

フュージョンエネルギーの早期実現に向けて ～フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の加速～

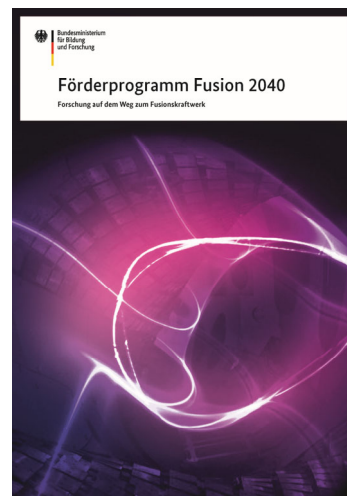
研究開発戦略官付
(核融合・原子力国際協力担当)

フュージョンエネルギーを巡る環境の変化

【諸外国の動向】

各国が国策としてフュージョンエネルギーを推進

-  2024年6月、2022年に発表したビジョン“Bold Decadal Vision for Commercial Fusion Energy”の2周年記念イベントをホワイトハウスで開催。「フュージョンエネルギー戦略2024」を発表。
-  2023年10月、2021年に策定した戦略を更新“Towards Fusion energy 2023”。2040年までに、原型炉に相当するSTEPを建設するため、実施主体 UKIFS を設立。
-  2023年9月、連邦教育研究大臣が新たな研究支援プログラムを開始すると発表。
2024年3月、国家戦略“Fusion 2040 - Research on the way to a fusion power plant”を策定。
-  核融合の要素技術を獲得するための大規模試験施設群「CRAFT」を2019年に建設開始。
ITERに先立ってDT運転を行うトカマク型核融合実験炉「BEST」を2023年に建設開始。
-  2024年6月、イーター機構から、計画のスケジュール・コスト等を定める基本文書「ベースライン」の更新の提案。
工程の大幅な組み換えを行うことにより、2035年の核融合運転開始の時期には影響を与えない方針。



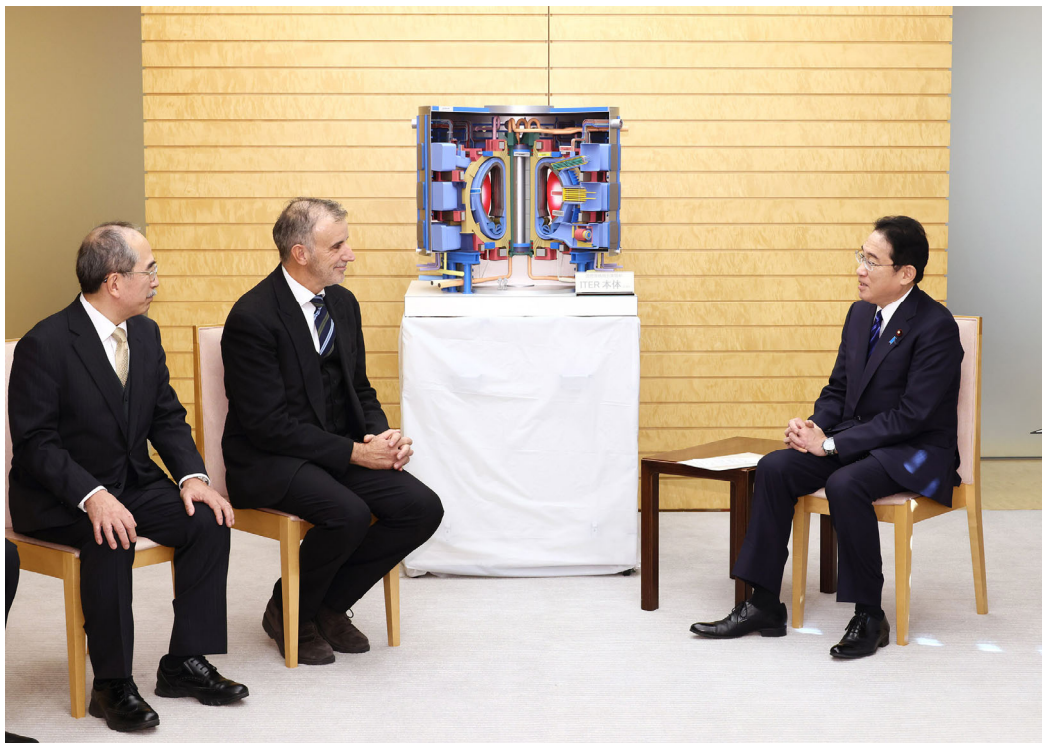
ITER機構長の総理表敬(11/30)



令和5年11月30日、岸田総理は、総理大臣官邸でピエトロ・バラバスキ ITER機構長による表敬を受けました。

(出典)

https://www.kantei.go.jp/jp/101_kishida/actions/202311/30hyokei.html



核融合実験炉JT-60SAの初プラズマ達成、心からお喜び申し上げます。

我が国においては、4月に策定した「フュージョンエネルギー戦略」に基づいて、フュージョンエネルギーの産業化を進めています。

「イーター計画」等で培った技術や人材を最大限活用して、産業界との協働や、安全規制に関する検討など、フュージョンエネルギーの早期実現に向けた取組を加速していきたいと考えています。

バラバスキ機構長の下、「イーター計画」が前進していくことを心からお祈りし、そして是非日本も貢献していきたいと考えています。

現在、世界各国が大規模投資を実施し、自国への技術・人材の囲い込みが更に加速している。日本の技術・人材の海外流出を防ぎ、世界のハブとなるため、我が国のフュージョンエネルギー・イノベーション拠点化を推進するなど、**エコシステム構築**に向けた取組を強化するべきではないか。

＜必要な取組例＞

- 原型炉実現に向けた基盤整備の加速
(QST等の体制強化、アカデミアや民間企業の結集)
- 大学間連携による人材育成
(体系的な人材育成システムの構築と育成目標の設定)
- ITER/BA活動を通じたコア技術の獲得
(ベースラインの改定も踏まえ、知見活用)
- 国民の理解を深めるアウトリーチ活動の実施
(リスクコミュニケーションによる国民理解の醸成)
- 核融合産業協議会との連携
(国際標準化、サプライチェーンの構築、事業化支援)
- 安全確保の基本的な考え方の策定
(学会等と連携し、国際協調による規制の策定及び標準化)
- QST、NIFS、ILE等のイノベーション拠点化
(原型炉開発等に必要な施設・設備群の整備・供用)
- 国際活動の戦略的推進
(ITER計画・BA活動含めた、多国間・二国間の連携強化)

※QST:量子科学技術研究開発機構、NIFS:核融合科学研究所、
ILE:大阪大学レーザー科学研究所

6/3 総合科学技術・イノベーション会議における岸田総理の発言



本日は、有識者議員の皆さんにも御参加いただき、[統合イノベーション戦略2024](#)を議論いたしました。次期科学技術・イノベーション基本計画を、令和の時代の科学技術創造立国の実現に向けた計画としていくための、第一歩となるものです。

[新たな産業の芽となるフュージョン](#)や量子等の重要技術について、ゲームチェンジャーとなり得るコア技術の開発を進めるとともに、他の戦略分野との融合による研究開発に取り組んでいきます。また、戦略分野において国際的ルールメイキングを主導し、経済安全保障との連携を強化していきます。

(以下略)

統合イノベーション戦略 2024①

- ・フュージョンエネルギーは、次世代のクリーンエネルギーとして、環境・エネルギー問題の解決策としての期待に加え、国際プロジェクトで建設が進められているITERや、米国ローレンスリバモア国立研究所などにおける政府主導の取組の科学的・技術的進展もあり、諸外国における民間投資が増加している。世界各国が大規模投資を実施し、国策として自国への技術・人材の囲い込みを強める中、日本の技術・人材の海外流出を防ぎ、我が国のエネルギーを含めた安全保障政策に資するため、「フュージョンエネルギー・イノベーション戦略(2023年4月14日統合イノベーション戦略推進会議決定)」に基づく取組を加速する。特に、国としてのコミットメントを明確にする観点から、**世界に先駆けた2030年代の発電実証の達成に向けて、必要な国の取組を含めた工程表を作成するなど、フュージョンエネルギーの早期実現を目指す。**
- ・民間企業やアカデミアの予見可能性を高めるため、米国や英国等のスタートアップが掲げる野心的な発電時期も踏まえつつ、**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する。**

統合イノベーション戦略 2024②

- ・ 原型炉実現に向けた基盤整備を加速するため、産学官の研究力を強化するとともに、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下「QST」という。)等の体制を強化し、他の国研等とも連携しつつ、アカデミアや民間企業を結集して技術開発を実施する体制やスタートアップ等への供用も可能とする実規模技術開発のための試験施設・設備群を整備する。また、トカマク型、ヘリカル型、逆磁場配位型、ミラー型などの磁場閉じ込め方式、レーザー型のような慣性閉じ込め方式などの様々な方式の研究開発が進められている中で、2024年3月に設立された「一般社団法人フュージョンエネルギー産業協議会(J-Fusion)」等の産業界と連携し、国際標準化を戦略的に主導することや、小型動力源等の多様な社会実装に向けた用途を実証すること等により、サプライチェーンの発展や投資の促進を支援するなど、エコシステム構築に向けた取組を推進する。また、ITER計画のベースラインの改定も見据えつつ、ITER計画/BA活動を通じたコア技術を着実に獲得するとともに、日米共同声明や日欧共同プレス声明も踏まえつつ、多国間・二国間の連携を強化する。さらに、民間企業の参画や原型炉開発を促進するため、内閣府の安全確保検討タスクフォースにおいて、関連学会やG7などの同志国と連携し、2024年度中に、科学的に合理的で国際協調した基本的な考え方を策定する。あわせて、原型炉開発などのフュージョンエネルギーに携わる人材を戦略的に育成するため、大学間連携・国際連携による体系的な人材育成システムを構築するとともに、リスクコミュニケーションによる国民理解の醸成等の環境整備を一体的に推進する。

6/3 自民党 フュージョンエネルギーPTの提言



第6期科学技術基本計画では、期間中(令和3～7年度)の政府投資目標30兆円を既に達成しました。一方、地球規模課題・社会課題・経済安全保障リスクなど、科学技術・イノベーションの役割と責任は増えています。これを踏まえ、党科学技術・イノベーション戦略調査会では、一層の政策推進を図ることを求め、決議をまとめました。

特に、フュージョン(核融合)エネルギー分野については「**フュージョンエネルギーPTを設置して集中的に議論**を進め、国策としての戦略的な推進、実証目標の前倒し、開発促進のための法整備、政府の体制整備、エネルギー基本計画における位置づけの検討など、今後必要となる施策を提言としてまとめました。

新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画2024年改訂版

6. 官民連携による科学技術・イノベーションの推進

科学技術・イノベーションには、感染症・地球温暖化・少子高齢化等、世界が直面する様々な社会的課題を解決する力がある。官民が連携して科学技術投資の拡充を図り、令和の時代の科学技術創造立国を実現する。

(1) フュージョンエネルギー・イノベーション戦略

フュージョンエネルギー(核融合エネルギー)の実現は、わが国の自律性の確保、産業振興を通じた国富の増大およびエネルギーを含む経済安全保障全般の強化に資することから、**戦略、法制度、予算、人材面での強化が必要**である。

フュージョンエネルギーの早期実現と産業化を目指し、**実証試験施設群の整備によるQST等のイノベーション拠点化**や、**スタートアップを含めた官民の研究開発力を強化**する。また、**日米・日欧等の国際連携を戦略的に推進**するとともに、**安全確保の基本的な考え方**を示す。**2030年代の発電実証を目指すと共に、産業化までをも見据え、現行戦略を早期に改定**する。その上で、

- i)** 他国に劣らない資金供給量を確保し、トカマク型のみならず様々な型の事業者間競争を促す支援、
- ii)** 大規模試験施設・設備群の拠点化、
- iii)** 原子炉等規制法の対象にはならないとの政府解釈の更なる深化、
- iv)** 新エネルギー・産業技術総合開発機構、科学技術振興機構、量子科学技術研究開発機構等の資金供給機能の強化、
- v)** 輸出管理や投資規制に関する外為法上の取扱いを含めた、技術管理の在り方、
- vi)** 推進体制の強化等を目的とする基本法の制定、

について早急に検討し、措置を講ずる。次期エネルギー基本計画において、エネルギー政策上の位置づけを高めるとともに、世界に先駆けた発電実証に向けて検討を加速する。

フュージョンエネルギーの早期実現に向けて

- 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。」

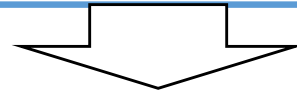
- 第三段階核融合研究開発基本計画等、これまで原型炉に向けた方針を策定し、研究の進展や国内外の状況の変化に応じ、適宜見直しを実施。
- ITER計画の進捗状況や諸外国で掲げられている野心的な目標も踏まえ、以下の観点に留意しつつ、原型炉に向けた方針を見直してはどうか。
 - ✓ 社会実装に繋がる、科学的・技術的に意義のある発電実証を、可能な限り早期に実現すること
 - ✓ 原型炉目標※や原型炉段階への移行判断を見直すこと
 - ※ ①数十万 kW を超える定常かつ安定した電気出力
 - ②実用に供し得る稼働率
 - ③燃料の自己充足性を満足する総合的なトリチウム増殖を実現すること
 - ✓ ITER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

(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント①

- 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

第三段階核融合研究開発基本計画 (平成4年6月原子力委員会)

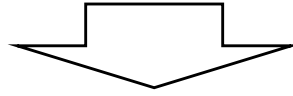
- ✓ 第三段階の研究開発は、自己点火条件の達成及び長時間燃焼の実現並びに原型炉の開発に必要な炉工学技術の基礎の形成を主要な目標として実施
- ✓ 第三段階の研究開発は、平成4年度から開始し、実験炉による研究開発が終了し、かつ、次期中核装置と考えられる**原型炉による研究開発が開始される段階**、又は第四段階核融合研究開発基本計画の策定が行われた段階のいずれか早い時点において完了



今後の核融合研究開発の推進方策について (平成17年10月原子力核融合専門部会)

- ✓ トカマク方式において、一定の経済性を念頭においた原型炉に向けての開発研究をITERと並行して進めることが妥当。
- ✓ 原型炉は、ITER 程度の炉心寸法と百万kW レベルの発電能力を持つことが想定。
- ✓ 原型炉は、1年程度の連続運転が可能であるとともに、高いプラント効率や送電端での高い出力安定性、及び1を超える総合的なトリチウム増殖率 (TBR) が必要。

(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント②



核融合原型炉研究開発の推進に向けて（平成29年12月核融合科学技術委員会）

- ✓ トカマク方式を炉型とし、第四段階への移行条件を満足させる技術課題の達成を、産学官の核融合研究開発コミュニティ全体の共通目標
- ✓ 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を原型炉の目標
- ✓ 原型炉への移行判断は、ITERの核融合運転(DT)が見込まれる2030年代に行う。
原型炉段階に移行する際には、実用炉段階で経済性を達成できる見通しを得ておく必要。
- ✓ 中間C&Rを見直し、2回に分けて実施する。
 - (1) JT-60SA の運転が開始する2020年頃
 - (2) ITER のファーストプラズマが予定される2025年から数年以内
(原型炉に必須のコンポーネントの工学開発活動の開始の適否も判断)
- ✓ アクションプランの時系列展開、及び中間チェックアンドレビュー項目と時期は、コミュニティ内外での議論のもと、ITER計画の進捗状況やBA活動の成果を踏まえて随時タスクフォースが見直してゆくこと

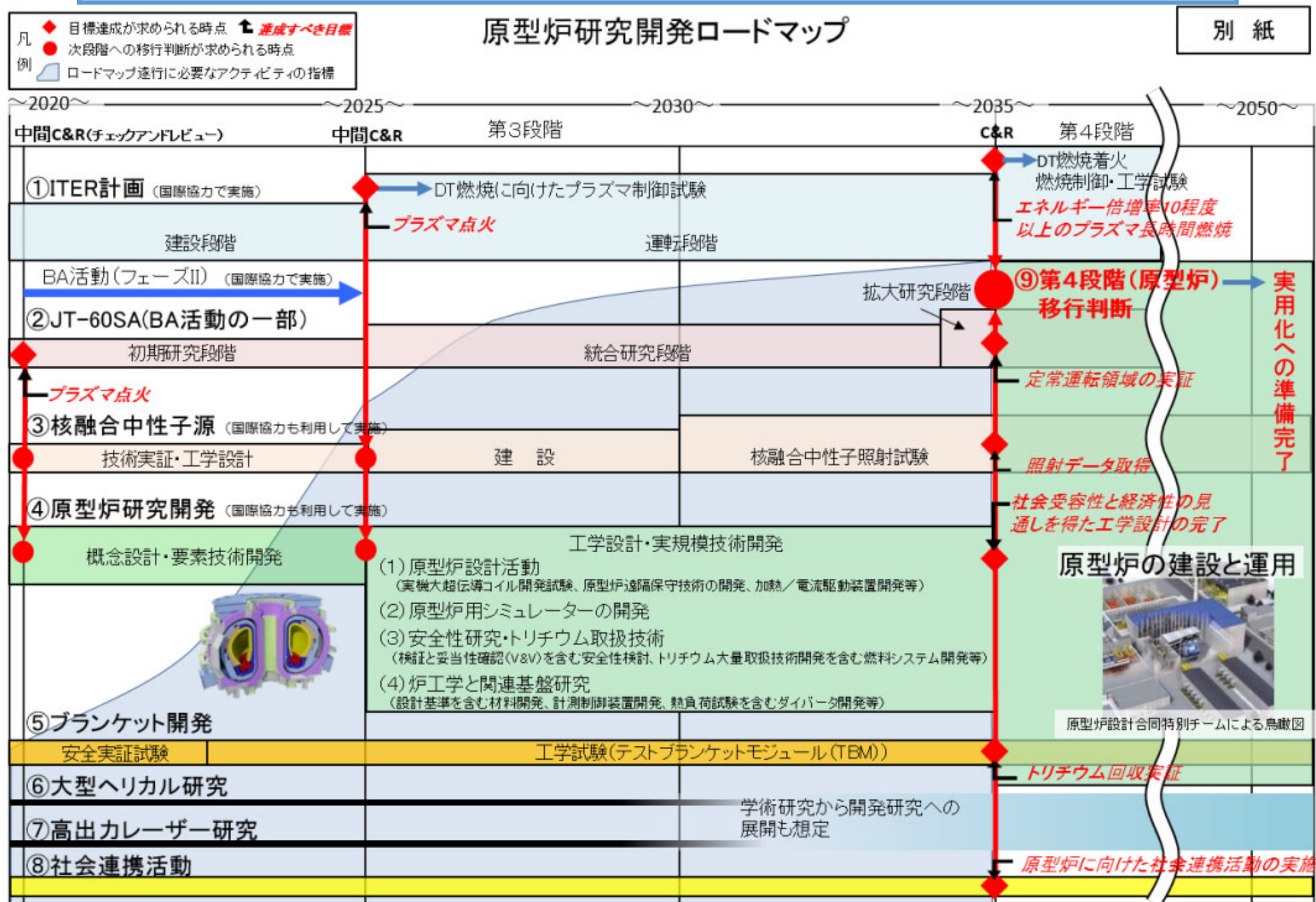
(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント③

核融合原型炉研究開発の推進に向けて (平成29年12月核融合科学技術委員会※令和5年4月改訂)

項目	第1回中間C&Rまでの達成目標	第2回中間C&Rまでの達成目標	原型炉段階への移行判断
① ITERによる自己加熱領域での燃焼制御の実証	・ITERの技術目標達成計画の作成。	・ITER支援研究のITER技術目標達成計画への反映。	・ITERによるQ=10程度以上の(数100秒程度以上)維持と燃焼制御の実証。
② 原型炉を見据えた高ベータ定常プラズマ運転技術の確立	・ITER支援研究と定常高ベータ化準備研究の遂行とJT-60SAによる研究の開始。	・JT-60SAによる高ベータ非誘導電流駆動運転の達成。 ・ダイバータを含む統合シミュレーションのJT-60SA等による検証。 ・JT-60SAによる原型炉プラズマ対向壁と整合したダイバータ研究計画の作成。	・ITERによる非誘導電流駆動プラズマの実現、及びITER燃焼制御の知見を踏まえた統合シミュレーションにより、非誘導定常運転の見通しを得る。 ・JT-60SAによる原型炉プラズマ対向壁と整合した無衝突領域での安定な高ベータ($\beta_N = 3.5$ 以上)定常運転領域の実証。
③ ITERによる統合化技術の確立	・ITER超伝導コイルなど主要機器の製作技術の確立とJT-60SAの建設による統合化技術基盤の確立。	・ITERの運転開始に必要なITERの機器製作・据付・調整に関わる統合化技術の取得。	・ITERの運転・保守を通じた統合化技術の確立。安全技術の確認。
④ 原型炉に関わる材料開発	・低放射化フェライト鋼の原子炉照射データを80dpaレベルまで取得し、核融合と類似の中性子照射環境における試験に供する材料を確定。 ・核融合中性子源の概念設計の完了。	・原子炉照射による低放射化フェライト鋼の重照射データの検証を完了。 ・原子炉照射によるブランケット及びダイバータ機能材料の初期照射挙動の評価、及びリチウム確保技術の原理実証。 ・核融合中性子源の建設に向けた研究開発の実施、及び材料照射データ取得計画の作成。	・構造設計基準策定 ・パイロットプラント規模でのリチウム確保技術の確立。 ・核融合中性子源の建設開始、及び核融合中性子源による低放射化フェライト鋼、並びに、ブランケット及びダイバータ機能材料の照射データ取得計画の作成。
⑤ 原型炉に関わる炉工学技術開発	・ダイバータ開発指針の作成。 ・超伝導コイル要素技術等、原型炉に向けて早期着手を必要とする炉工学開発計画の作成。 ・コールド試験施設によるブランケット設計に必要なデータの取得。	・JT-60SA、LHD等によるプラズマ対向材特性を含むダイバータ関連データの取得。 ・超伝導コイル、ダイバータ、遠隔保守、加熱・電流駆動、燃料システム、計測・制御等の中規模またはプラント規模の炉工学開発計画の作成、並びに、これらの開発試験施設の概念設計の完了。 ・発電ブランケットの基盤技術整備、並びにITER-TBM1号機製作と実機での安全性確認試験の完了。	・開発試験施設での成果およびITER、JT-60SA等の実績を踏まえた、超伝導コイル、ダイバータ、遠隔保守、加熱・電流駆動、燃料システム、計測・制御等の原型炉工学設計を裏付ける炉工学技術の確立。 ・ITERによるトリチウム回収及び核融合中性子源によるトリチウム挙動評価技術の検証。
⑥ 原型炉設計	・原型炉の全体目標の策定。 ・原型炉概念設計の基本設計。 ・炉心、炉工学への開発要請の提示。	・炉心、炉工学技術の開発と整合をとり、高い安全性を確保し経済性を見通しにも配慮した原型炉概念設計の完了。 ・工学設計の技術基盤確立に向けた炉心、炉工学開発課題の確定と開発計画の作成。	・社会受容性と実用化段階における経済性を見通しを得て、炉心・炉工学技術の開発と整合をとった原型炉工学設計の完了。 ・安全規制・法令規制の方針策定。
⑦ 社会連携	・アウトリーチヘッドクォータの設置。 ・アウトリーチ活動推進計画の立案	・アウトリーチ活動の推進と社会連携活動の実施。	・原型炉建設・運転に向けた社会連携活動の実施。

(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント④

原型炉研究開発ロードマップ（一次まとめ）（平成30年7月核融合科学技術委員会）

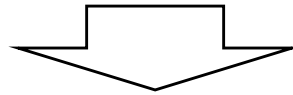


(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント⑤

核融合原型炉研究開発に関する第1回中間チェックアンドレビュー報告書

(令和4年1月核融合科学技術委員会)

- ✓ 核融合発電の実現時期の前倒しが可能かどうか技術的に検討を深めることは重要な課題。何らかの前倒しを行う場合、C R 2で期待する達成目標自体を見直すことや、原型炉に向けた研究開発に関する優先順位を再検討することも課題

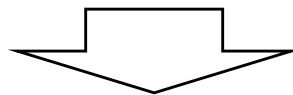


核融合発電の実現時期の前倒しに関する検討を踏まえた原型炉開発に向けたアクションプランの検討について (令和4年10月原型炉開発総合戦略タスクフォース)

- ✓ 前倒しでは、**2040年代の原型炉運転開始を仮定し、そこから概念設計、工学設計、建設、組立の期間をバックキャストして設定**
- ✓ 2035年のITER燃焼実験の直後から、原型炉建設に着手、10年後に原型炉による発電実証を目指すことが可能となり、**現在の計画から5年程度の前倒しの可能性**

表1 前倒しにおいて設定した原型炉の第1期及び第2期の目標

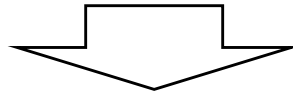
	第1期目標	第2期目標
概要	ITERからの技術ギャップが小さい『低出力&パルス運転』による早期発電実証 (BLK 発電の早期実証)	商用炉段階に向けた『定格出力&連続運転』による発電実証
電気出力	・パルス運転 (電子サイクロトロン共鳴加熱 ECH が主加熱) ・正味 (パルス中) の電気出力の実証	・連続運転 (中性粒子入射加熱 NB による電流駆動&高自発電流割合) ・数十万キロワットの安定した電気出力
稼働率	保守シナリオの実証	実用に供し得る稼働率
TBR	三重水素自己充足性 (TBR $\geq$ 1) の確認	三重水素自己充足性 (TBR $\geq$ 1) の実証



(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント⑥

核融合科学技術委員会における今後の対応案 (令和5年2月核融合科学技術委員会)

- ✓ 技術的な検討の結果及びアクションプランの更新案については、核融合科学技術委員会で受け入れ
- ✓ 「核融合発電の実施時期の変更」については、現在、ITER のベースラインの見直しが行われており、**ベースラインの検討状況等を総合的に勘案した上で判断**する必要があることから、決定を保留



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月統合イノベーション戦略推進会議)

● 産業の予見性を高めるため、**発電実証時期を早期に明確化**すること【文】

海外市場の獲得を目指すこととともに、国内市場の形成も重要である。文部科学省の原型炉研究開発ロードマップ（一次まとめ）においては発電の実現時期を 2050年頃としており、また、文部科学省の原型炉開発総合戦略タスクフォースにおいて技術的には前倒しが可能という検討結果が示された。

ITER計画の進捗及び諸外国で掲げられている野心的な目標も踏まえ、発電実証時期を出来るだけ早く明確化するとともに、研究開発の加速により原型炉を早期に実現する。

(参考) 原型炉研究開発に関するこれまでの方針の主なポイント⑦

統合イノベーション戦略2024 (令和6年6月閣議決定)

- ✓ 特に、国としてのコミットメントを明確にする観点から、**世界に先駆けた2030年代の発電実証の達成に向けて、必要な国の取組を含めた工程表を作成するなど、フュージョンエネルギーの早期実現を目指す。**
- ✓ 民間企業やアカデミアの予見可能性を高めるため、米国や英国等のスタートアップが掲げる野心的な発電時期も踏まえつつ、**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する。**

新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画2024年改訂版 (令和6年6月閣議決定)

- ✓ **2030年代の発電実証を目指す**とともに、産業化までも見据え、現行戦略を早期に改定する。