

核融合エネルギー 取り出し技術の 進展と展望

国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構（量研）

量子エネルギー部門 六ヶ所研究所

ブランケット研究開発部

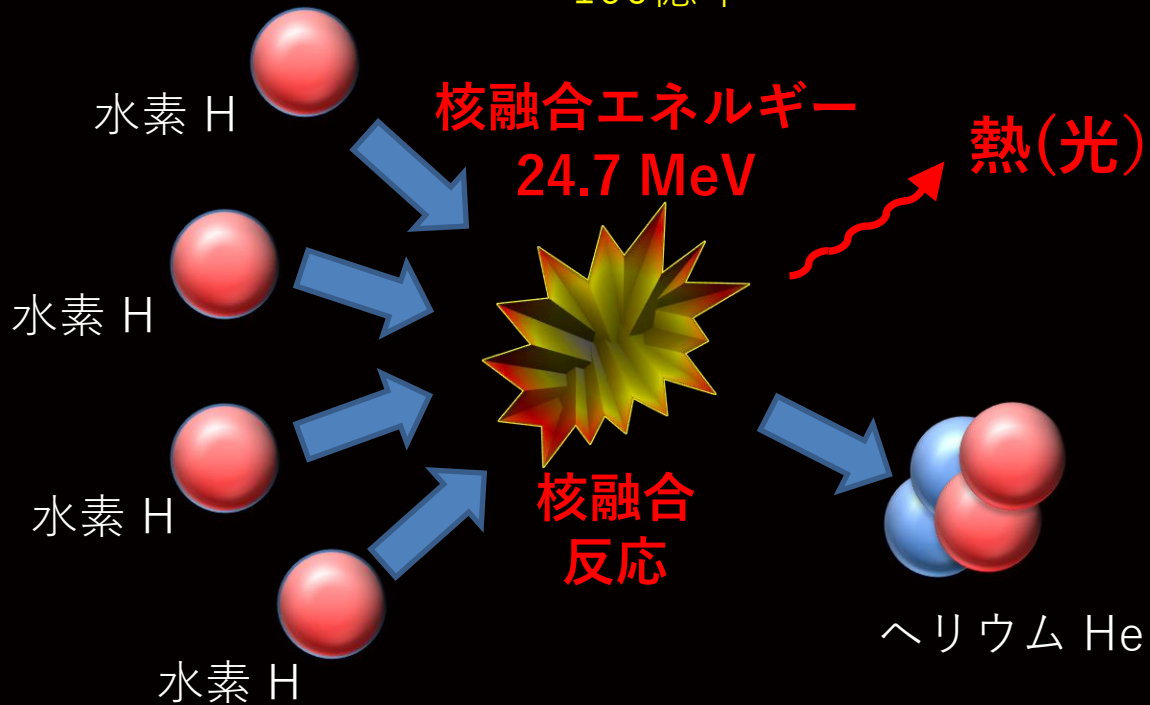
谷川 博康

5th Anniversary
QST

太陽でおこっている核融合反応

Fusion reactions in the sun

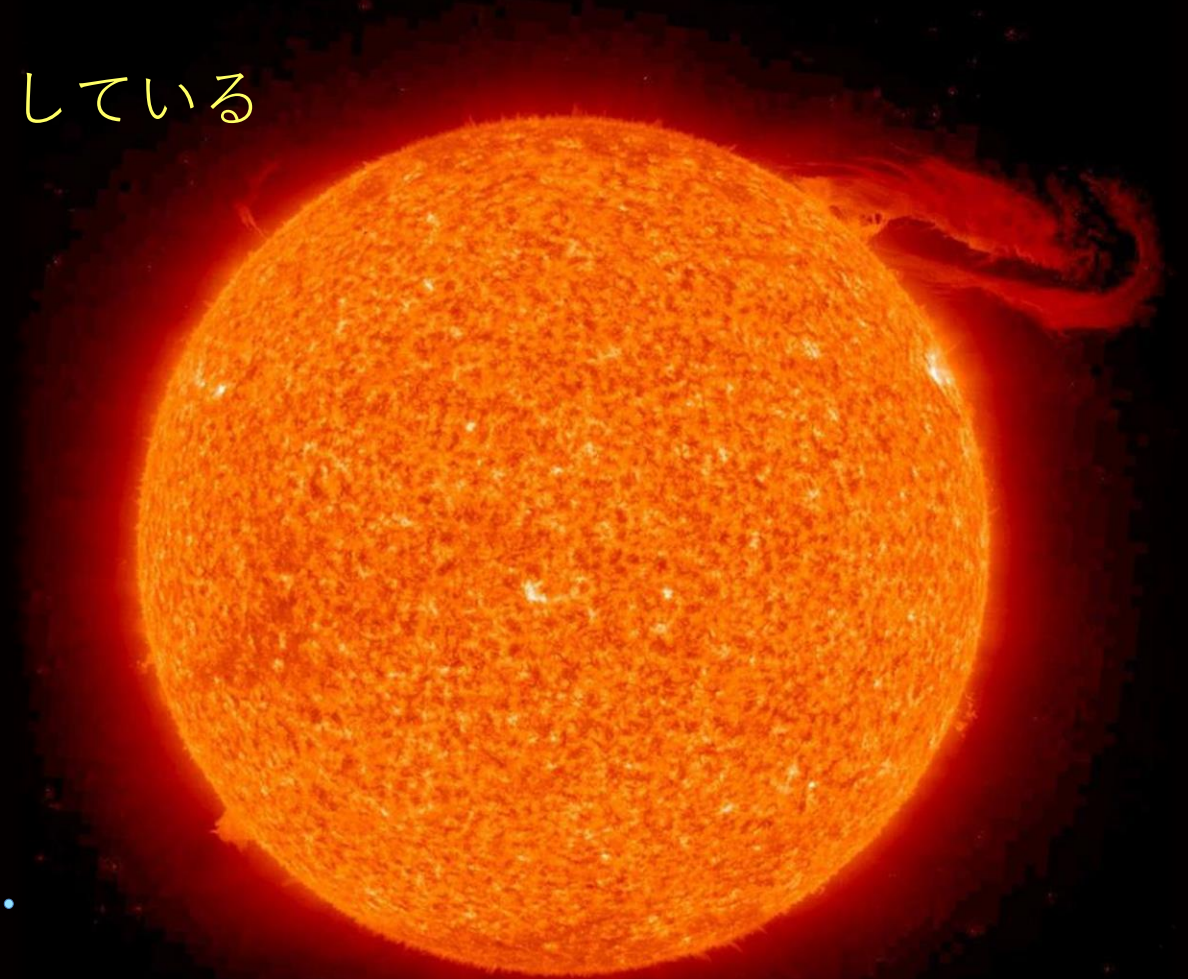
4つの水素が長時間かけて核融合反応を起こしている
～100億年



太陽の核融合エネルギー

百万kW級発電所 × 2億機分の熱として地球に届く
= ~1400W(電気ストーブ1台分) /m²

地球のサイズ



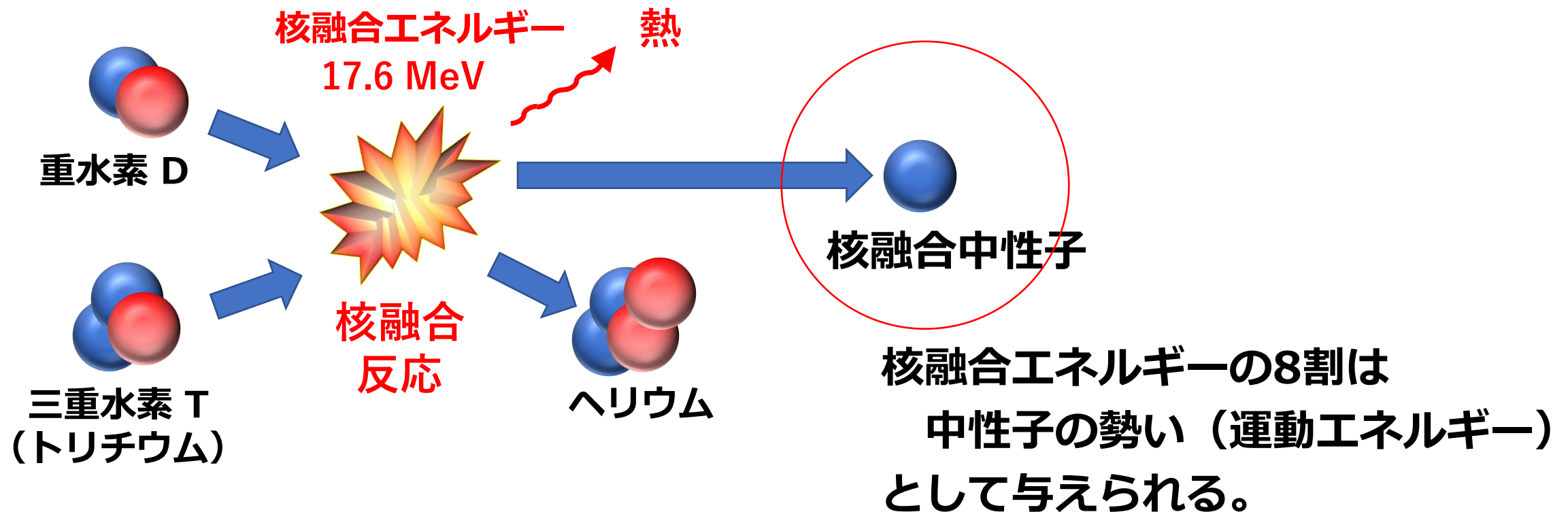
直径：140万km (地球の109倍)

磁場閉じ込め核融合で実現を目指す核融合反応

Fusion reactions achieved by magnetic confinement fusion

重水素－三重水素（D-T反応）

最も反応しやすく、実現可能性が高い核融合反応



核融合エネルギーの取り出し方

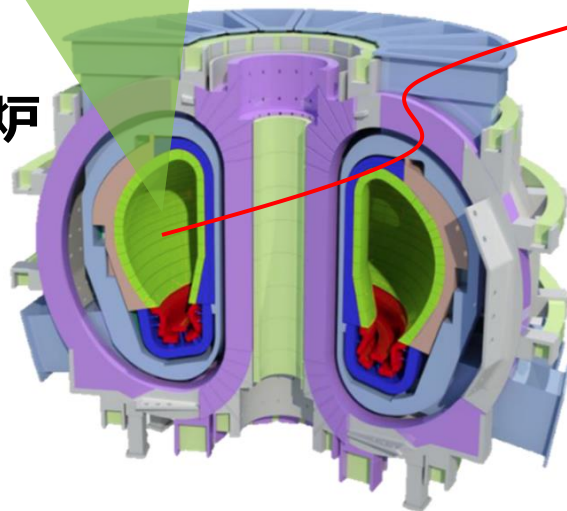
How to extract fusion energy

ブランケット

核融合炉の一番内側で、
ドーナツ状のプラズマを
隙間なく取り囲むように
配置される機器。

その様子が、熱源を包み込む
毛布を思い起こさせることか
らついた名前

原型炉



ブランケットでプラズマから飛び出す中性子
を止めて熱に変える

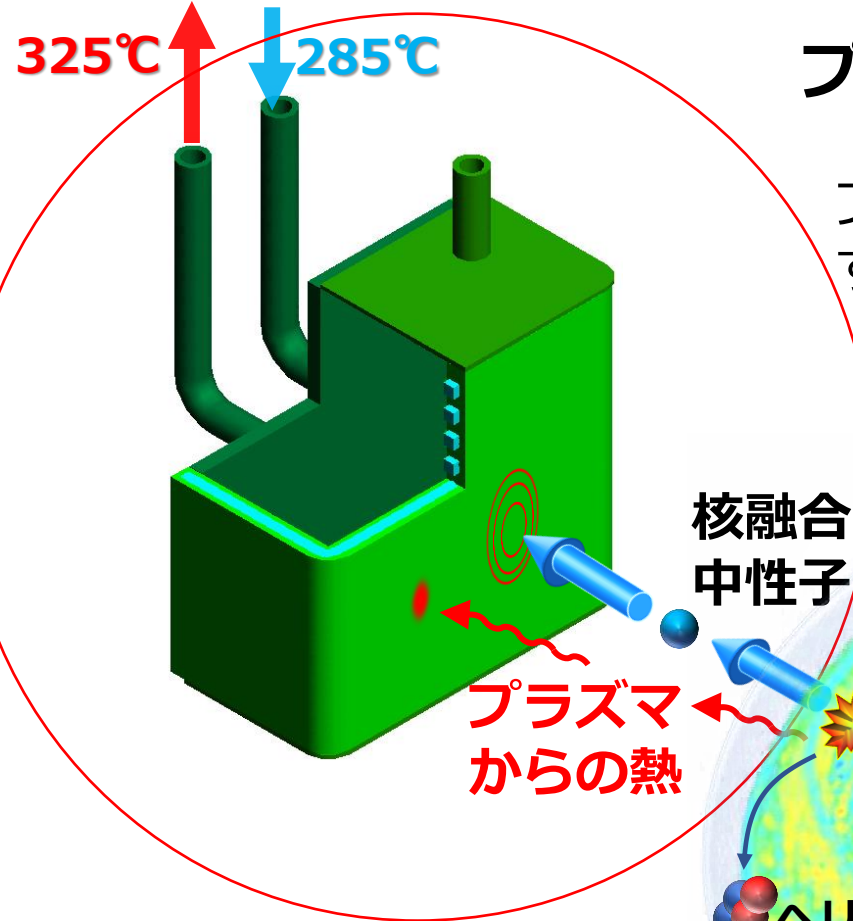
+

プラズマの熱を受け止める

ブランケットを高温高压水で冷却
することで熱として運び出す。

→ タービンを回して発電

高温高压水
(~150気圧)
325℃ ↑ 285℃ ↓



核融合
中性子

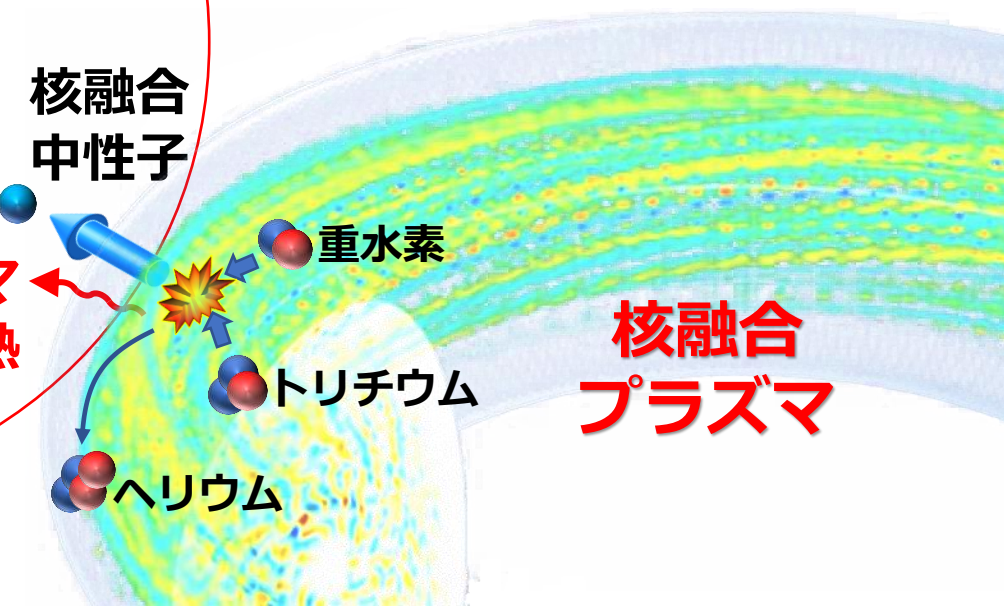
プラズマ
からの熱

重水素

トリチウム

ヘリウム

核融合
プラズマ



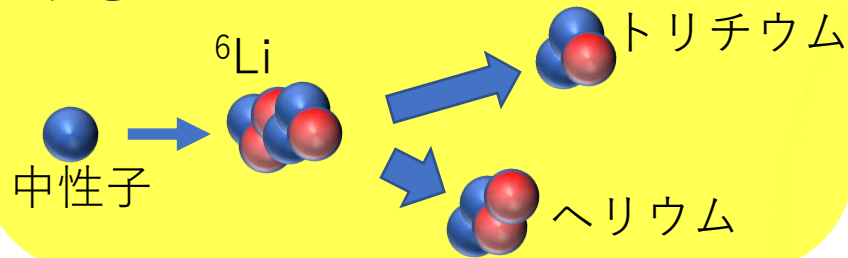
ブランケットのもう一つの重要な機能

Another important function of fusion blanket

燃料増殖材

リチウムセラミックス (Li_2TiO_3 等)

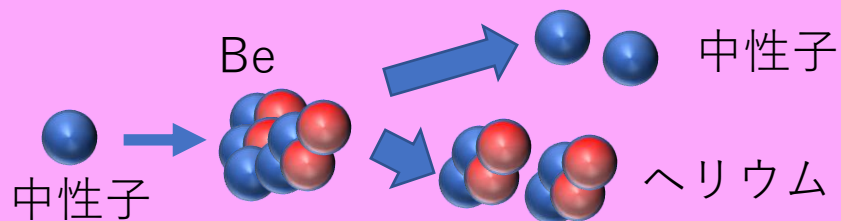
中性子をリチウム (${}^6\text{Li}$) に
当てることでトリチウムを生成
する



中性子増倍材

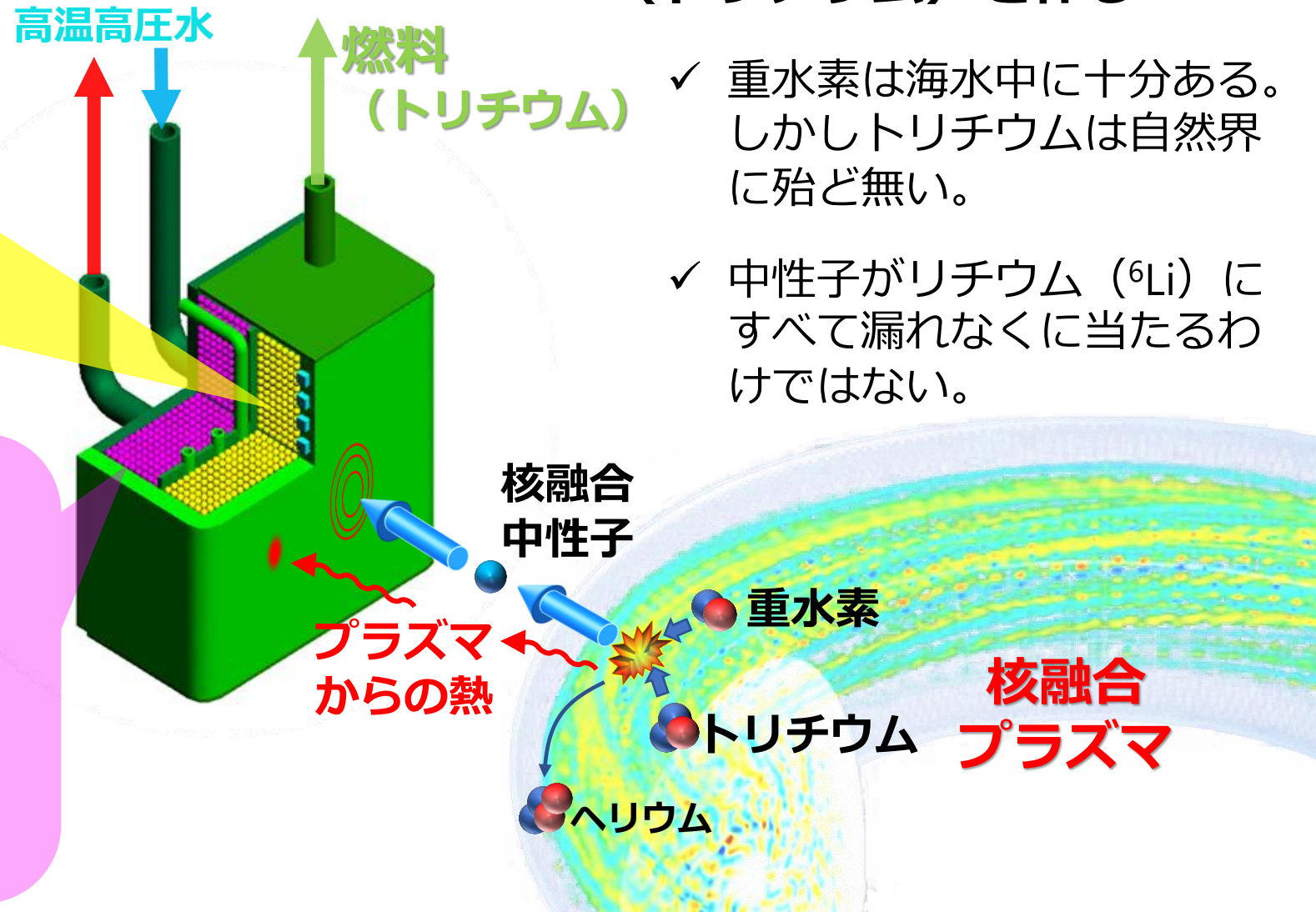
金属ベリリウム、ベリライド (Be_{12}Ti 等)

中性子をベリリウム (Be) に当てる
ことで、中性子の数を倍にする



ブランケットで 燃やした分の燃料 (トリチウム) を作る

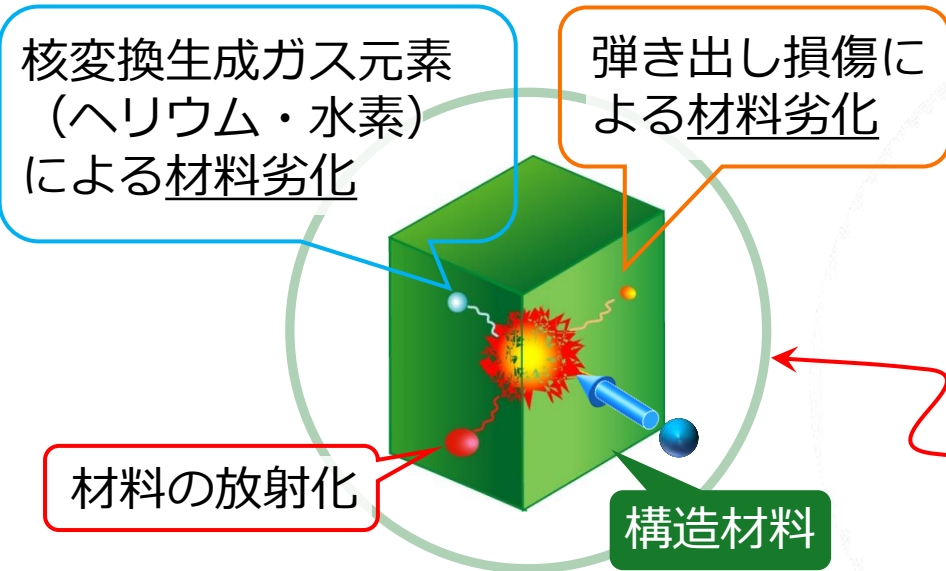
- ✓ 重水素は海水中に十分ある。
しかしトリチウムは自然界
に殆ど無い。
- ✓ 中性子がリチウム (${}^6\text{Li}$) に
すべて漏れなく当たるわ
けではない。



ブランケット開発の難しさ

Difficulties in fusion blanket development

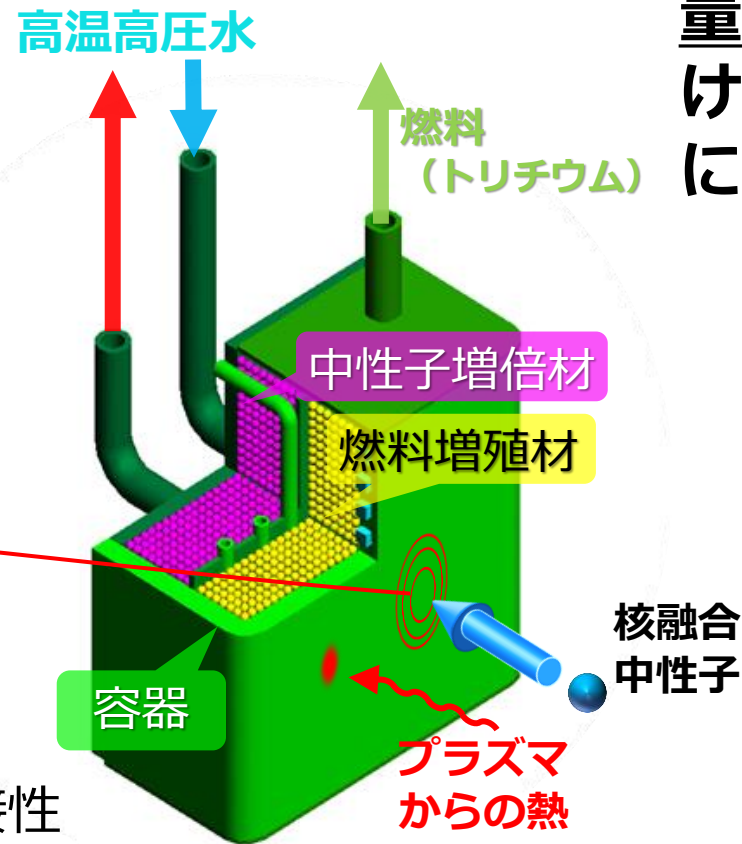
**ブランケットの容器には必ず
核融合中性子が当たる。**



低放射化フェライト鋼 (F82H)

✓ 低放射化、高温強度、製作性、溶接性
に加え耐照射性にも見通しがある材料

**！ 核融合中性子照射により構造材料が劣化
することを完全に防ぐことは困難**



**燃料（トリチウム）を使った
量だけ作るためには、出来だ
け多くの中性子が燃料増殖材
に当たる必要がある。**

トリチウムを必要量作るために
容器の壁を薄くし、同時に
内部に壁を程よく設置して、
中性子増倍材と燃料増殖材
を最適な位置に配置したい。

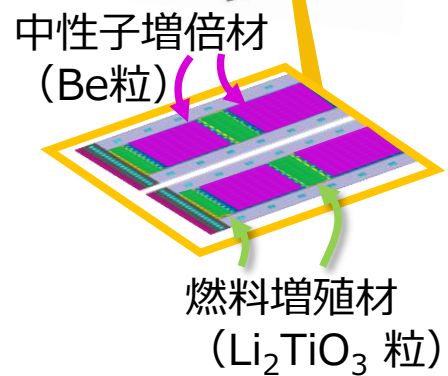
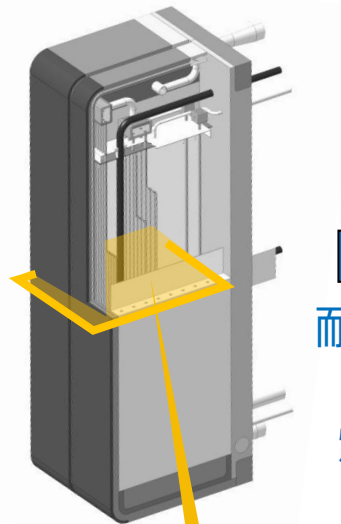
材料が劣化しても壊れにくくするために
容器の壁を分厚くし、構造を簡素にして
溶接点を出来るだけ減らしたい。

原型炉ブランケット設計の展望

Perspectives on DEMO blanket design development

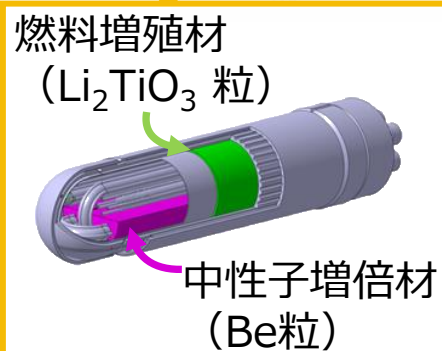
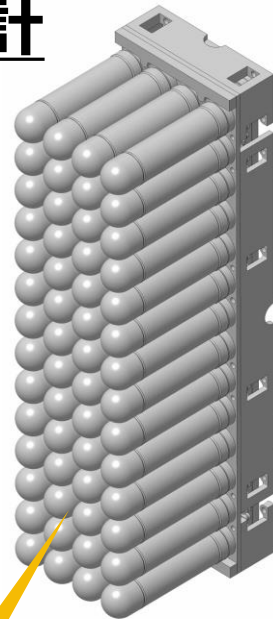
容器の壁がより薄く、しかし耐圧性に優れ、溶接箇所が出来るだけ少ない、破損しにくい、シンプルで強固な構造をもつブランケット設計を追求

旧設計 箱型多層



現在の設計 円筒型

容器の壁を
より薄く
→
耐圧性を向上
+
燃料生成を
高効率化

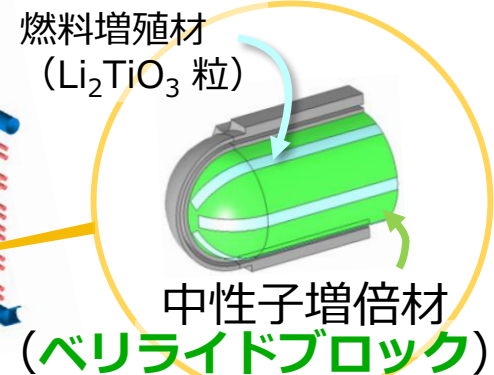
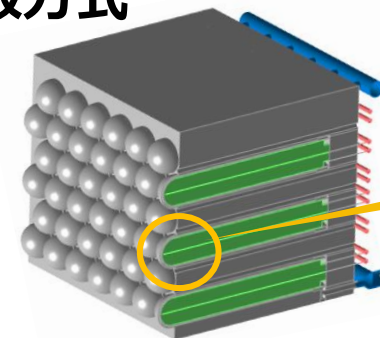


開発中の設計 中性子増倍材にベリライド(Be₁₂Ti 等)を採用

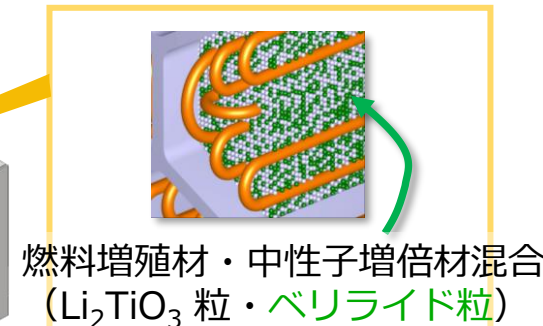
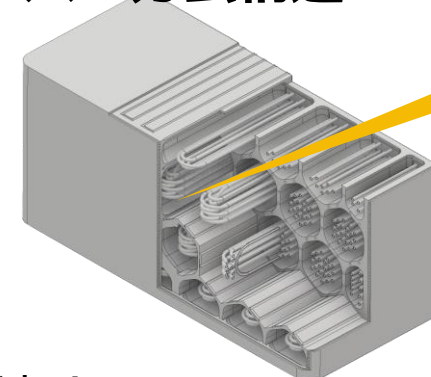
溶接部を減らす

燃料生成を高効率化

管板方式



ハニカム構造



溶接無しで
製作する

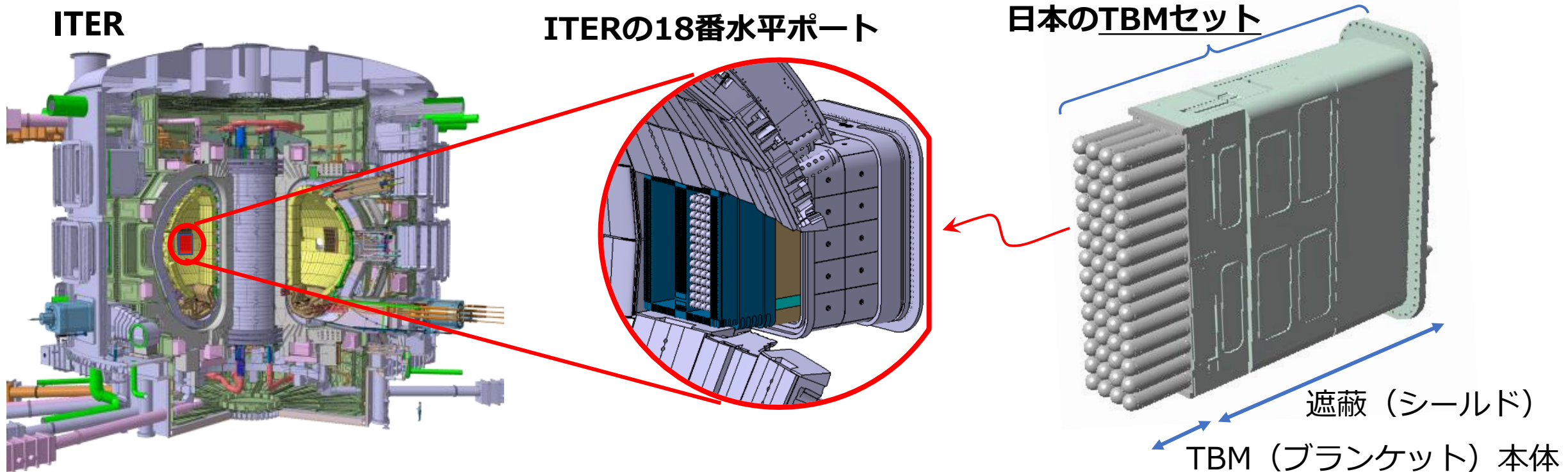
熱間等方圧加圧法 (HIP : Hot Isostatic Pressing) による製作

ITER-TBM (Test Blanket Module) 計画

ITER-TBM Program

核融合実験炉イーターの炉内に「テストブランケットモジュール (TBM: Test Blanket Module)」を設置して行う試験計画

- 各国が独自のアイデアを詰込んだブランケットシステムをイーターに持込み、将来の発電実証を行う原型炉のブランケット方式の優劣を競う



TBMシステムは原型炉のミニチュアプラント

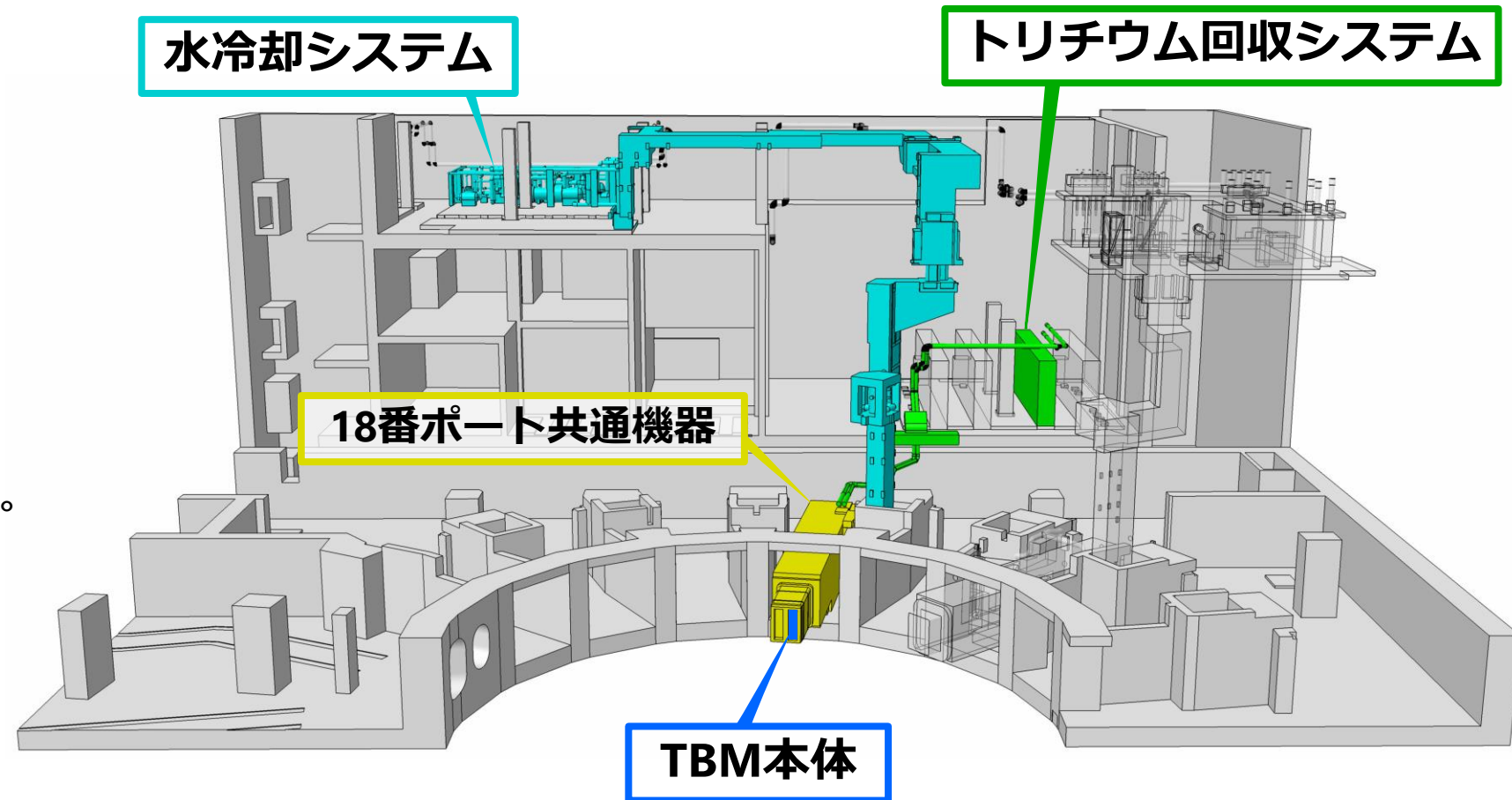
TBM System is a miniaturized plant of DEMO reactor

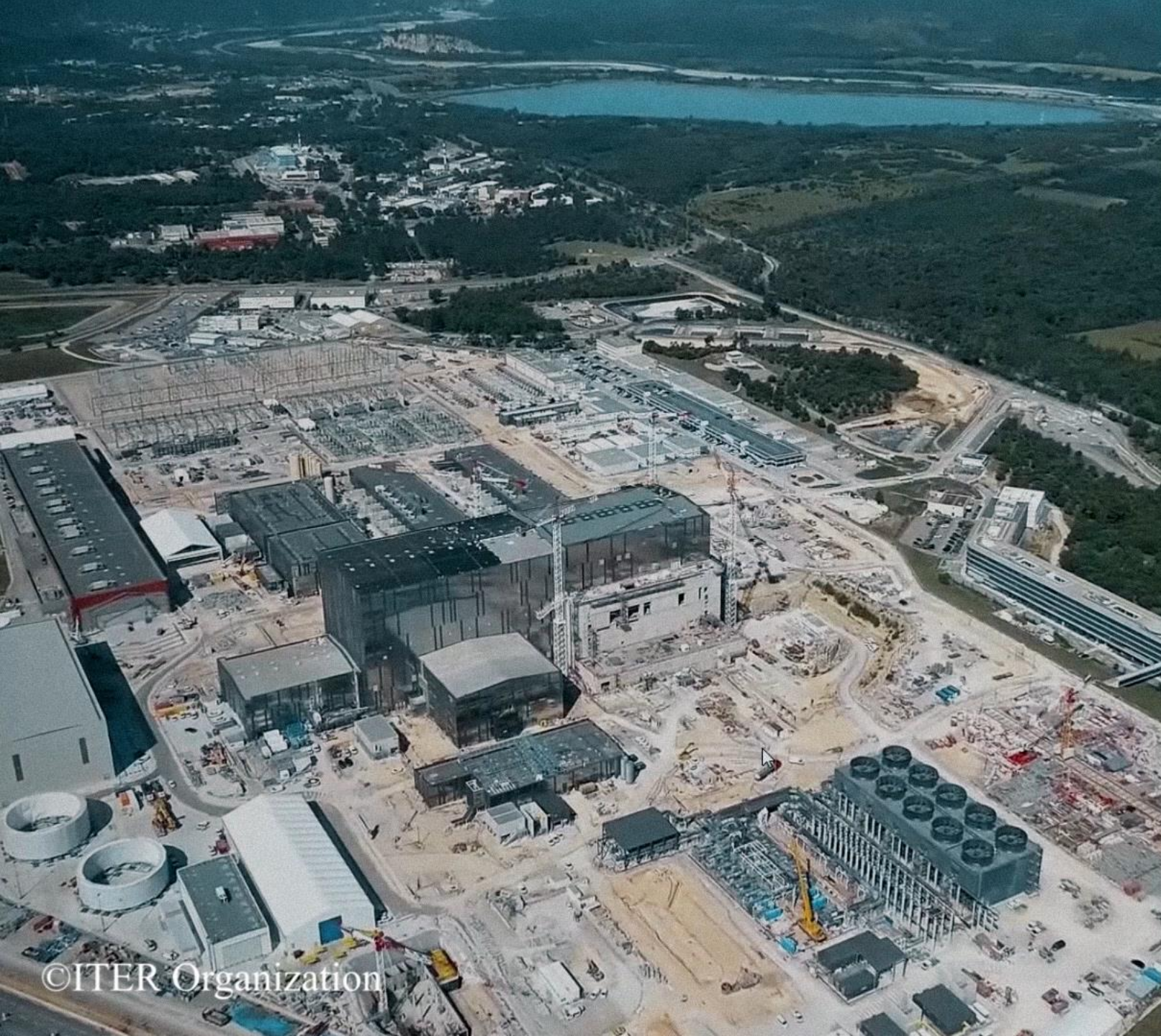
TBM計画は、ITER炉内を利用した、世界初となる核融合炉内実環境試験の機会となる。

想定している実環境試験

- ① TBM本体の核融合炉内環境下における構造の健全性および信頼性を確認する。
- ② ブランケットの機能を確認する。
- ③ 水冷却システム、トリチウム回収システムを備えた、原型炉のミニチュアプラントとしての信頼性を確認する。

TBMシステム全容



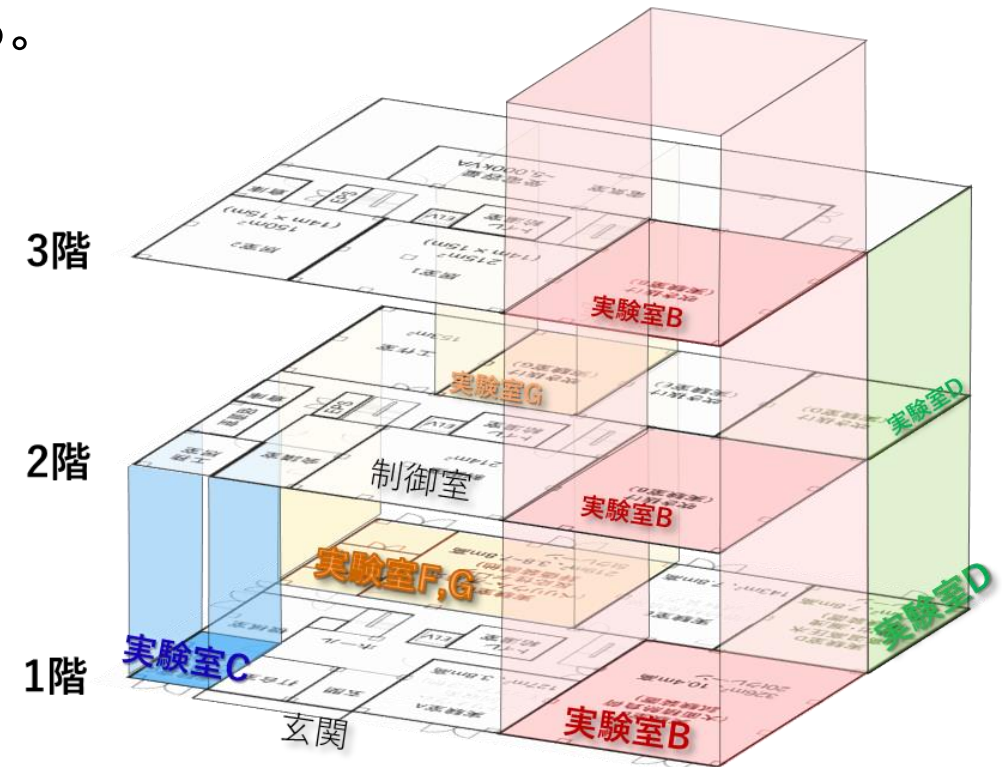


©ITER Organization

ITER 理事会で、ITER-TBM（Test Blanket Module）計画において、4つのうちの1つのTBMとして、**日本のブランケットをITERで試験することが承認**された。

➡ ブランケット開発活動は、設計したTBMがITER運転条件下に**安全に動作するかの実証試験を行う段階**に入る。

ブランケット工学試験棟 2021年6月竣工



日本のブランケット開発拠点として、ITER-TBM計画をAll-Japanで取組む

ブランケット工学試験棟で実施する安全実証試験

Safety demonstration tests in the blanket test facility

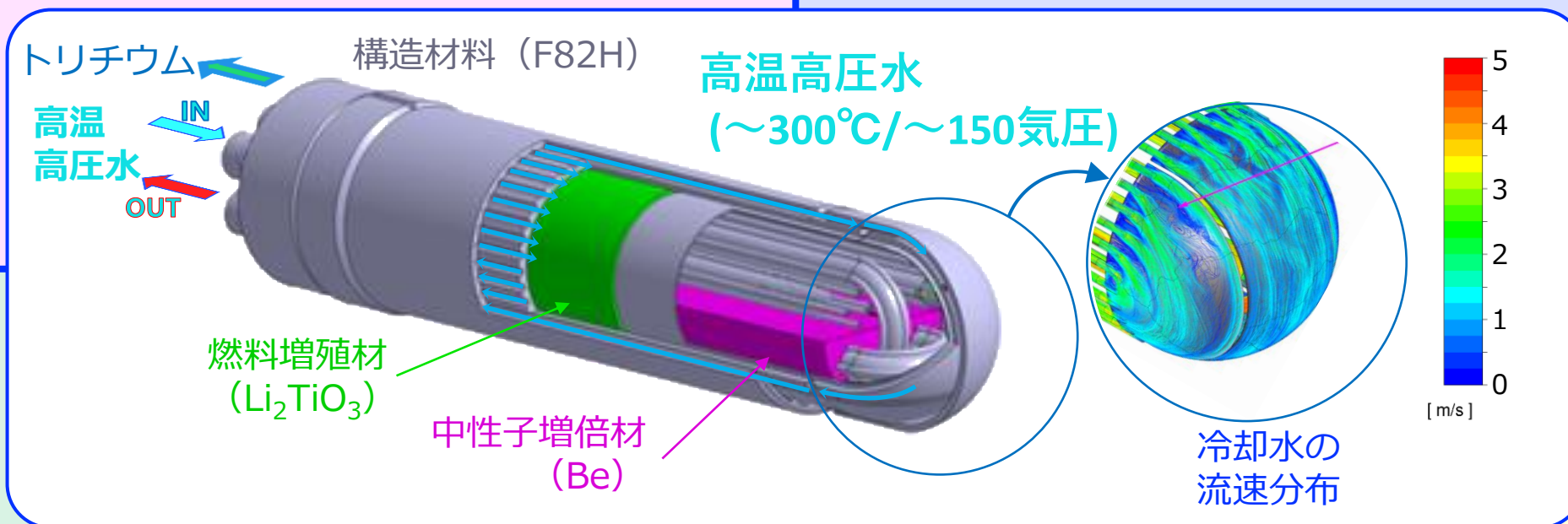
TBMの設計の最終化に向け、高温高压水に関する4つの試験を実施

① 高熱負荷試験

⇒ プラズマからの熱を設計通りに除熱できることを検証

② 流動腐食試験

⇒ 高温高压水の流れるによる構造材料の腐食が問題ないことを確認



③ 高温高压水噴出試験

⇒ 高温高压水が漏洩した時の圧力等の伝わり方を検証し、安全機構の設計に反映

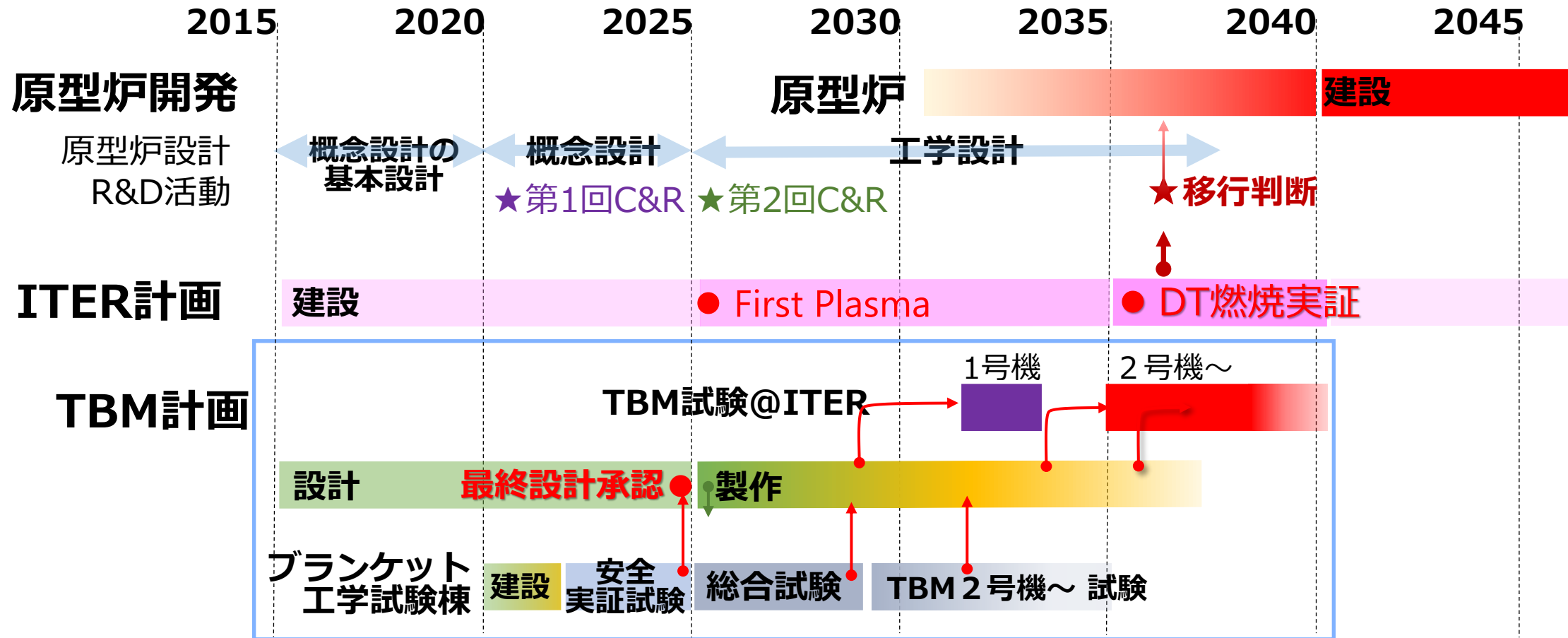
④ Be-水反応試験

⇒ Beに水がかかった時の化学反応（温度上昇や水素発生）を評価



今後の計画

Future plans



TBM計画の成果は、原型炉R&D活動の成果と併せて、
原型炉ブランケット設計の最終化になくてもならないもの。