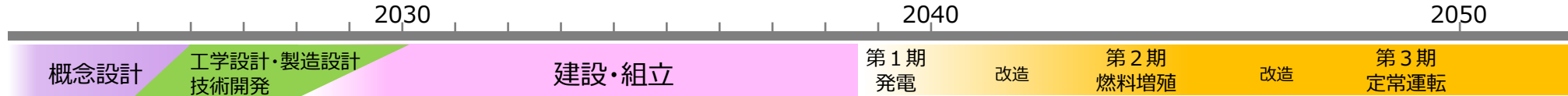


ITERサイズ原型炉 (Q-DEMO) の 概念設計について



★ 発電実証

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略に沿って、2030年代の発電実証に向けた原型炉計画の加速案を検討

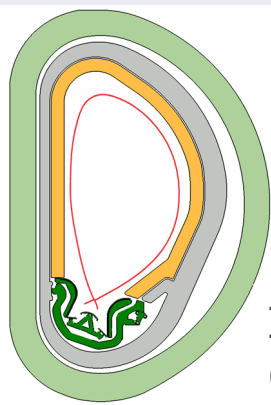
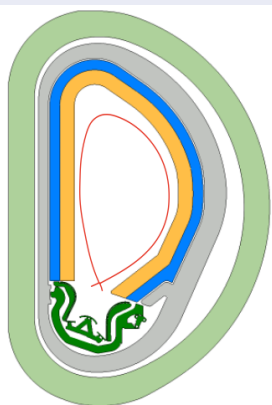
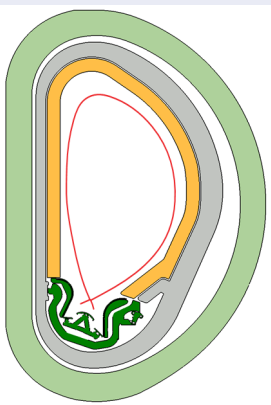
- 社会実装に向けて科学的・技術的に意義のある発電実証
自己加熱が支配的な $Q \geq 10$ の燃焼プラズマで正味電力 ≥ 0 を実証
- ITER計画/BA活動を技術基盤として着実な2030年代発電実証
超伝導コイルや真空容器など製作実績のあるITERと同等の炉心機器を採用し、設計・R&D・試作を大幅簡略化して最短で建設に着手
- 原型炉目標（発電、燃料増殖、定常運転）を段階的に達成
炉心プラズマと主要機器の性能を段階的に向上



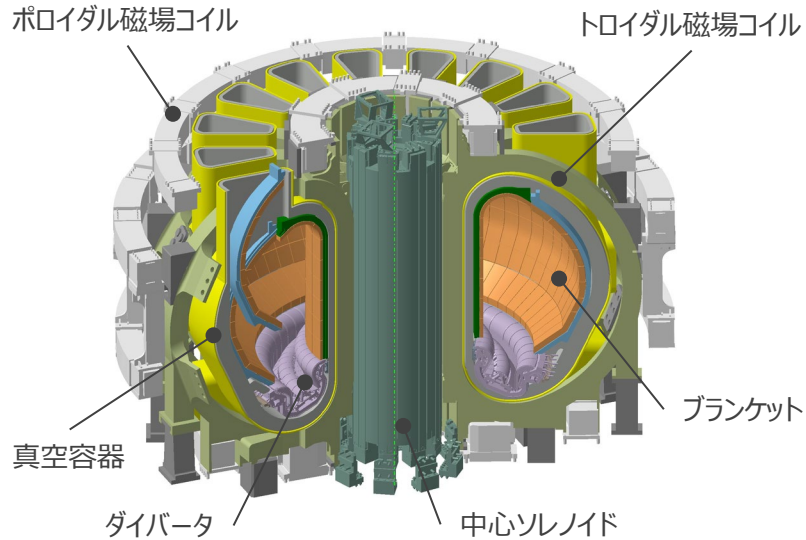
Q-DEMOの概念設計を実施

- 産学連携によるオールジャパン体制の原型炉設計合同特別チームの活動により構築した「JA DEMOの概念設計」と建設が進む「実験炉ITERの工学設計」を有機的に統合し、ITERサイズの原型炉である「Q-DEMO」の概念設計を完了
- 原型炉建設・運転に向けて開発すべき技術項目を明確化し、フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点としての基盤整備案に反映

多段階の目標設定と装置仕様

	第1期 システム統合運転期 発電実証	第2期 ブランケット機能試験期 発電+燃料増殖実証	第3期 拡張運転期 発電+燃料増殖+定常運転実証
目標	<ul style="list-style-type: none"> 短パルス運転 (数分) 発電端出力 ~ 200MW 正味電力 ≥ 0 	<ul style="list-style-type: none"> 長パルス運転 (30分以上) 正味電力 ≥ 0 トリチウム自己充足性の実証 (増殖比 TBR=1.05) 	<ul style="list-style-type: none"> 定常運転 正味電力 ~ 100MW トリチウム自己充足性の実証 保守シナリオの確認
	 <p>発電ブランケット (厚さ: 0.45m)</p> <p>ITERと同じプラズマ (~835m³)</p>	 <p>増殖ブランケット (厚さ: 0.85m)</p> <p>第1期よりも小さい プラズマ(~570m³)</p>	 <p>増殖ブランケット (厚さ: <0.85m)</p> <p>第2期よりも大きい プラズマ(~715m³)</p>
装置仕様	<p>発電実証:</p> <ul style="list-style-type: none"> ITERベースの運転シナリオ <ul style="list-style-type: none"> 核融合出力: ~500MW Q値: 10 パルス幅: ~400秒 加熱・電流駆動装置 <ul style="list-style-type: none"> 電子サイクロトロン加熱のみ 発電ブランケット <ul style="list-style-type: none"> 発電に特化したブランケット ITERと同サイズ 蓄熱システム (オプション) 	<p>発電実証:</p> <ul style="list-style-type: none"> 高圧カプラズマ運転シナリオ <ul style="list-style-type: none"> 核融合出力: ~500MW Q値: ~10 加熱・電流駆動装置 <ul style="list-style-type: none"> 電子サイクロトロン加熱 / 中性粒子ビーム加熱 蓄熱システム (オプション) <p>燃料増殖実証:</p> <ul style="list-style-type: none"> 増殖ブランケット 	<p>発電実証:</p> <ul style="list-style-type: none"> JT-60SAの成果を反映した高性能プラズマ運転シナリオ <ul style="list-style-type: none"> 核融合出力: >500MW(第2期を上回る出力) 加熱・電流駆動装置の高効率化 <p>燃料増殖実証:</p> <ul style="list-style-type: none"> 改良型増殖ブランケット <p>保守シナリオの確認:</p> <ul style="list-style-type: none"> 多段階運転期の移行時に遠隔操作でのブランケット交換手順・時間の確認

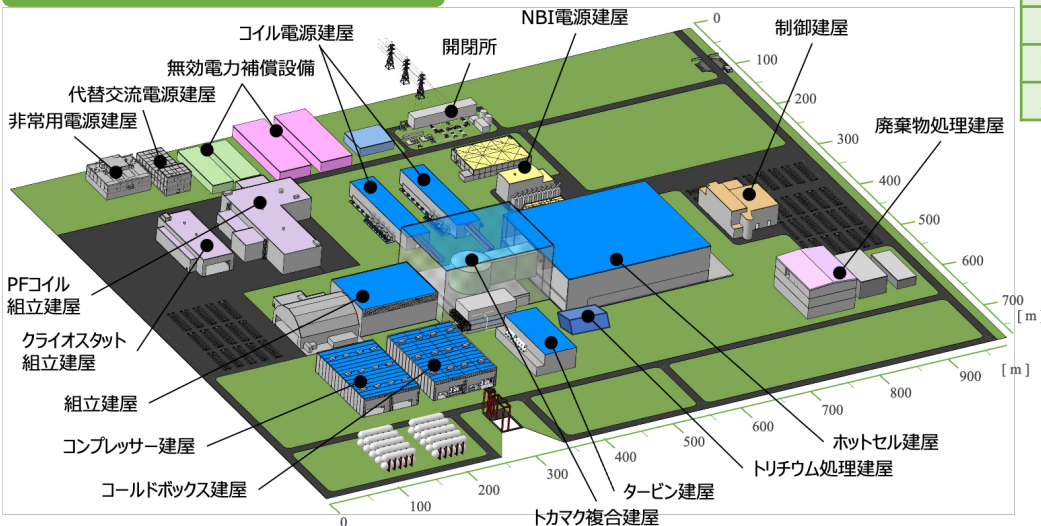
Q-DEMOの本体構成



Q-DEMOの主要パラメータ

主要パラメータ	第1期	第2期	第3期
主半径 R_p / 小半径 a_p (m)	6.2 / 2.0	6.2 / 1.65	6.2 / 1.85
アスペクト比 A	3.1	3.76	3.35
楕円度 K_{95}	1.7	1.7	1.7
安全係数 q_{95}	3.0	3.20	4.29
プラズマ電流 I_p (MA)	14.96	9.21	9.64
トロイダル磁場 B_t (T)	5.29	5.29	5.79
燃焼時間 t_{burn}	347 s	0.55 h	定常
核融合出力 P_{fus} (MW)	532	434	908
核融合エネルギー増倍率 Q	10	10	15.3
正味電気出力 P_{net} (MW)	10.7	2.91	101
発電端電気出力 P_{gross} (MW)	203	166	339
外部加熱パワー P_{aux} (MW)	53.2	43.4	59.3
ブートストラップ電流割合 f_{BS} (%)	21.7	36.5	68.1
体積平均電子密度 n_e (10^{19} m^{-3})	9.95	9.93	9.33
閉じ込め改善度 H_{98y2}	0.95	1.15	1.50
規格化ベータ β_N	1.8	2.5	3.62
Greenwald密度比 f_{GW}	0.85	1.00	1.20
炉心プラズマ損失パワー P_{sep} (MW)	105	89.8	150
Ar密度割合 n_{Ar} / n_e (%)	0.23	0.23	0.5

サイトレイアウト (例)



建設費 (第1期)

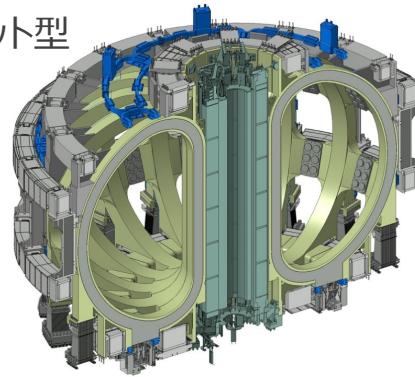
- 第1期の運転開始までの建設費用：～2兆円
- ✓ 2001年に実施したITERのコスト評価をベースにしつつ、ITER機器製作実績を考慮して評価。
 - ✓ 今後、工学設計及び実規模技術開発の実施により建設費評価の精緻化を進める。

超伝導マグネット：プラズマ閉じ込め磁場発生

ITERと同様の構成及び仕様

- TFコイル及びCS：Nb₃Sn超伝導素線
- PFコイル：NbTi超伝導素線
- 導体構造：ケーブル・イン・コンジット型

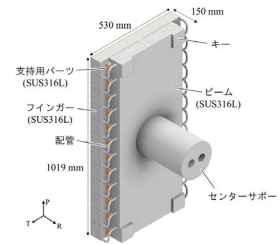
	第1期・第2期	第3期
TFコイルの数	18	
TFコイルの磁気エネルギー	~ 41 GJ	~ 50 GJ
TFコイルの最大磁場	11.8 T	~ 13.0 T
TFコイルの最大電流	68 kA	~ 75 kA
CSの最大磁場	13.0 T	
CSの定格電流	40 kA at 13 T / 45 kA at 12.7 T	
PFコイルの最大磁場	~ 6.4 T	
PFコイルの定格電流	~ 52 kA	
運転温度	4.5 K	
重量	~ 10,000 t	



ブランケット：発電用熱取り出し、トリチウム生産

発電ブランケット(第1期)

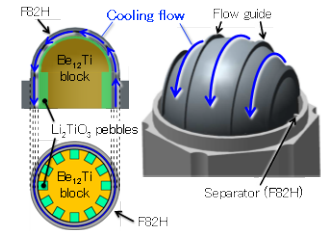
ITER遮蔽ブランケットに基づく設計 (トリチウム生産なし)



構造材	SUS316L
中性子増倍材	なし
トリチウム増殖材	なし
冷却水条件	~300°C, 15.5MPa

増殖ブランケット(第2期)

JA DEMO増殖ブランケットに基づく設計(TBR=1.05)

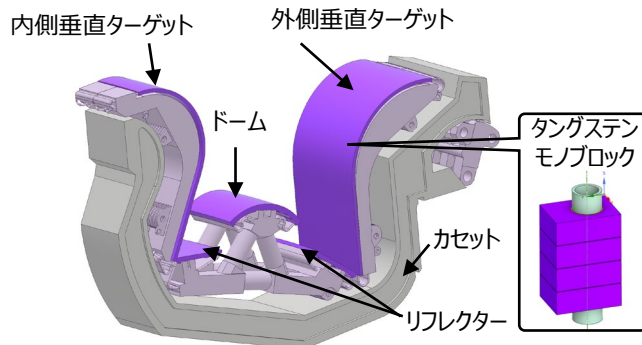


構造材	F82H(低放射化フェライト鋼)
中性子増倍材	Li ₂ TiO ₃
トリチウム増殖材	Be ₁₂ Ti
冷却水条件	~300°C, 15.5MPa

ダイバータ：プラズマ熱・粒子束の排出

ITERと同様の構成及び仕様

- W型ダイバータ・カセット構造(第1&2期:SUS316L, 第3期:F82H)
- タングステンモノブロック・銅合金配管冷却ユニット (第1&2期)
- タングステンモノブロック・F82H配管冷却ユニット (第3期)

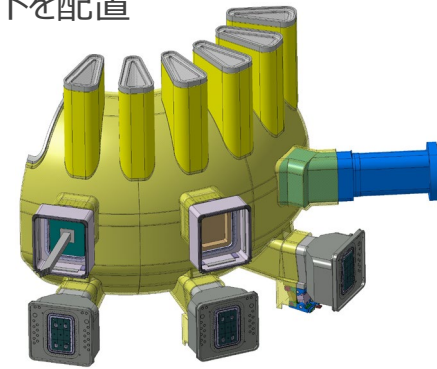


真空容器：高真空維持、トリチウム閉じ込め第一障壁

ITERと同様の構成及び仕様

- D型断面トラス形状
- 外径半径9.70 m、高さ11.34 m、幅6.47 m
- 内側と外側の隔壁と補強リブによって構成される2重壁構造
- 上部・水平・下部に大型断面ポートを配置

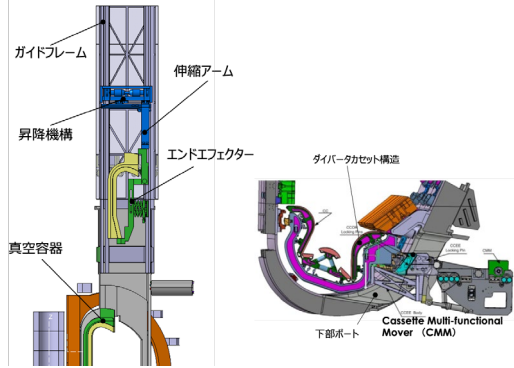
ポート配置	配置数	断面形状	内側断面サイズ (m)
上部垂直ポート	18	台形	0.38 to 1.47 (幅) x 3.2 (長さ)
水平ポート ・標準ポート ・NBポート	6	矩形	1.78 (幅) x 2.2 (高さ)
	3	台形	0.4 (幅) x 0.438 (高さ)
下部ポート	18	台形	0.728 to 1.39 (幅) x 2.175 (高さ)



遠隔保守・建屋

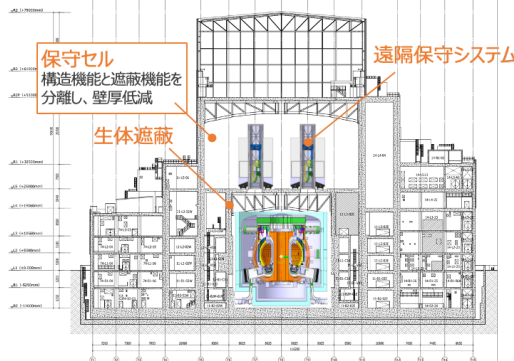
遠隔保守

ブランケット保守：垂直引き抜き方式
 ダイバータ保守：ITER方式を踏襲



トカマク複合建屋

炉心周り配置をベースに階高の設定
 冷却配管ルート、保守動線の設定



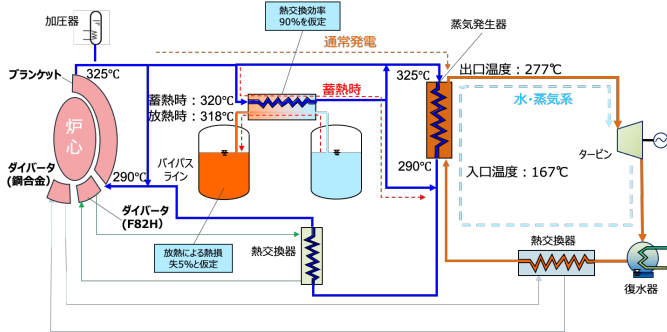
発電システム

加圧水型軽水炉の主熱輸送系・発電システムを適用

- 冷却水：入口 290℃、出口 325℃、圧力 15.5MPa

パルス運転での発電実証

- 補助ボイラーや蓄熱システム(溶融塩)を用いて蒸気タービンを立ち上げる概念を検討

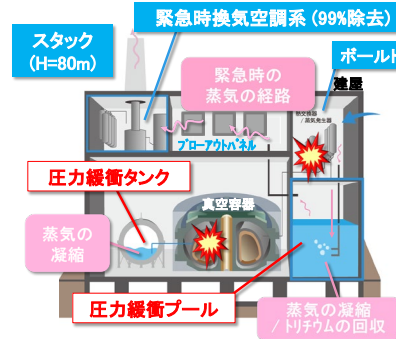


安全性、放射化物管理

安全設計

冷却水漏洩事象時の対策として、
 圧力緩衝システムにより影響を緩和

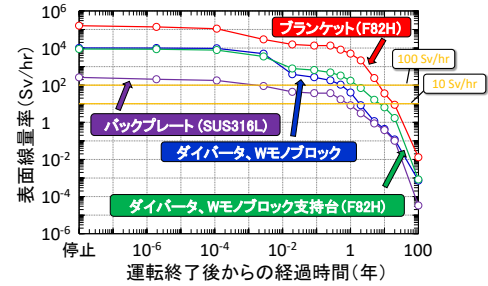
- トリチウムインベントリは最大4.4kg (うち放散性トリチウムは最大2.3kg)



放射化物管理

線量率と崩壊熱の経時変化に基づき
 管理シナリオを構築

- 廃止措置時まで発生する全金属放射化物は3.4万トン程度

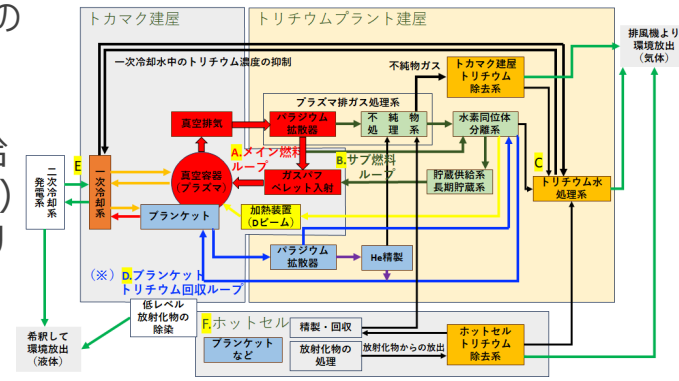


濃縮ウランを用いる中性子計測用フィッションチャンバーを利用するため少量核燃料施設に該当

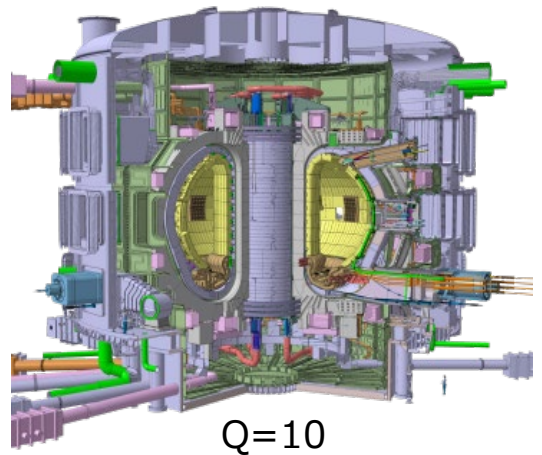
燃料循環システム

ITER燃料システムをベースにメイン燃料ループ、サブ燃料ループ、
 ブランケットトリチウム回収ループで構成

- 排気された未燃焼の燃料ガスを同位体分離せずに、直接真空容器へ再供給(ダイレクトリサイクル)することでインベントリの低減を目指す

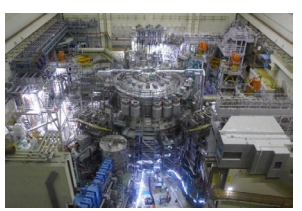


**実験炉 ITER
(燃烧実証)**

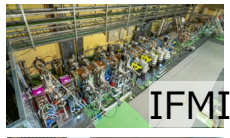


Q=10

**BA活動
(ITERを支援・補完)**



JT-60SA
Q~1

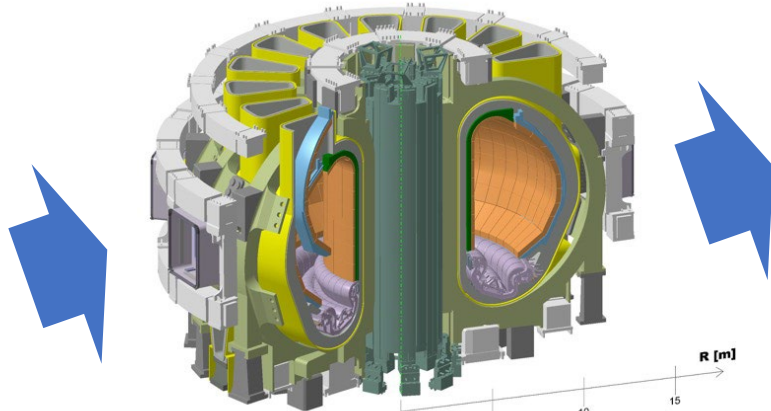


IFMIF/EVEDA



IFERC

**原型炉 Q-DEMO
(発電・燃料増殖、定常運転実証)**



Q=10-15

原型炉建設・運転に必要な技術開発
 ✓ 燃料システム、ブランケット、遠隔・保守など
 ✓ イノベーション拠点整備・技術開発

**商用炉
(社会実装)**



Q=20-30

社会実装に必要な技術開発
 ✓ 小型化・高度化等の独創的な新興技術
 ✓ イノベーション拠点の活用

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略

QST 六ヶ所研究所における基盤整備案

- 六ヶ所研究所(土地の購入&拡張、電源設備の増強)
- 熱負荷試験装置(増強) 安全実証試験装置(増強)
- 新設するコールド試験施設
①水素製造用保守技術開発施設
②プラズマコントロール試験施設
③LH2回収・レタメル精製・水素炭素等研究施設
- 新設するホットセル試験施設
①燃料システム安全試験施設
②ブランケット制御試験施設(産業物産機構委) ③材料機械試験施設

QST 那珂研究所における基盤整備案

- 超伝導増速試験施設(増強&新設)
- 伊心プラズマ研究開発拠点(中央実用更新)
- 計測制御研究開発拠点(増強)
- 伊心プラズマ研究開発拠点(共同研究棟新設)