

ITER/BA 成果報告会2018
人類の明日をのぞむ核融合エネルギー
有楽町朝日補ホール 2018年12月14日(金)

ITERの機器製作活動及び JT-60SA建設の進展



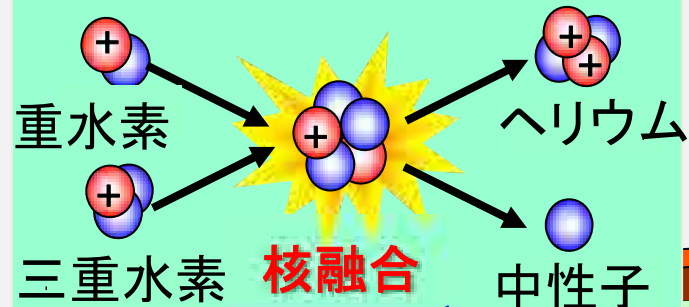
量子科学技術研究開発機構
核融合エネルギー研究開発部門
那珂核融合研究所
栗原 研一



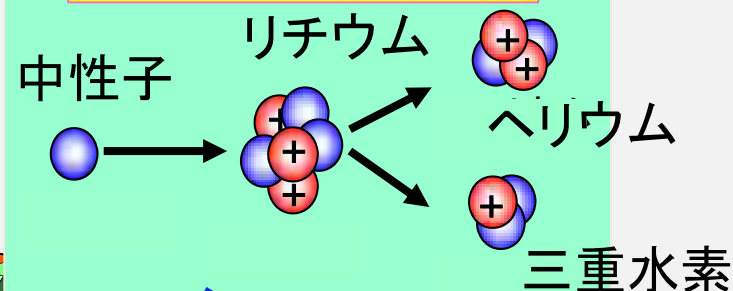
那珂核融合研究所

核融合発電の仕組み

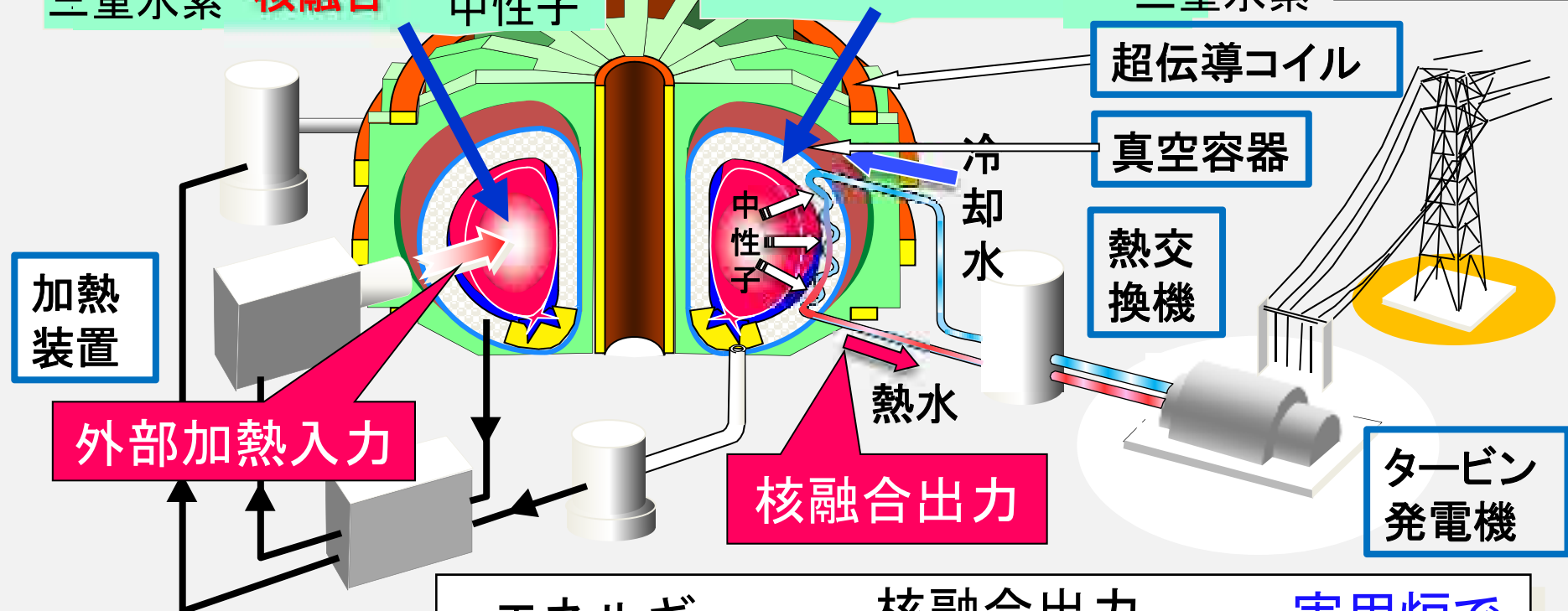
燃焼プラズマ



ブランケット



電気出力

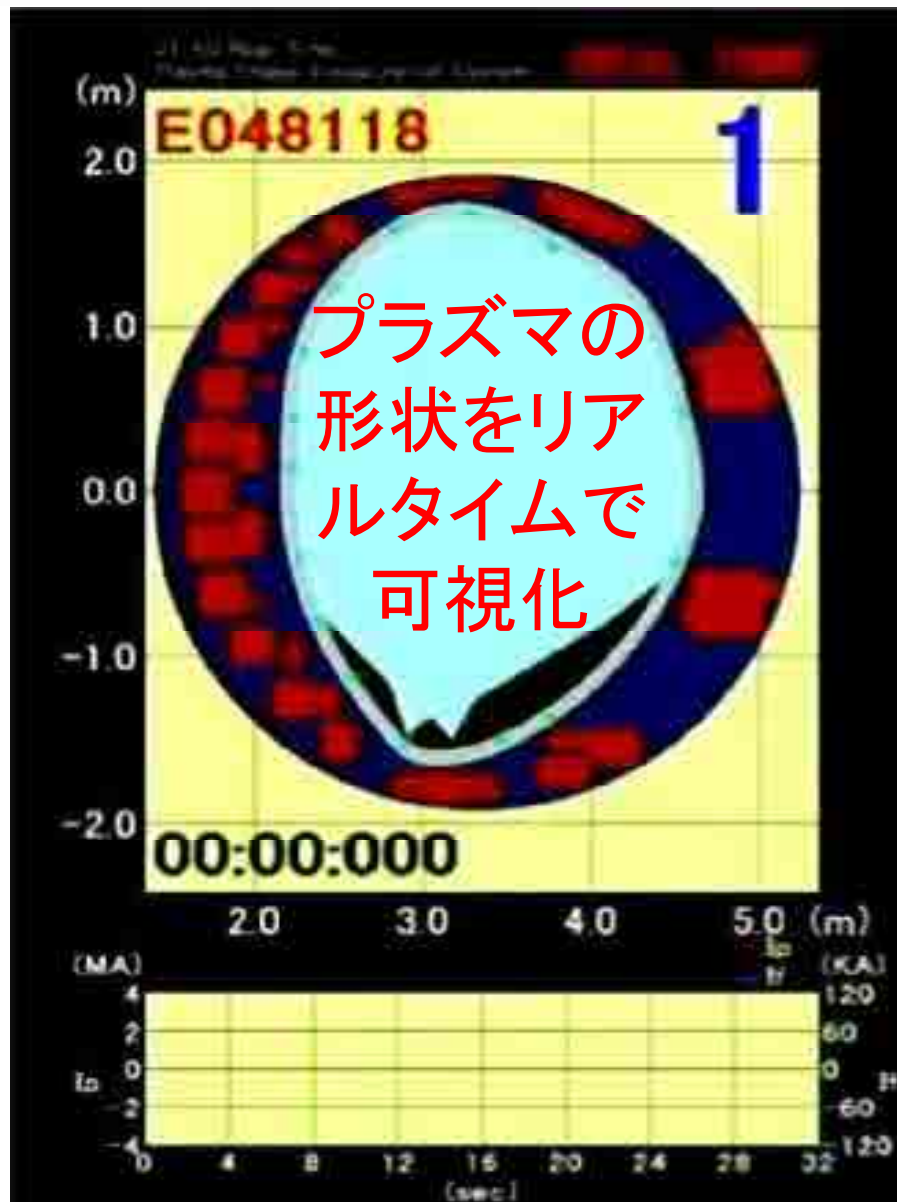


エネルギー増倍率 $Q = \frac{\text{核融合出力}}{\text{外部加熱入力}}$

実用炉では30-50

JT-60プラズマ実験

那珂核融合研究所 QST



プラズマの
形状をリアル
タイムで
可視化

核融合反応中性子
によりCCDカメラの
受光素子がダメージで
白点に変化します。
1億度を超える
高温プラズマからは
可視光を出しませんの
で透明に見えます。



核融合エネルギー実用化への道

試験装置

実験炉

現在

原型炉

今世紀中葉

実用化に見通し

核融合燃焼を起こし持続させる研究開発

JT-60計画

超高温プラズマの
実現 (1990年代)

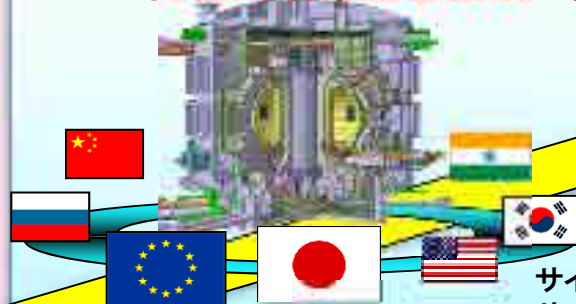
世界最高のエネルギー増倍率
1.25(実燃料換算値)
世界最高イオン温度
5.2億度



【那珂核融合研究所】

ITER(国際熱核融合実験炉)

持続的な核融合燃焼の実証 50万kW



ITERを支援する

JT-60SA計画



【那珂核融合研究所】

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で
できないことを補う
ITERを利用する

核融合原型炉

発電実証
経済性が見通し



核融合燃焼を活用する研究開発

原型炉設計



【六ヶ所核融合研究所】

ブランケット開発



構成材料の開発



核融合中性子照射
試験施設の開発



日欧共同事業
「核融合エネルギー研究分野における幅広いアプローチ(BA)活動」も活用して実施



ITER計画における 国内調達活動の進展



世界の7極が取り組むITER計画

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: 仏サン・ポール・レ・デュランス市

ITER機構を2007年に設立
各国内機関が構成機器を分担製作
QSTは日本の国内機関

11月時点で初プラズマ実現への
進捗率: 60%

約30m

人

ビゴ機構長



多田 副機構長
Lee 副機構長



2025年: 初プラズマ
2035年: DT燃焼実験

サイト全景





日本が製作分担する最先端の主要本体機器

那珂核融合研究所

超伝導中心ソレノイド導体

・49導体

計測装置

・5計測装置

①人のサイズ

ダイバータ

遠隔保守機器

トリチウムプラント設備

外側ターゲット

ブランケット遠隔保守装置

トリチウム除去系

超伝導トロイダル磁場コイル

・19構造物
・9コイル

高周波加熱装置

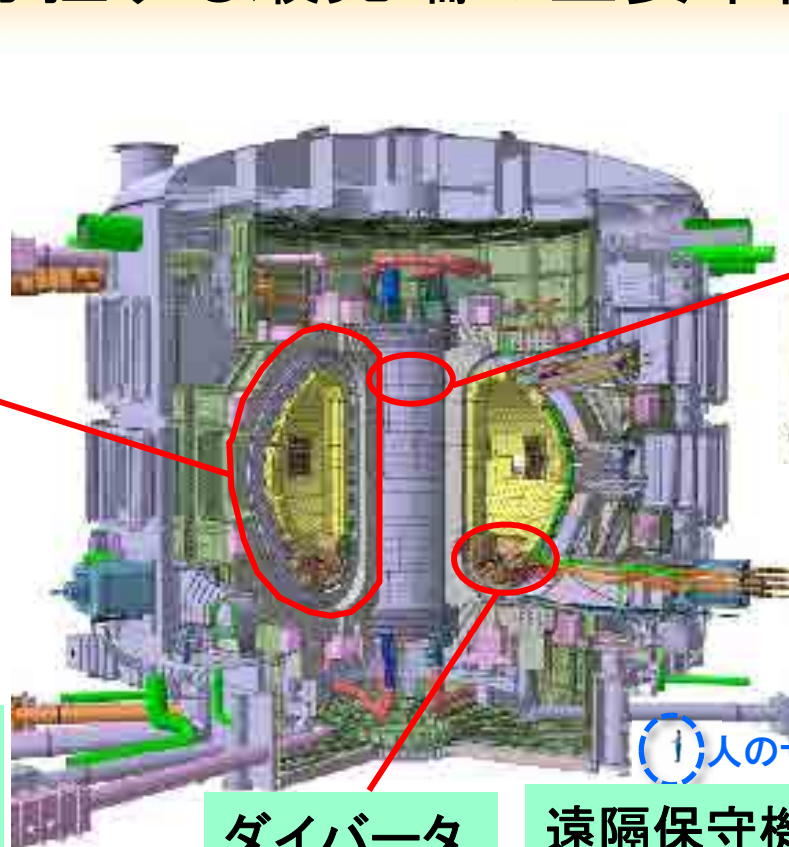
中性粒子入射加熱装置



・ジャイロトロン8機、水平ランチャー



・1MeV電源高圧部・高電圧ブッシング3基
・加速器1基





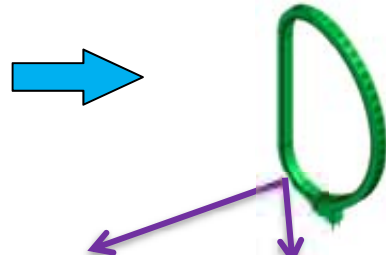
那珂核融合研究所

着々と進む日本分担のITER機器製作 超伝導トロイダル磁場コイル

導体(33本)



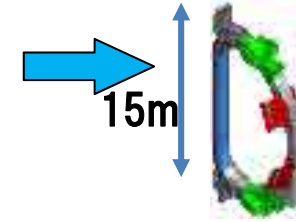
巻線(コイル9体分)



構造物(19体)



一体化(9体)



TFC3号機用
DP(東芝)



日本向け構造物
1号機出荷



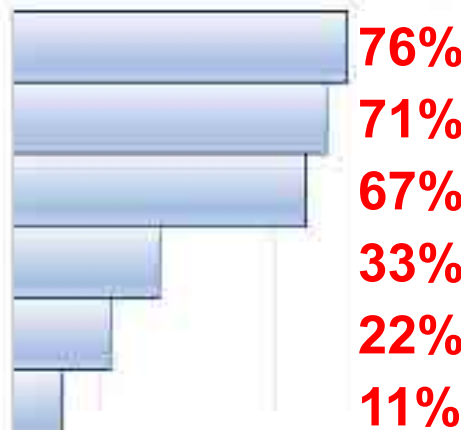
欧州向け構造物
1-2号機出荷

TFC1号機WP
低温試験: 終了
(三菱重工) トランスファー

DP巻線
熱処理
DP積層
巻線部

絶縁&含侵
最終検査

TFコイルWPの
製作進捗



	日本向け									欧州向け									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
内側	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
外側	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
出荷	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

TF構造物の製作進捗

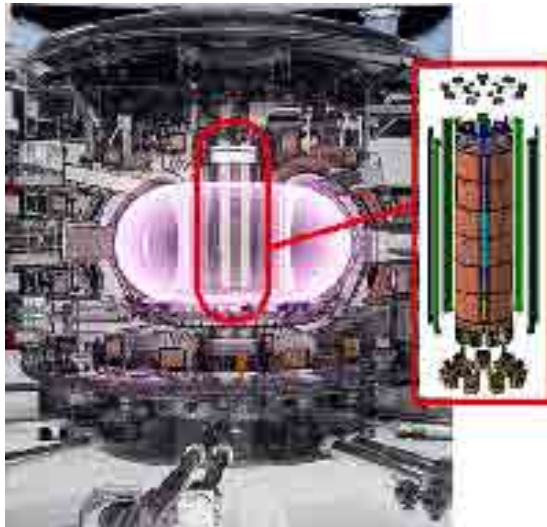


那珂核融合研究所

着々と進む日本分担のITER機器製作 超伝導中心ソレノイド導体

2017年10月、CS導体49本すべての製作・検査が完了。

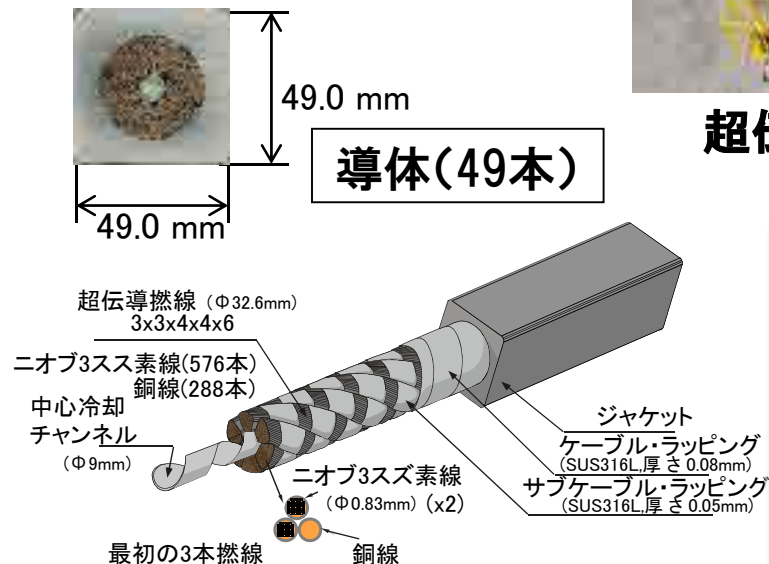
2018年3月：CS導体49本すべての導体の米国への引き渡しを完了。



超伝導導体製作完遂



米国へ到着した最後の超伝導導体



巻線作業



中心ソレノイドコイル
の組立



着々と進む日本分担のITER機器製作 中性粒子入射加熱装置

那珂核融合研究所

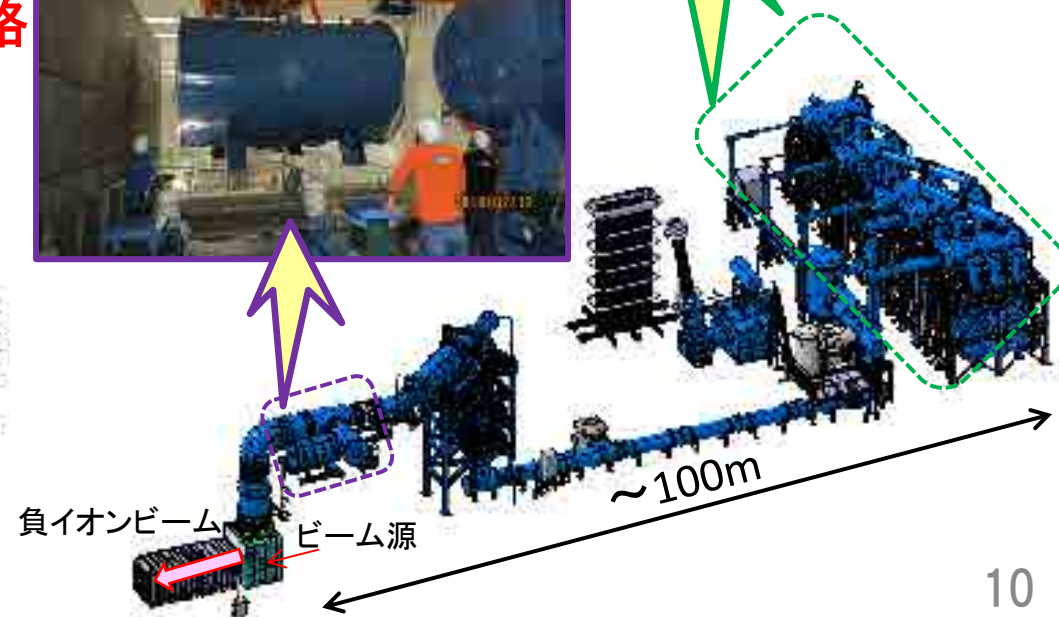
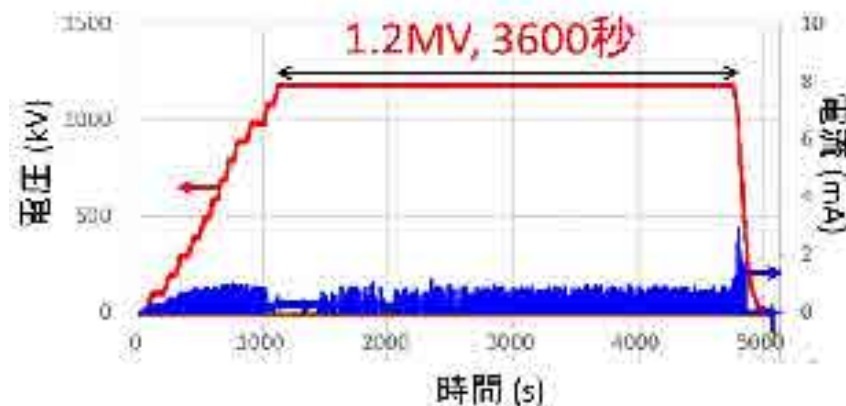
中性粒子の素となるエネルギー1MeV、電流値40Aの水素負イオンビームを発生させる直流超高電圧電源機器の開発・製作・試験。
ITERに先駆け、イタリアに実規模試験施設(NBTF)を建設中。

【高電圧電源の必要性能】

電圧1MV, 電流60A, パルス長3600秒

- ・ 日本国内における機器製作完了
- ・ 欧州機器との取合い部以外(全体の97%)据付完了
- ・ 1.2 MV×1時間の耐電圧試験に合格(11月)

→ 今後、欧州機器と接続し試験



着々と進む日本分担のITER機器製作 中性粒子入射加熱装置



那珂核融合研究所



世界最大パワーのビーム実現を目指して
Toward demonstrations of the most powerful beams in the world

ITER中性粒子入射装置
実規模試験施設の試験開始
ITER Neutral beam injection system, Start of test in the test facility

着々と進む日本分担のITER機器製作 中性粒子入射加熱装置



那珂核融合研究所





着々と進む日本分担のITER機器製作 高周波加熱装置

那珂核融合研究所

ITERファーストプラズマに必要なジャイロトロン1機目の完成検査を完了

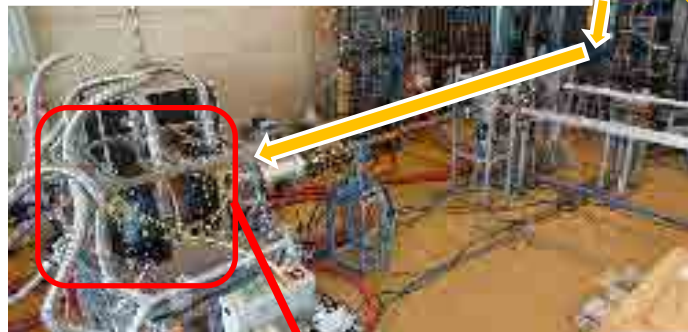
高出力マイクロ波発生管
ジャイロトロン

全24本中、JAは8本を調達

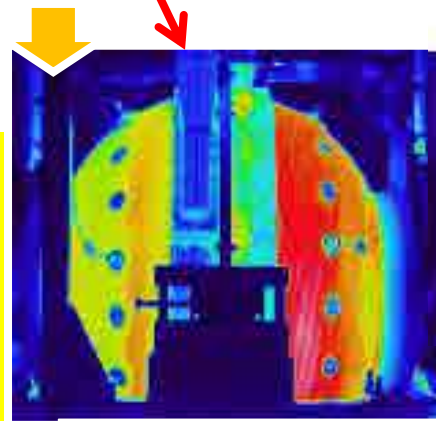
(完成検査要求)

- ・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

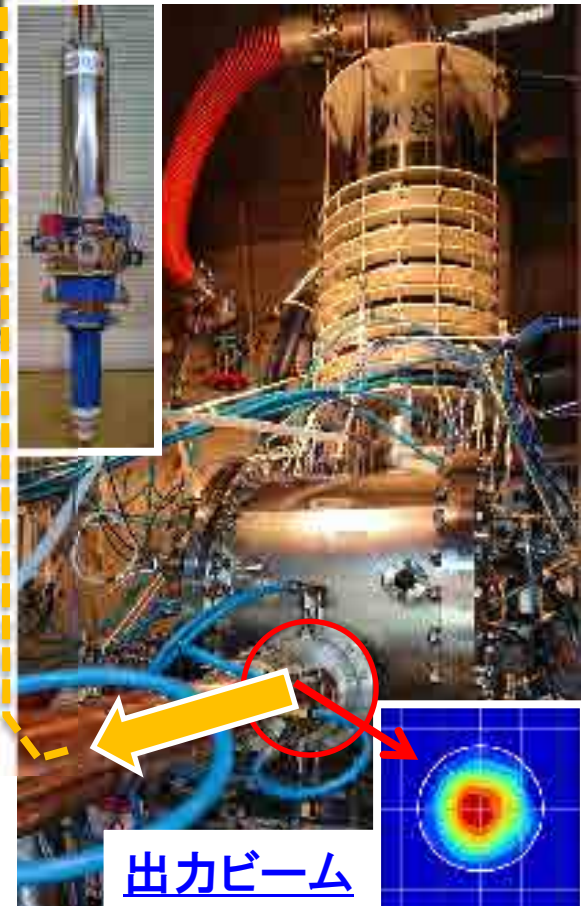


1MW連続入射



完成試験の様子

JA-ジャイロトンシステム



出力ビーム

成果

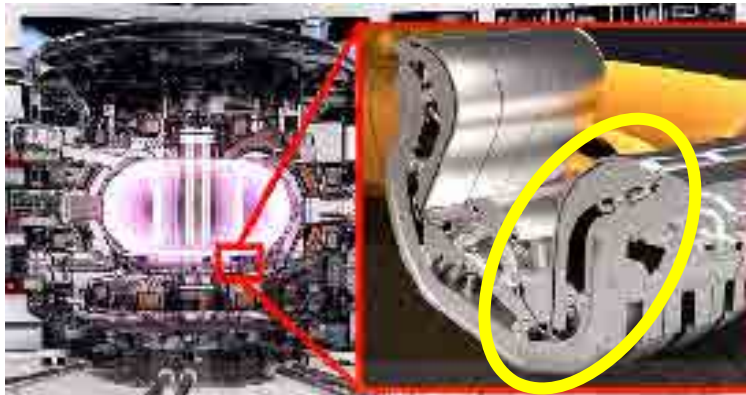
- 1機目の完成検査要求を全て達成。ITERサイトでの受入れ試験へと引き継ぐ。
- 引き続き、2機目の試験を開始、3機目も製作を開始。



着々と進む日本分担のITER機器製作 ダイバータ外側プラズマ対向ユニット

那珂核融合研究所

受熱面: タングステン
強制水冷却
必要受熱能力: $20\text{MW}/\text{m}^2$



タングステン
モノブロック



ステンレス
(XM-19)製支
持構造体

2017年11月にPA締結(改正文書への署名)を実施し、**ダイバータ外側ターゲット実規模プロトタイプ用の材料調達に着手。**
○タングステンモノブロックの製作



タングステンモノブロック
(支持脚付き)

○ステンレス鋼(XM-19)鍛造材の製作



鍛造後のXM-19

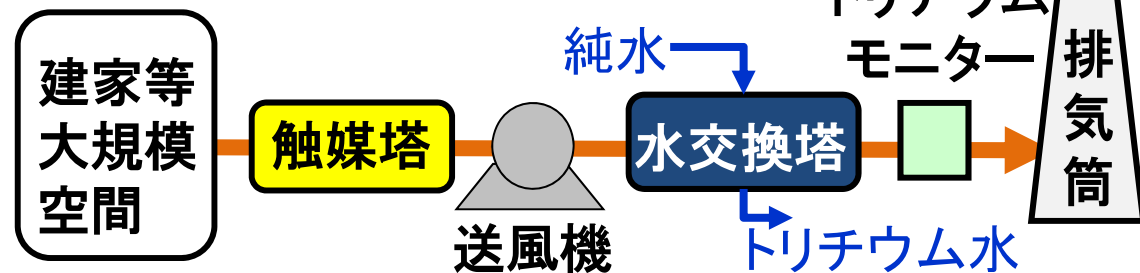


着々と進む日本分担のITER機器製作 トリチウム除去設備(DS)

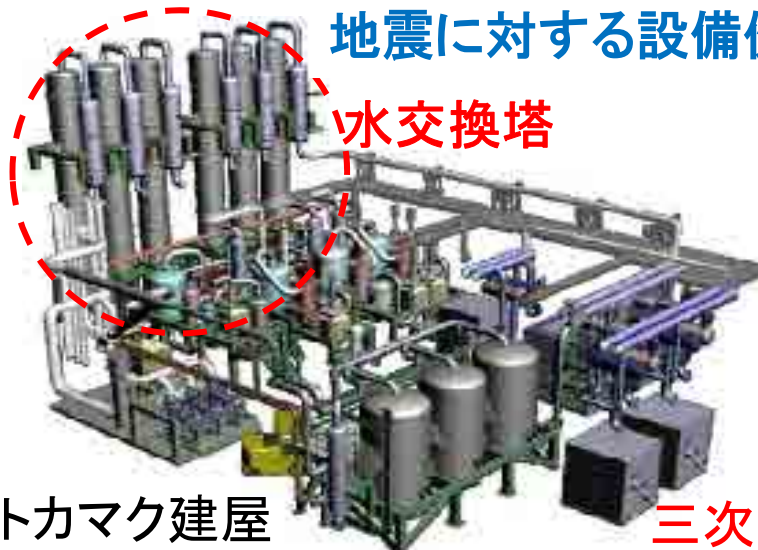
那珂核融合研究所

トリチウム除去設備(DS):漏洩トリチウムを触媒塔で水に酸化し、水交換塔で除去。
DSはITERの安全確保上の重要機器であるため、仏原子力規制当局の要求に
基づき、DSの設計妥当性を示す「DS性能確証試験」を実施中。

最大処理流量:2,800m³/h
トリチウム除去効率:99 %
同上・火災時: 90 %
→設計目標: 99.9 %



地震に対する設備健全性の検証のため、水交換塔の加振試験を実施



トカマク建屋
トリチウム除去設備



三次元加振試験実施
(ITER想定地震動を模擬)



加振後もT除去性能の
低下がないことを確認

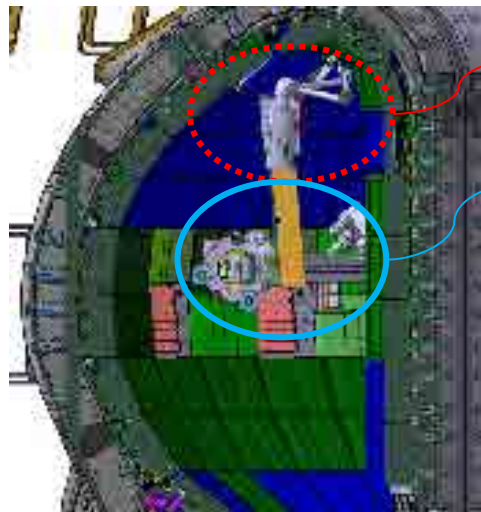


着々と進む日本分担のITER機器製作 ブランケット遠隔保守機器

那珂核融合研究所

- 最大4トンのブランケットを精密取付する大型ロボットアームを開発中。
- 新規機能の追加に向けて更なる検討を実施中。
 - 全体プロジェクトコストの削減のため、他機器の精密作業機能を付加・統合
 - 大型ロボットアームに対するレスキュー機能を確立(小型ロボットアーム使用)
- ブランケット取付時の精度向上を目指し、大型ロボットアームによる動作試験を継続的に実施中(次ページ動画)

精密作業の機能を付加



双腕マニピュ
レータ
大型ロボット
アーム

大型ロボット
アーム先端に
双腕マニピュ
レータを付加

レスキュー機能を付加



カメラ

レスキューツール
(故障関節を外部
から操作)

小型ロボット
アーム



着々と進む日本分担のITER機器製作 ブランケット遠隔保守機器

那珂核融合研究所

ブランケット設置試験

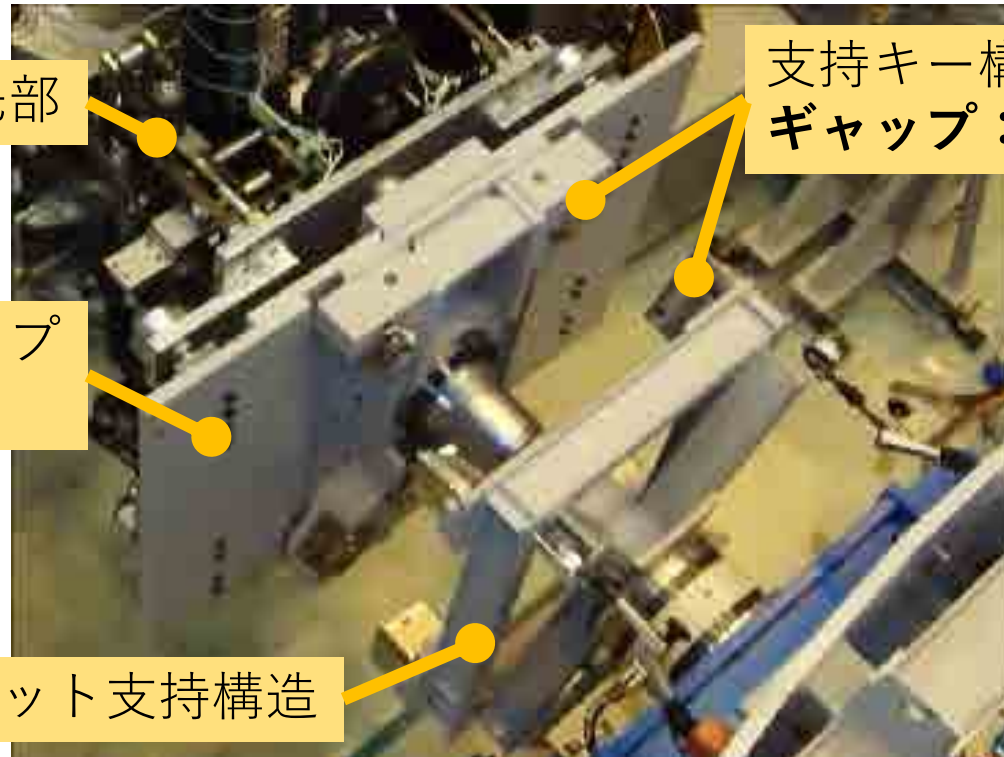
技術課題：大重量物の狭隘ギャップへの挿入

大型ロボットアーム手先部

支持キー構造
ギャップ：0.5 mm

ブランケットモックアップ
重量：700kg

ブランケット支持構造



着々と進む日本分担のITER機器製作 ブランケット遠隔保守機器



那珂核融合研究所



ブランケット挿入 Blanket Insertion

ITERブランケット遠隔保守装置
デモンストレーション
Demonstration of
ITER Blanket Remote Handling System



着々と進む日本分担のITER機器製作 計測装置

那珂核融合研究所

ポロイダル偏光計測装置、周辺トムソン散乱計測装置の最終設計を実施中。
最終設計を確実にするために、主要構成機器のプロトタイプ製作が進展。

ポロイダル偏光計測装置の機器配置図



真空容器内に設置する
回帰反射鏡試作



全長約36m
実機長のレーザー
伝送路試作



ISO834に基づく耐火試験

耐火ボックスの外側: 約1000°C、内側: 74°C

気密シャッターの
耐火試験



遠赤外線レーザー
のプロトタイプ製作



幅広いアプローチ(BA)活動 サテライトトカマク JT-60SA建設の進展

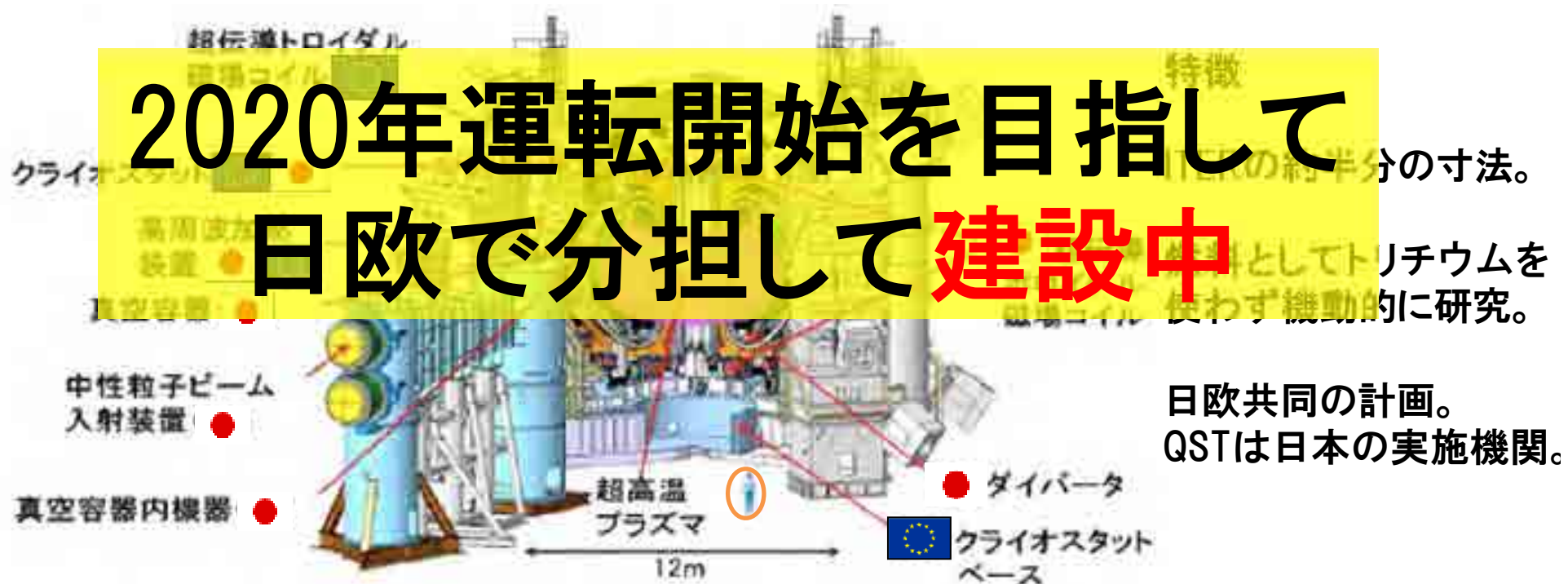


JT-60SA (*Super Advanced*)プロジェクト

那珂核融合研究所

- JT-60(銅コイル)を超伝導コイルを備えた新装置JT-60SA(*Super Advanced*)に改造し、ITERの技術目標達成のための先導的な支援研究を行い、その成果をITERでの実験運転の進め方へ反映、
- ITERより更に先端的な運転手法の開発に挑戦し、核融合原型炉設計に反映、
- ITERでの実験研究、次世代の研究開発を主導できる人材を育成する場。

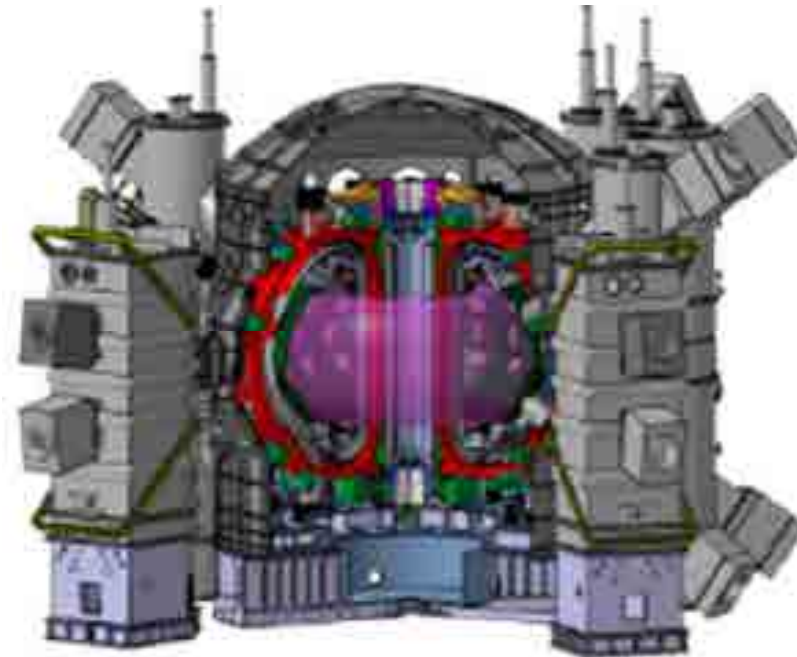
2020年運転開始を目指して
日欧で分担して**建設中**



JT-60SAプロジェクト：本体組み立て進捗



那珂核融合研究所

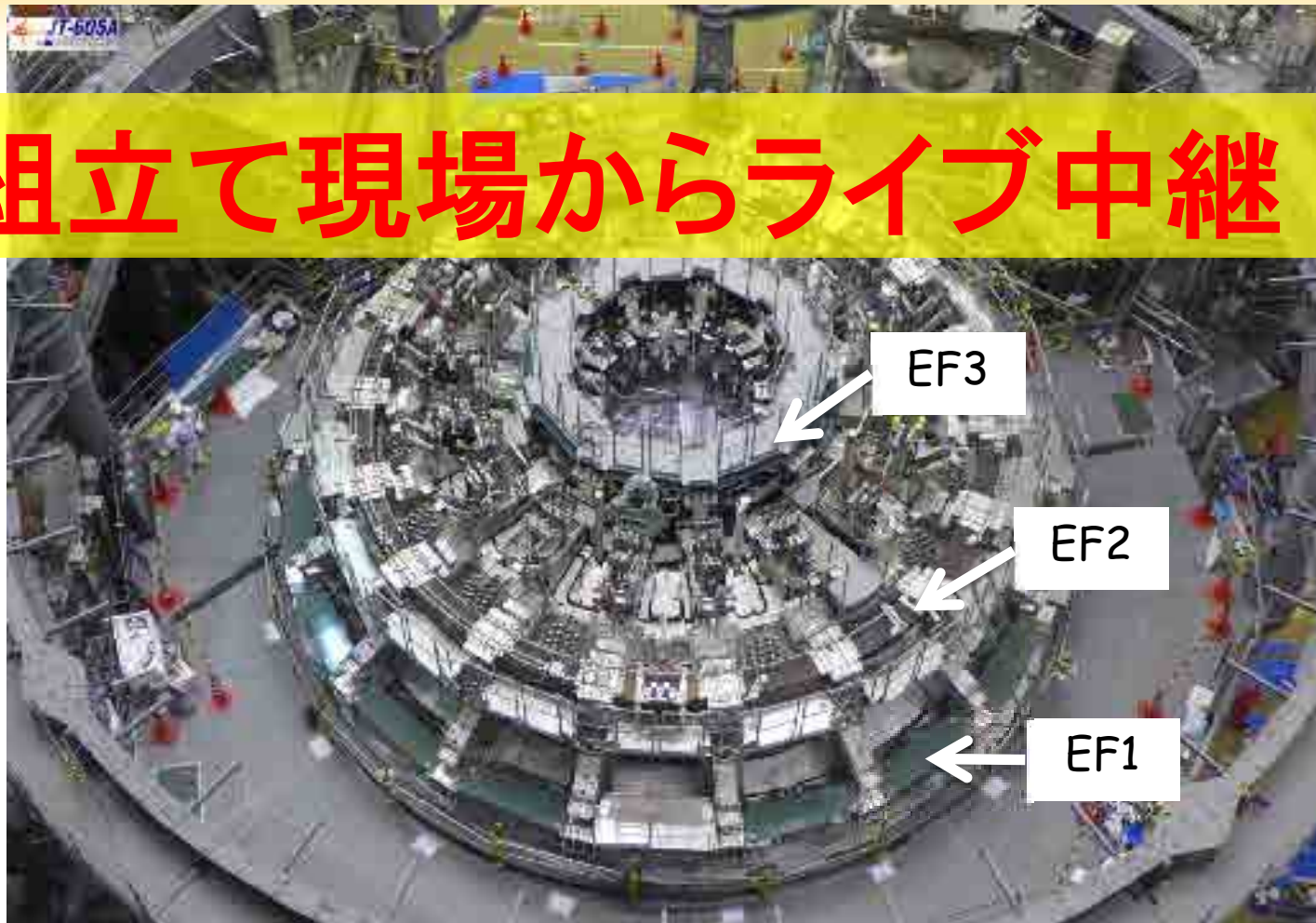


これまでのJT-60SA本体組立て動画



JT-60SA本体組み立て:今の状況

組立て現場からライブ中継



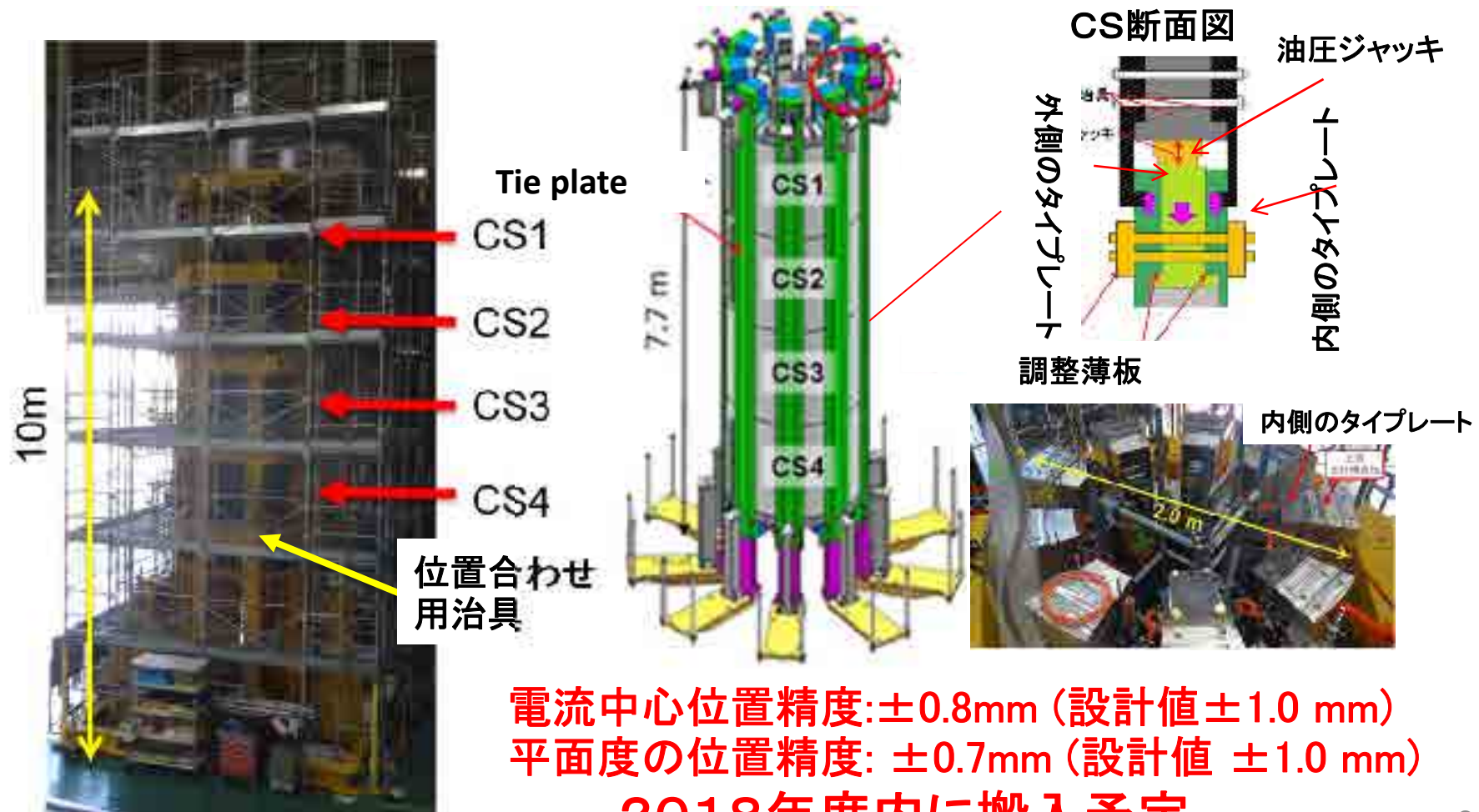
2020年の運転開始を目指して、順調に建設中。



中心ソレノイドCS 製作順調

CSは、Nb₃Sn超伝導導体。一体化

CS製作の最終局面。熱収縮や通電時の電磁気力による4モジュールの相互離反をおさえるために、内側と外側の9か所にタイプレートを配置し、4.2 MN の力で圧縮し、一体化。



電流中心位置精度: $\pm 0.8\text{mm}$ (設計値 $\pm 1.0\text{ mm}$)
平面度の位置精度: $\pm 0.7\text{mm}$ (設計値 $\pm 1.0\text{ mm}$)

2018年度内に搬入予定。

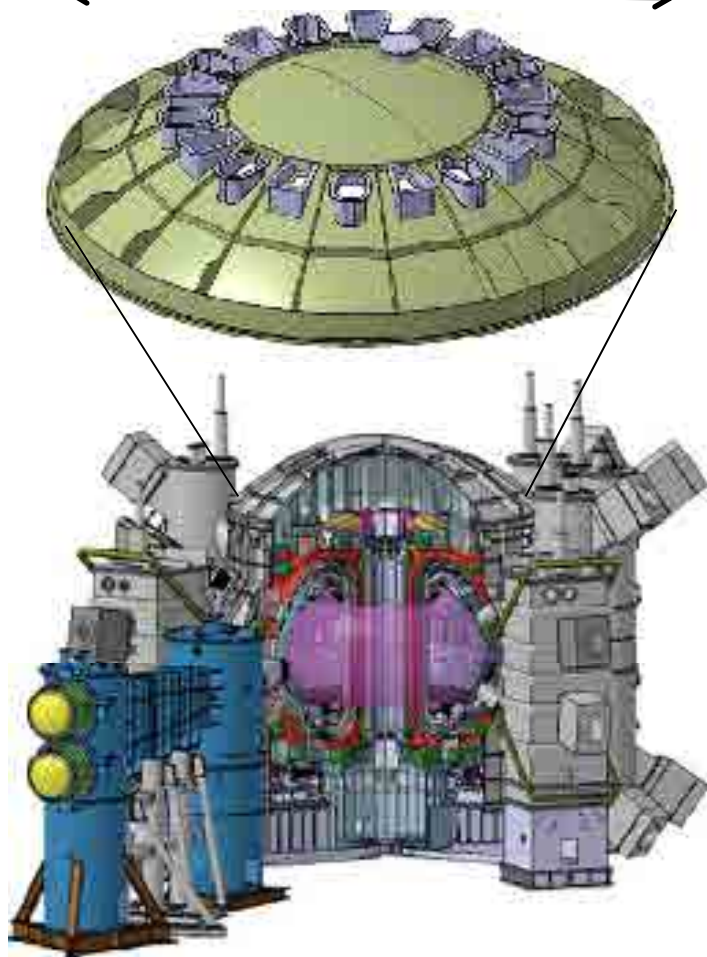


クライオスタット上蓋 製作順調

半割モジュール2体の製作及び溶接検査を実施。

クライオスタット上蓋

11.5 m



半割2体を工場で製作し、那珂研で一体化。



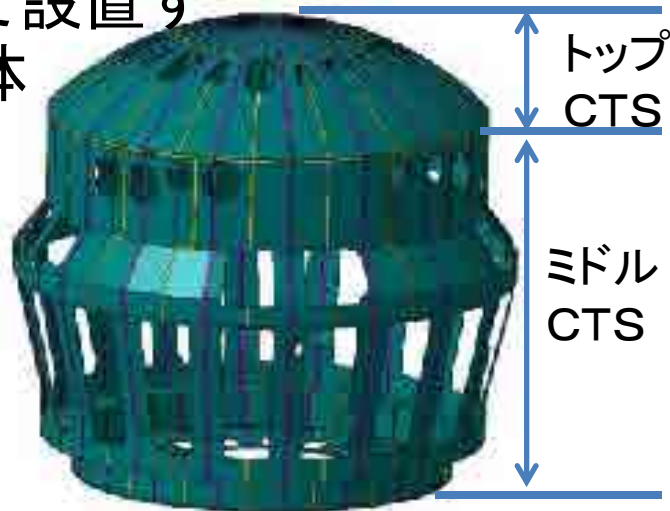
2019年度第1四半期に
那珂研に到着予定。

クライオスタット熱遮蔽体 製作順調



2018年度内に完成予定。

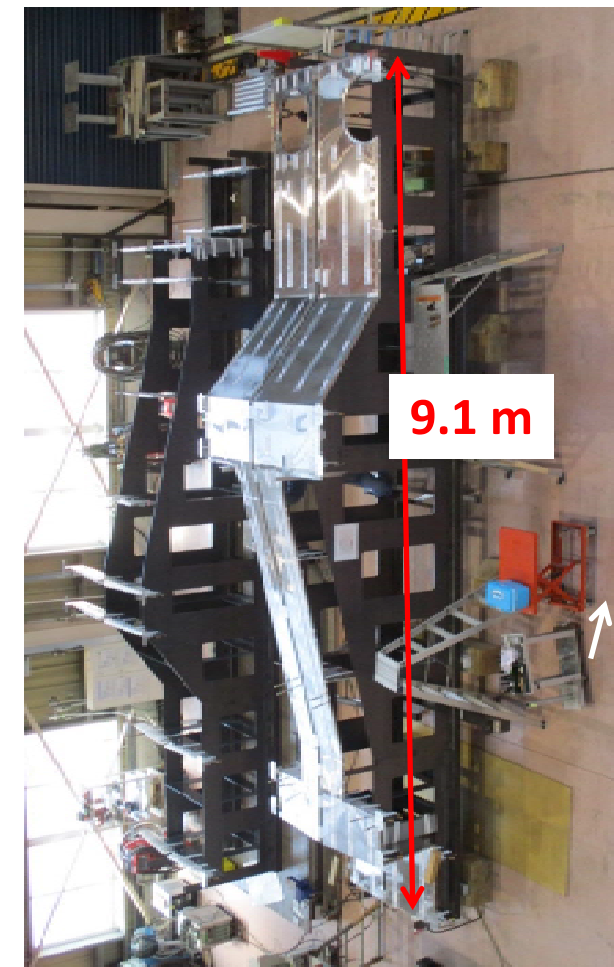
クライオスタットの
内壁沿って設置す
る熱遮蔽体



トップCTS 20° 10/18体終了



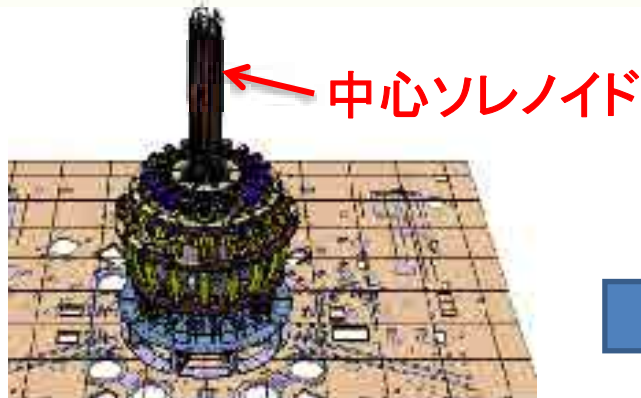
ミドルCTS 20° 13/18体終了



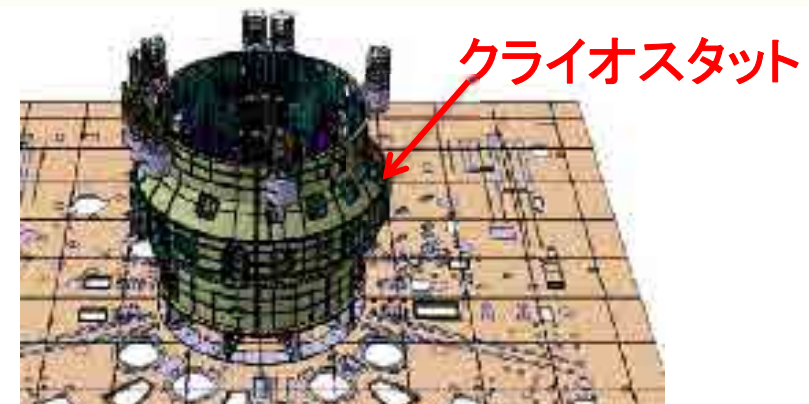


今後の組立の予定

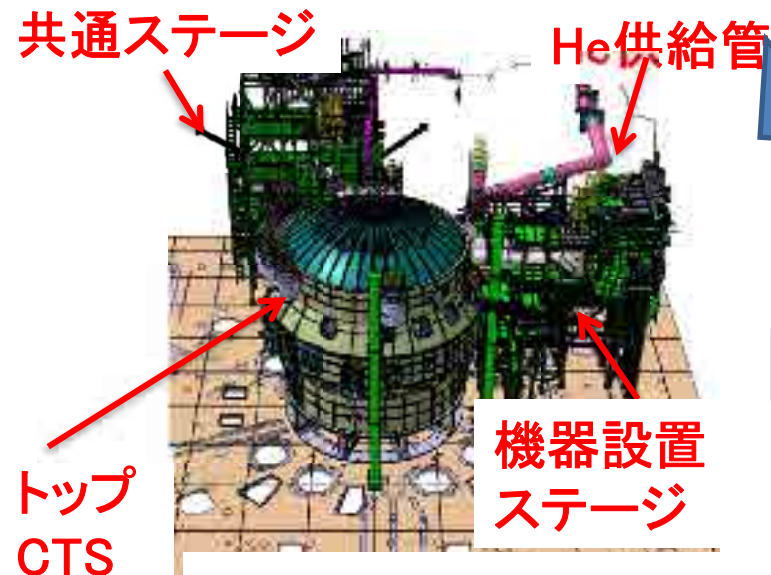
2020年3月の装置完成に向け、慎重に作業を推進。



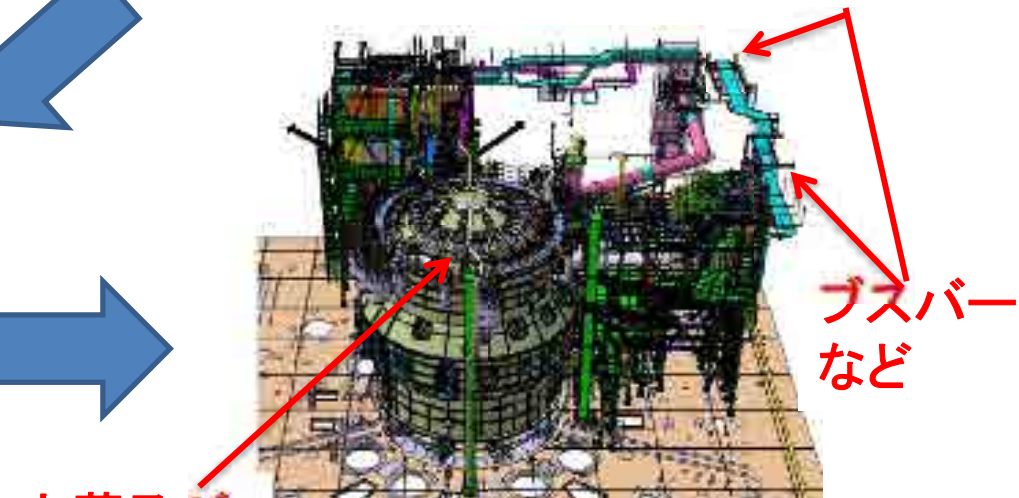
2018年第4四半期



2019年度第1四半期



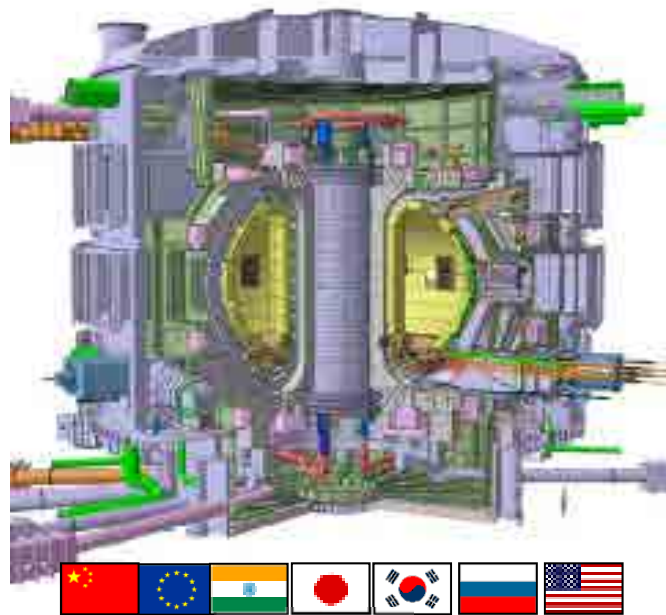
2019年度第3四半期



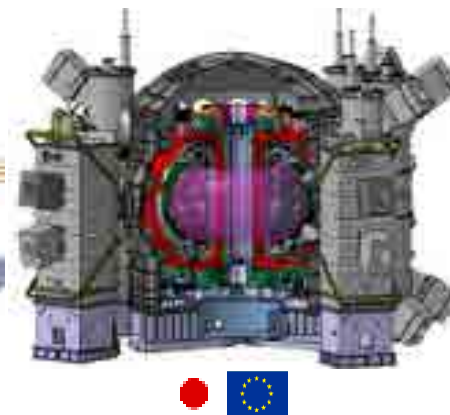
2019年第4四半期
完成(2020年3月)



ご清聴ありがとうございました。



ITER



JT-60SA