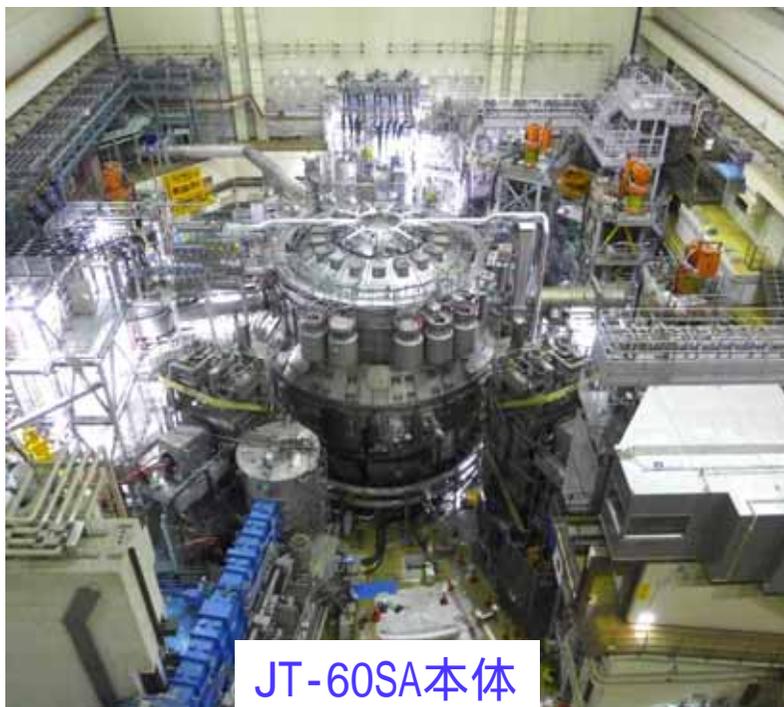


ITERの機器製作活動及びJT-60SAの統合コミッショニングの進展

量研 那珂核融合研究所 花田 磨砂也

- 1 . はじめに
- 2 . ITERの機器製作活動
- 3 . JT-60SAの組み立て及び
統合コミッショニングの進展
- 4 . JT-60SA現場中継
- 5 . まとめ



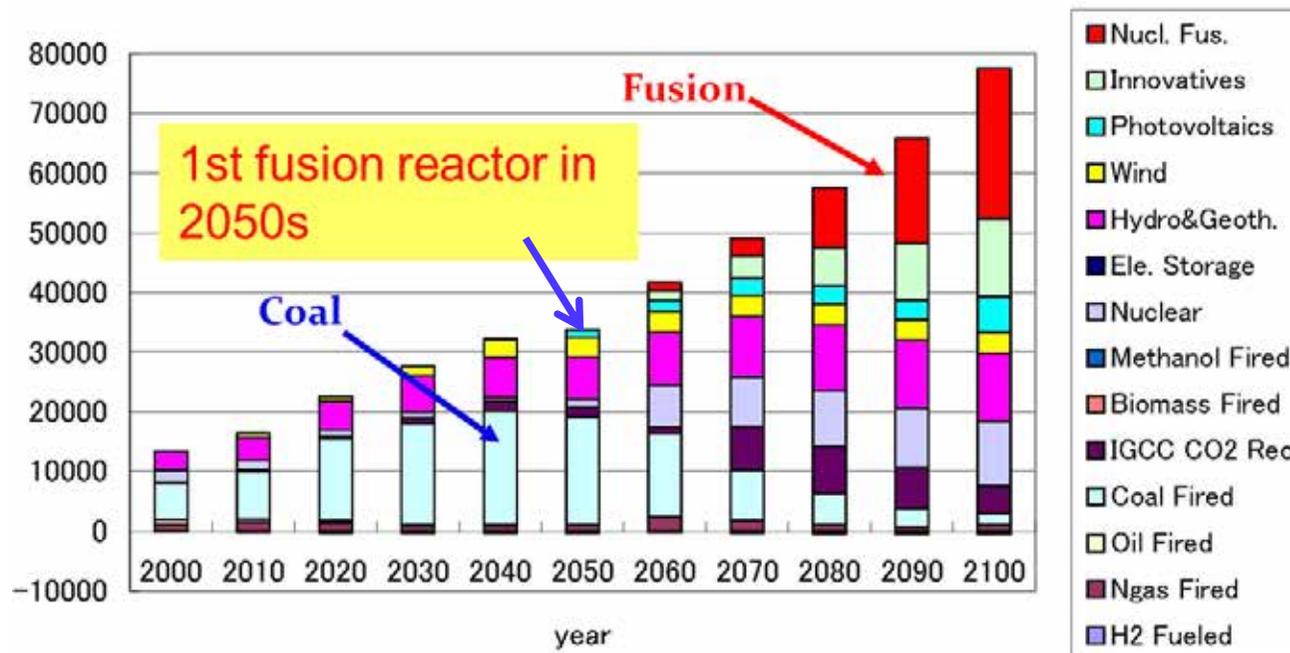
2050年カーボンニュートラルに向けて

菅総理は、R2年10月に、国会において、「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことを、ここに宣言いたします。」

時松宏治

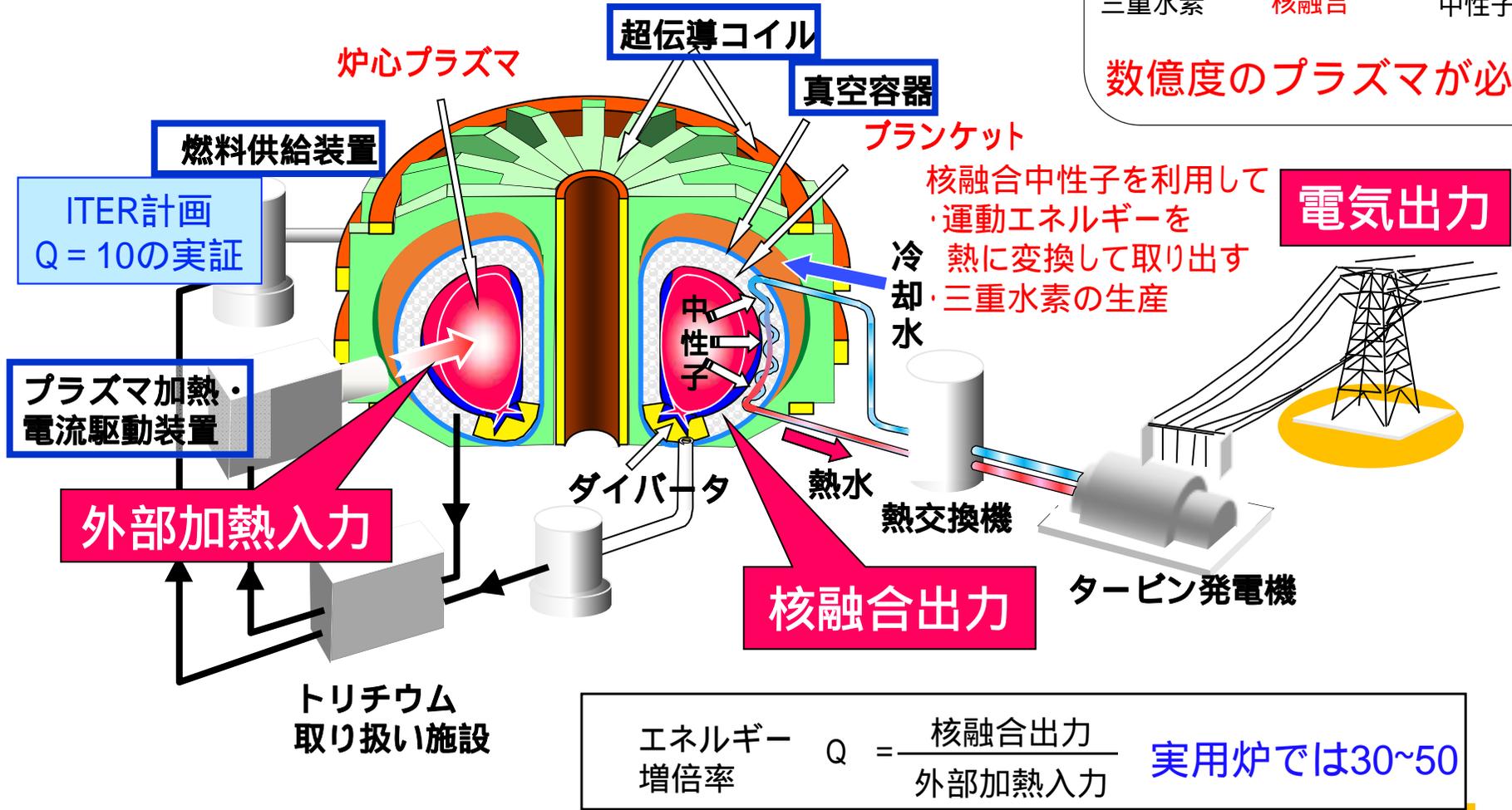
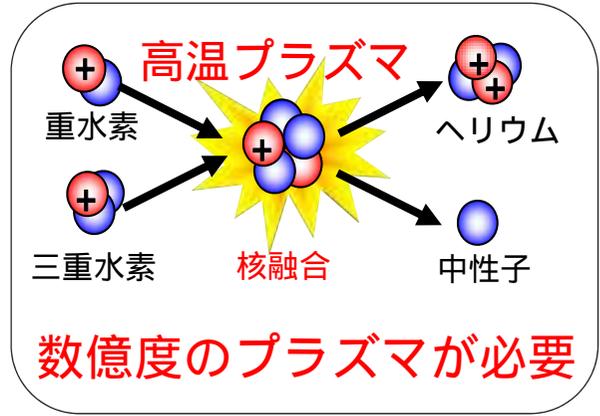
公益財団法人地球環境産業技術研究機構(RITE)

TOKIMATSU, K., et al., Studies of breakeven prices and electricity supply potentials of nuclear fusion by a long-term world energy and environment model, Nuclear Fusion 42 (2002), 1289.



核融合発電は脱炭素化された社会の実現に向けた有力な候補と期待されている。

核融合発電炉のしくみ



核融合発電はカーボン排出の無い極めてクリーンなエネルギー源

核融合研究の進め方

試験装置

実験炉
現在

原型炉

核融合燃焼を起こし持続させる研究開発

原型炉段階への移行：
2035年頃

実用化に見通し

JT-60計画

超高温プラズマの
実現 (1990年代)

世界最高のエネルギー増倍率
1.25 (実燃料換算値)
世界最高イオン温度
5.2億度



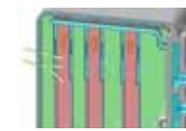
【那珂核融合研究所】

幅広いアプローチ
(BA)活動



原型炉設計

【六ヶ所核融合研究所】

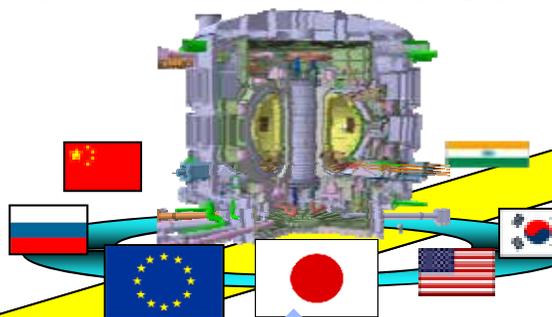


構成材料の開発



核融合中性子照射
試験施設の開発

国際熱核融合実験炉ITER
燃焼プラズマの実証及び核融合炉工学技術



サイト：フランス
サン・ポール・レ・デュランス市
(カダラッシュ)

ITERを支援する



JT-60SA計画

【那珂核融合研究所】

経済性を見据えた
先進的な研究

核融合原型炉

発電実証
経済性が見通し



学術研究大学等



GEKKO-XII



LHD

ITERプロジェクト：世界7極参加



実燃料で持続的な核融合燃焼の実証
熱出力 50万kW, エネルギー増倍率10 (外部加熱5万kW)

日、欧、米、ロ、印、中、韓が
共同で建設中

サイト：フランス
サン・ポール・レ・デュランス市

ITER機構 (国際機関) を2007
年に設立
各国国内機関 (実施機関) が
構成機器を分担して製作
QSTは日本の国内機関

建設開始 2007年
初プラズマ運転 2025年
核融合運転 2035年

ITER
2018 EDITION

TOKAMAK
& PLANT SYSTEMS

ビゴ機構長

多田 副機構長



ITER建設サイト:70%完成

ITERで日本が製作分担する機器



超伝導トロイダル 磁場コイル

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

高周波 加熱装置

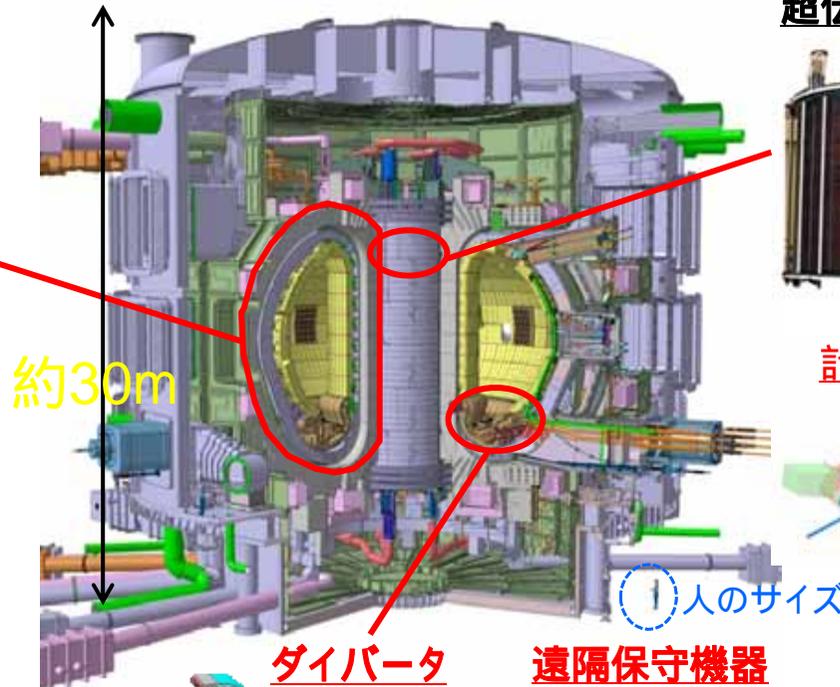


- ・ジャイロトロン8機 (約33%)
- ・水平ランチャー (全部)

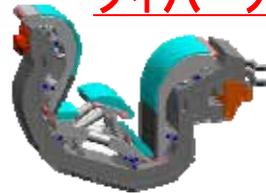
中性粒子ビーム 入射加熱装置



- ・1MeV電源高圧部3基 (全部)
- ・高電圧プッシング3基 (全部)
- ・加速器1基 (約33%)



ダイバータ



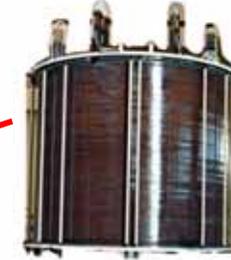
外側ターゲット (全部)

遠隔保守機器



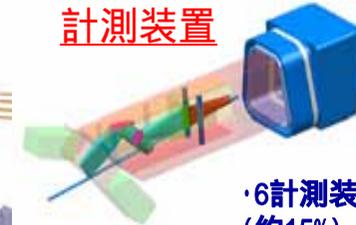
ブランケット遠隔保守装置 (全部)

超伝導中心ソレノイド導体



・49導体 (全部)

計測装置



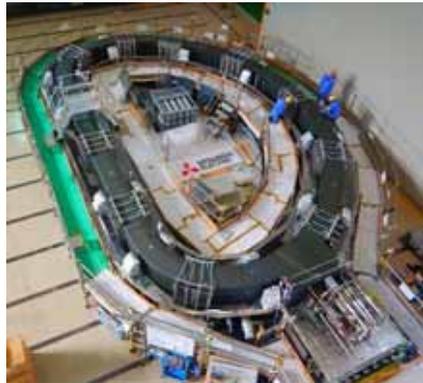
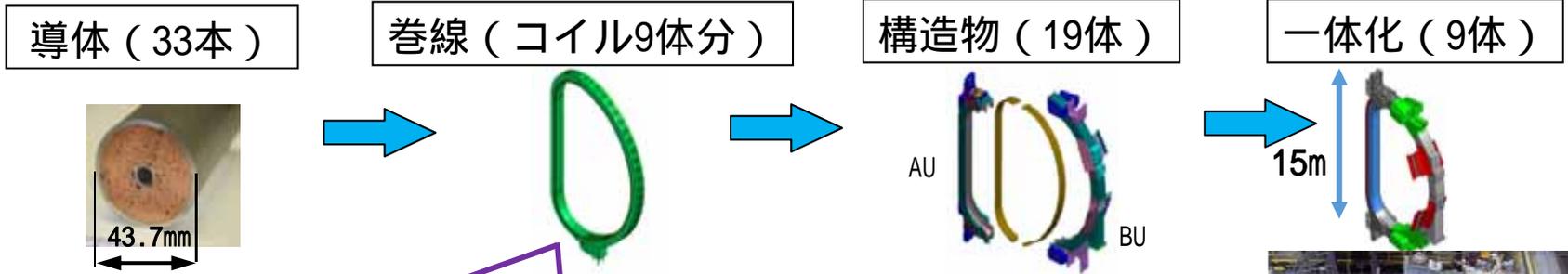
・6計測装置 (約15%)

トリチウムプラント設備



トリチウム除去系 (50%)

超伝導トロイダル磁場コイル製作の進展



コールド試験前の
TFコイル1号機巻線部
(第1製造ライン)



TFコイル3号機用
巻線部 (第2製造ライン) 日本向け構造物1号機



欧州向け構造物5号機

担当		日本向け									欧州向け									
号機		1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
構造物	内側	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
	外側	M	M	T	M	T	M	T	T	M	H	H	H	H	T	T	T	T	T	T
	出荷																			
巻線部																				
コイル																				

■ : 2020年11月までの完了実績

高精度で完成したトロイダル磁場コイル一号機



製作においては、極低温用特殊ステンレス製の大型・厚肉(約230mm)構造物の難溶接技術
を確立し、高さ16.5m、幅9m、総重量300トンの巨大な超伝導コイルを1万分の1以下の高精度
で製作した。

人類未踏の性能を求められる大型超伝導コイルを世界に先駆けて完成

ITER機構に搬入



3号機の製作は終了し、
2021年1月に出荷予定

**2020年1月 トロイダル磁場コイル1号機
完成披露式典**

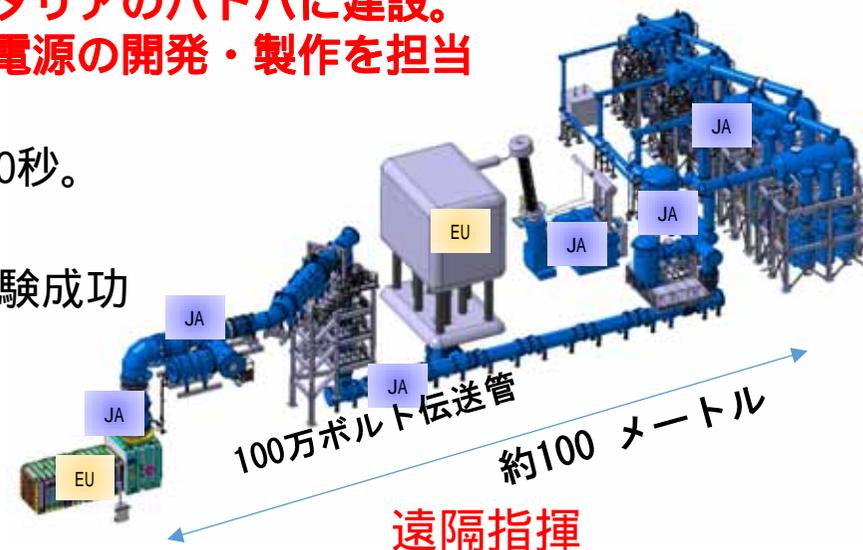
中性粒子ビーム入射加熱装置の試験施設電源の試験を開始



ITERのプラズマの加熱：100万V, 40Aの粒子ビーム
実機製作に先行し、実規模試験施設をイタリアのパドバに建設。
日本は、先端技術を要する直流超高電圧電源の開発・製作を担当

【高電圧電源】電圧100万V，電流60A，パルス長3600秒。

- 2015年-2019年：日本担当電源機器の据付を完了
- 2019年11月：高電圧電源全体の120万V 耐電圧試験成功
- 2020年：100万Vの出力試験を開始
コロナ下で遠隔指揮



インターネット



日本調達機器の据付は完了

高周波加熱装置の製作と試験が進展

大型の発振管ジャイロトロン

ITER全体で24機、日本は8機の製作を担当

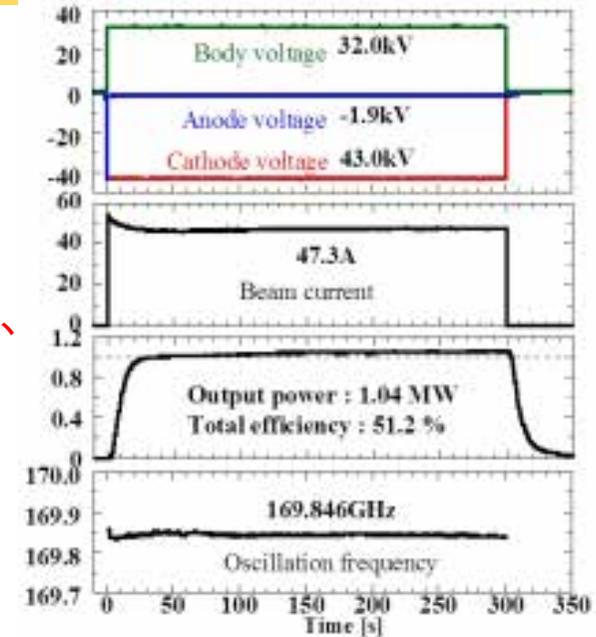
これまでに7機の製作を完了

製作したジャイロトロン3機の性能確認試験を実施、
要求性能を満足することを確認

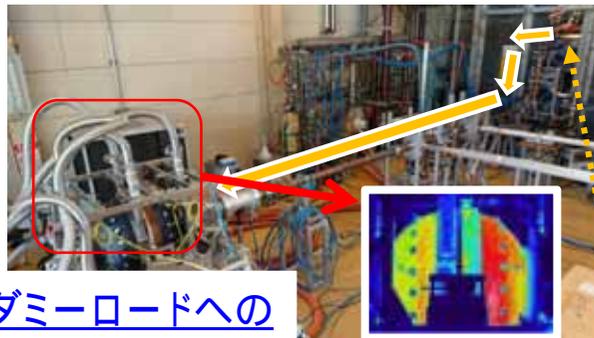
(完成試験性能要求)

- ・ 周波数/出力/効率：
170GHz/1MW/50%以上
- ・ 出力変調周波数：
1～5kHz/60秒以上
- ・ パルス幅：300秒以上
- ・ 運転信頼度：95%以上

大電力・長パルス試験装置



1.04 MW出力、51.2%効率、
パルス幅300秒の性能確認(2機目)



ダミーロードへの
1MW連続入射

ダミーロード



出力ビーム

性能確認試験の様子



1機目 2機目 3機目の
ジャイロトロン

ダイバータ実規模プロトタイプと実機用材料の製作が進展

受熱面：タングステン
強制水冷却(4MPa, 70℃)
必要受熱能力：20MW/m²

2023年完成を目標とした実規模プロトタイプの製作と並行して実機用材料の製作を開始。

実機製作用タングステンモノブロック

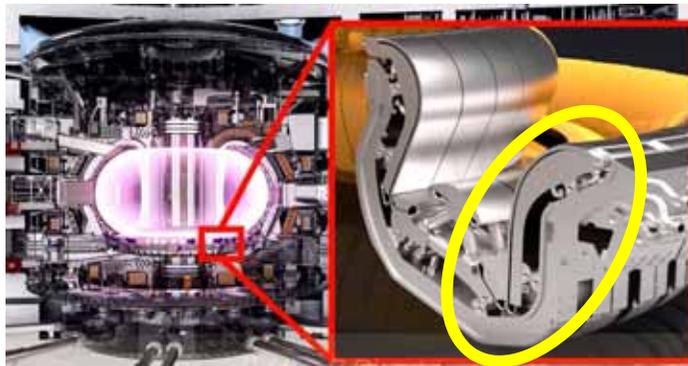
約20万枚のタングステンモノブロックの製作を開始。

実機製作用支持構造体用材料(XM-19ステンレス鍛造材)

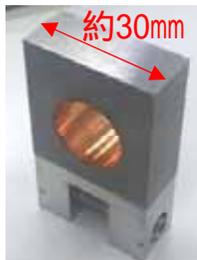
約120セットのXM-19鍛造材の製作準備を開始。

冷却管

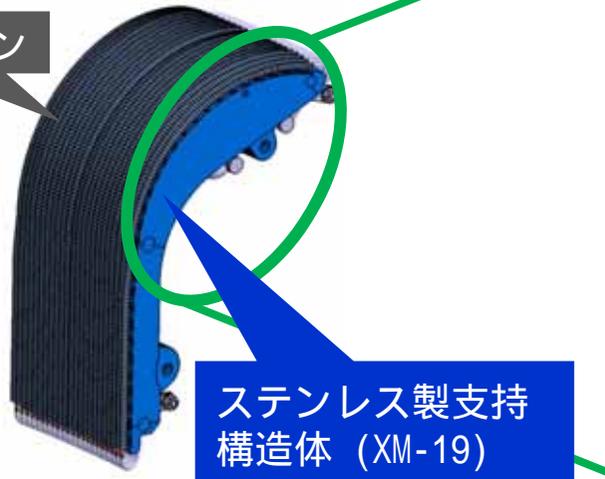
約1500本の銅合金(クロムジルコニウム)管の製作を開始。



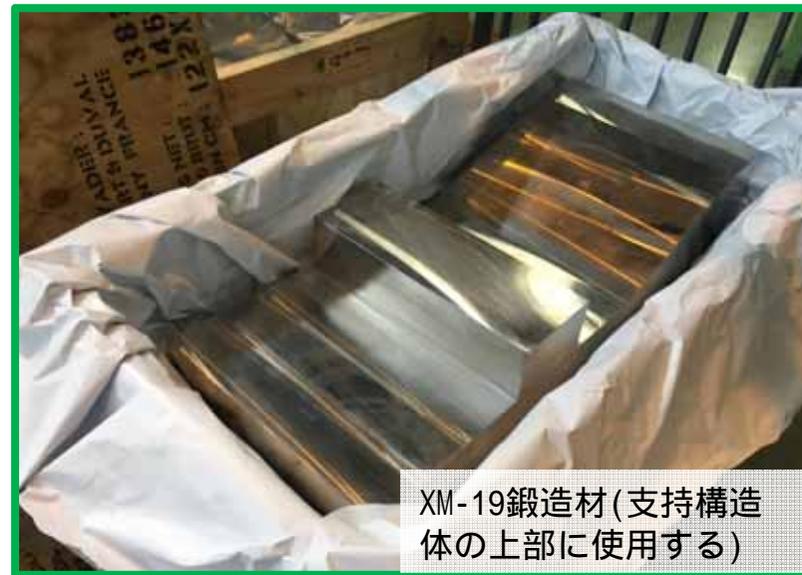
タングステン



タングステン
モノブロック
(支持脚付き)



ステンレス製支持
構造体 (XM-19)



XM-19鍛造材(支持構造
体の上部に使用する)

プラズマ計測装置の最終設計が進展



日本が調達する5つの計測装置（マイクロフィッションチェンバー、周辺トムソン散乱計測装置、ポロイダル偏光計、ダイバータ不純物モニター、ダイバータIRサーモグラフィー）では、設計を確実にするために試作、試験を実施し、設計の最終化を進めている。

[マイクロフィッションチェンバー]

プラズマ加熱用マイクロ波によるMIケーブル（無機絶縁ケーブル）の過熱を防ぐための**高精度（5 mm ± 1 mm）な銅メッキ技術を開発**
（特願2020-137794）



銅メッキ直後のMIケーブル

アルゴンガスが封入されるMIケーブルの末端部の試作を行い、設計の妥当性を確認するとともに製作性を実証

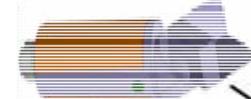


MIケーブルの末端部

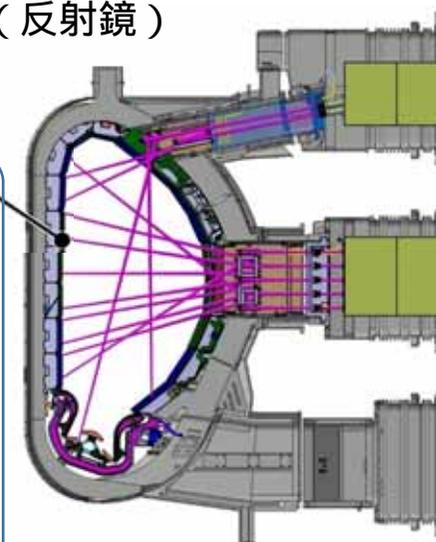
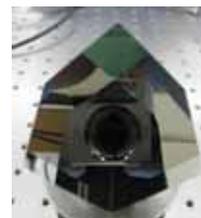
[ポロイダル偏光計]

レーザー光用の回帰反射鏡を試作し、実機の製作性を実証

レトロリフレクタ（反射鏡）



プロトタイプ製作

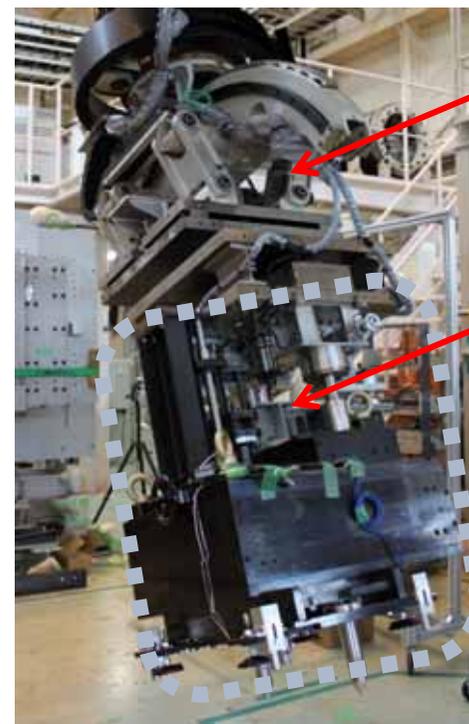
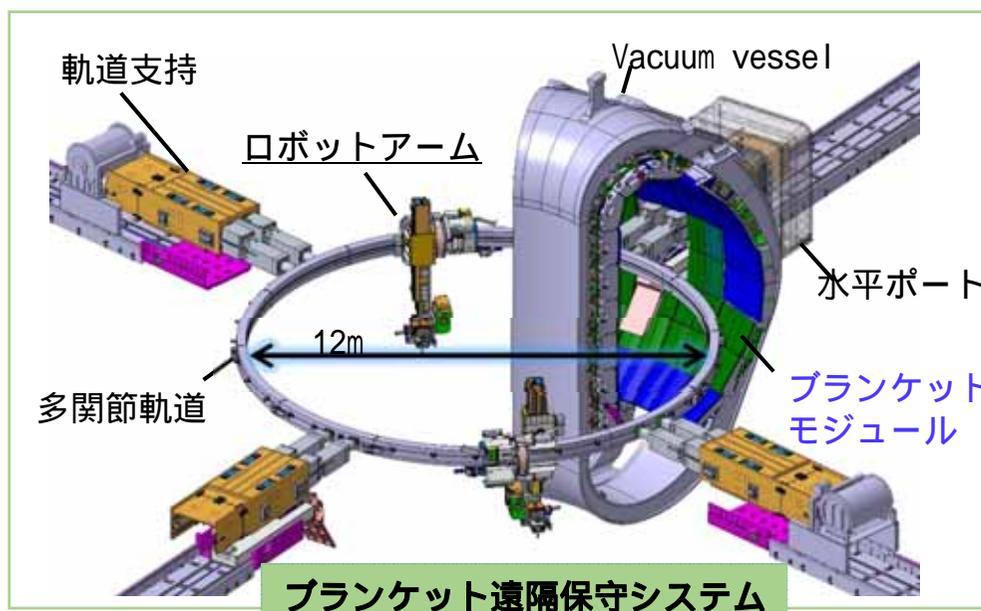


マイクロフィッションチェンバー、ポロイダル偏光計では、試作などを通して、構成機器の最終設計が実施され、調達活動を大きく前進。

ブランケット遠隔保守機器製作が進展

最大4トンのブランケットモジュールを精密取付する大型ロボットアーム等を開発中

- 主な開発上の課題：
 - 多様なツール類の開発、最適化
 - ✓ 10kNm大強度トルク締結ツール（1.5トンから750kgに軽量化）
 - ✓ 内径43mmの配管内部に遠隔でアクセスを可能とする配管溶接／切断／検査ツール等
 - 精密位置決め手法の開発
 - ブランケットモジュールと真空容器間のギャップは0.5mm
 - 耐放射線性機器の開発



ロボットアーム
試作機

ボルト締結
ツール試作機

ボルト締結機の開発において、トルク伝達方式を改良（歯車 平行リンク）し、大幅な小型化・軽量化に成功し、ツール重量を1500kgから750kg程度に半減。これにより、真空容器内での保守時の作業性が格段に向上。

大型超電導トカマク装置
「高圧力での安定性に優れたプラズマ形状」

ITERの支援研究

ITERのリスク低減と効率的運用に貢献する。
臨界条件クラスのプラズマを長時間(100秒程度)維持する高性能プラズマ実験を行う。

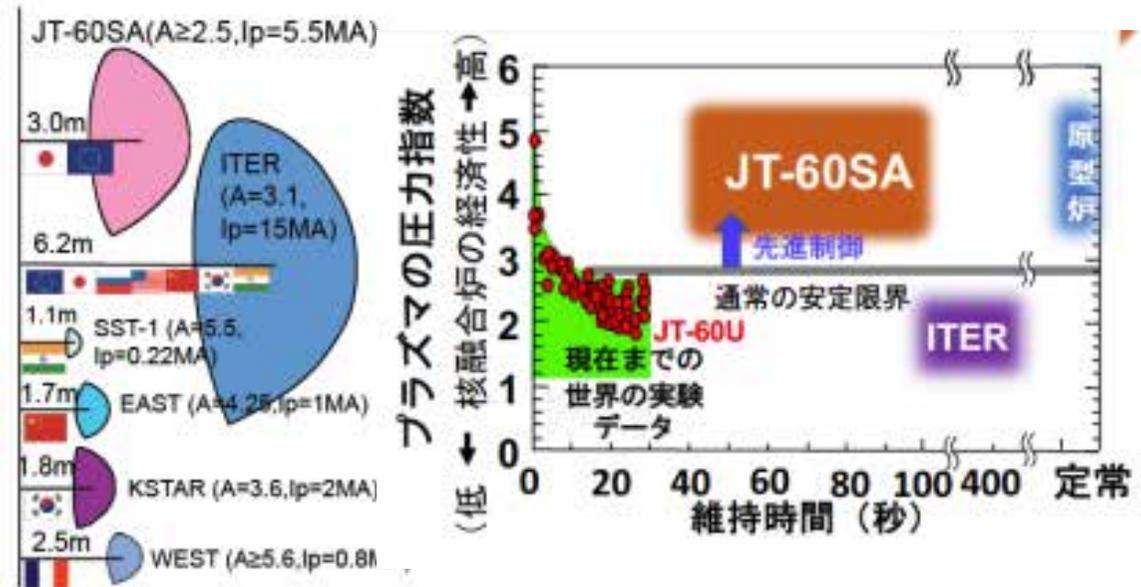
原型炉に向けたITERの補完研究

原型炉で必要となる高出力密度を可能とする高圧力プラズマを100秒程度維持し、原型炉の運転手法を確立する。

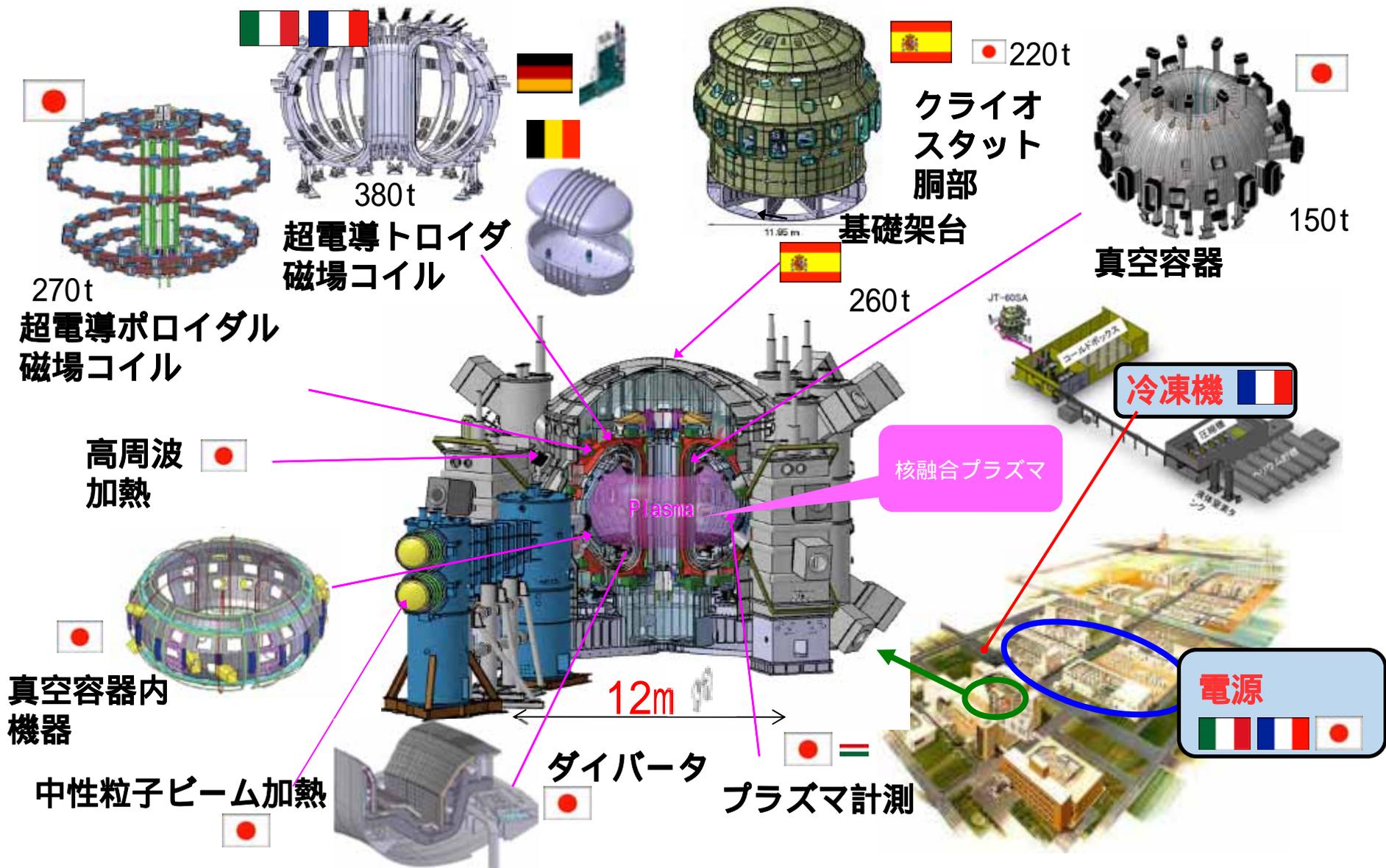
ITER・原型炉開発を主導する
人材の育成



原型炉に向けたITERの補完研究



日欧で機器製作を分担



ITERの半分の大きさであるが、超伝導コイルなどの主要機器の大きさは10m級。

JT-60SAの現地組み立てをH25年3月より開始し、R2年3月に組み立てを終了

クライオスタットベース	下側平衡磁場コイル	真空容器	真空容器サーマルシールド	真空容器完成 18体TFC+6体EFC	R1年5月 CS仮組み込み
H25年3月	H26年1月	H27年8月	H28年9月	H30年7月	R1年5月

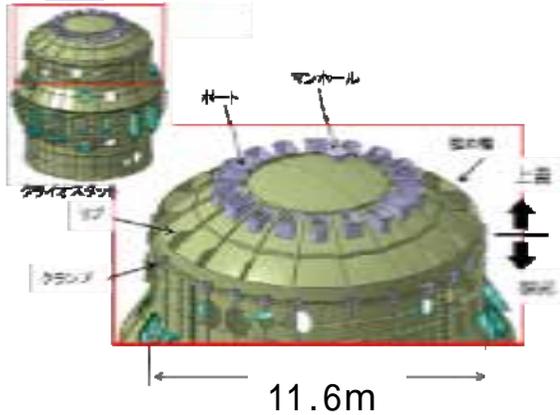
R1年12月初旬 クライオスタット胴部	R1年12月下旬 中心ルノイド	→ クライオスタット 上蓋取り付け	→ R2年3月 組み立て完了

クエンチ保護回路	電源電動発電機	超伝導コイル用電	冷凍機システム	NBI	ECH	計測機器等



クライオスタット上蓋及び真空容器内機器

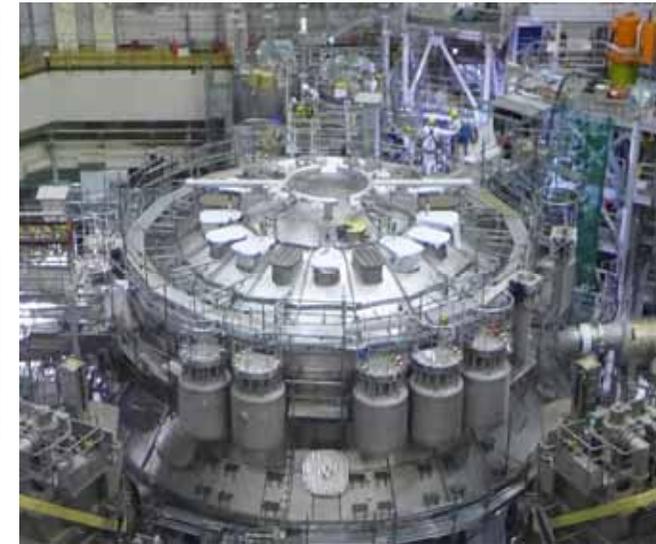
上蓋



専用治具で搬送

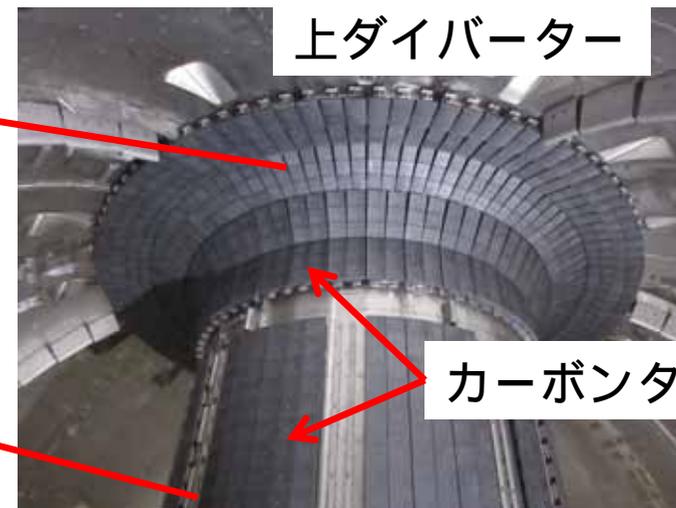


本体に組み込まれた上蓋



真空容器内

真空容器保護のため、カーボンタイルで内壁をカバー



一連のJT-60SAの組み立てにおいては、**10m級**の大型機器を10000分の1の精度で組み立てる技術を開発。



ITERなどの核融合装置の組み立てに反映する。



JT-60SAの組み立てはR2年3月に完成し、現在統合調整運転中

JT-60事業は2020年4月よりフェーズ2に移行

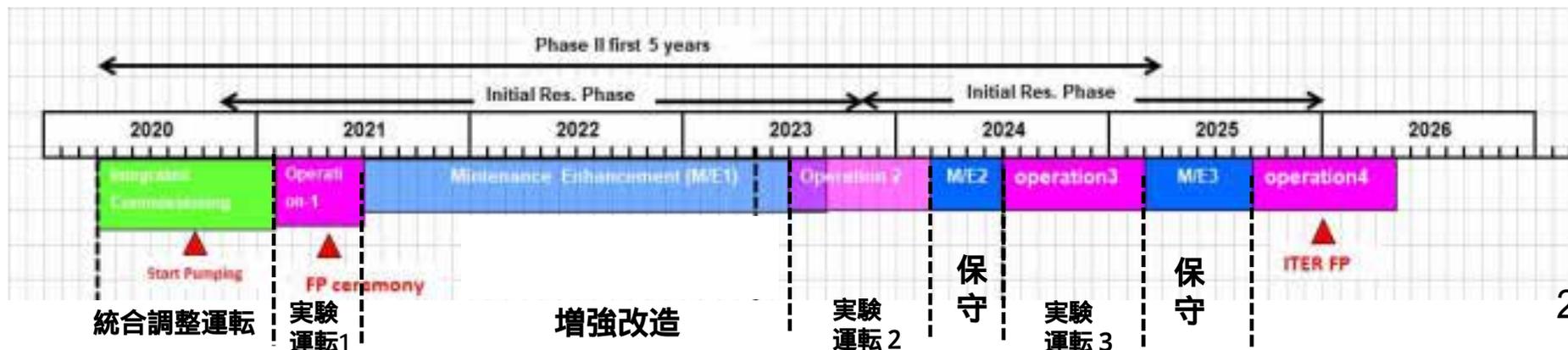
JT-60SA事業においては、2020年3月まで、プロジェクトの大きなマイルストーンであるJT-60SAの完成を達成し、その後4月よりBAフェーズ2に移行。

BAフェーズ2の共同宣言

- ・2020年1月21日、22日にBA活動のフェーズ2に関する共同宣言に向けたドラフトセッションを実施。
- ・その後、BA活動のフェーズ2が2020年3月2日に共同宣言された。
- ・1年毎に5年計画を更新するローリングウエーブ方式を採用。
- ・2020年4月から2025年3月までの5年の事業計画、2020年度の年次計画が運営員会で承認。
- ・2020年度の作業計画に基づき、現在、統合調整運転を実施。

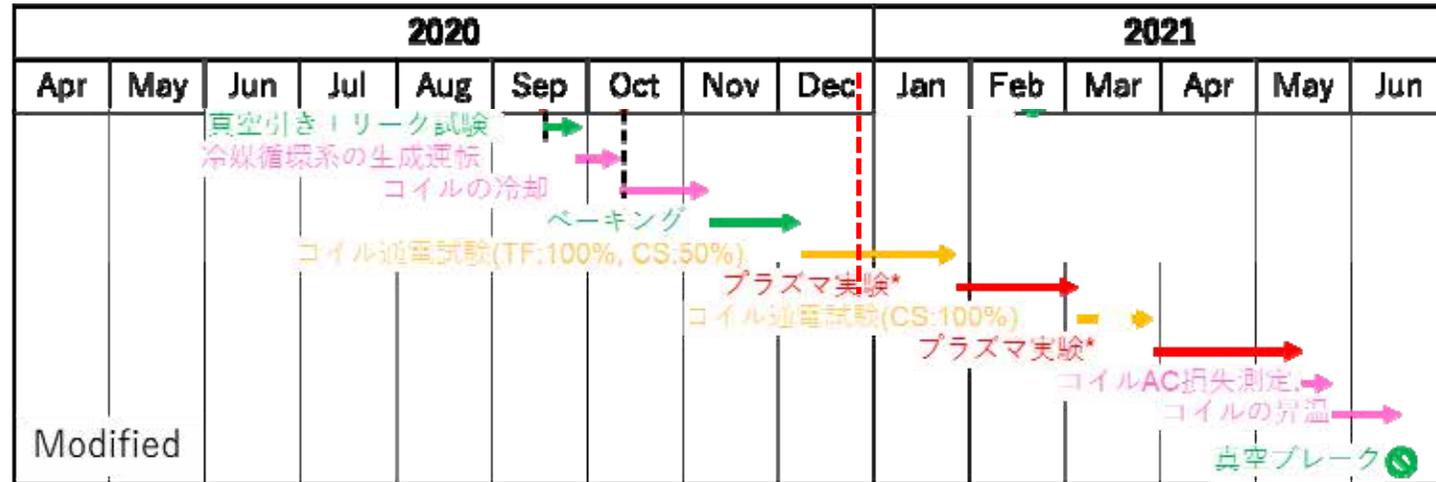


兒玉和夫欧州連合日本政府代表部特命全権大使（左）
カドリ・シムソン欧州委員（エネルギー担当）（右）

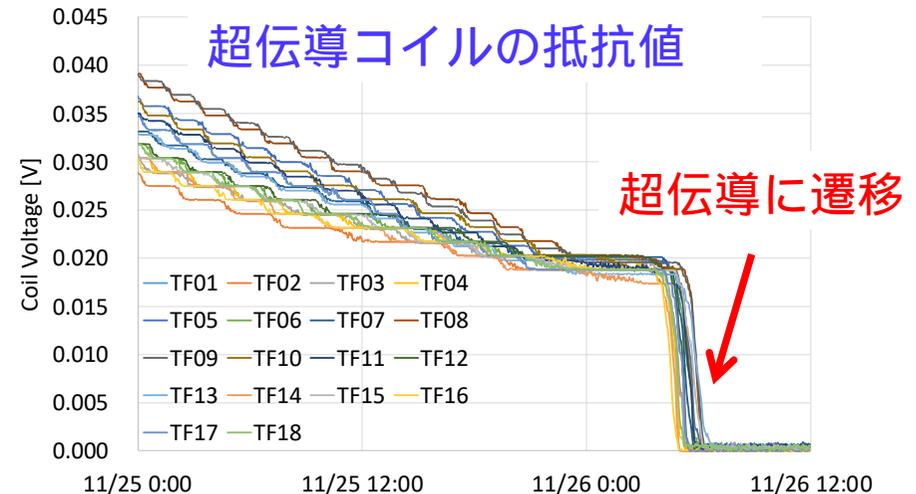


統合調整運転

R2年4月より、統合調整運転の一環として、周辺の配管や配線の配置の最終化や試験を実施。



統合調整運転中の
中央制御室内の様子



• すべてのコイルが超伝導に遷移することを11月26日に確認した。

• 2020年12月21日の週よりコイル通電試験 21

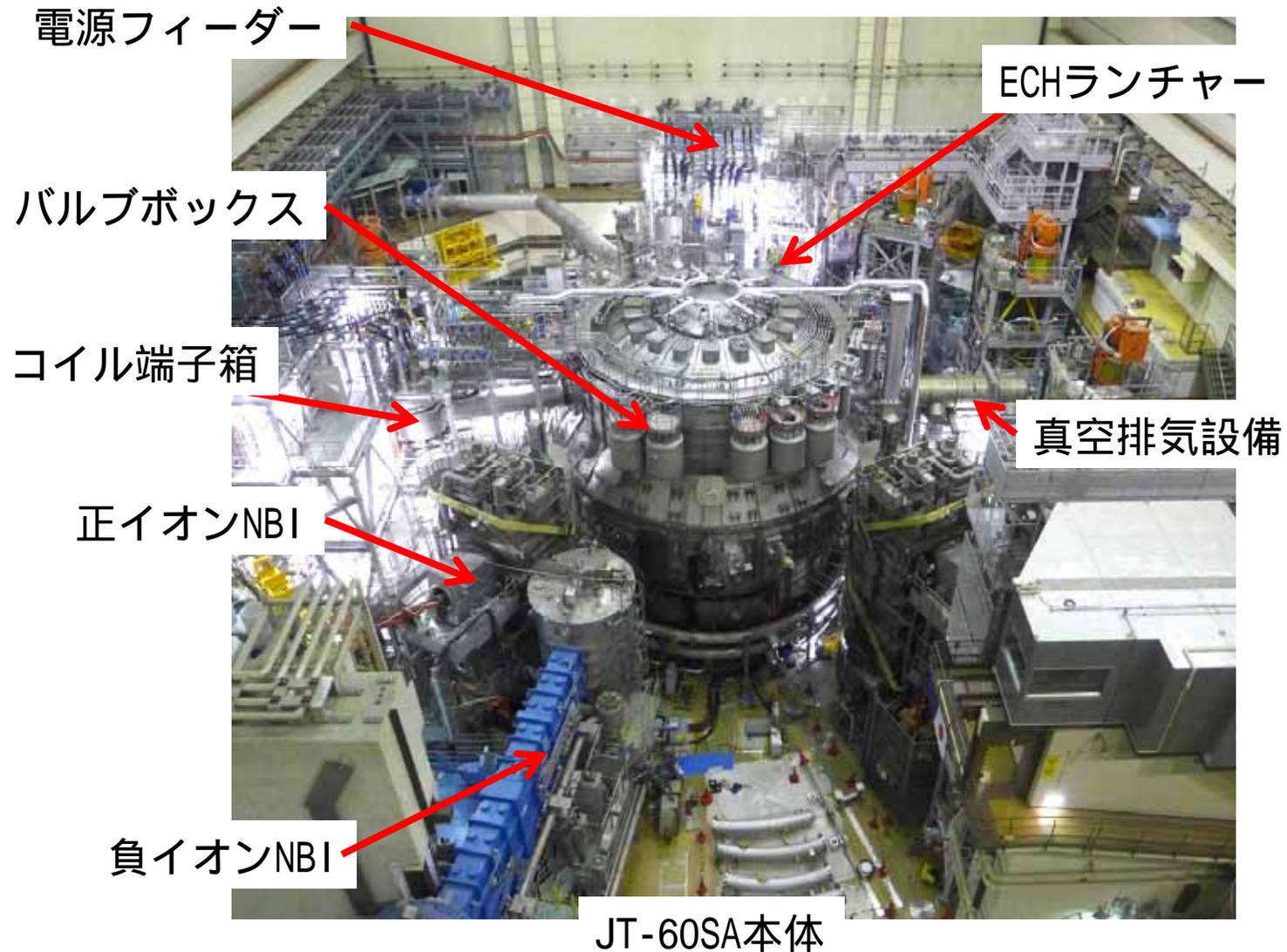
先行するJT-60SAの経験を、ITERでの研究開発のリスク低減のために反映。

- 2020年11月13日に実施取り決めに締結し、3つの分野（トカマク装置の組み立て、統合調整運転、プラズマ実験）において協力。
- 組み立てに関しては、10月21日及び12月17日にワークショップを開き、JT-60SAの組み立て経験を報告。
- 統合コミショニングにおいては、ITER機構の研究員が、毎週実施されているJT-60SAの統合コミショニング会議に参加。
- さらに、11月後半から約3週間ITER機構の前川氏(冷媒装置の専門家)がJT-60SAの統合調整運転に現地参加。本件、ITERニュースレターで紹介。



前川氏(10)が統合調整運転に現地参加

前川氏(左)、夏目氏(中、QST)、サム氏(右、F4E)



那珂核融合研究所 本体室のツアー：森山部長

中央制御室の統合コミッションング：井手部長

まとめ

2020年3月2日に、BA活動のフェーズ2が2020年3月2日に共同宣言され、同年4月より、JT-60SA計画はフェーズ2活動に移行。

- フェーズ1内の事業は計画通りに進展し、2020年3月にJT-60SAの組み立てを完了。
- その後、4月より、統合調整運転の一環として、周辺の配管や配線の配置の最終化や試験を行い、9月より真空引きを開始。
- リーク試験を含む真空引きは順調に進展し、10月よりコイル冷却を開始し、**11月末にすべてのコイルが超伝導に遷移することを確認。プロジェクトのマイルストーンを達成。**
- 今後、コイルに通電を行った後、2021年初期にプラズマ実験に移行する。

御清聴ありがとうございました。