

ITER計画及びJT-60SAに関する BA活動の進展と原型炉への展望

Progress of ITER project and BA activities
related to JT-60SA and prospects toward DEMO

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
量子エネルギー部門 那珂研究所

竹永 秀信

Takenaga Hidenobu

Naka Fusion Institute, Fusion Energy Directorate
National Institutes for Quantum Science and Technology

核融合エネルギー実現へのロードマップ Roadmap to realize fusion energy

- ・ 那珂研究所では、**原型炉に向けた技術基盤・人材基盤構築**のため、ITER計画及びJT-60SA計画を一体的に推進
- ・ 国際協力を進めつつ、国際競争の時代に対応するために**我が国の産業界の競争力向上**を目指し、産業界からの参画を促進

試験装置

科学的実現性

JT-60



超高温プラズマ
の実現

世界最高イオン温度
5.2億度を達成

現在

実験炉

核融合燃烧の実証

ITER機構

那珂研究所

知見・技術・
人材の共有



ITERを支援する

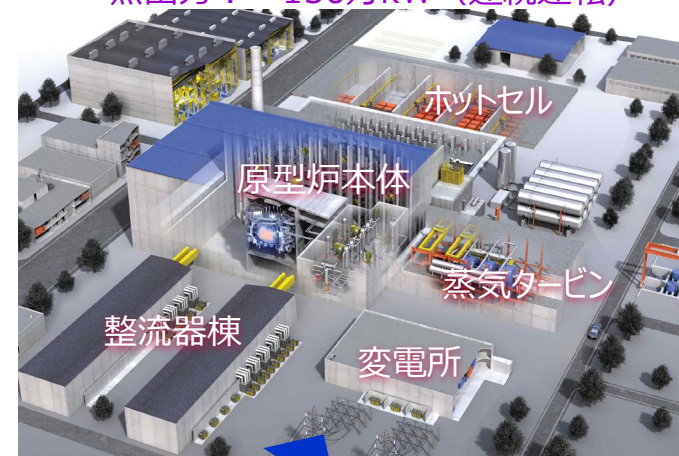
ITERでできないことを補う

今世紀
中旬

原型炉

発電実証

熱出力: ~150万kW (連続運転)



産業界の参画促進

欧州

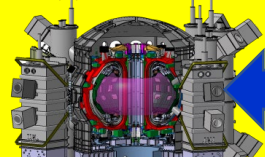
F4E、EuroFusion等

研究所レベルの参画促進
PPPL、GA、UCI (米)

幅広いアプローチ (BA) 活動



【茨城 那珂研】



JT-60SA

【青森 六ヶ所研】



IFERC



IFMIF/EVEDA

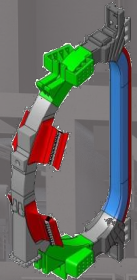
ITER計画における日本の調達機器

Japanese procurement components in ITER project

初プラズマに必要な機器の調達から、初プラズマ後の運転に必要な機器の調達へ新たな展開

超伝導トロイダル 磁場 (TF) コイル

- ・33導体 (約25%)
- ・19構造物 (全数)
- ・9巻線・一体化 (約50%)



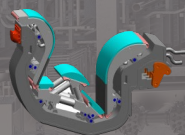
超伝導中心ソレノイド (CS) 導体

- ・49導体 (全数)



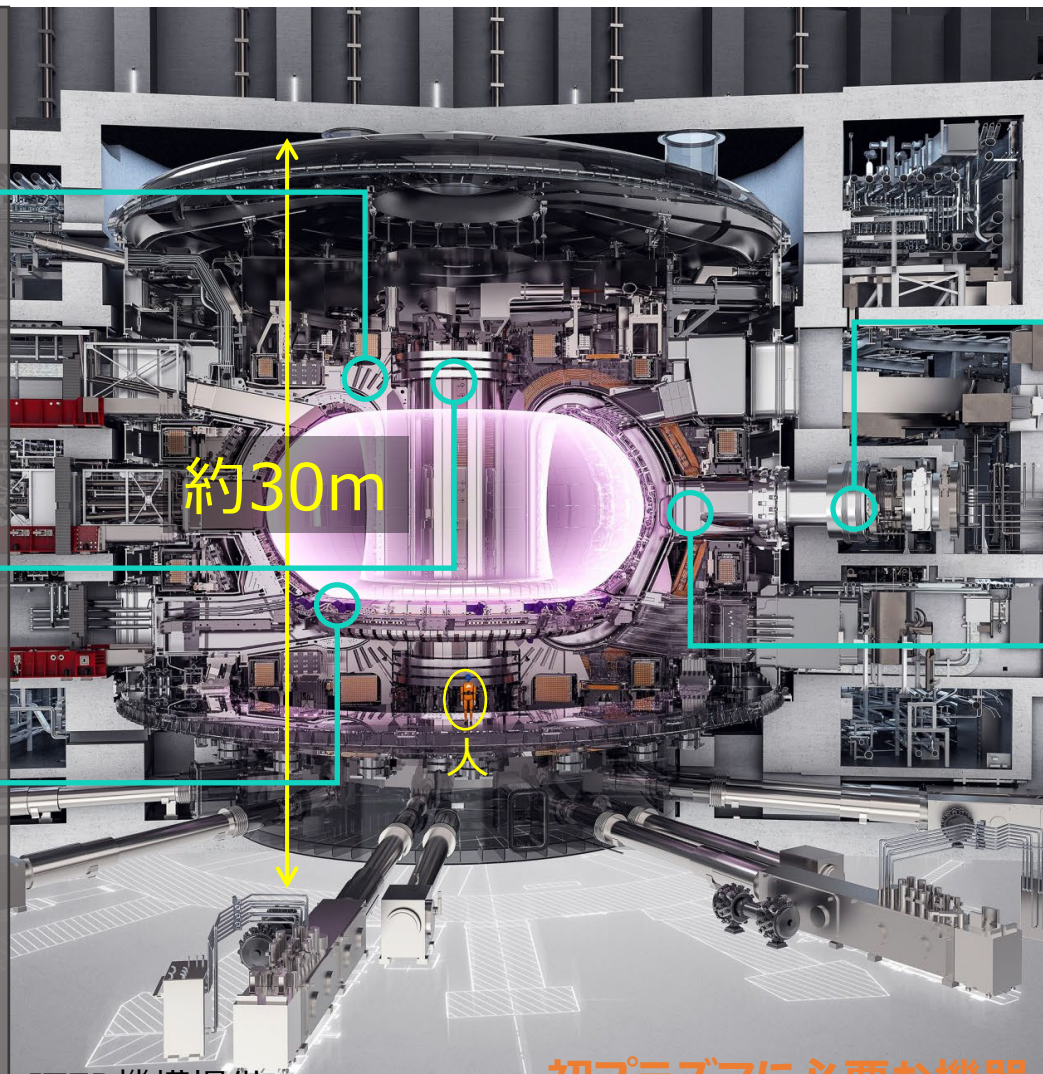
ダイバータ

- ・外側ターゲット (一式)



遠隔保守機器

- ・ブランケット遠隔保守装置 (一式)

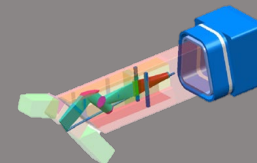


ITER機構提供

初プラズマに必要な機器

計測装置

- ・6計測装置 (約15%)



中性粒子ビーム (NB) 入射加熱装置

- ・1MeV電源高圧部3基 (全数)
- ・高電圧ブッシング3基 (全数)
- ・加速器 1 基 (約33%)



高周波加熱装置 (うち4機)

- ・ジャイロトロン8機 (約33%)
- ・水平ランチャー (一式)



トリチウムプラント設備

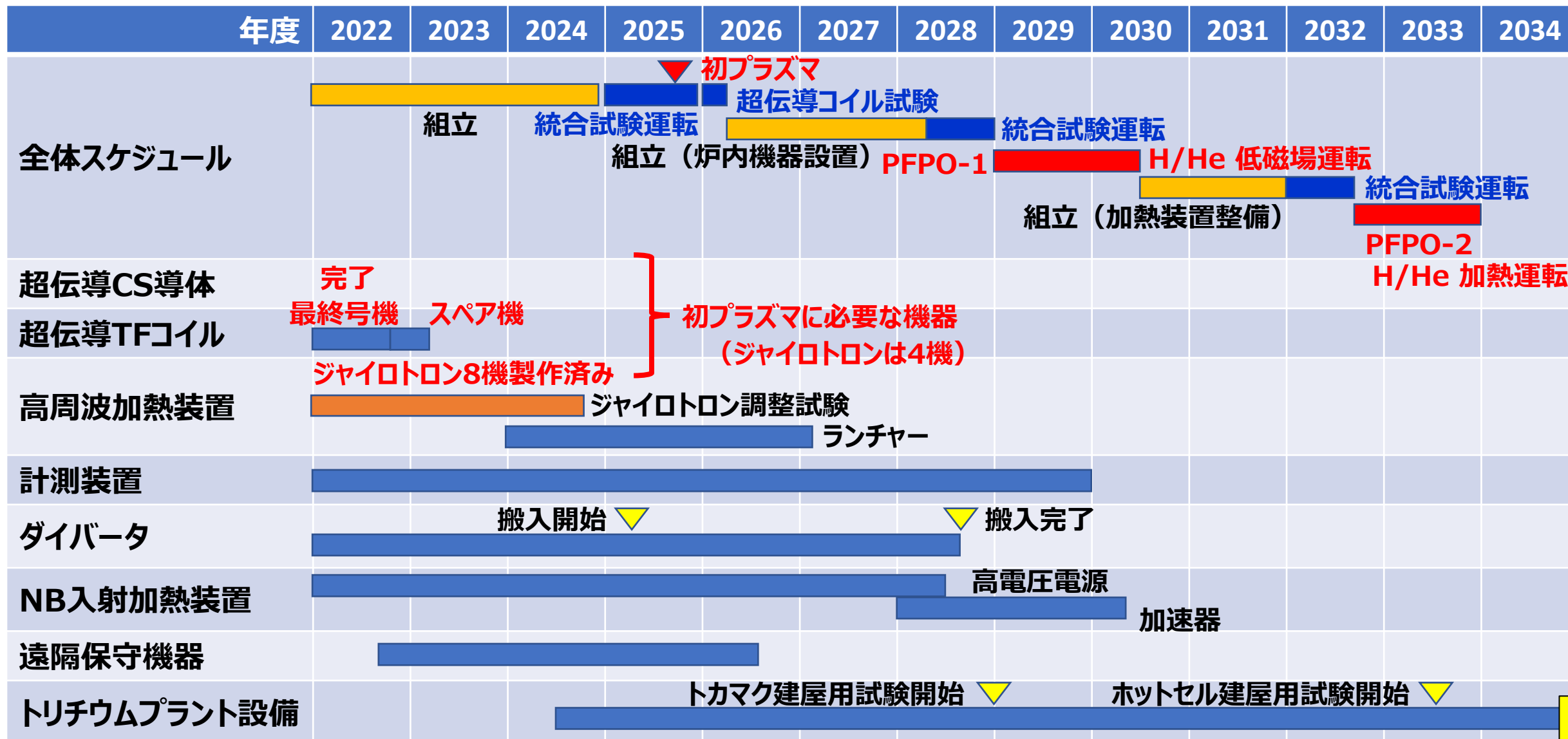
- ・トリチウム除去系 (50%)



ITERの運転スケジュールと日本機器の調達スケジュール

Schedule of ITER operation and Japanese procurements

ITER計画や日本の調達に関する情報発信を行うとともに、関連技術を有する企業に積極的に声をかけ参画促進



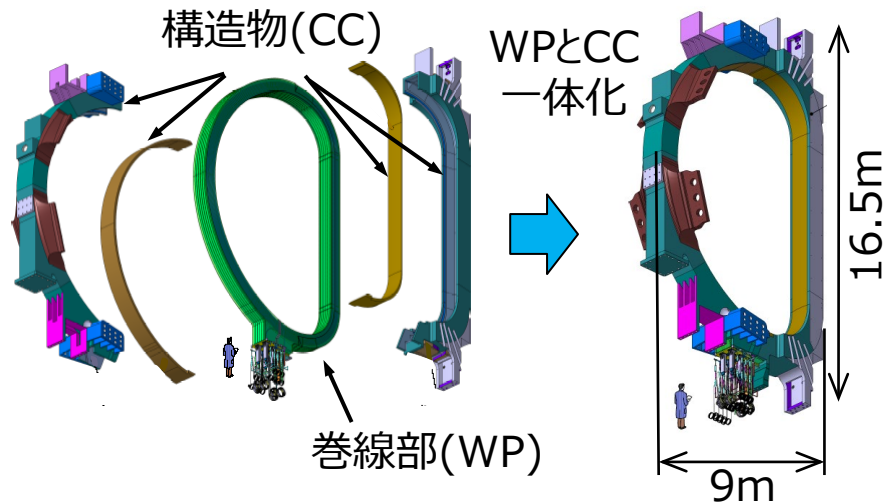


超伝導トロイダル磁場 (TF) コイル Superconducting Toroidal Field (TF) Coils

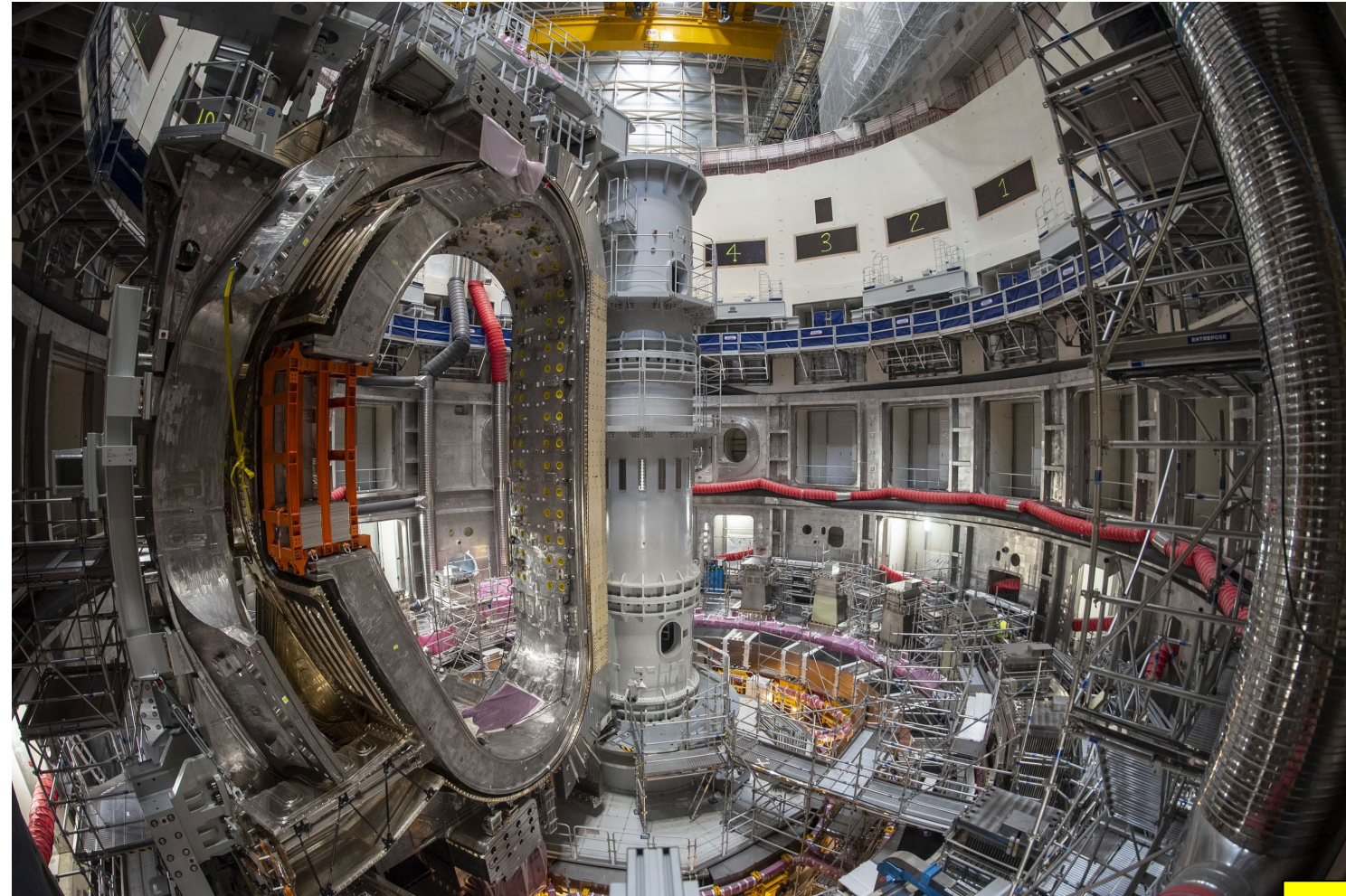
- 日本が調達する9機のうち、6機までがITERサイトに搬入済み。
- 2機は韓国製作の真空容器セクターと組み合わせてトカマクピットに設置済み。**JT-60SA組立の知見を有する人材が支援。**
- 7機目は現在海上輸送中。
- 8機目は最終加工中、今年度内に完成予定。

日本の調達責任

TFコイル:9機 (うち1機はスペア)



三菱重工、東芝エネルギーシステムズ



ITER機構提供

高周波加熱装置 – ジャイロトロン

Radio Frequency Heating System - Gyrotrons

- ITERジャイロトロン全8機の製作を完遂、6機までの完成検査を完了。
- 初プラズマに必要な4機のうち、2機はITERサイトに搬入済み。



キャノン電子管デバイス

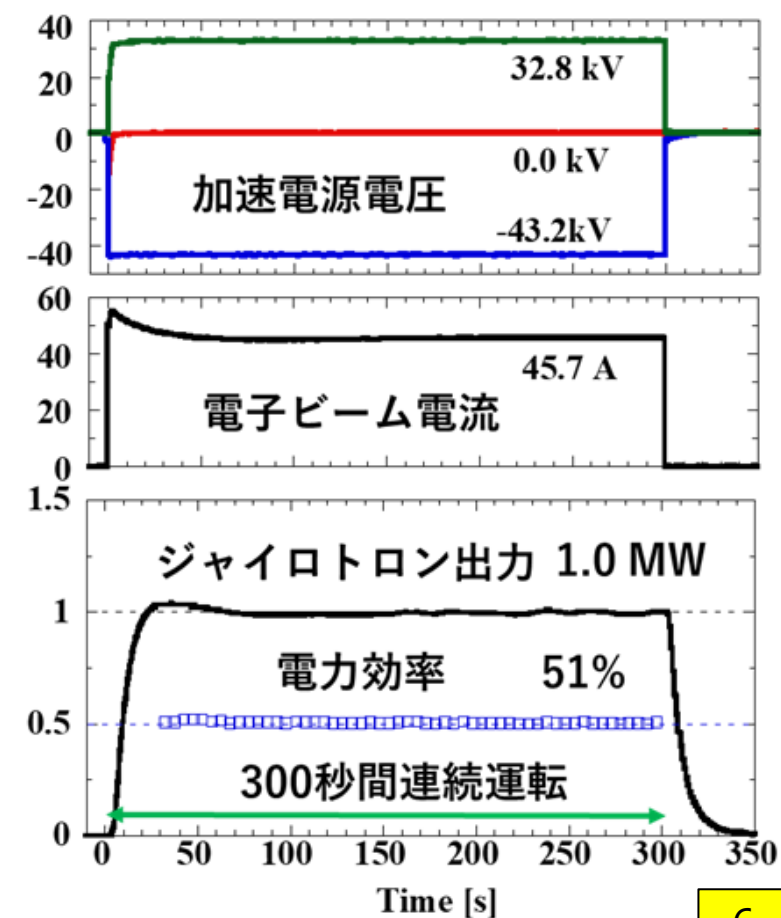
- 2周波数ジャイロトロンプロトタイプの試験

PFPO-1低磁場運転時の高閉じ込めモード発現のため、104GHz/170GHzの2周波数を発生し高周波加熱

170GHz / 104GHz で~1MWの出力を300秒発生することに成功

- ジャイロトロン実機1号機~6号機までの完成検査に合格

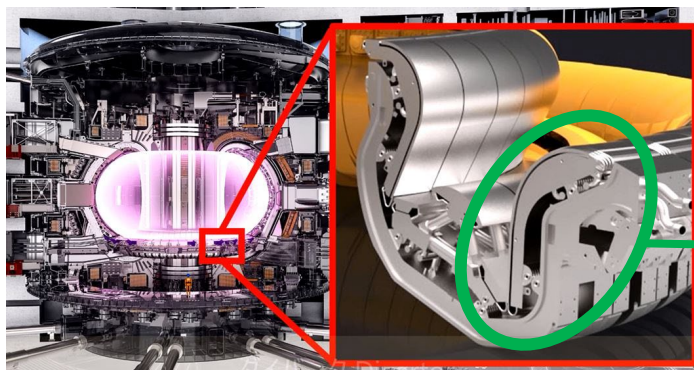
周波数/出力/効率: 170GHz/1MW以上
/50%の発振 (300秒) に成功



ダイバータ Divertor

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。

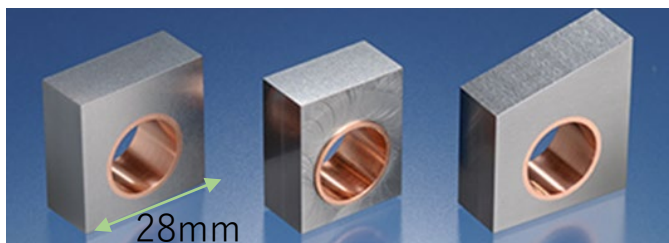
必要受熱能力：20MW/m²
受熱面：タングステン
強制水冷却



ITER

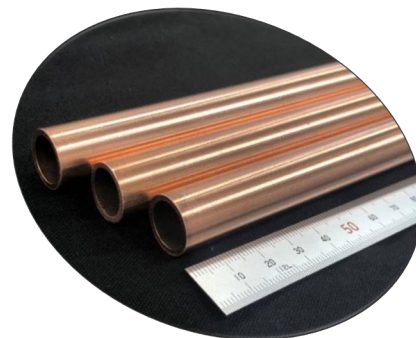
ダイバータカセット

タングステンモノブロック 約20万個



28mm

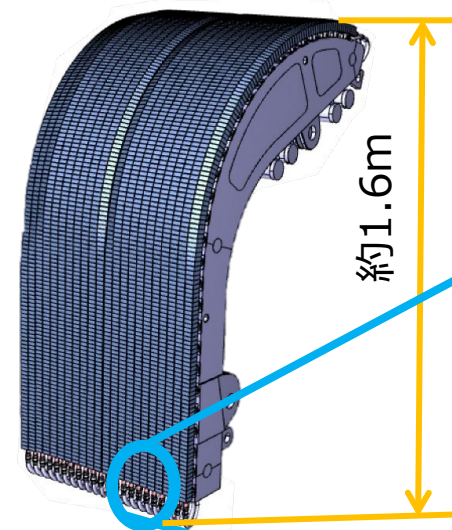
アライドマテリアル



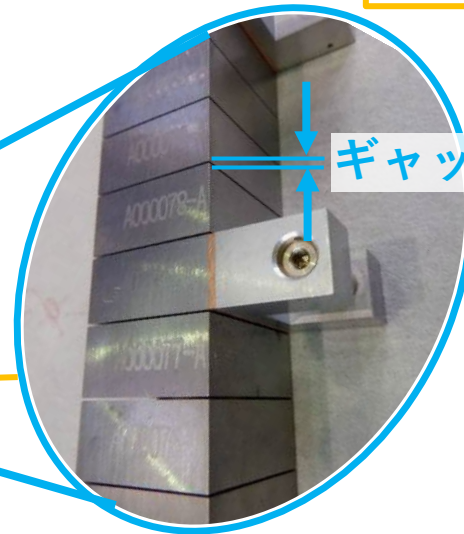
特殊銅合金

大和合金

外側ターゲット



約1.6m



ギャップ:0.4mm

スペーサの工夫でモノブロック間ギャップ
0.4mm
(±0.1mm)に制御



モノブロックを
ろう付け接合

多数のタングステンブロックの
品質管理、高精度組立て

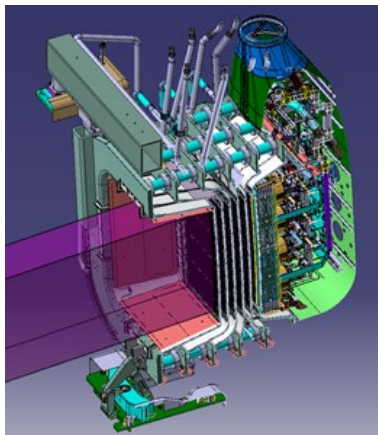
三菱重工、日立製作所

中性粒子ビーム入射加熱装置 Neutral Beam Injection Heating System

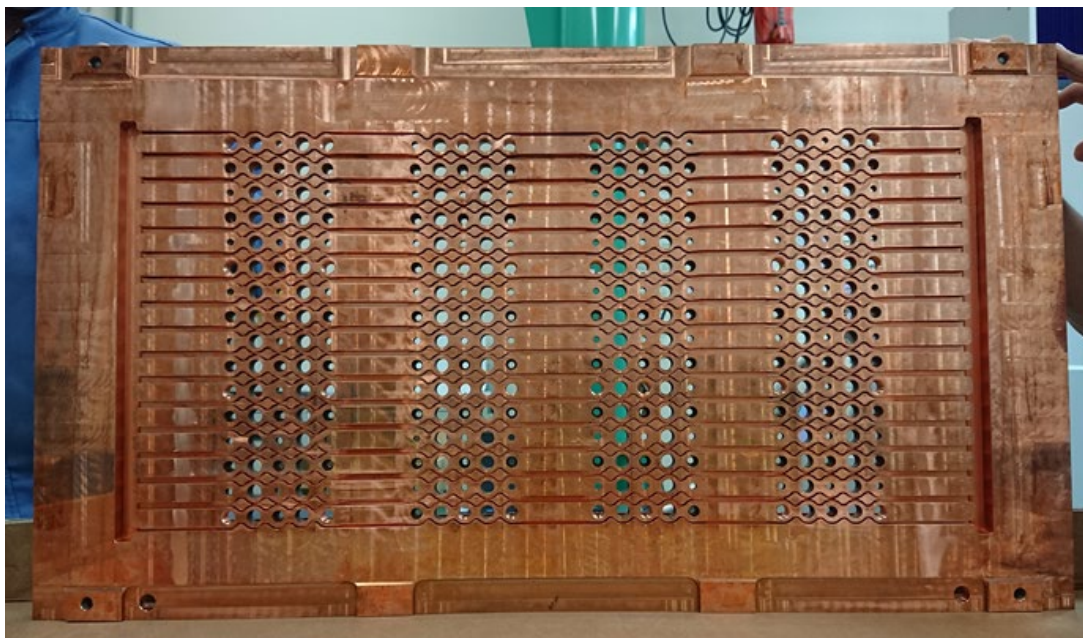
- ・ イタリア・パドバで実機試験施設（NBTF）の統合性能試験を開始
- ・ **100万ボルト・40アンペア**の負イオンビームを作る**加速器の開発**

1/5サイズ加速器を用いた耐電圧性能試験

負イオン加速器



ITER実機サイズ
銅電鑄製大面積電極試作



複雑な冷却水流路、高精度電極孔を有する**電鑄（厚メッキ）**電極

旭金属



複雑3次元形状の薄板構造物・配管加工

片桐エンジニアリング

BA活動で進めるJT-60SA (Super Advanced) 計画

JT-60SA Programme promoted in BA activities

○ITERの技術目標達成のための支援研究

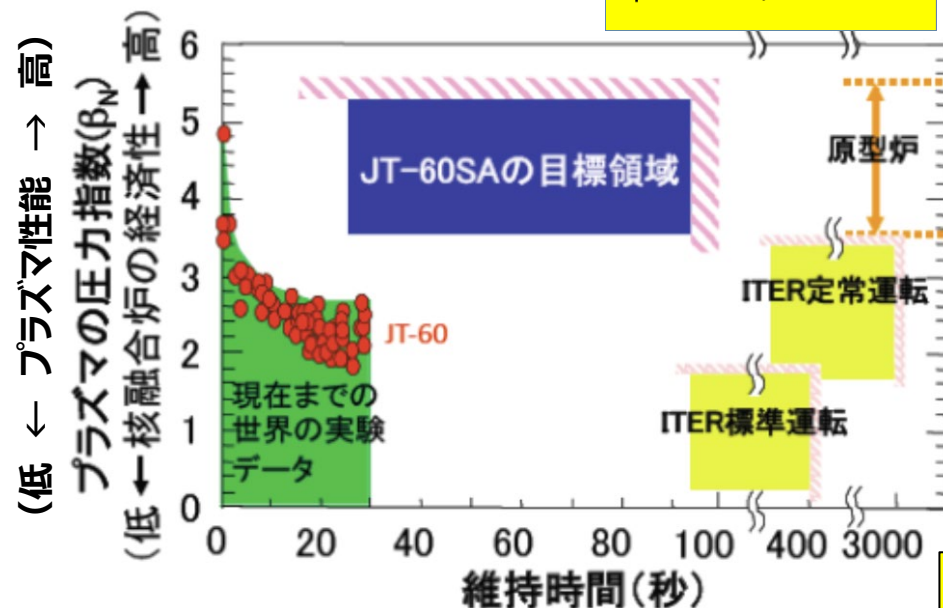
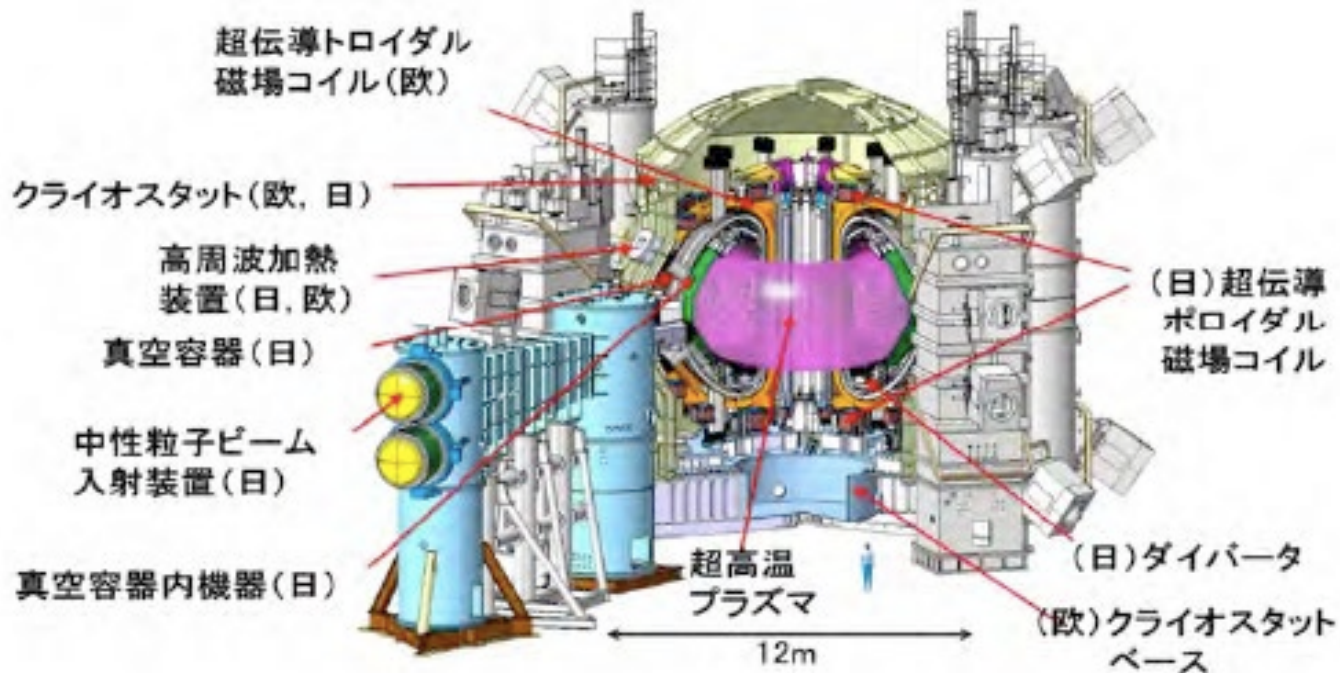
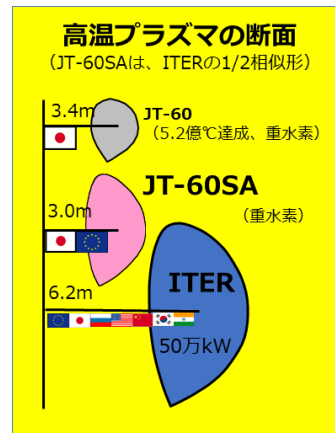
臨界条件クラスのプラズマを長時間（100秒程度）維持する実験を行い、その成果をITERへ反映させる。

○原型炉に向けたITERの補完研究

原型炉で必要な高出力を可能とする高性能プラズマを100秒程度維持し、原型炉の運転手法を確立する。

我が国唯一の大型トカマク装置で、世界の実験装置の中でITERに対して最も大きな支援を行う能力を有するとともに、ITERでは実施が難しい原型炉に向けた高性能プラズマ定常化研究開発を実現できる世界で唯一の装置。欧州が大規模予算で貢献する我が国初の実験装置。ITER・原型炉開発を主導する人材を育成する。

==>この研究計画を国内コミュニティ（若手中心）に共同企画



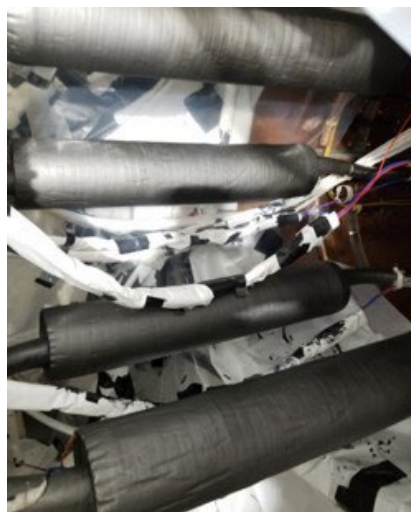
JT-60SAの状況

Status of JT-60SA

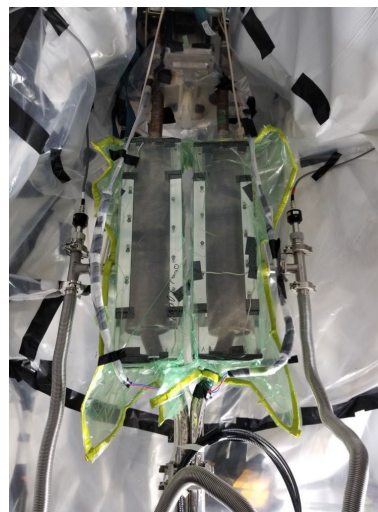
- 2021年3月に不具合が起き統合試験運転を中断。
- 外部専門家を含む調査の結果、超伝導コイルへ電流を供給する回路の絶縁性能が確保されていなかったことが原因と判明。このため、不具合が起きた箇所とともに、同様の構造を有する箇所や類似の箇所（100箇所以上）の絶縁強化を行い、ローカルパッセン試験※で絶縁性能を確認しながら7月までに作業を完了。



EFコイル接続部



CSコイル接続部

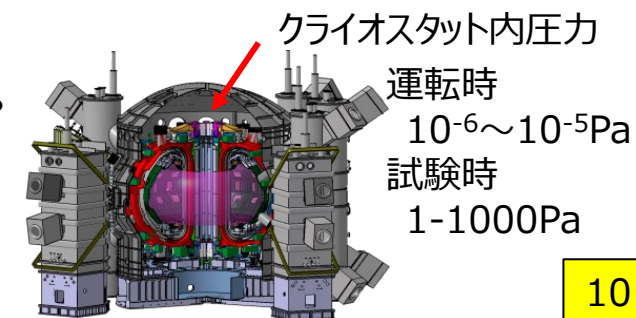


TFコイル接続部



- 装置全体の絶縁性能を確認するための試験（グローバルパッセン試験）を8-9月に実施。
- グローバルパッセン試験の結果を受けて、追加で必要な絶縁強化作業を年内をめどに実施中。
- 絶縁強化にはITER超伝導コイルを担当する職員による支援を実施するとともに、ITER機構と情報を共有するための会議を定期的開催。

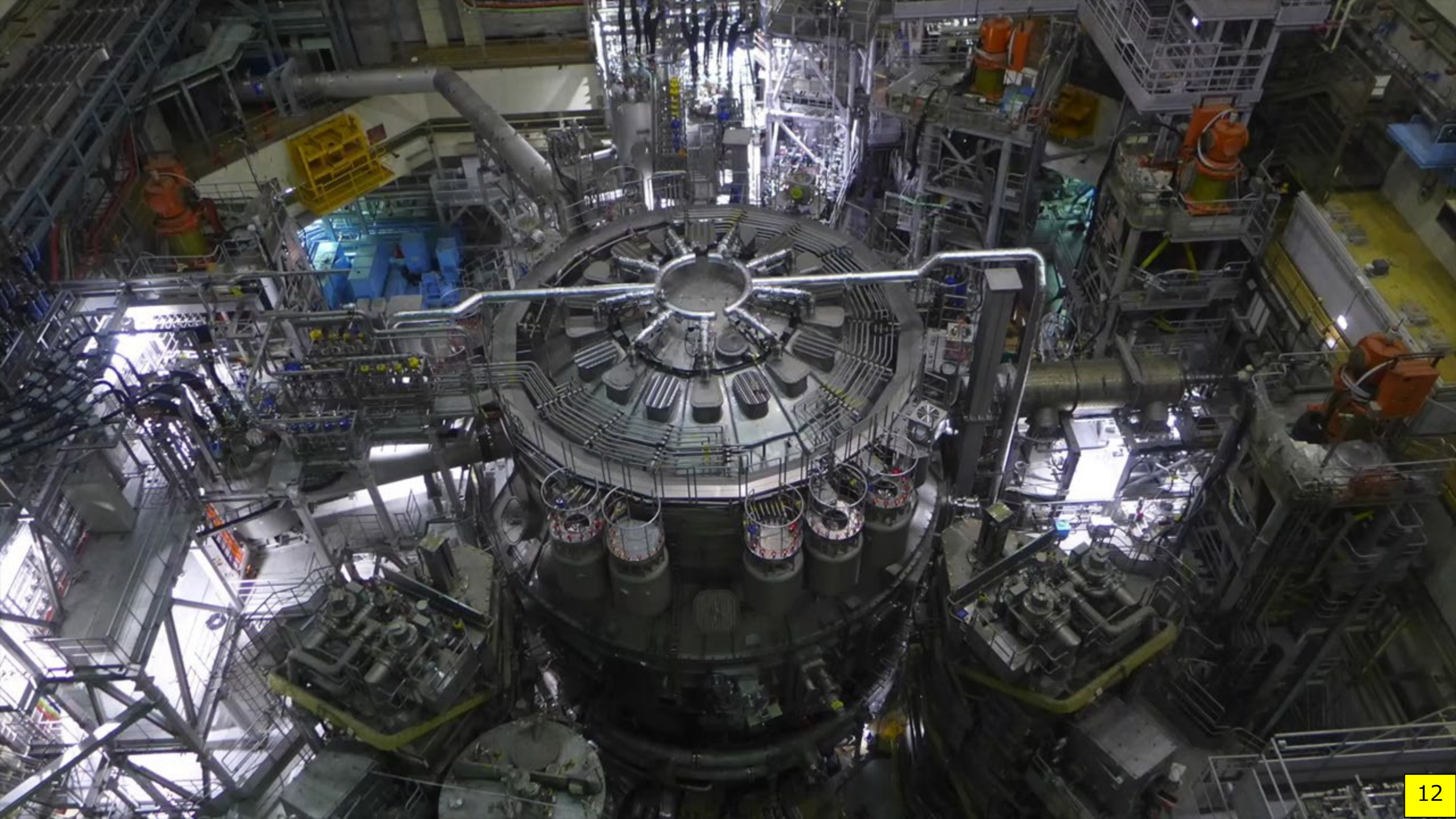
※パッセン試験：最も放電が起きやすい圧力での耐電圧試験（～1-1000Pa）。



JT-60SAのスケジュール Schedule of JT-60SA

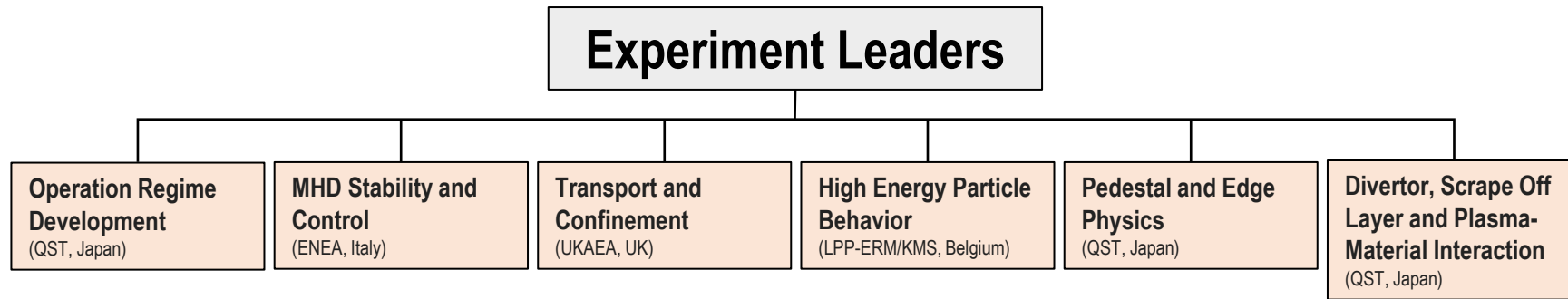
- 年内で絶縁補強作業を完了。
- 年明けにグローバルパッセン試験を実施し、十分な耐電圧性能が確認できたらコイル冷却開始。
- 極低温状態になったことを確認して、耐電圧試験を実施。
- その後、コイル通電試験から統合試験運転を実施。
- **初プラズマは2023年の中頃を想定。**
- 秋からメンテナンス及び加熱実験に向けた装置増力を開始。

	2023年/1-3月	2023年/4-6月	2023年/7-9月	2023年/10-12月
グローバルパッセン試験				
コイル冷却				
極低温での耐電圧試験				
コイル通電試験、プラズマ 運転				
メンテナンス/装置増強				



○ **実験チームリーダー（日2名、欧1名）及びトピカルグループリーダーを決定し、実験チーム調整会合を開催。**

- JT-60SAを用いた研究内容については、実験チームで議論を行う。
- 国内からは、炉心プラズマ共同研究やオンサイトラボの共同研究を結んで参加。
- 実験チーム員の募集は、統合試験運転終了後。



○ **JT-60SA国際核融合スクール（JIFS）：国際的に活躍できる人材の育成**

- 日欧学生・若手研究者計20名程度を選考（web配信の視聴は制限なし）。
- 第1回は2023年秋を想定。
- 物理から工学まで、特にトカマク運転の観点から講義と実地演習、施設見学を実施予定。

○ **EU-JA Fusion Energy Training Institute（FETI）：JIFSをさらに拡大するEU案**

- 欧州大学のオンサイトラボを那珂研に設置する検討を開始。

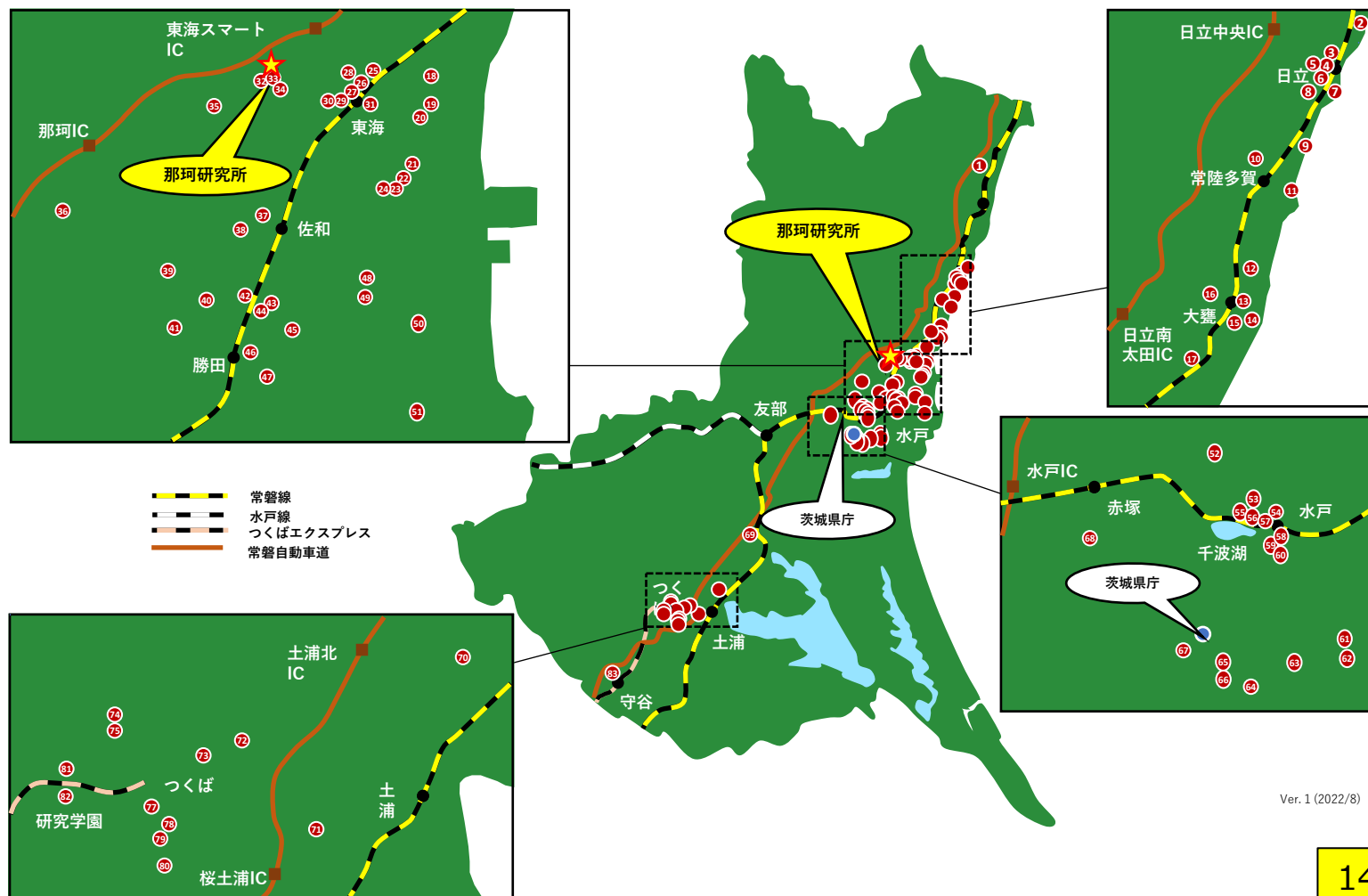
産業界からの参画促進

Promotion of participants from industry

- 茨城県と協力して、県内の企業とITER・JT-60SAの技術マッチングを行う技術交流会を那珂研究所にて実施。
- 県内の企業のJT-60SA計画への参画状況を見える化。



茨城県JT-60SA協力企業マップ



原型炉に向けた人材育成

Human Resource Development toward DEMO

ITER、JT-60SAの知見を原型炉に確実に繋げるためオールジャパンで人材を育成・確保

原型炉設計・建設・運転

ITER実験・運転チーム

ITER機構職員 (20-30名程度) 含 実験リーダー等

協力研究者 として参加
(長期10名, 短期・遠隔 100名程度)

ITER日本実験チーム
QST・NIFS・大学参加 (QST 取纏)

NIFS・総研大



LHD

教員

ポスドク*

学生*

* 各大学
からの特別
研究員を
含む

核融合理工学学術研究
実験・理論・機器開発・原型炉設計

大学



QUEST, GAMMA10,
TST-2, LATE,
Heliotron-J,
学内連携組織
等

教員

ポスドク

学生

大学オンサイトラボ

QST

教員

ポスドク

学生

職員

ポスドク

那珂&六ヶ所



JT-60SA

理論・モデリング
工学機器開発
原型炉設計

産業界

製造技術
建設技術
プラント運転
経験
工程管理
品質管理

欧州

まとめ Summary

○ ITER機器の調達

- 初プラズマに必要な機器は調達完了が見通せる段階に到達
- 初プラズマ後の運転に必要な機器の調達が本格化

○ JT-60SA計画

- 2023年中頃の初プラズマを予定
- 加熱実験に向けた増力作業を実施中
- 実験チームにて実験内容について議論中

○ 原型炉に向けた産業界からの参画促進と人材育成・確保の取り組みが一層重要に