

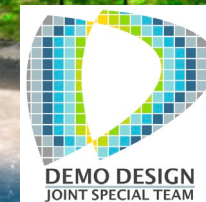
ITERサイズ原型炉



QST核融合炉システム研究グループ
グループリーダー

原型炉設計合同特別チーム
チームリーダー

坂本宜照



原型炉設計合同特別チームが2015年に発足してから、今世紀中葉に発電実証を目指す日本の原型炉 JA DEMO の概念設計を実施してきた。

カーボンニュートラルやエネルギー安全保障等の観点からフュージョンエネルギーに関する世界情勢が大きく変化し、我が国はフュージョンエネルギーに関する国家戦略を策定するとともに、**世界に先駆けて2030年代に発電実証を目指す**ことを含めた戦略改定の議論が進められている。

原型炉計画を加速するには、**ITERとの技術ギャップを小さく**して早期に建設に着手し、定期的に交換する炉内機器を建設に並行して高性能化するアプローチで、早期に発電を実証し、**段階的な機器の改良で100MWクラスの正味電力、実用に供し得る稼働率、燃料の自己充足性という目標**を目指すことが考えられる。

→ 2030年代に科学的・技術的に意義のある発電実証を目指す
「ITERサイズ原型炉」の概要について報告



原型炉段階への移行判断

設計方針：技術的に見通しうる原型炉概念

- 主要機器であるトロイダル磁場コイル、増殖ブランケット、ダイバータについては、**ITER技術基盤の延長**に概念を構築
- ITERにない技術については、**産業界の発電プラント技術**及び運転経験並びに大学等による未踏技術の解決策を取り入れた概念を構築
- 炉心プラズマについては、**ITER及びJT-60SAの想定成果**に基づいた概念を構築

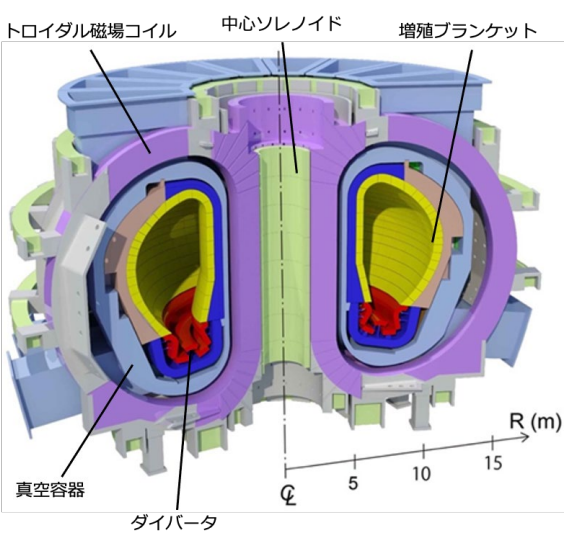


核融合科学技術委員会の提示した**原型炉の目標**

- ①**数十万kWの電気出力**
- ②**実用に供し得る稼働率**
- ③**燃料の自己充足性**

に見通しを得る基本概念を構築

基本パラメータ

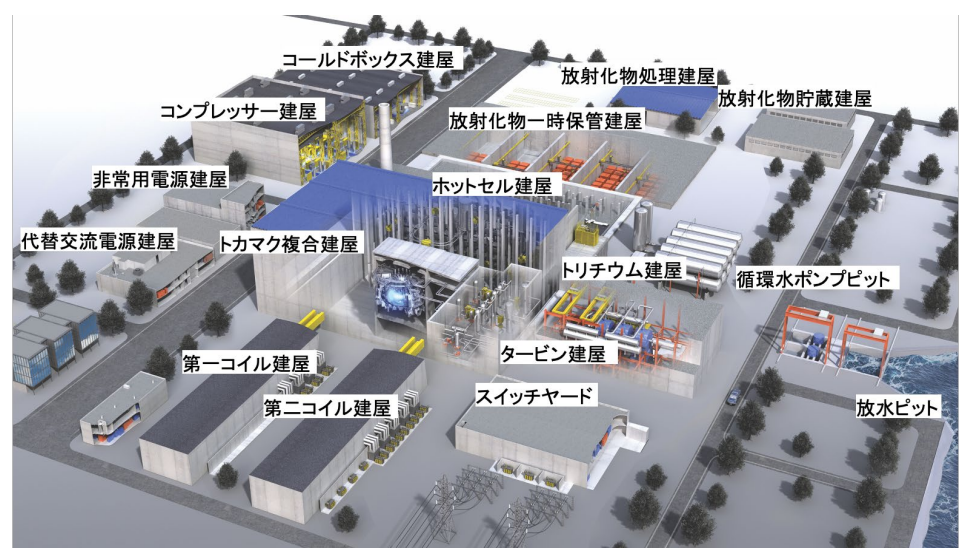


主半径：8.5m
小半径：2.42m
核融合出力：1.5GW
発電端出力：0.64GW

中心トロイダル磁場：6T
プラズマ電流：12.3MA
加熱入力：< 100MW
規格化ベータ値：3.4
規格化密度： $n_e/n_{GW}=1.2$
閉じ込め改善度：1.3

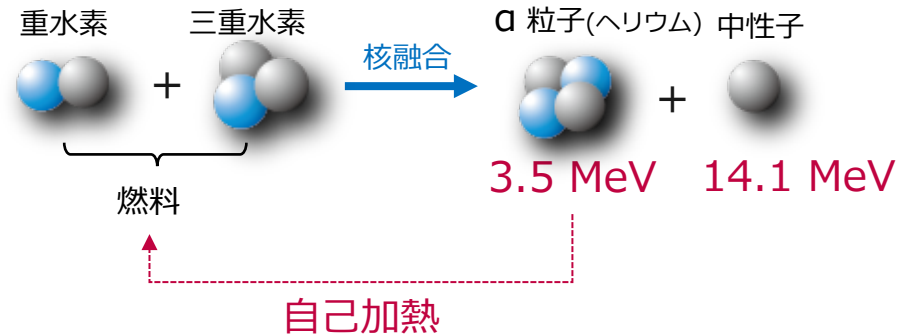
冷却水：PWR条件
稼働率：～70%
運転方式：定常運転
三重水素増殖比：1.05

発電プラント全体像



	パラメータ	定常	パルス
Size & Configuration	R_p (m) / a_p (m)	8.5 / 2.42	
	A	3.5	
	k_{95}	1.65	
	q_{95}	4.1	
	I_p (MA)	12.3	
	B_T (T)	5.94	
Absolute Performance	P_{fus} (GW)	～1.5	～1.0
	P_{gross} (GWe)	～0.5	～0.3
	Q	17.5	13
	P_{ADD} (MW)	～83.7	
	n_e ($10^{19}m^{-3}$)	6.6	
Normalized Performance	HH_{98y2}	1.31	1.13
	β_N	3.4	2.6
	f_{BS}	0.61	0.46
	f_{CD}	0.39	0.32
	n_e/n_{GW}	1.2	

● 自律性の高い**燃焼プラズマ**であること（科学的意義）

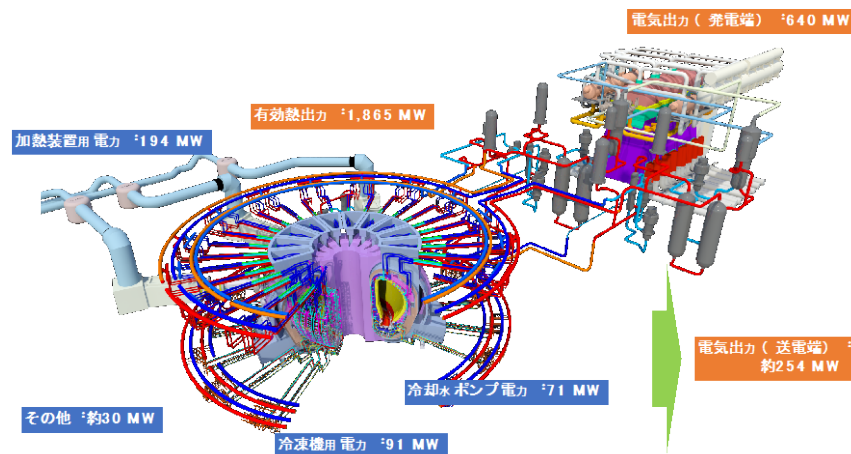


ITERでは、α粒子によってプラズマが自己加熱され、燃焼プラズマの長時間持続を実証

**$Q > 10$: 自己加熱割合が2/3以上
(外部加熱割合は1/3以下)**

→ ITERサイズ原型炉で実現が可能

● 商用炉への道筋を得るため、**正味の電気出力を得ること**（技術的意義）

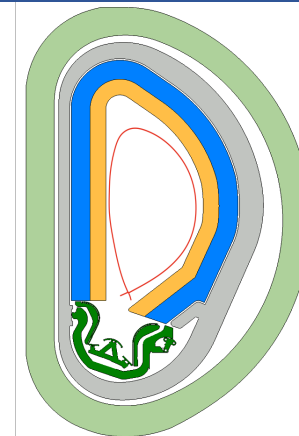


核融合炉では、プラズマの加熱や超伝導コイルの冷却に必要な電力が大きい

例えば、JA DEMOでは発電機出力の約半分を消費

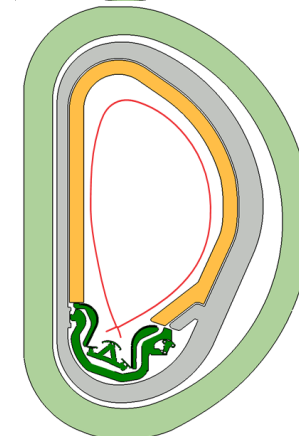
→ ITERサイズの装置で実現が可能？

- JA DEMOと同等の増殖ブランケットと遮蔽領域を確保するとプラズマ体積がITERよりも大幅に小さくなる
 - ✓ ITER標準運転シナリオでの燃焼プラズマ維持は困難
 - ✓ 正味電力を得ることも難しい
- ITERに設置されている遮蔽ブランケットを発電ブランケットに置き換えることでITERと同じプラズマ体積
 - ✓ ITER標準運転シナリオでの**燃焼プラズマ($Q=10$)**
 - ✓ 核融合出力500MWにより**正味電力 $P_{net} \sim 0$ が可能**
- 増殖ブランケット領域を確保し、遮蔽領域を削減することで正味電力 $P_{net} > 0$ となるプラズマ体積を確保
 - ✓ 加熱装置の高効率化とプラズマ圧力を高めた運転で、**正味電力 $P_{net} > 0$ と燃料自己充足性を実証**



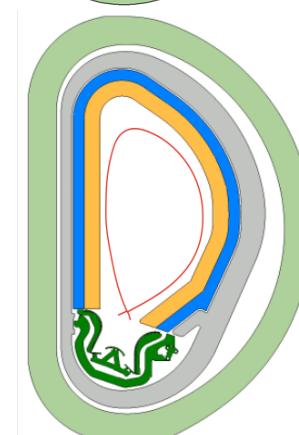
増殖領域 (厚さ : 0.5m)
遮蔽領域 (厚さ : 0.6m)

プラズマ体積 : ITERより
大幅に小さい($\sim 300\text{m}^3$)



発電ブランケット
(厚さ : 0.45m)

プラズマ体積 : ITERと同じ
(831m^3)



増殖領域 (厚さ : 0.5m)
遮蔽領域 (厚さ : 0.35m)

プラズマ断面 : ITERより小

● 建設に最短で着手

- ✓ ITERに準じた炉心機器 → 設計、R&D、試作等を**大幅に簡略化**
- ✓ 機器製作(ITER調達) & 統合化技術(JT-60SA建設) → **産業界の総合力で製作・建設期間を短く**

● 燃焼プラズマによる発電実証

- ✓ 発電のために消費する電力を賄う／上回る発電端出力 (**正味電力 > ~0**)
- ✓ 設備の高効率化に必要な技術開発も並行して実施 → **商用炉段階に正味電力を増大**

● 多段階の運転開発期の目標を設定

- ✓ 機器を段階的に改良することで**プラント規模の発電**を目指す
- ✓ 同じ装置で複数の役割 (ex. VNS, Pilot Plant, DEMO) を担う → **リソースを合理化**

● 早期の社会実装に貢献

- ✓ 商用炉に必要な新技術を原型炉建設・運転に並行して開発
- ✓ 後期に導入することで性能を段階的に向上 → 商用炉への**技術ギャップを最小化**

- 第1期：発電に特化したブランケットを装着してITER程度のプラズマ体積を確保し、短パルス運転にて正味電力～0規模の発電を実証
- 第2期：燃料増殖も行うブランケットに交換し、数時間の長パルス運転にて燃料増殖を実証
- 第3期：並行して実施する研究開発の経過を反映し、加熱・電流駆動装置の高効率化やプラズマ性能を向上し、定常運転にて～100MW（正味電力＞0）規模の発電を実証

	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（+燃料増殖実証）	第3期 拡張運転期（+定常運転実証）
目標の概要	- 短パルス運転（数分） - 発電端出力 > ～180MW - 正味電力 ～ 0	- 長パルス運転（数時間） - 正味電力 ～ 0 - 三重水素自己充足性の確認	- 定常運転 - 正味電力 > 0（～100MW） - 三重水素自己充足性の実証 - 保守シナリオの確認
装置仕様	発電実証： - ITERをベースとした運転シナリオ - 核融合出力：～500MW - Q値(プラズマへの入力/出力パワーの比): 10 - パルス幅：～400秒 - 発電ブランケット - 発電に特化したブランケット - ITERと同サイズ - 加熱・電流駆動装置 - 電子サイクロトロン加熱のみ	発電実証： - プラズマ圧力を上げた運転シナリオ - 核融合出力：≥500MW - Q値：～10 - 加熱・電流駆動装置 - 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） 燃料増殖実証： - 増殖ブランケット	発電実証： - JT-60SAの成果を反映した運転シナリオ（さらに高いプラズマ圧力、高いプラズマ閉じ込め） - 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 燃料増殖実証： - 改良型増殖ブランケット 保守シナリオの確認： - 多段階運転期の移行時に遠隔操舵でのブランケット交換手順・時間の確認

※第3期以降には、フュージョンエネルギーの多面的な活用(水素製造など)による社会実装に向けた開発も想定

- 第1期に向けて必要な技術のほとんどをITER調達・建設で獲得し、**早期の建設着手が可能**

✓ ITERの運転開始2034年には装置技術を実証

✓ ITER建設に含まれていないブランケットや燃料サイクルシステムの技術開発を着実に実施

● 第2期に向けて必要な設計のほとんどをJA DEMOの概念設計で検討しており、**早期の工学設計着手が可能**

✓ 交換を想定する炉内機器や加熱装置の高性能化を建設期間中に優先的に実施

✓ JT-60SAでの高性能プラズマ開発

● 第3期では商用化を見据え、100MWクラスの正味電力で定常運転を目指すために、**新技術を取り入れる。**

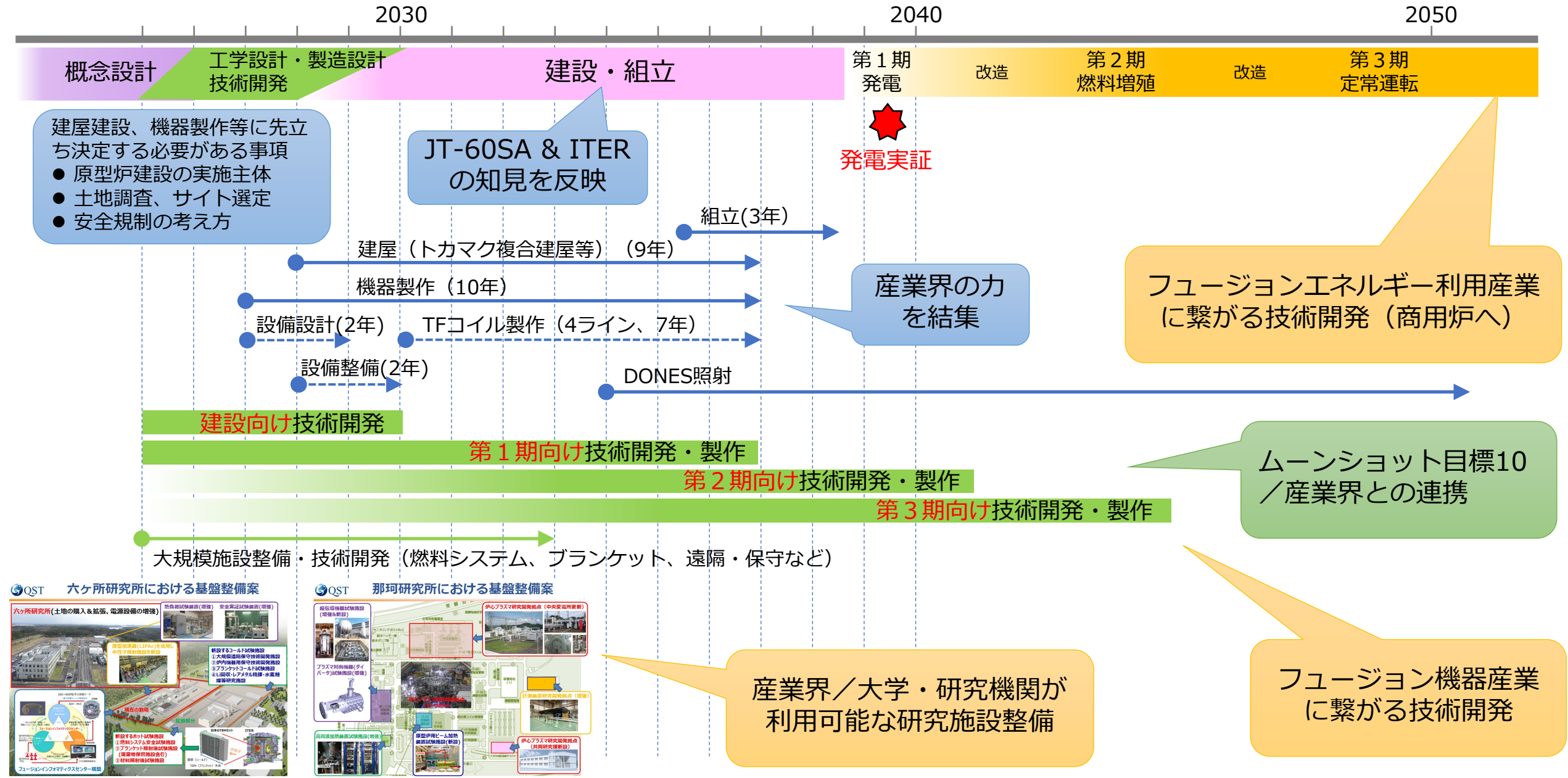
✓ JT-60SAでの高性能プラズマ開発に加えて、

✓ 例えば、小型ブランケット、高性能遮蔽体、小型ダイバータなどを導入

✓ 炉心プラズマの体積を拡大して要求性能を緩和
- 装置パラメータ（暫定値）

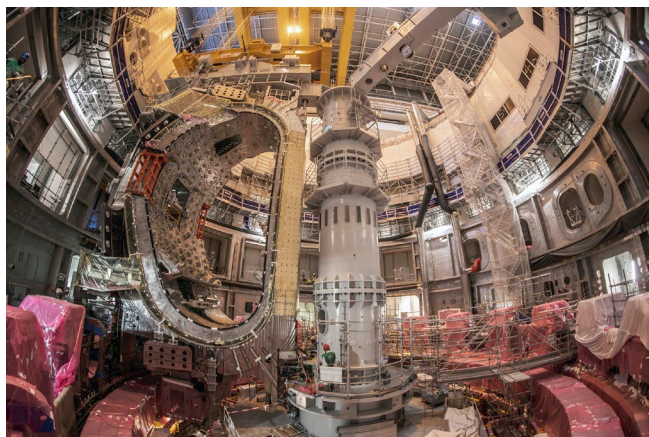
		第1期 (発電実証)	第2期 (+ 燃料増殖実証)	第3期 (+ 定常運転実証)
サイズ、配位	R_p / a_p (m)	6.2 / 2.0	6.2 / 1.65	6.2 / 1.65
	A	3.1	3.76	3.76
	κ_{95}	1.7	1.7	1.7
	q_{95}	3.0	4.0	3.68
	I_p (MA)	14.96	7.36	8.0
	B_T (T)	5.29	5.29	5.29
	Pulse width	337sec	3.98 hrs	Steady State
核融合性能	P_{fus} (MW)	492	510	820
	Q	10	10	14.4
	P_{net} (MWe)	7.31	9.3	82.5
	P_{gross} (MW)	188	195	307
	P_{ADD} (MW)	49.2	51.0	56.8
プラズマ性能	f_{BS} (%)	21.7	58.9	68.9
	n_e ($10^{19}m^{-3}$)	9.95	8.9	9.74
	HH_{98y2}	0.95	1.41	1.50
	β_N	1.8	3.4	4.3
	n_e/n_{GW}	0.85	1.19	1.20
BLK	Breeding / shielding zone		0.5 / 0.35	0.5 / 0.35
	Net TBR		1.05	1.05

引用：第41回核融合科学技術委員会資料（一部変更）

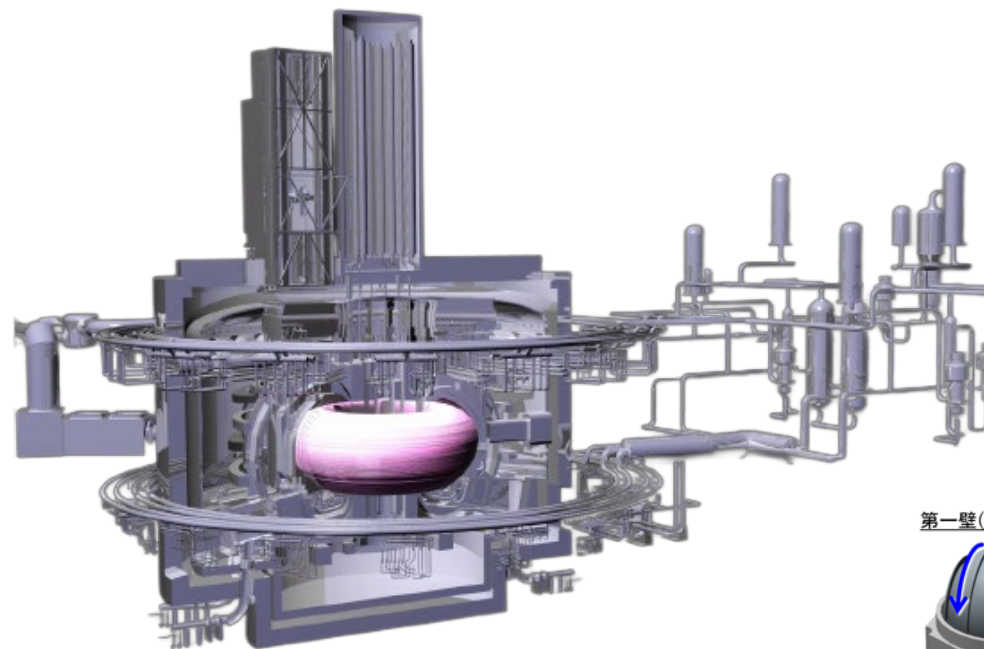


「ITERのリアルな設計」と「JA DEMOの概念設計」の有機的統合により、
ITERサイズ原型炉の概念設計を加速：令和7年度完了を目指す

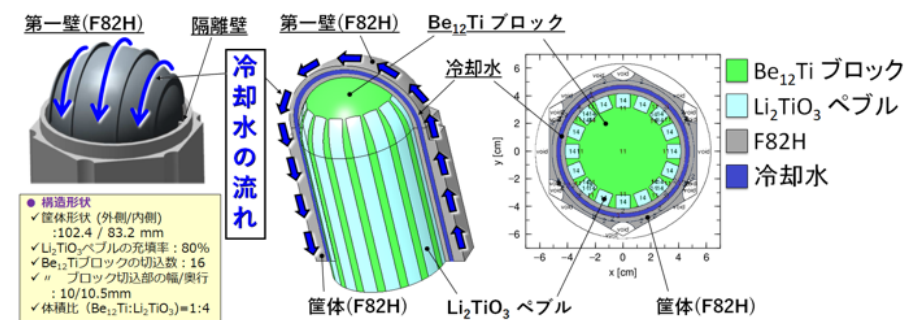
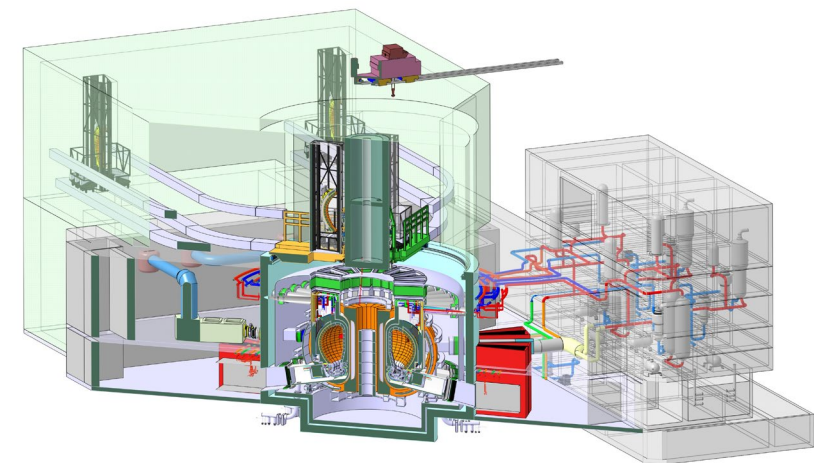
ITER調達・建設



ITERサイズ原型炉 (有機的統合)



JA DEMO概念設計



- 「世界に先駆けて2030年代に発電実証を目指す」政府の方針を実現するため、科学的・技術的に意義ある発電を実証する**ITERサイズ原型炉**の概念構築を進めている。
 - ✓ 燃焼プラズマ($Q > 10$)で正味電気出力($P_{\text{net}} \sim 0$)を2030年代に実証
- 多段階の運転開発期における目標（発電実証、燃料増殖実証、定常運転実証）と装置パラメータの仕様案を設定し、**概念設計の具体化**を進めている。
- 産業界・大学・研究機関との協働により**令和7年度に概念設計を完了**し、並行して工学設計や実規模技術開発に向けた**体制の構築**を進める。

ご清聴、有難う ございました。



(写真)

原型炉設計合同特別チーム第19回全体会合
令和7年3月17-19日