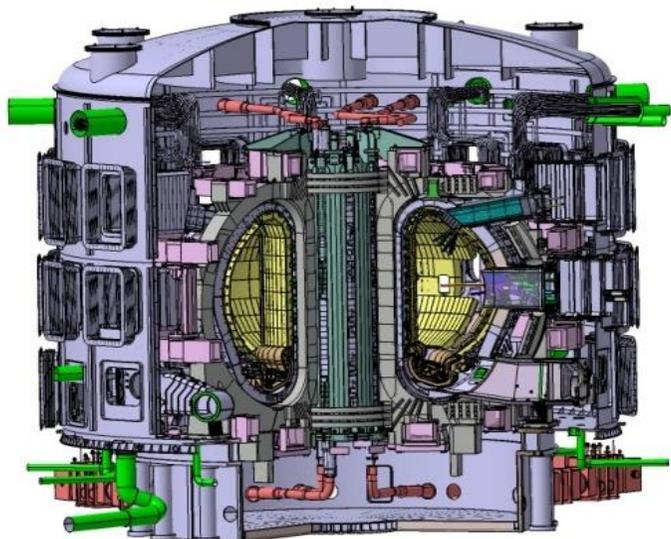


科目名：**核融合エネルギーとイーター**

イーター計画(I) 計画の概要と建設状況

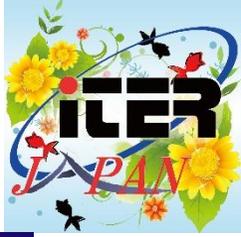


量子科学技術研究開発機構
核融合エネルギー研究開発部門
井上多加志

平成29年7月14日（金） 第2時限11:40～13:05 東京文京学習センター

- イーター（ITER）計画の目的
- ITER計画の位置付け
- ITERの主要な技術目標と主要パラメータ
- ITERの調達を進め方
- 我が国が分担する物納機器
- 国内機関の役割と体制
- ITER建設サイトの準備状況

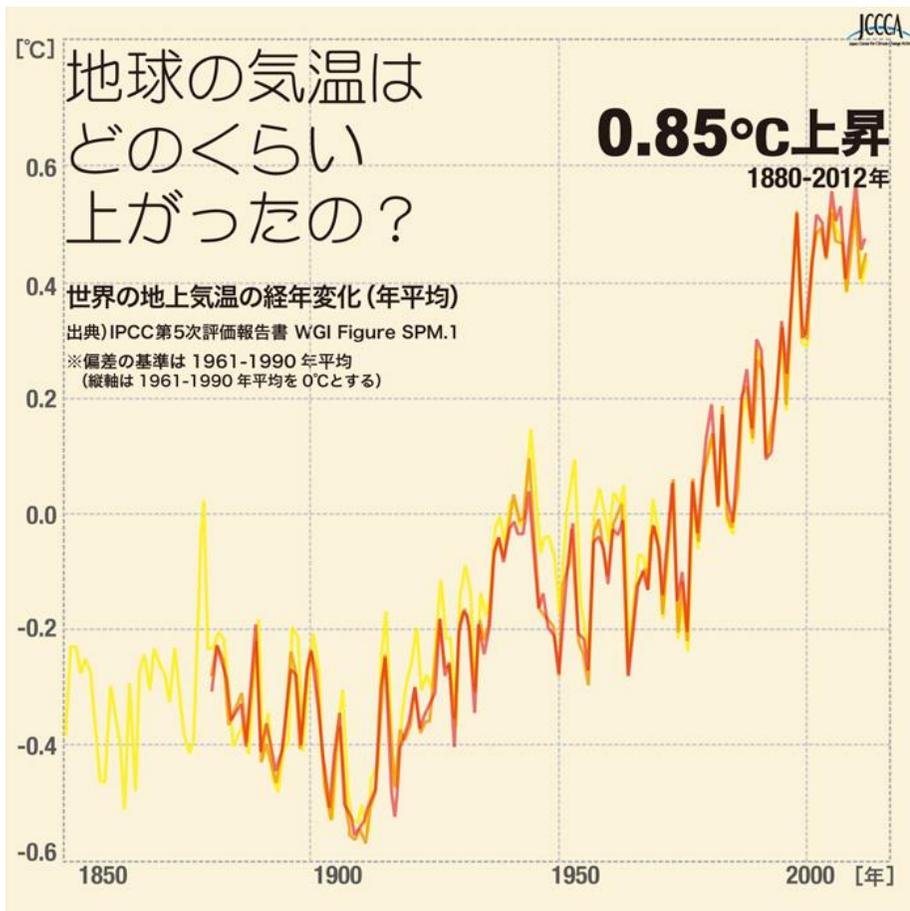
QST イーター (ITER) の目的



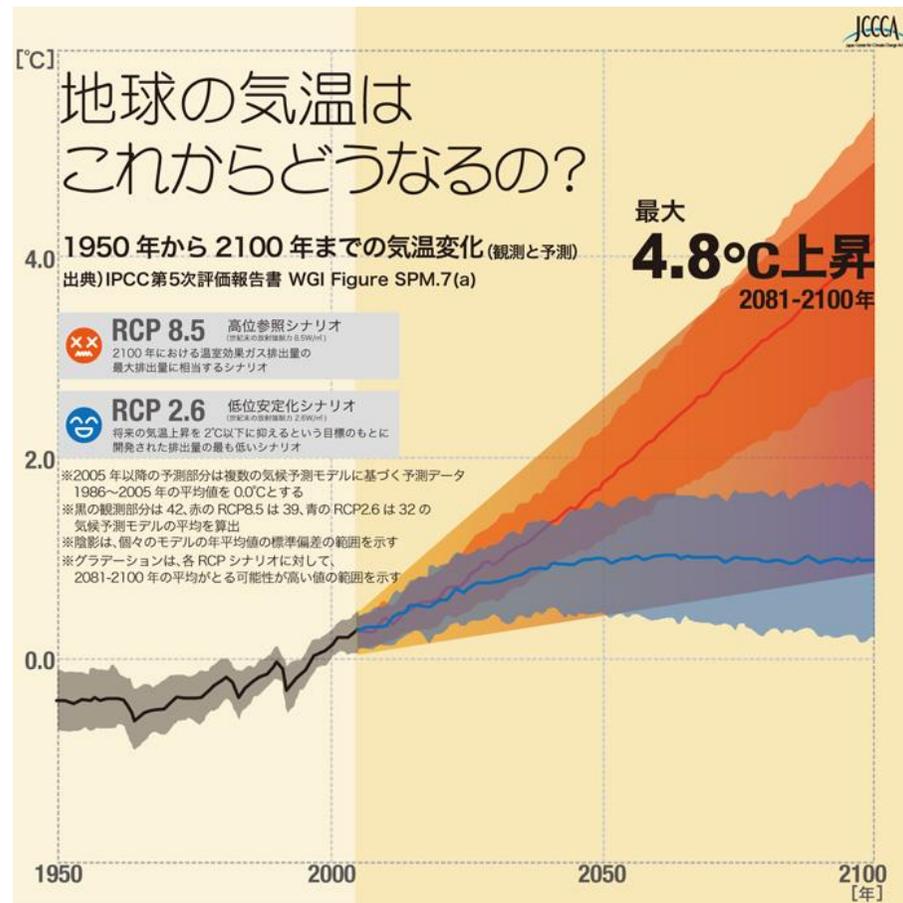
平和利用目的の核融合エネルギーが
科学的・技術的に成立することを実証



エネルギーの安定供給と環境問題の克服を同時に実現



http://jccca.org/chart/chart02_01.htmlより



http://jccca.org/chart/chart02_03.htmlより

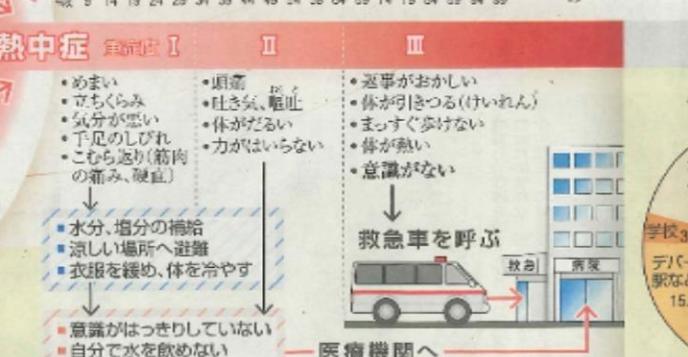
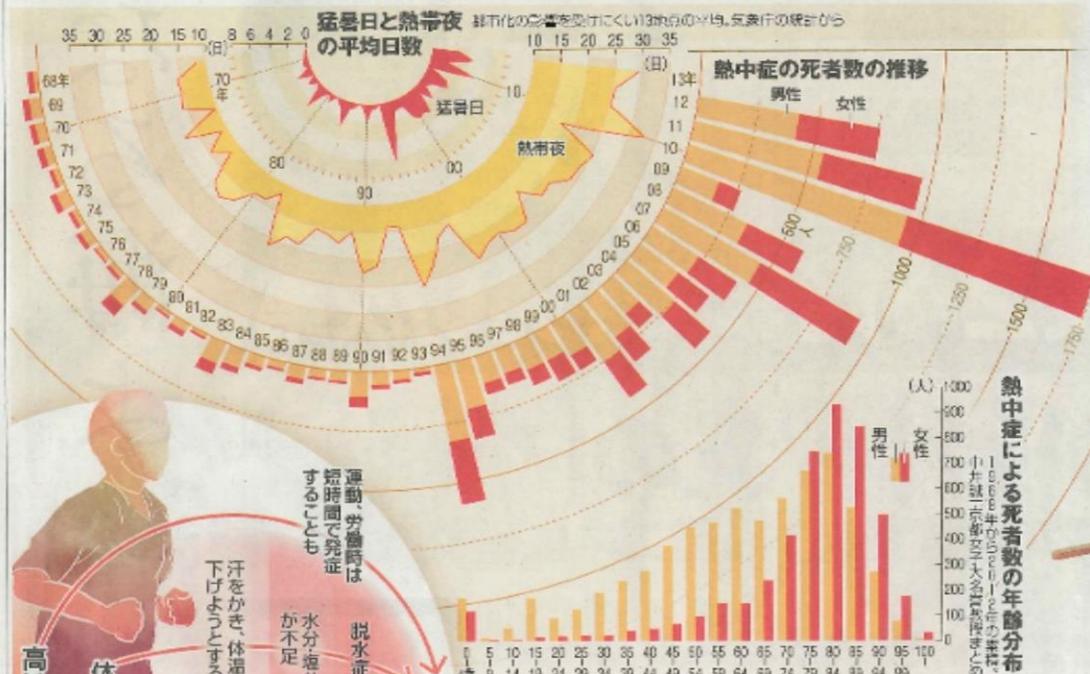
130年ぐらいで0.85°Cしか上がっていない。
2100年に最大4.8°C上がってもその頃には . . . 。 ➡ 夏のピーク値は？

暑さ甘く見るな



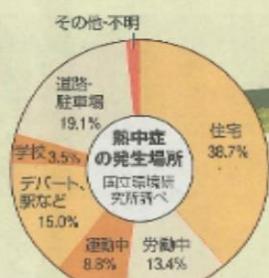
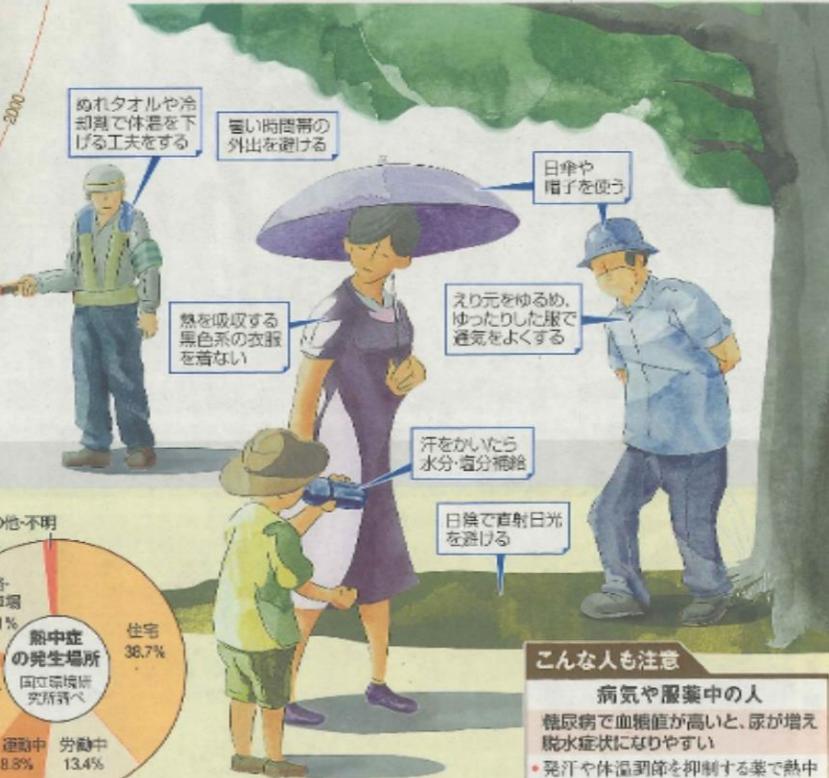
あすへの備え

増える真夏日や熱帯夜。健康を害し、農産物にも被害を及ぼす猛暑は気象災害のひとつ。地震や豪雨のように目立つ集中した被害ではないが、犠牲者数は多い。深刻な熱中症への備えは危機意識が必要だ。



こんな人は注意

労働者	子ども	高齢者
高温、多湿な環境での長時間の作業で体温が上昇する	体温調節の機能が未発達。地面の反射熱の影響を受けやすい	暑さを感じにくく、体温調節や発汗機能が低下
<ul style="list-style-type: none"> • 屋外では、ぬれたタオルや冷却剤で、頭や首、わきの下を冷やす • 適度な休憩をとる 	<ul style="list-style-type: none"> • 顔が赤くないか、ひどく汗をかいていないか、昏がかわいていないかなど、よく観察する • 適度の外遊びをさせて暑さに慣れさせる • ペーパークーラーにはひざしをつける • 短時間でも車の中に残して離れない 	<ul style="list-style-type: none"> • のどが渇かなくても水分補給 • 湿度計や温度計をこまめに確認 • お風呂はあめ(40℃以下)で短時間



こんな人も注意
病気や服薬中の人
 糖尿病で血糖値が高いと、尿が増え脱水症状になりやすい
 • 発汗や体温調節を抑制する薬で熱中症を起こしやすい

グラフィック 大塚博樹

第3段階核融合研究開発計画（原子力委員会、1992年6月）

プラズマ実験段階

科学的事実

JT-60

超高温プラズマ
の実現

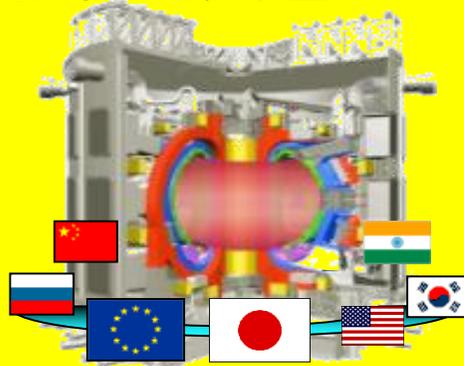


実験炉段階

科学的/技術的事実

ITER

- 500 MWの核融合エネルギー出力
- 持続的な核融合燃焼の実証



原型炉段階

技術的事実・経済的事実

原型炉

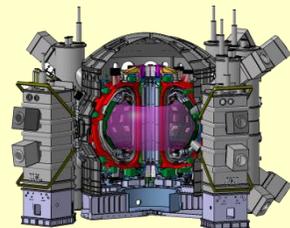


- 発電
- 経済的事実

幅広いアプローチ(BA)活動

2007年6月～

[茨城県那珂市]



- サテライトトカマク (JT-60 超伝導化)

[青森県六ヶ所村]



- FMIF
- 原型炉設計
- シミュレーション研究

ITERは第三段階計画の中核装置であり、国際協力下でフランスに建設されている「日本の実験炉」との位置付け

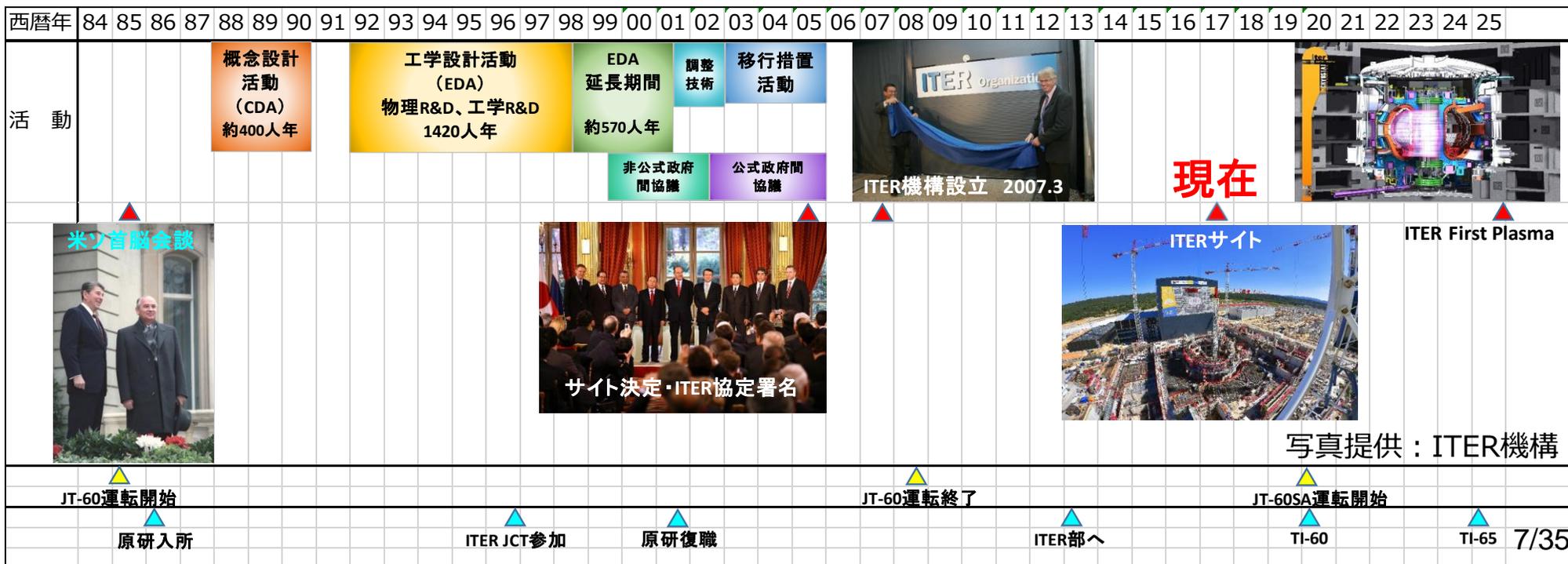
1985～

2007～

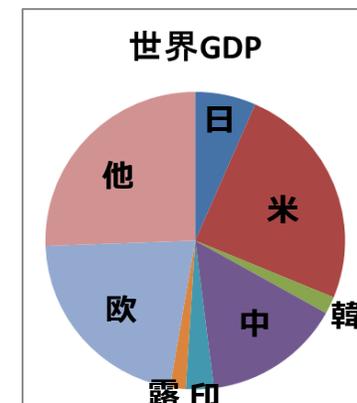
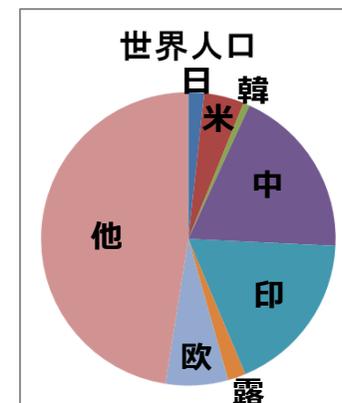
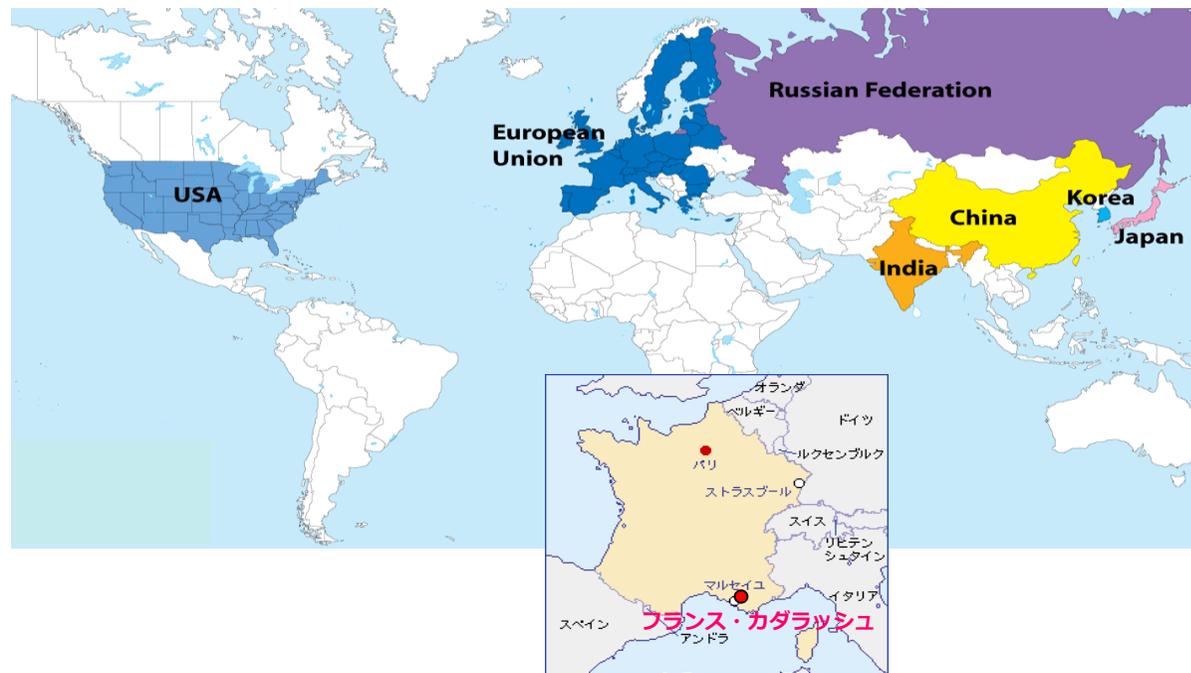
21世紀中葉

- 1985年 米・ソ首脳会議（レーガン-ゴルバチョフ会談）で、核融合の国際共同開発に合意（冷戦構造の崩壊）。日、欧にも呼び掛けて、ITER計画が発足。
- 1988-1990年 概念設計活動（CDA）
- 1992-1998年 工学設計活動（EDA）
- 1998-2001年 延長EDA（日、欧、露）。日本提案による設計の大転換・コスト低減。
- 2001-2005年 サイト選定、日欧露加の4極に加え、米中韓が参加。2003年末に加離脱。
- 2005年 ITERサイトがサンポール・レ・デュランスに決定、印が参加。
- 2006年 ITER協定の署名
- 2007年 ITER機構発足、7極参加（日欧米韓中露印）

核融合研究：40年スパン



QST ITER : 大型国際協力プロジェクト



- 参加極 : 7 極
日欧米露韓中印
- 世界人口の半数以上(35億人)が関与
- 世界のGDPの約3/4

- ITER計画の実施 :**
- ITER機構(IO): 2007年10月発足、実施主体 (nuclear operator)
 - 7 極の国内機関(DA): 物納調達(in kind procurement)で協力

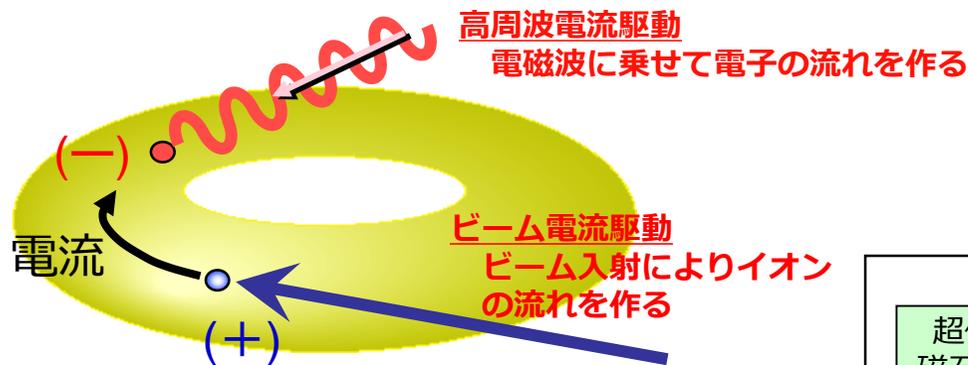
3 5 年の長期にわたる国際プロジェクト
日本はものづくりの知恵と経験で貢献。

炉心プラズマの核融合性能

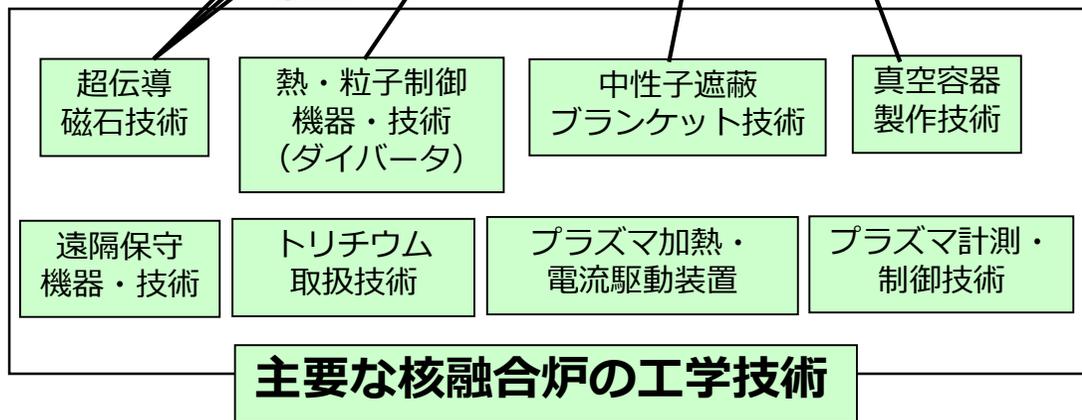
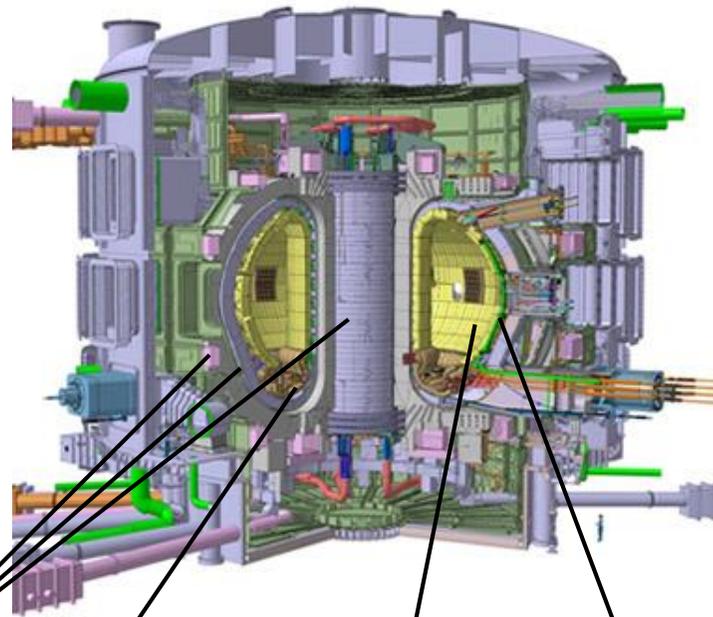
- 誘導運転において、エネルギー増倍率 $Q \geq 10$ 、300~500秒間の核融合燃焼を達成。

$$Q = \frac{\text{核融合出力}}{\text{外部入射パワー}}$$
- 誘導によらない $Q \geq 5$ の定常運転実証を目指す。

誘導によらない電流発生の場合

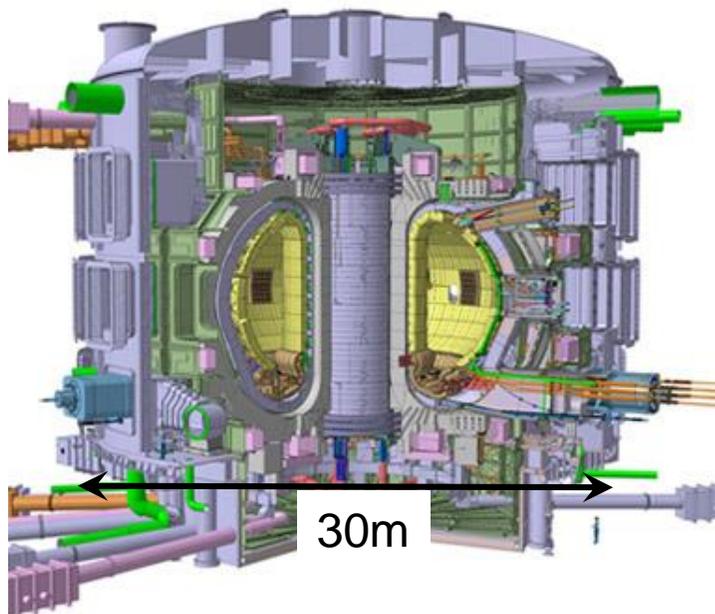


ITER本体概要図

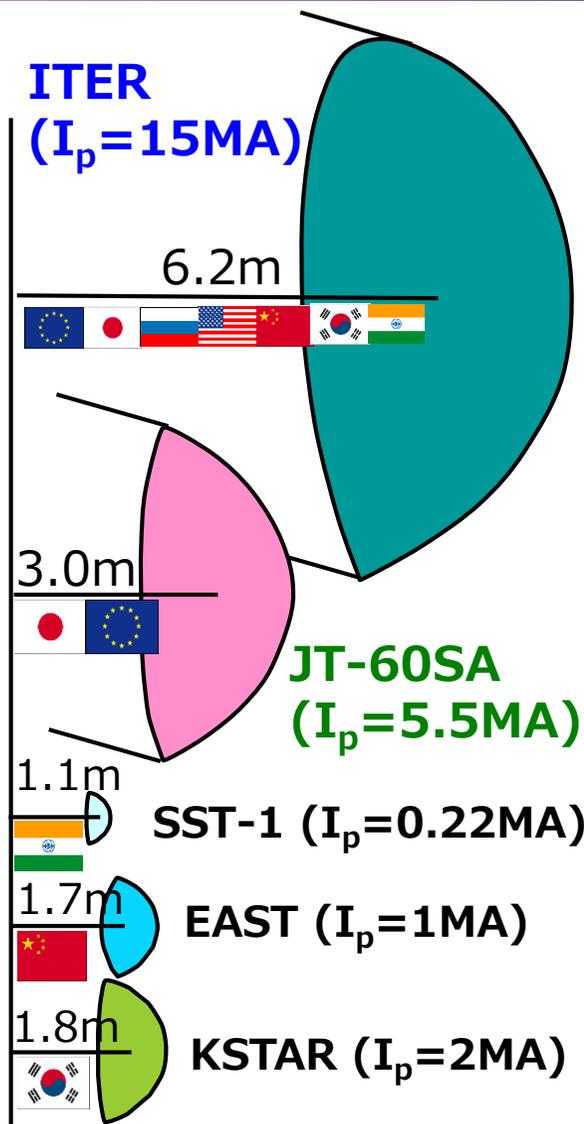


核融合工学技術

- 核融合炉の主要な工学技術を統合し、その有効性を実証。
- 将来の核融合プラントのための工学機器（熱・粒子制御機器等）の試験。

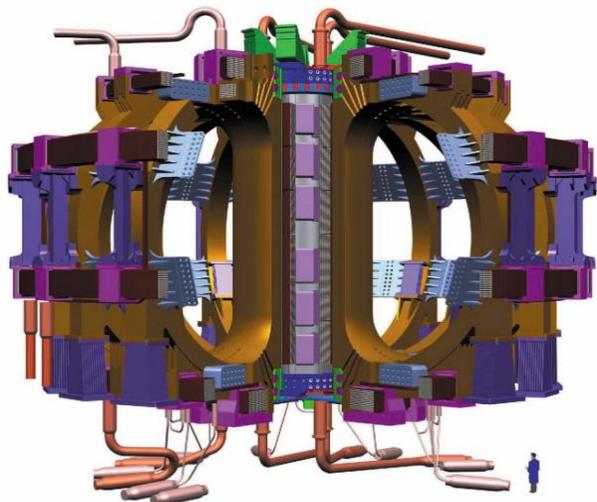


- ・全核融合出力 500 MW
- ・Q (エネルギー増倍率) ≥ 10
- ・プラズマ誘導燃焼時間 ≥ 400 秒
- ・プラズマ主半径 (R) 6.2 m
- ・プラズマ副半径 (a) 2.0 m
- ・プラズマ電流 (I_p) 15 MA
- ・トロイダル磁場 5.3 T (6.2 m半径点)
- ・外部加熱・電流駆動パワー 73 MW



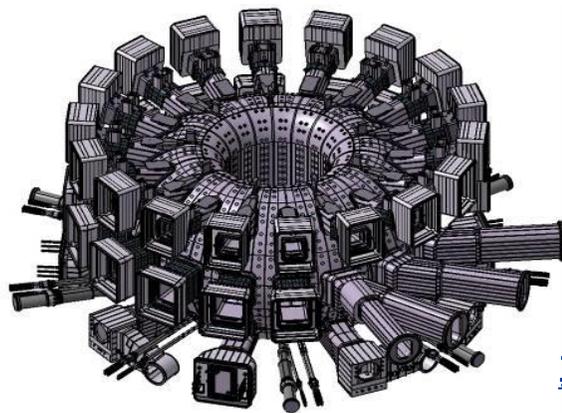
世界の非円形超伝導トカマク

ITER



超伝導コイルシステム

重量: 10,000トン
高さ: 17 m 外径: 25 m



真空容器と容器内機器

重量: 8,000トン
高さ: 11.3 m 外径: 19.4 m



東京タワー

重量: 4,200トン
高さ: 333 m
(1958年竣工)

2016年11月の第20回ITER理事会において、下記の建設スケジュールで作業を実施することに合意。ファーストプラズマに必要な機器の製作を優先。

H19 H20 H21 H22 H23 H24 H25 H26 H27 H28 H29 H30 H31 H32 H33 H34 H35 H36 H37 H38
07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26

サイト造成

ピット掘削

建屋建設

組立開始

初プラズマ

調整・運転

トカマク組立

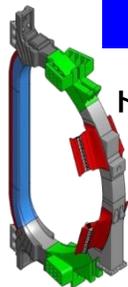
トロイダル磁場(TF)コイル用導体製作

TFコイル実規模試作

TF導体製作



トロイダル磁場コイル



TFコイル実機製作

中心ソレノイド(CS)コイル用導体製作



TFラジアルプレート試作

TF構造物試作

遠隔保守機器製作



遠隔保守機器

高周波加熱装置製作



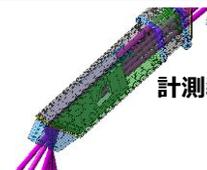
高周波加熱装置

中性粒子入射加熱装置製作

中性粒子入射加熱装置

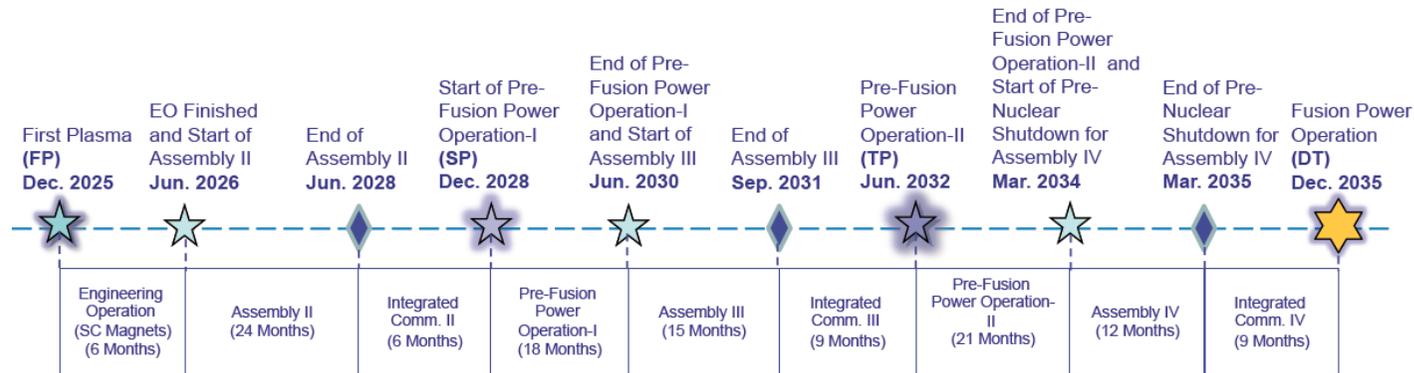


計測装置製作



計測装置

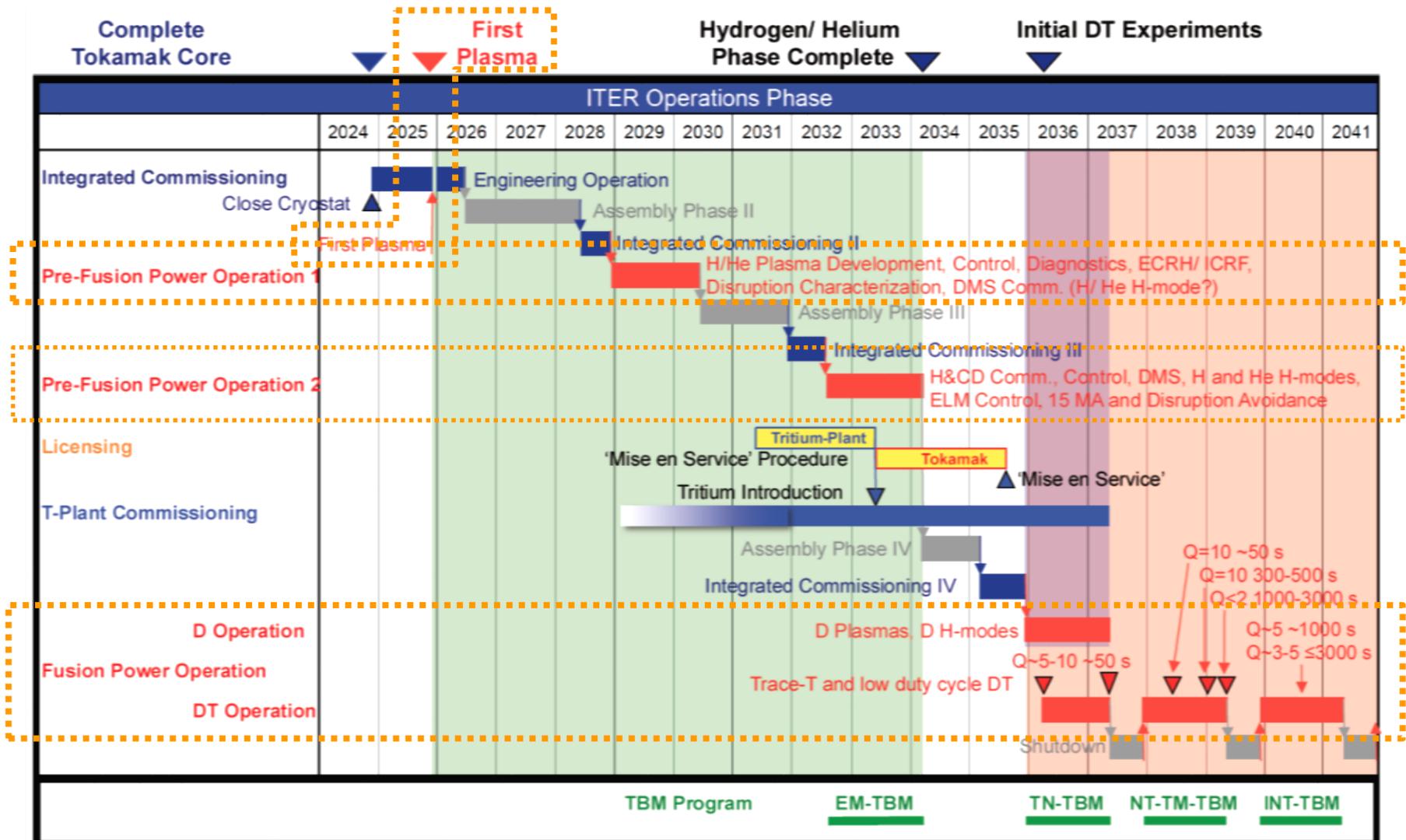
- 2016年6月、IOは機器構成WSを開催し、機器調達の進展に従ってITERの運転を段階的に進める「段階的アプローチ」を提案。



- 参加極のトカマク運転とプラズマ物理の専門家を集め、計3回のワークショップ（2016年7月、2017年2月及び3月）を開催。段階的運転（FP、PFPO-I、PFPO-II、FPO）に則したリサーチプランを作成。
- Q=10目標達成とQ=5定常運転目標達成までを視野に入れて検討。
- 同様に、Hモード研究を早期に開始するためにPFPO-1での10MWのICRF追加を前提とした。

段階的アプローチ

プラズマ運転領域を機器の据付に応じて段階的に拡大。



- 段階的アプローチに沿って研究計画を作成。
- FP (1か月) : H/Heで100 kA、100ms。続く工学運転期にマグネットの定格励磁、1MA級の円形リミタプラズマを生成。
- PFPO-1 (18か月) : H/Heで7.5MA/2.65Tまでのダイバータプラズマを生成、プラズマ制御、ECRH及びICRF調整運転、ディスラプション管理。1.8T、30MW EC+ICによるHモード運転を検討中。
- PFPO-2 (21か月) : HNB、DNB、ICRF調整運転、高パワー加熱、H運転でHモード。ELM制御、ダイバータ熱負荷制御。高パワーLモード運転実証、PWI研究。1.8T Hモード運転、TBMの影響評価。
- FPO (16ヶ月×3) : Dで高パワーHモード運転。トレーサ量のTから始め、Tプラントのスループット増加とともにフルDT運転へ。①数100MW、数10秒、 $Q=5-10$ の核融合出力。② $Q \geq 10$ 、300-500s核燃焼、及びハイブリッドまたは非誘導電流駆動による $Q \approx 5$ 、1000-3000s。



岡山克巳
(前) 計画管理副本部長
⇒建設管理本部長



多田栄介副機構長



ベルナル・ビゴ機構長

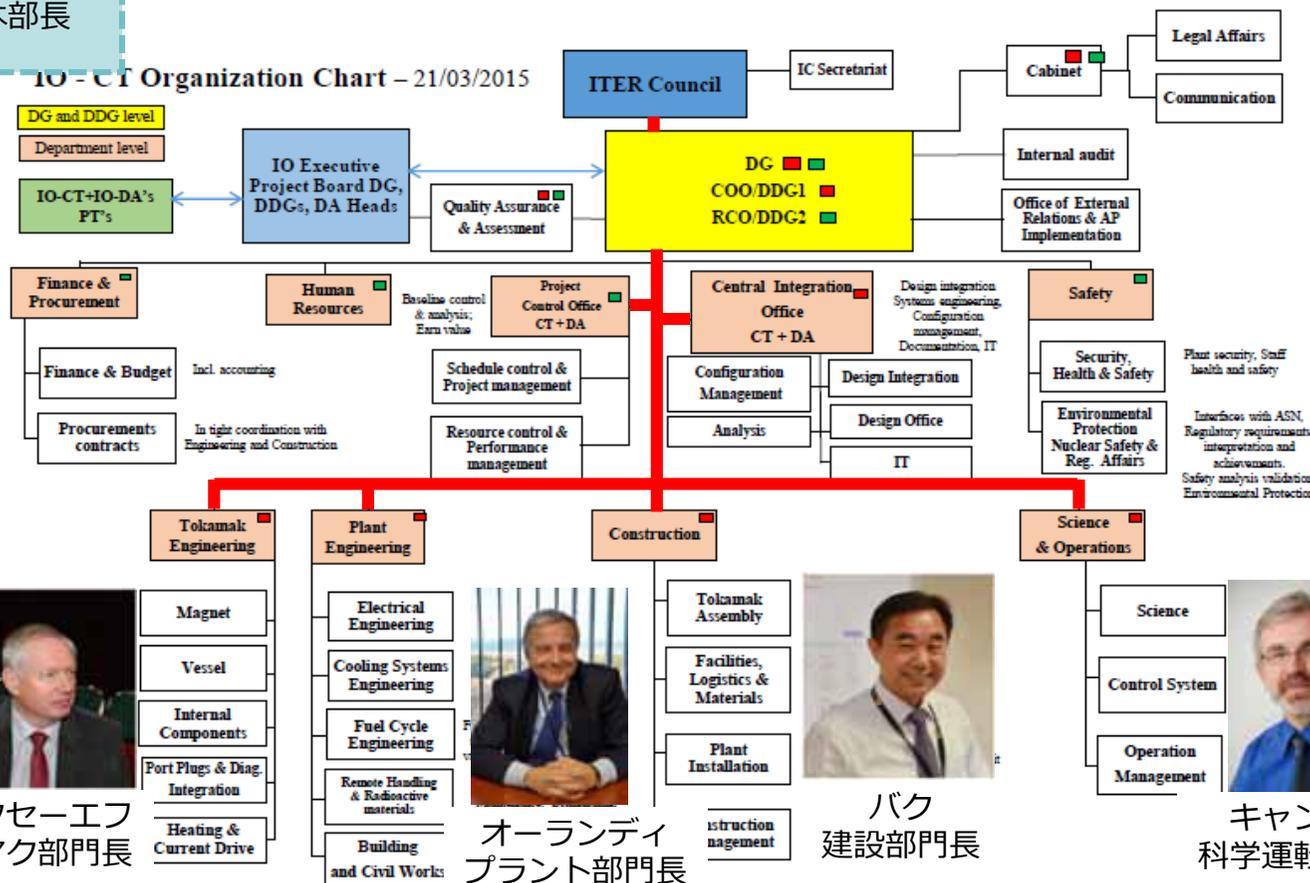


イ・ギュンス副機構長
中央統合本部長



ヤネシッツ
中央統合本部次長

IO-CT Organization Chart - 21/03/2015



管理部門

科学技術部門



アレクセーエフ
トカマク部門長



オーランドイ
プラント部門長



バク
建設部門長



キャンベル
科学運転部門長

R:3.6m
H:2.8m
Bmax=13 T
 $\dot{B} = 0.6T/sec$



熱負荷：20 MW/m²

- 超伝導コイル、遠隔保守機器等、主要機器の製作技術の開発は完了
- 主要機器の単体性能の実証も完了→ ITERの建設に着手可能

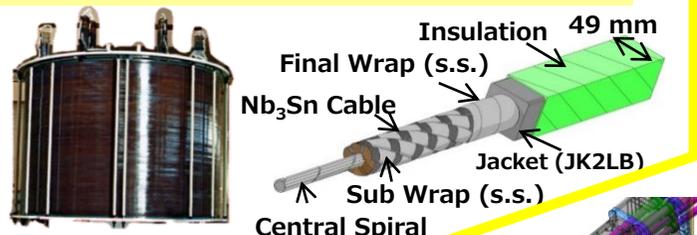
トロイダル磁場(TF)コイル

TFコイル導体: 25%
TFコイル巻線、一体化: 47%
TFコイル構造物: 100%



中心ソレノイド(CS)コイル

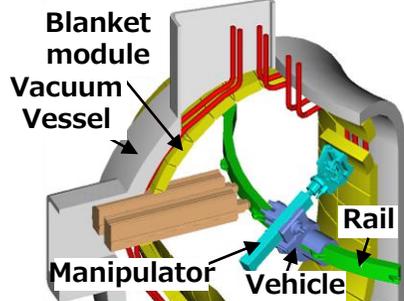
CSコイル導体: 100%



計測装置 (設計中)
マイクロフィッションチャンバー
ポロイダル偏光計
周辺トムソン散乱計測器
ダイバータ不純物モニタ
赤外サーモグラフィー
上部ポート統合
下部ポート統合

ブランケット遠隔保守 (設計中)

マニピュレータ付ビークル



電子サイクロトロン加熱
ジャイロトロン
水平ポートランチャー



中性粒子入射加熱

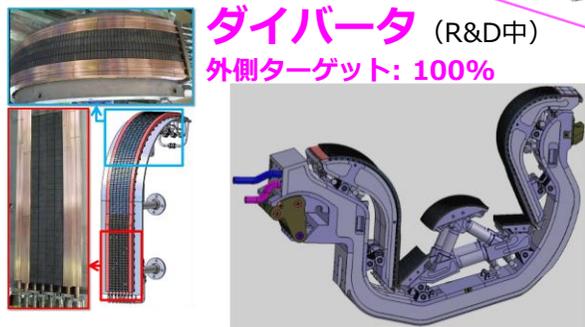
HVブッシング: 100%
1 MV電源高電位部: 100%
1 MeV加速器: 33%



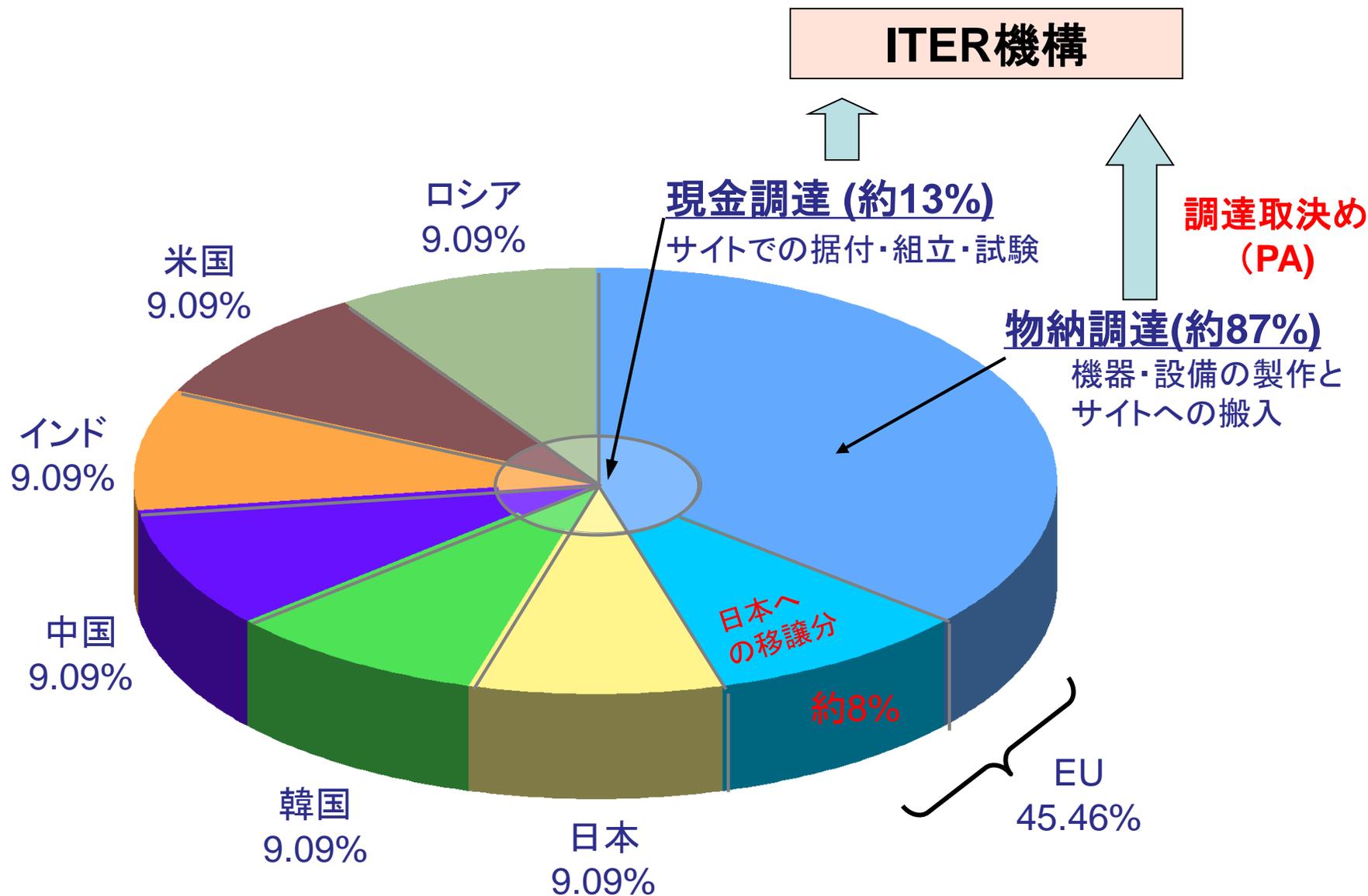
トリチウム除去設備 (ADS、設計中)



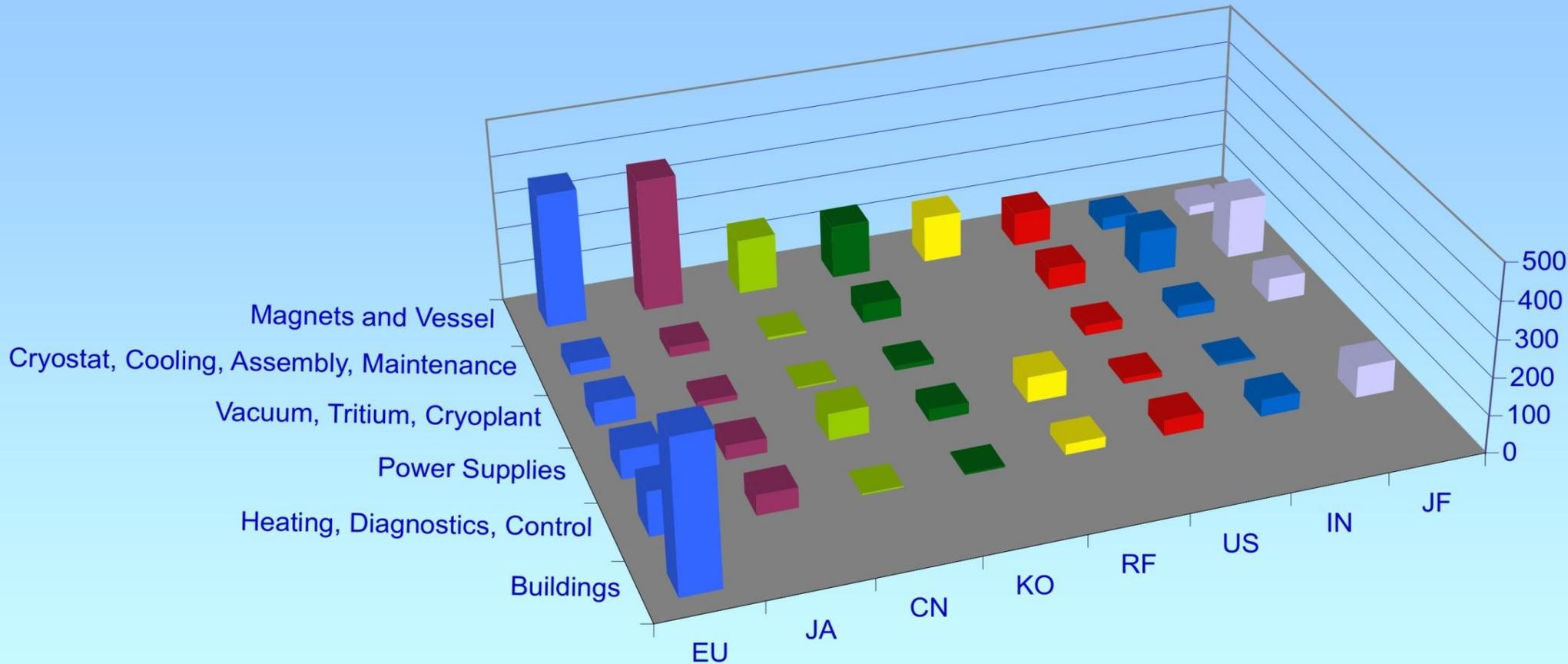
ダイバータ (R&D中) 外側ターゲット: 100%



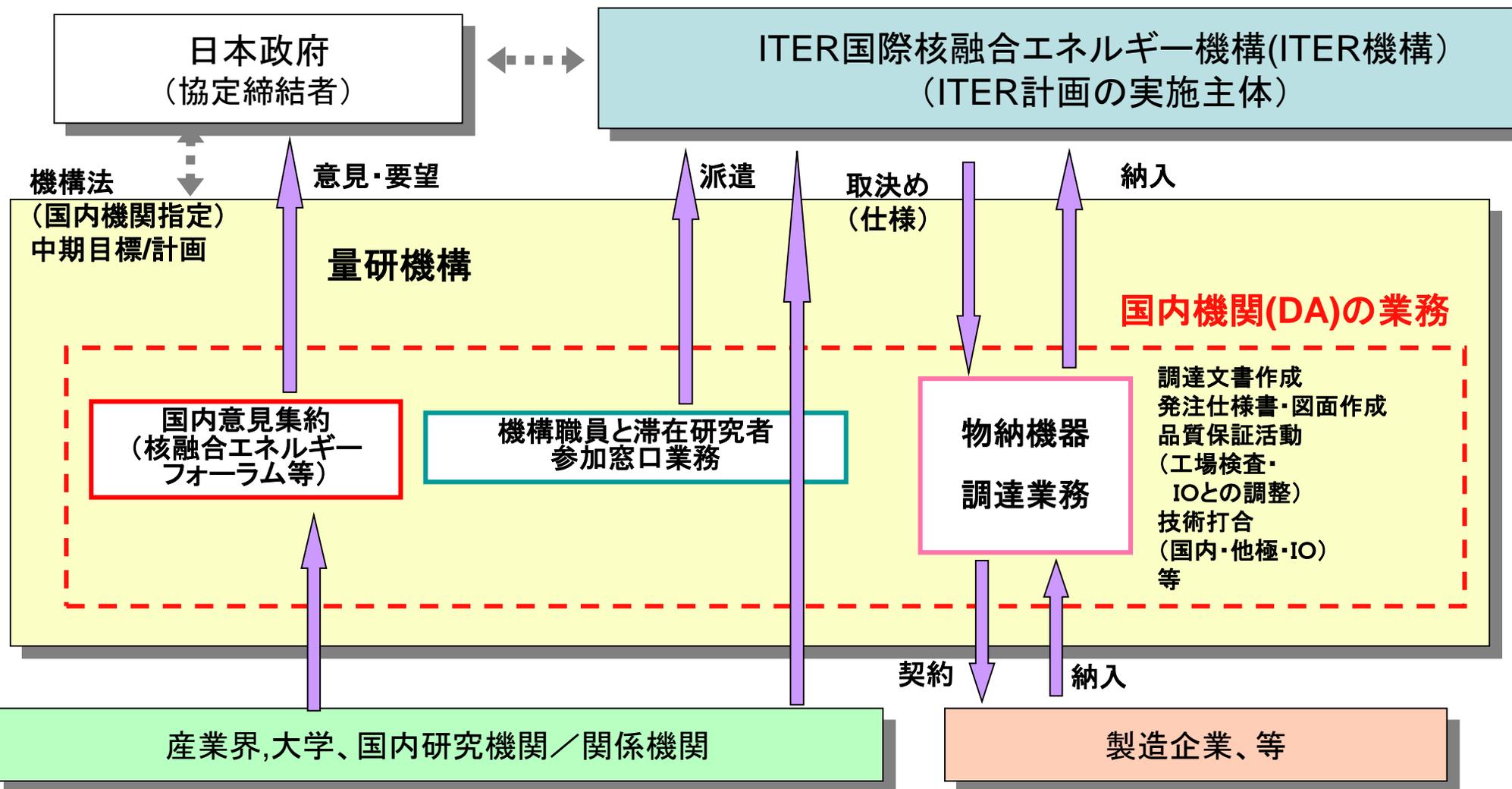
ITERにおける調達分担



- ・各極の技術基盤や核融合開発計画に基づいて分担を決定
- ・各極の貢献度に従った公平な分担: 建物や居室等はホスト国欧州が分担
- ・各極及びシステム間の取合調整やインテグレーション、全体組立はITER機構が所掌



- ITERへの貢献は国内機関(Domestic Agency)を窓口として実施
- 量研機構は、国から、我が国のITER国内機関として指定(2007年10月24日)



我が国が責任を有する機器・システムの調達を進める

文部科学省



2007年10月24日発足

理事長

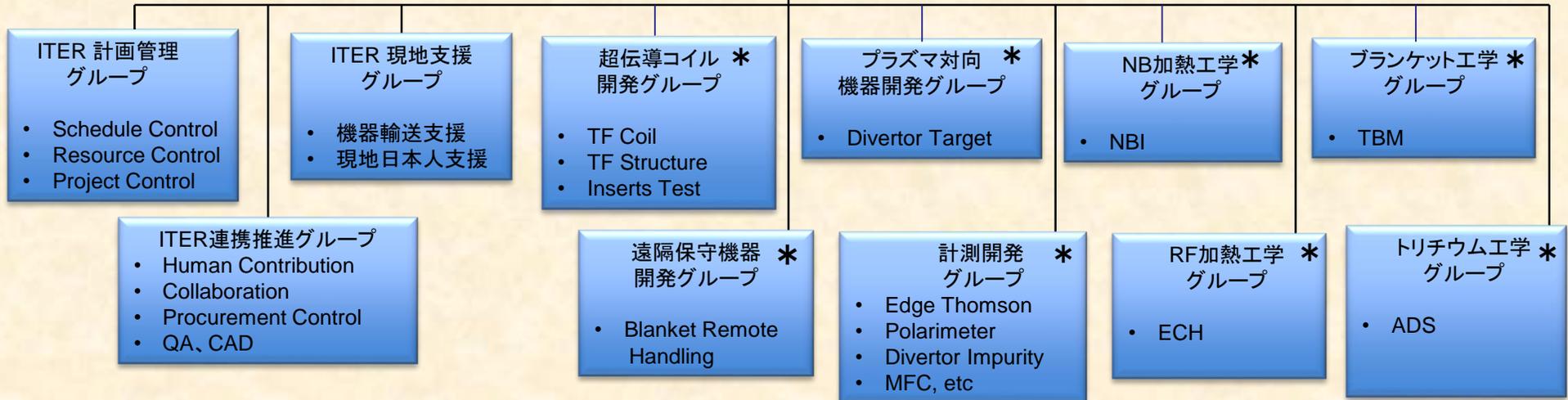
量子科学技術研究開発機構

核融合研究開発部門長

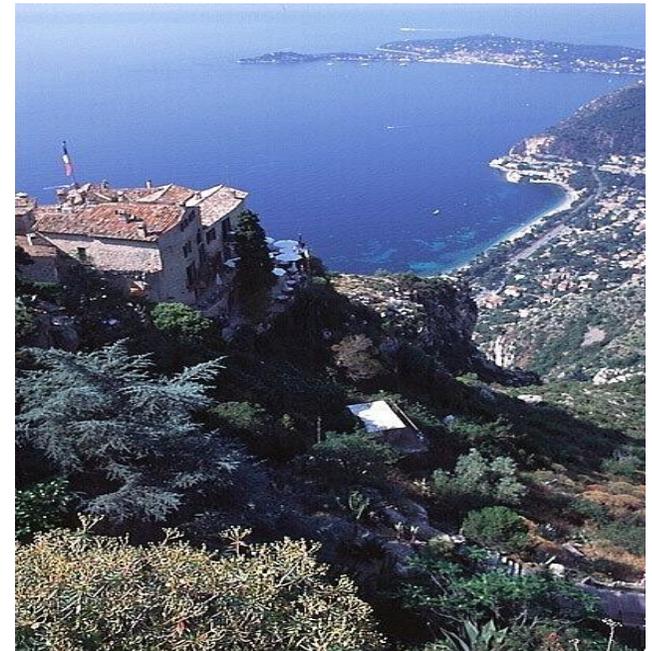
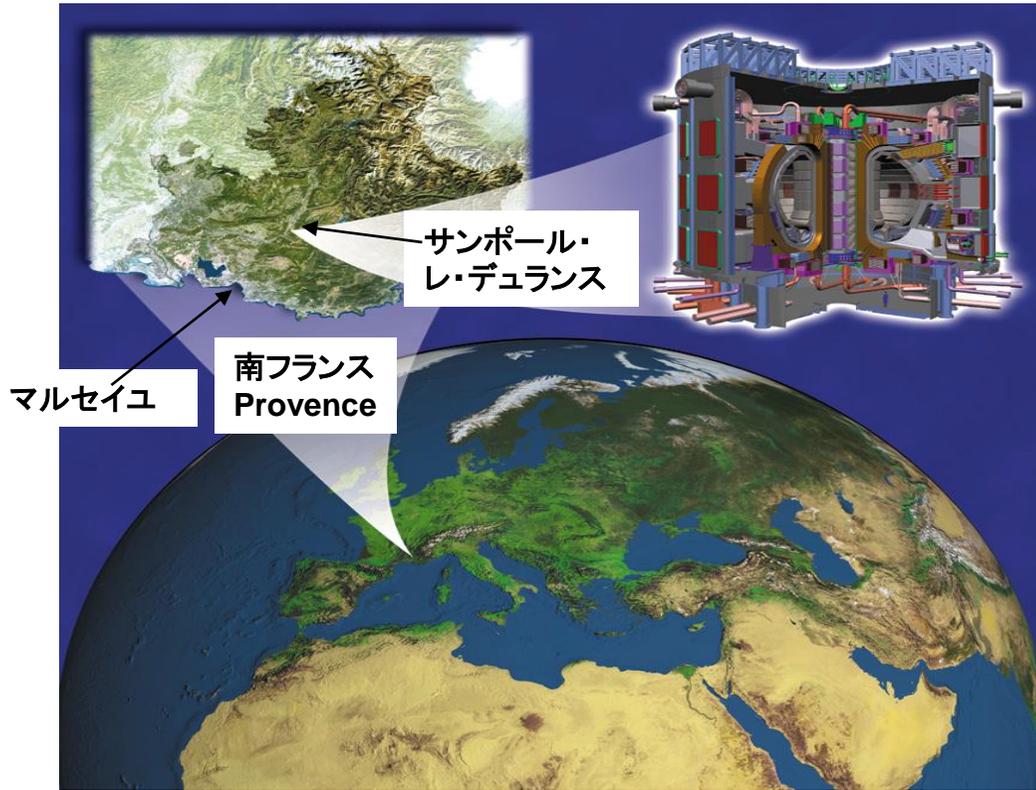
事務関連部門
(人事、財務、国際、契約、
産学連携促進、他)

他のプロジェクト

ITER国内機関(JADA)オフィス
JADA HEAD
補佐: 4名



*: 試験機器を有し、設計最終化の為に R&Dの実施、品質管理試験が可能。



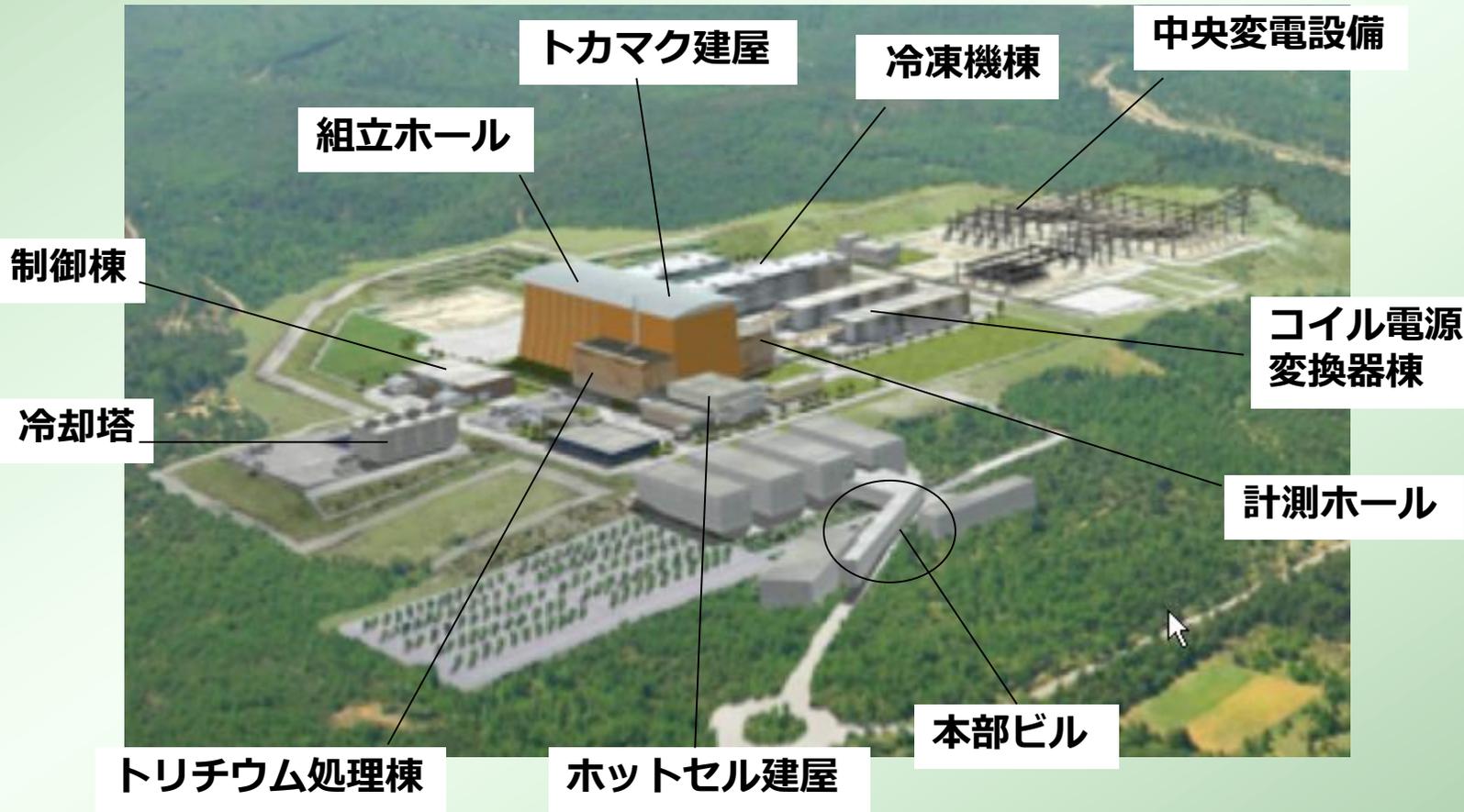
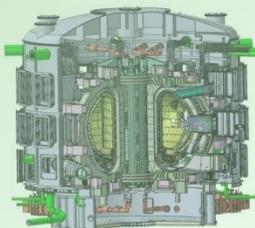
QST ITERサイト: サンポール レ デュランス

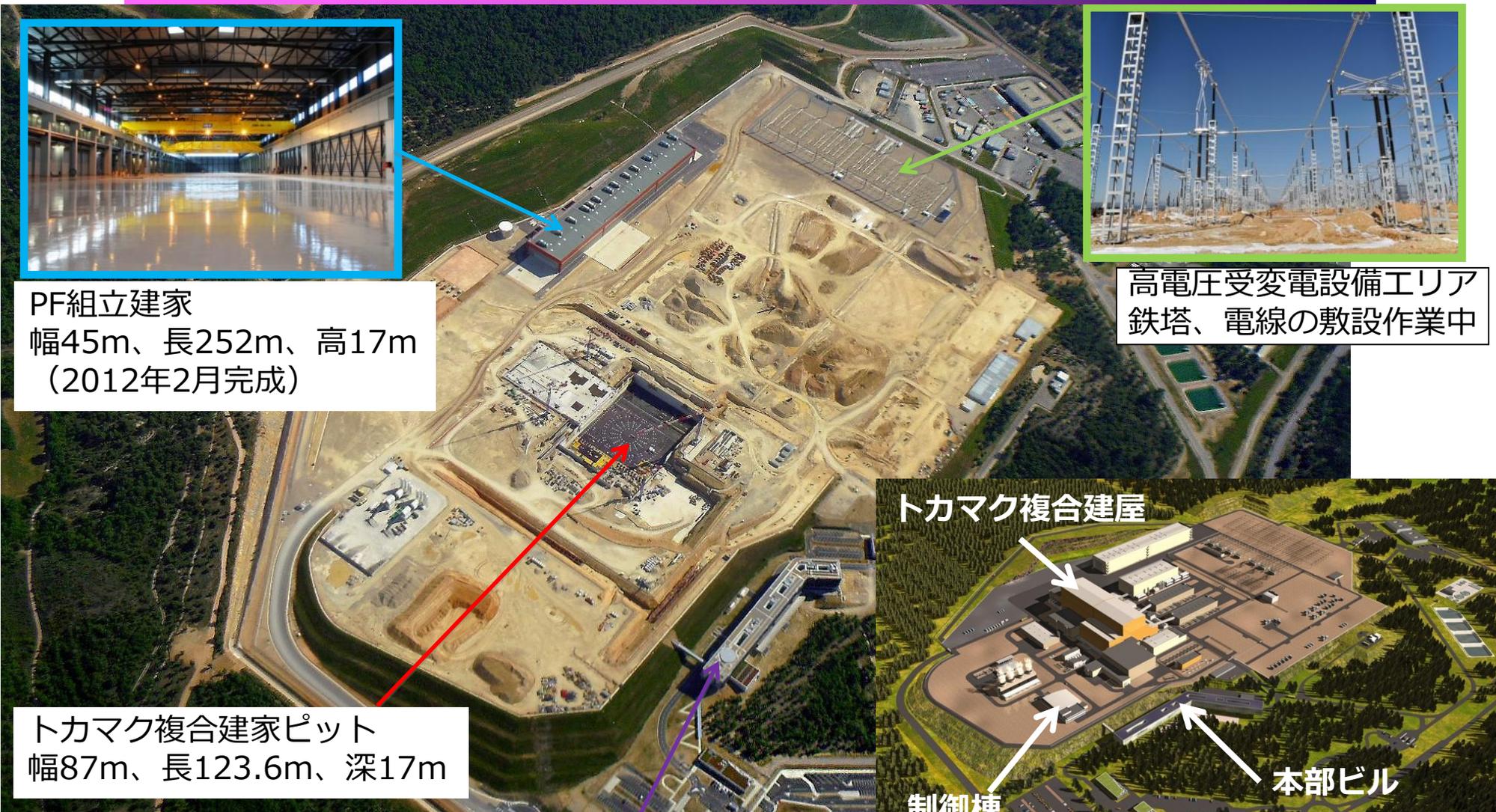




ITER
完成予想図

CEAカダラッシュ研究所





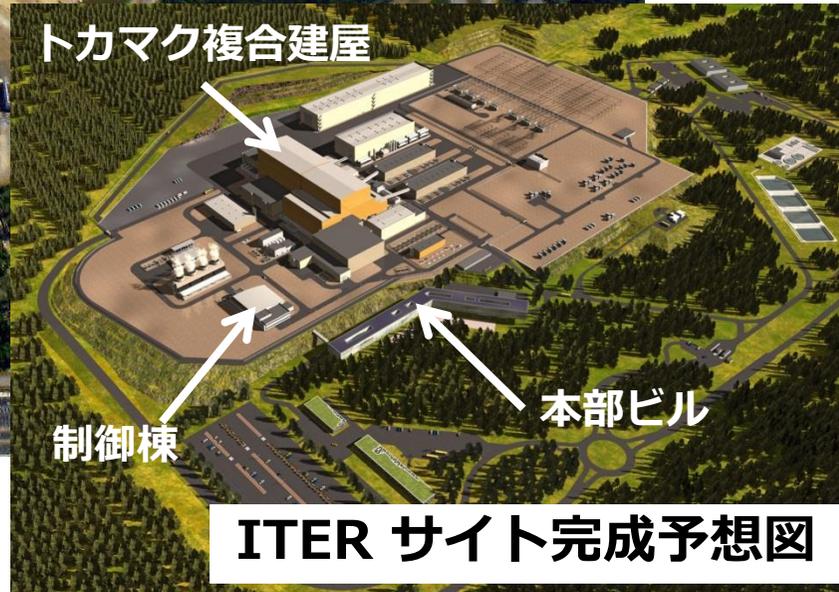
PF組立建家
幅45m、長252m、高17m
(2012年2月完成)



高電圧受変電設備エリア
鉄塔、電線の敷設作業中

トカマク複合建家ピット
幅87m、長123.6m、深17m

本部ビル (2012年10月完成、
2013年1月17日竣工式典)



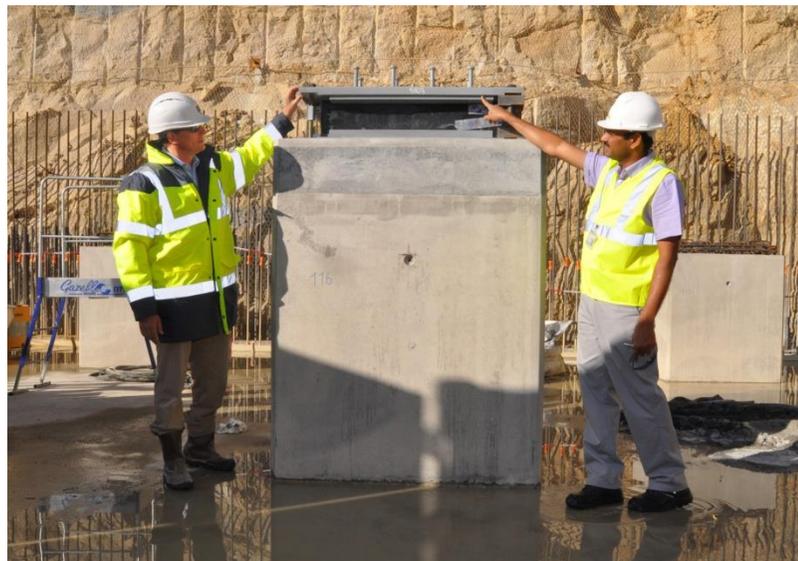
トカマク複合建屋

制御棟

本部ビル

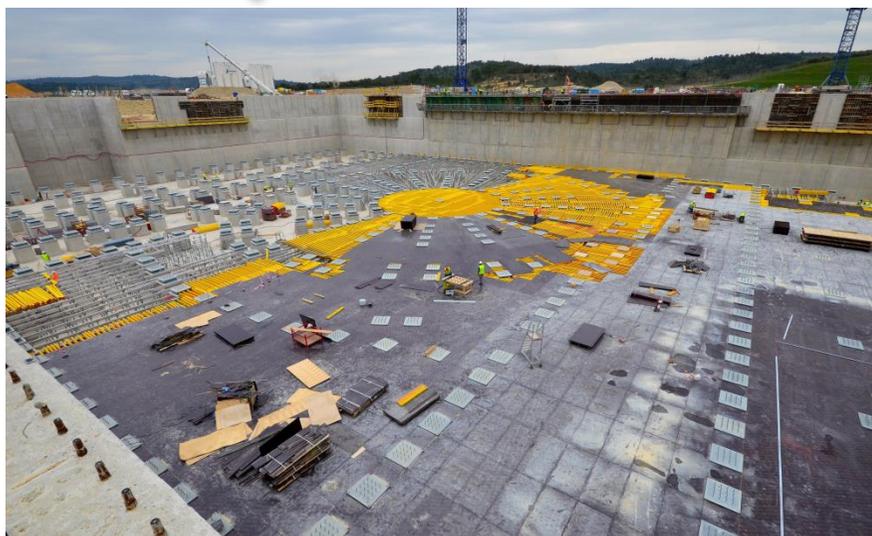
ITER サイト完成予想図

2012年4月：トカマク複合建家の支持構造が完成。493個の免震パットを設置。



↓ 2013年4月

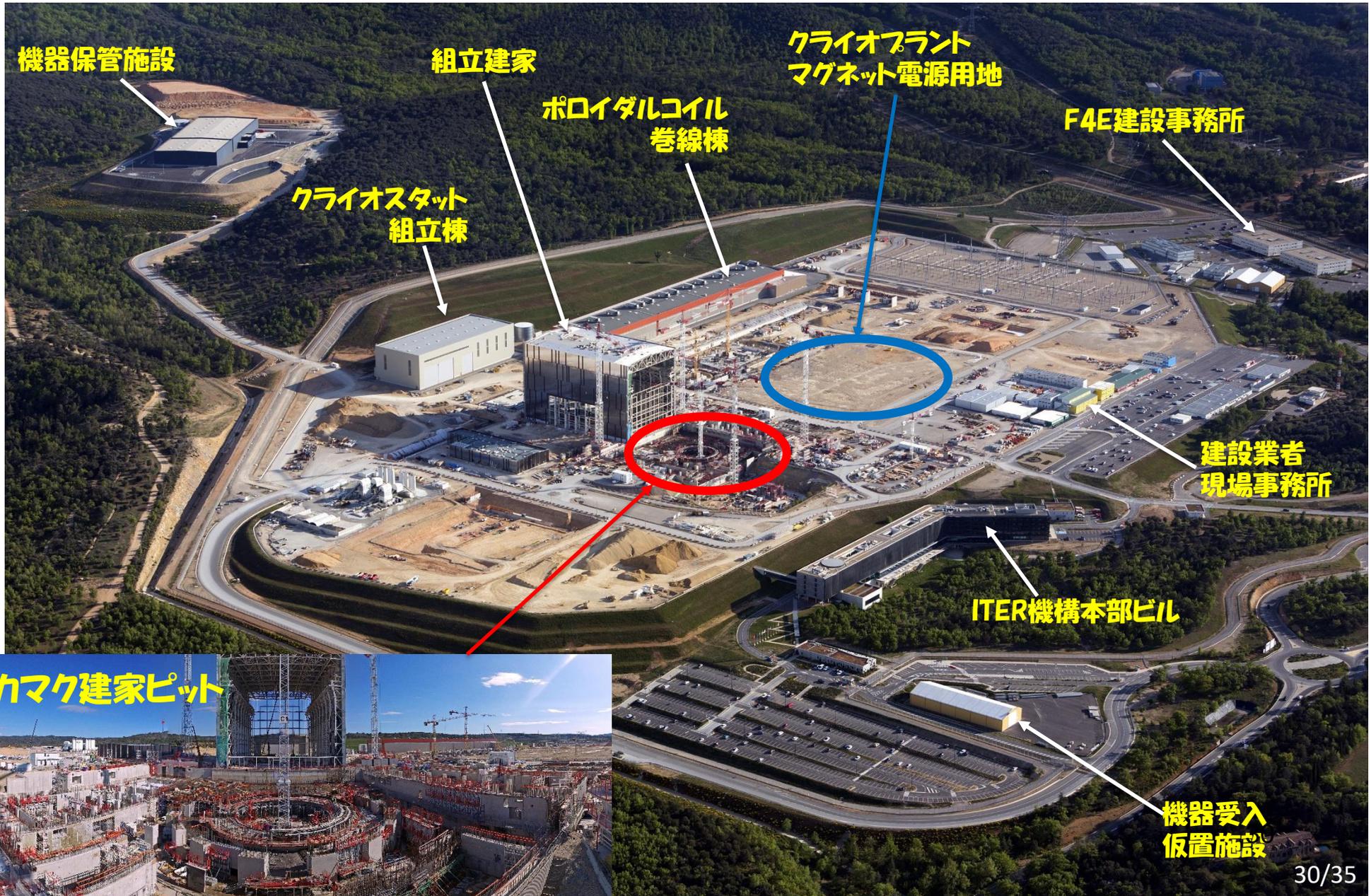
2013年6月



2014年4月

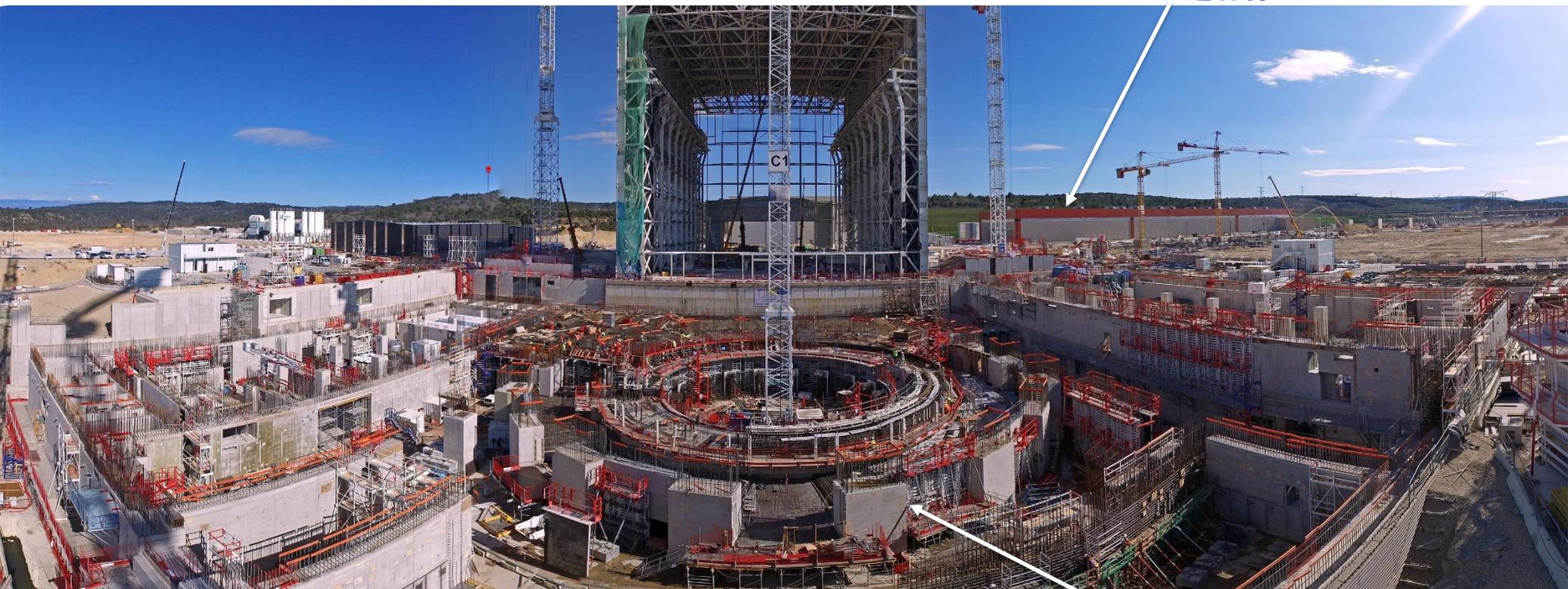


QST ITERサイト建設状況 (2016年4月)



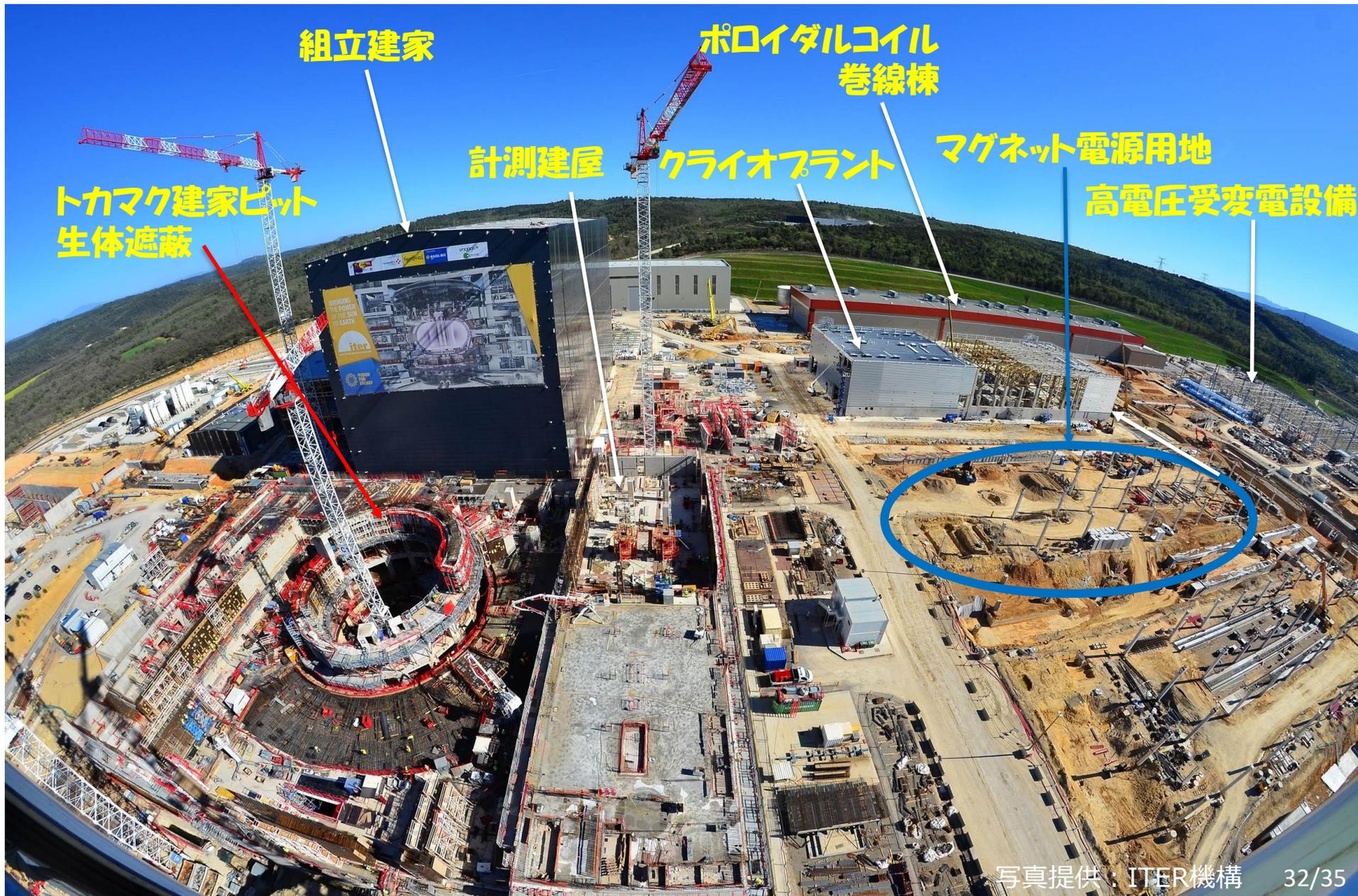
組立建家

ポリダルコイル
巻線棟



トカマク建家ピット

生体遮蔽



地上階(L1レベル)のトカマク建屋生体遮蔽のコンクリート打設中



2017年4月

写真提供：ITER機構

組立建屋の外装工事完成。内装・設備工事が本格化
RF建屋の鉄骨工事が完了



写真提供：ITER機構

- ITERは、国際協力（7極：日欧米露韓中印）による35年間の共同事業

ITER計画の署名：2006年11月、ITER機構の発足：2007年10月

- 核融合エネルギーが科学技術的に成立することを実証し、安定で環境にやさしいエネルギー源であることを示す
- ITERでは、核融合原型炉（発電実証）に必要な技術を開発・実証：超伝導、高熱負荷機器、プラント、遠隔保守等
- 同時に、原型炉に必要な増殖ブランケット（熱の取り出しと燃料であるトリチウムの増殖）の性能試験をTBMで実施
- ITERには、これまでにない高度で大型の機器が要求される。これまでのITER工学R&Dによる成果に基づく設計・製作を実施
- ITER機構及び7つの国内機関が協力して調達を分担・実施
- 本部ビルが完成し、トカマク複合建家等の建設が進むなど、ITERサイトの建設が順調に進展