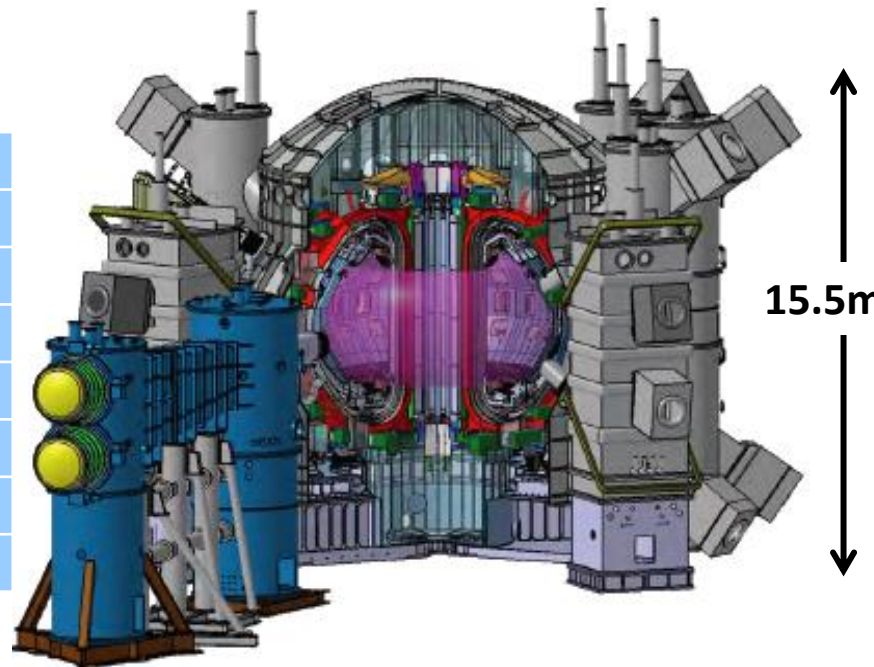
世界の装置との比較



ITERが完成する迄、
JT-60SAは世界最大の
超伝導トカマク

主要パラメータ

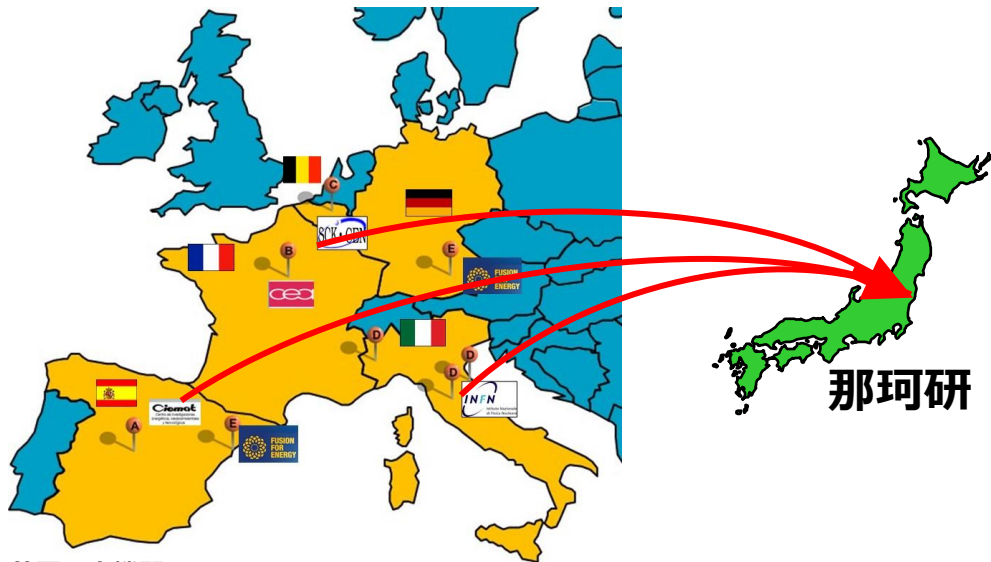
プラズマ電流	5.5 MA
トロイダル磁場	2.25 T
主半径	2.96 m
小半径	1.18 m
放電時間	100秒
プラズマ体積	131 m ³
加熱パワー	41 MW
規格化プラズマ圧力	3.1



【本体組立の経緯】

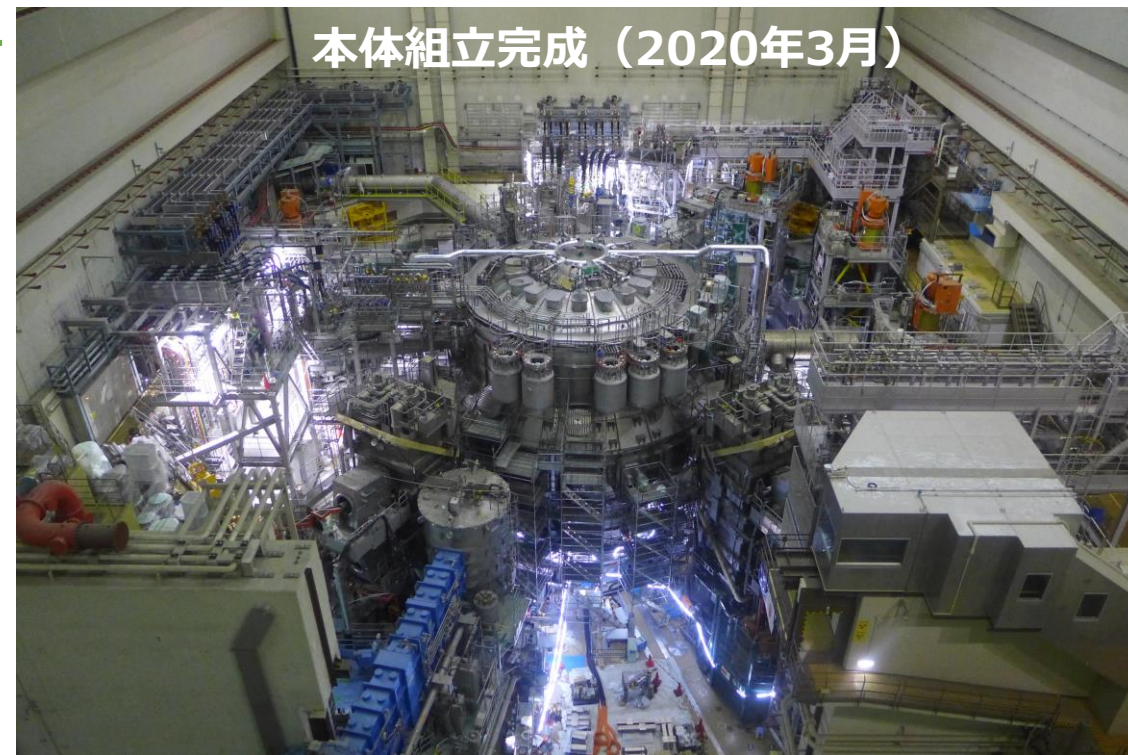


【欧州の研究機関から日本に機器搬入】



共同研究機関

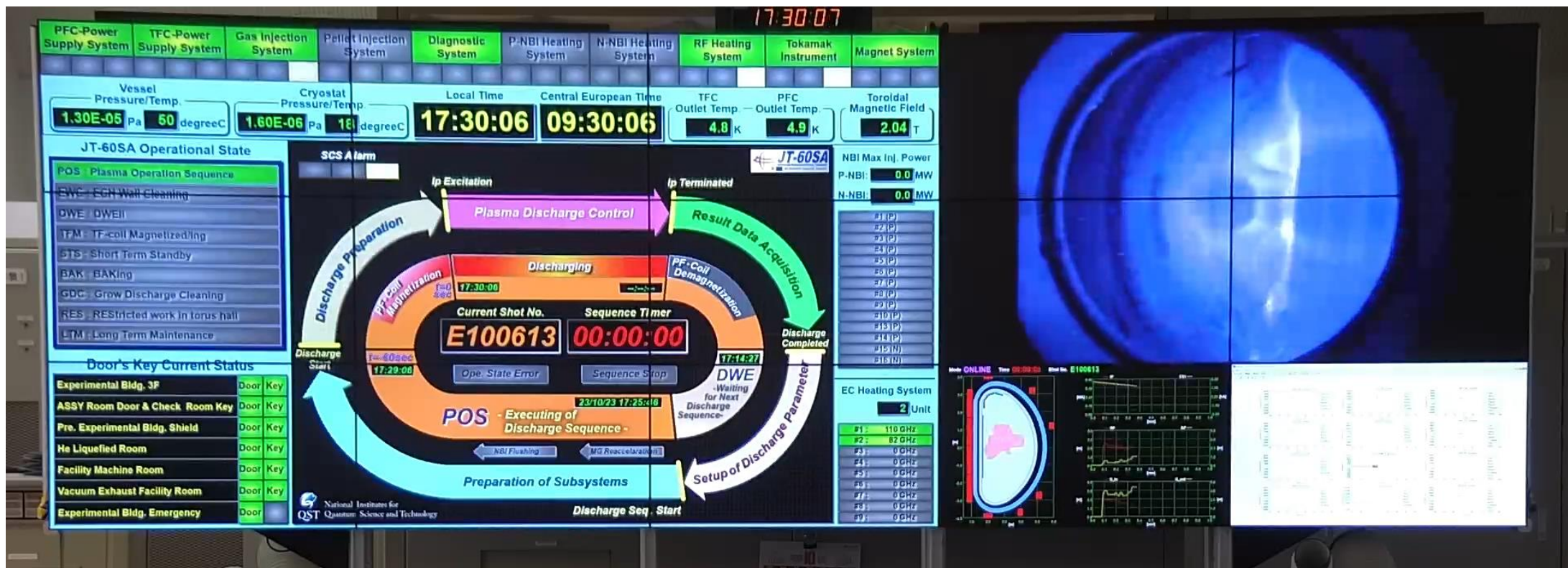
- A. CIEMAT (エネルギー・環境・科学技術研究センター (Madrid - Spain))
- B. CEA (原子力・代替エネルギー庁 (Saclay - France))
- C. CEN-SKN (原子力研究センター) (Mol - Belgium)
- D. INFNイタリア核物理学研究所 (Padova, Torino, Bologna -Italy)
- E. F4E (フージョン・フォア・エネルギー：欧州実施機関) (Garching - Germany, Barcelona - Spain HQ)



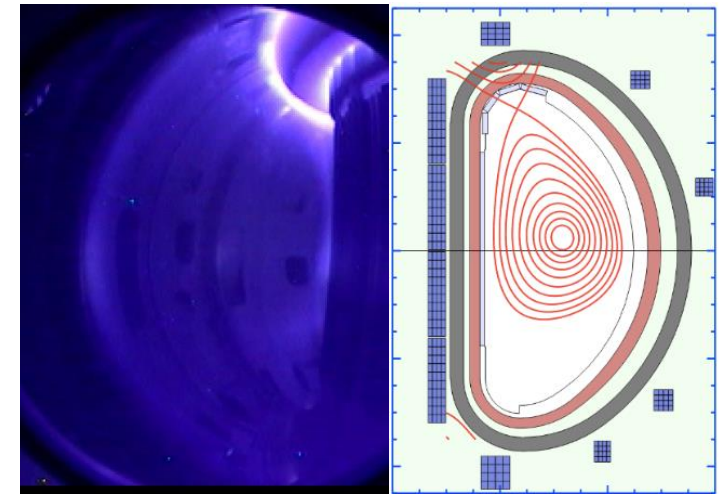
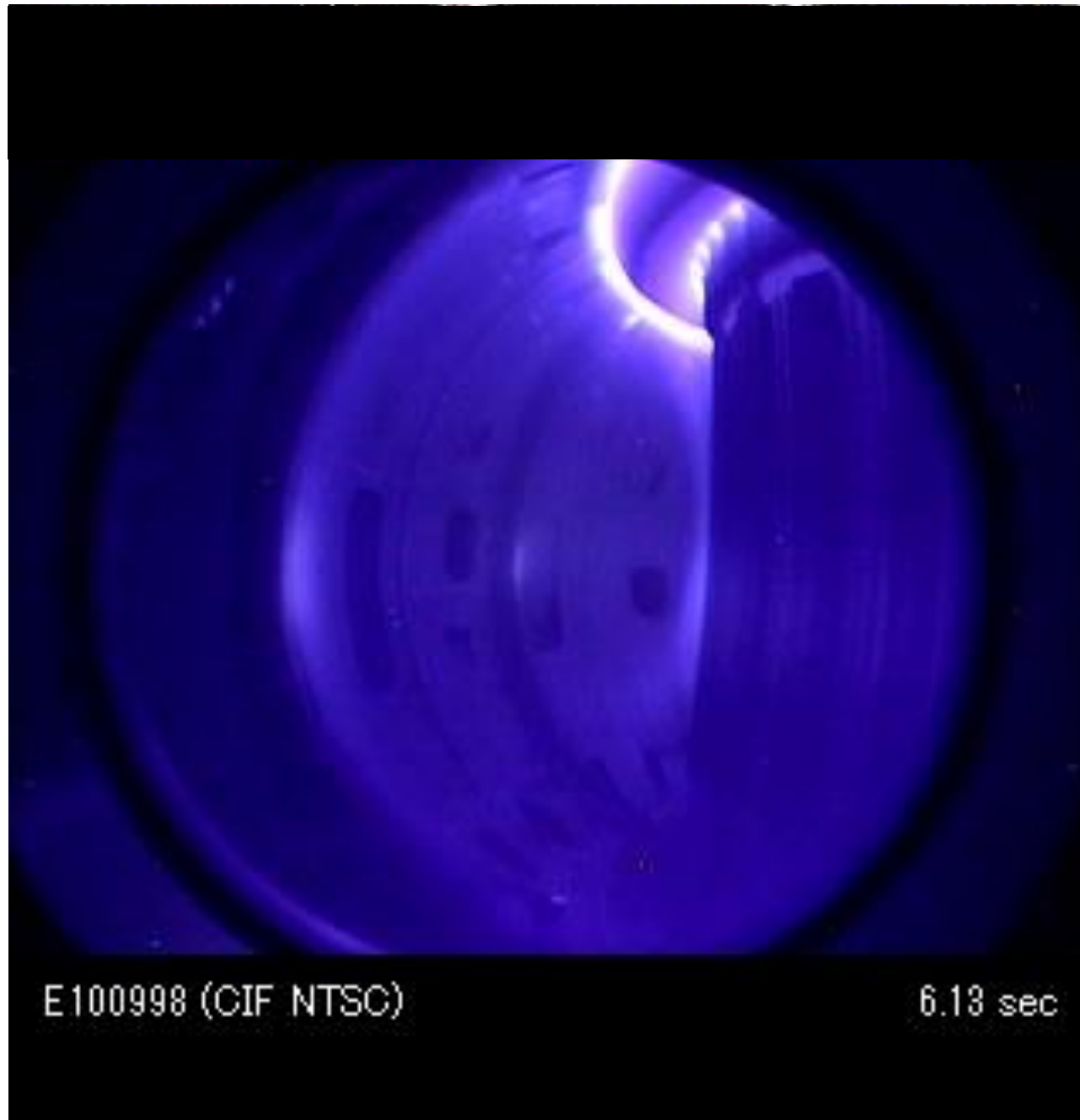
2021年3月：超伝導コイル電路接続部で絶縁不良発生
その後、超伝導コイルの絶縁補強作業実施

2023年5月末：統合試験運転再開

QST 10月23日、JT-60SAの初プラズマ生成に成功



- 2023年10月20日(金)より、コイル電流／電圧を制限しプラズマ生成試験を開始
- プラズマ電流を発生させるためのトロイダル方向の電圧が、設計値より低くなるため、ECHを重畳するとともに、生成時の磁場構造を調整
- 設計値 $\sim 0.5\text{V/m}$ に対し極めて低い $\sim 0.15\text{-}0.2\text{V/m}$ でプラズマ電流を発生させ、2023年10月23日(月)17時30分頃、初プラズマ生成に成功。



$I_p = 1.0 \text{ MA}$

$B_T = 2.04$

放電時間 11秒

フラットトップ 3秒 ;

$\bar{n}_e \sim 5 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$,

$T_e(0) \sim 1 \text{ keV}$ (速報値)

ECH :

82GHz 1sec、

110GHz 3.5sec

➡ 1.2 MAまで達成 !

QST 12月1日、JT-60SA運転開始記念式典を開催



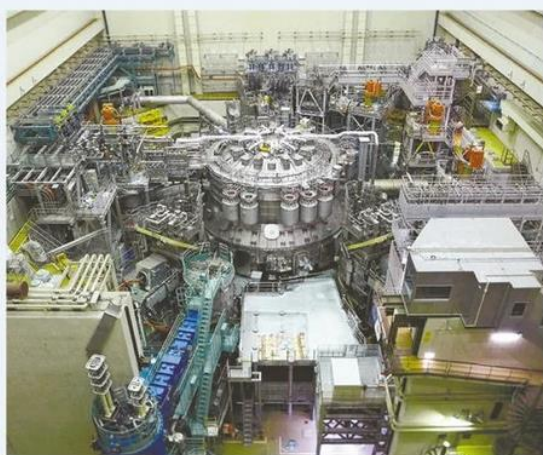
Youtube: JT-60SA 運転開始記念式典

次世代エネルギー「核融合発電」、実用化へ日欧が連携...脱炭素で高レベル放射性廃棄物もなし

(読売新聞 2023.12.1)

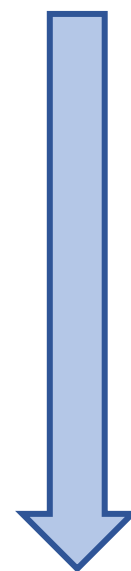
核融合に関する日欧共同声明のポイント

- ◆ 次世代の脱炭素電源の一つと位置づけ
- ◆ 日欧共同の実験装置「JT-60SA」を核融合炉の設計・建設に活用
- ◆ 若手研究者・技術者の訓練強化で将来人材を育成



茨城県にある核融合実験装置「JT-60SA」=量子科学技術研究開発機構提供

t=0 : 大臣による放電シーケンススタート



シムソン エネルギー担当
EUコミッショナー

盛山文部
科学大臣

高市科学技
術政策担当
大臣

日経新聞 2023.12.1

t=240秒 : 放電が開始され、約10秒間にわたるプラズマ生成(最大100万アンペア)をデモンストレーション



Youtube: JT-60SA 運転開始記念式典

QST JT-60SA International Fusion School

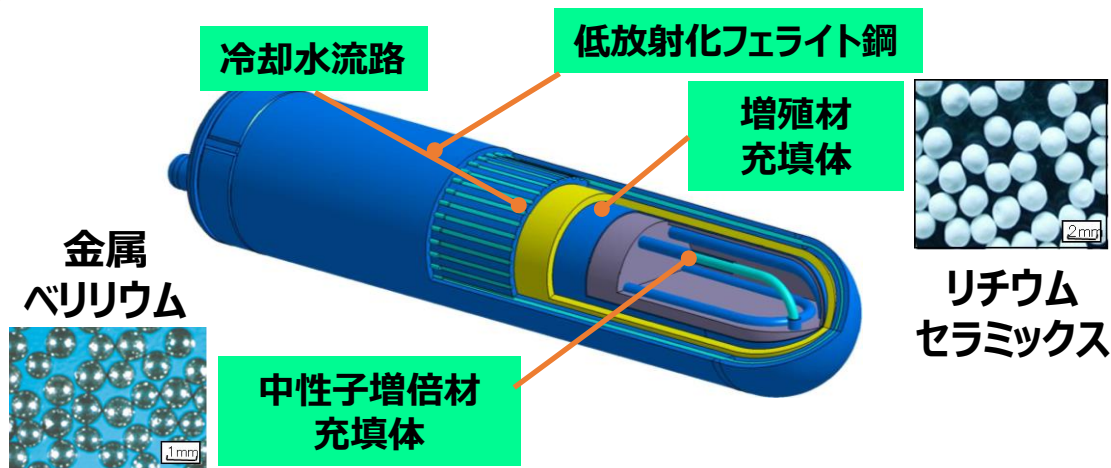
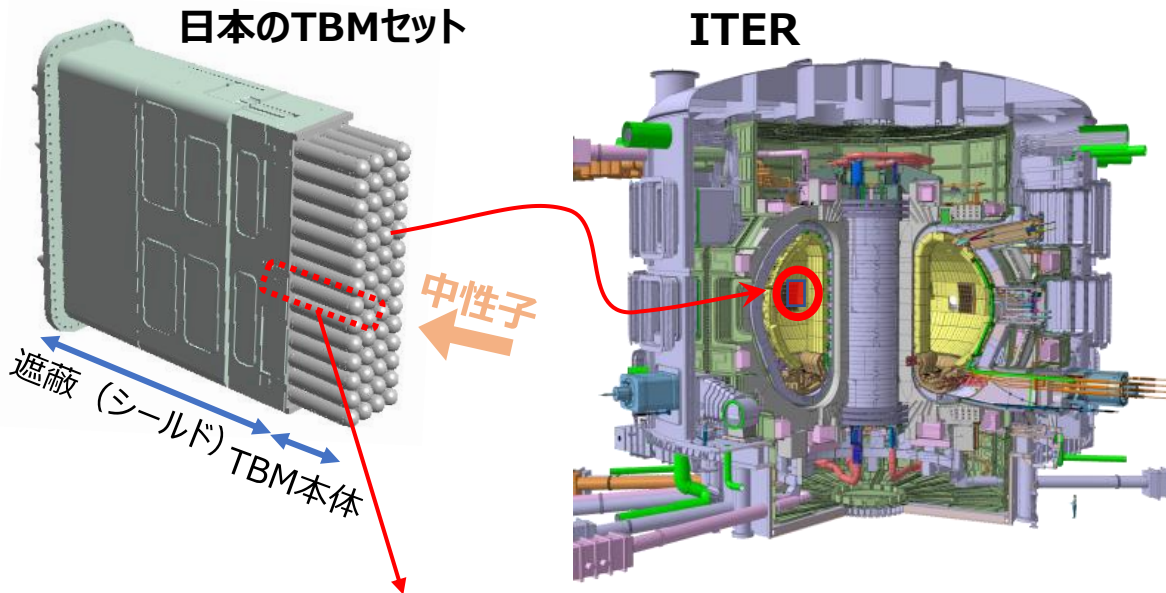


9月4日に行われたJIFSの開校式

- 第一回JIFS：令和5年9月4-15日、那珂研にて開催。
- 開校式：日欧政府、ITER機構、那珂市長らを招待。
- 参加人数：日欧の学生・若手研究者計20名、講師24名。
- 共同声明：12月1日、盛山文科大臣と欧州のシムソン委員が、共同声明の中でJIFSの共同で強化すると表明。
- 今後の展望：毎年開催し、拡充発展させていく。

QST ITERを利用するブランケット試験体(TBM)計画

- **水冷却・固体増殖**ブランケットを開発。
- ITERに我が国の試験体（テストブランケットモジュール：TBM）、冷却系、燃料回収系を取付け、総合性能を他極と競い、最も優れたTBMが**世界標準**になる可能性（国際競争）。



六ヶ所研のブランケット工学試験棟(R3年度完成)、安全実証試験装置群(R4年度据付完了)

TBMシステムの最終設計承認に必要と考える高温高圧水に関する**4つの安全実証試験**を実施中



熱負荷試験装置



高温高圧水噴出試験装置



流動腐食試験装置



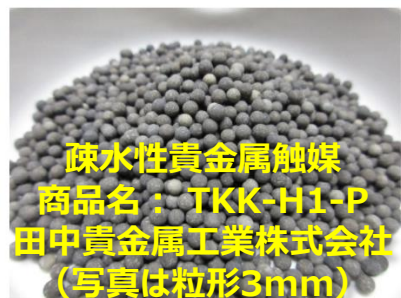
ベリウム-水蒸気反応試験装置

14

- トリチウム除去設備用に、ガスを「酸化処理」する疎水性触媒を田中貴金(株)と共同開発。
- 青森県特産ベントナイト鉱物を用いた触媒で、水素・炭化水素（エチレン）酸化性能向上。



水に浮かぶ
疎水性貴金属触媒



疎水性貴金属触媒
商品名：TKK-H1-P
田中貴金属工業株式会社
(写真は粒形3mm)

疎水性触媒技術は実用化レベルに達し、販売開始

触媒関連での先進技術の
実用化に与えられる
「触媒工業協会技術賞」を
令和2年度に受賞

産業応用

用途別に製造方法を最適化

水素社会の安全性向上への貢献

水素爆発未然防止



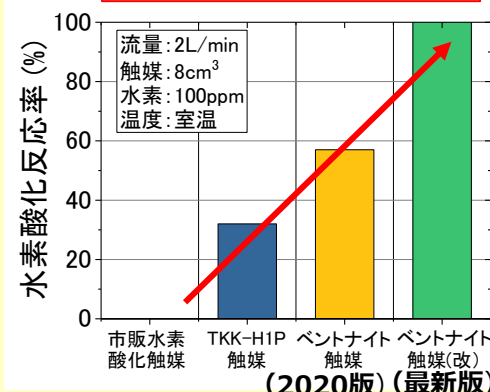
更なる応用拡大に向けて

- ・青森県量子科学センターにおいて青森県特産のベントナイト鉱物（日本砥研ご提供）を用いた触媒を開発中。
- ・市販触媒を大きく上回る水素酸化性能の発現を確認。

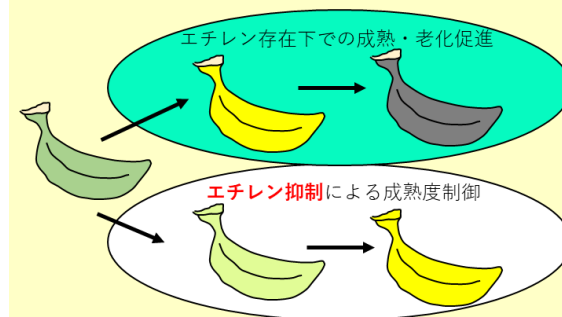
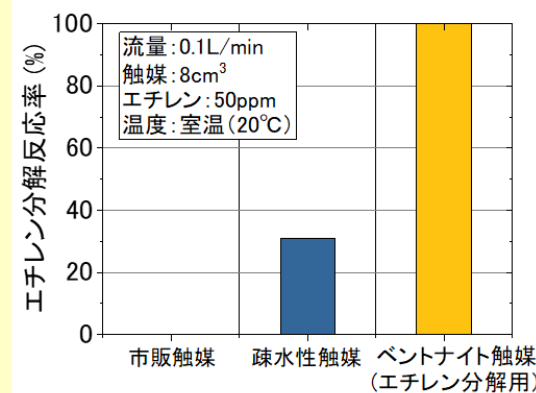


試作

水素酸化性能比較例



- ・炭化水素酸化性能も向上

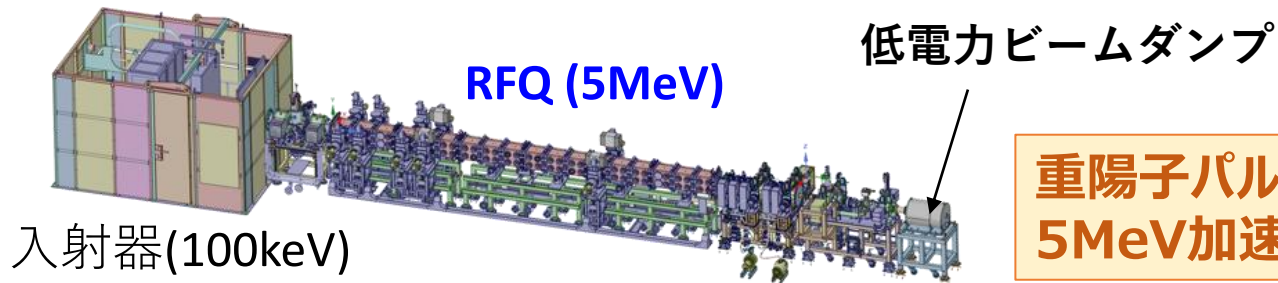


- ・エチレン制御による果物の熟成度制御（鮮度維持）の可能性
- ・フードロス削減、鮮度維持による常温貯蔵や長距離輸送など、食料安全保障に貢献の可能性

最終目標（9 MeV, 125 mA, CW加速）に向けて、段階的にアプローチ

フェーズB

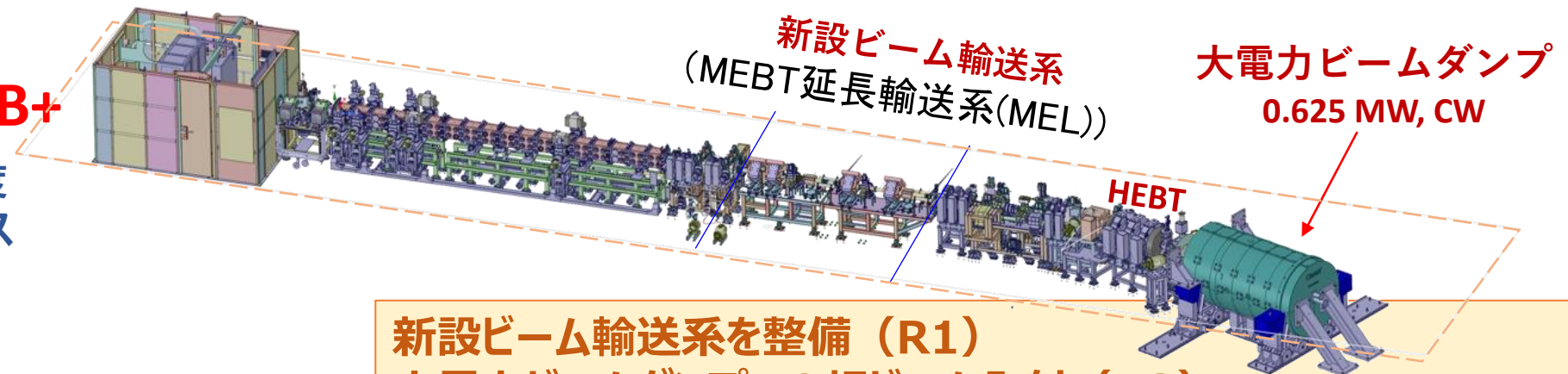
R1年まで
・5MeV短パルス



重陽子パルスビームの125mA、5MeV加速に成功（R1）

フェーズB+

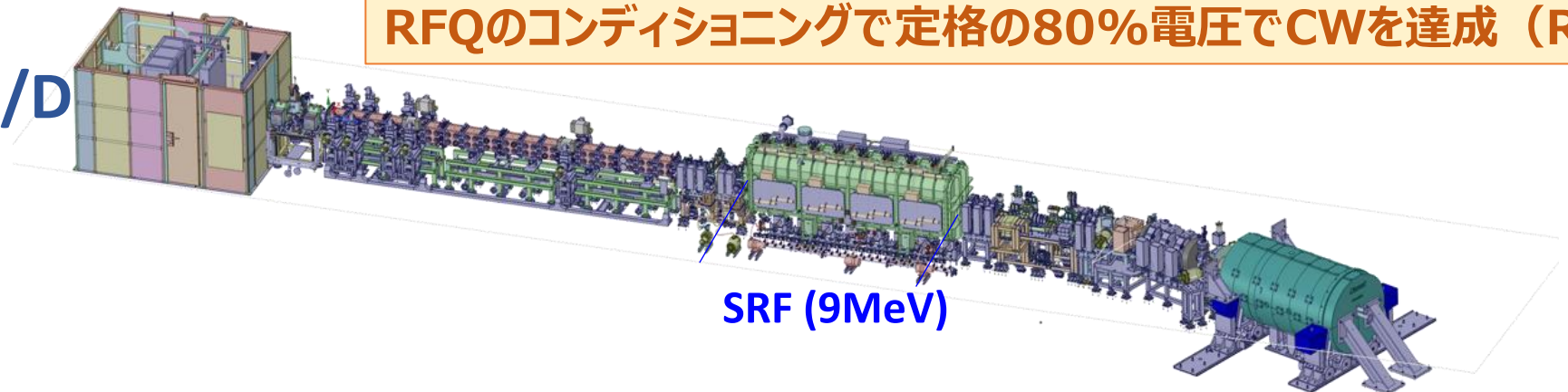
R2年～R6年度
・5MeV長パルス



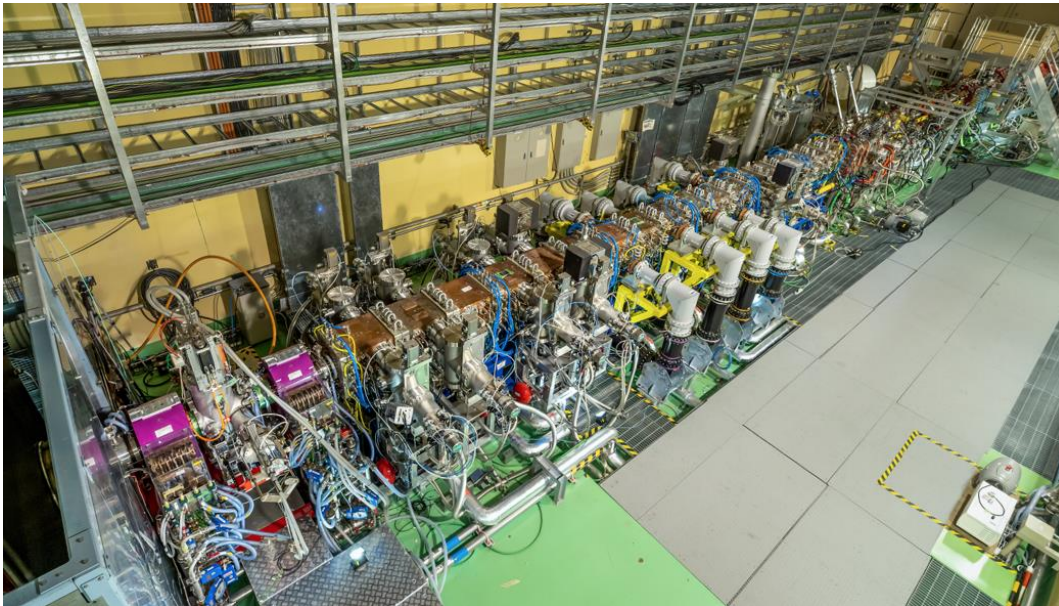
新設ビーム輸送系を整備（R1）
大電力ビームダンプへの初ビーム入射（R3）
RFQのコンディショニングで定格の80%電圧でCWを達成（R3）

フェーズC/D

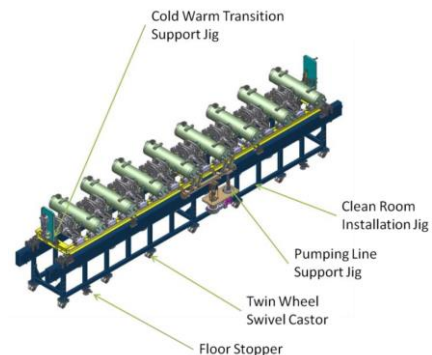
R7年～
・9MeV短パルス
・9MeV長パルス



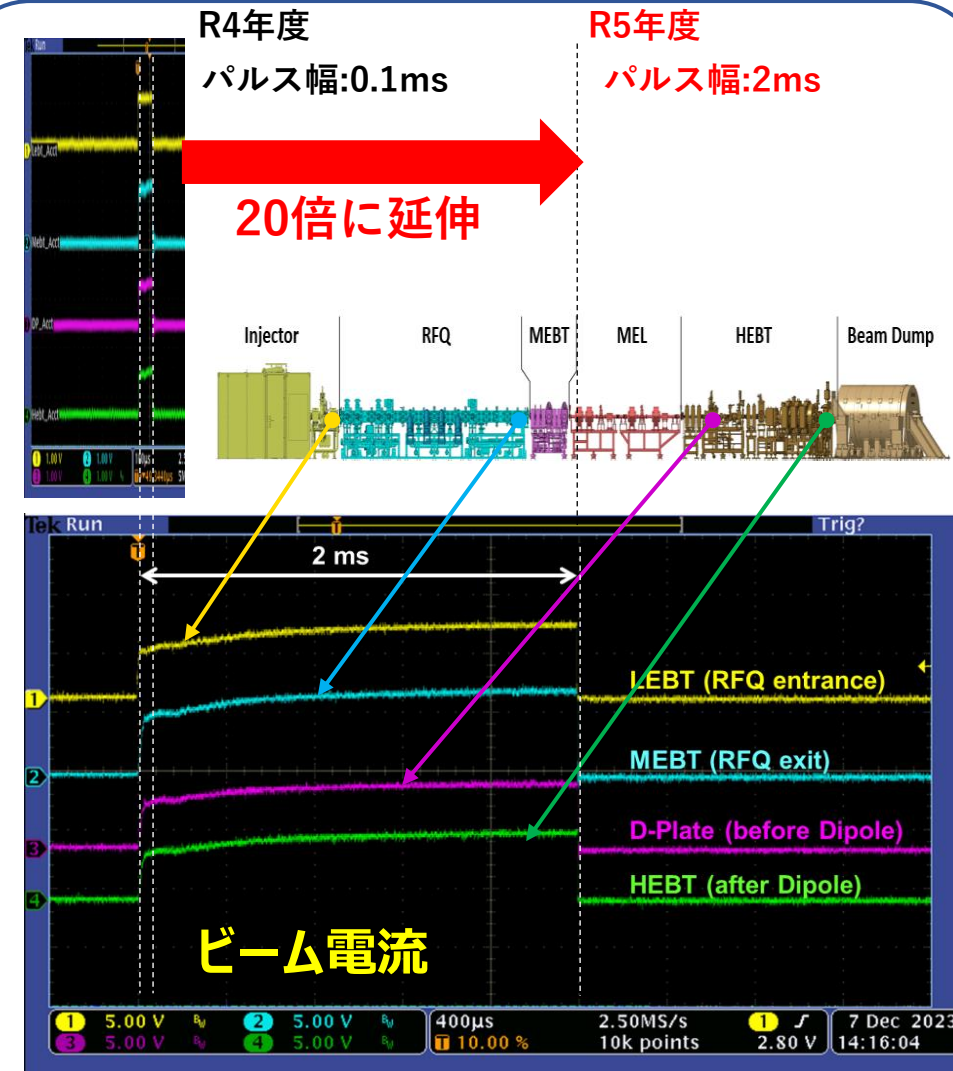
- IFMIF/EVEDA開発試験棟にて、5MeVでの長パルス化試験を実施中
- 上記と並行し、共同実験棟にて、9MeV加速試験に向けた超伝導加速器SRFの組立作業を実施中



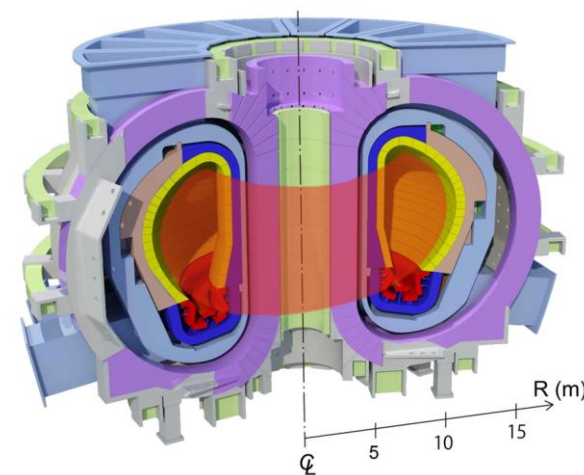
5MeVビーム加速試験を実施中



超伝導加速器の組立作業を実施中



5MeVビームパルス幅を20倍に延伸



主半径 8.5 m
(参考 : ITER 6.2 m)

● 主冷却系の熱収支と設備所要電力を評価

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

●メンバー数は総勢171名に拡大 (2024年1月時点)

産業界：72、大学等：61、
QST：38



- 核融合研(7)
- 静岡大(2)
- 信州大(1)
- 富山大(1)
- 日本ガイシ(2)
- 名古屋大(2)
- 光産業創成大(1)
- 福井大(7)
- 有沢製作所(2)

- 九州大(4)

- 大阪大(2)
- 京都大(11)
- 近畿大(1)
- 三菱重工(5)
- 三菱電機(3)
- 住友電気工業(3)
- SUGINO スギノマシン(1)
- 京都フュージョニアリング(7)
- IGES 地球環境戦略研究機関(1)
- 摂南大(2)
- 同志社大(1)
- 鳥取大(1)
- 神戸大(1)
- 企業OB(2)

- 慶應義塾大(1)
- 上智大(1)
- 東京大(2)
- 早稲田大(1)

- SMO 新むつ小川原(1)
- SD 大湊精電社(1)
- tegesco 東北環境科学サービス(1)
- MiRESSO(3)

六ヶ所村を拠点

- 茨城大(1)
- 筑波大(1)
- 東北大(7)
- NAT(1)
- 物材機構(1)
- 量研(38)
- JAEA 原子力機構(1)

- TOSHIBA 東芝エネルギーシステムズ(9)
- HITACHI Inspire the Next 日立製作所(4)
- 古河電工 古河電気工業(2)
- アライドマテリアル(3)
- MUFG 三菱UFJ R&C(1)
- ニッコーテクノ(1)
- JX金属 JX金属(2)
- JANUS 日本エヌ・ユー・エス(1)
- Y・S・E 大和システムエンジニア(1)
- MIZUHO みずほR&T(1)
- JGC 日揮(1)
- TEPCO 東電設計(3)
- MTC 金属技研(2)
- 三井物産(1)
- 住友商事 住友商事(1)
- KURIHALANT クリハラント(1)
- 大林組(3)
- Helical Fusion Helical Fusion(1)
- Mitsui Chemicals 三井化学(2)



・フュージョンエネルギー・イノベーション戦略（令和5年4月策定）に基づき、

①産業化の促進： オープンイノベーション（共同研究、施設・設備の供用、知財戦略）

②原型炉開発の加速： ITER/JT-60SAの研究拡充、プラント統合を主導する若手リーダーの育成

・那珂研究所と六ヶ所研究所をフュージョンテクノロジー・イノベーション拠点化

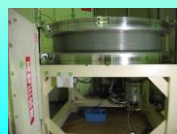
→オープンイノベーション総合窓口を開設（令和5年8月）→千件以上のアクセス、施設供用開始

那珂研究所

研究連携促進・人材育成



オープンプラットフォーム



共同研究、施設・設備の供用、知財戦略

オープンイノベーション総合窓口（技術コーディネーター）を設置

技術提供
フィードバック

連携・協力

英知を集結・
人材育成／頭
脳循環の推進



企業等
一般社団法人核融
合産業協議会(仮)



研究機関



大学

六ヶ所研究所

産業界との連携強化
（人材の拡充）

フュージョンインフォマ
ティックスセンター（仮称）
の構築（拠点の強化）

オープンプラットフォーム

