

原型炉研究開発ロードマップの見直しに向けて

核融合科学技術委員会
原型炉開発総合戦略タスクフォース

原型炉開発総合戦略タスクフォースにおける議論①

フュージョンエネルギーの早期実現に向けて

第38回核融合科学技術委員会・
第35回原型炉開発総合戦略TF
資料 令和6年7月10日

- フュージョンエネルギーの早期実現に向けては、原型炉を早期に建設することが肝要。

※フュージョンエネルギー・イノベーション戦略（令和5年4月14日 統合イノベーション戦略推進会議）（抜粋）

「我が国でフュージョンエネルギーを最短距離で実用化するためには、原型炉の発電実証時期とコスト等を明確化し、原型炉を早期に建設することが肝要であるため、従来のITER計画/BA活動からの原型炉開発というアプローチを強力に推進する。」

- 第三段階核融合研究開発基本計画等、これまで原型炉に向けた方針を策定し、研究の進展や国内外の状況の変化に応じ、適宜見直しを実施。

- ITER計画の進捗状況や諸外国で掲げられている野心的な目標も踏まえ、以下の観点に留意しつつ、原型炉に向けた方針を見直してはどうか。

- ✓ 社会実装に繋がる、科学的・技術的に意義のある発電実証を、可能な限り早期に実現すること
- ✓ 原型炉目標※や原型炉段階への移行判断を見直すこと
 - ※ ①数十万 kW を超える定常かつ安定した電気出力
 - ②実用に供し得る稼働率
 - ③燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増殖を実現すること
- ✓ ITER計画/BA活動の知見や新興技術を最大限活用すること
- ✓ 原型炉実現に向けた基盤整備(研究開発、人材育成、アウトリーチ活動、拠点化)を含めた、バックキャストに基づくロードマップを策定すること

本日の原型炉開発総合戦略TFの議論

第36回原型炉開発総合戦略TF
資料 令和6年8月19日

前回の議論を踏まえ、原型炉開発総合戦略TFでは、以下の点について議論。

① 原型炉研究開発ロードマップの見直しに向けた検討 ⇒ 「本日の議題 2」

- ・ITER計画のベースラインの改定も見据え、原型炉研究開発ロードマップの見直しに向けた議論
- ・ITER計画/BA活動の知見や新興技術を最大限活用し、バックキャストに基づくロードマップを策定

② 原型炉実現に向けた基盤整備 ⇒ 「本日の議題 3」

- ・QSTやNIFS等における取組(研究開発・人材育成・アウトリーチ活動・イノベーション拠点化等)の具体化

本日の議題 2 では、QSTにおいて前頁の方針や「2030年代の発電実証を目指す」とした閣議決定を踏まえて検討を行っており、以下の事項について議論。

1. 原型炉移行判断の見直しについて

ITER計画のベースラインの改定も見据えた、見直し案を議論。

2. 発電実証の更なる前倒しの可能性について

スケジュールを更に前倒しすべきとの方針を踏まえ、原型炉目標・設計の変更について検討。

例えば、以下の変更の方向性が考えられることから、各プランの概要、想定されるスケジュール、増加するリスクや技術的課題についても発表。

- ・プランB (ITERサイズの原型炉) cf. 原型炉設計合同特別チームでの議論
- ・プランC (発電実証を主目的とする装置の建設) cf. 第34回 原型炉開発総合戦略タスクフォースでの説明
- ・プランD (原型炉の第1期目標を「発電実証」として、後に多段階で改造)

発電実証の早期実現にむけて、ITERサイズの原型炉が技術的に成立するかの検討を開始

第36回原型炉開発総合戦略TF 資料(「発電実証のさらなる前倒しの可能性」について) 一部改訂 令和6年8月19日

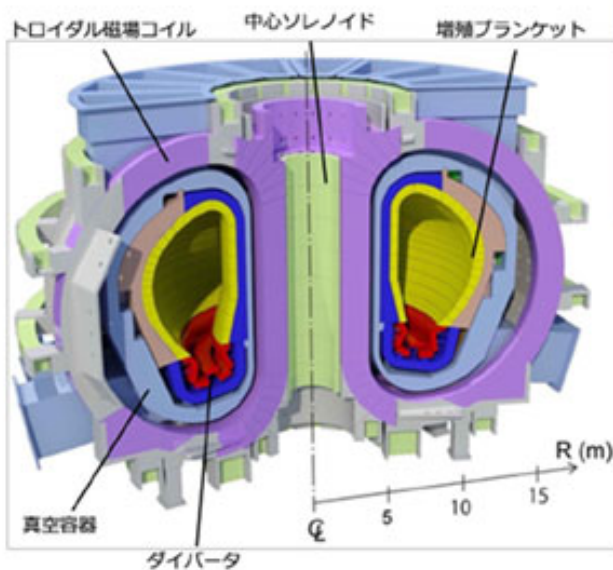


核融合科学技術委員会の提示した原型炉の目標

- 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
- を満足するJA DEMOはITERの1.4倍のサイズ



運転開始時から核融合科学技術委員会の目標①～③の同時達成を目指すのではなく、0.1GWクラスの発電実証を原型炉の第1期目標として定めることで移行判断の前倒しが可能ではないか、ということを念頭に、ITERサイズの原型炉が技術的に成立するかの検討を開始



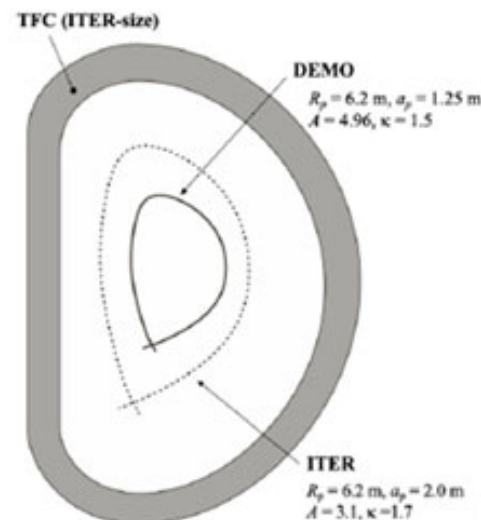
JA DEMO

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

検討例 (第1期)

主半径: 6.2m
小半径: 1.25m
核融合出力: 0.17GW
発電端出力: 0.07GW

- ITERと同じサイズのトロイダル磁場コイルや真空容器に、JA DEMOで設計が進められている増殖ブランケットを導入した場合、JA DEMOの1/10程度の発電量が見込める
- 主要機器を段階的にアップグレードする(第1期～第3期) ことで性能向上をめざす





発電実証のさらなる前倒しの検討に向けて（２）

4



- 前倒しを行うためには、建設の早期着手と建設期間の短縮が必要である。
- 実験炉ITERの建設経験を踏まえると、ITERよりも大型化しているJA DEMOの建設工期を短縮するのは容易ではない。特に、トロイダル磁場コイルは既存の大型装置で加工できないだけでなく輸送が困難なために、原型炉建設サイト内で製作する必要がある。
- そこで、令和4年にタスクフォースが示した原型炉計画をさらに前倒しするには、トロイダル磁場コイルの製作実績があること及び燃焼プラズマ（高エネルギー増倍率）を見通せることからITERサイズを最大（同一）とする原型炉において、運転開発フェーズの目標を設定し、まず早期に発電を実証し、その後段階的に機器を改良することで、商用化を見据えた技術開発を行うアプローチが考えられる。
- また、早期発電実証に必要なR&Dを先行して実施し建設に着手し、定期交換する炉内機器（ブランケットやダイバータ）の高性能化や加熱装置（NBI, EC）の定常化・高効率化に関するR&Dを建設と並行して行うことが前倒しに有効である。なお、これらは社会実装に向けて原型炉計画と並行して開発すべき技術であり、民間活用も導入することで核融合機器産業や核融合発電産業への展開を見込むべき。
- 第36回TF会合において、ITERサイズのトロイダル磁場コイルや真空容器に増殖ブランケットを導入した場合の発電規模（プランB）や、多段階で改造する計画案（プランD）を報告した。
- 本日は、これらの改定更新について報告する。

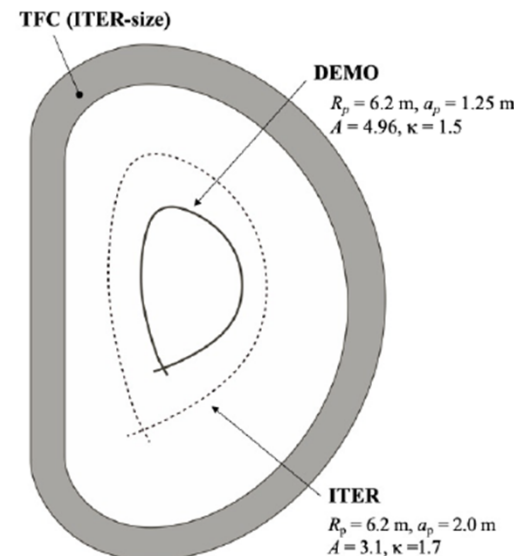
- ITERサイズの原型炉により発電を2030年代に実証
 - ✓ ITERと同じ炉心機器 → 設計、R&D、試作等を大幅に簡略化
 - ✓ 機器製作（ITER調達）、統合化技術（JT-60SA建設） → 日本の優れた技術力
 - ✓ 核融合科学技術委員会の提示した原型炉の目標を達成するために必要な技術を原型炉建設と並行して開発 → 戦略的R&D
- 「発電実証」の目安は、発電のために消費する電力を賄う／上回る発電端出力（正味電力 $> \sim 0$ ）
 - ✓ 設備の高効率化に必要な技術開発も並行して実施 → 商用炉段階に正味電力を増大
- 多段階の運転開発期の目標を設定し、機器を段階的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を担う → リソースを合理化
- 商用炉に必要な新技術をも原型炉建設に並行して開発、後期に導入することで性能を段階的に向上
 - ✓ 商用化への技術ギャップを最小化 → 早期の社会実装

建設に最短
で着手

- さらなる前倒しのため製作実績のあるITERと同一のトロイダル磁場コイル(TFC)を想定
- 原型炉と同等の増殖ブランケット(0.5m) & 遮蔽領域(0.6m)を確保した場合、プラズマ断面はITERよりも大幅に小さく、JA DEMOで想定するプラズマ性能を仮定しても、発電端出力 $P_{gross} < 100$ MWは得られるものの正味電力 $P_{net} < 0$ となる。

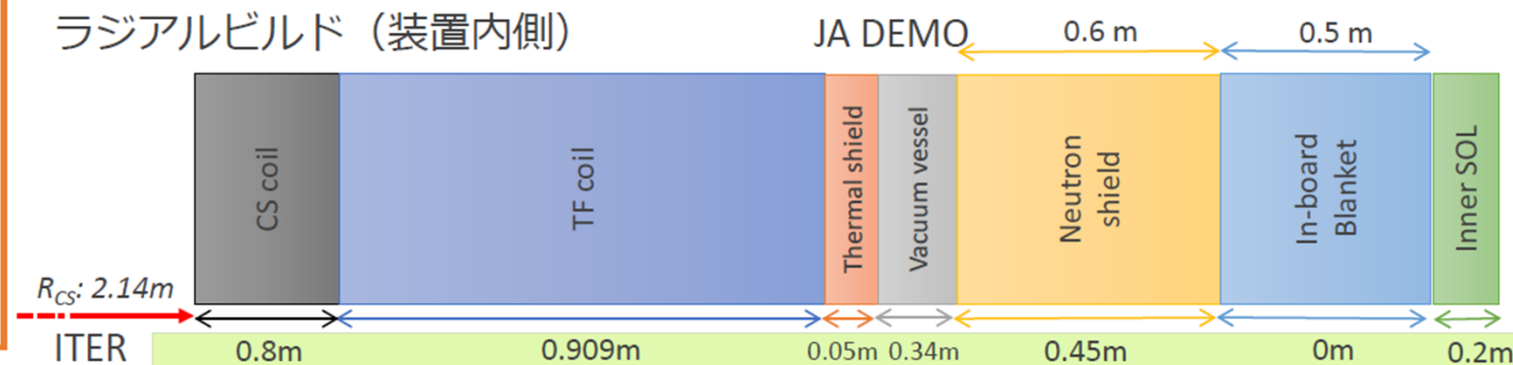
正味電力を得るためには以下の方策がある。

- 増殖領域を ~ 0.2 m薄くすると、 $P_{gross} \sim 100$ MW, $P_{net} > 0$ に見通し
✓ TBRの12%減少とのトレードオフ
- さらに遮蔽領域を ~ 0.2 m薄くすると、 $P_{gross} \sim 200$ MW, $P_{net} > 50$ MWに見通し
✓ TFC絶縁材の寿命とのトレードオフ
- あるいはITER遮蔽ブランケットと同サイズの発電ブランケットを設置



正味電力ゼロを当初目指しつつ、その後ITERやJT-60SAに加え各種R&Dの成果を踏まえ、フュージョンエネルギーによる100MWクラスの発電実証を目標として定めることには十分な意義があるのではないかと。

(正味電力はプラズマ性能向上やシステム効率の改善で増大可能)



原型炉開発総合戦略タスクフォースにおける議論⑥



多段階運転期における目標と装置仕様（例）

7



	第1期 システム統合運転期（発電実証）	第2期 BLK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）	第4期（オプション） 社会実装に向けた開発期
目標の概要	- 短パルス運転（数分） - 発電端出力 > 200MW - 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 - 保守シナリオの確認	- 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	フュージョンエネルギーの多面的な活用による社会実装に向けた開発
装置仕様	<u>発電実証：</u> - ITERベースラインシナリオ ✓ 核融合出力：500MW ✓ Q値：10 ✓ パルス幅：~400秒 - 発電ブランケット ✓ ITER遮蔽ブランケットと同サイズ - 加熱・電流駆動装置 ✓ 電子サイクロトロン加熱のみ	<u>発電実証：</u> - JA DEMO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） <u>燃料増殖実証：</u> - JA DEMO増殖ブランケット - ブランケット占有領域増大 ✓ 計測器合理化 ✓ ダイバータ小型化 <u>保守シナリオの確認：</u> - 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	<u>発電実証：</u> - JT-60SAシナリオ - 核融合出力：>500MW - 加熱・電流駆動装置の高効率化 <u>燃料増殖実証：</u> - 改良型増殖ブランケット <u>保守シナリオの確認：</u> - 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	- 先進ブランケット（例：高温） - 先進ダイバータ（例：液体金属） - 水素製造 - 無尽蔵核融合エネルギーステーション（海水Li回収を併設）

原型炉研究開発ロードマップの見直しに向けた今後の議論の方向性(案)

- 原型炉の早期建設の肝要性、ITER計画の進捗状況などを踏まえ、「発電実証のさらなる前倒しの可能性」について検討。
- 原型炉の第1期目標を「発電実証」として、**後に多段階で改造する計画案(プランD)の技術的実現可能性が示された**ことを踏まえ、原型炉目標の見直しや技術的課題のさらなる検討、現実的な工程表の作成などが必要との方向性を得たところ。

<さらなる検討を行う必要がある技術的課題の例>

- ▶ 発電実証に伴う真空容器内の放射化・廃棄物対策、開発設計段階における遠隔保守の研究開発
- ▶ 原型炉の製造・電源などの国産化の精査・国内技術の開発・技術的優位性の確保
- ▶ 核融合中性子源による研究開発との相補性 ▶ 加熱方策におけるJT-60SAの研究開発との相補性
- ▶ 中性粒子ビームの開発が遅延した場合の方策 ▶ 高いアスペクト比を小さくするための方策

- また、ITER 計画のベースラインの見直しによる影響は、トロイダル磁場(TF)コイルなど、ITERで得られた知見を活用(ITERと並走で原型炉研究開発を実施する相補的なリアルツインの手法)することで、軽減でき得るのではないかと考えます。

- 今後、原型炉研究開発ロードマップの見直しに向け、ITER計画やJT-60SA以外の核融合中性子源や安全性研究・トリチウム取扱技術、ブランケット開発、人材育成や社会受容性などについて審議を行い、バックキャストに基づくロードマップの策定や国家戦略の改訂の議論に結び付ける予定。

