

地上に太陽を！

地上最大の国際プロジェクト：ITER計画を語る

杉本誠 ITERジャパン国内機関長 x 大前敬祥 ITER機構首席戦略官

自己紹介

- 杉本 誠 (すぎもと まこと)
- イーター日本国内機関長 (2017年4月～)
- 日本原子力研究所 > 日本原子力研究開発機構
> 量子科学技術研究開発機構
- 専門: 機械工学 x 低温工学 x 超伝導工学
x 研究開発マネジメント
- 50代 配偶者有、子供はすでに独立



<https://twitter.com/sugimo2010>



<https://www.facebook.com/makoto.sugimoto.5439>

自己紹介

- 大前 敬祥（おおまえ たかよし）
- ITER首席戦略官・機構長副官房長（2018年4月～）
- NTTコミュニケーションズ > Strategy& (ex-PRTM)
- 専門：グローバル x テクノロジー x 経営戦略
- 40代 フランス在住：子供3人（中学生、小学生）



<https://twitter.com/takaomae>



www.linkedin.com/in/takaomae



ITER計画とは、核融合エネルギーが科学技術的に成立することを
実証する為、人類初の核融合実験炉を実現しようとする世界7極
35カ国で行う地球上最大の超大型国際プロジェクトです



ITERとはラテン語で道や旅を意味します
人類の未来への旅が始まっています

今日のお品書き

- フュージョン/核融合ってなに？
- ITER計画ってなに？
- ITER建設の最新状況は？
- 世界の核融合最新事情 & この先どうなる？

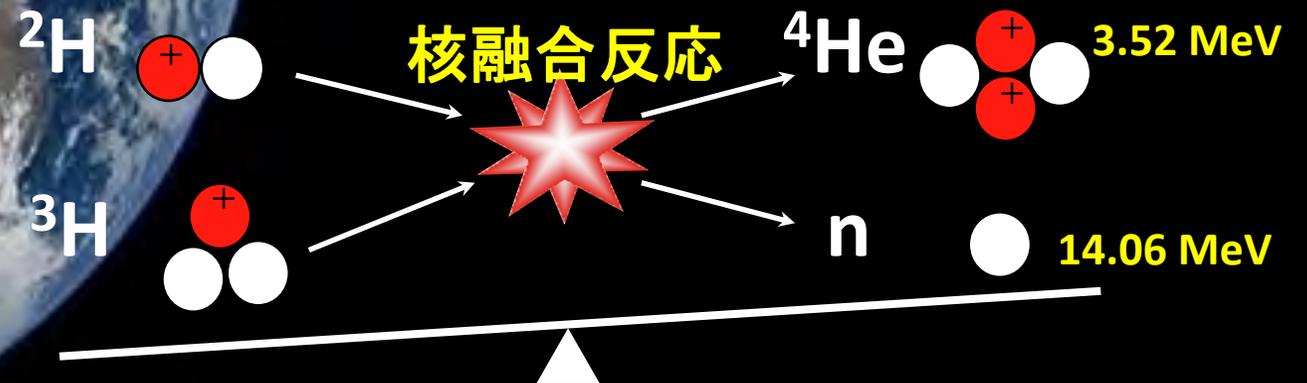
宇宙における核融合

- 宇宙空間においては何億年にも渡って核融合反応が発生中
- 太陽や恒星の活動は核融合反応による
- 核融合反応: 水素系原子核同士が融合し、より重い原子核に変わりエネルギーを放出
- この反応を如何に地球上で再現するかがチャレンジ

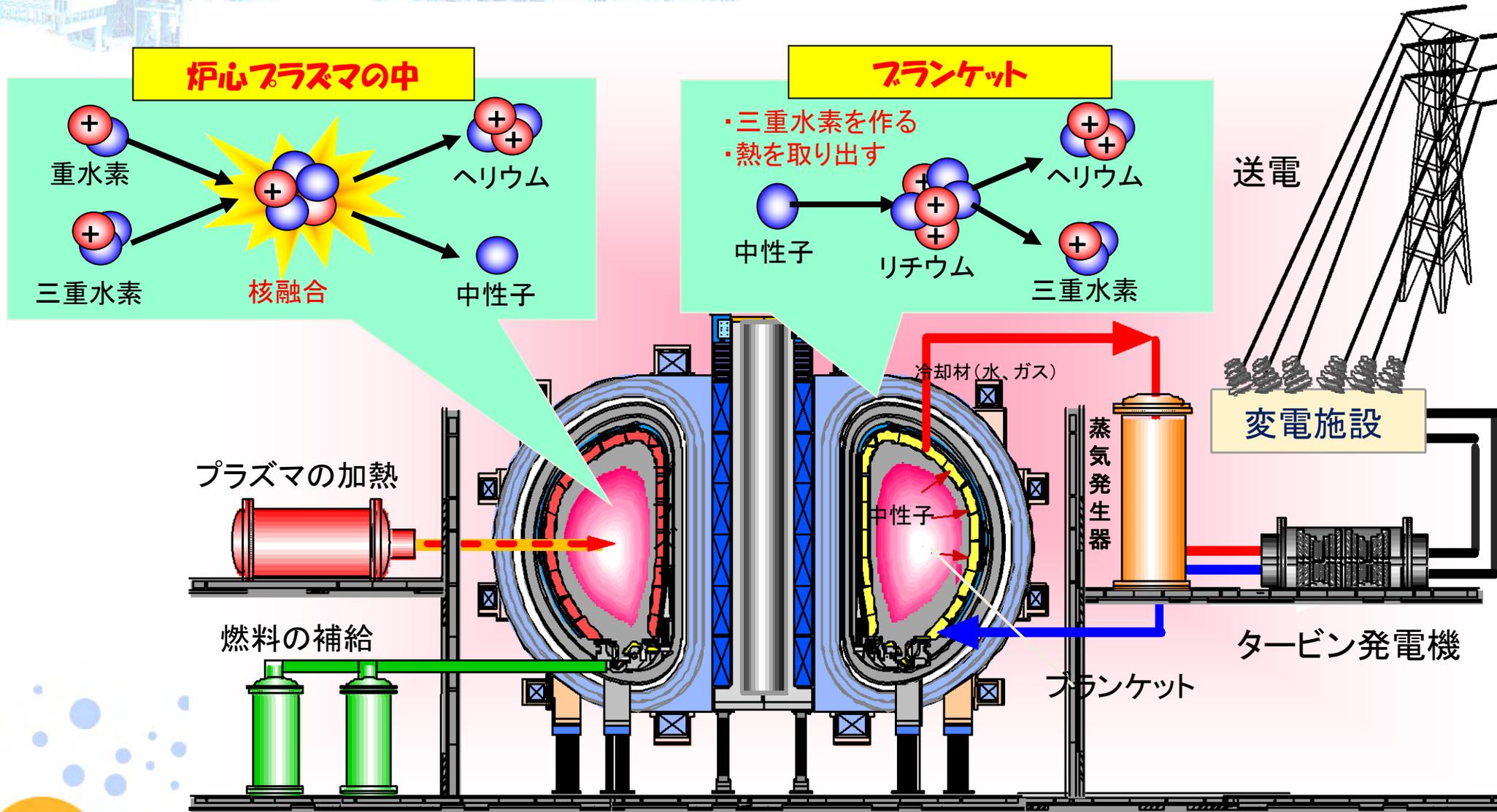
$$\Delta E = \Delta mc^2$$

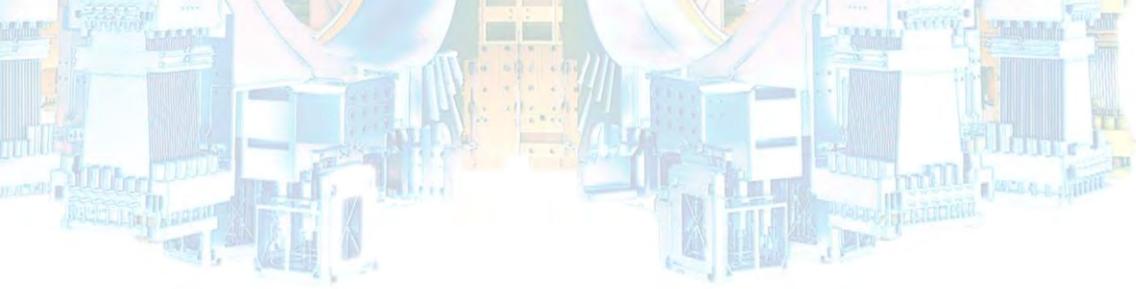
地球上の核融合

- D二重水素(${}^2\text{H}$)とT三重水素(${}^3\text{H}$)を加熱しプラズマ状態へ(～約6000度)
- 更にプラズマを1億5千度まで加熱し、原子核が秒速1000km以上(反発できない速度)で動き回るようにする
- 2つの原子核がぶつかり融合反応が発生



核融合反応(エネルギー)で発電するとは？





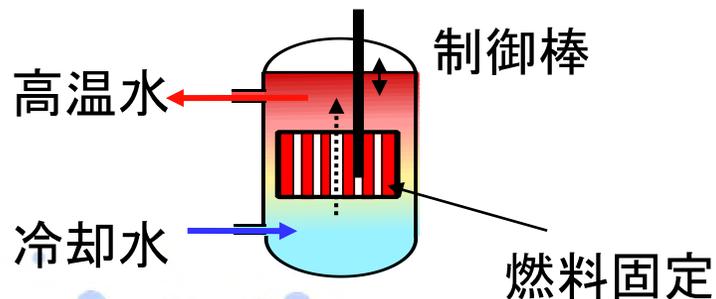
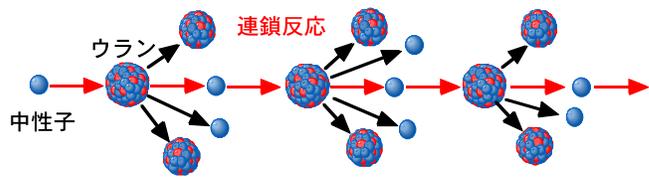
1. 膨大なエネルギーを創出し、
継続運転可能、ベースロード候補
2. 安全、メルトダウンの可能性がない
3. CO₂ 又はその他の温室ガスの排出がゼロ
4. 高レベル放射性廃棄物がゼロ
5. ほぼ枯渇することの無い燃料源

核分裂 (いわゆる原発)

重い原子核が分裂してエネルギーを発生

- ・前の反応が次の反応を起こさせる
- ・燃料を数年分炉の中に置いておく
- ・過度な反応を防ぐよう制御する

⇒止める、冷やす、閉じ込める

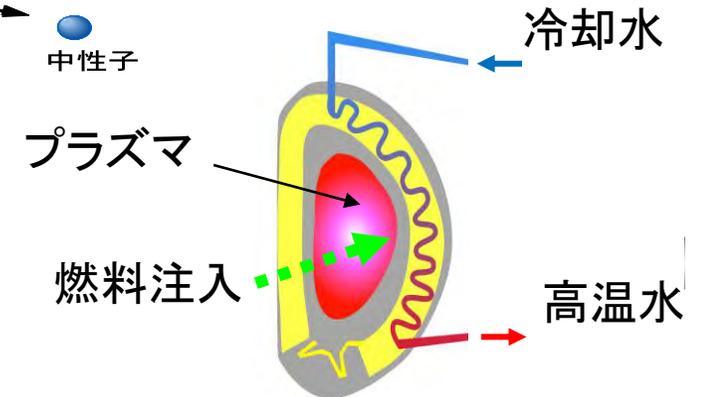


核融合

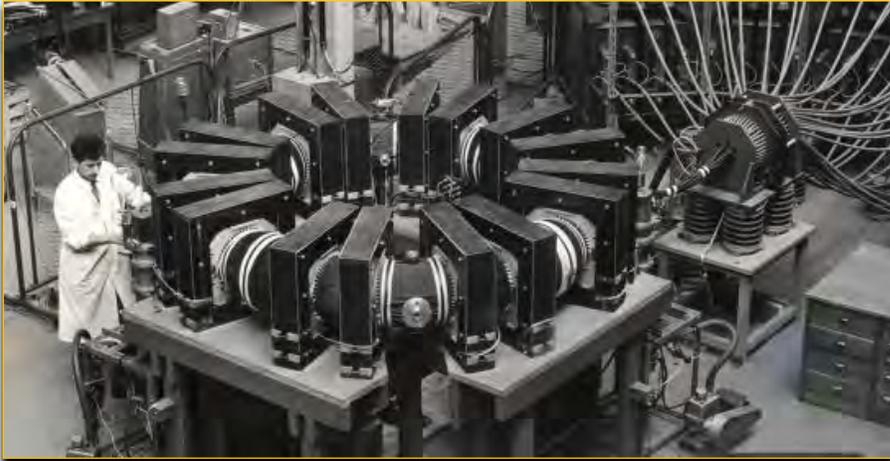
軽い原子核同士が融合してエネルギーを発生

- ・前の反応は次の反応と関係しない
- ・その時に必要な量しか炉の中に存在しない
- ・反応を持続するよう制御する(自動的に停止)

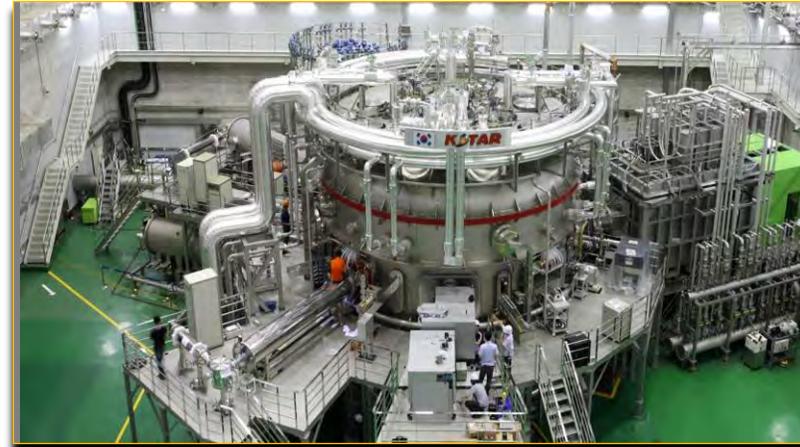
⇒止まる、冷える、閉じ込める



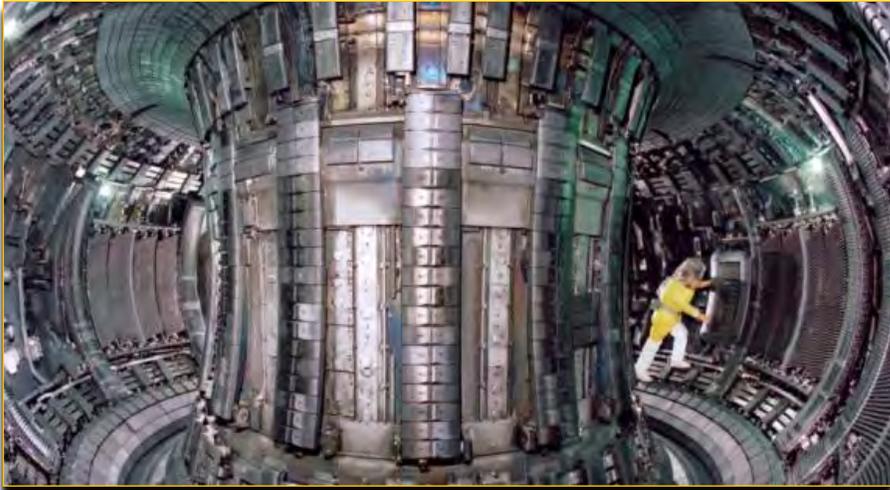
過去60年超に渡る科学技術の結晶



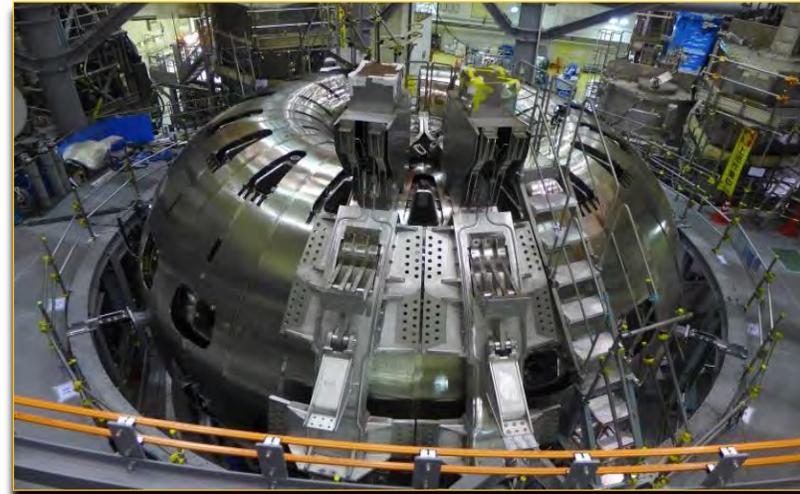
フランス
TA-2000
1957



韓国
KSTAR
2007(稼働中)



欧州
JET
1983
(稼働中)



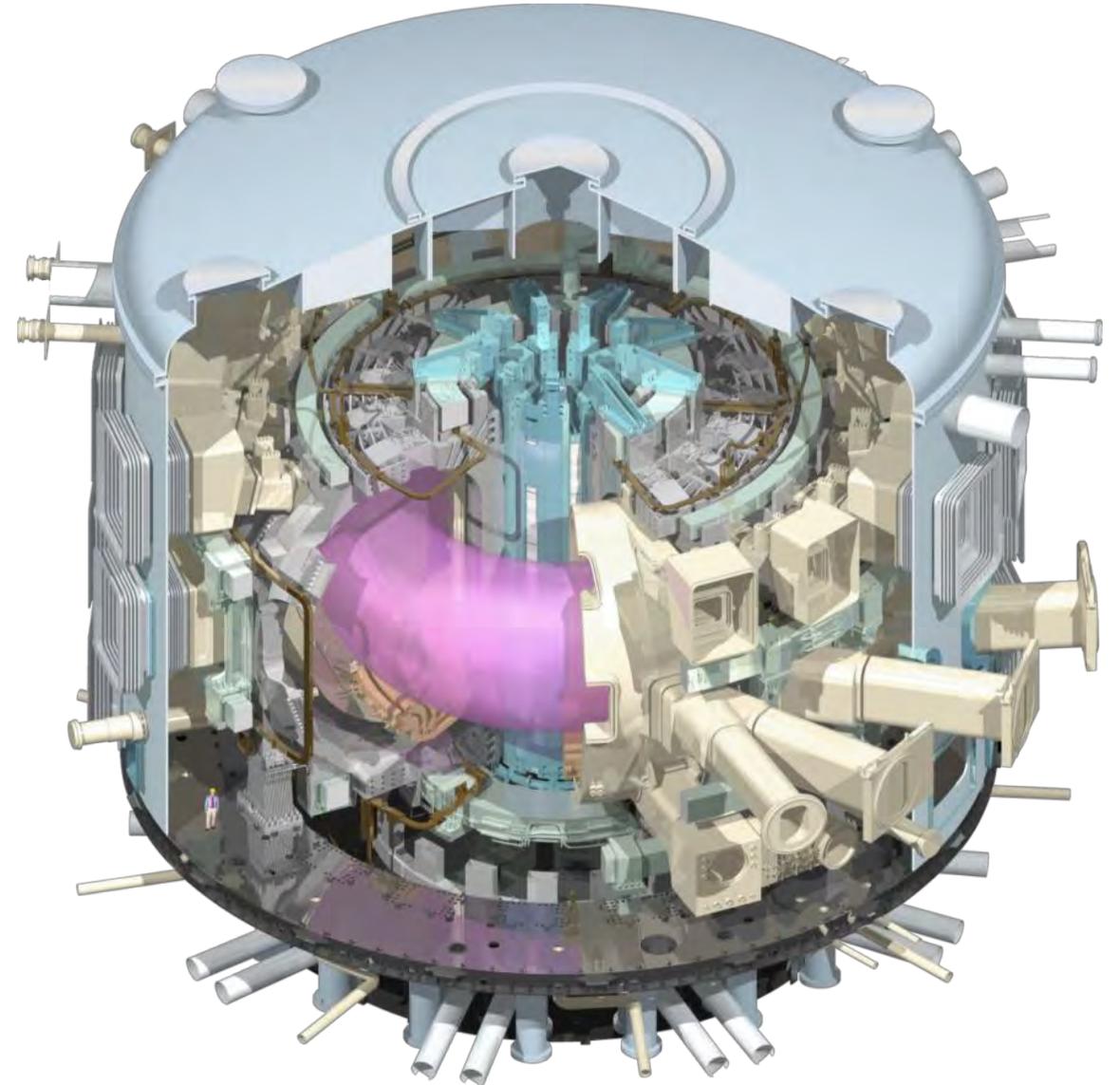
日本
JT60
1985-2010
JT60-SA
2020(組立完成)

人類は既にMW単位で核融合反応を実証済: JET (欧), TFTR (米), JT-60 (日)
核融合エネルギー: ~ 16MW
エネルギー増倍率(入出力比): $Q \sim 0.65$ (DT) to 1.25 (DD)

ITER計画のミッション

トカマク型と呼ばれる、
最も核融合エネルギーの実現の
可能性の高い方式を通じ、
実規模大のプラントにおいて
核融合反応によるエネルギー
増倍率 $Q \geq 10$ を実現する

- 50 MW の入力エネルギー
- 500 MW の出力エネルギー

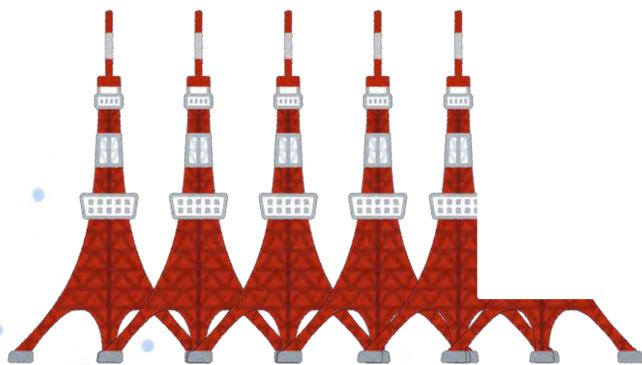


ITERトカマクマシン

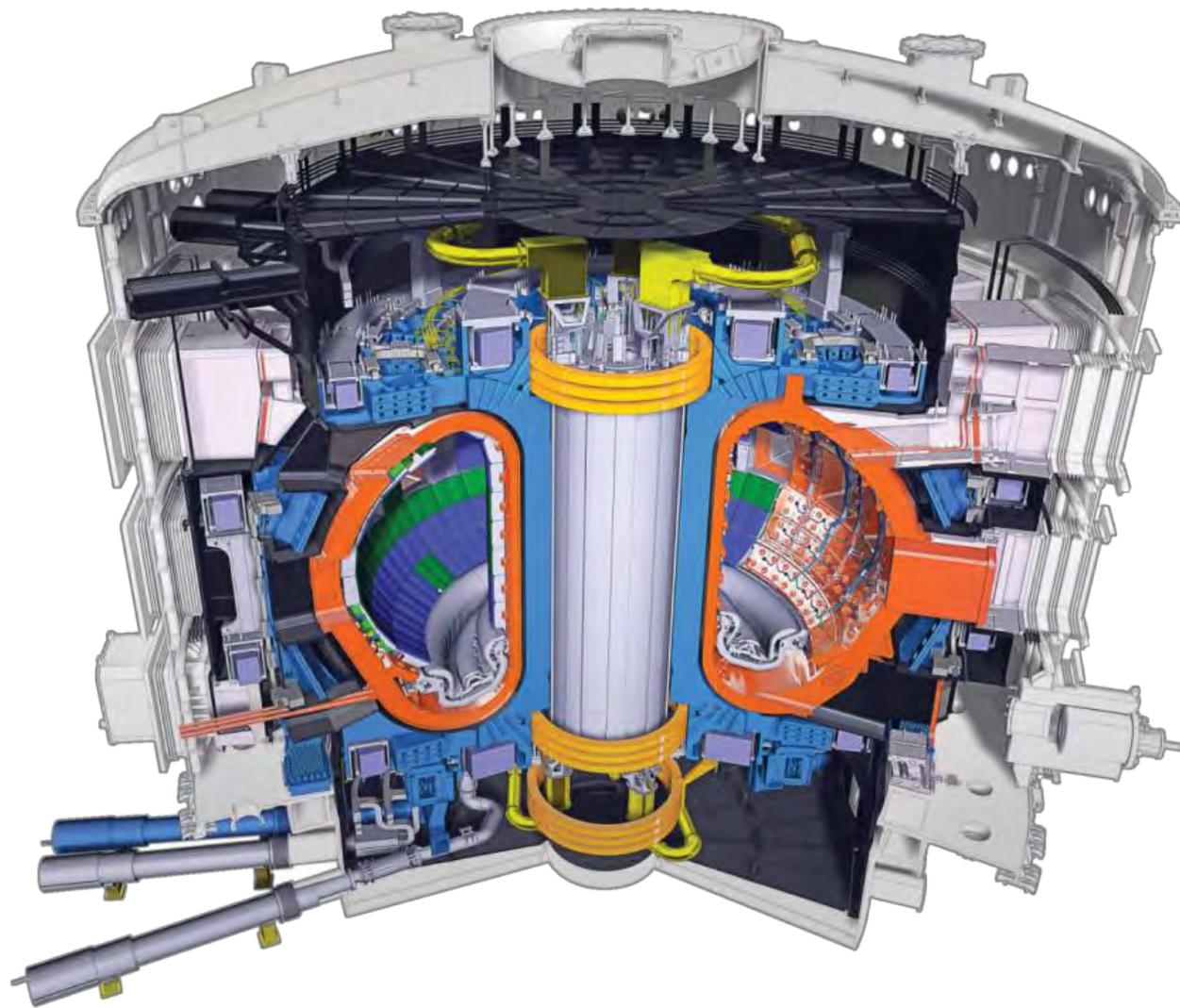
ITERとは

[総重量: ~23,000トン]

- 真空容器: ~8,000トン
- 超伝導TFコイル: 18機 x 360トン
- 中心ソレノイドコイル: ~1,000トン
- 超伝導PFコイル: 6機 直径8-25m
- クライオスタット: 直径~30メートル
- プラズマ半径: 6.2 m
- プラズマ容積: 830立米



東京タワー5.7個分



china eu india japan korea russia usa

2021年7月29日 ITER Webinar

アイデアから現実へ

ITERとは



概念設計活動:
1988年-1990年

工学設計活動:
1992年-1998年

建設サイト選定:
2001年-2005年

....

1985年11月ジュネーヴサミット
米国レーガン大統領 - ソ連ゴルバチョフ書記長会談

世界人口の50%、グローバルGDPの85%を占める世界7極35カ国によるITER発足



- 2005年6月: 建設サイトがフランスに決定
- 2006年11月: パリにてITER協定調印

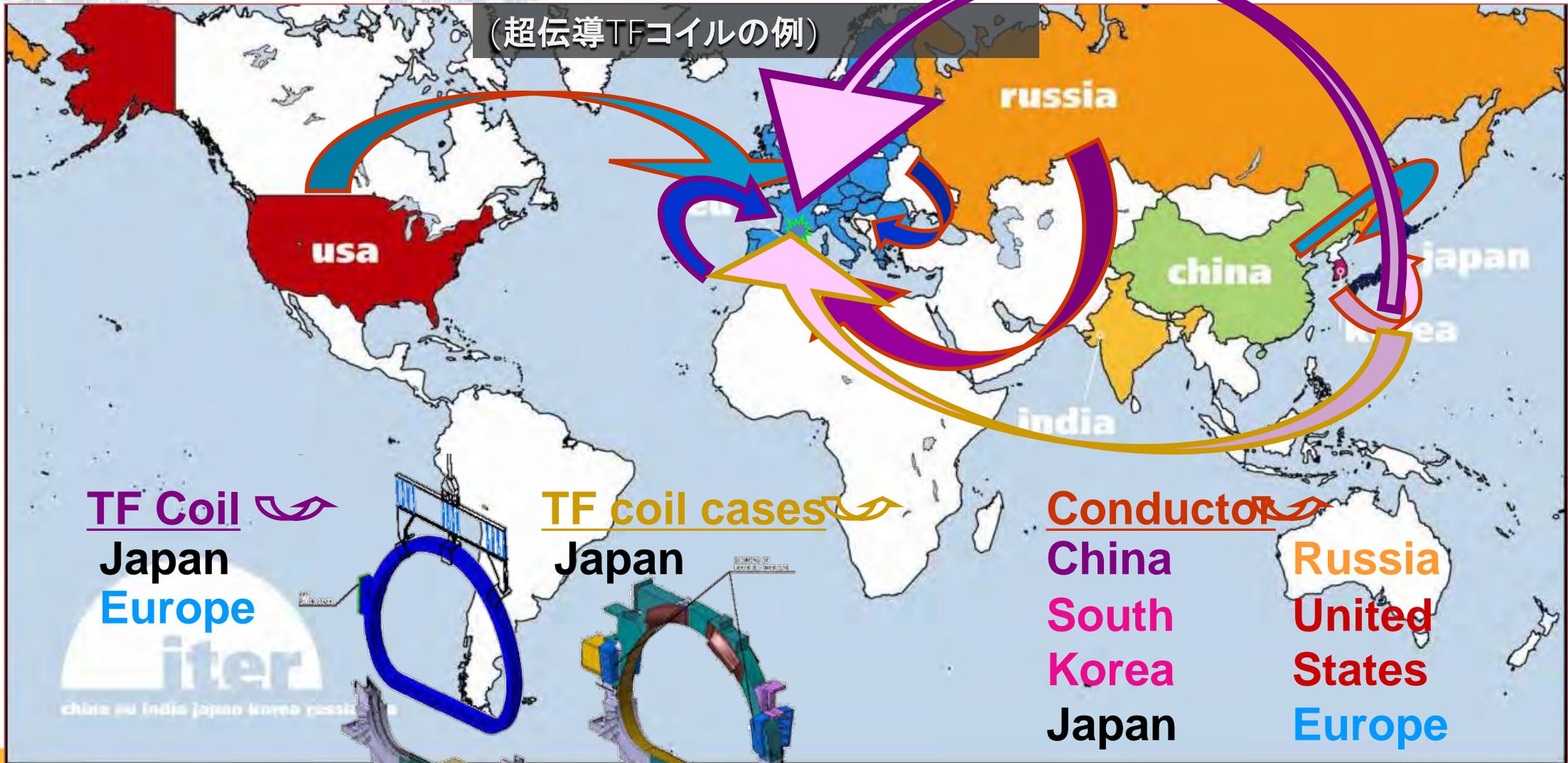
China EU India Japan Korea Russia USA

南フランス(プロヴァンス)の田舎にあります



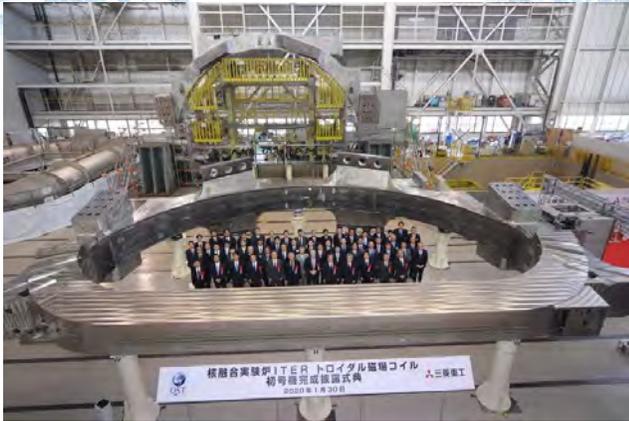
ITER参加極それぞれの企業が参画し 各国で部品／システムを製作し統合

グローバルサプライチェーン



ドアーツードアでの輸送

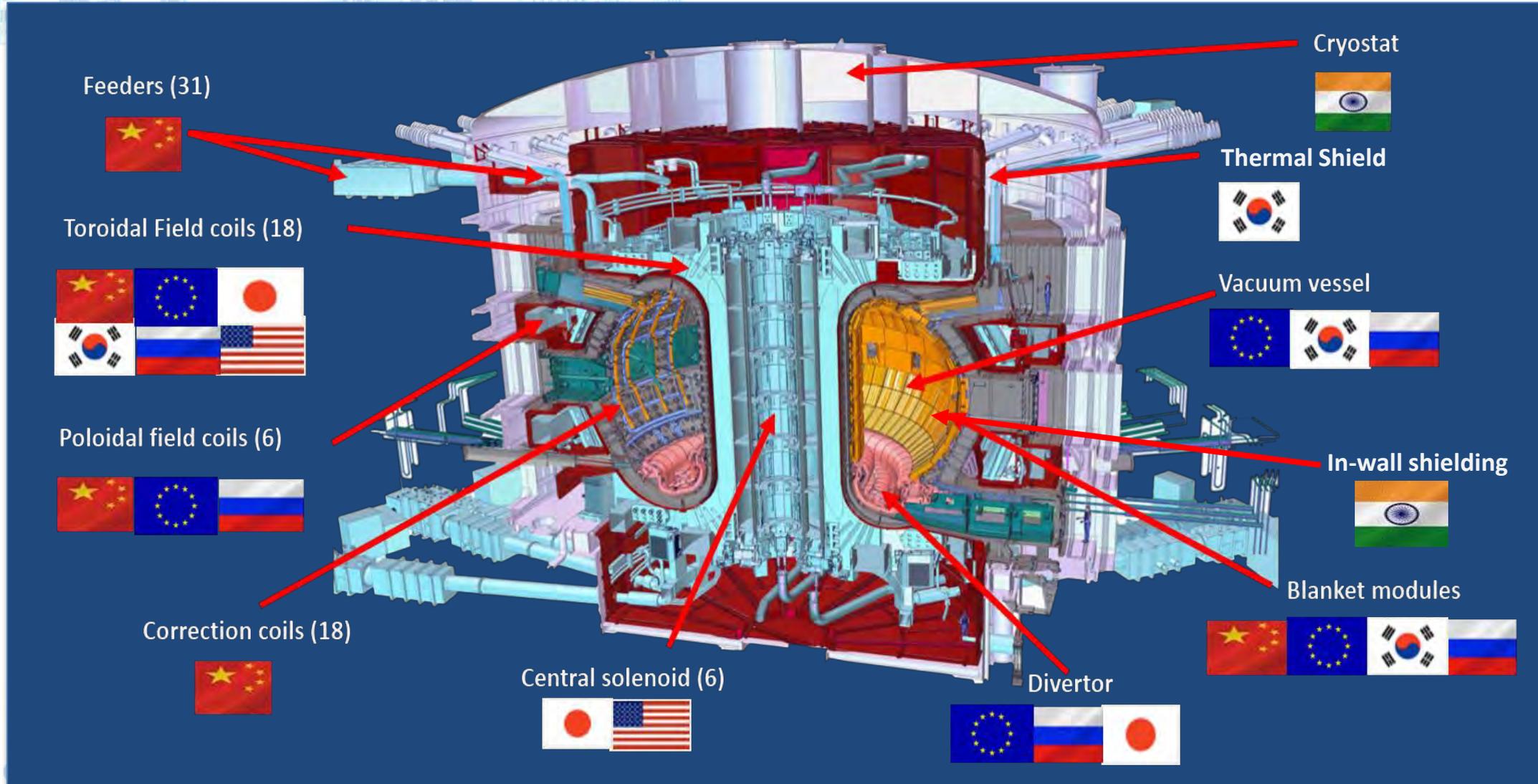
グローバルサプライチェーン



2021年4月現在、121個の重量物 (Highly Exceptional Loads, HEL)がITERサイトへ搬送済
~ 2025年末までに218個のHELがITERサイトへ到着予定 / 2025年以降も14個予定 ~

参加極による分担製作・物納貢献方式

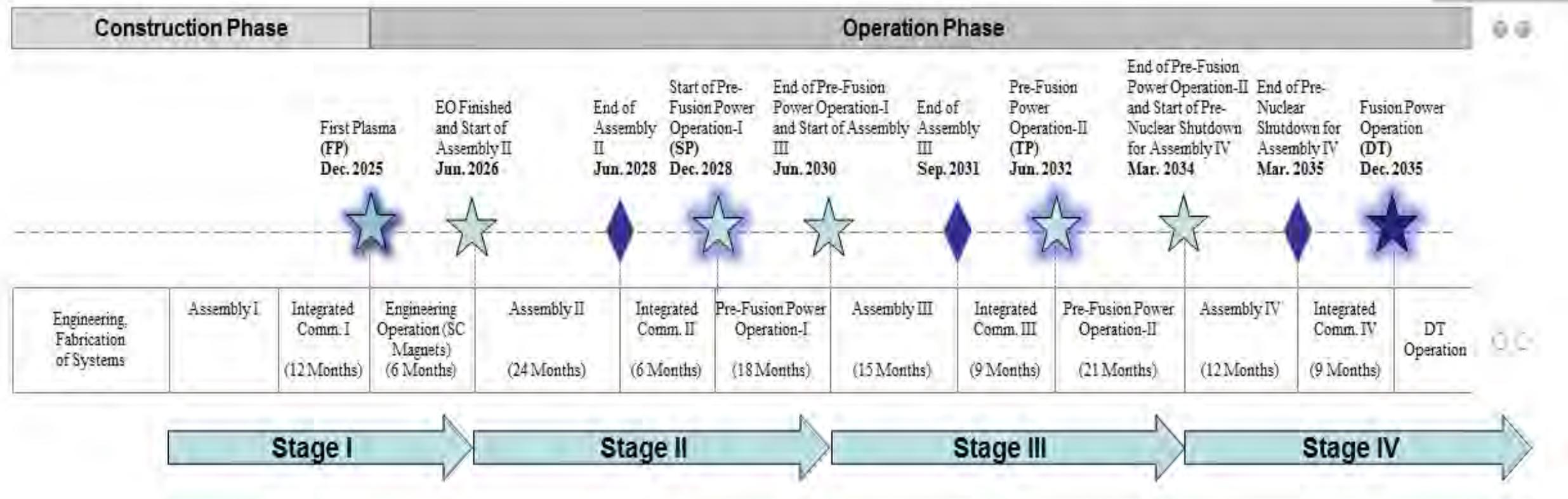
ITER マシン製作分担



*この他にも加熱関係やプラント関係、そして先進的実験としての「TBM (Test Blanket Module)」というプログラムがあります

*COVID前

公式版



2021年5月 初期稼働（初プラズマ）まで73.7%以上到達

厳密に定義されたプロジェクトパフォーマンス測定の結果、「初プラズマまでに計画された全ての建設計画のスコープ」のうち73.7%が達成されています

主要な建屋・施設はほぼ完成

クライオスタット工場

PF コイル巻線工場

熱除去施設

冷凍系施設

組立棟

400 kV 電源ヤード

磁石向け電源交換設備

トカマク複合建屋

建設作業用建屋

バイオシールド

ITER 本部棟

2021年7月29日 ITER Webinar

日本はマシンのコア機器調達を担当 オールジャパンで遅延なく順調に設計・製作を進行中

日本の貢献(機器製作)

超伝導TFコイル

TF導体: 25% (製作済)
TF巻線、組立: 47%
TF構造物: 100%

ブランケット遠隔保守

全システム(設計中)

ダイバーター

外側ターゲット(設計中)

トリチウム除去

ITER機構との共同調達(設計中)

中心ソレノイド

CS導体: 100% (済)

計測装置

マイクロフィッションチャンバー
ポロイダル偏光系
周辺トムソン散乱
ダイバーター不純物モニタ
IRサーモグラフィー
上部ポート統合
下部ポート統合

中性粒子ビーム加熱

HVブッシング: 100%
1 MV 電源 HV part: 100%
1 MeV 加速電源: 33%

高周波加熱

ジャイロトロン: 8機/24機中(5機完成)
水平ランチャー: 71%

世界各地での製作進捗その

各国の貢献(機器製作)



Vacuum Vessel Sector Assembly



Cryolite production



Magnet clamp fabrication



TF coil structure



High heat flux testing



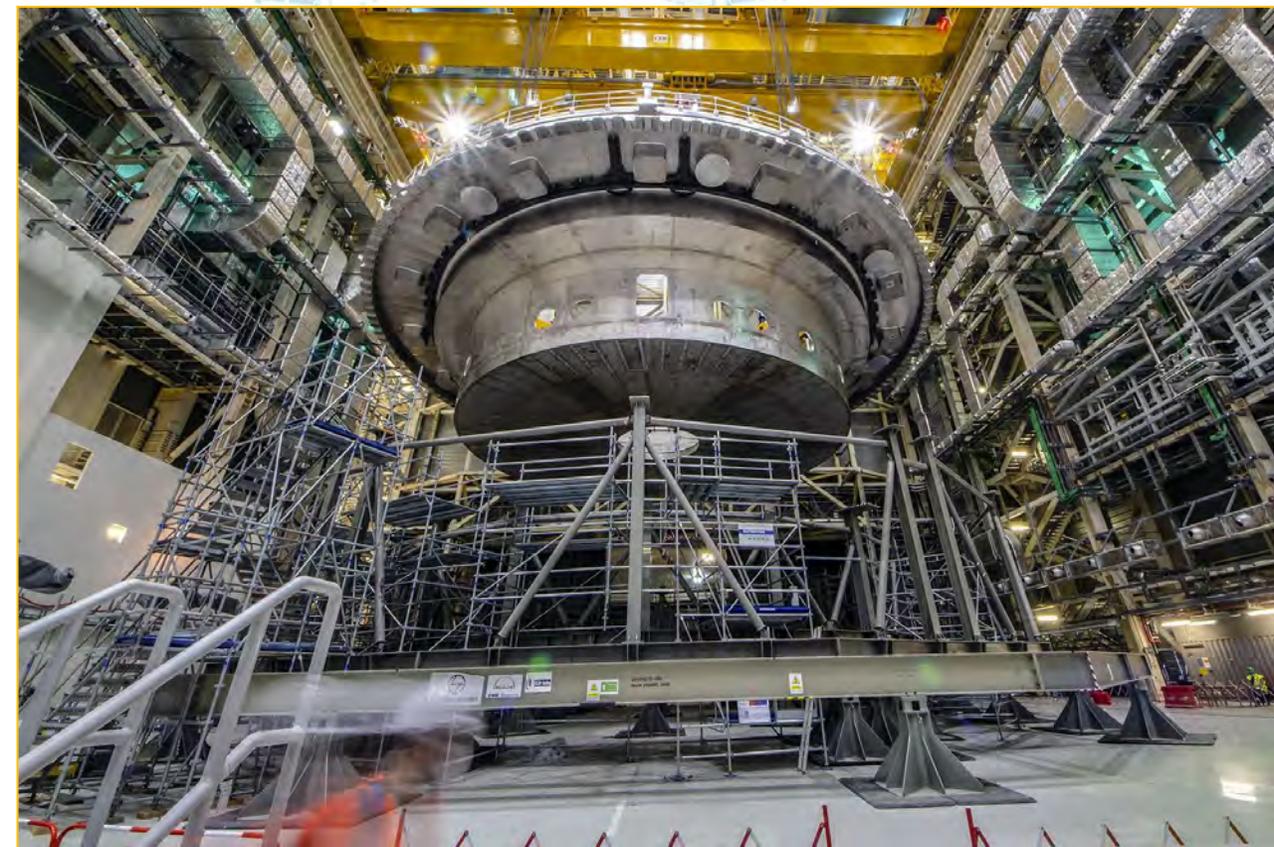
CS supports



PF Coil #5

巨大クレーンによる初作業 クライオスタットベース吊り上げ & 設置

初クレーン作業



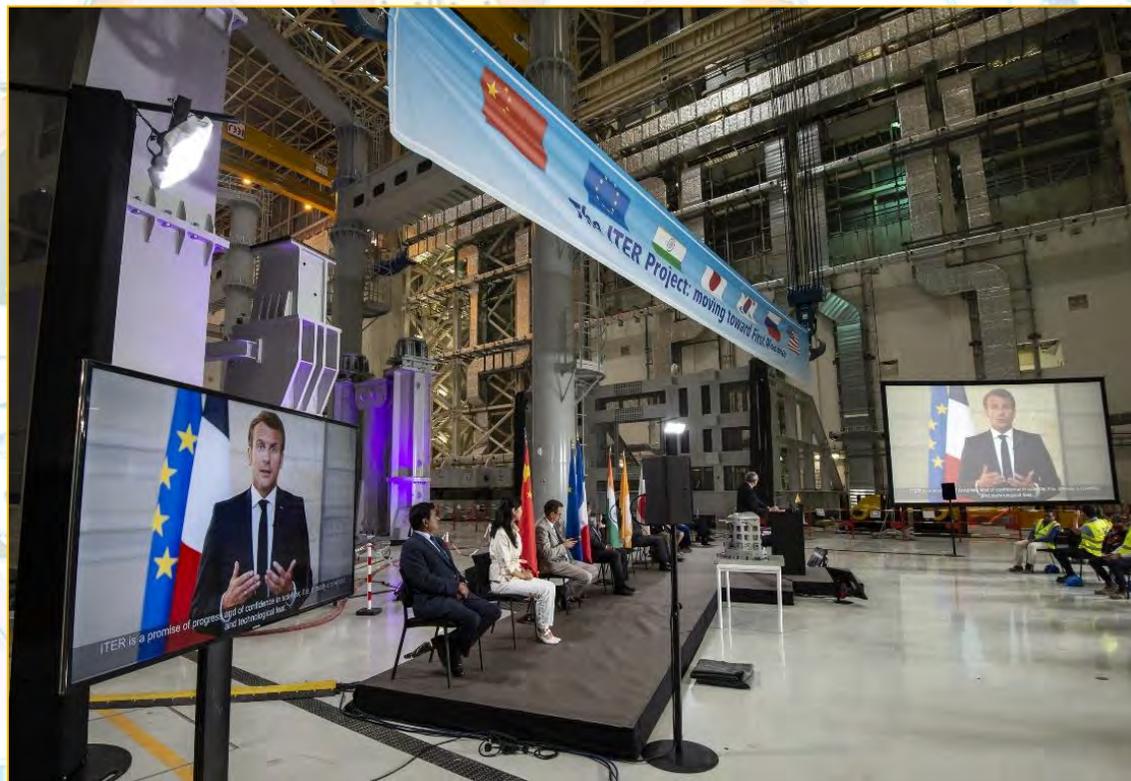
クライオスタットベースの吊り上げ(組立棟)
2020年5月26日



クライオスタットベースの吊り下げ(ピット)
2020年5月26日

仏マクロン大統領ホストで組立開始式典 を開催、加盟国首脳らのメッセージ

2020年のハイライト



- 日本
 - 安倍総理大臣
- 欧州連合
 - メルケル理事会議長(独)
 - シムソン エネルギー長官
- 中国
 - 習近平 国家主席
- インド
 - モディ 首相
- 韓国
 - 文 大統領
- ロシア
 - プーチン 大統領
- 米国
 - ブリエット エネルギー長官

本年組立開始式典は世界101カ国41言語で
3000記事(TV・新聞・Web等)を記録

世界中のあらゆる言語・媒体でITER計画の
進捗・核融合関連のニュースが増加

マクロン大統領開会スピーチ
2020年7月28日

日本の安倍首相メッセージをはじめ 各極首脳からの祝辞を受領

首脳祝辞(組立開始式典)



安倍首相メッセージを読み上げる
萩生田文部科学大臣

他極の首脳陣祝辞

- 欧州連合
 - メルケル 理事会議長(独大統領)
 - シムソン エネルギー長官
- 中国
 - 習近平 国家主席
- インド
 - モディ 首相
- 韓国
 - 文 大統領
- ロシア
 - プーチン 大統領
- 米国
 - ブリエット エネルギー長官



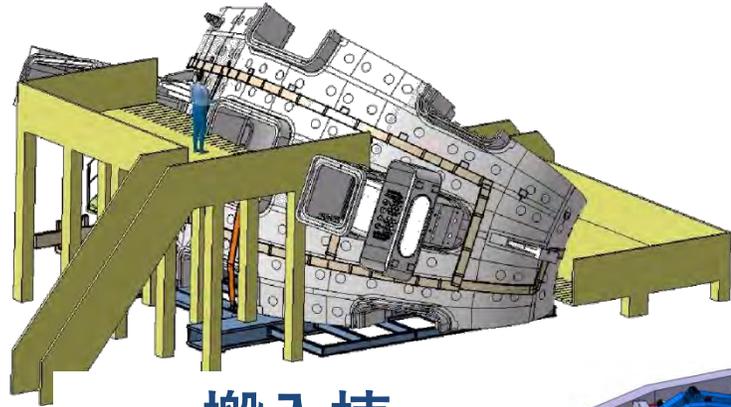
china eu india japan korea russia usa

クライオスタット・ベース及び下部胴据付

PFコイル6&5仮据付



水平で輸送



搬入棟

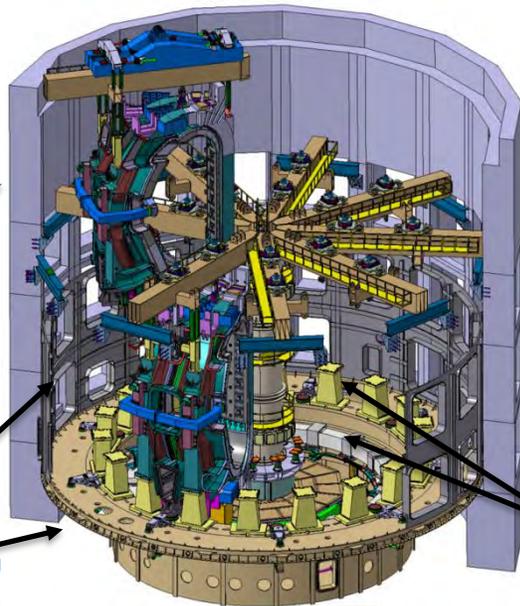
クリーニング

トカマク・ピット

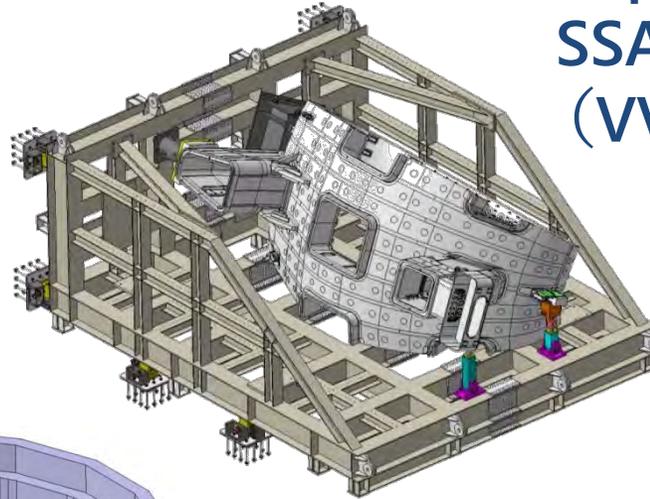
クライオスタット

下部胴

ベース



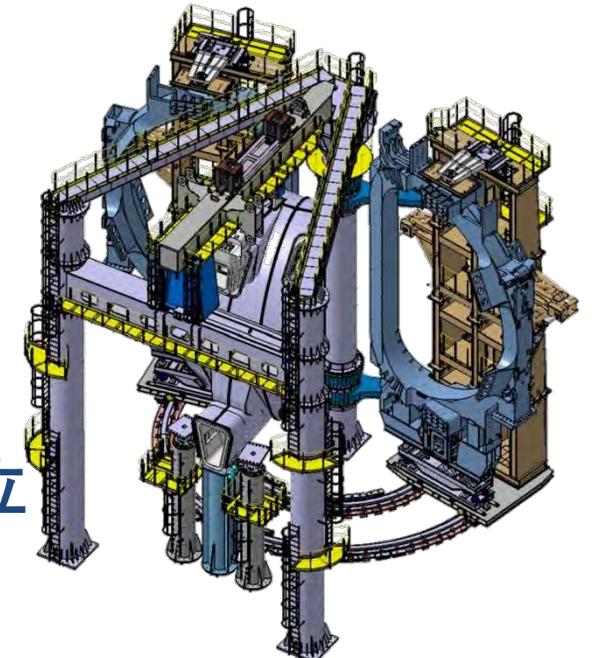
水平→垂直



組立棟

Upendingツールで姿勢変更
SSATにてセクタ (40度) 組立
(VV, 熱シールド、TFコイル2機)

セクタ組立



トカマク組立

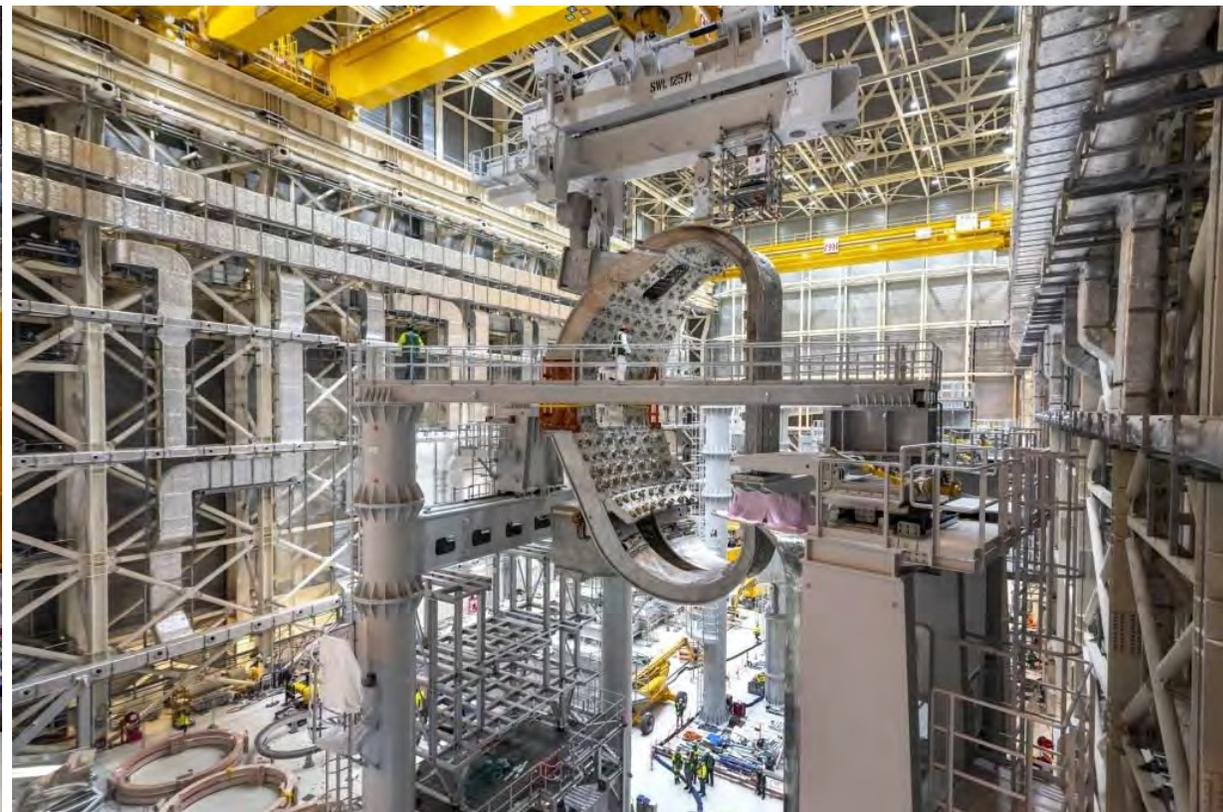
トカマク棟

セクタ据付→トカマクに組立

PFコイル6&5

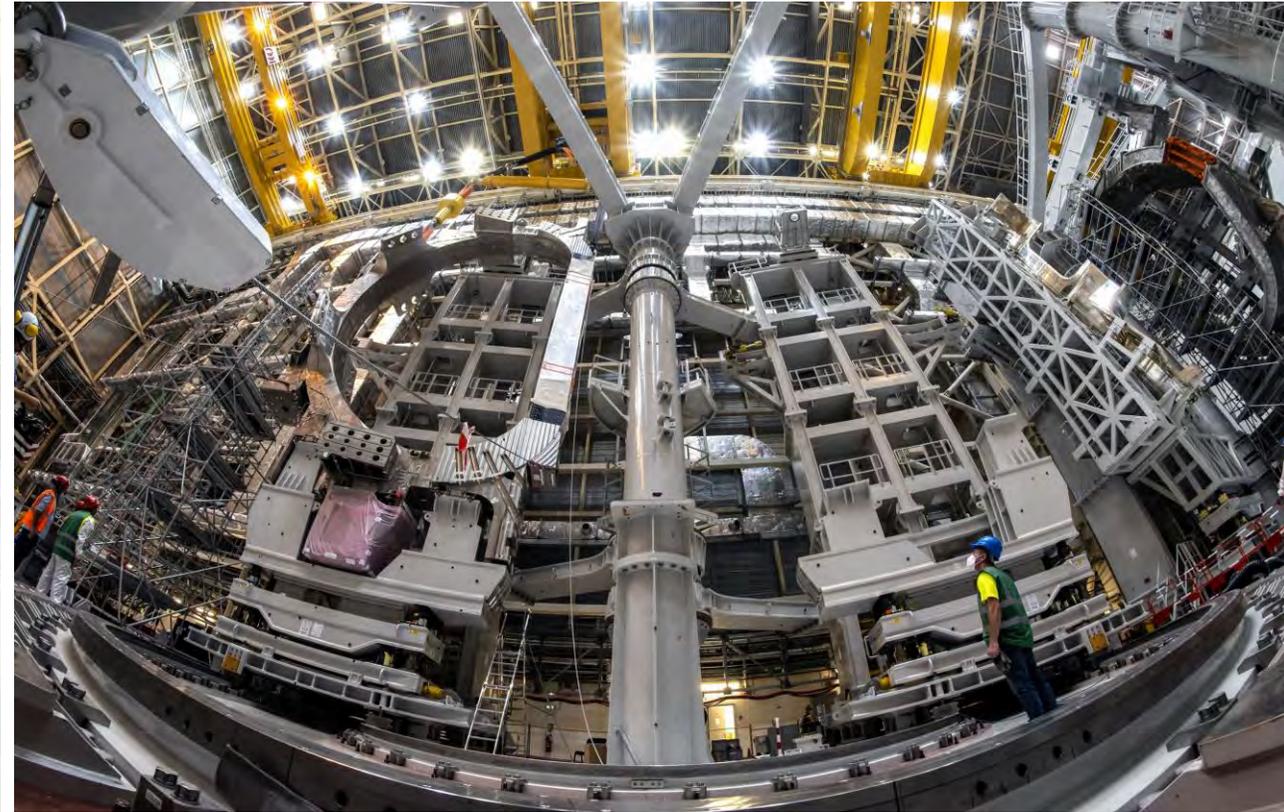
核融合マシンの初セクターに必要な 真空容器#6を組立治具に据え付け完了

初セクタ(#6)組立開始

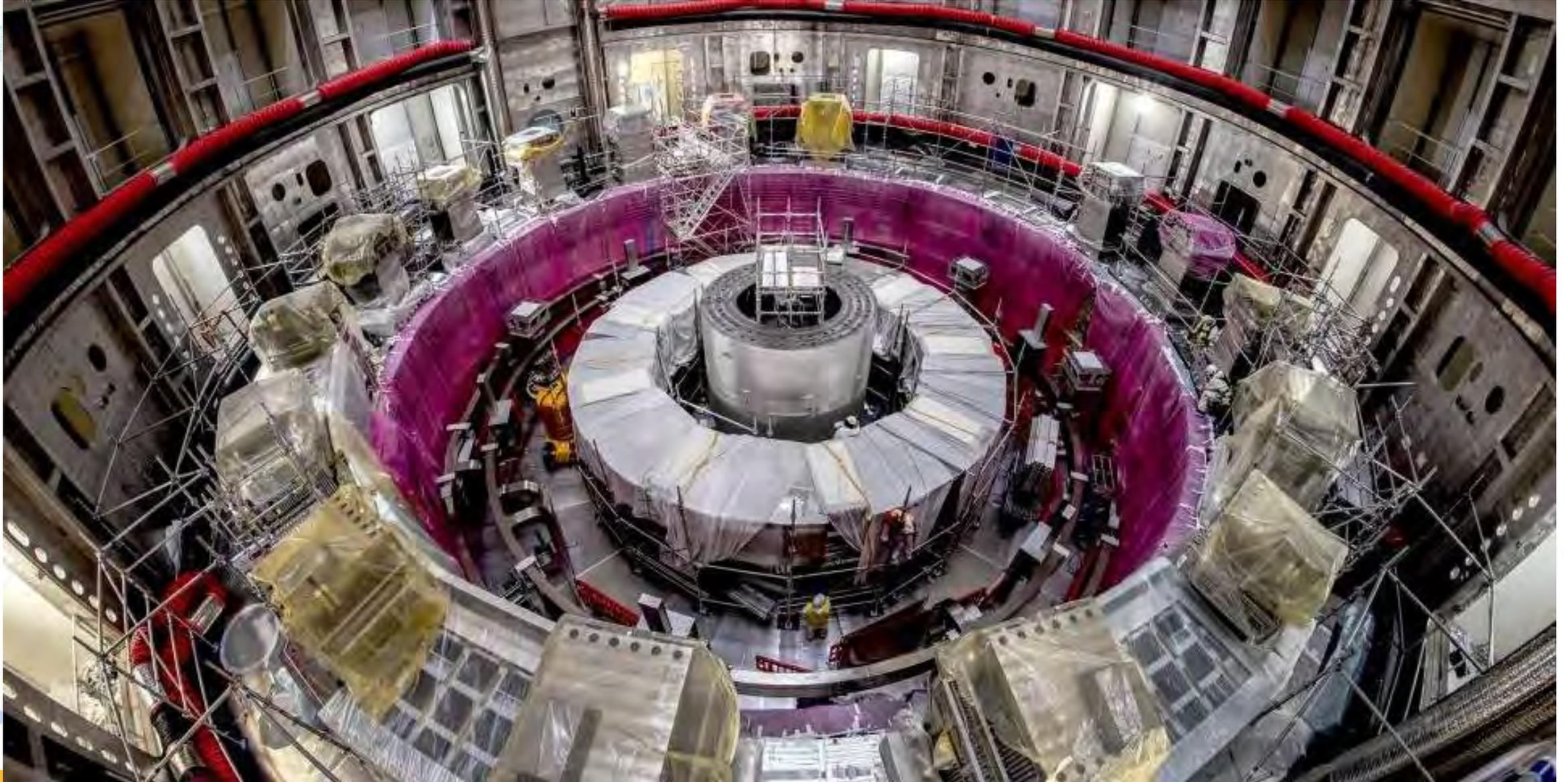


真空容器#6吊り上げ
2021年4月6日

世界初号機TFコイルの立ち上げ吊上げ完了初セクタ(#6)組立開始



TFコイル12吊り上げ
2021年6月



日本による人的貢献は ITER建設推進における中核



2021年頭(職員総数983人): 日本人職員比率が3.7%に増加

日本の核融合ロードマップ

ITERの先

研究炉

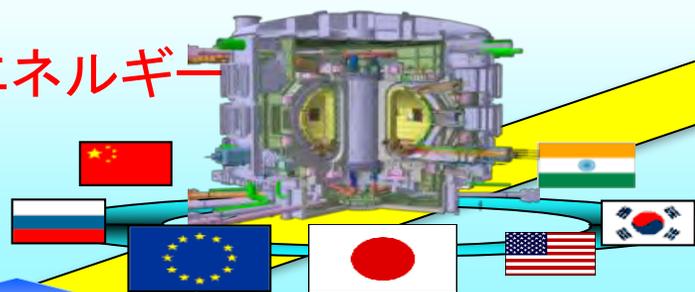
実験炉

原型炉

商用炉

ITER 計画

500MW
フュージョンエネルギー



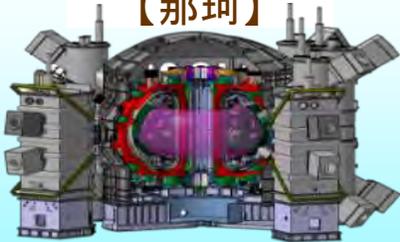
JT-60
プラズマ達成



連携

幅広いアプローチ(BA)

【那珂】



サテライトトカマク
(JT-60SA)

【六ヶ所】



IFMIF 及び IFERC

デモ
発電実証



エネルギー問題の解決、
SDGs*の実現
「目標7: エネルギーをみんな
なりに そしてクリーンに」

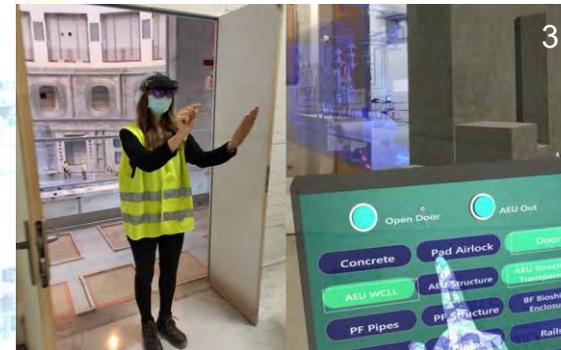
原型炉へ向けた
エンジニアリング

Note*: Sustainable Development Goals

総合テクノロジーとしての核融合技術群

核融合はエネルギー問題の解決手段であると共に、そのイノベーティブなテクノロジー群は既に世界中で産業応用されており、今後は更に多くの産業の高度化や新市場の創出が期待され、自動車産業・電気産業に次ぐ巨大産業になる可能性が高い

- エネルギー分野
- 医療分野¹、宇宙分野²
- 制限環境下産業分野
- 制御技術
- 画像／映像技術
- VR/AR³
- 量子コンピューティング、機械学習
- 高精度加工
- 超電導技術⁴ ...



ITER計画の順調な進捗をベースとして、 世界中で核融合への注目が高まっている

世界における核融合の機運

- 米: 核融合業界団体設立(法規制の枠組み整備開始)、エネルギー省による官民パートナーシップ原型炉計画、2040年パイロットプラント、スタートアップの勃興と膨大な民間資金の流入
- 英: 独自原型炉(STEP)計画で複数企業とのエンジニアリング契約、2040年代の原型炉稼働へ向けた英国内建設候補地選定開始、スタートアップによるパイロットプラント誘致
- 中: 中国版ITERの推進、AIや宇宙に並ぶ国策の核融合、年間1,000名を超える研究者輩出
- 過去数年間にて世界中において核融合スタートアップの数が倍増(現在30社以上)
- グローバルIT企業大手(GAFA等)も核融合技術に注目、ITER機構とも戦略提携締結
- 日本においても今後JT60-SAの初期稼働、ITER向け核融合機器開発の加速

核融合はもはや研究開発にあらず社会実装の段階であり、エネルギー及び経済安全保障、安全規制、産業振興政策なども含めた国家戦略としての「核融合国家ビジョン」の必要

ご清聴ありがとうございました

