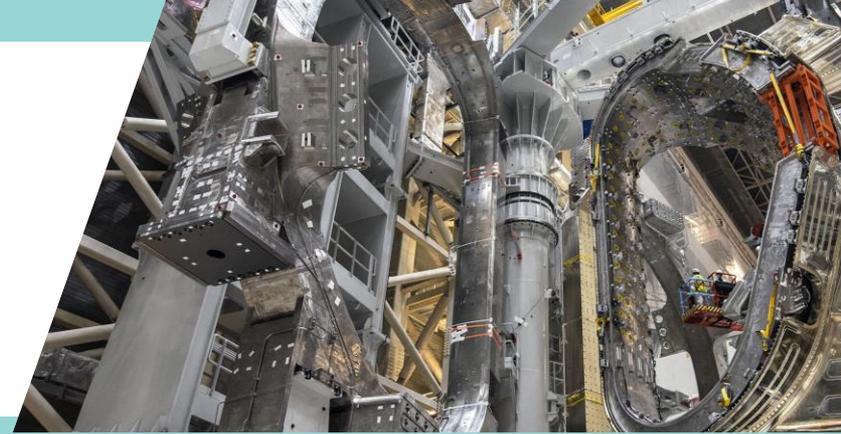
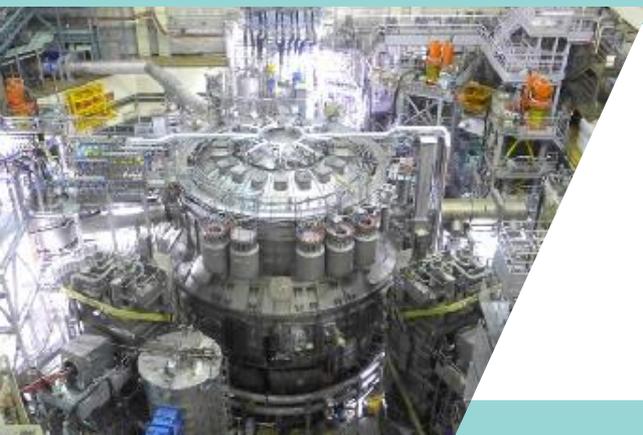


ITER/BA成果報告会2021



# ITER機器製作の展開と JT-60SAのファーストプラズマに向けて

ITER component manufacture and JT-60SA toward first plasma



量子科学技術研究開発機構  
那珂研究所 ITERプロジェクト部  
井上 多加志

INOUE Takashi

Director, Department of ITER Project, Naka Fusion Institute, QST

ビゴ 機構長

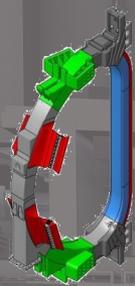
多田 副機構長



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)

### 超伝導トロイダル 磁場コイル

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



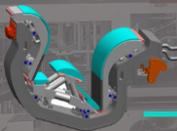
### 超伝導中心ソレノイド 導体

- ・49導体  
(全数完了済)



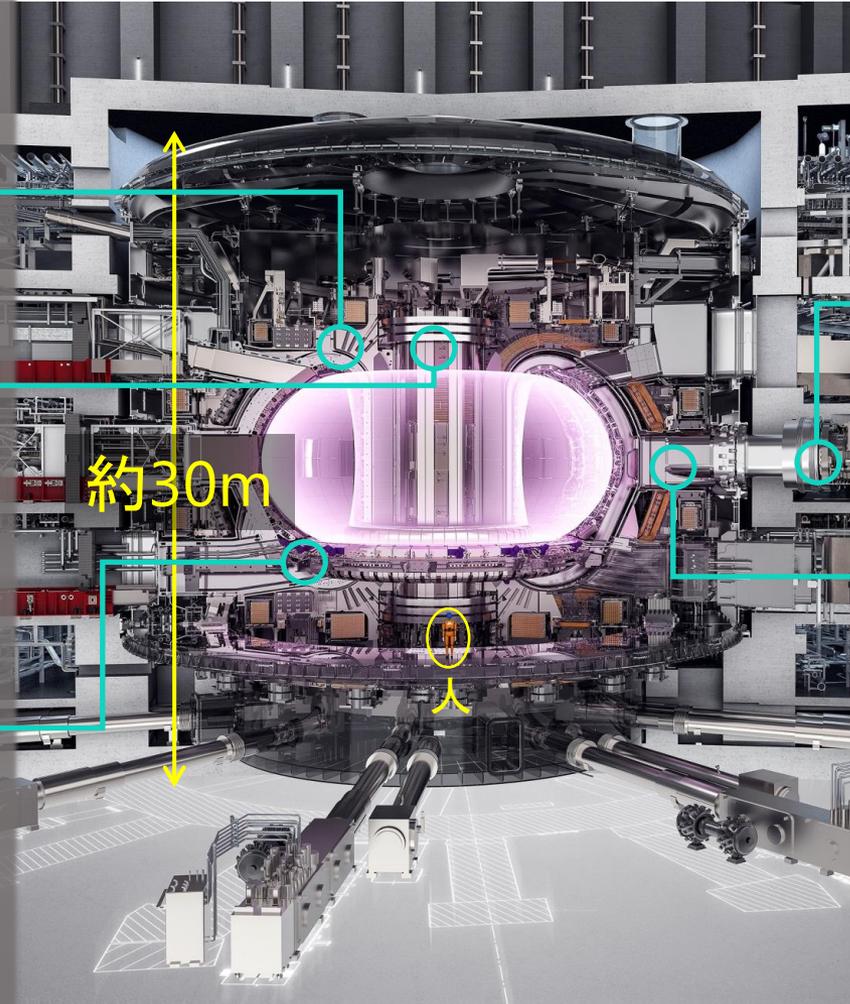
### ダイバータ

- ・外側ターゲット  
(一式)



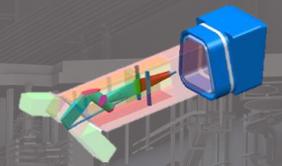
### 遠隔保守機器

- ・ブランケット  
遠隔保守装置  
(一式)



### 計測装置

- ・6計測装置  
(約15%)



### 中性粒子ビーム 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

- ・ジャイロトロン8機(約33%)
- ・水平ランチャー(一式)



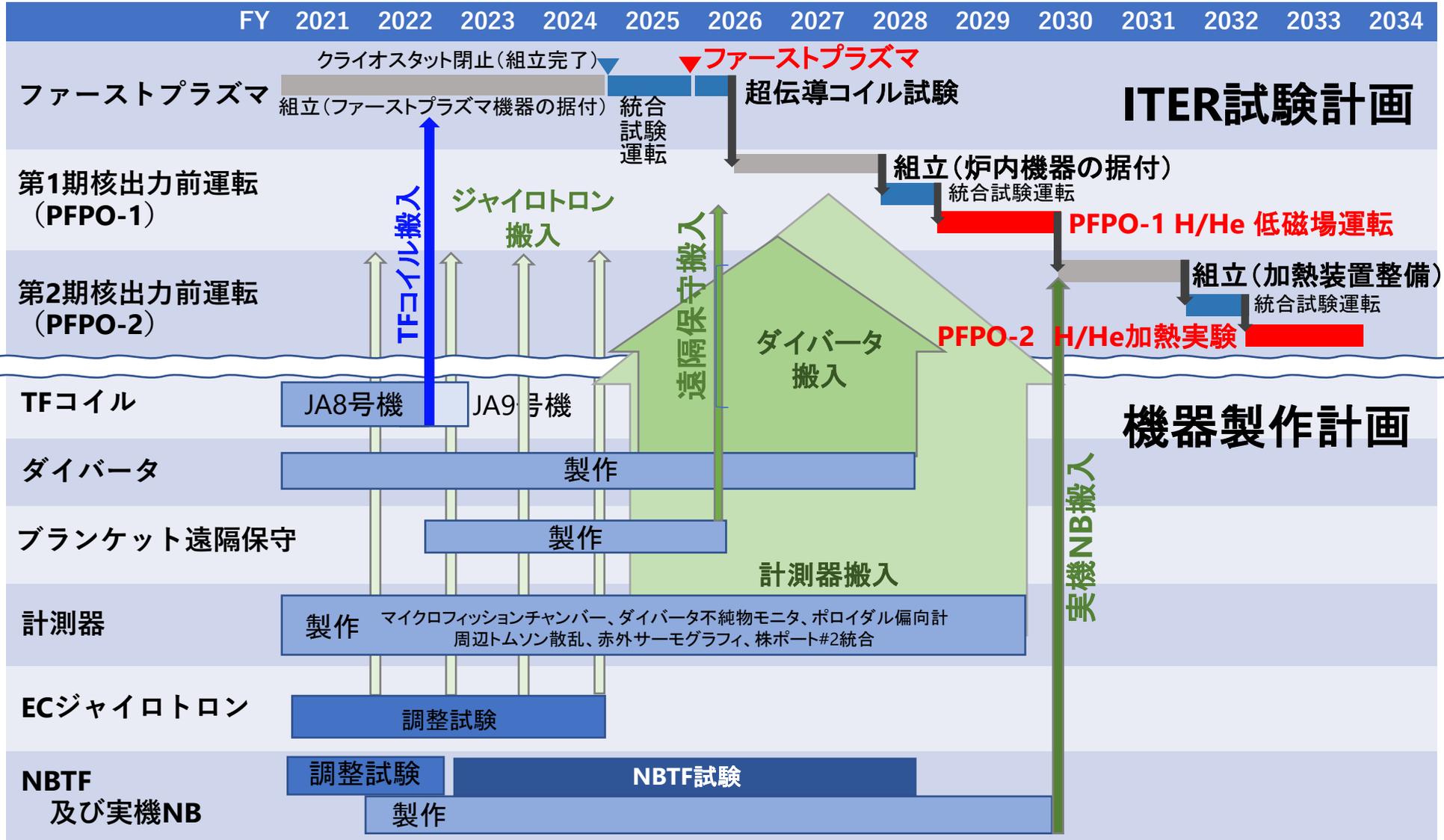
### トリチウムプラント設備

- ・トリチウム除去系  
(50%)



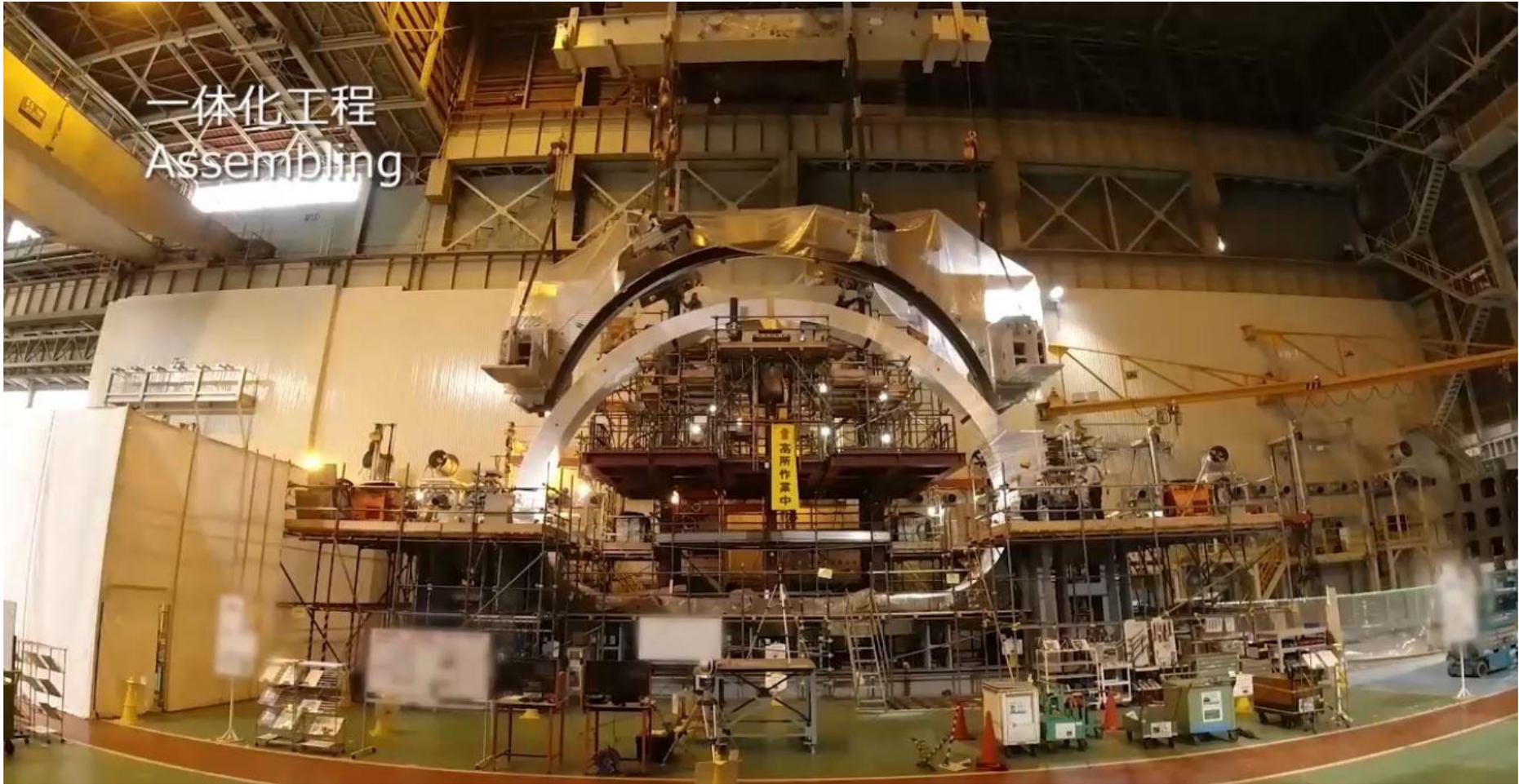
china eu india japan korea russia usa

TFコイル調達の完了が見えてきた。  
機器製作は、ファーストプラズマ後に向けて新たな展開。



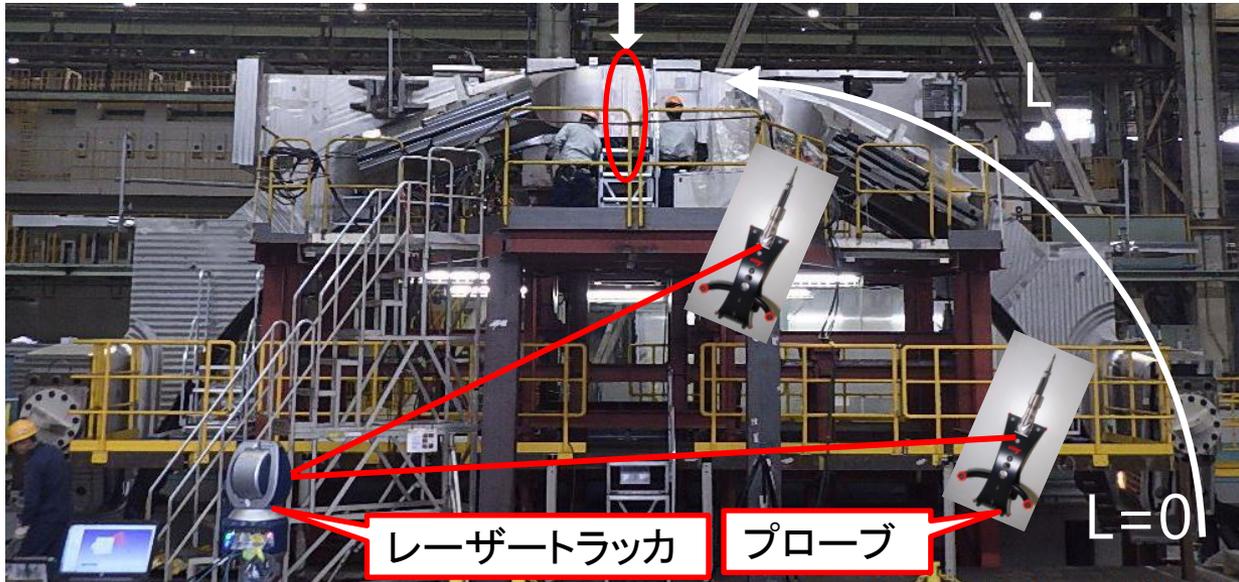
- 汎用・民生品のPC、CAD、レーザートラッカ、自動溶接機等、最先端の民生用機器をフルに応用して高精度設計、製作、工期短縮を実現。

一体化工程  
Assembling

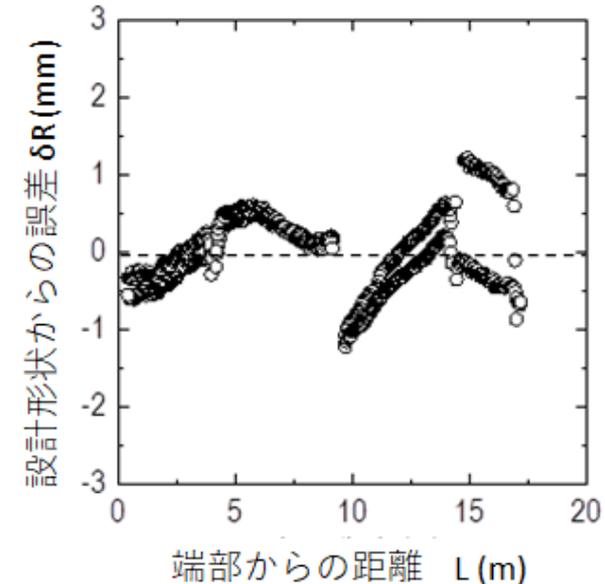


課題: 厚肉ステンレス構造物(厚さ150mm以上)の溶接変形の高精度制御。

溶接継手



レーザートラッカ プローブ  
セグメント間溶接中のTF05 BU



### 解決策

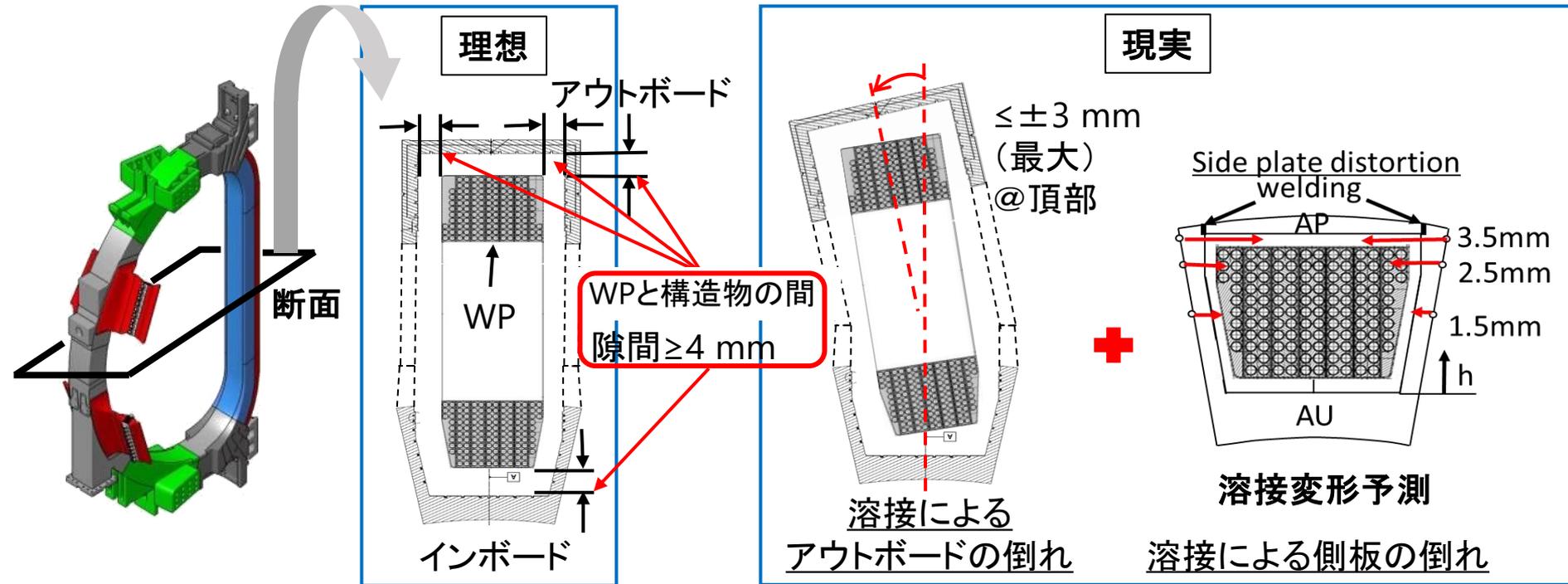
溶接中にレーザートラッカで部品形状を正確に計測、溶接変形をリアルタイムで補正・矯正

### 成果

溶接変形による製作誤差(ΔR)を±1.2 mmに制御

高さ16.5m、幅9mの厚肉TFコイル構造物をmmオーダーの高精度で製作。

## 課題: 超伝導巻線(WP)、電流中心位置(CCL)、TFコイルの高精度組立



### 解決策

構造物・WP組立中のWP位置をレーザートラックで予め計測、0.1mmオーダーでWPを微調整してCCLを最適位置に設置して組立て。

### 成果

CCL最適位置を実現するTFコイル組立を達成

**TFコイル電流中心をmm単位で最適化、高精度磁場トカマクへの期待**



極低温高靱性材料開発、厚肉ステンレス鋼溶接、CIC導体製作、高精度巻線、巻線位置管理、超伝導巻線巨大加工機による構造物の高精度加工等、10年以上にわたるR&Dの成果が高さ16.5m、幅9m、総重量300トンの巨大なITER TFコイルに結晶。

### TFコイル輸送

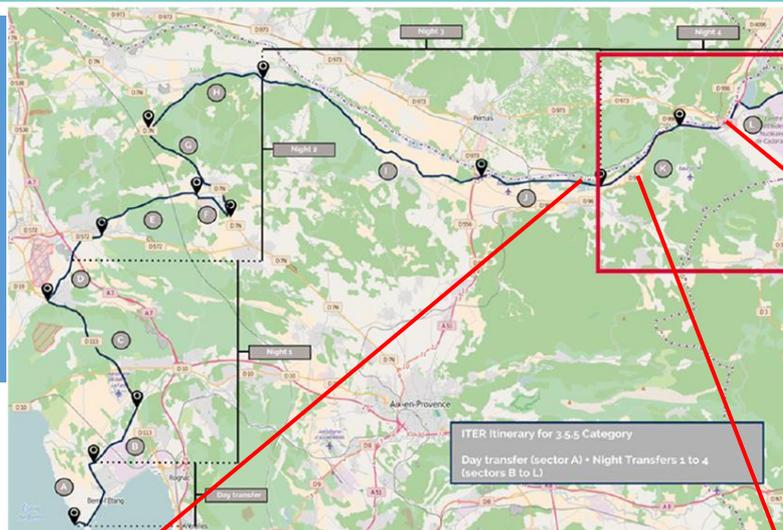
距離約100km

国道・高速道路を通行止め

夜間輸送(4夜)

80名の警備隊が護衛

ベールリットン



ITERサイト

国道から高速道路へ入る  
次ページ動画



夜間輸送待機中



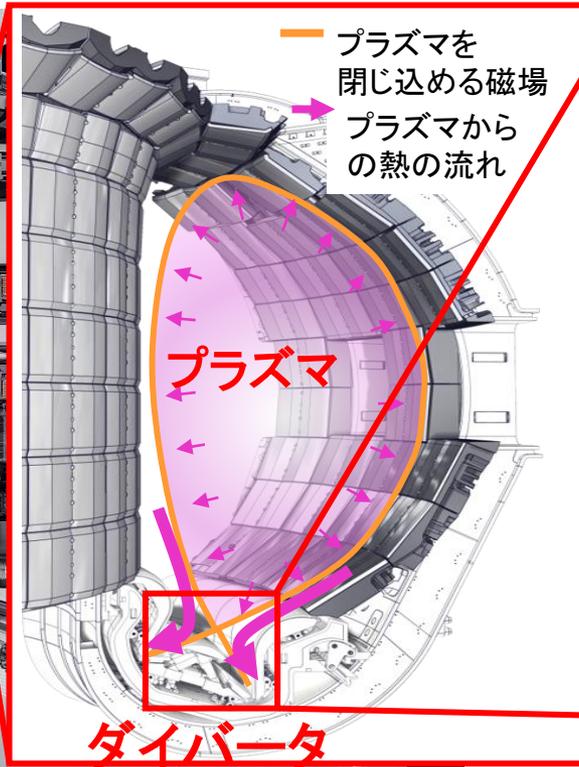
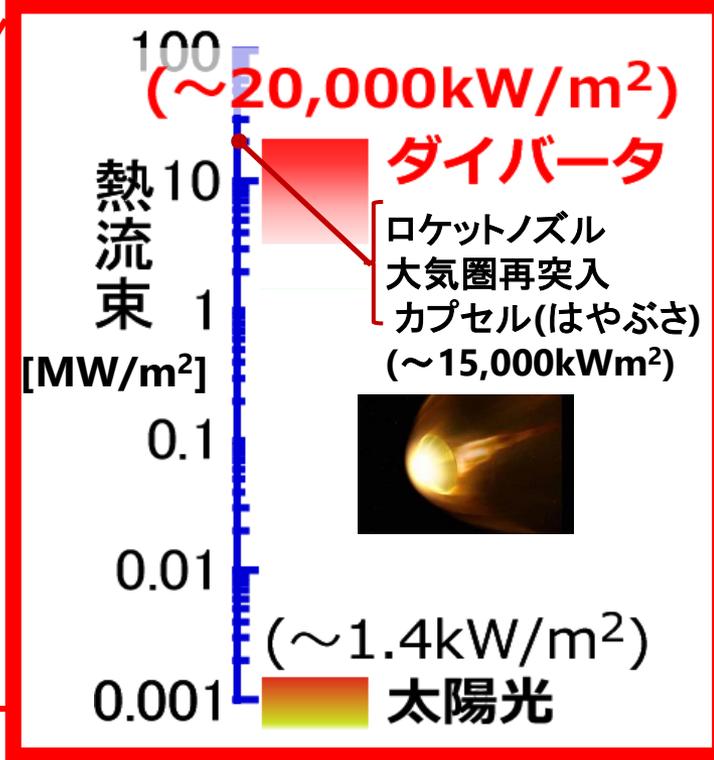
国道移動中 プラタナス並木の幅一杯



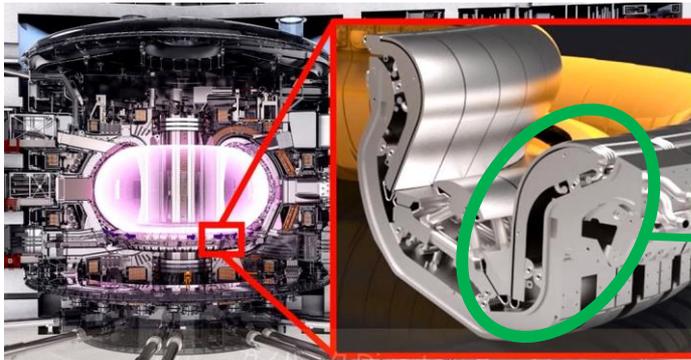
**すでに6機のTFコイルが完成。  
TFコイル調達の完了が見えてきた。**

- 1970年代初に日本で考案。
- プラズマ中の不純物をダイバータへ排出し、核融合反応を維持。
- ほぼ全てのトカマク型装置において採用され、ITERにも採用。
- 核融合炉で唯一プラズマに直接接触れる機器であり、高い入熱に耐える必要。

### 熱流束の比較



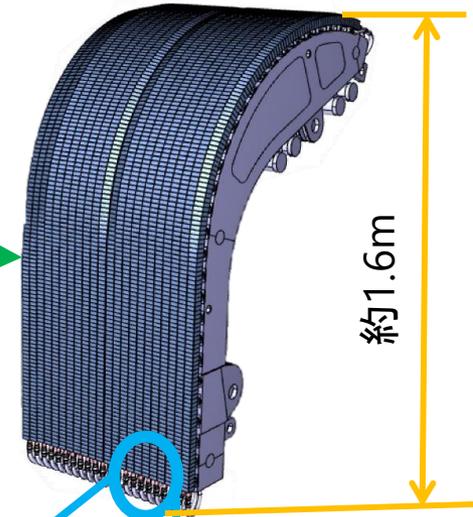
人類が扱える最高レベルの高い熱流束を受け止める。



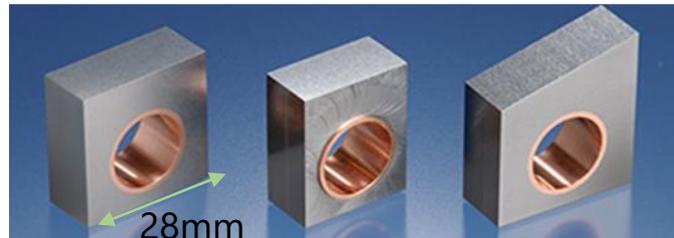
ITER

ダイバータカセット

外側ターゲット  
(58カセット)



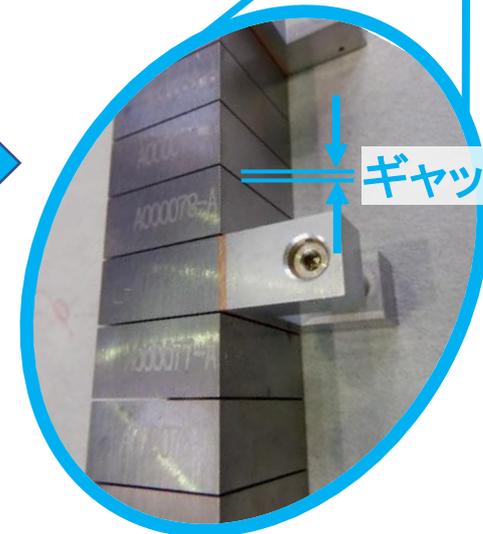
約1.6m



タングステンモノブロック  
(アライドマテリアル製)  
外側ターゲット全体で約20万個



モノブロックを  
ろう付け接合。



ギャップ:0.4mm

スペーサの工夫し  
てモノブロック間  
ギャップ0.4mm  
(±0.1mm)に制御

特殊銅合金 (大和合金製):  
[講演:ITER/BAから原型炉  
へ活発化する産業界の技術  
連携]]

実機ダイバータ外側ターゲットの製作に着手

## ITERジャイロトロン全8機の製作を完遂、5機までの完成検査を完了



## 2周波数ジャイロトロンプロトタイプの実験開始

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

2021年12月

- 170GHz / 104GHz で発振確認
- 170GHzにおいて1msの短パルスながら1MWの出力を確認

日本が調達する5つの計測装置の試作、試験を進め、設計最終化を目指す。

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

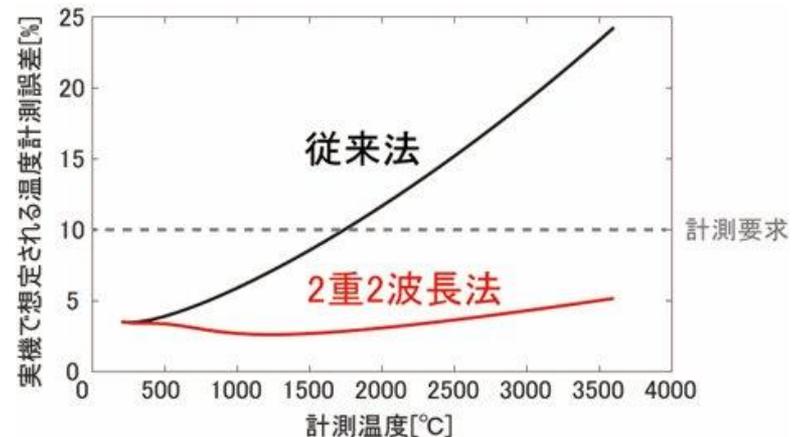
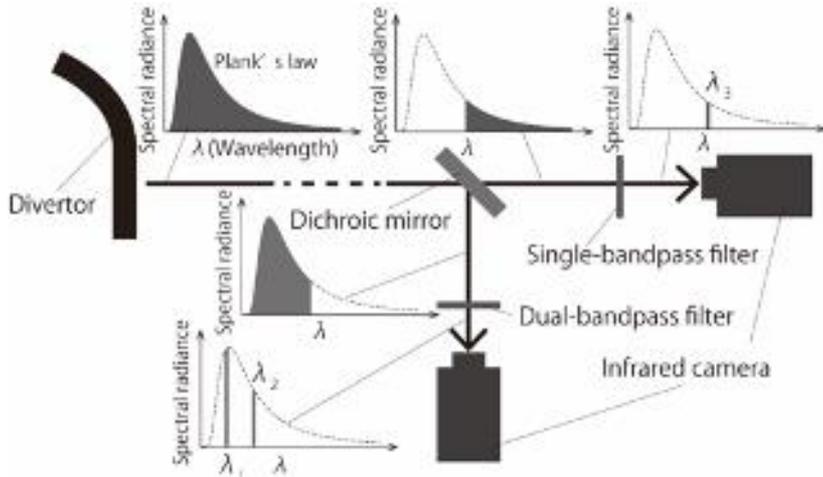
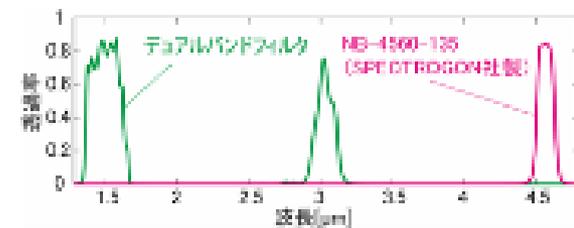
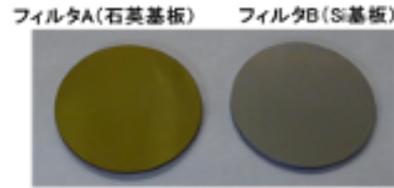
## ダイバータ温度計測の新技术法(2重2波長法)を開発

20-3600°Cの広範な温度範囲において、十分な精度で温度計測

通常の2色温度計測に加え、短波長側に2つの中心波長を有する特殊な干渉フィルタを使用



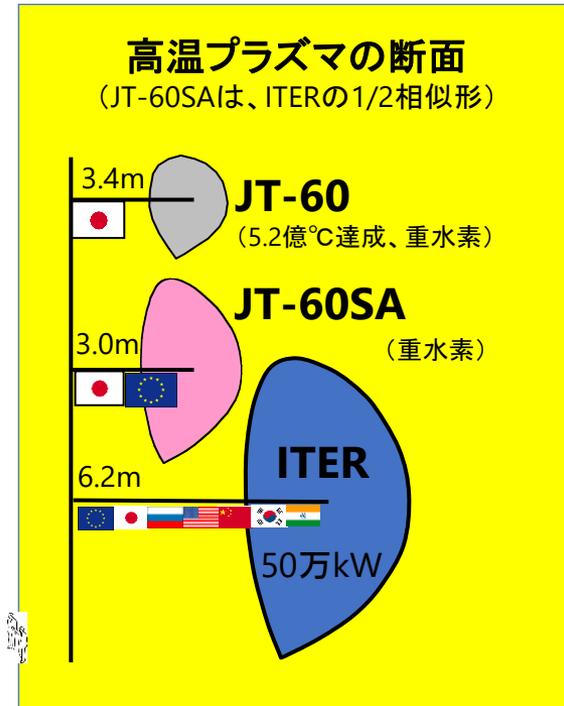
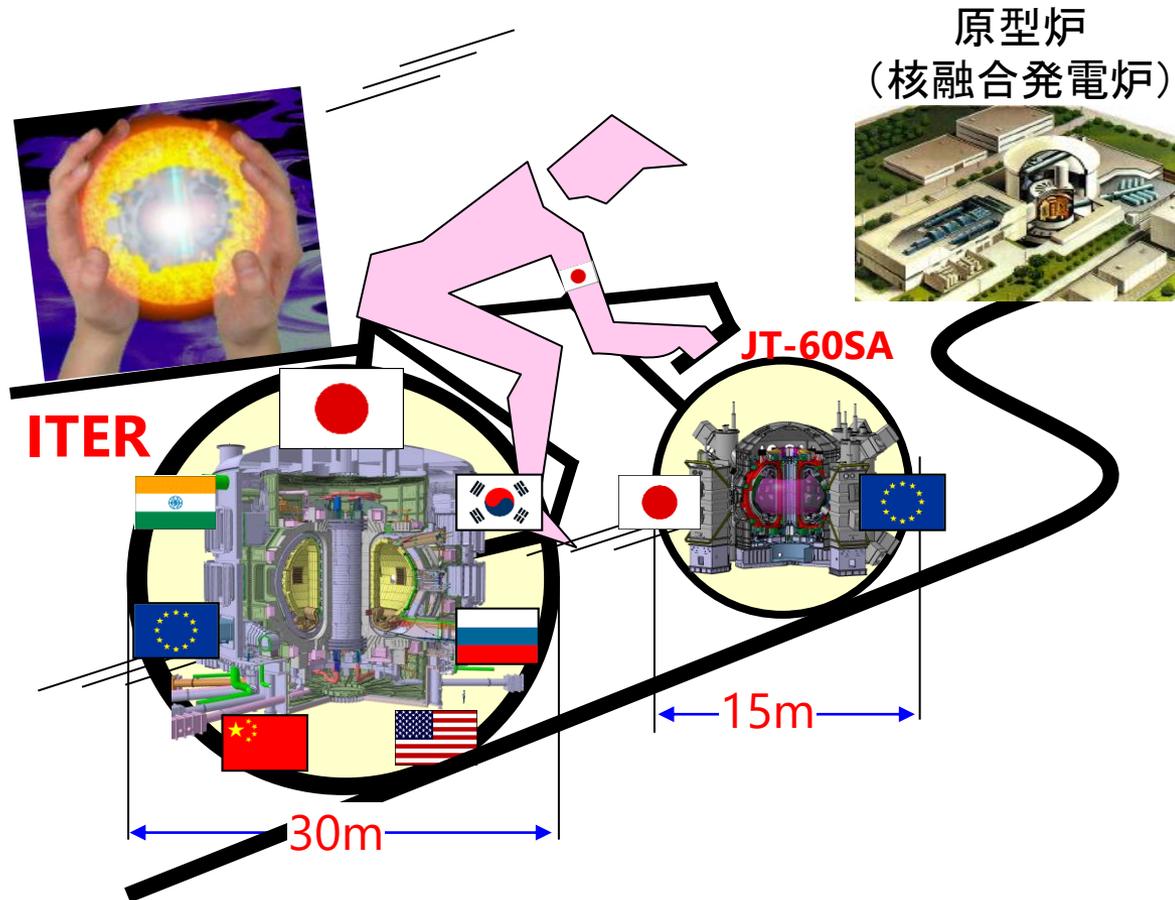
検出器を増やさずに2色温度計測システムの輝度比の計測許容誤差を緩和する独自の手法(2重2波長法)を新たに考案(特許出願整理番号: Q20231JP)



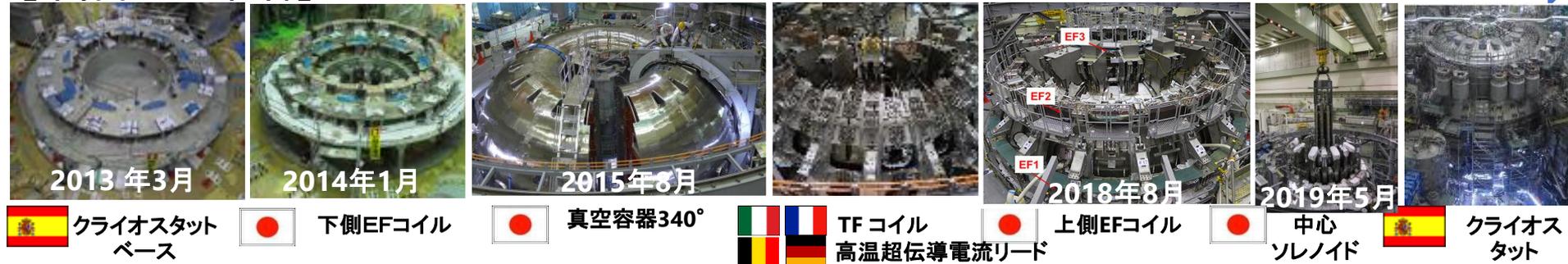
許容される輝度比の計測誤差事体を拡張すること着目し、計測誤差にロバストなシステムを実現

全温度計測範囲において温度測定誤差を10%以下とすることに成功し、計測要求を実現。

- ITERに先行し建設/運転/実験を日欧で行い、**ITERを先導**。
- 魅力的な原型炉(核融合発電炉)に向け、**高性能プラズマ(定常運転・小型化)を開発**。
- 若い研究者の人材育成を行い、**ITERに派遣しITERをリード**。
- 日欧及び世界の研究者が集まる、**世界的な研究開発拠点(那珂研)**。

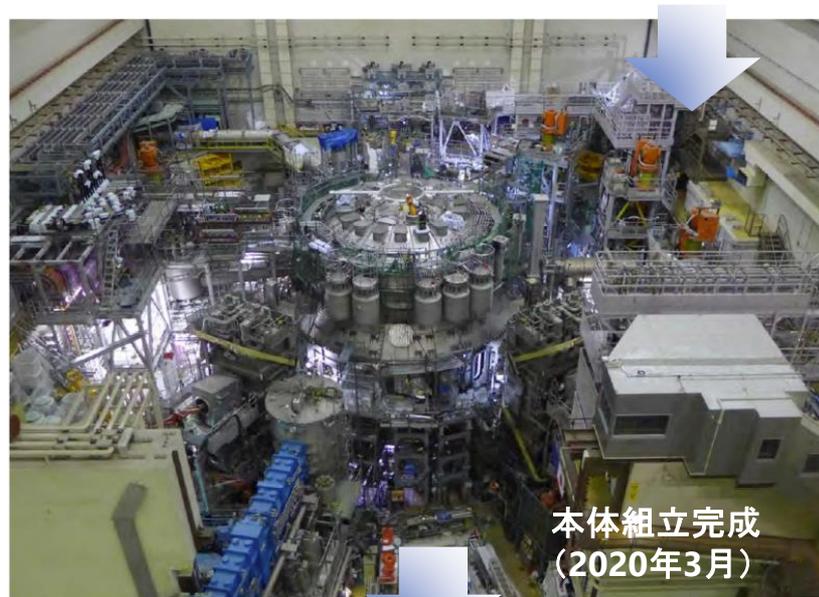
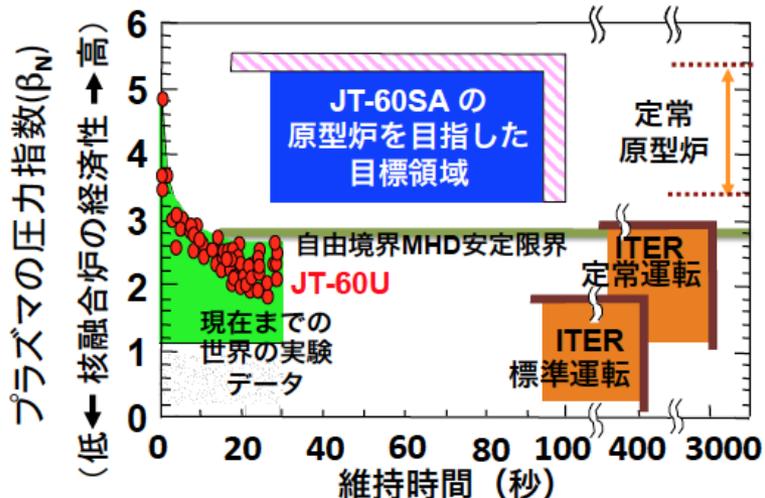


## 【本体組立の経緯】



## 【プラズマ性能の目標領域】

圧力指数を2倍に出来ると、核融合出力は4倍となることから、原型炉の小型化の道を拓く。



現在：超伝導コイルの絶縁補強作業中。  
来年2月：統合試験運転再開を計画。

- JT-60SA本体および周辺機器が設計通り運転できることの確認
- 制御システムがプラズマを想定通りに制御できることの確認。
- **MA級のダイバータプラズマを目標**

### 試験のステップ

周辺機器の整備等

→ 真空排気とリーク試験

→ 極低温機器調整運転

→ 超伝導コイル冷却

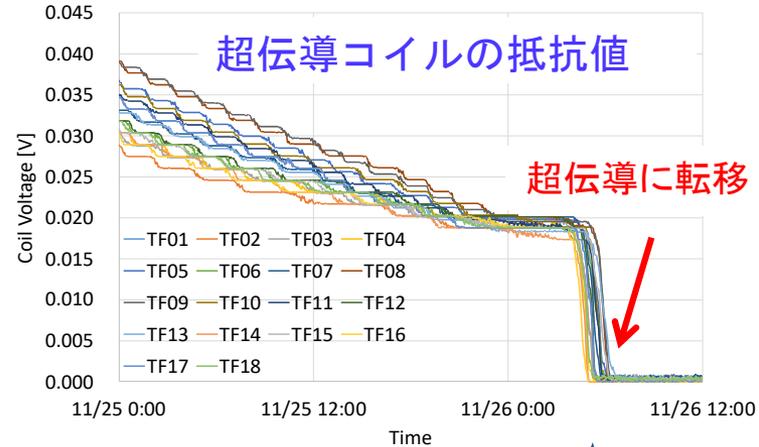
→ ベーキング+リーク試験

→ コイル通電試験(TF:100%, PF:25%)

→ プラズマ運転

→ コイル通電試験(PF:100%)

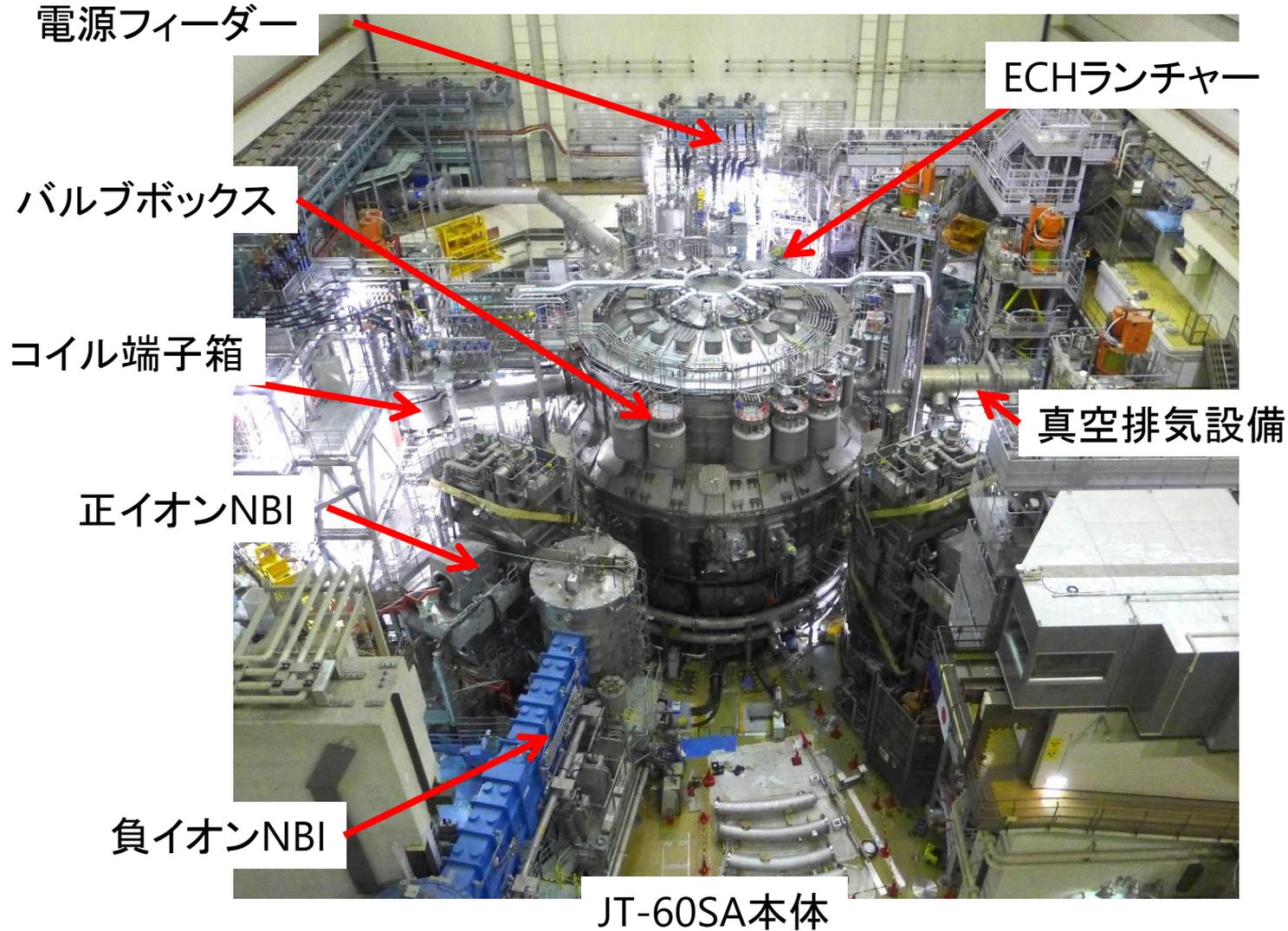
→ プラズマ運転



- 2020年4月から、統合試験運転を開始。
- 9月に真空容器とクライオスタットの真空排気を開始。
- 11月に超伝導状態への転移を確認。
- 2021年1月からコイル通電試験を開始。
- 結果・経過は随時ITERに情報を提供。

現場から説明

Live video from JT-60SA at Naka



那珂核融合研究所 中央制御室 統合調整運転: 井手部長  
本体室の状況: 森山部長

### 【ITER】

- 汎用・民生製品をTFコイル製作に応用、高さ16.5m、幅9mのmmオーダーの高精度で加工、TFコイル電流中心をmm単位で最適化。
- 極低温高靱性材料開発、厚肉ステンレス鋼溶接、CIC導体製作、高精度巻線、巻線位置管理、超伝導巻線巨大加工機による構造物の高精度加工等、20年以上にわたるR&Dの成果がITER TFコイルに結晶。
- **機器製作はPFPO-1、PFPO-2に向けて新たな展開に入る。**
  - ダイバータ、計測装置、ブランケット遠隔保守、中性粒子入射装置
  - **EC加熱装置では、全8機のジャイロトロンの製作を完遂。**

### 【JT-60SA】

- 2021年1月からコイル通電試験を開始。
  - トロイダルコイル定格電流通電、ECRプラズマ着火など、機器の基本性能を確認。 → **ITERに運転経験等の情報を提供し、貢献。**
- ファーストトカマクプラズマを目指し、2022年2月に統合試験運転開始予定。