

核融合エネルギーフォーラム発足5周年記念
公開シンポジウム「核融合エネルギーの再認識 ～夢の実現に向けて～」

燃焼プラズマの実現に向けた 核融合実験炉『ITER』の建設状況



ITER理事会次期議長
高津 英幸

平成23年12月27日
学士会館

核融合は、無尽蔵で安全、安心なエネルギー

燃料が豊富

燃料は、海水1m³中に
重水素は約33g、
リチウムが約0.2g

環境に優しく 安全

- ・燃えカスはヘリウム
- ・燃料ガスの供給を止めれば反応停止



日本が世界をリード

少しの燃料で 沢山のエネルギー

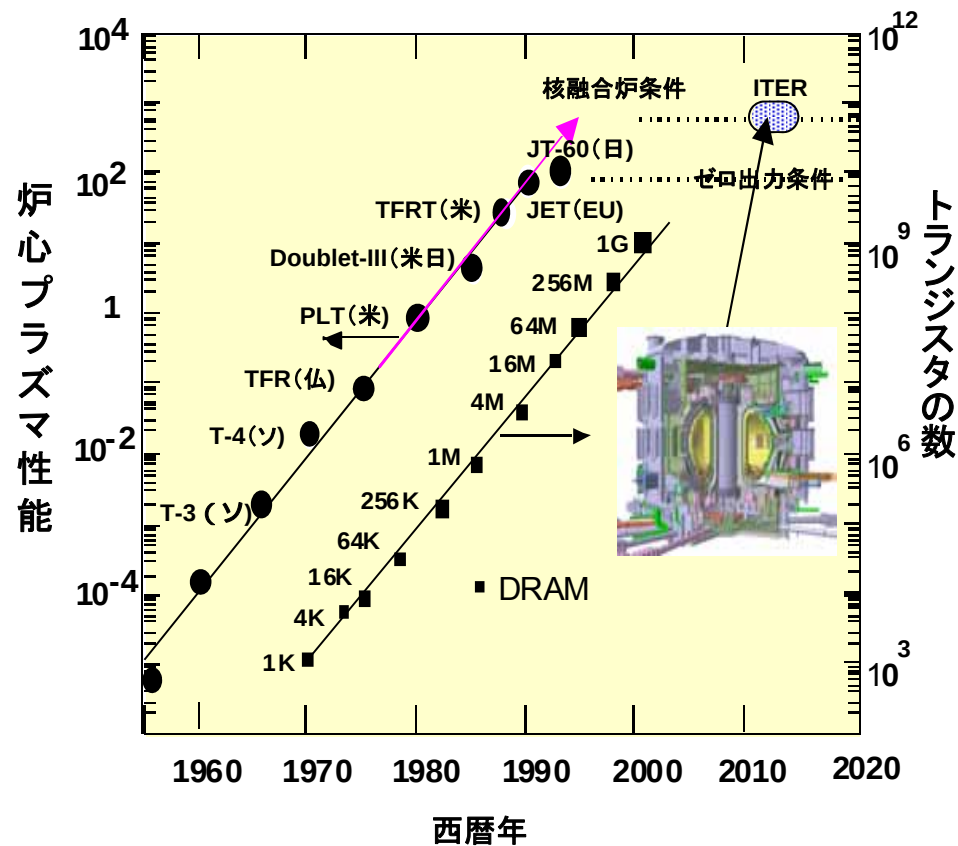
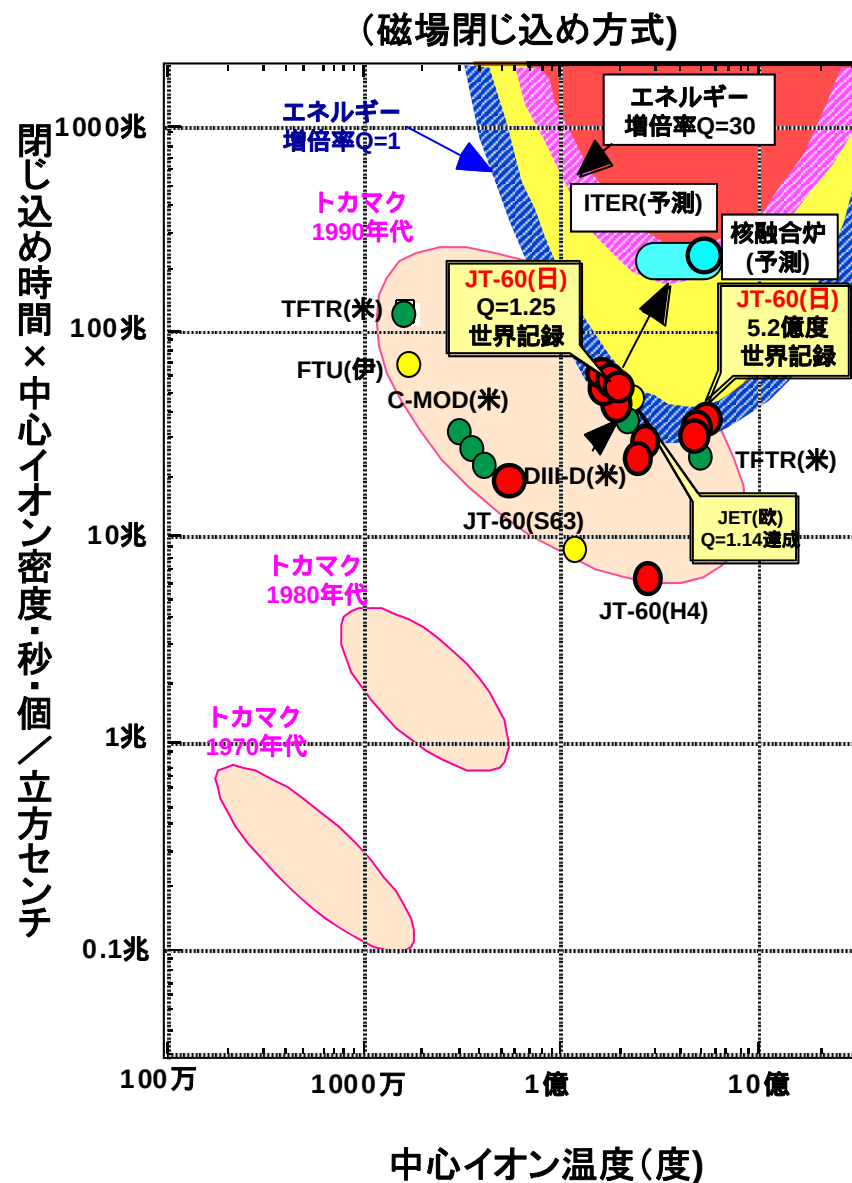
1gの燃料で
石油約8トン分の
エネルギー

最先端技術の 結晶

- ・超伝導、ロボット、
耐熱材料、粒子ビーム、
高周波技術等の
先端技術波及



プラズマの性能



核融合積=(燃料密度×温度×閉じ込め時間)

燃料密度 : 燃料をたくさん詰込む

温度 : 燃料プラズマの温度を数億 まで上げる

閉じ込め時間 : プラズマを冷やさないように保温する

この30年で核融合積は5桁以上(10万倍以上)大きくなっている
コンピュータに使用されている集積回路のトランジスタの数に匹敵するスピードで進化中

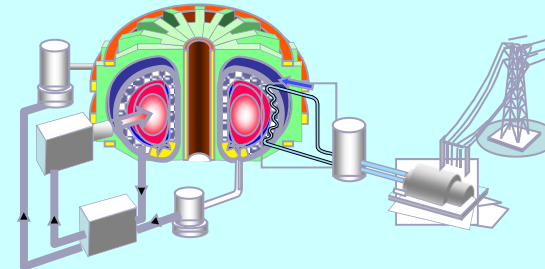
ITER計画とBA活動

核融合研究の

- ・国際イニシャティブ
- ・原型炉の基盤技術の蓄積
- ・人材の育成

原型炉

核融合発電
の実証



ITER

核融合エネルギーの科学的・
技術的実現の可能性の実証

建設地
フランス
カダラッシュ

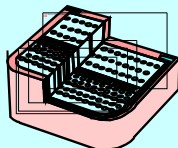


エネルギー増倍率
10以上で300~500
秒間持続する核融
合燃焼の達成

日本は準ホスト国として貢献
(約18%の機器の調達、人員の派遣)



炉心プラズマ:JT-60
(トカマクの中核装置)
世界最高のエネルギー増倍率:
1.25
世界最高温度: 5.2億度



核融合炉工学:材料、
ブランケット開発等
ITERの大型工学R&Dの実施
中心ソレノイドモデルコイル、
大型真空容器等の開発

幅広いアプローチ活
ITER建設と並行して我が国
がホスト



国際核融合エネルギー研究
センター(IFERC)



国際核融合材料照射施設の
工学 実証・工学設計活動
(IFMIF-EVEDA)



サテライトトカマク

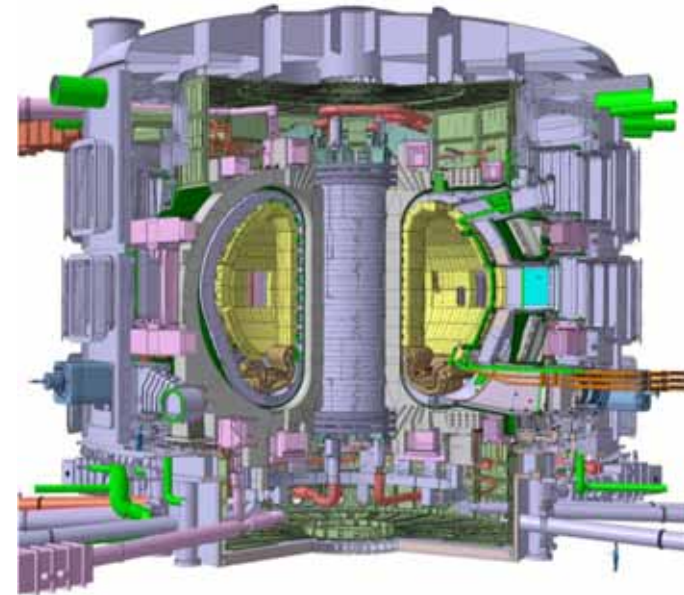
ITER計画の目的

●計画目標

◇核融合エネルギーの科学的・技術的実現可能性を証明する。

●技術目標

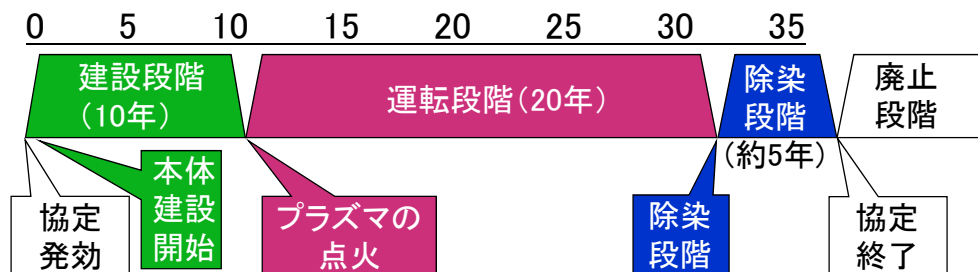
- ◇核融合出力と外部からの入力の方が10以上の**燃焼プラズマ**を長時間(300~500秒)生成する。
- ◇超伝導コイルや加熱装置などの**核融合工学技術**を統合し、その有効性を実証する。
- ◇将来の核融合炉に必要なブランケットなどの**機器試験**を行う。
- ◇**環境・安全性**の実証を行う。



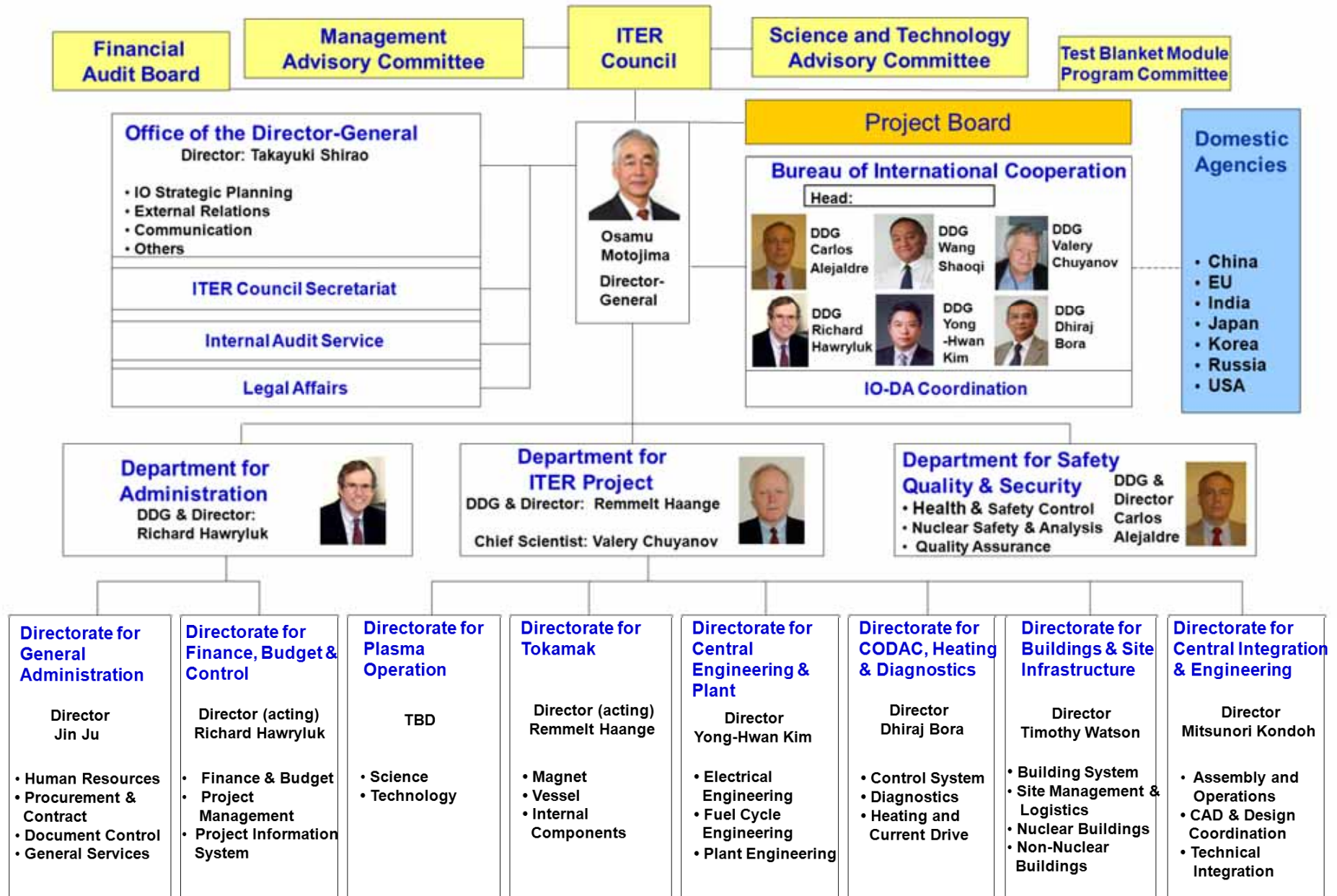
主要パラメータ

核融合出力	500 MW
Q (核融合出力／外部加熱パワー)	≥ 10
プラズマ燃焼時間	300-500 秒
プラズマ主半径 (R)	6.2 m
プラズマ副半径 (a)	2.0 m
プラズマ電流 (IP)	15 MA
プラズマ体積	約840立方米
本体重量	1万8千トン

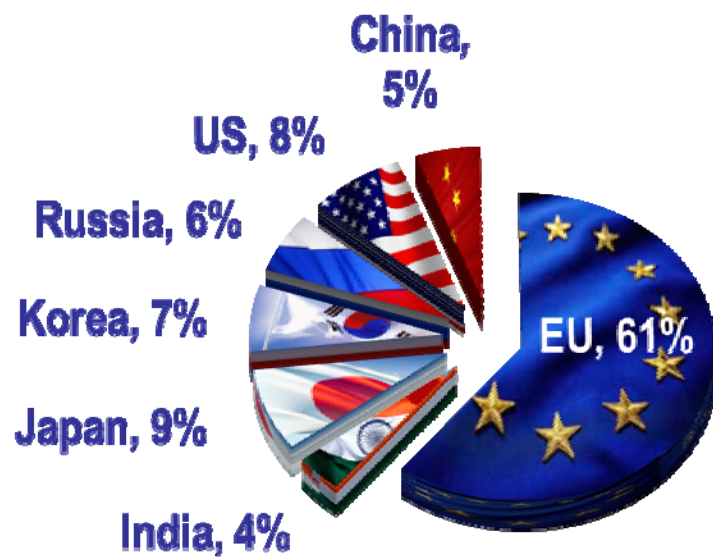
●スケジュール(35年間)



ITER機構組織



ITER機構職員



	Professional staff	Support staff	Total
CN	16	4	20
EU	185	125	310
IN	12	16	28
JA	26	7	33
KO	21	5	26
RU	19	3	22
US	26	10	36
Total	305	170	475

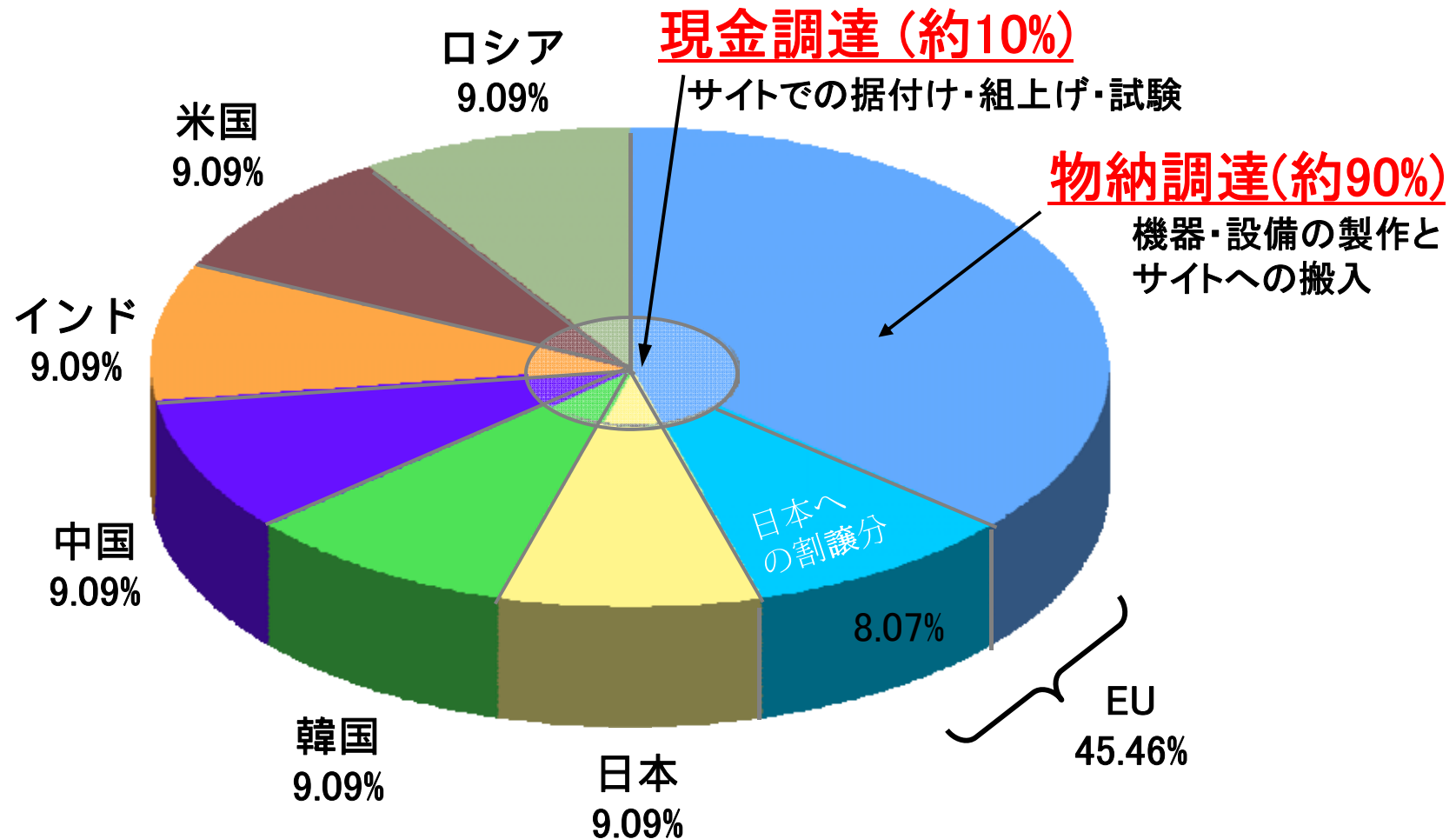


2011年5月末時点での
専門職員の極別構成

日本に与えられた専門職員枠
は全体の18.18%

建設期における参加極の貢献分担

(kIUA に基づいた比率)



建設スケジュール

初プラズマ(2019年11月)

ITER建設

2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

トロイダル磁場コイル (EU)

巻線モックアップ完了

TF10

TF15

中心ソレノイドコイル (US)

中心ソレノイドコイル最終設計承認

CS3L

CS3U

中心ソレノイドコイル組立準備完了

真空容器 (EU)

真空容器製造契約

VV 05

VV09

VV07

建屋とサイト

建設契約

トカマク建屋11RFE

トカマク組立

機器組立開始

基本トカマク機器組立

中心ソレノイドコイル設置開始

真空容器内組立

真空容器外組立

組立(第2期)

組立(第3期)

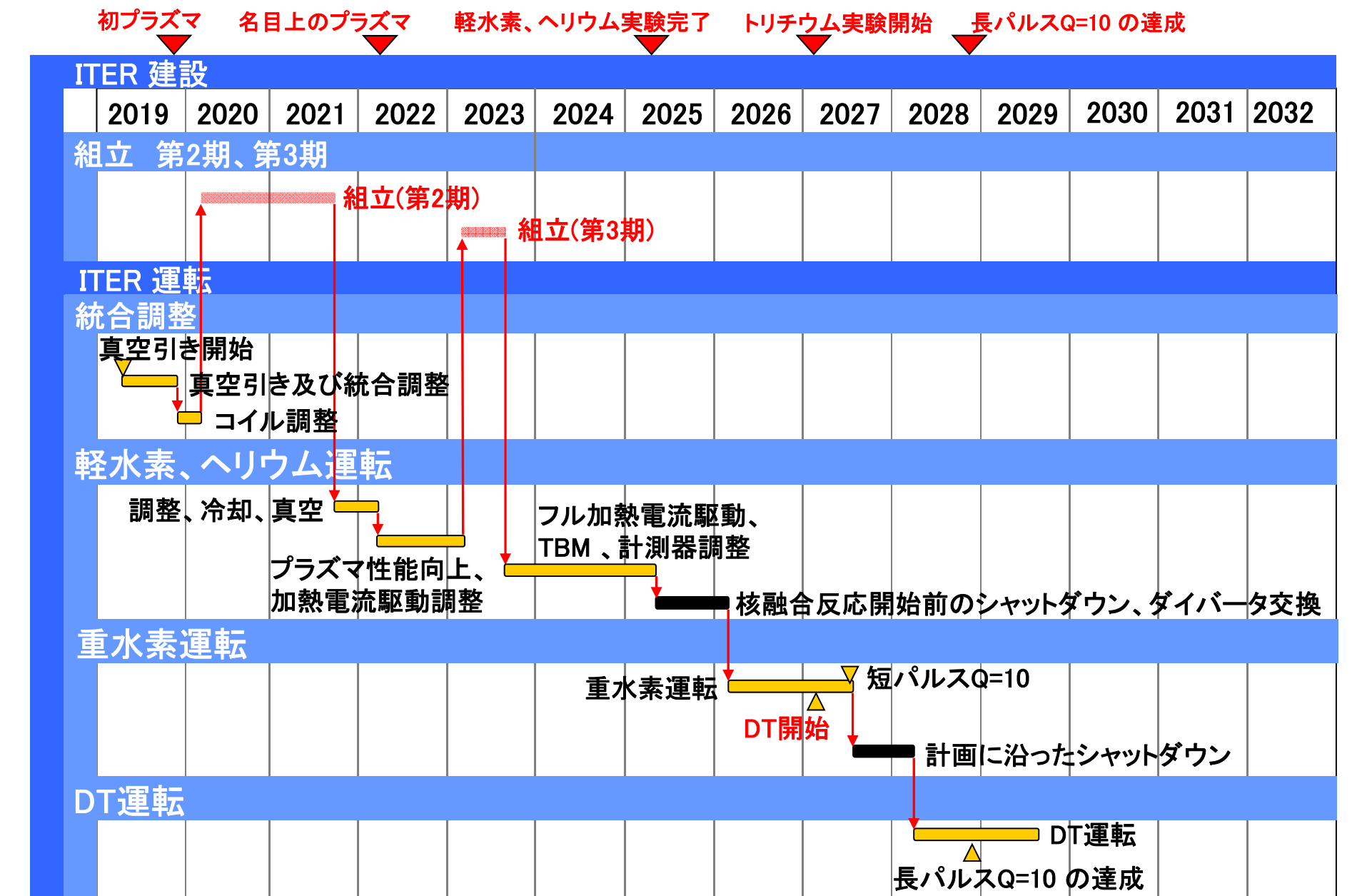
ITER 運転

真空引き及び統合調整

統合調整

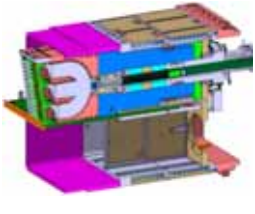
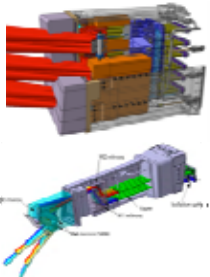
プラズマ運転

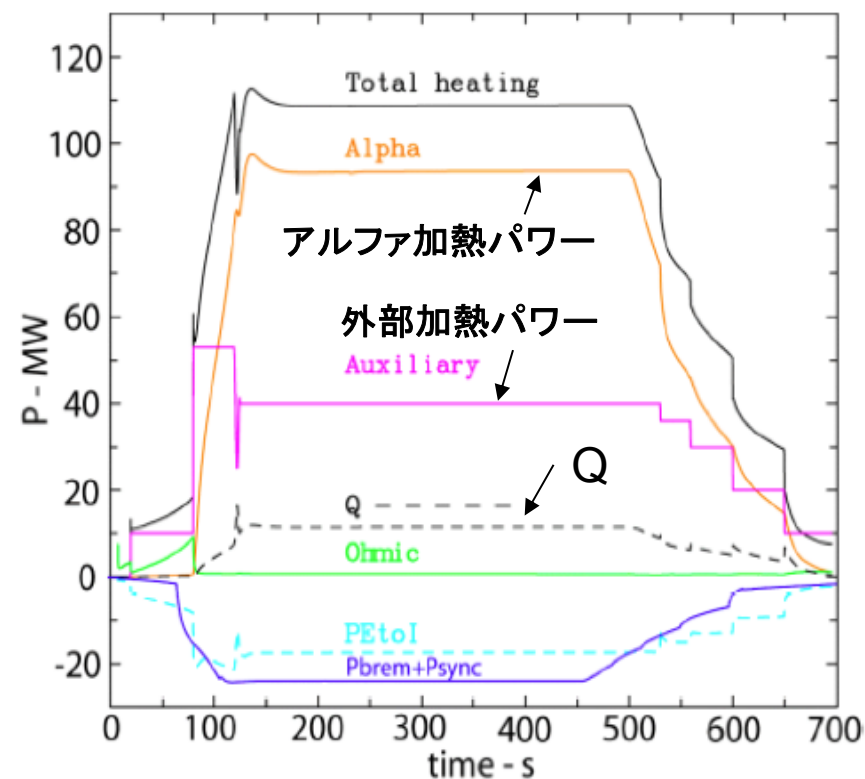
運転・実験スケジュール



加熱装置とプラズマ運転シナリオ

- 3種類の加熱装置で合計最大73MWのプラズマ加熱パワーを用意
- 標準的な改善閉じ込め(Hモード)の15MA運転で、エネルギー増倍率 $Q \geq 10$ (外部加熱パワー~40MW、核融合出力~500 MW)を300-500秒間維持

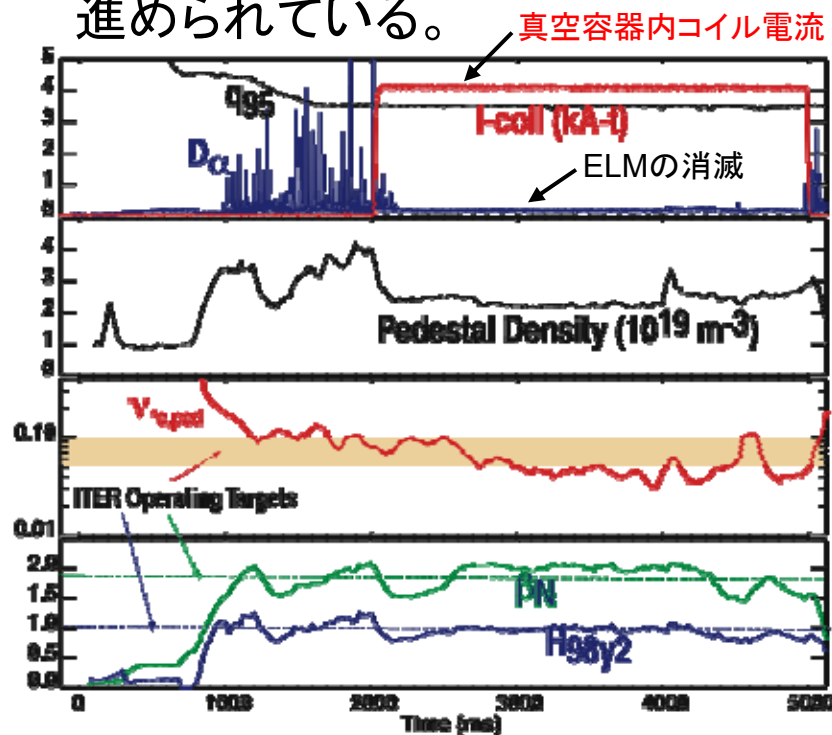
中性粒子入射加熱装置	IC高周波加熱装置	EC高周波加熱装置
		
1 MeV	40-55 MHz	170 GHz
33 MW	20 MW	20 MW



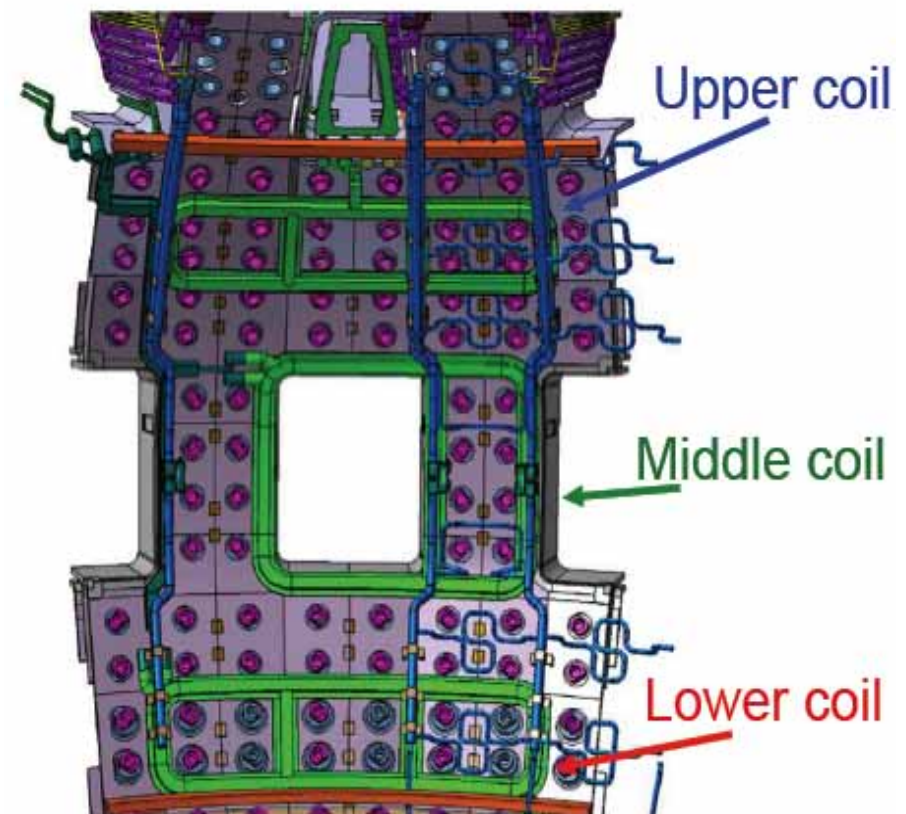
運転シナリオの例

物理課題 (例:ELMの制御)

- Hモードで発生する間欠的な不安定性(ELM)による過渡的な熱負荷によるダイバータ・ターゲット材の損耗・破損が懸念される。
- ELMを抑制・緩和する手法として、真空容器内コイルによる摂動磁場の印加が考えられている。いくつかの装置で実証されているが、ITERのプラズマの条件で有効であるか自明ではなく、ペレット入射等他の手法も含めて研究が進められている。



DIII-Dトカマクにおける摂動磁場によるELM抑制の例



ITERサイトの近況



サイト全体



トカマク建屋の基礎

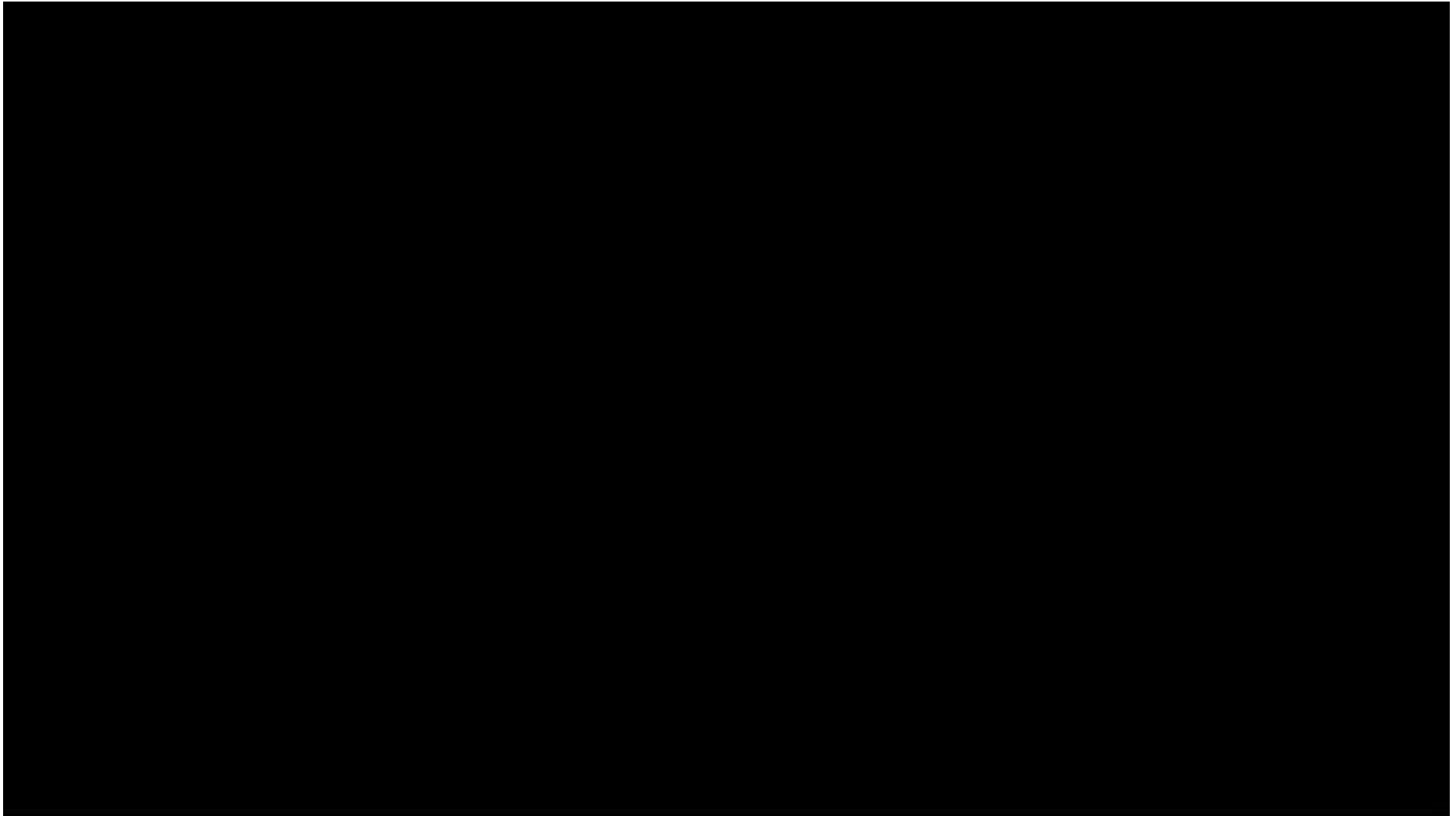


ポロイダル磁場コイル製作棟

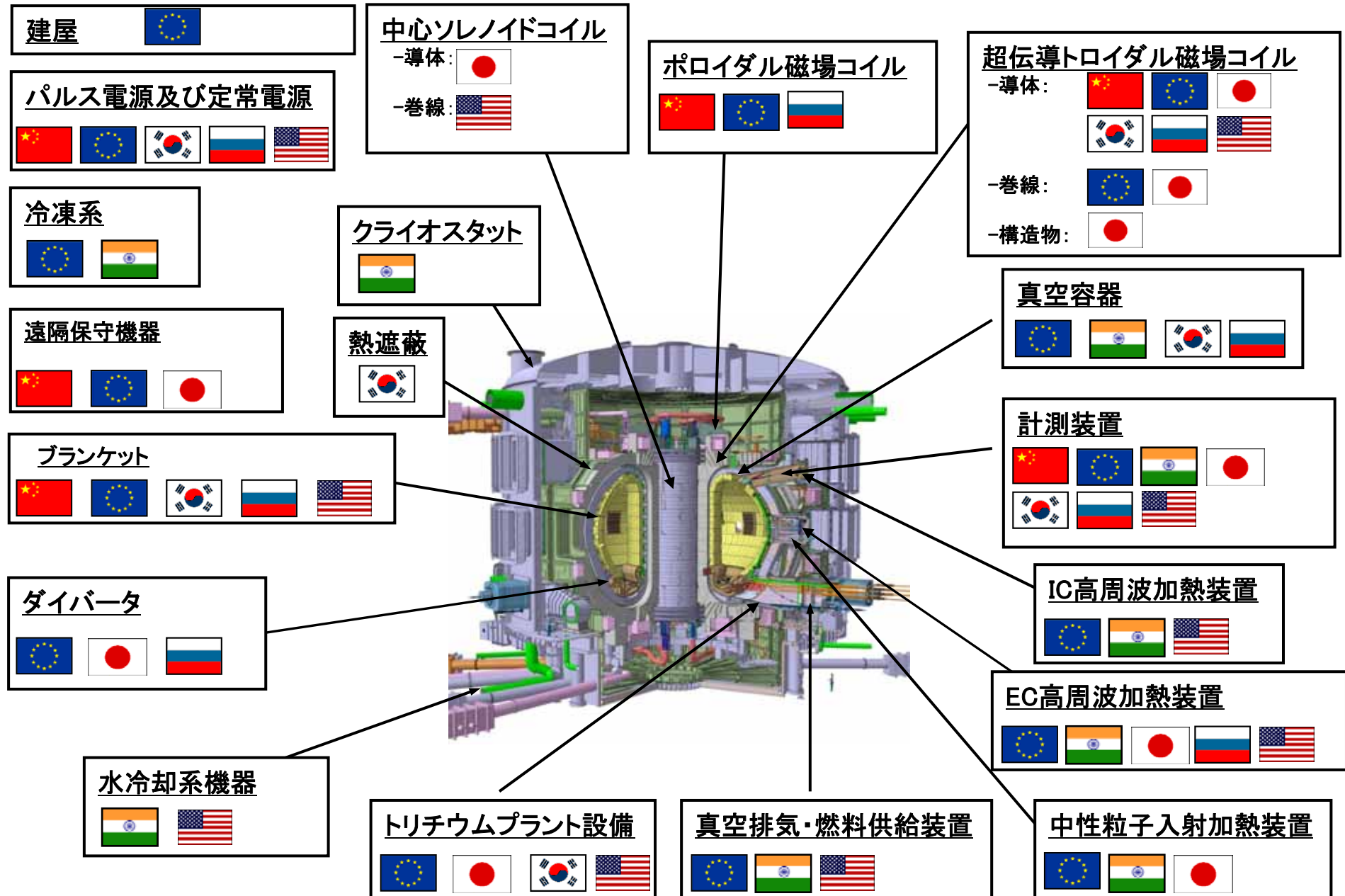


ITER機構本部建屋

ITER組立



ITER機器の調達分担

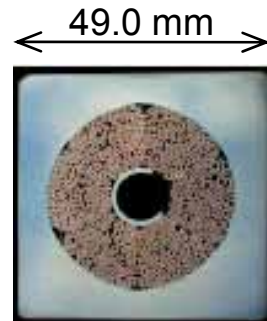


超伝導磁石(1/2)

実機の超伝導導体の製作を開始



TF用導体
(Nb_3Sn)



PF用導体(NbTi)
and
CS用導体 (Nb_3Sn)

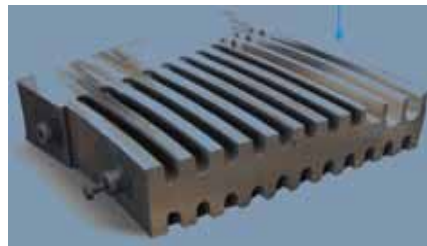


Jacketing facility is in operation
in JA and RF, and is being set up
in CN, EU and US.



1st TF 導体 (日本)

実機TFコイルの製作に向けたR&Dも進展



TFコイル ラジアルプレート モックアップ用
HIP (左側)(日本), 熱処理 (右側)(EU)



TFコイルケース用側板のプロ
トタイプ (日本)



Tooling for 1/3 scale
dummy winding (日本)

超伝導磁石(2/2)

日本は実導体の製作を開始し、サイド導体分(単位長さ:415m)×5セット、
センター導体分(単位長さ:760m)×7セットの製作を完了

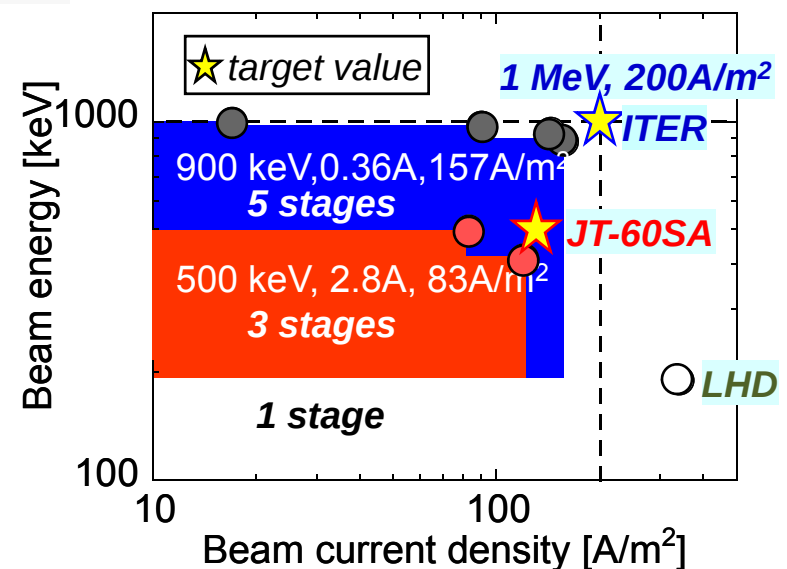
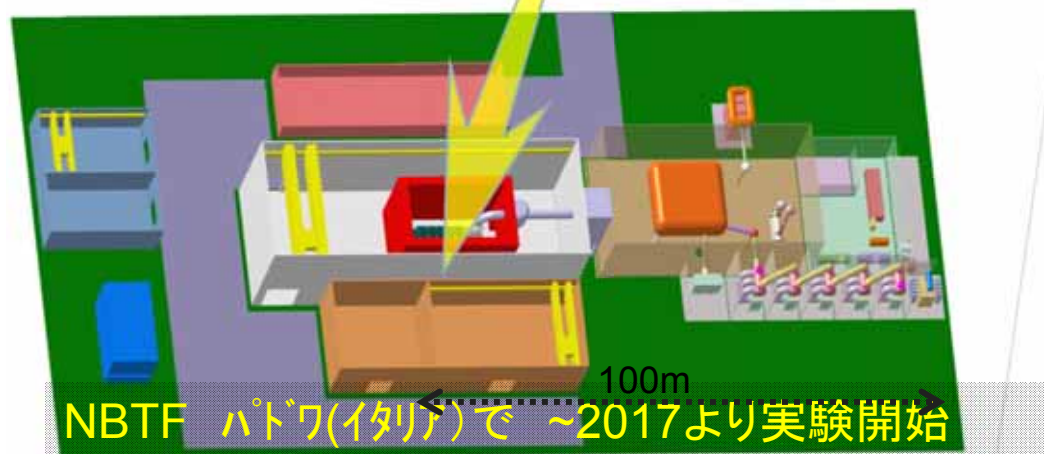
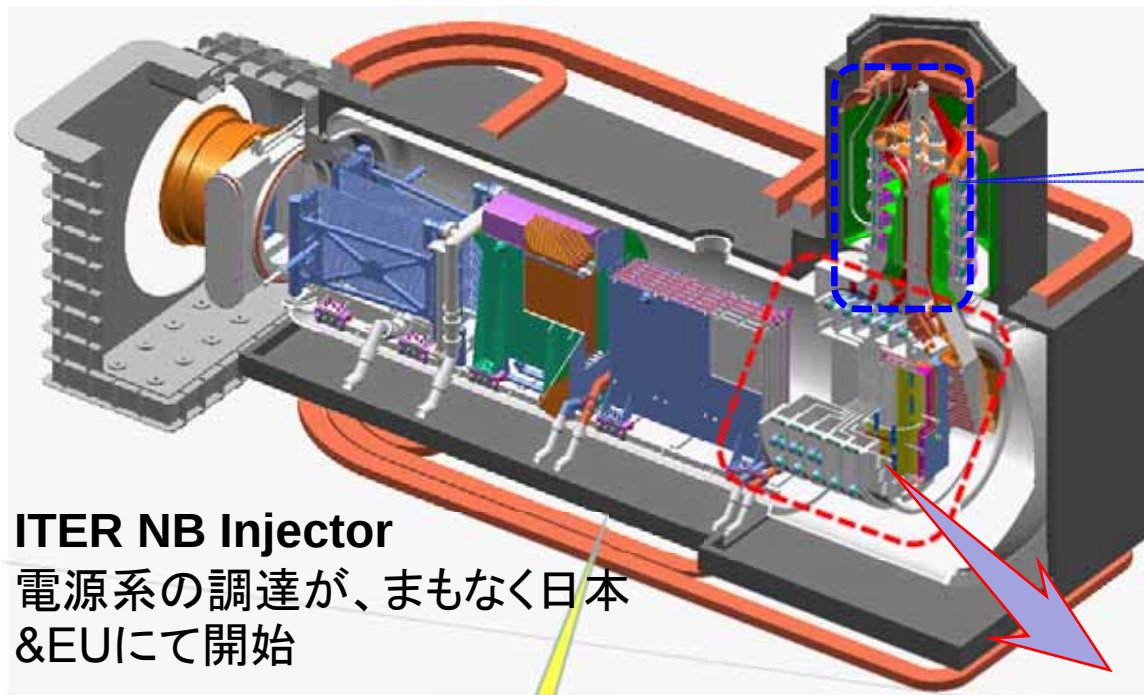


超伝導ケーブルをジャケットに挿入

ジャケットの縮径及び
輸送用治具に仮巻き

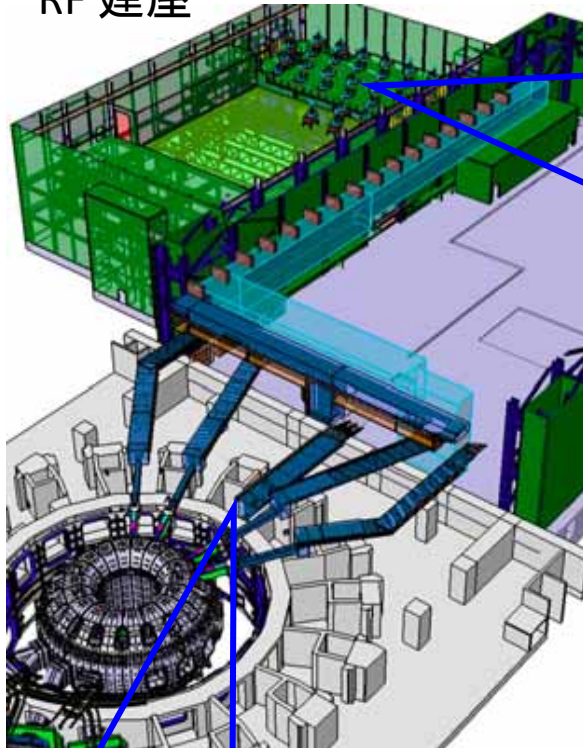
導体のヘリウムリーク試験と
浸透探傷試験

中性粒子入射加熱装置

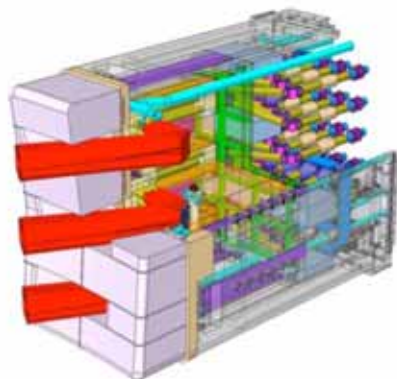
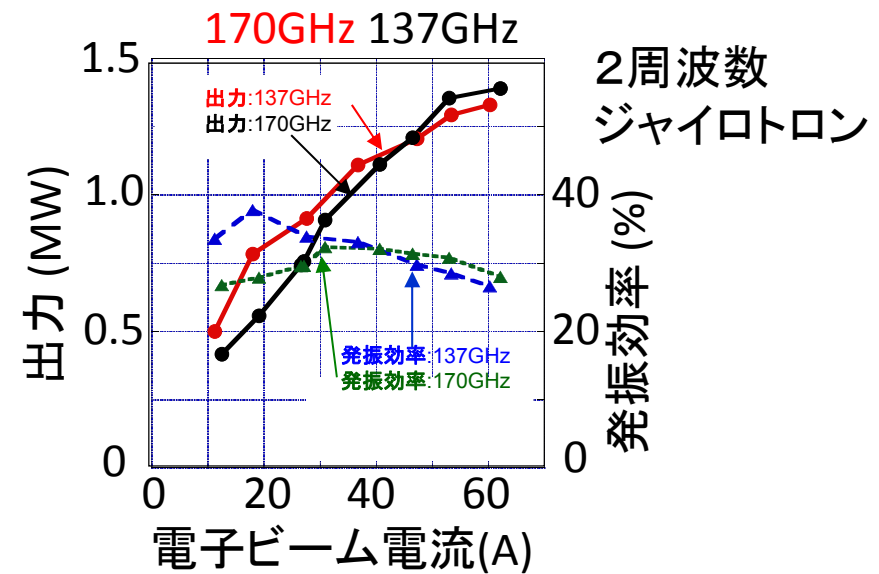


高周波加熱装置

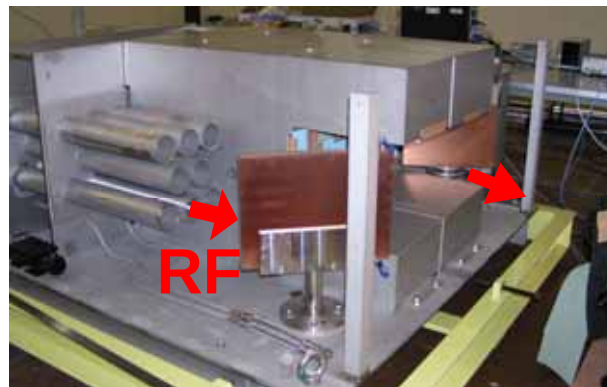
RF 建屋



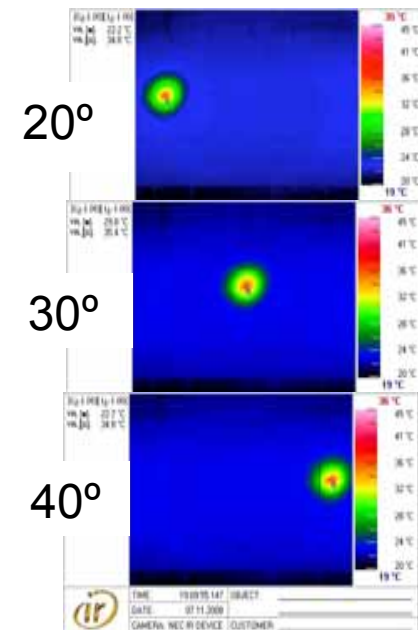
1MW ジャイロトロン



水半ポートランチャー



ランチャーモックアップ



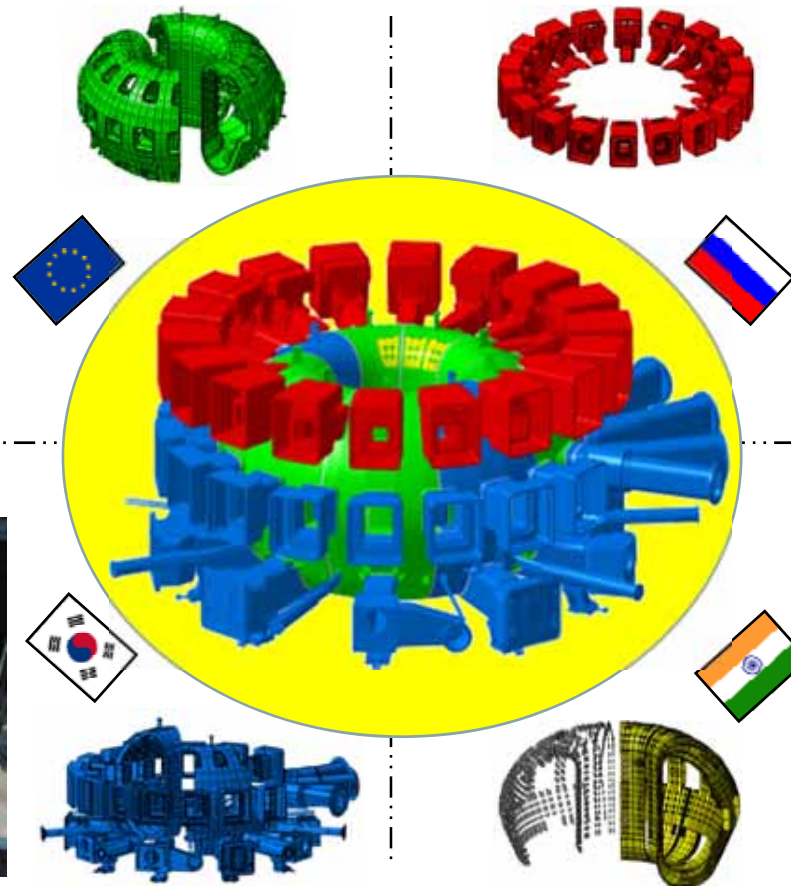
放射パターンの測定

真空容器

真空容器の特性

- 二重壁構造
- 最初の閉じ込め障壁であり、最も高い安全重要度を有する。

DA	Procurement Item	kIUA
EU	Main vessel (7 sectors)	92.06
韓国	Main vessel (2 sectors)	26.20
	Equatorial & lower ports	57.86
インド	In-wall shields	37.30
ロシア	Upper ports	20.86



まとめ

- ・ ITER計画は、2007年より建設活動が開始されました。その後、世界の核融合コミュニティーを巻き込んだ設計レビューや諮問委員会の勧告に基づく設計・計画の見直しがあり、それらに基づいて、昨年、ITER計画の基本となるベースライン文書（スコープ、スケジュール、コストを規定）が固められました。
- ・ ベースライン文書に基づき、今現在、ITER計画は、本格的な建設段階にあり、機器の製作を担当する各極の国内機関が、ITER機構や極内の産業界等と連携して、長いリード・タイムが必要な機器の製作を進めると共に、これから調達を開始する機器の調達準備活動を進めています。
- ・ 一方、今春起こった東日本大震災の影響等により、スケジュールの見直し作業を行い、ファーストプラズマは一年遅れ(2020年11月)、DT運転開始は変更無し(2027年)という改定スケジュールで建設作業を進めています。
- ・ サイト整備や建屋の建設も順調に進展し、また、フランスの許認可当局との対話も順調に進められています。