

核融合の要素技術は ほぼ確立している

この講演資料は<https://cigs.canon/>からダウンロードできます

要素技術って何？



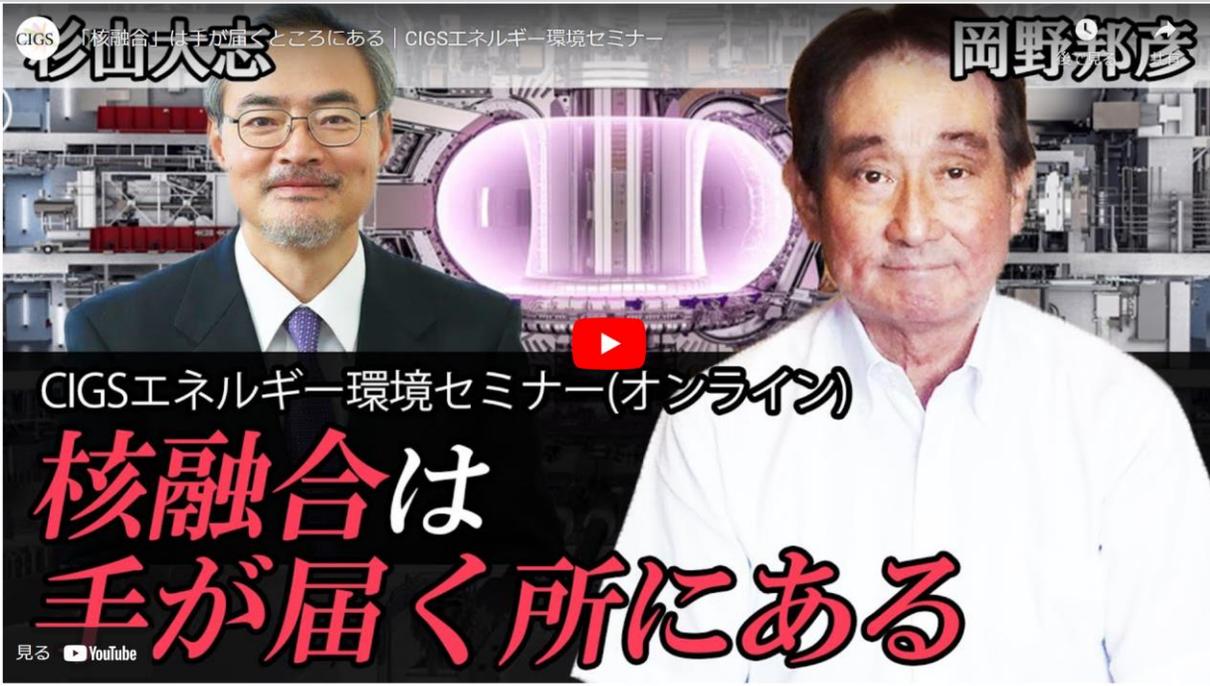
だるまさん

= 目 × 眉 × ひげ × 体

この講演は第3弾です

第1弾

第2弾



https://cigs.canon/videos/20210901_6165.html

https://cigs.canon/videos/20220408_6712.html

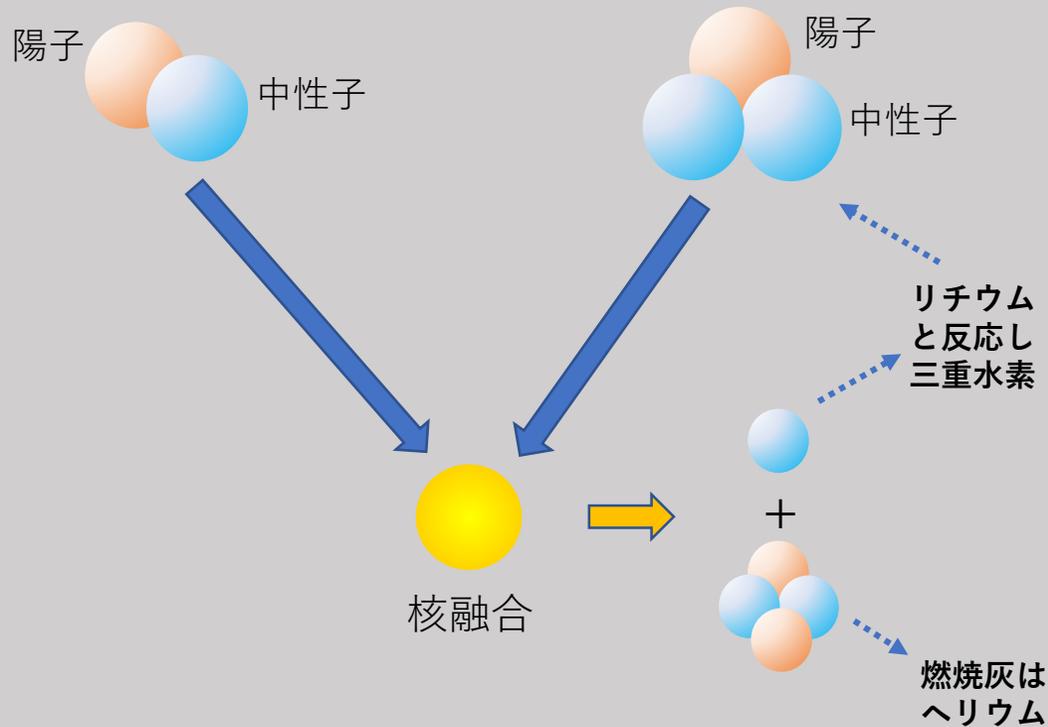
核融合の基本を3分で復習

知っている人は
飛ばしてください

燃料は重水素と、三重水素

重水素
(海水中の水素の7000個に1個)

三重水素
海水にも豊富なリチウムから作る

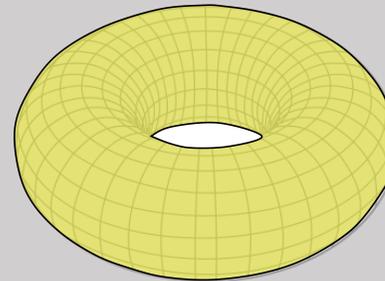


重水素と三重水素の核融合炉
1億°C
既存技術での実現を目指す

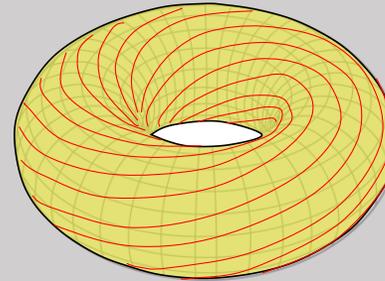
磁場で1億度のプラズマを閉じ込める

磁場方式

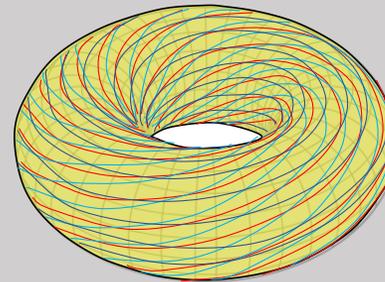
プラズマが磁力線を横切れないのを利用
ねじれピッチが異なる磁力線の
「多重カゴ」で覆って漏れを防ぐ



トーラス
プラズマ



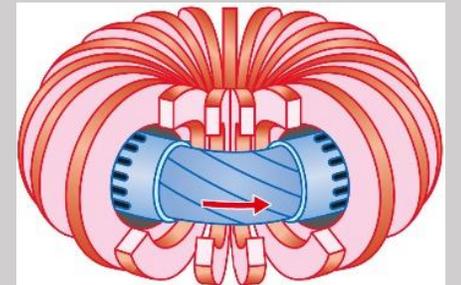
一重の
磁力線カゴ
隙間から漏れる



多重の
磁力線カゴ
この図は3重
実際は無限重

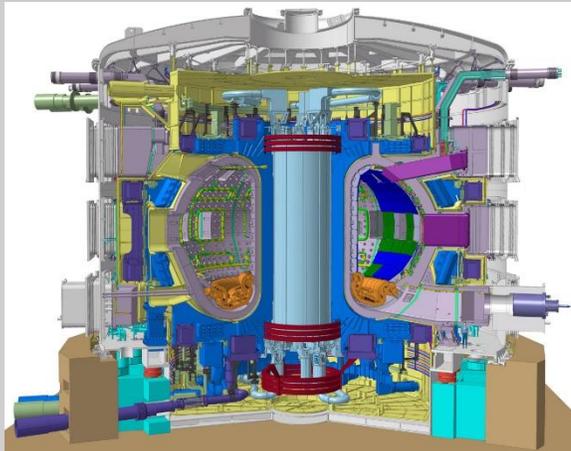
磁場方式核融合炉

直径10~20メートル



↑電流を流して
磁力線をねじる

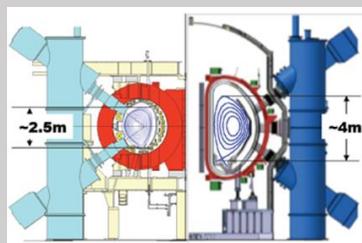
装置イメージ図は「核融合エネルギーのきほん」(誠文堂新光社刊、2021年)による



ITER機構による

ITER : 建設中 実験炉 核融合出力50万kW 発電はしない

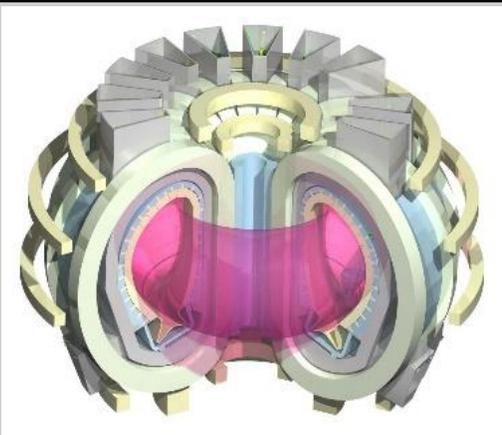
2007	2025	2035
日欧米露中韓印の 国際協力で仏に建設中	完成 運用開始予定	パワー増幅率 $Q=10$ 300秒



量子科学技術研究開発機構

JT-60SA : $Q=1.2$ (世界最高)達成のJT-60U(日本)を超伝導コイルに改修済

2009	2022
改修開始	完成済 運用開始予定



量子科学技術研究開発機構

原型炉 : 計画中 核融合発電の実証 経済性の見通し

	2025	2035
概念設計 要素技術開発	工学設計 実規模技術開発 への移行判断	建設段階への 移行判断

核融合炉の主要要素技術

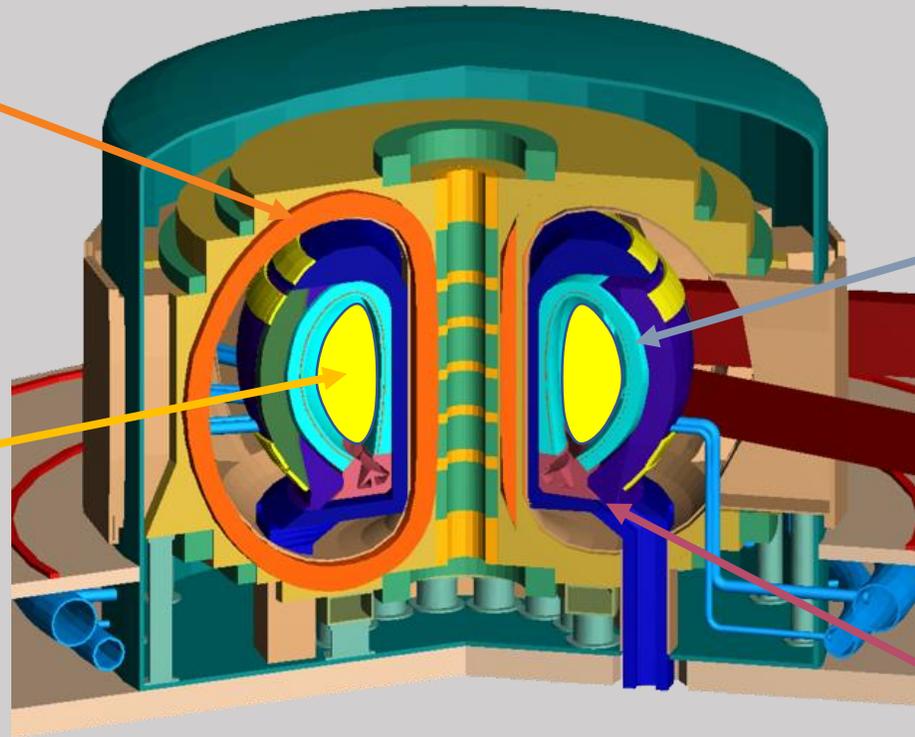
プラズマ性能に直結

材料・工学の制約

バランスがとれた
設計が重要

①超伝導コイル

強磁場・大型
超低温と1億°Cが共存



②プラズマ

プラズマを浮かしながら
燃し続ける

燃料は閉じ込める
燃焼で出たヘリウムは排気
の相反目標

④ブランケット

- 1) 冷却
- 2) 発電タービン用の高温水
等を発生
- 3) リチウムから燃料を生産

③排熱部

ロケットノズル並みの
熱の処理

要素技術①～④

①超伝導コイル

原型炉コイルはITERの技術を踏襲

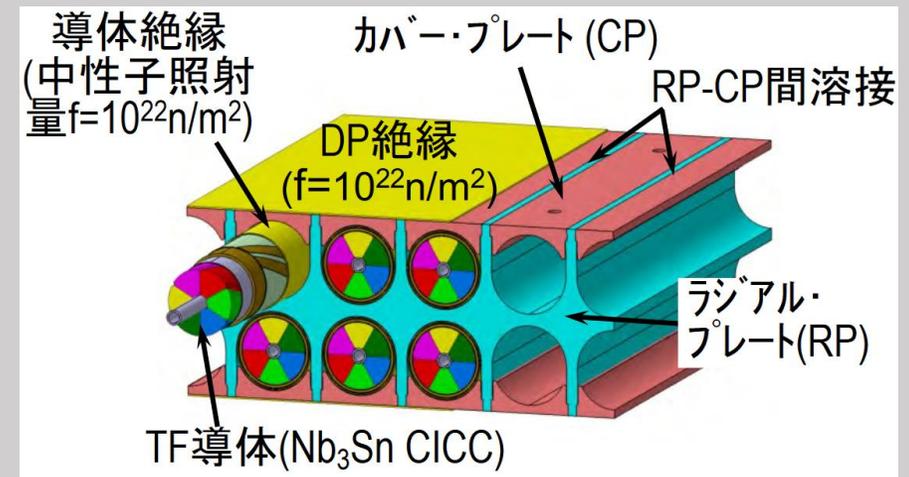
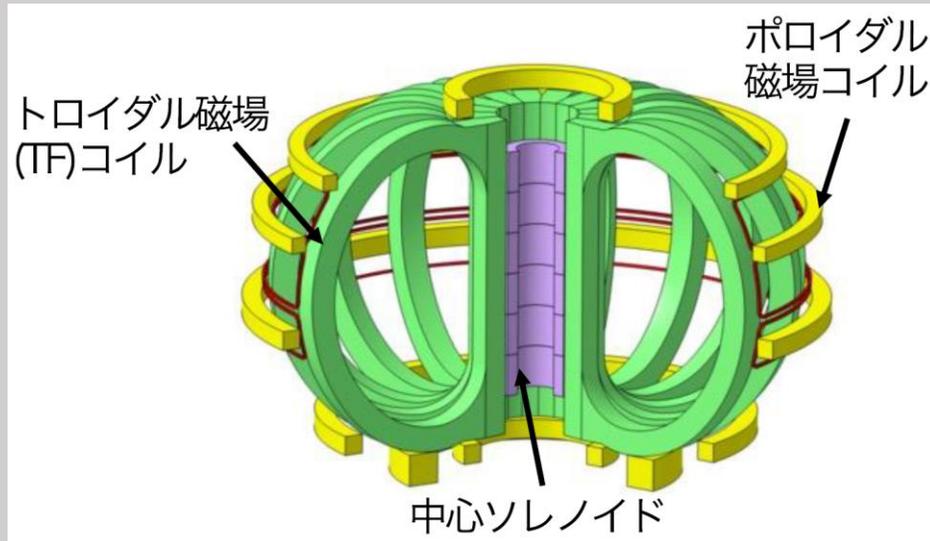
超伝導材：ITERと同じ

構造材：ITERより20%大きな応力に耐える
極低温用ステンレス材が必要。
試験的には達成済。量産化が必要。

⇒コイル実現性は十分に高い

トロイダルコイル	ITER	原型炉
超伝導材	ニオブスズ	ニオブスズ
最大磁場	11.8テスラ	13テスラ
設計最大応力	667MPa	800MPa
形状	D型(16.5m x 9m)	D型(20m x 14m)
応力支持構造	ラジアルプレート式	ITERと同じ

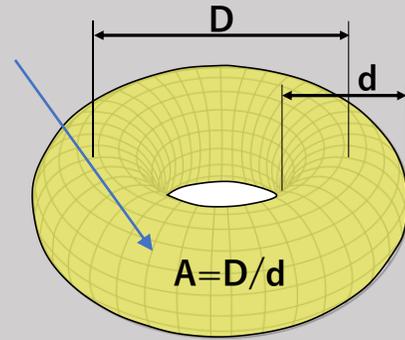
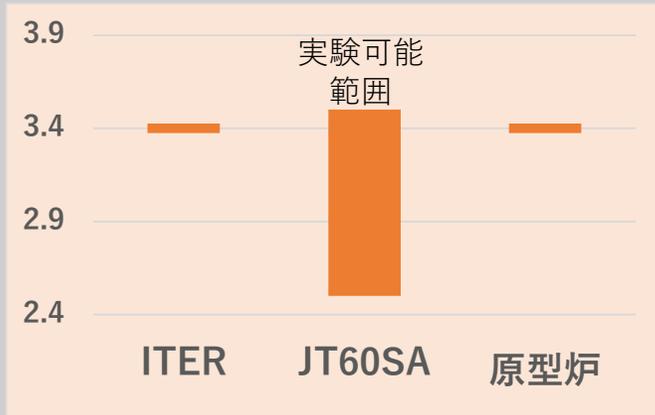
超伝導線は構造材で支える必要がある。



② プラズマ

Based on JT-60SA Research Plan, Ver.4.0, 2018, JT-60SA Research Unit.

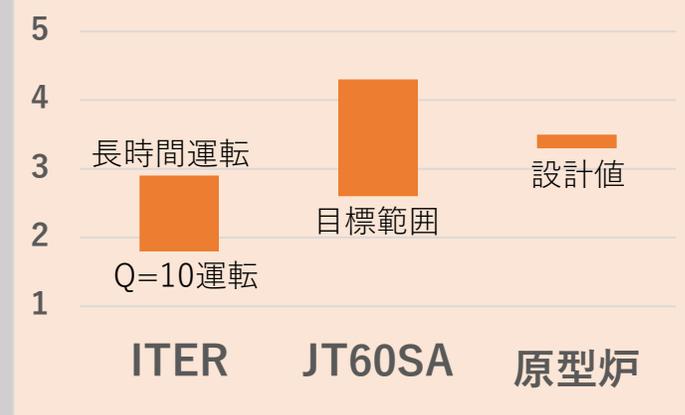
① プラズマ形状指数 A (右図)



ITERと原型炉プラズマの形状指数は同じ。

JT-60SAでも実験可能。

③ プラズマ圧力指数 G



磁場で支えられる最大圧力に比例する指数。

原型炉の設計G値は、ITERの運転範囲は超えている。

JT-60SAで確認可能。

② エネルギー閉じ込め指数 H



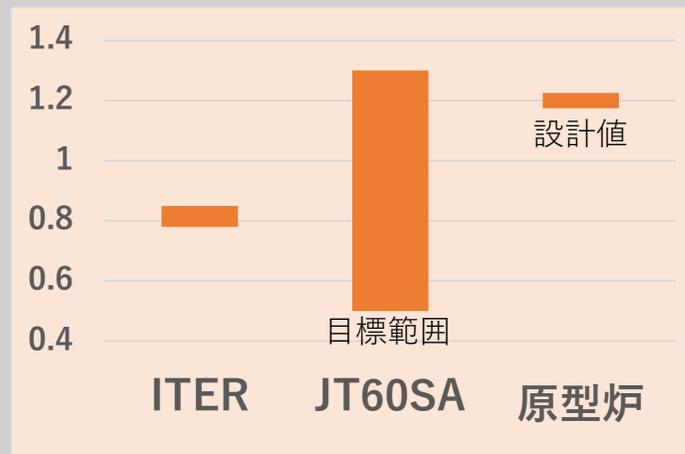
ITER設計基準(1.0)からの改善指数。

原型炉の設計H値は、ITERのQ=10運転の数値は超えている。

JT-60SAで確認可能。

ITER後半で目指す長時間運転でも確認可能。

④ プラズマ密度指数 R



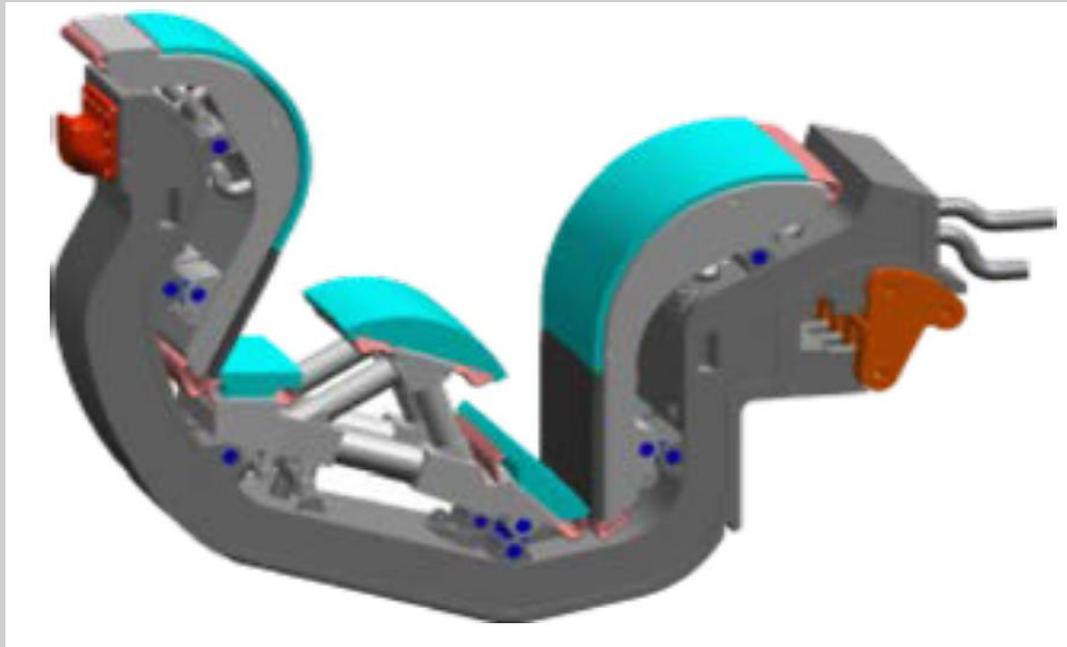
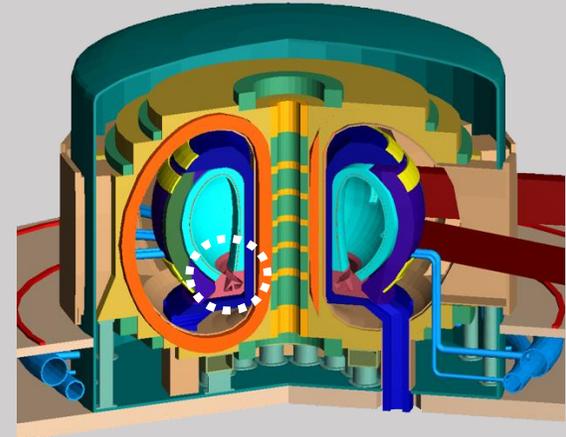
ITER設計基準(1.0)との比較指数。

原型炉基本設計(2022年)のR値は1.2。

JT-60SAで確認可能。

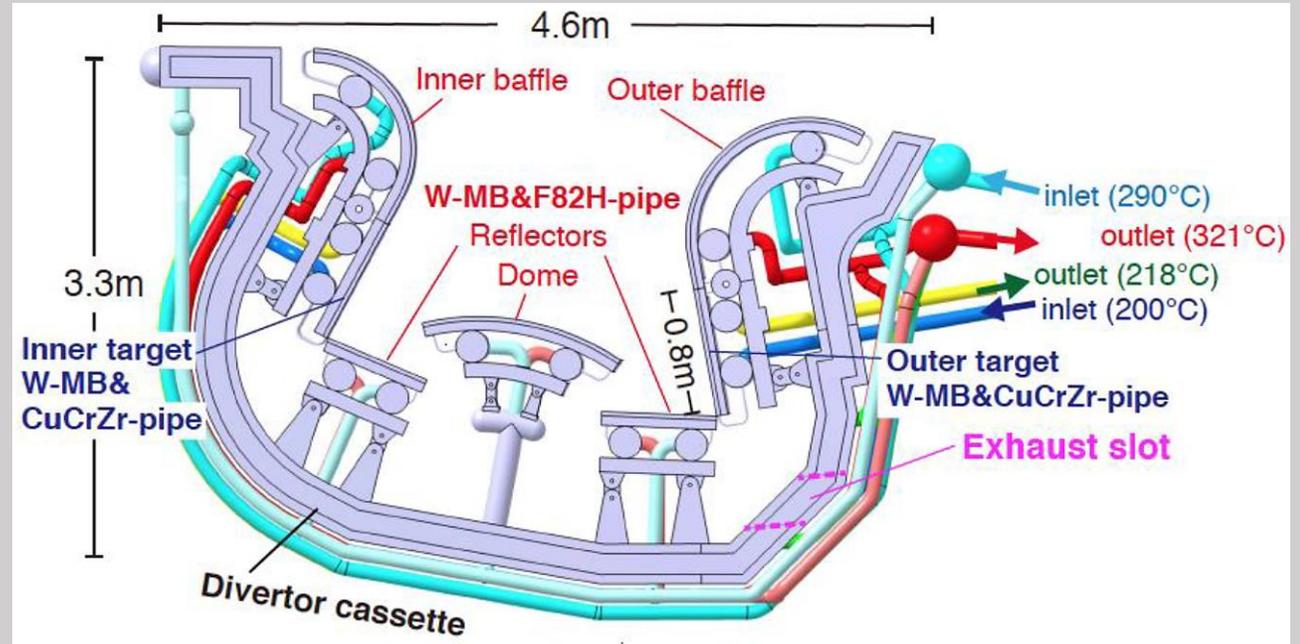
③排熱部

原型炉排熱部設計は、ITERと同じ構造を踏襲する。ITERの熱条件（ $10\text{MW}/\text{m}^2$ 以下）と同じ条件になるように原型炉のプラズマを制御する。この制御は、今後のITERやJT-60SAでの実験で確かめることが必要。



ITERの排熱部

森 雅博、文部科学省、第10回核融合科学技術委員会、平成29年4月12日（水）、資料4より



原型炉の排熱部

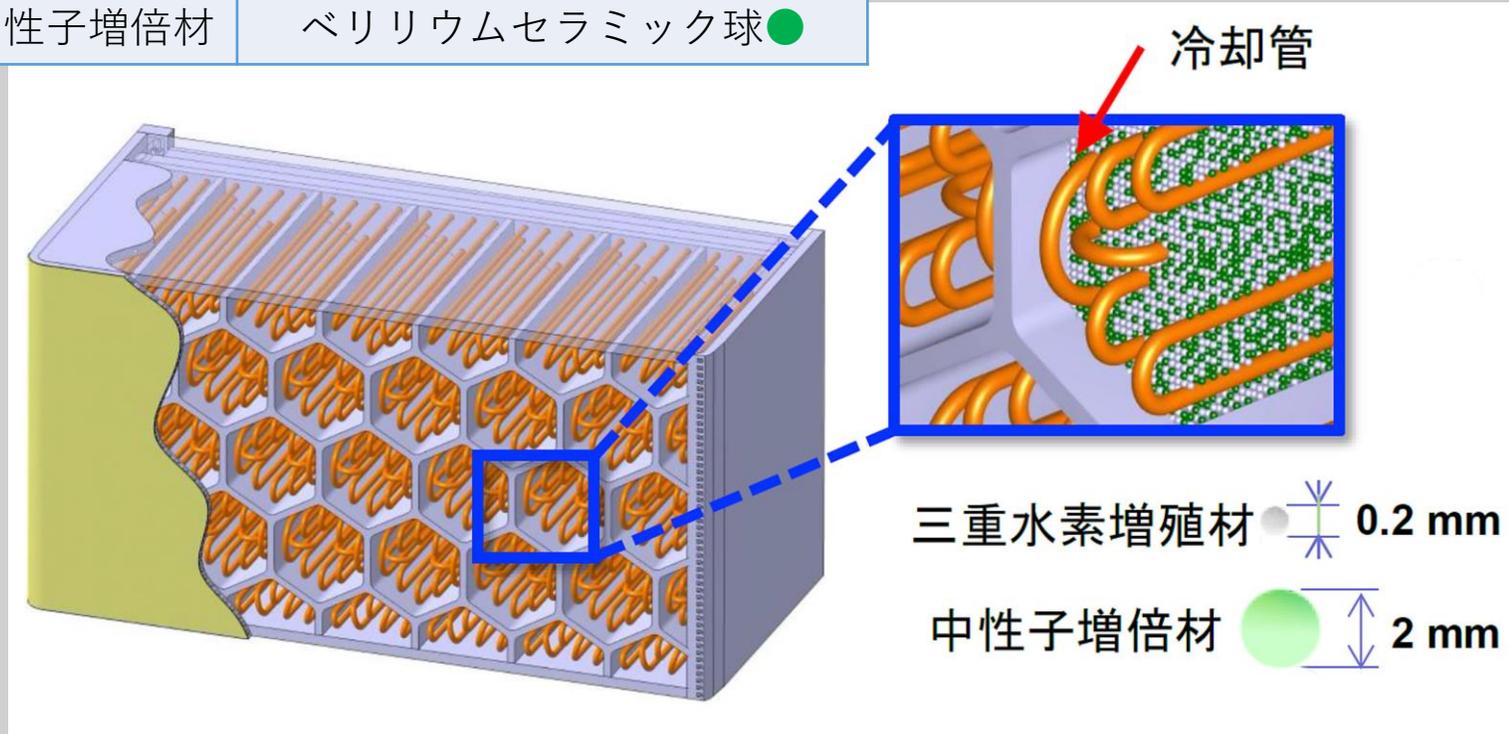
坂本宜照、文部科学省、第25回核融合科学技術委員会、令和3年6月24日、資料2-2より

④ ブランケット

原型炉ブランケットは、ITERでテストする試験体と同じ材料で設計。

構造材	低放射化ステンレス鋼
三重水素の増殖	リチウムセラミック球●
増殖率を上げる中性子増倍材	ベリリウムセラミック球●

ITERで性能を確認して
原型炉の設計に反映する。



坂本宜照、文部科学省、
第25回核融合科学技術
委員会、令和3年6月24
日、資料2-2より

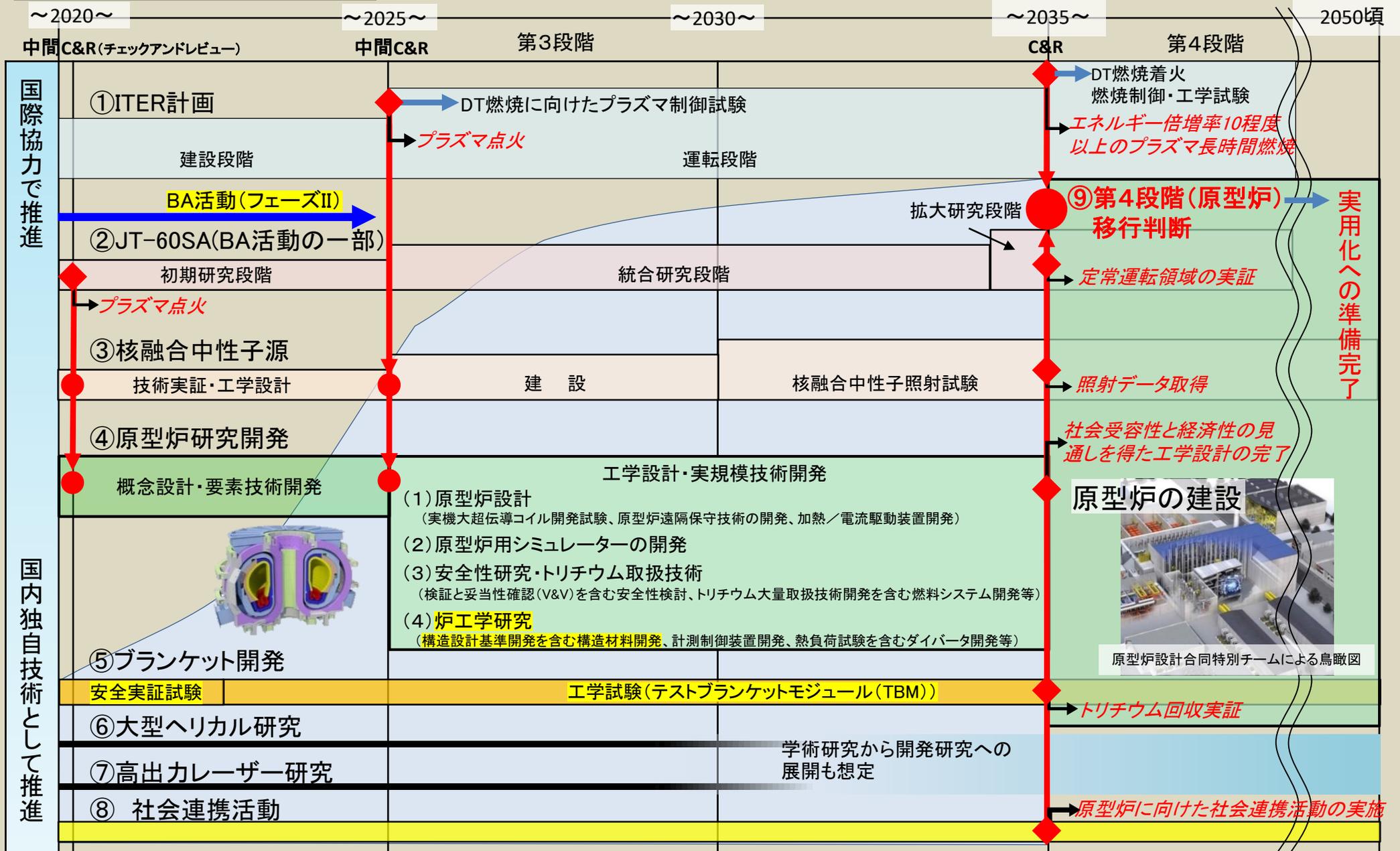
原型炉では、

中性子照射の蓄積量はITERより一桁多いが、開発済の低放射化ステンレス鋼を使うことで解決。
面積あたりに来る熱がITERより数倍大きい、十分に冷却可能。⇒低放射化ステンレス鋼は熱を伝えやすい。

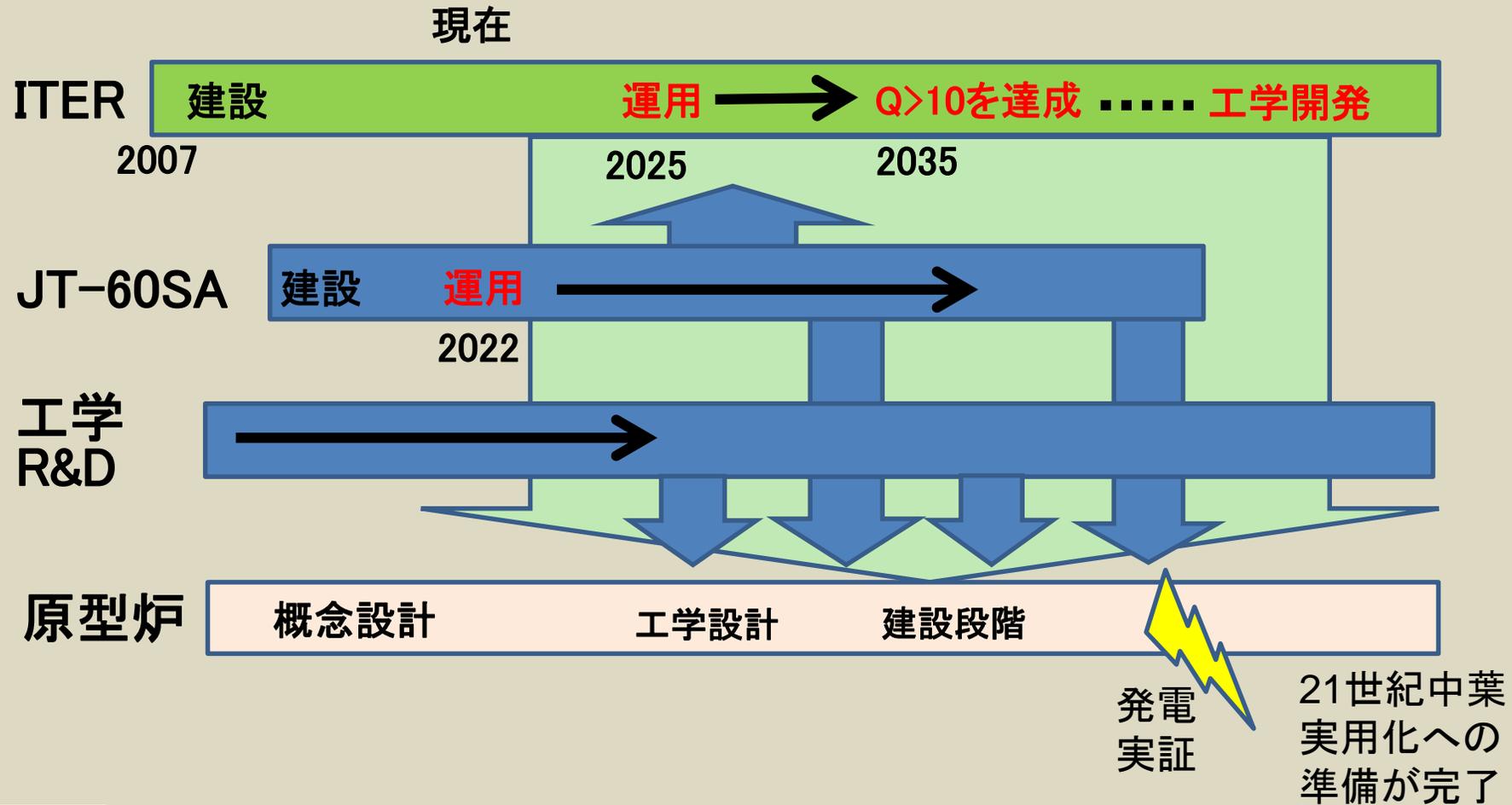
日本の原型炉研究開発ロードマップ

文科省2018年発表 https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/074/houkoku/1408259.htm

- 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
 - ロードマップ遂行に必要なアクティビティの指標



原型炉研究開発計画の簡略図
(説明のために岡野が作成)



核融合炉は様々な技術の集合

一つ新技術を発明したら急に実現が早まるようなものではない
予算と人を増やして全開発を同時に加速すれば実用化を前倒すことは可能

⇒ 参考: 核融合開発を前倒しするための一考察 <https://ieei.or.jp/2022/07/expl220711/>