

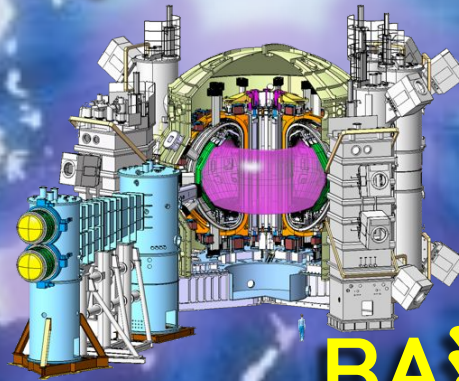
第 1 回核融合科学技術委員会
平成27年3月26日 (木)



日本原子力研究開発機構 ITER計画、BA活動などの活動状況と 今後の計画について



ITER計画



BA活動

幅広いアプローチ活動



核融合研究開発部門

核融合原型炉に向けた原子力機構の3本柱





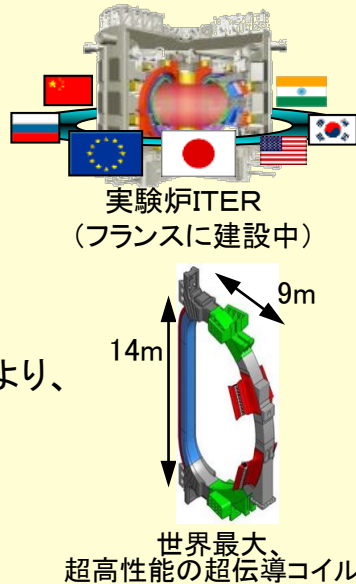
ITER(国際熱核融合実験炉)計画等の概要

○エネルギー問題と環境問題を根本的に解決するものと期待される核融合エネルギーの実現に向け、国際約束に基づき、核融合実験炉の建設・運転を通じて科学的・技術的実現可能性を実証するITER計画及び発電実証に向けた先進的研究開発を国内で行う幅広いアプローチ(BA)活動を計画的かつ着実に実施。

ITER計画

- 協定：2007年10月24日発効(協定発効から10年間は脱退することはできない)
- 参加極：日、欧、米、露、中、韓、印
- 建設地：フランス・カダラッシュ
- 核融合熱出力：50万kW(発電はしない)
- 各極の費用分担(建設期)：

欧州	日本	米国	ロシア	中国	韓国	インド
45.5%	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%	9.1%
- ※各極が分担する機器を調達・製造して持ちより、ITER機構が全体を組み立てる仕組み
- 計画：35年間
 - 運転開始：2020年頃(予定)
 - 核融合反応：2027年頃(予定)
- ITER機構長：ベルナール・ビゴ氏(2015年3月5日任命)



BA活動

- 協定：2007年6月1日発効
- 実施極：日、欧
- 実施地：青森県六ヶ所村
茨城県那珂市
- 総経費：920億円で半額は欧州が支出
- 計画：10年間(以降自動延長)
- 実施プロジェクト
 - ①国際核融合エネルギー研究センター
 - ・原型炉設計・研究開発調整センター
 - ・ITER遠隔実験センター
 - ・核融合計算機シミュレーションセンター
 - ②国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動
 - ③サテライト・トカマク計画
(予備実験等の実施によるITER支援)

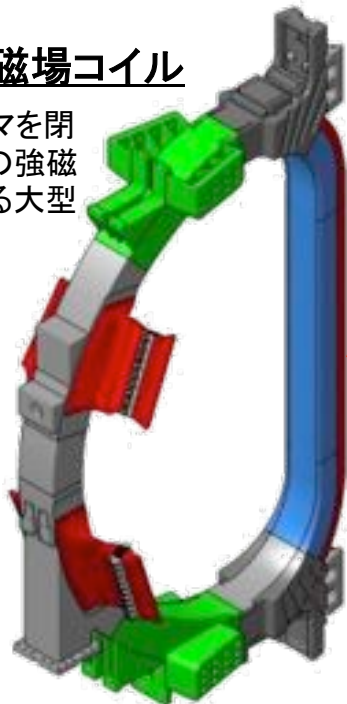




ITER計画において我が国が分担する機器

トロイダル磁場コイル

超高温プラズマを閉じ込めるための強磁場を発生させる大型超伝導コイル

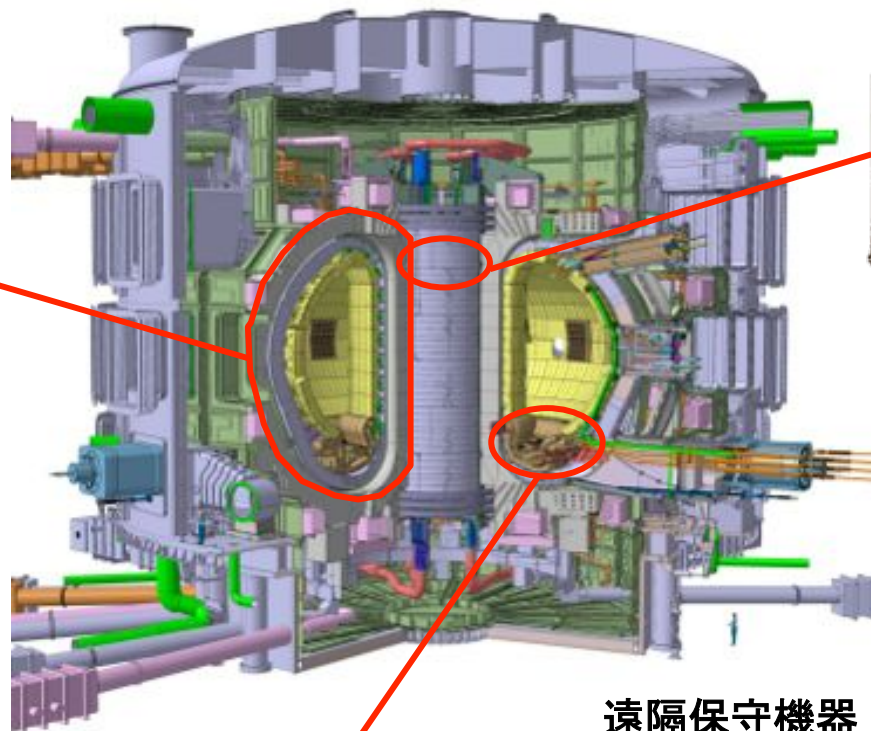


高周波加熱装置

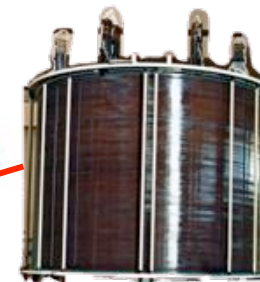


プラズマを超高温に加熱するための装置(高周波と粒子ビームの2種類)

中性粒子入射加熱装置

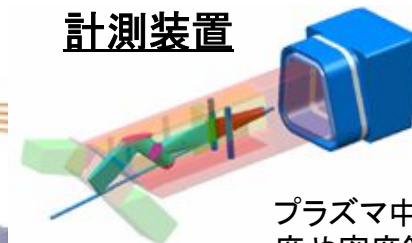


中心ソレノイドコイル導体



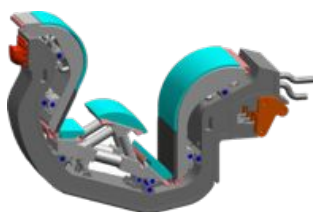
プラズマ中に電流を流すため超伝導コイル(装置中心に置くソレノイドコイル)のための超伝導導体

計測装置



プラズマ中の温度や密度等を計測する装置

ダイバータ



プラズマからの熱や粒子を受け止め、外部へ掃出すための機器

遠隔保守機器



炉内機器を遠隔操作により脱着するためのロボット

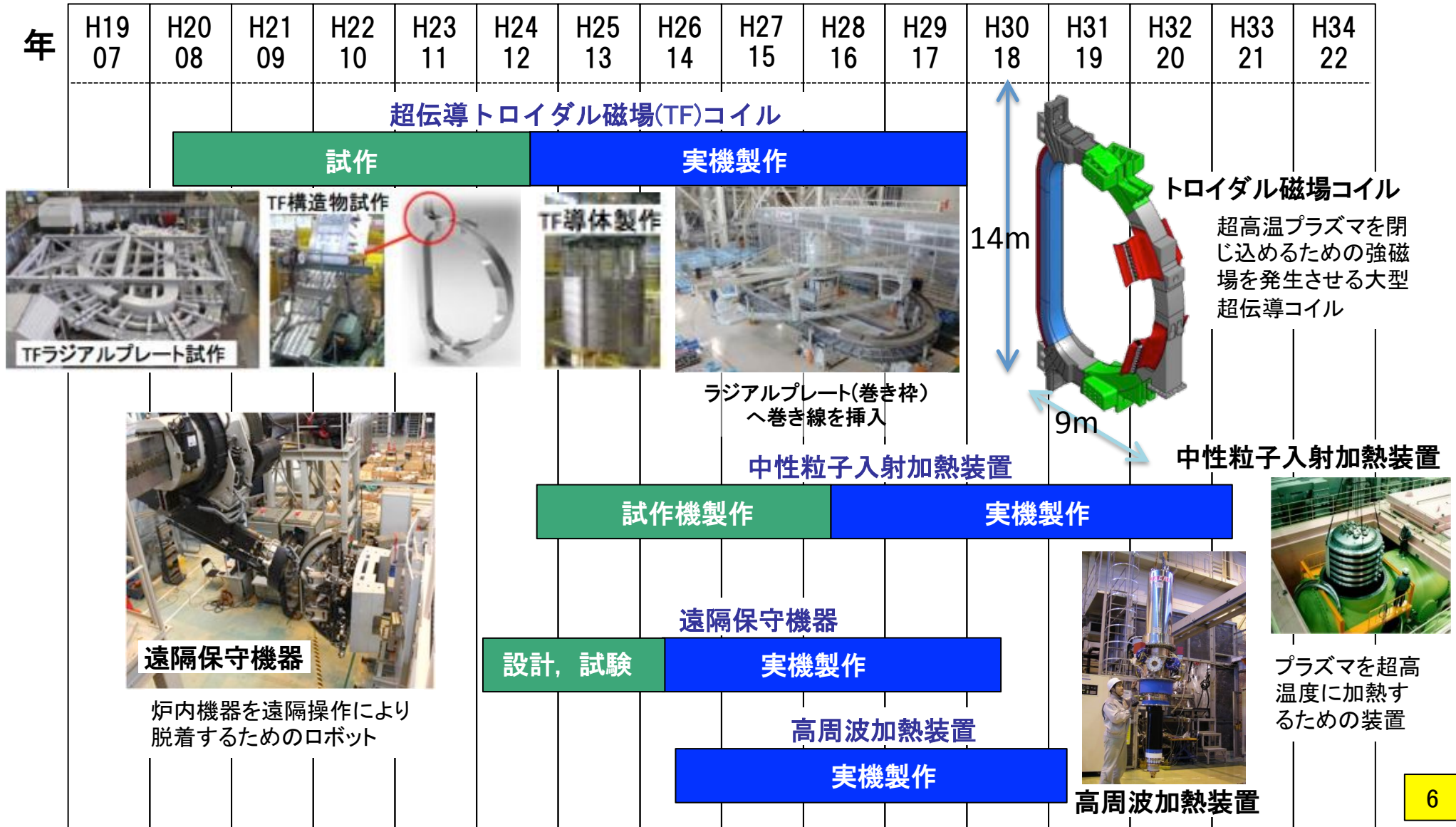
トリチウムプラント設備



燃料であるトリチウムを回収・精製する設備

ITER機器の主な調達状況(日本分担)

- ・我が国は、超伝導コイル、遠隔保守機器、プラズマ加熱装置等の**重要機器を分担**。87.8%の機器に相当する調達取決めを締結。
- ・ITER機構及び他極の国内機関と協力しつつ、国際合意されたスケジュールに従って調達活動を展開中。
- ・大型超伝導コイルの**実機製作に着手**するなど、他極を先導する貢献を果たしている。



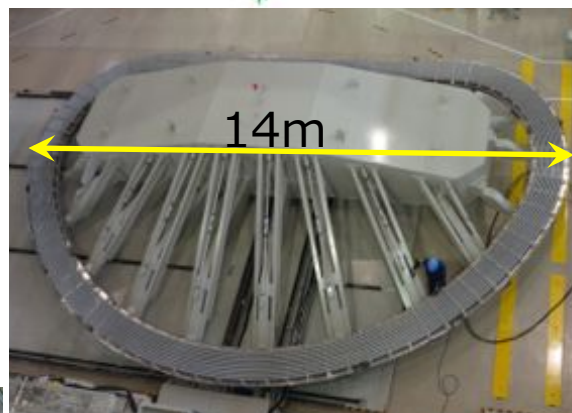
実機TFコイル製作が進展

導体(33本)
製作完了



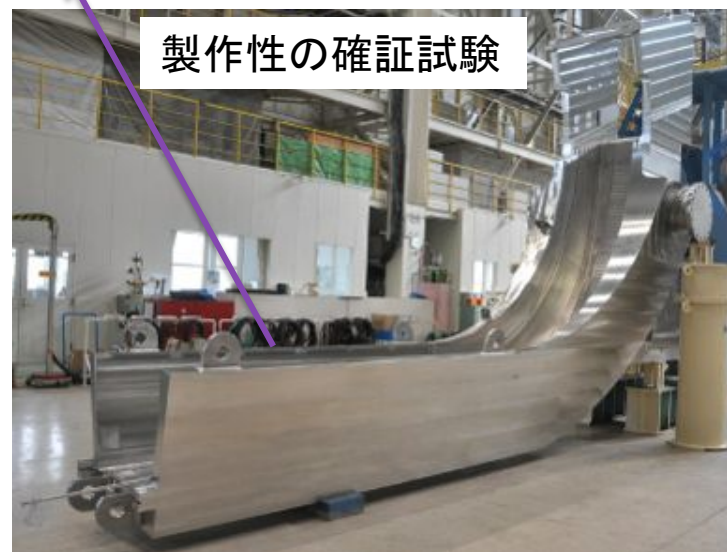
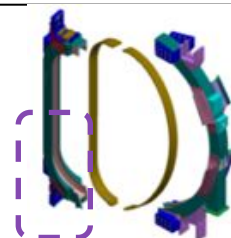
完成した導体

巻線(9体)

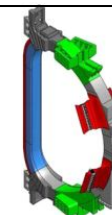


実機ダブルパンケーキ
(DP)巻線9体の製作完成

構造物(19体)



一体化(9体)



日本が分担する全導体の
製作が完了(2014年12月)

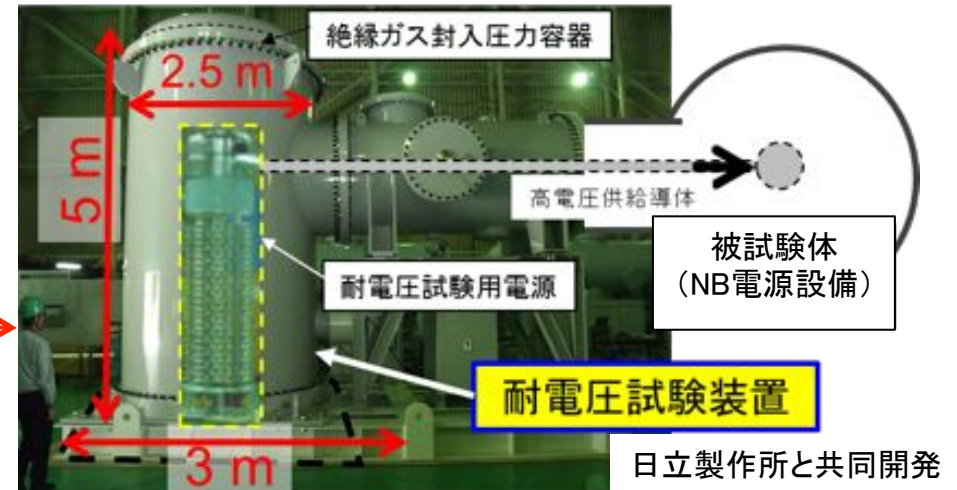
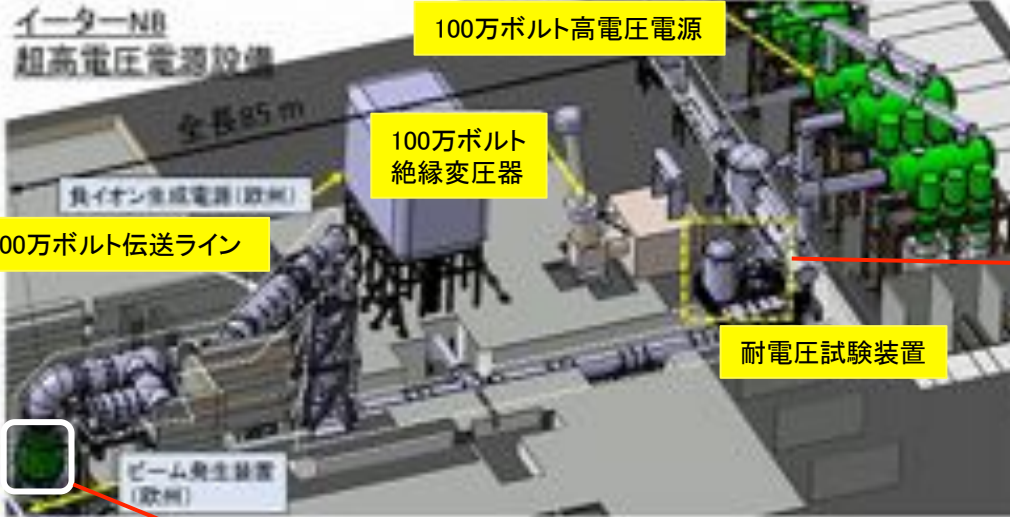


DP4体の熱処理が完了

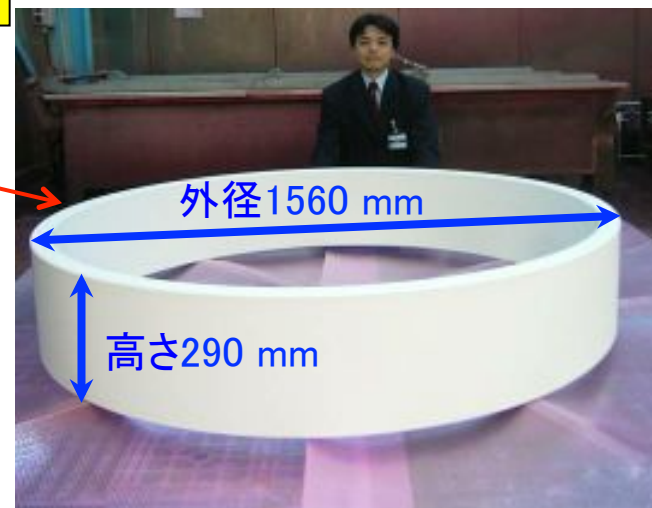
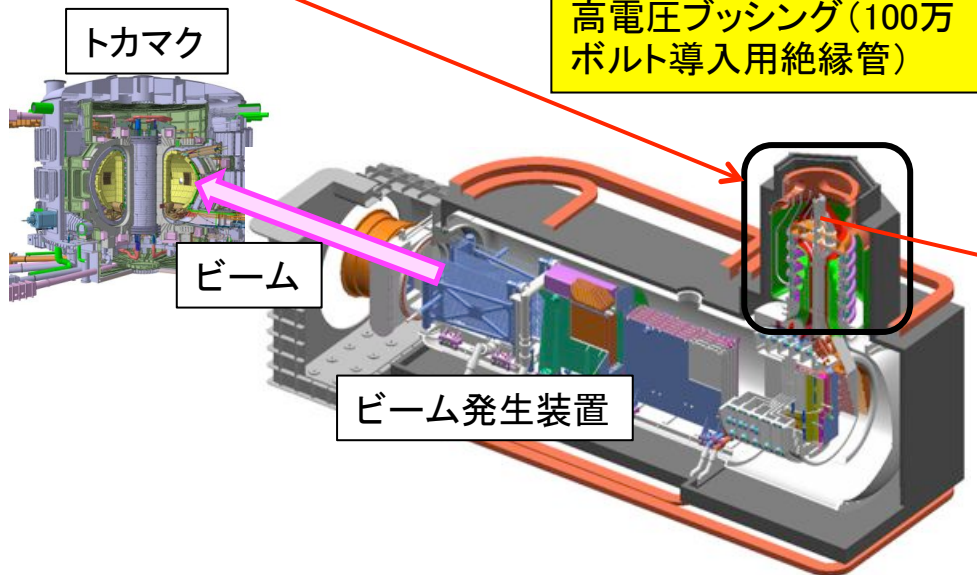
製作性の確認試験が完了。
実機のTFコイル構造物の製作を
開始。

中性粒子入射加熱装置(NB): 機器製作が進展

日本が調達する高電圧部と高電圧ブッシング



欧州規格(圧力容器規制)に適用した、従来の1/10サイズに小型化した直流130万ボルトの耐電圧試験装置を完成(2014年9月)。



高電圧ブッシング用セラミックリング

世界最大口径のセラミック管の製作技術を確立し、量産化。5個全てが完成(2014年5月)。

京セラ株式会社と共同開発

幅広いアプローチ(BA)活動の構成

- 核融合エネルギーの早期実現を支援する活動として、日欧で3つの事業を共同で実施
- 期間：2007年6月のBA協定発効時より10年間(以降自動延長)

青森県六ヶ所村

国際核融合エネルギー研究センター(IFERC)事業

原型炉設計・研究開発

発電のための技術の研究開発



ITER遠隔実験

ITER遠隔実験センターの整備

計算機シミュレーション



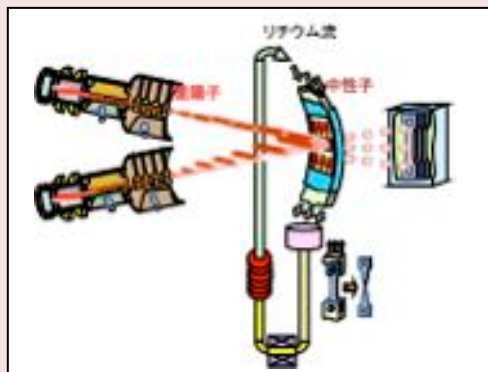
国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計 (IFMIF/EVEDA) 事業

要素技術の工学実証

核融合材料の中性子照射施設に必要な、原型加速器とリチウムターゲットの工学実証

IFMIFの工学設計

実証データに基づく工学設計



茨城県那珂市

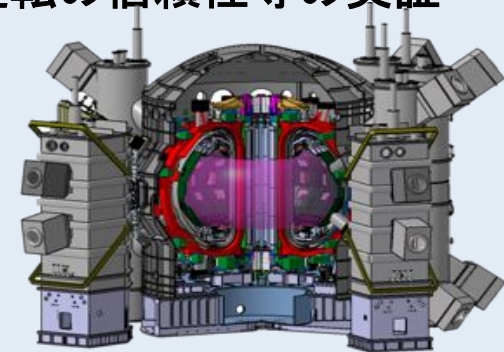
サテライト・トカマク (JT-60SA)計画事業

ITERの支援研究

ITERでの研究に先立ち、プラズマ生成法を準備

原型炉のための挑戦的研究

ITERでできない高出力密度運転の信頼性等の実証

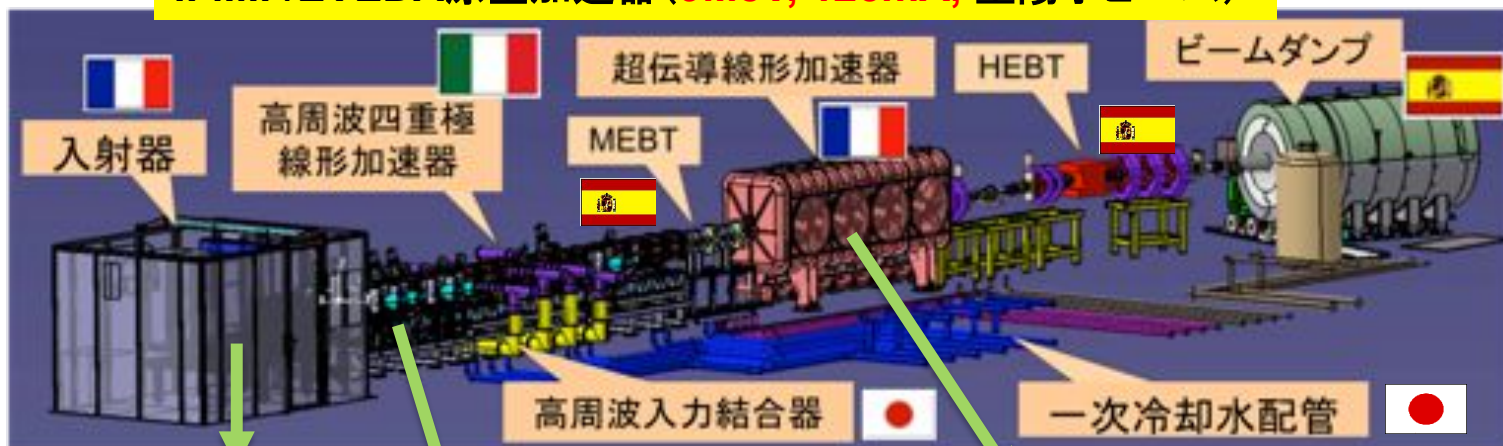




国際核融合材料照射施設(IFMIF)の 工学実証・工学設計活動(EVEDA) 事業の進捗(六ヶ所)

- IFMIF/EVEDA原型加速器の実証試験では、入射器本体・周辺機器が欧州より搬入され、据付・組立作業を実施。2014年11月4日に初めての水素ビーム生成に成功。
- リチウム試験ループの1,300時間を超えるIFMIF定格流量運転により長期安定性を実証、2014年10月試験完了。
- IFMIF(40MeV, 250mA, 重陽子ビーム)の工学設計では2013年に工学設計報告書が完成。

IFMIF/EVEDA原型加速器(9MeV, 125mA, 重陽子ビーム)



入射器



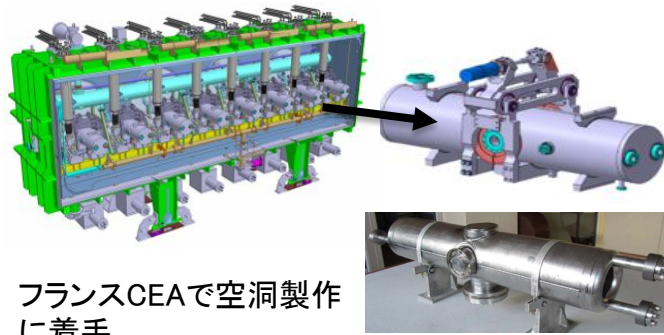
2014年11月の入射器の状況(加速器室)

高周波四重極線形加速器



イタリアINFLレニャーロ研で製作中。受け入れ試験の後、2015年6月に六ヶ所研に搬入予定。

超伝導線形加速器

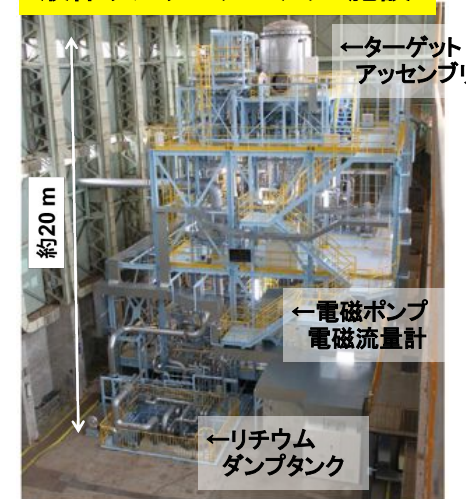


フランスCEAで空洞製作に着手。



実機大の空洞プロトタイプ

液体リチウムターゲット施設



ターゲットアッセンブリのビューポートから見た高速リチウム流(20 m/s)



国際核融合エネルギー研究センター (IFERC)事業等の進捗(六ヶ所)

計算機シミュレーション

- ・日本第3位、世界第38位のスパコン性能(2014.11現在)
- ・高いシステム利用率を維持(80-90%)
- ・日欧利用者 632名、336編の学術論文(2015.1現在)

ITER遠隔実験センター

- ・2014年から遠隔実験ソフトの開発を開始、2015年度からハードウェアの整備に着手

原型炉のための研究開発

発電用の熱を取り出し、燃料であるトリチウムを製造するための装置(ブランケット)の構成要素に関する製作・取扱技術の研究開発を実施。

- 材料開発(低放射化フェライト鋼、SiC/SiC複合材料)
- トリチウム取扱技術
- 機能材開発(トリチウム増殖、中性子増倍)

- 伊ENEA(新技術・エネルギー・持続的経済開発機構)で製作した腐食試験装置を2014年に六ヶ所に搬入。SiC/SiC複合材とリチウム鉛液体金属の共存性の本格的試験の整備を実施。
- 世界で唯一、トリチウム、ベリリウム、放射化物をともに加工・分析できる施設として、欧州のトカマク実験装置JETの真空容器内タイル及びダスト分析を開始。

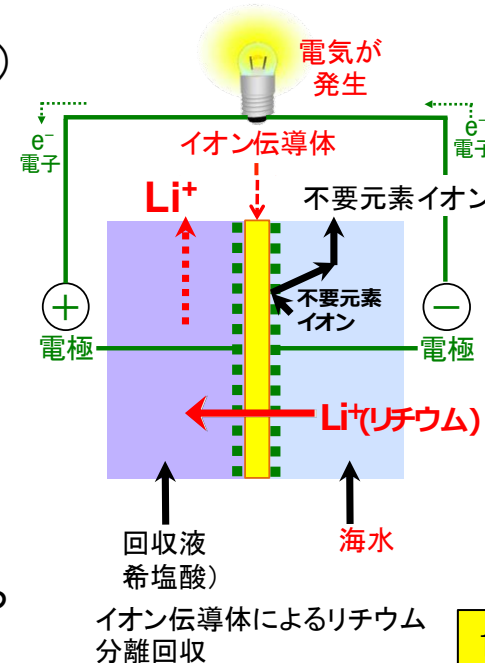
核融合炉やリチウムイオン電池に必要なリチウムを、電気を発生しながら海水から分離回収する世界初の技術を確立。



増強システム



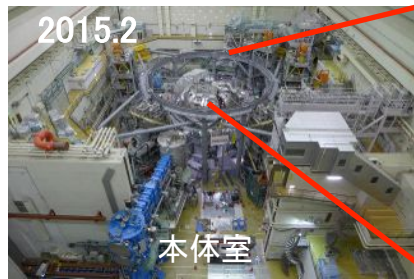
ENEA製腐食試験装置



JT-60SA計画の進捗(那珂)

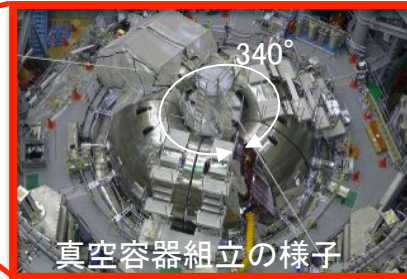


解体終了
(2012.10)

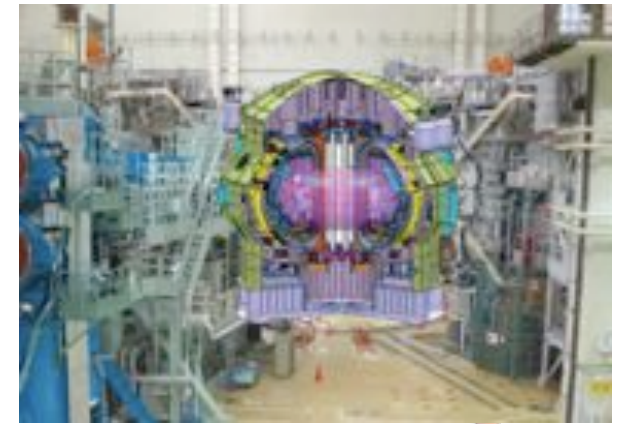


2015.2

本体室



真空容器組立の様子



運転開始(2019.3)

周辺機器
の設置



クライオスタートベース



平衡磁場コイル



TFC試験設備

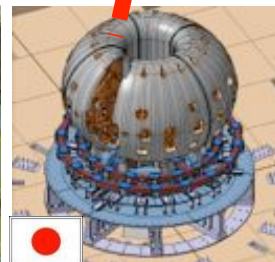
電流リード



クライオスタートベース (280トン)



下部平衡磁場コイル (85トン)



真空容器 (195トン)



トロイダル磁場コイル (370トン)



上部平衡磁場コイルと
中心ソレノイド(180トン)



クライオスタート (220トン)

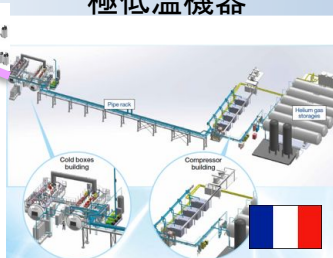
組立開始
(2013.1)

欧州による 現地据付と試験

- 電源: 2014年11月～
- 極低温機器: 2015年4月～



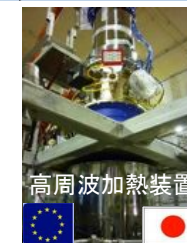
電源



極低温機器

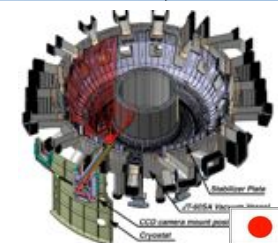


中性粒子ビーム入射加熱装置



高周波加熱装置

加熱装置



計測装置

TFコイル試験施設 (CEA, SCK-CEN)



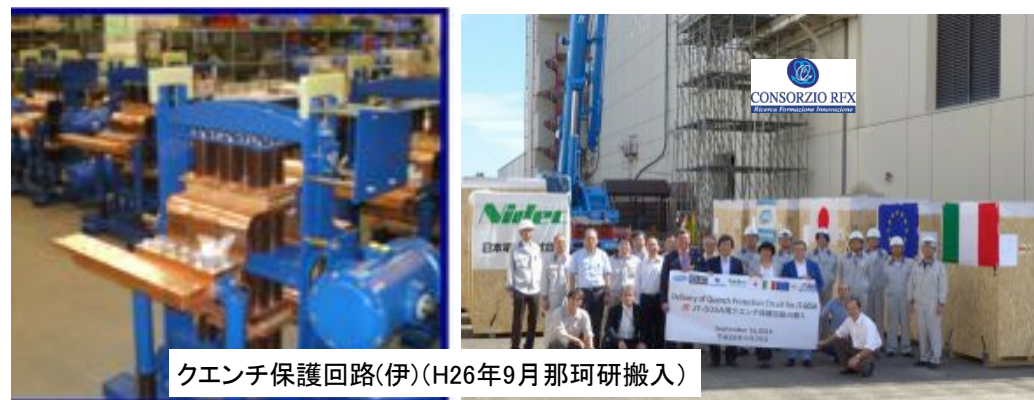
- TFコイル試験施設の調整運転開始(2014年7月)。

極低温機器 (CEA)



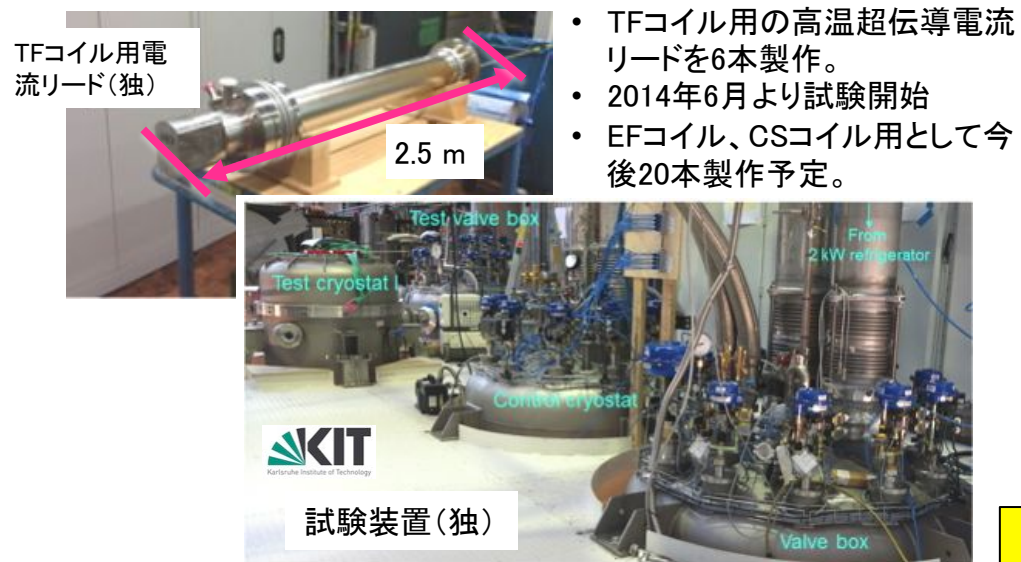
- 2015年4月那珂研搬入に向け、製作が進むコールドボックス

電源設備 (CNR-RFX, ENEA, CEA)



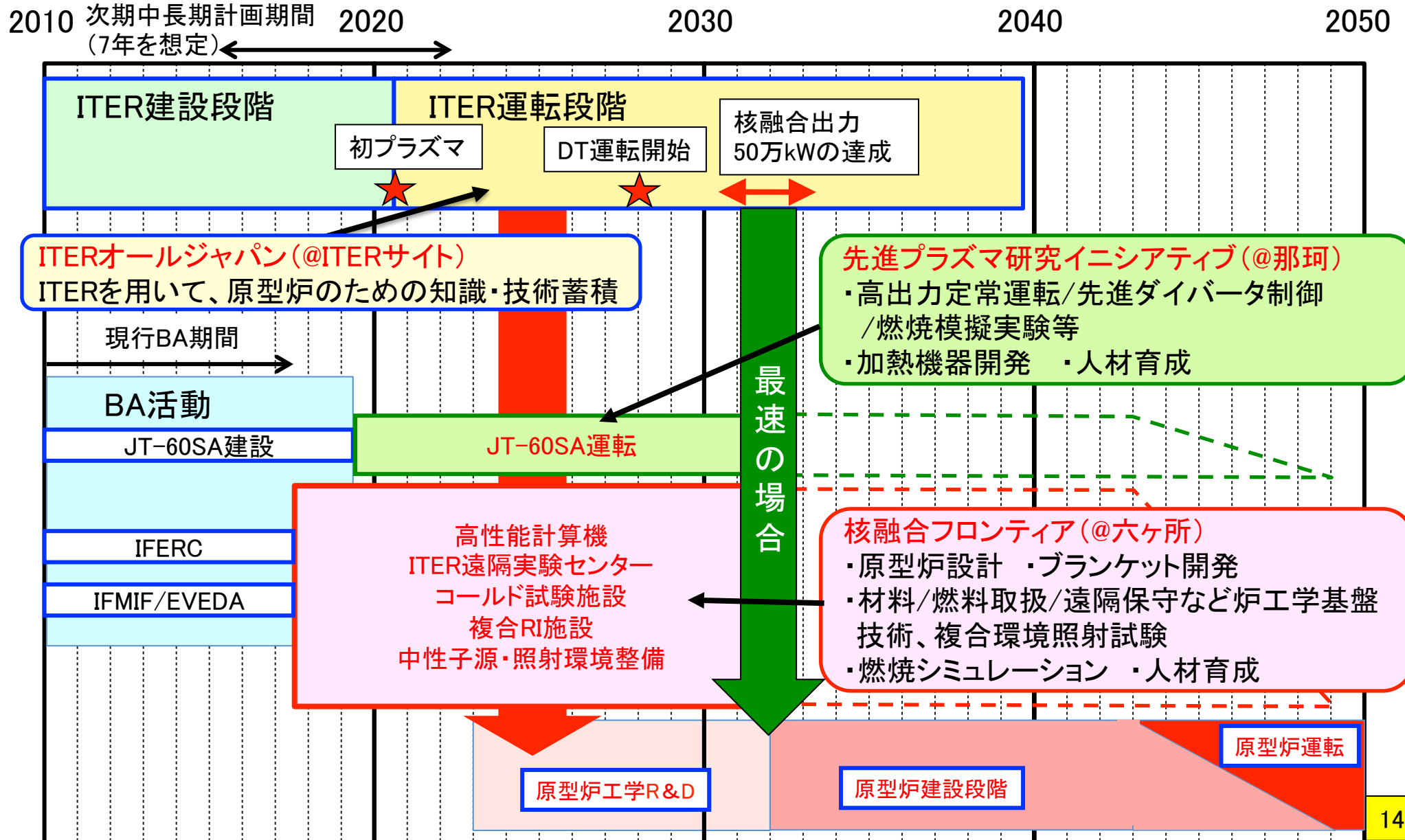
- 抵抗性壁モード抑制コイル電源(伊)、スイッチング・ネットワーク・ユニット(伊)、超伝導コイル用電源(伊,仏)も今後調達予定。

高温超伝導電流リード (KIT)



- TFコイル用の高温超伝導電流リードを6本製作。
- 2014年6月より試験開始
- EFコイル、CSコイル用として今後20本製作予定。

核融合研究開発の展望



原型炉設計の新体制

● 原型炉計画合同コアチーム

原型炉開発に必要な基盤構築の在り方の検討結果を核融合作業部会に報告

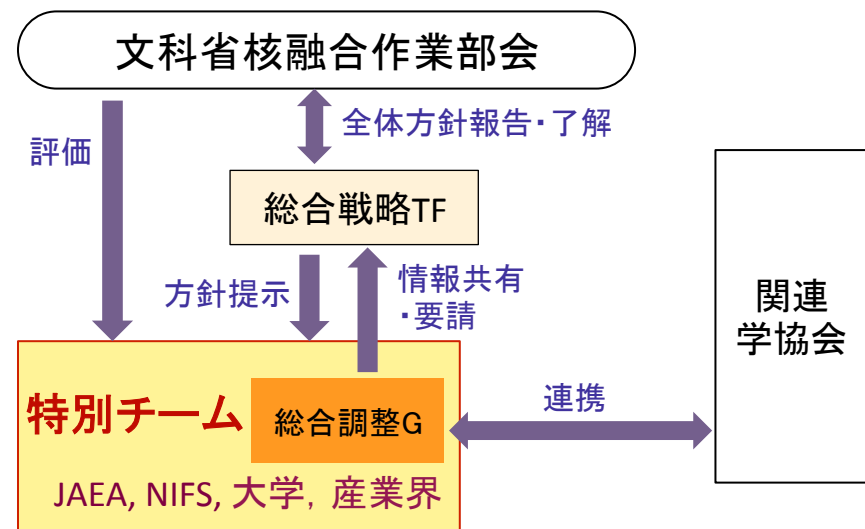
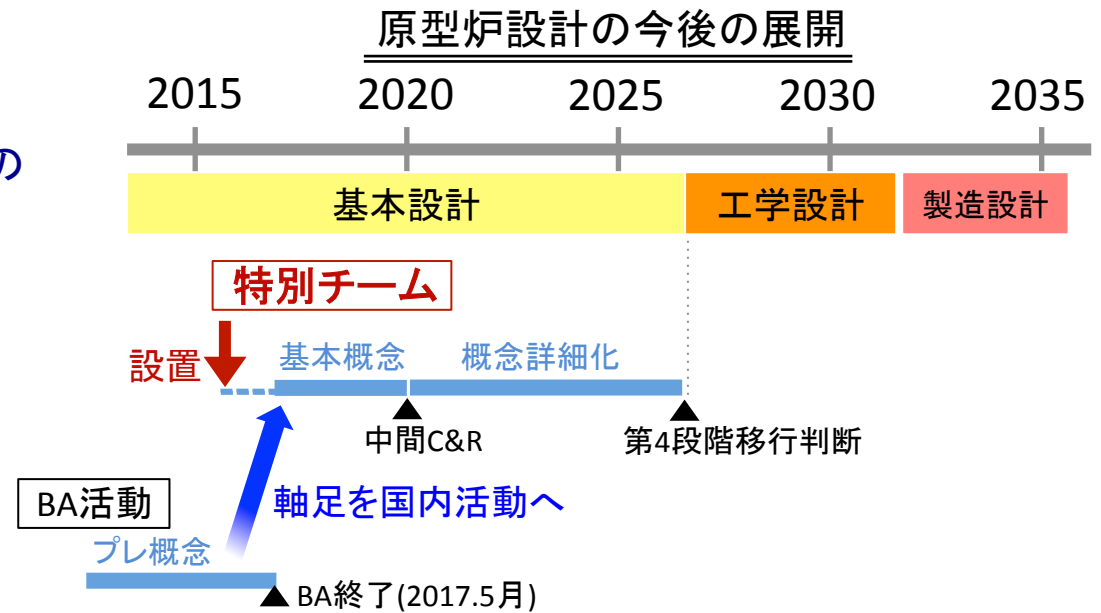


合同コアチームによる基盤構築検討作業
(2014年12月、六ヶ所)

合同コアチーム報告書、作業部会での議論を踏まえ、設計体制を強化

● 「原型炉設計合同特別チーム」を設置

- ◆ 2015年4月、六ヶ所研に設置
- ◆ 常勤 約20名、非常勤約20名で始動の見込み
- ◆ JAEA, NIFS, 産業界、大学の合同チーム



注)この体制は、第7期の研究作業部会で議論されていた体制

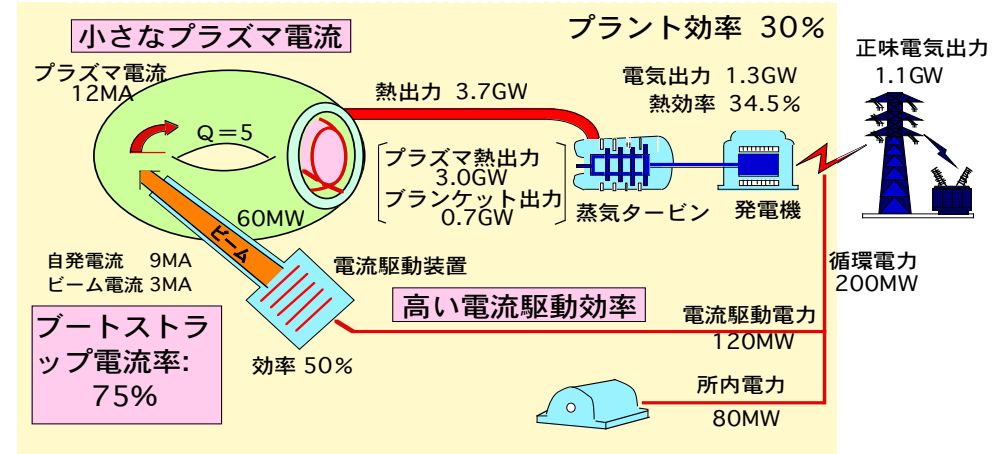
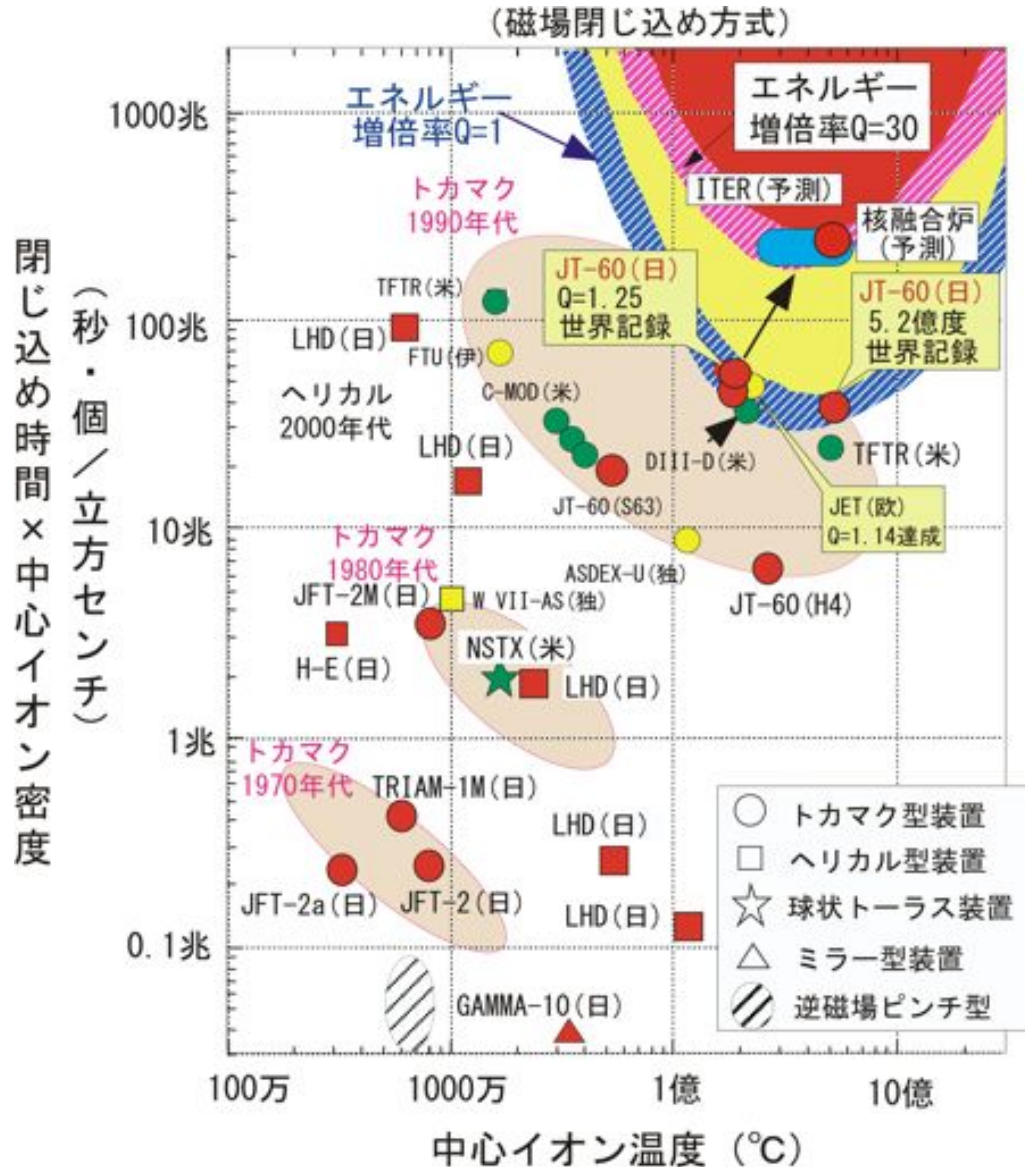
まとめ：ITER計画

- ◆**仏・カダラッシュサイトの整備**：ITER本部建家、トロイダルコイル巻線棟、クライオスタット組立棟が完成。トカマク建屋地下2階床のコンクリート打設が完了し、壁面の建設が進行中。初プラズマ（2020年11月～2021年7月）を目指して各極とも調達活動を実施。
- ◆**日本の調達活動**：トロイダル磁場（TF）コイル導体、TFコイル巻線・構造物・一体化、中心ソレノイド（CS）コイル導体、ダイバータ外側ターゲット、ブランケット遠隔保守装置、加熱装置及び計測装置の一部など、日本分担機器全体の約88%の調達取決めを締結。2012年にTFコイル実機の製作着手、2014年にTFコイル導体の製作完了等、他極を先導する貢献。
- ◆**今後の見通し**：3月5日に開催された臨時ITER理事会で、工程などの新しいベースラインは、2015年11月のITER理事会で示されることとなった。

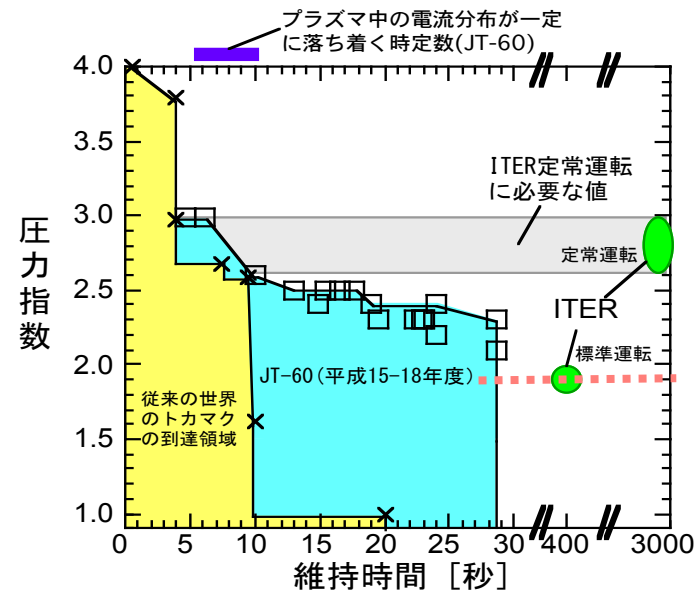
まとめ：BA活動

- ◆ **国際核融合エネルギーセンター活動 (IFERC、六ヶ所)**：トリチウム増殖材及び中性子増倍材の微小球、ブランケット構造材料の大量製造に成功するなど、原型炉R&Dタスクの成果が出始めた。計算機シミュレーションセンターの運用を2012年1月から開始、平均利用率80-90%を維持。原型炉設計の中間報告書を完成 (2015年2月)、原型炉設計合同特別チームを2015年4月に設置。
- ◆ **国際核融合材料照射施設の工学実証・工学設計活動 (IFMIF/EVEDA、六ヶ所、大洗)**：原型加速器は2013年から、六ヶ所サイトに入射器を搬入し、2014年11月初めに入射器のビーム試験を開始。リチウム試験ループは、2013年2月のターゲット流動実証試験でIFMIFの最大流速(20 m/s)条件達成、1,300時間以上の長期安定性を実証し、2014年10月成功裏に完了。試験設備は照射モジュールをベルギーBR2炉での中性子照射試験を2014年7月開始、2014年度内終了。
- ◆ **サテライトトカマク(JT-60SA、那珂)**：日本が調達する真空容器セクター製作が終了、その他の超伝導トロイダル磁場コイル等も予定通り製作中。欧州では、超伝導トロイダル磁場コイルの製作が本格化するとともに、He冷凍設備の機器製作が完了し日本に向けて輸送中。那珂研では、欧州から最初の電源機器が搬入し、欧州による現地据付を開始した。3月中旬からHe冷凍設備の現地据付も開始する。一方、日本による真空容器組立は、真空容器セクター340°分をクライオスタットベースに設置し、初期真空容器組立段階を終了した。順次組立等を進め、2019年の初プラズマを目指す。

補足：トカマクの閉じ込め性能と定常化



定常トカマク炉SSTRの概念(1990年)



JT-60UによるELMy Hモードの28秒維持($\beta_N \sim 2, H_H \sim 1$)