

京都大学エネルギー理工学研究所
ゼロエミッションエネルギー研究拠点研究会（Ze研究会）
シンビオ社会研究会 国内ワークショップ
『先端ICT適用による原子力安全の高度化』

核融合炉設計および核融合炉材料開発 の最近の動向（前半部分）

2020年12月15日(火) 11:00-16:30

WebExによる遠隔接続

原型炉設計合同特別チーム，量研

日渡 良爾

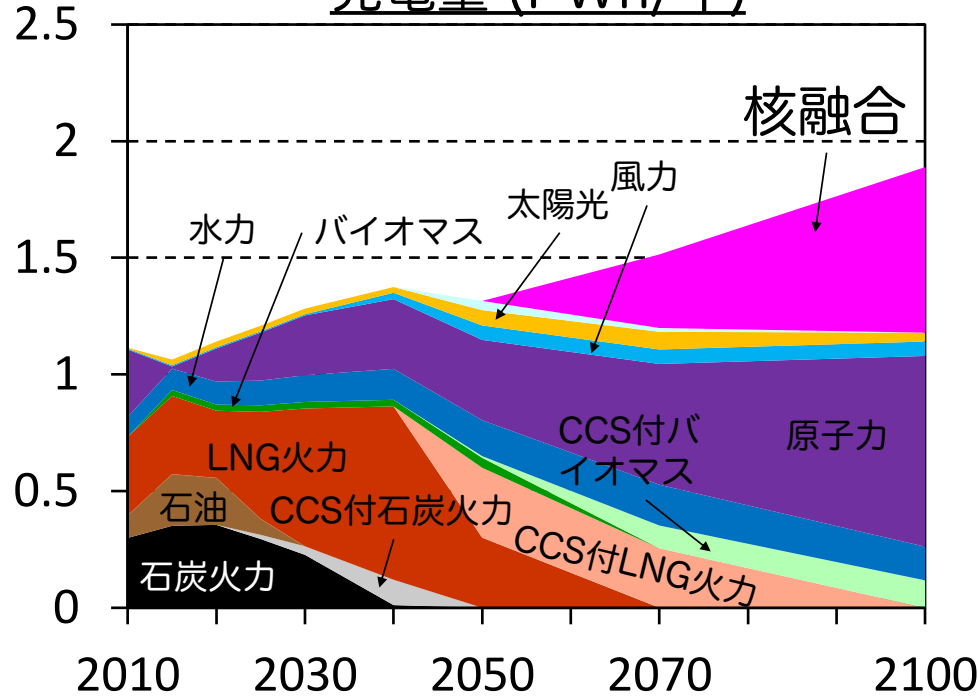


核融合エネルギーの開発の意義

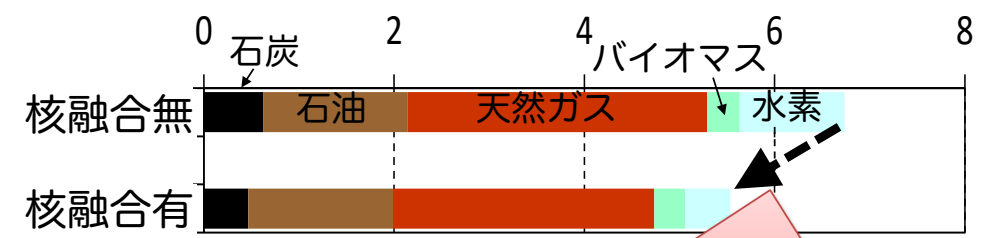
● パリ協定 2°C目標に必要なCO₂排出削減に核融合も貢献

- ◆ 日本の2100年までのエネルギー供給シナリオと核融合エネルギーの割合
 - ✓ 地球環境産業技術研究開発機構によるエネルギーシナリオ分析
 - ✓ パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略(閣議決定, 2019), 革新的環境イノベーション戦略(内閣府, 2020)にも明記
- ◆ 核融合発電導入によりエネルギー海外依存度の低減(エネルギーセキュリティー)に貢献

発電量 (PWh/年)



2100年のエネルギー輸入(EJ/yr)



核融合の電力によるエネルギー輸入の減少(エネルギーセキュリティーへ貢献)

トカマク方式による核融合

真空容器内に超高温プラズマ

トロイダル磁場コイル

強力な磁場で閉じ込め

ポロイダル
磁場コイル

プラズマ

磁力線

プラズマ電流

真空容器

重水素

+

トリチウム

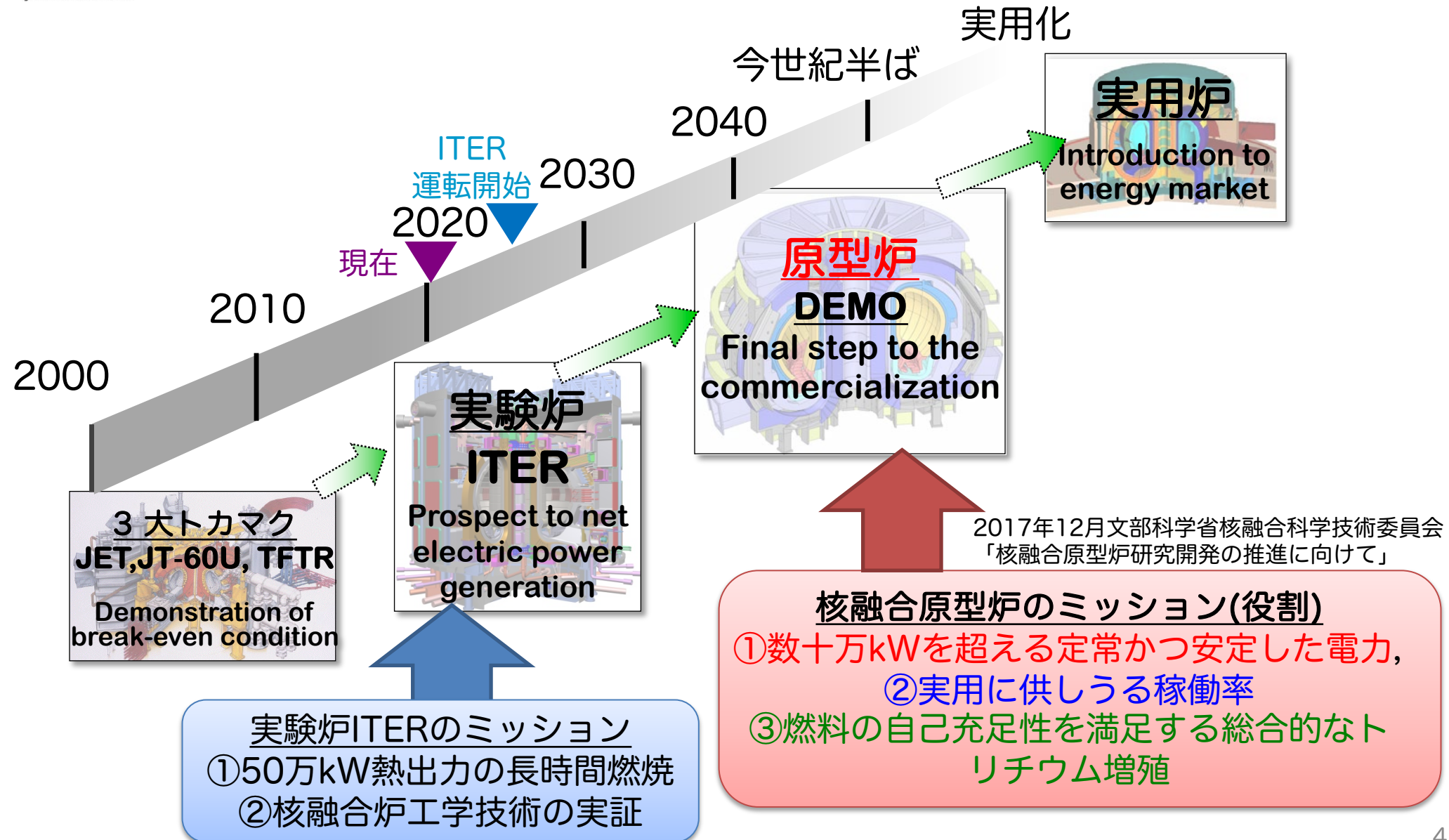
核融合

α粒子
(ヘリウム)

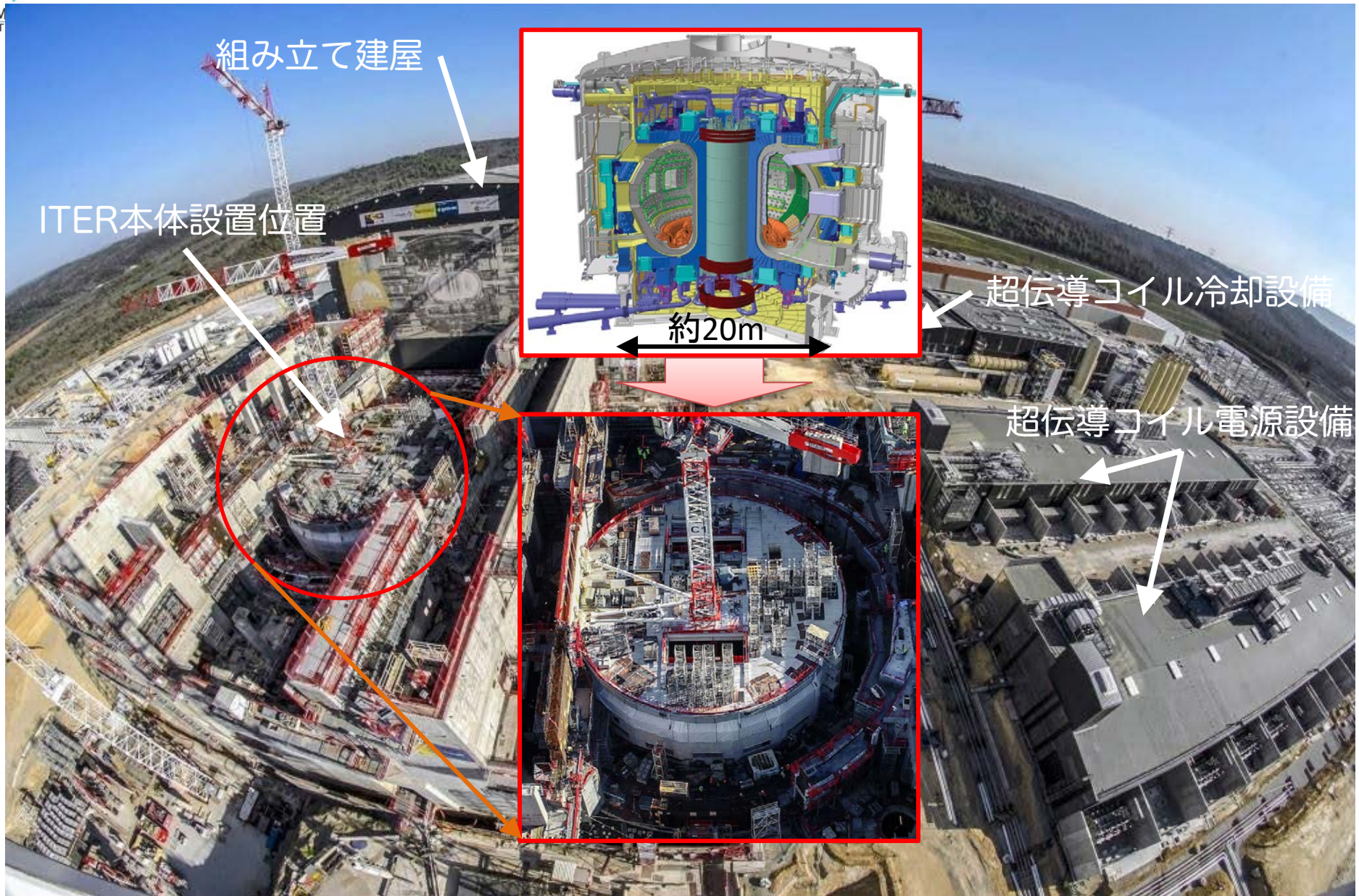
+

中性子





実験炉ITERの建設現状



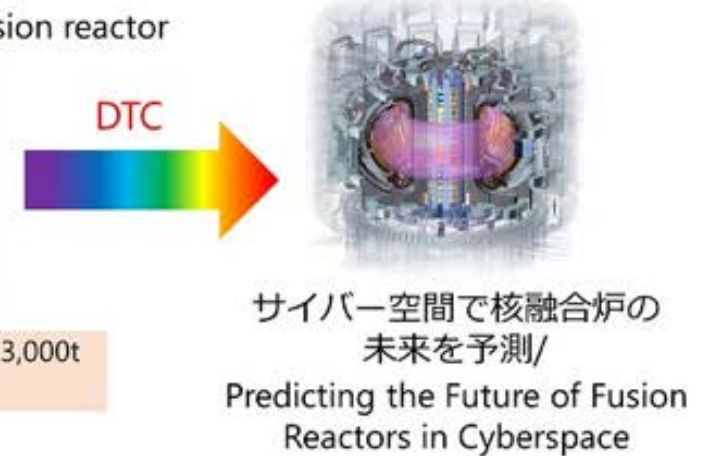


実験炉ITERの組立工程



2020年から組立開始中

- ◆ 超高速・超低遅延ネットワーク接続、データストレージ、コンピューティング、グローバルネットワークインフラを含む未来の情報通信技術に関する探査
- ◆ ネットワークから端末まで、すべてにフォトニクス（光）ベースの技術を導入した「オールフォトニクス・ネットワーク」、実世界とデジタル世界の掛け合わせによる未来予測等を実現する「デジタルツインコンピューティング」、あらゆるものをつなぎ、その制御を実現する「コグニティブ・ファウンデーション」からなりたつIOWN構想(NTTが目指す次世代コミュニケーション基盤)に関する探査

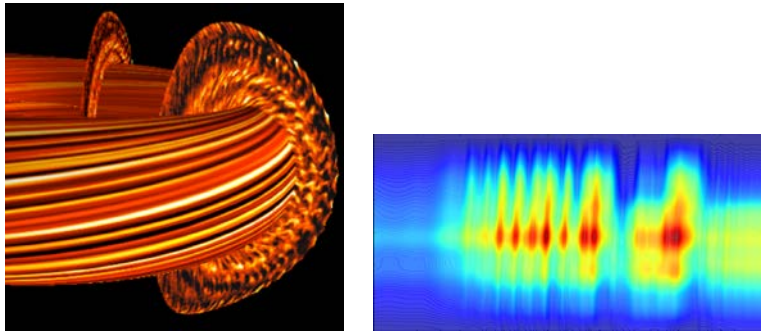


©ITER Organization, <http://www.iter.org/>

限られた情報を最大限にQSTにて活用するための2つのアプローチ

スーパーコンピュータ

理論シミュレーションによる予測



1号機(六ちゃん-I, 2012-2016年)の成功を受け
“六ちゃん-II”を導入

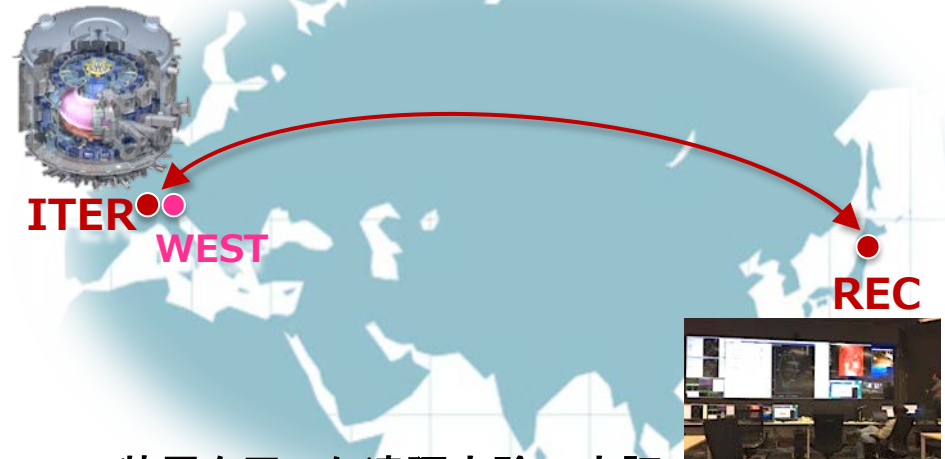


クレイ社: 2.78 ペタFlops

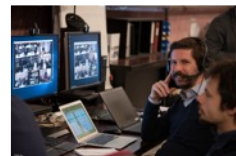
世界61位、国内11位(2018.6月時点)
六ちゃん-Iより約3倍高速

ITER遠隔実験センター(REC)

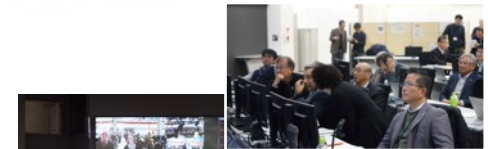
ITER実験への遠隔参加、実験データの活用



WEST装置を用いた遠隔実験の実証
青森高校の生徒も参加 (2018年11月)

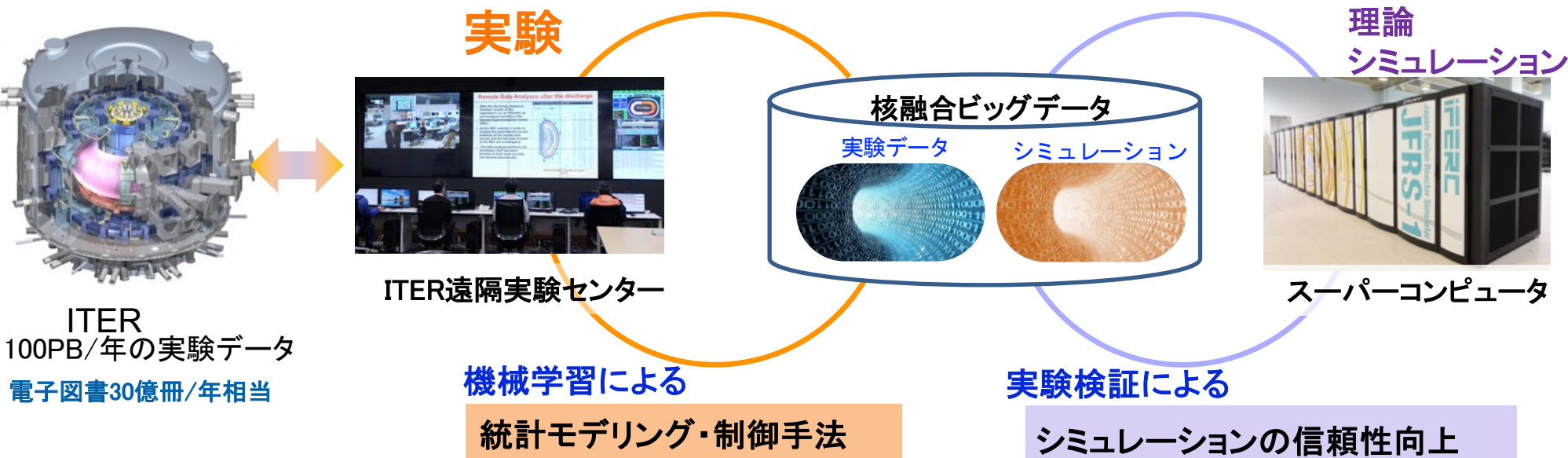


WEST(仏)側



REC(青森)側

2つの施設を統合し、核融合の情報拠点化



NTT NTTとQST連携協力協定の締結(2020.11.1)

QST



- 光・デジタル技術と核融合エネルギー技術の融合による**革新的なネットワーク技術**
- **革新的な光・デジタル技術**による新しい核融合エネルギー分野の開拓



- **核融合炉からの膨大な観測データ**をリアルタイムに収集、分析可能なネットワーク、コンピューティングインフラの実現方式とこれを活用する**高度な核融合炉制御方式**
- 現実世界の**核融合炉をサイバー空間上にリアルに再現する新たなシミュレーション方式**とそのシミュレーション方式を駆使した**プラズマ予測制御方式**

原型炉開発に向けた全日本体制を構築

DEMO DESIGN
JOINT SPECIAL TEAM

- 文部科学省に核融合科学技術委員会，原型炉開発総合戦略タスクフォースが設置（2015年3月～）

主な原型炉に関わる審議内容

- 原型炉開発に向けた技術基盤構築のための体制整備について
- 原型炉開発ロードマップの策定

文部科学省核融合科学技術委員会（第1回）配付資料より

- 原型炉設計合同特別チーム活動（2015年6月～）

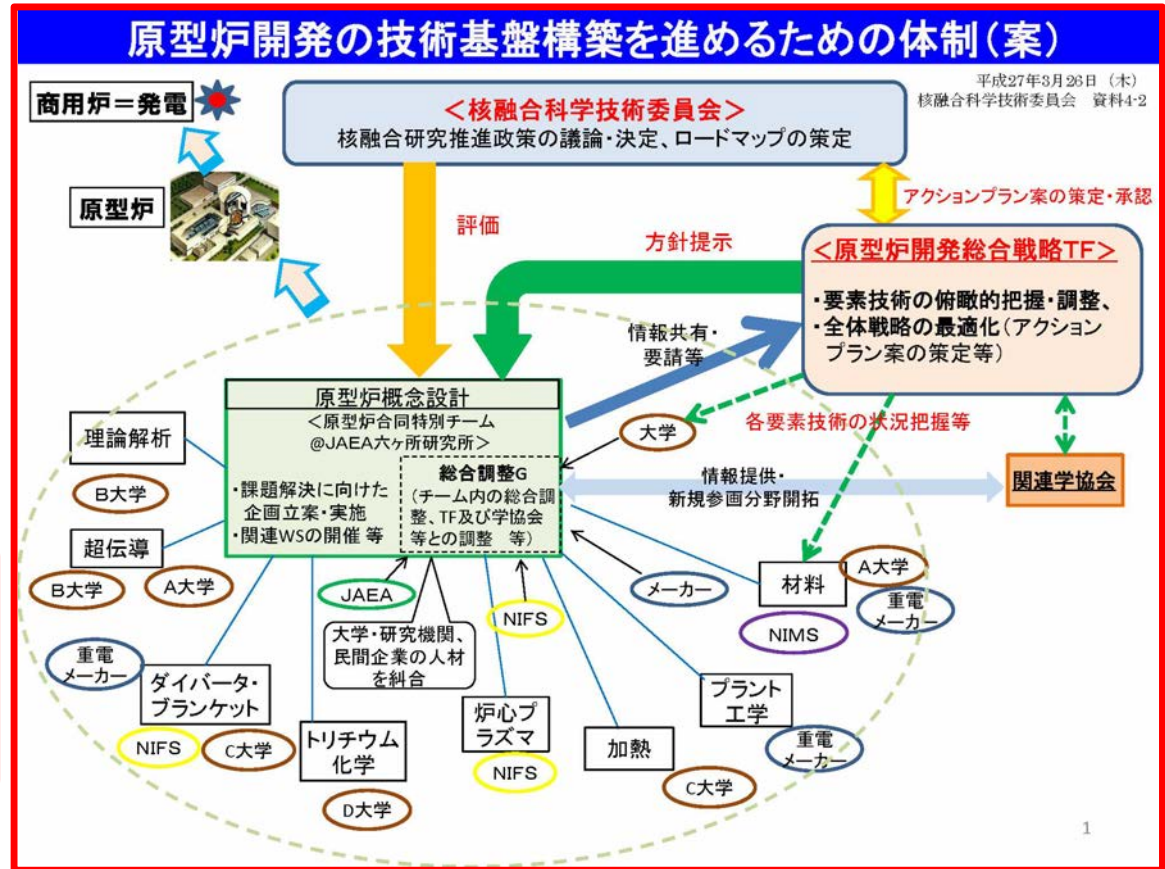
- ✓ 原型炉基盤構築の産学合同の設計チームを組織



『国が直接関与』

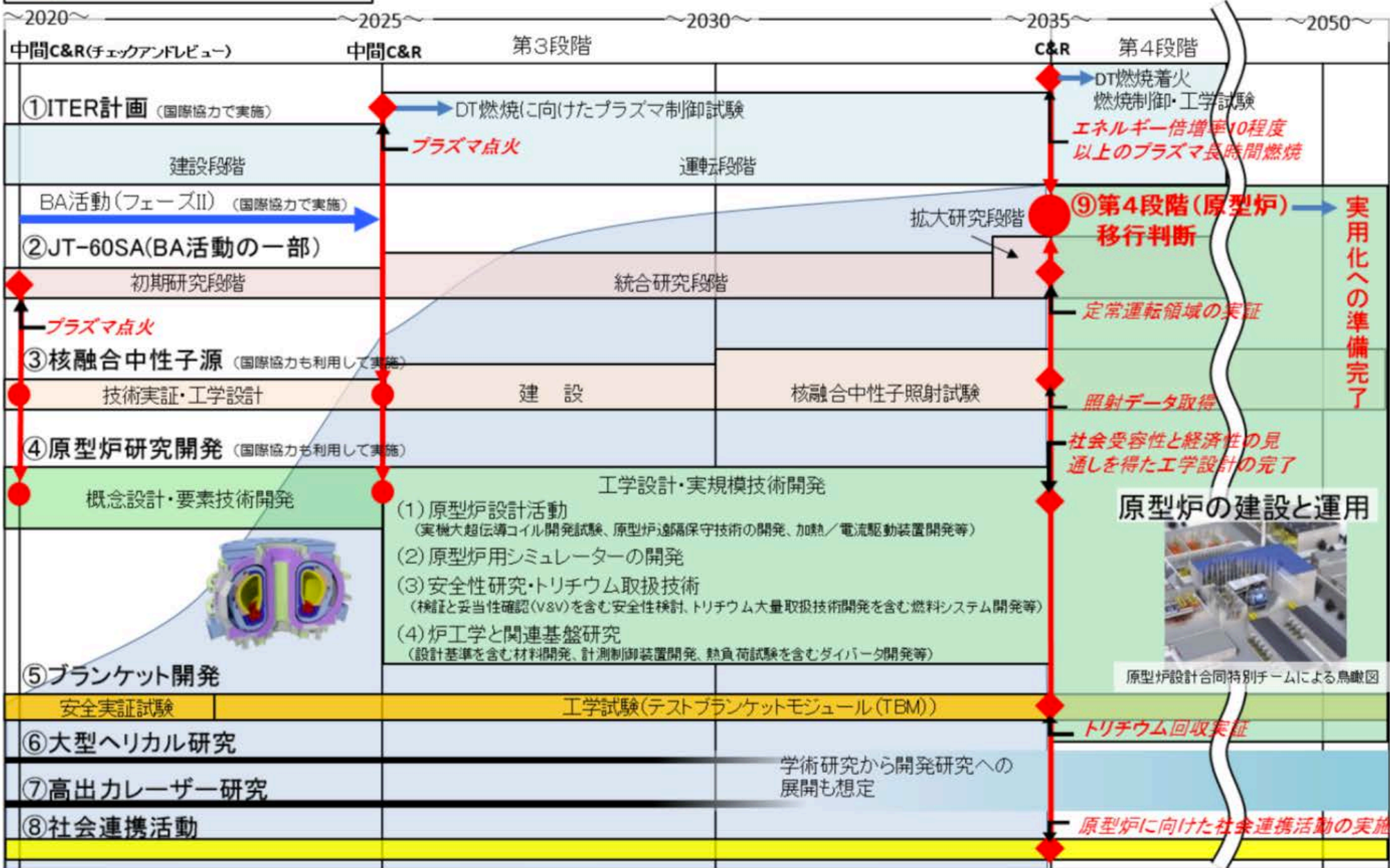
方針提示：文科省原型炉開発総合戦略タスクフォース

評価：文科省核融合科学技術委員会



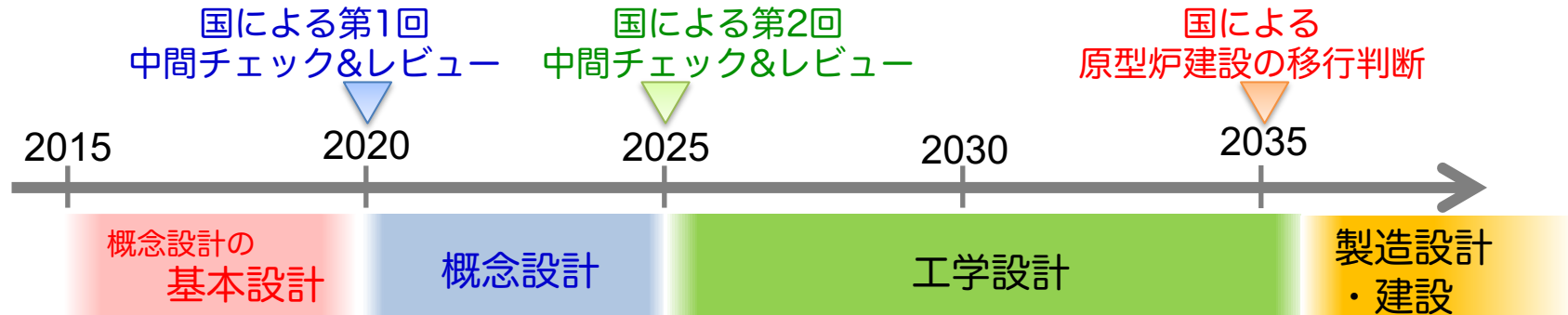
原型炉研究開発ロードマップ

凡 例
 ◆ 目標達成が求められる時点 ↑ 達成すべき目標
 ● 次段階への移行判断が求められる時点
 例 ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標

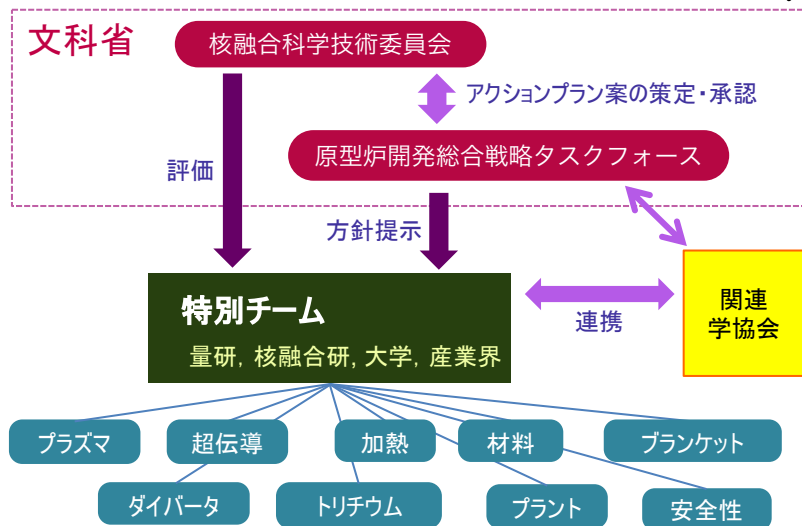


原型炉設計合同特別チームの活動

- 2020年までに原型炉の**概念基本設計の構築**
- 2025年頃までに原型炉の**概念設計の完了**を目指す



- 産学による**全日本体制**を構築(100名規模)



原型炉開発のための体制



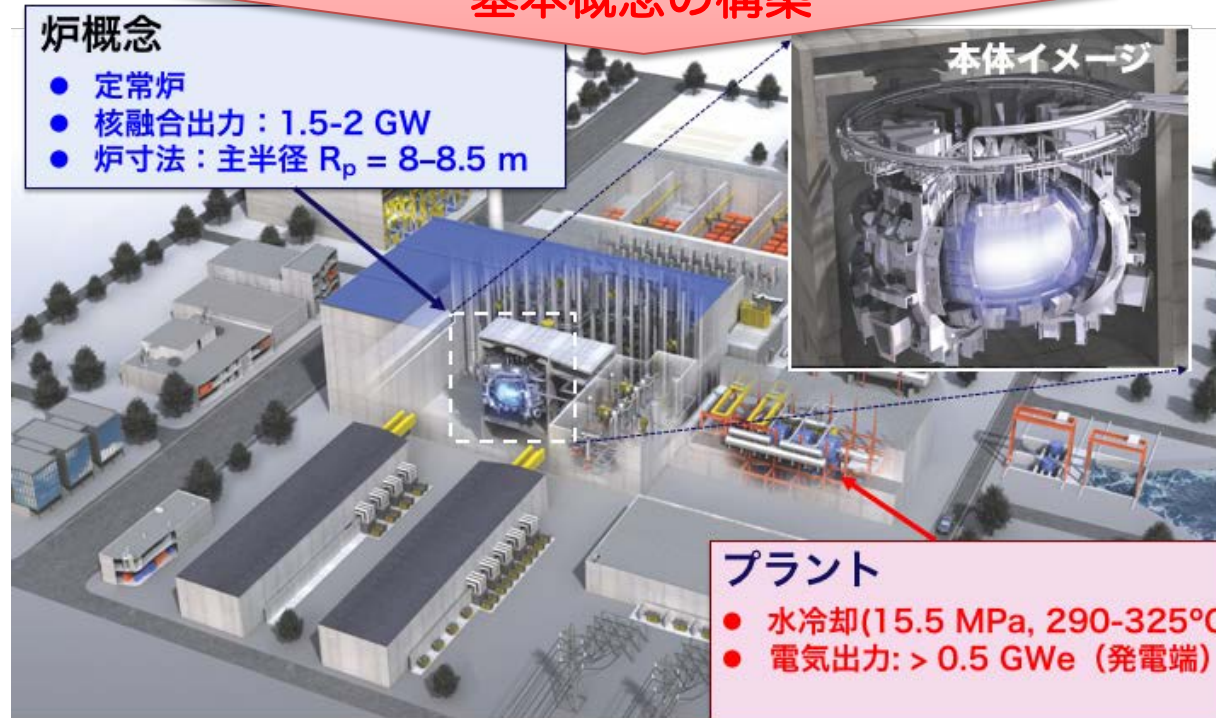
原型炉のミッション

- ① 数十万kWを超える定常かつ安定した電力, ② 実用に供しうる稼働率
- ③ 燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増殖

設計方針

- 信頼性の高い技術(既存技術, R&D飛躍の小さい技術)を適用
 - 建設コストを含めた最適化は1st中間C&R以降に実施

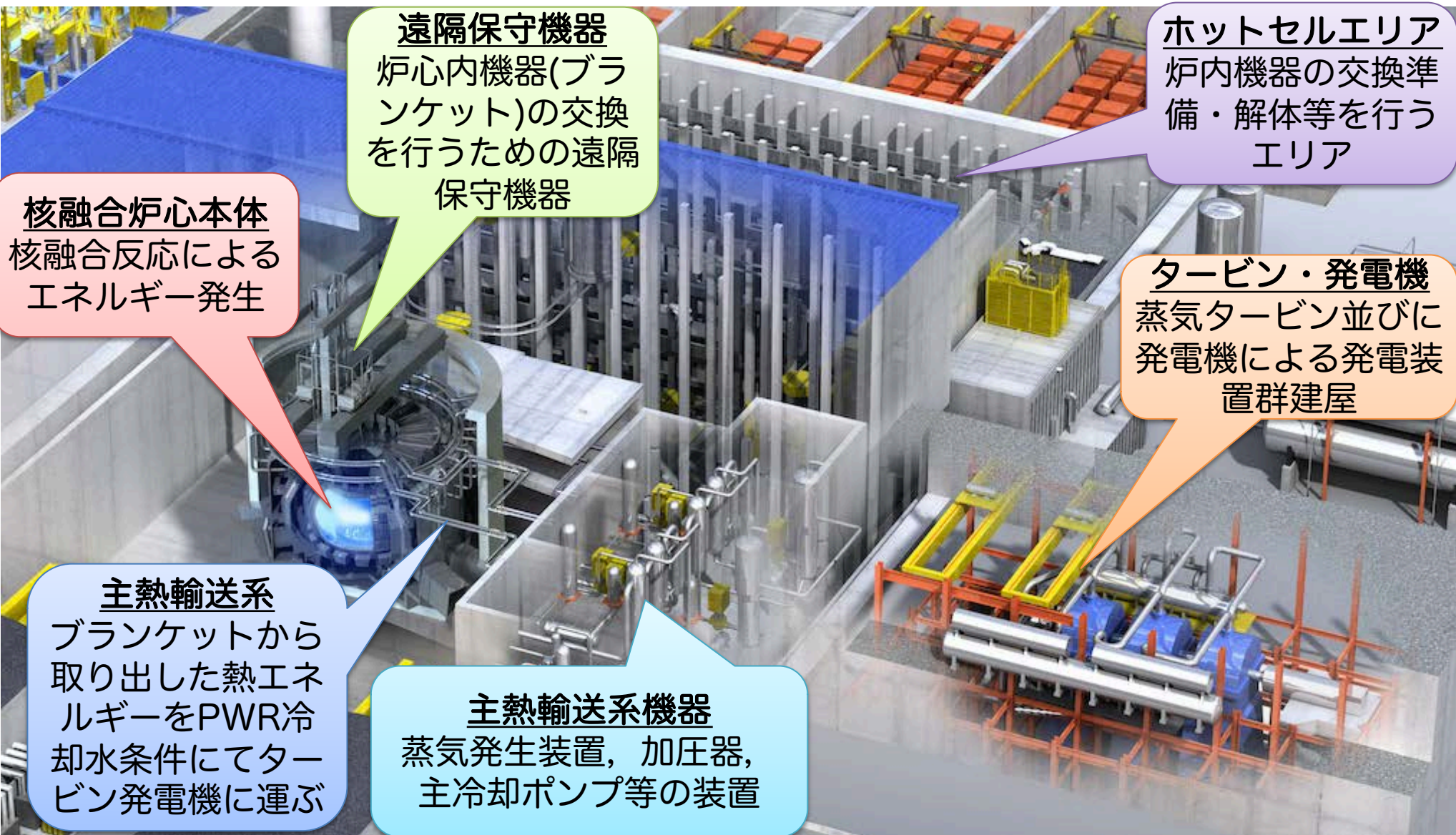
基本概念の構築



核融合原型炉プラント全体イメージ



DEMO DESIGN
JOINT SPECIAL TEAM



核融合炉心本体
核融合反応による
エネルギー発生

遠隔保守機器
炉心内機器(ブランケット)の交換
を行うための遠隔
保守機器

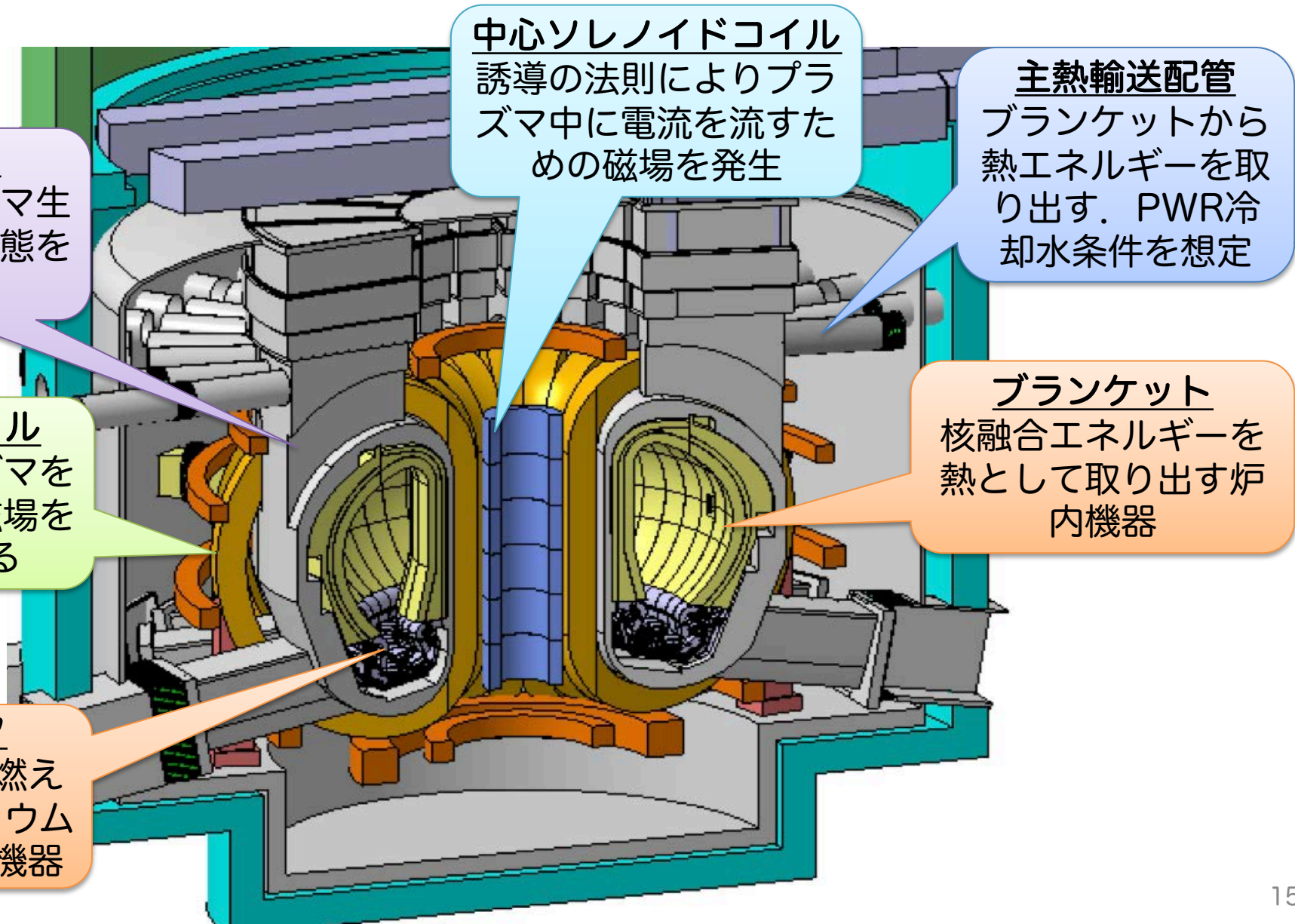
ホットセルエリア
炉内機器の交換準備・解体等を行う
エリア

タービン・発電機
蒸気タービン並びに
発電機による発電装
置群建屋

主熱輸送系
ブランケットから
取り出した熱エネ
ルギーをPWR冷
却水条件にてター
ビン発電機に運ぶ

主熱輸送系機器
蒸気発生装置, 加圧器,
主冷却ポンプ等の装置

核融合原型炉 炉心の仕組み



真空容器

核融合プラズマ生成する真空状態を維持する

超伝導コイル

核融合プラズマを閉じ込める磁場を発生させる

ダイバータ

核融合反応の燃えかす(灰)のヘリウムを取除く炉内機器

中心ソレノイドコイル
誘導の法則によりプラズマ中に電流を流すための磁場を発生

主熱輸送配管

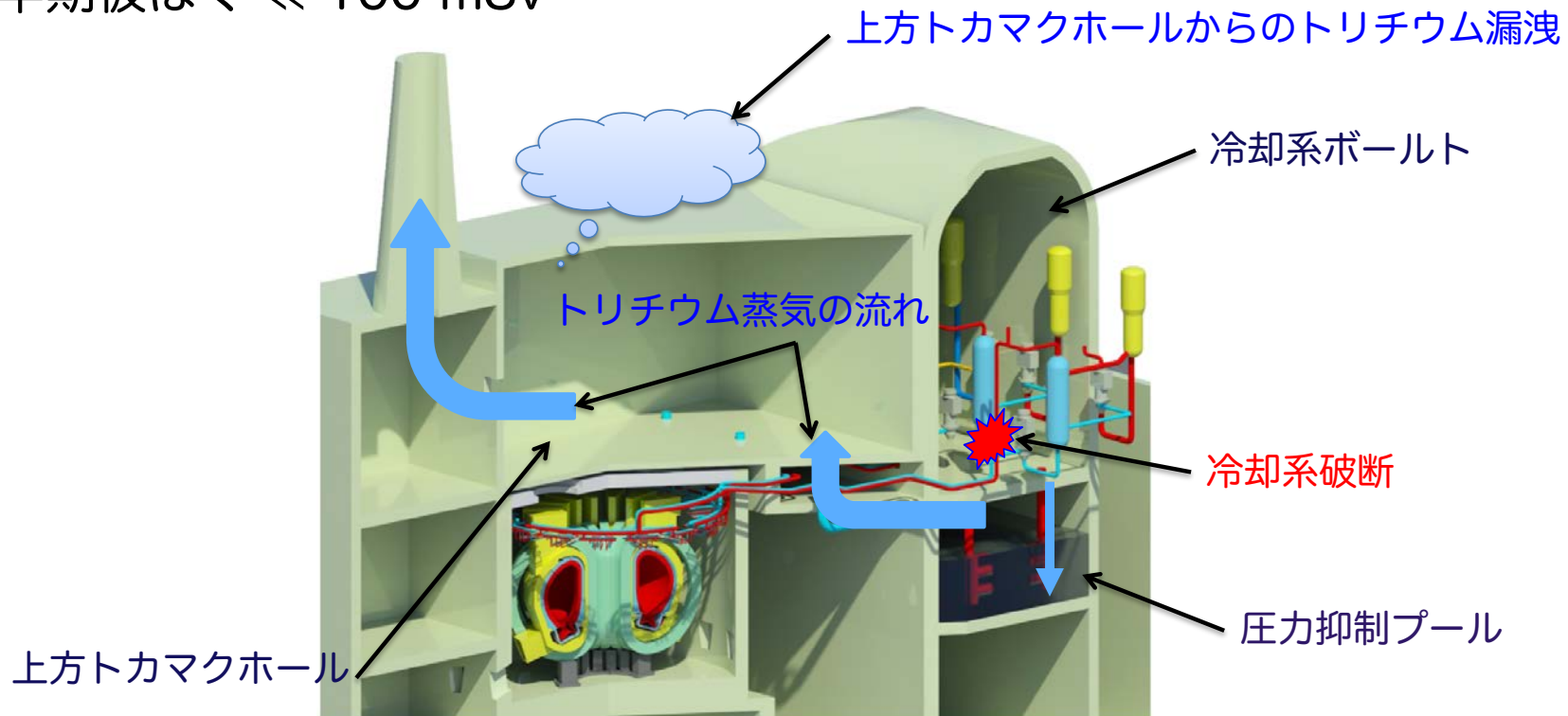
ブランケットから熱エネルギーを取り出す。PWR冷却水条件を想定

ブランケット

核融合エネルギーを熱として取り出す炉内機器



- 仮想事故評価(冷却水漏洩)に基づくトリチウム閉じ込め方策
 - ✓ 炉心は直ちに停止
 - ✓ 格納容器を使わない選択肢を検討中 (現状, 建屋に対する圧力抑制系を採用)
- IAEA 緊急退避不要条件を十分満足
 - ✓ 早期被ばく $\ll 100$ mSv





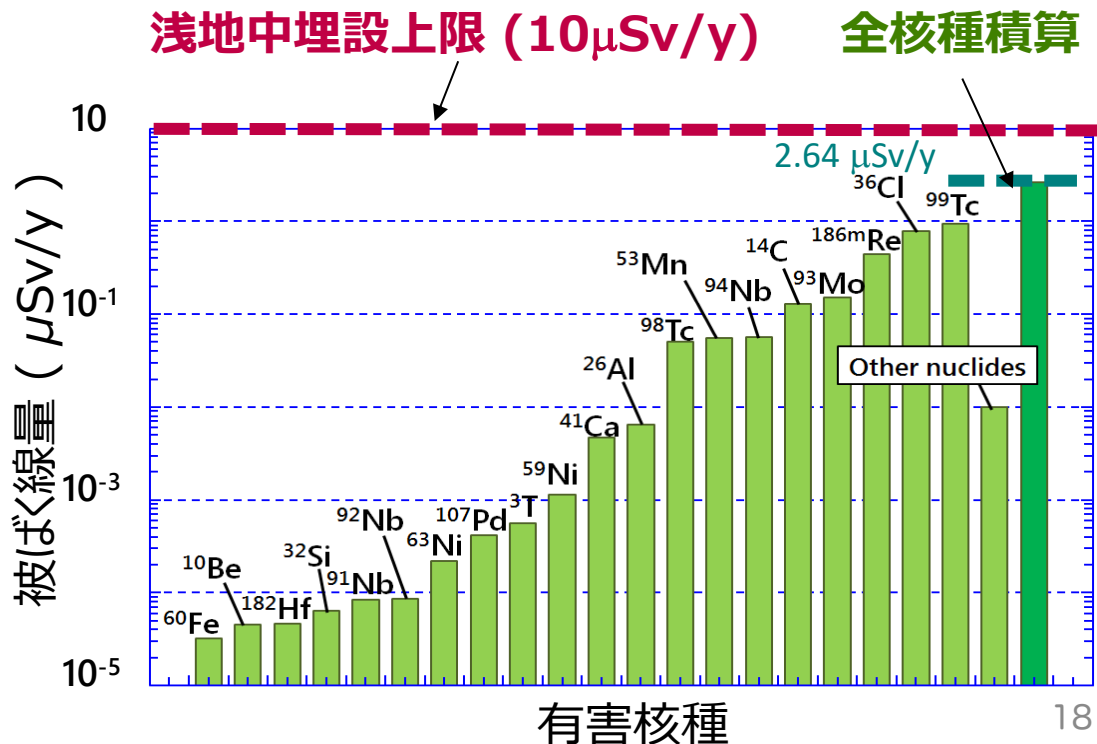
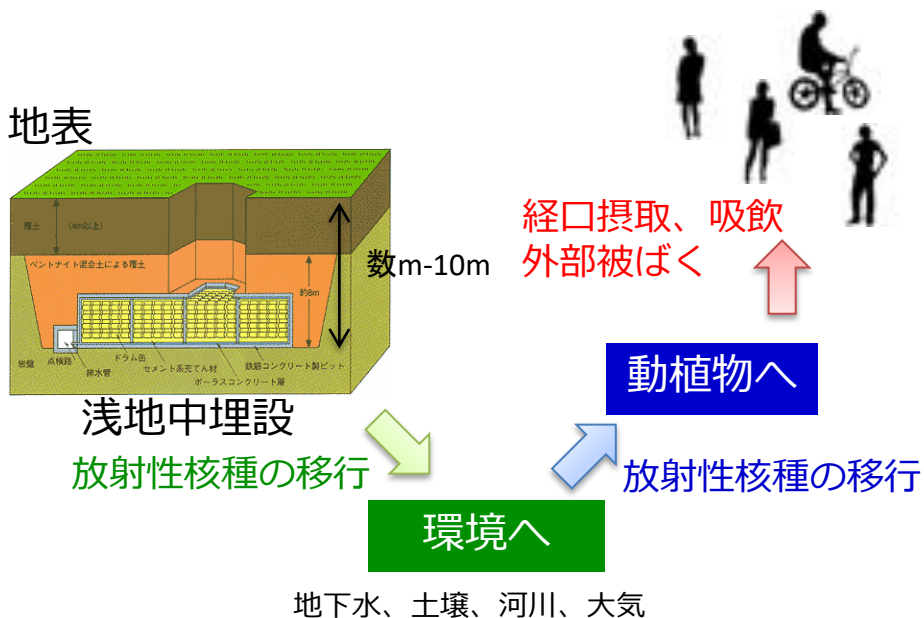
核融合原型炉の廃棄物処理方法

● ブランケットを含む全ての廃棄物

➔ 低レベル放射性廃棄物 ➔ 浅地中埋設処分可能性

✓ 成分約1200核種から有害核種を分析

✓ 有害核種の浅地中移行解析を実施



- 核融合エネルギー開発について、カーボンフリーエネルギーとして国の「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」や「革新的環境イノベーション戦略」にも開発推進が明記されており、超長期のエネルギーシナリオにおいても核融合エネルギーの有効性期待されております。
- 実験炉ITERがフランスに建設中であり、その建設の状況として本年開始された本体組立の概要を紹介しました。
- 実験炉ITERや核融合原型炉に向けた研究活動の中で、ICT技術の適用に関わる動向を紹介致しました。
- 最後に、原型炉設計活動の概要と共に現在進行中の核融合炉の安全性研究について解説いたしました。