筑波大学プラズマ研究センターシンポジューム
プラズマ物理クラスター スクレープオフ層とダイバー タ物理サブクラスター(第1回会合)
炉工学クラスター ブランケット サブクラスター(第2回会合)
双方向型共同研究会合「ガンマ１０装置における炉壁材料の損耗・再堆積の研究とそのダイバータ開発戦略における位置づけ」
平成23年7月20-21日、於筑波大学

ITER・TBM計画の現状

秋場　真人
（原子力機構）

１．ITERの現状
２．TBM計画の現状

ITER計画の現状

2010年7月建設のスケジュール、新体制等が確定

ITER理事会で下記を承認

- 事業のスペック
- 事業の全体スケジュール
- 事業の全体コスト
- 事業計画と資源見積もり

新機構長として、本島修氏（核融合科学研究所名誉教授）を任命

ITER建設地・カダラッシュの周辺地域

ITERサイトの建設工事進捗状況-2010/9

レベリング作業が終了し、
建屋建設工事が
本格的にスタート

PF建屋の建設作業現場を
サイト西側より望む（2010年9月）

2010年9月第4週（20-26日）
PF建屋東側よりコンクリートの
打設開始

手前：PF建屋
中程：トカマク複合建屋
左手奥：HQ建屋（Annexビル）
の各建設現場

ITERサイトの建設工事進捗状況-2010/12

Sky view of the Site in December

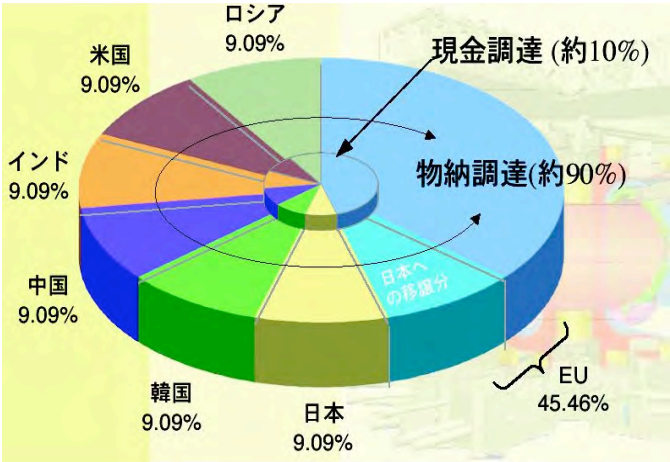
Excavation of the Tokamak Building

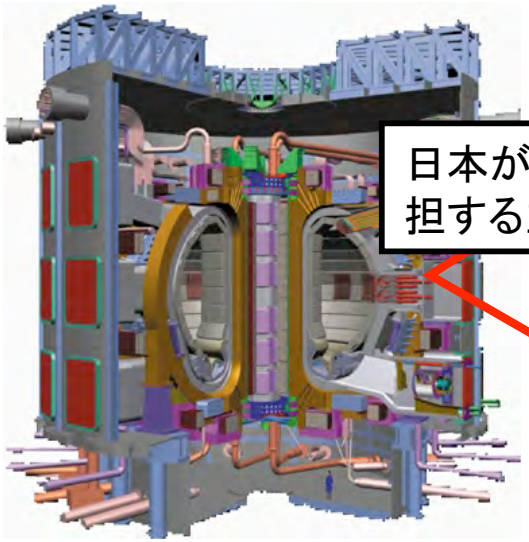
Construction of PF Coil Winding Building

Construction of the Office Building

ITERサイトの建設工事進捗状況-2011/6

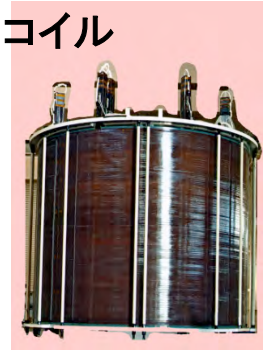
我が国の貢献



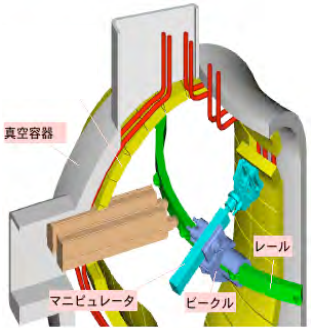


日本が製作を分担する主な機器

中心ソレノイドコイル

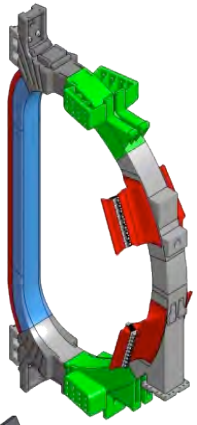


ブランケット遠隔保守装置



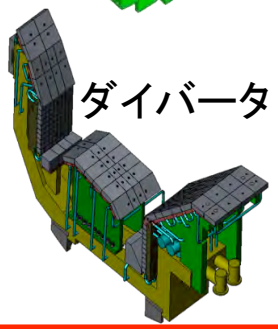
中性粒子入射加熱装置

トロイダル磁場コイル

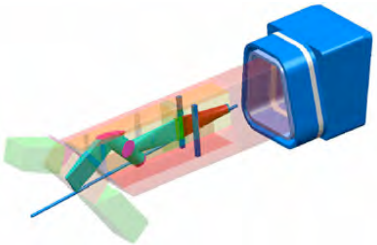


トリチウムプラント設備

ダイバータ



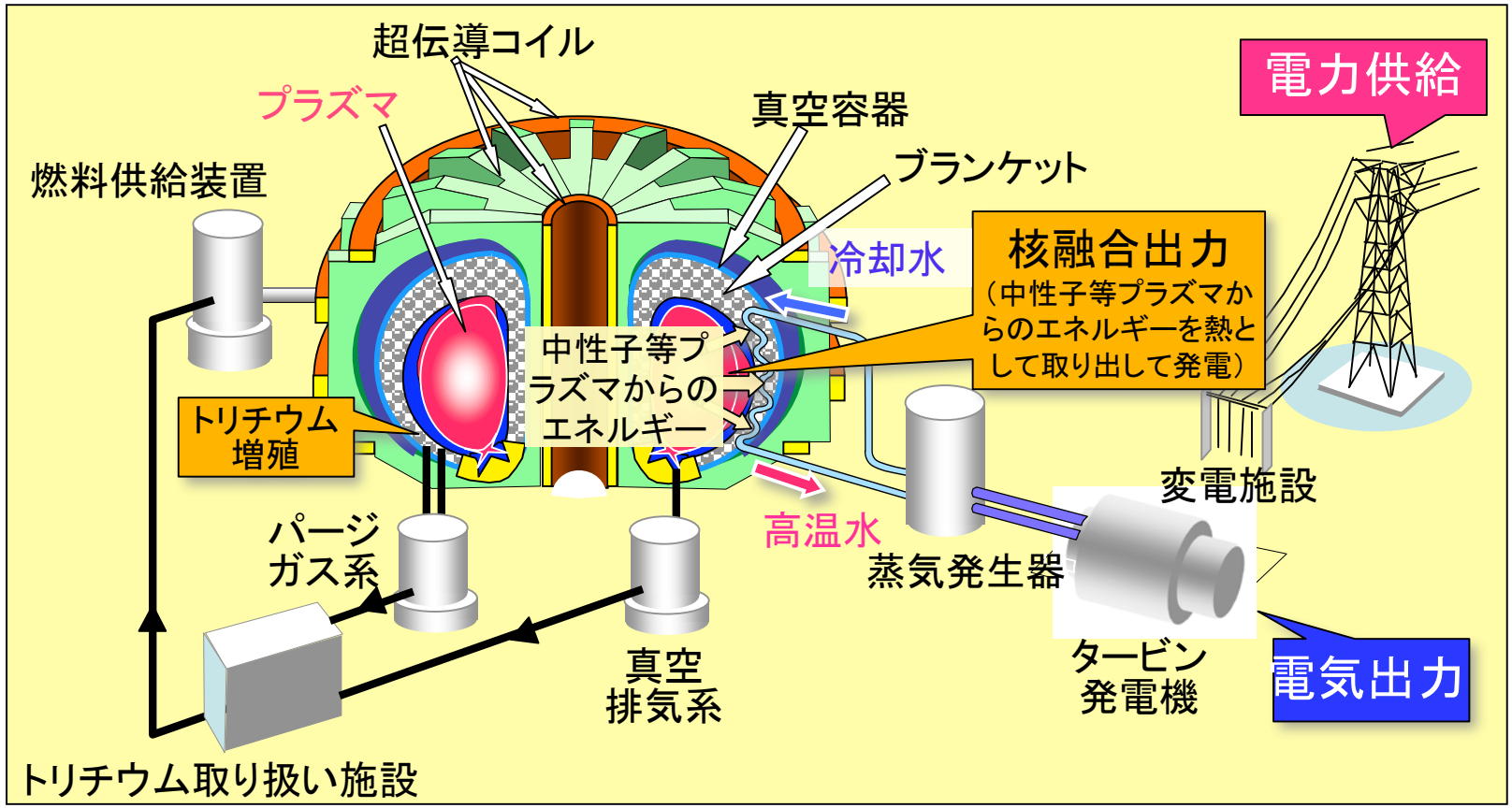
計測装置



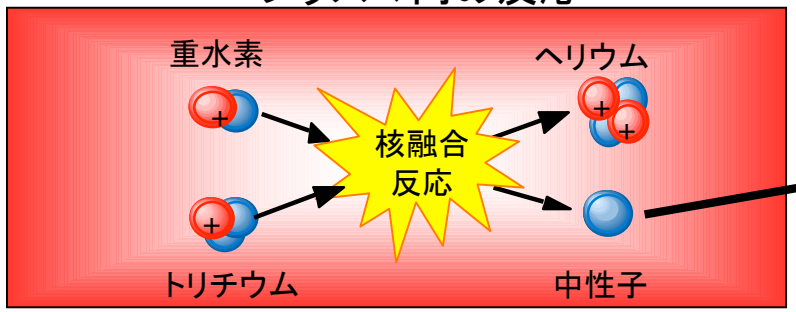
高周波加熱装置

テストブランケットモジュール（TBM）の現状

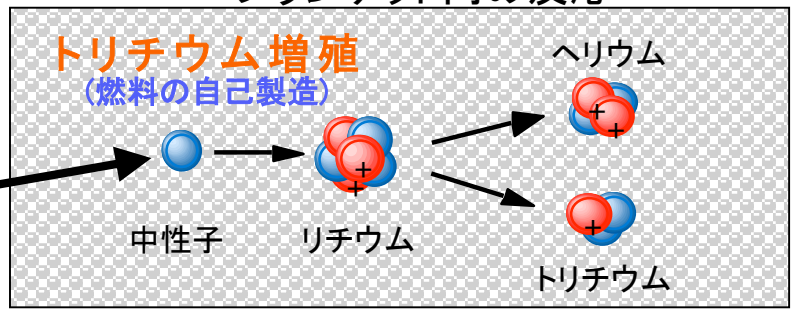
核融合炉とブランケット



プラズマ内の反応



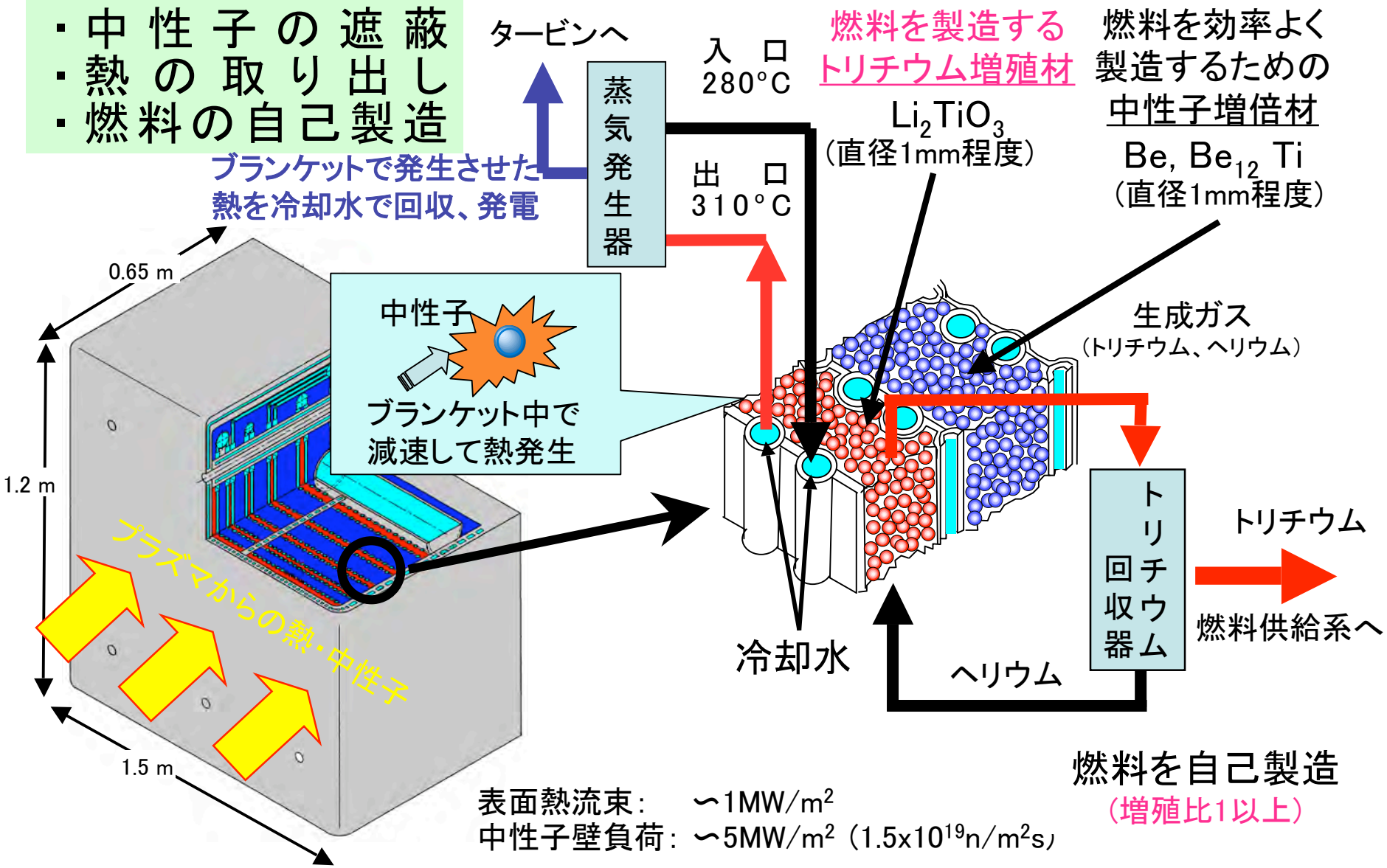
ブランケット内の反応



ブランケットの役割と構造

役割

- 中性子の遮蔽
- 熱の取り出し
- 燃料の自己製造



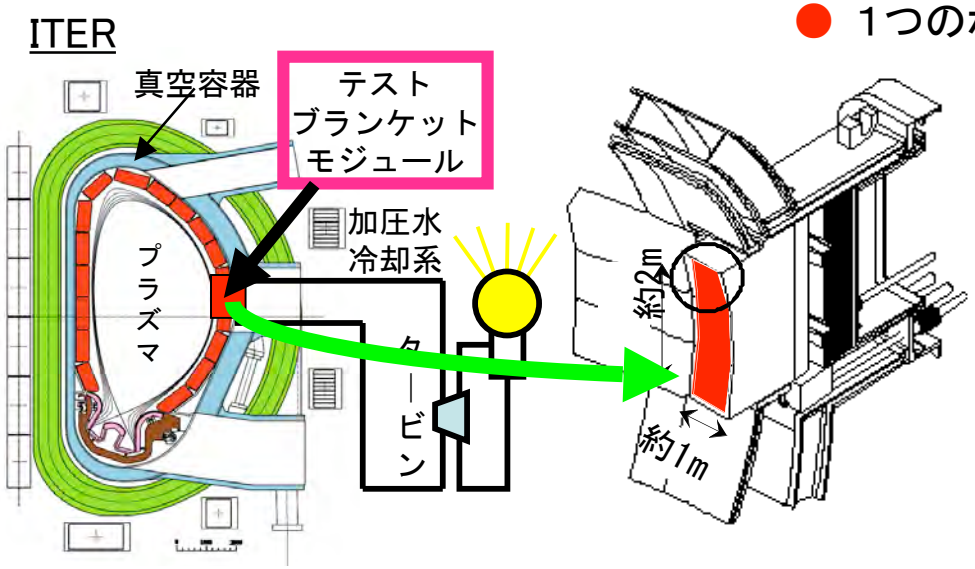
表面熱流束: ~1MW/m^2
中性子壁負荷: ~5MW/m^2 (1.5x10^{19}n/m^2s)

ITERを利用したTBM試験計画

- ブランケットは核融合炉の中核となる機器であり、核融合先進国はそれぞれ独自にブランケット開発を推進。我が国はITER枠外の予算で独自にTBMの研究開発を実施。
- ITERを利用したTBM計画はわが国の方針：第三期科学技術基本計画や「核融合炉ブランケットの研究開発の進め方」（平成12年8月、核融合会議）、「今後の核融合研究開発の推進方策について」（平成17年10月、原子力委員会核融合専門部会）などに明示。
- 工学面では、最も重要なITER利用計画。日本はITERの熱を利用して発電を目指す。原型炉の根幹となる技術で世界をリードする絶好の機会。
  - ITERは各極ブランケット概念の国際コンテストの場
  - 最も優れたブランケットが原型炉以降の世界標準になる可能性

ITERテストブランケット・モジュール計画

- ITERはTBM試験のために3本の水平ポートを準備。
- １つのポートで2体のTBMを試験。最大6体を試験。



開発スケジュール

年度		H27	H31
ITER	建　設		★ 運転
テストブランケット モジュール開発	技術開発	TBM製作・持込	

ITERにおけるTBM計画の経緯

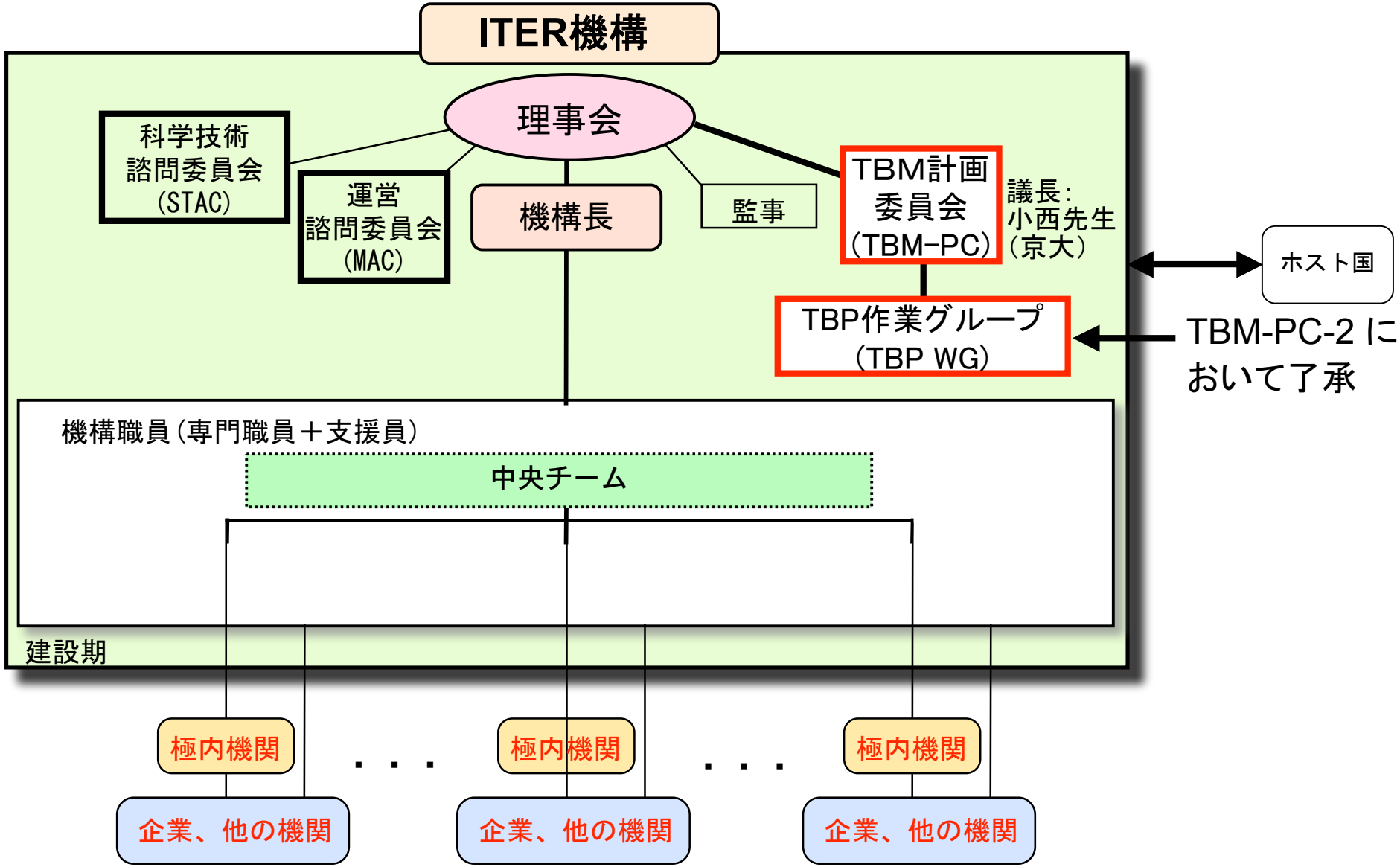
- 平成6年12月、Test Blanket Working Group（TBWG）設置
  - ・現在は、ITER参加7極とITER国際チームで構成
    日本委員ー秋場（JAEA）、田中教授（東大）、榎枝（JAEA）
  - ・ITERを用いて各極が試験を実施するTBMの開発試験計画を***技術的な観点***から国際的に調整・統合

- 平成18年、TBMに関するアドホックグループ（AHG/TBM)設置
  - ・ITER参加各極それぞれ1名の委員と数名の専門家で構成
    日本ー委　員：文科省、
    専門家：文科省、外務省、高津（JAEA）、小西教授（京大）
  - ・TBM計画の法的枠組み、必要な共通設備のコスト分担などTBWGでは判断出来ない***より高度な課題***を検討
  - ・平成20年4月、TBM計画のために常設委員会の設置をIC-2に提案

- 平成20年11月、第3回ITER理事会はTBM計画委員会(TBM-PC)の設置を承認
  - ・TBM計画をITER協定に基づく活動として承認。

- 平成21年3月、第1回TBM計画委員会(TBM-PC-1：議長＝小西(京大))を開催
  - ・ITER参加各極それぞれ1名の委員と3名の専門家で構成
    日本ー 委　員：秋場
    専門家：議題に応じて適宜。
  - ・これまでに5回のTBM-PCを開催。

TBM-PC組織図


ITER機構
理事会
科学技術
諮問委員会
(STAC)
運営
諮問委員会
(MAC)
機構長
監事
TBM計画
委員会
(TBM-PC)
議長:
小西先生
(京大)
ホスト国
TBP作業グループ
(TBP WG)
TBM-PC-2 に
おいて了承
機構職員(専門職員＋支援員)
中央チーム
建設期
極内機関
極内機関
極内機関
企業、他の機関
企業、他の機関
企業、他の機関

実施体制に関する考え方

- 現在のTBMの実施体制は以下のとおり。
  - TBMリード極(TL):IOと"取決め"を締結し、TBMの開発・製作・試験を責任を持って実施。
  - "取決め"締結は概念設計レビュー(2012年)の実施条件。
  - ポート・マスター極(PM):同一ポートの2体のTBM間の技術的取合の調整
  - TBMパートナー極(TP):TBMリード極となんらかの"Arrangement"を締結してTBM計画に協力・参加
- 我が国の立場:
  - TBM作業会*1で全日本的に対応。実施体制案を支持。
  - 我が国の主案である固体増殖／水冷却TBMのリード極となる意志がある。
  - 当該ポートのポートマスターになる意志がある。
  - 固体増殖／ヘリウム冷却TBM、液体リチウム鉛増殖／ヘリウム冷却TBM、液体リチウム自己冷却(またはヘリウム冷却)TBMについては、我が国はパートナーとして参加する意志がある。
  - 我が国大学が開発を進めている溶融塩増殖・冷却TBMについてはITER運転の後半に試験する計画をもっている。

*1:核融合フォーラムと核融合ネットワークの合同組織

合意されたポート分担

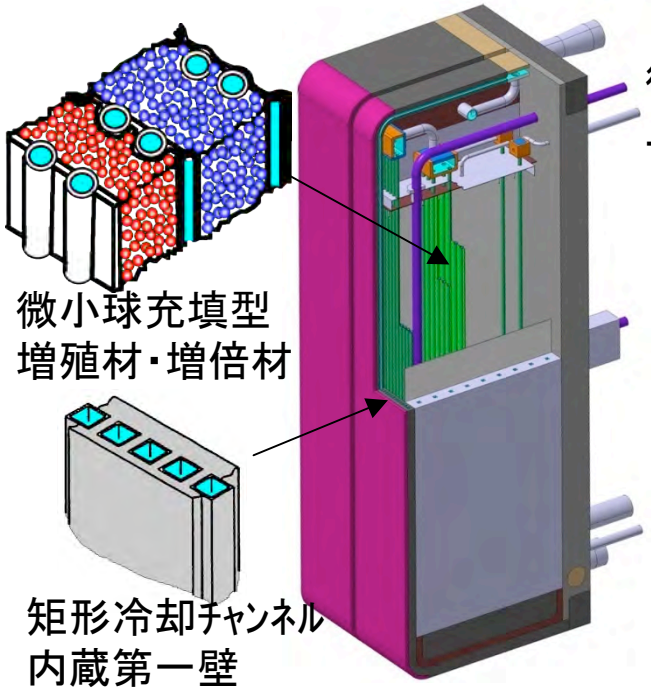
- 現在のポート分担案は以下の通り。
- TBMの開発・設計・製作・据付・試験を主導するTBMリード極、2つのTBM間の技術的取合調整をおこなうポート・マスター極もあわせて示す。

ポート#	ポート・マスター	TBM 概念とリード極	TBM 概念とリード極
16	EU	固体増殖・He冷却 (EU) HCPB	LiPb増殖・He冷却 (EU) HCLL
18	日本	固体増殖・水冷却 (日本) WCCB	液体増殖・He冷却(米 (韓国))* DCLL
2	中国	固体増殖・He冷却(中国) HCCB	LiPb固体増殖・He冷却 (印度) LLCB

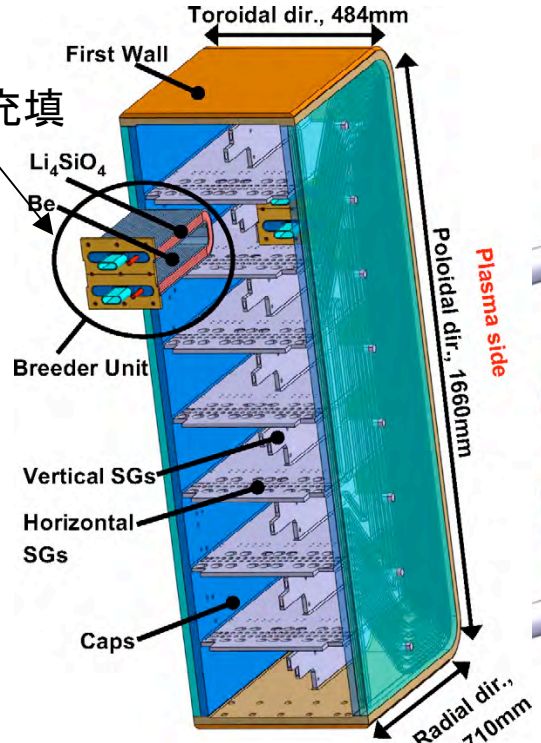
＊）　米国、韓国は、当面、TBMのリード極となることをコミット出来ないが、将来リード極となる可能性を保持したい、と主張。その結果、TBMを持込ことをコミットしないが、ポートやITER本体との取合設計に情報を提供するInterface Coordinatorとして参加している。但し、2011/5月のTBM-PCで韓国が固体増殖・He冷却(HCPB)TBMのリード極になる意志があることを表明したため、韓国のHCPBと米国のDCLLが競合する状況となっている。

日本のTBMと他極のTBM

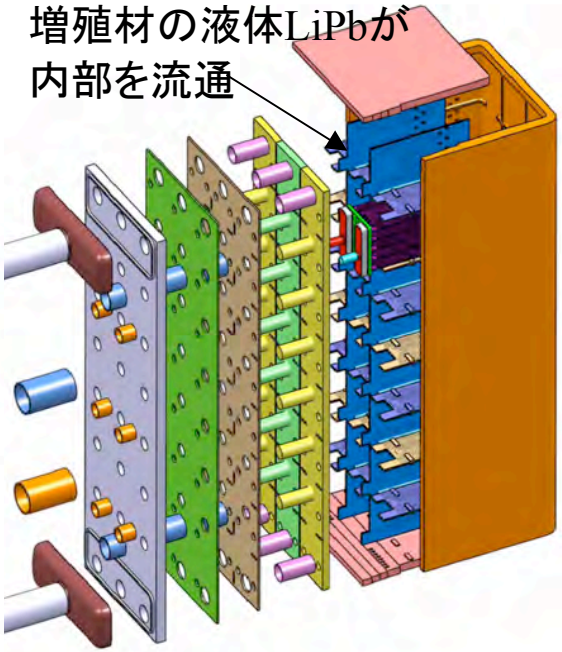
- 原子力委員会核融合専門部会が平成17年10月に策定した「今後の核融合研究開発の推進方策について」は日本の原型炉として「・・・ITER程度の炉心寸法で高い出力密度を得ることが最も重要・・・」という方針を提示。
  - 第一壁の表面熱負荷：約1MW/m^2
  - この高熱負荷を除熱するために水冷却を採用。原型炉の発電効率は約30%を想定。
  - 日本のTBMは、ITERのTBMのなかで唯一発電が可能（約100kW）
- EUなど他極は、ITERの1.5倍ほどの炉心寸法を想定しているため第一壁の表面熱負荷は約0.5MW/m^{2}で、ヘリウムガス冷却を採用。但し原型炉の発電効率は約20%と低い。



日本提案の水冷却
固体増殖TBM

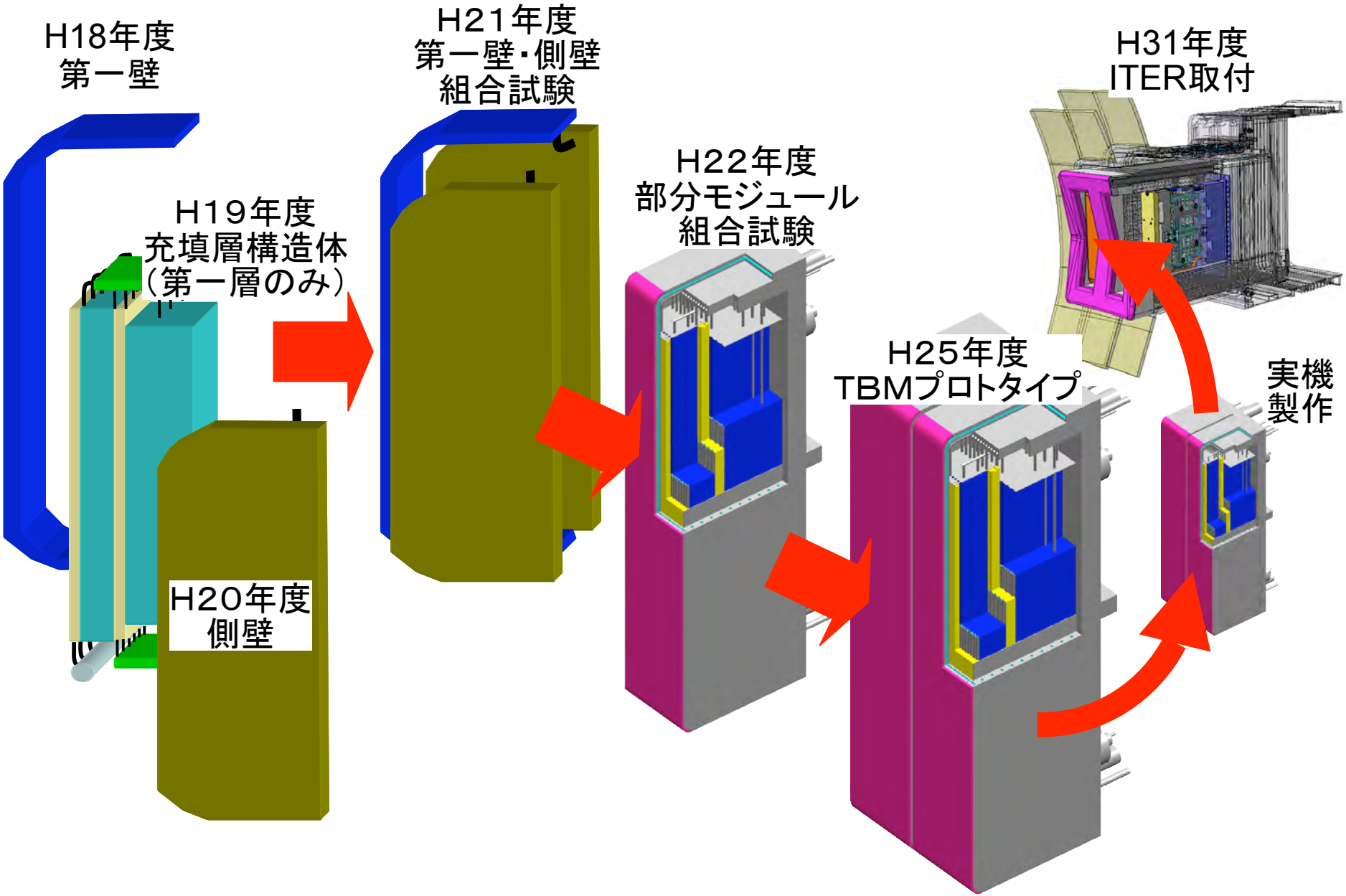


EU提案のヘリウム冷却
固体増殖TBM

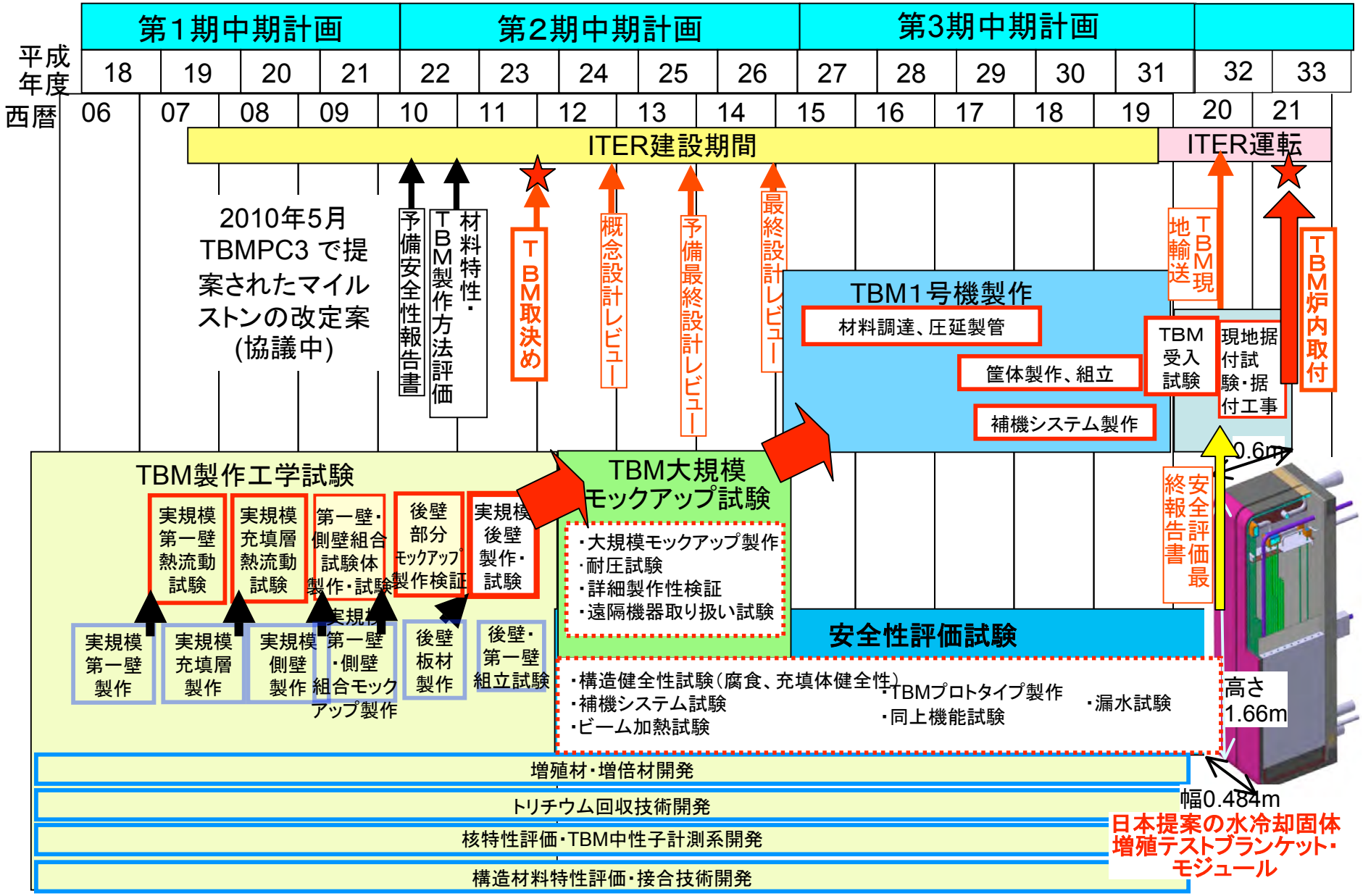


EU提案のヘリウム冷却
液体リチウム鉛増殖TBM

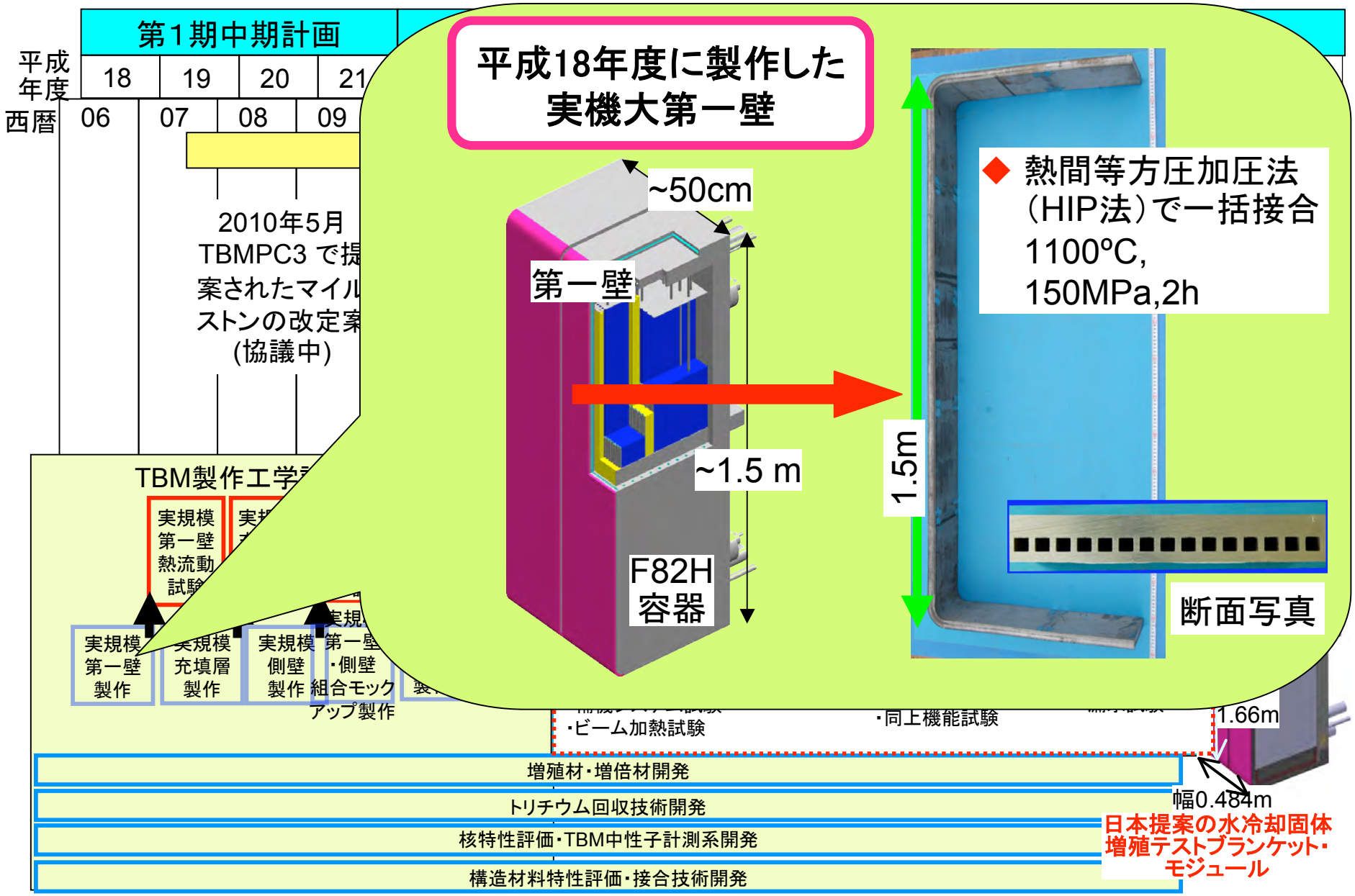
テストブランケット・モジュール(TBM)の開発戦略



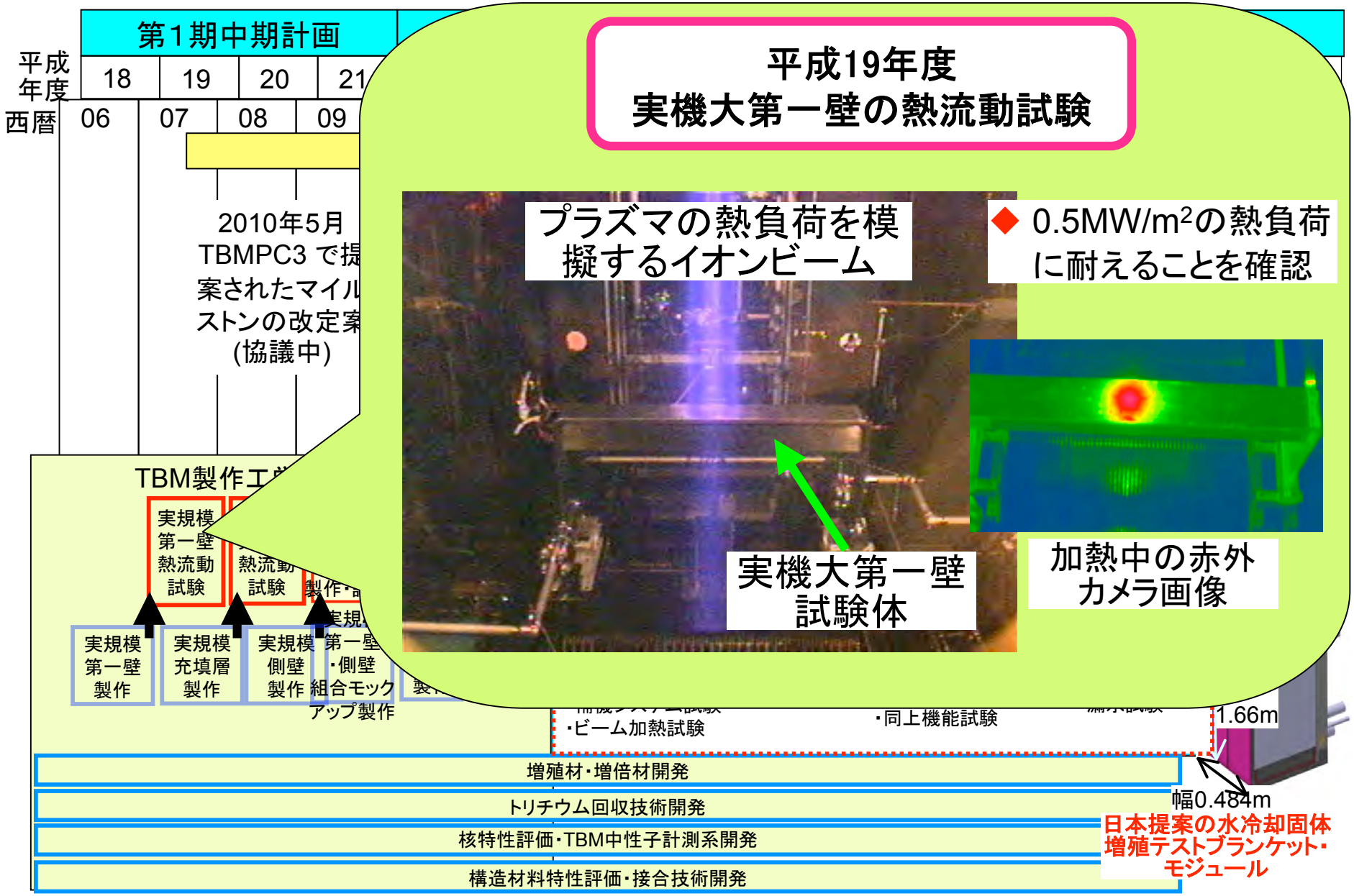
TBM試験に向けたR&Dの展開(1)



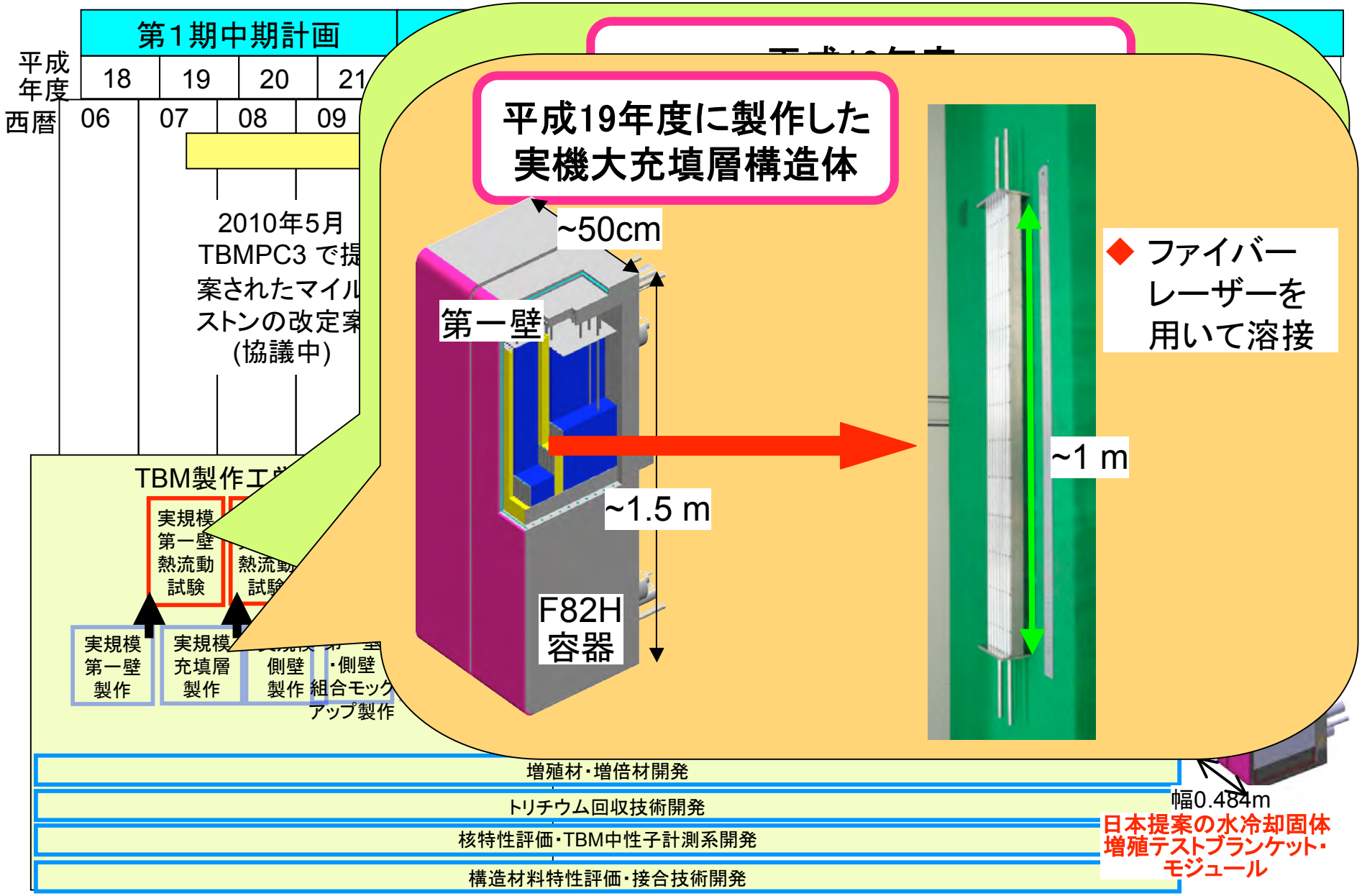
TBM試験に向けたR&Dの展開(2)



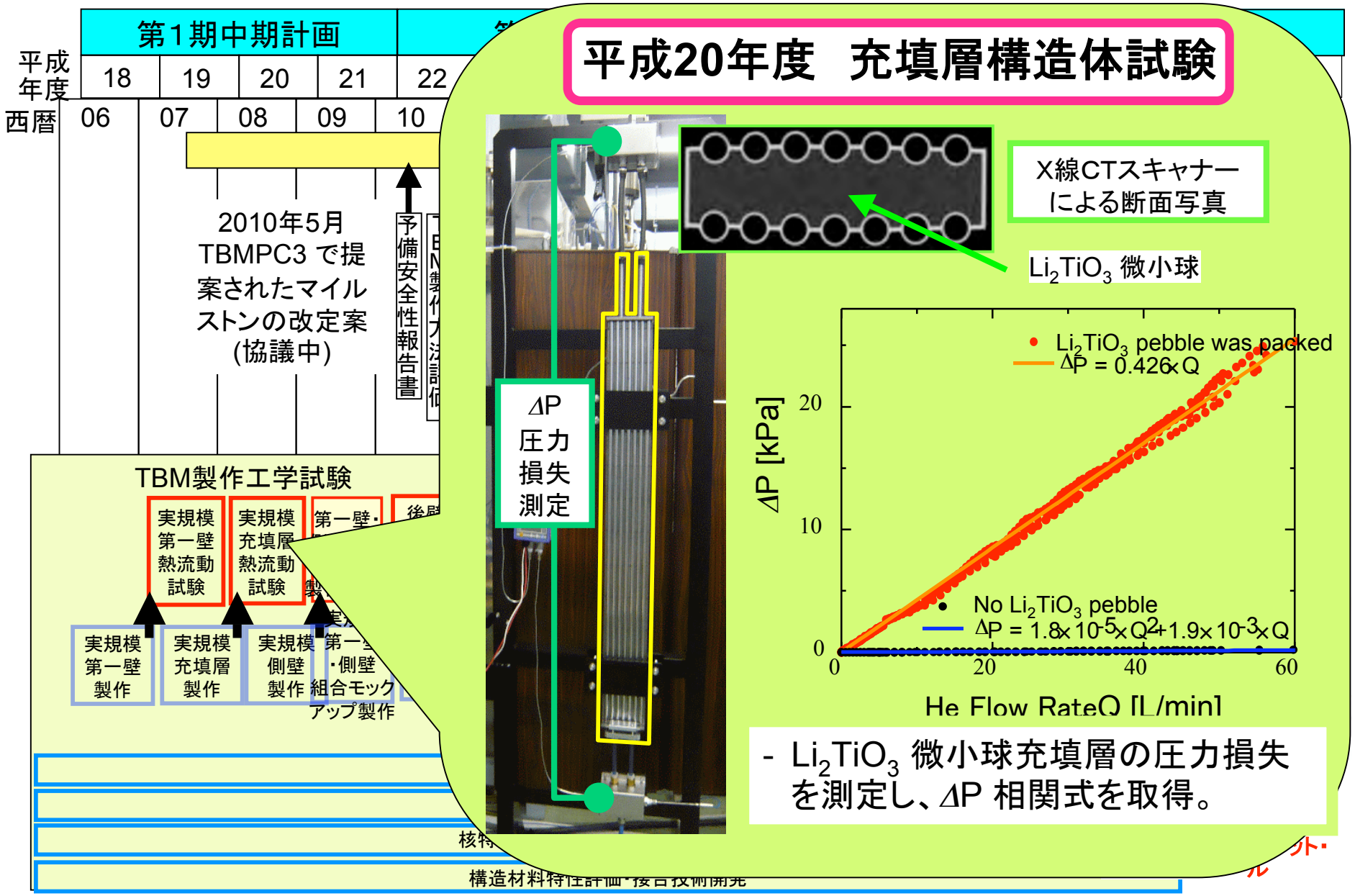
TBM試験に向けたR&Dの展開(3)



TBM試験に向けたR&Dの展開(4)



TBM試験に向けたR&Dの展開(5)



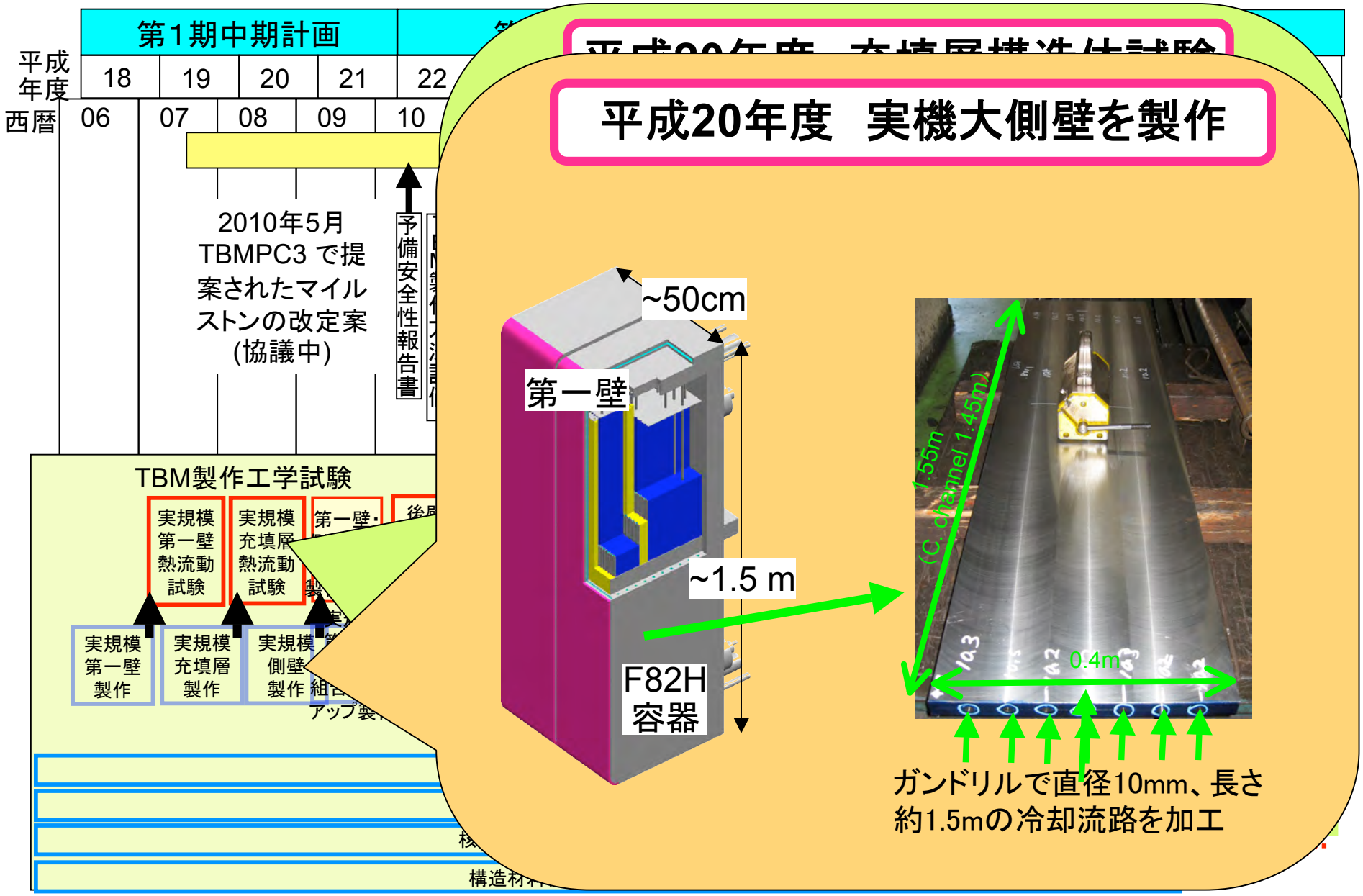
平成20年度　充填層構造体試験

X線CTスキャナー
による断面写真

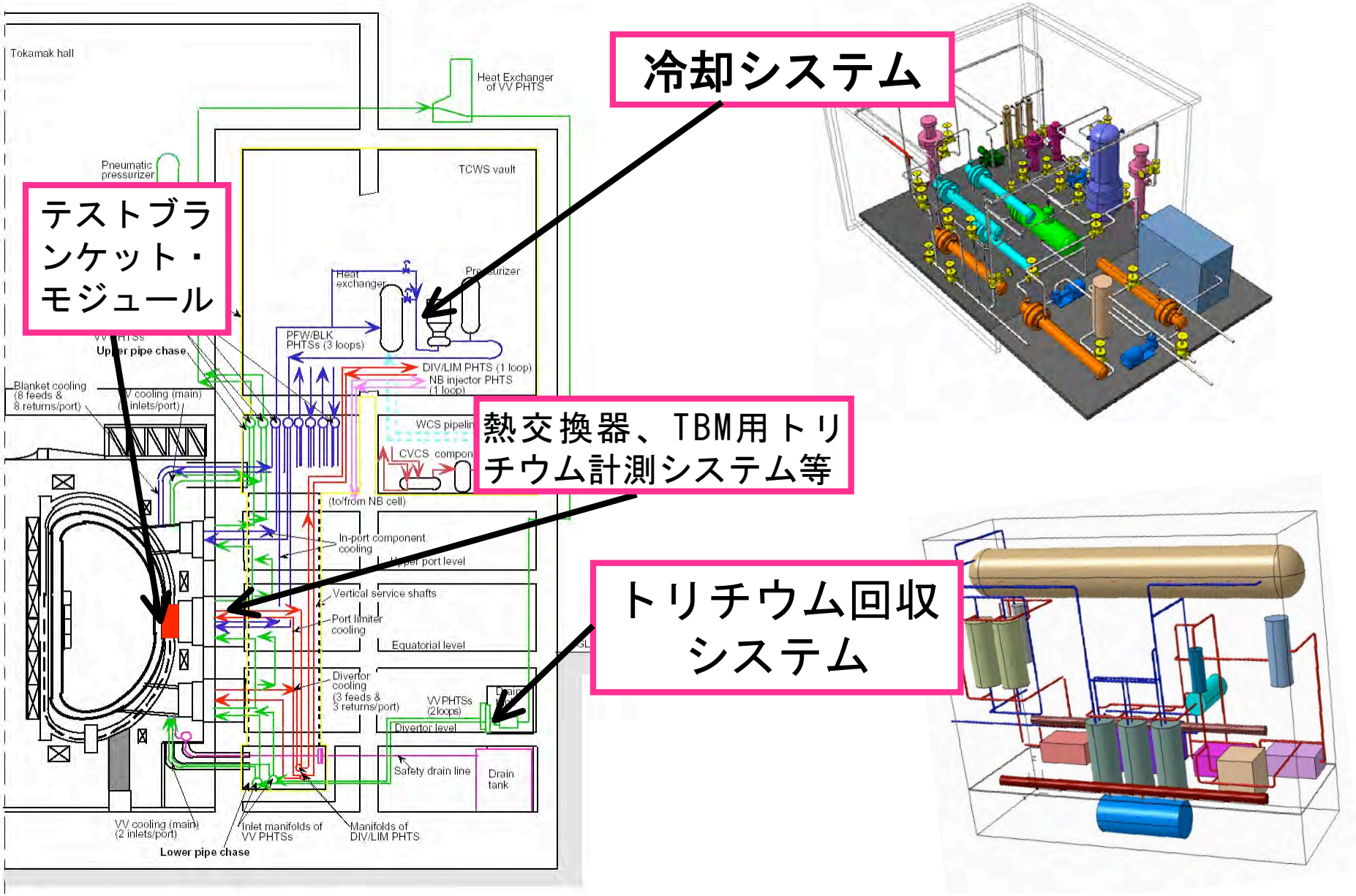
Li_2TiO_3 微小球

- Li_2TiO_3 微小球充填層の圧力損失を測定し、ΔP 相関式を取得。

TBM試験に向けたR&Dの展開(6)



リード極が製作する主なTBMシステム



TBM計画の現状
―第5回TBM計画委員会(TBM-PC-5)の状況―

- 開催日時・場所：平成23年5月12-13日、カダラッシュシャトー
- 主な参加者：26名

所属	委員及び専門家
議長	小西教授、技術秘書 L. Giancarli（ITER機構）
ITER機構	本島機構長、Champbell副機構長補佐、H. Tuinder、他
中国	委員：C. Pan(SWIP)、専門家 K. Feng, S. Liu, D. Luo, Y. Wu
EU	委員：M. Pick（欧州委員会）、専門家：Yves Poitevin, J. How
インド	委員：A.K. Suri、専門家：A. Srivastava, R.K. Ellapan
日本	委員：秋場(JAEA)、専門家：鶴（文科省）
韓国	委員：E.J. Lee (教育科学部)、専門家：S. Cho, B.G. Hong
ロシア	委員：A.Kalashnikov、専門家：Y.Strebkov, D. Obukohov, V. Belyakov, V. Khripunov
米国	委員:J.Glowienka(DOE)、専門家: M.Abdou, R.Goldston, M. Hechler

「TBMに関する取決め」のひな型に関する主な議論

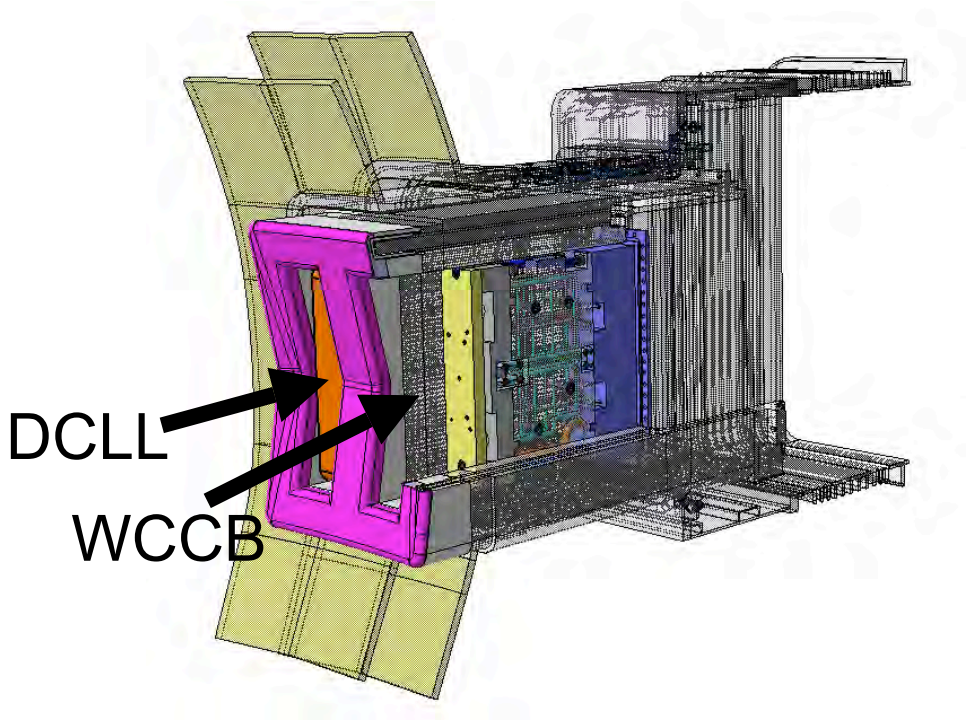
- 今回、ITER機構は各極のコメントを反映した「TBMに関する取決め」のひな型の案を提出。
- 主な成果：
  - 本取決めは、ITER理事会がITER機構とTBMリード極の間で締結することを定めたもの。
  - TBMに関する設計、製作、持ち込み、据え付け、試験および撤去にかかる権利義務関係を具体的に定めるもの。
  - 各極は、本取決めは極レベルのコミットが必要であるという認識を共有。
  - 今回、ITER機構が提案したTBM取決めのひな形について大筋では妥当なものであることを確認。
  - 今後、各極とITER機構はこのひな形に必要な修正（知財、賠償責任、廃棄物責任など）を加え、次回ITER理事会の承認を得る予定。
  - その後、各極とITER機構はひな型に基づいて個別の取決めをとりまとめる。
  - なお、TBMにかかる知的財産についてはITER協定の知的財産に関する付属書に従うことを確認したが、韓国は、TBMをITERに取付ける前や照射後の試験データにかかる知的財産の考え方について異なる見解を示したため、あわせてITER理事会に報告。
  - ITER理事会は、上記報告に留意し、IP問題等については理事会と相談の上専門家による検討により次回TBMPCまでにMACを通して報告す ることをDGに要請した。その結果を含め、TBMPCは次回会合でひな形を確定する。

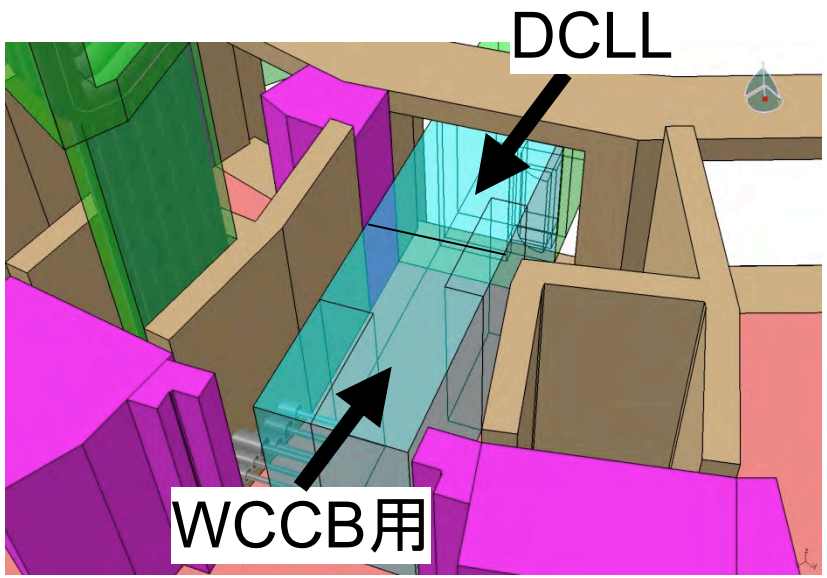
TBMに関するその他の設計進捗状況

1. 予備安全性評価報告書の取りまとめ・改訂
   - 昨年12月に第1案を提出し、ITER機構(IO)のコメントに基づき改訂中。
2. ポートセル内の機器配置の統合
   - ITER機構およびUS等と調整しながら機器配置設計を実施。
3. 水冷却固体増殖TBMと中央インターロックシステム(CIS)、中央安全システム(CSS)との取合調整に着手。

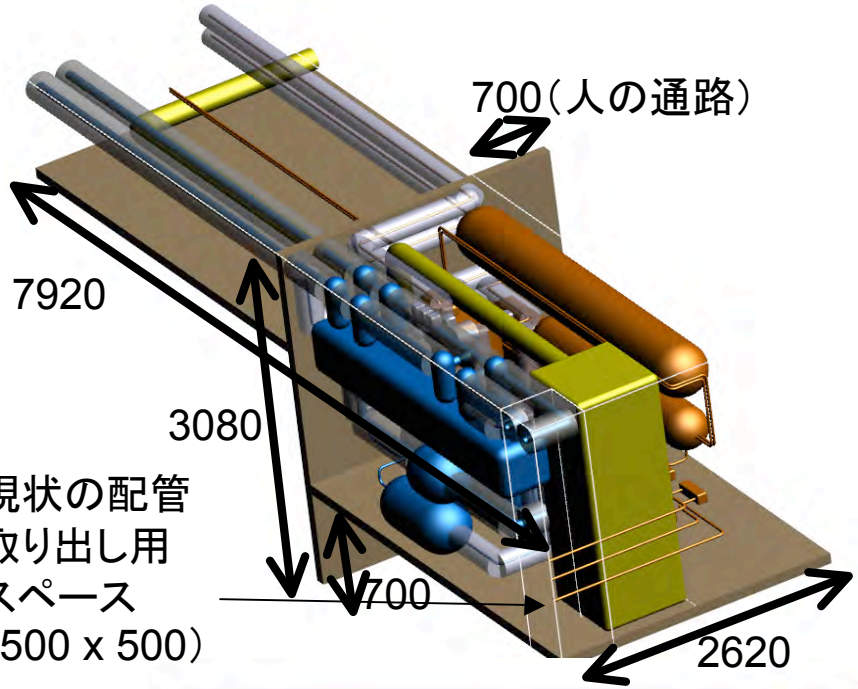
2. ポートセル内の機器配置計画の統合の状況

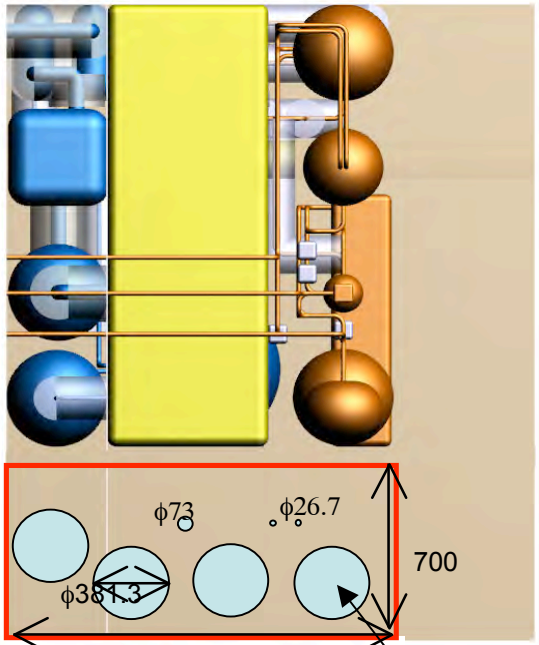
1. TBM設置位置
   プラズマ側から見て
   DCLL; 左　　WCCB; 右
2. ポートセル内機器の設置場所
   前方に日本、後方にDCLL(US)を基本として機器配置計画を検討。
   交換作業者の通路、トランスポーター（高さ600mm）の装着部分、配管の取り外し部分等を考慮した空間に配置。

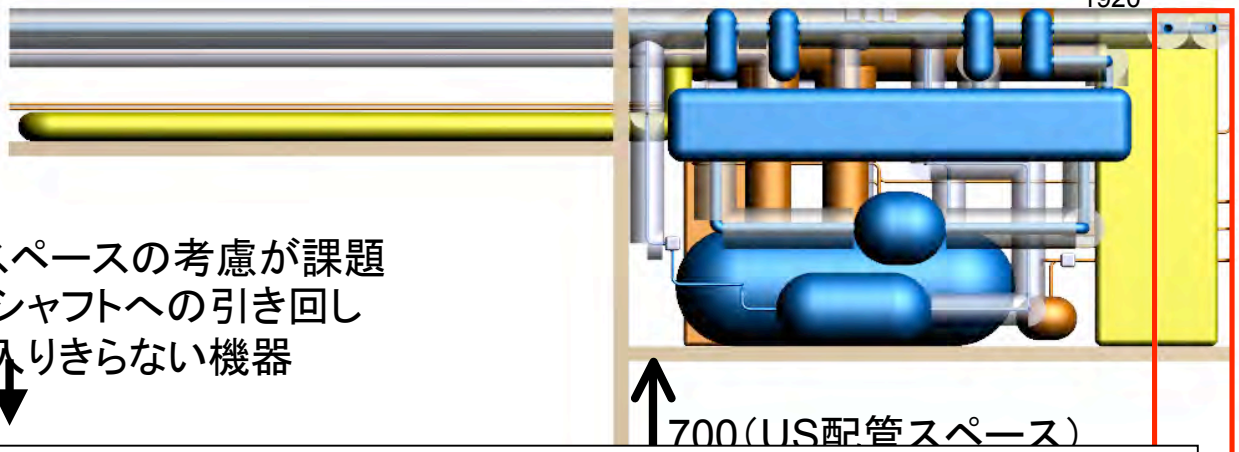




ポートセルレイアウト改定現状







さらに以下のスペースの考慮が課題
・USの配管のシャフトへの引き回し
・USの機器で入りきらない機器

冷却システムの詳細設計を実施。USと調整を継続。

ま　と　め

１．「TBMに関する取決め」のひな型については次回ITER理事会までに知的財産などについて再検討した結果を反映して取りまとめることとなった。

２．TBMの設計に関しては、予備安全性評価報告書へのIOコメントにもとづき、報告書の改訂を進めるとともに、ポートセル内の機器配置の見直しを実施。

３．水冷却固体増殖TBMとITER中央インターロック制御システム（CIS）、中央安全システム（CSS）との信号取合の検討に着手。