



ムーンショット目標 10

「2050年までに、フュージョンエネルギーの多面的な活用により、地球環境と調和し、資源制約から解放された活力ある社会を実現」

研究開発の進め方等について

第14回戦略推進会議
(令和6年10月15日)

吉田 善章

(自然科学研究機構 核融合科学研究所 所長)

目次

1. PDについて
 2. ムーンショット目標10
 3. 目標達成に向けた募集方針
 4. 採択候補者
 5. 目標全体の研究開発推進方針など
 6. 採択候補者の研究概要
- 【参考】公募に関する基礎情報など

1. PDについて



吉田 善章

自然科学研究機構 核融合科学研究所 所長

核融合・プラズマ科学、非線形科学。

核融合の鍵となる課題で、最先端の研究成果を創出し続けている第一人者。**核融合研究に幅広い分野の研究者を巻き込み、学際的・国際的共同研究プロジェクトを推進中。**内閣府「イノベーション政策強化推進のための有識者会議「核融合戦略」」構成員

ー主な経歴ー

1980年 東京大学工学部原子力工学科卒業

1982年 東京大学大学院工学系研究科原子力工学専攻修士課程修了

(1982年10月～1983年7月 New York大学Courant数理科学研究所 留学)

1985年 東京大学大学院工学系研究科原子力工学専攻博士課程修了 工学博士

1986年 東京大学工学部助教授

1999年 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授

2021年 自然科学研究機構 核融合科学研究所 所長

ー学会、評価委員など他の要歴ー

2003年～2019年 プラズマ・核融合学会 理事 (2003年～2007年) / 副会長 (2015年～2017年) / 会長 (2017年～2019年)

2004年～2010年 文部科学省 科学官2019年～ アジア太平洋物理学会連合 プラズマ物理分科会 理事

2018年 Mathematical Science Research Institute (Berkeley) Chern Professor

2. ムーンショット目標10

「2050年までに、フュージョンエネルギーの多面的な活用により、地球環境と調和し、資源制約から解放された活力ある社会を実現」



〈ターゲット〉

- ・2050年までに、様々な場面でフュージョンエネルギーが実装された社会システムを実現する。
- ・2035年までに、電気エネルギーに限らない、多様なエネルギー源としての活用を実証する。
- ・2035年までに、エネルギー源としての活用に加えて、核融合反応で生成される粒子の利用や要素技術等の多角的利用により、フュージョンエネルギーの応用を実証する。

3. 目標達成に向けた募集方針

- プロジェクトの目標や内容が従来のもものと比べ、より大胆な発想に基づくものかつ挑戦的なものであり、将来の産業・社会に大きなインパクトが期待される革新的なものであること。
- 2050年の目標達成に向けて、技術的観点や官民の役割分担を含む社会実装の観点から妥当なシナリオ（成功の仮説）を明確に説明できるものであること。
- 提案内容が国内外を問わずトップレベルの研究開発力や知識、アイデアを結集するものであること。

項目	内容
基本要件	・研究開発構想に沿って2050年の目標達成につながること。 ・国際熱核融合炉（ITER）計画等の研究開発の全体像を俯瞰しつつ、革新的な社会実装を目指し、挑戦的であること。 ・たとえ計画通りの結果にならなくとも、「新しい発見」が導かれるよう、確かな研究技術に裏打ちされた綿密な研究計画であること。 ・社会実装に必要な倫理的・法的・社会的課題（ELSI）を考慮すること。
プロジェクトの目標設定の在り方	・革新的な社会実装型：核融合反応の多様な活用法をレイヤー①に想定し、そこからバックキャストして、必要な反応システムの具体像をレイヤー②、さらにそれを可能とする基盤要素技術をレイヤー③として提案すること。 ・革新的な要素技術型：その技術の活用がフュージョンエネルギー実用化に重要な進展をもたらすことはもちろんのこと、大きな汎用性をもって、既に産業化されている技術に革新的な波及効果をもたらすこと、あるいは他の未来技術と融合して破壊的イノベーションを生み出すシーズとなること。

4. 採択候補者

研究代表者 氏名	所属・役職	研究開発プロジェクト名
奥野 広樹(*)	理化学研究所 仁科加速器科学研究センター 核変換技術研究開発室 室長	革新的加速技術による大強度中性子源と 超高温プラズマ維持装置の開発
木須 隆暢	九州大学 超伝導システム科学研究センター 教授	多様な革新的炉概念を実現する 超伝導基盤技術
星 健夫	自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授	超次元状態エンジニアリングによる 未来予測型デジタルシステム

*：必要な最小限の検証・核融合分野研究者を巻き込んだ計画精査、体制構築を実施し、ステージゲートを設けて次の研究段階へ進むか判断(最長1年程度を想定)。

5-1. 目標全体の研究開発推進方針 (PD運営方針)

【研究開発方針】

- ①主路線（ITER→原型炉）の加速に加え、②主路線以外の革新的方式によるフュージョンエネルギーの早期実現、③発電以外の核融合反応の多様な応用、さらに④他の革新技術への波及を作業仮説（2050年の未来像）とし、バックキャストした挑戦的課題に取り組むプロジェクトを実施する。
- 多岐に細分化した先端動向を分析し、勝ち筋を見出すための「メタ研究」を行うことで、フュージョンエネルギー・イノベ科学技術の「共通的課題」を定式化し、win-winの分野間連携を構築する。人材の「抱え込み」から「巻き込み」へパラダイム転換する。

【社会実装に向けた運営の方向性、国内外との連携を含む加速施策等】

- 従来の核融合コミュニティーを超えた広い分野からの研究参画を促し、学際的な研究開発チームを編成して従来研究の延長線にない「破壊的イノベーション」を目指す。
- そのために、意見交換会やワークショップを開催する。（意見交換会4回（4月）、物理学会インフォーマルミーティング（9月）、プラズマ・核融合学会（11月）など）
- ポートフォリオの分析に基づき、勝ち筋となる分野について「指定課題」を設定し、PMおよびPIの公募を行って、プログラムを強化する。
- 産業界との連携を強化するためのワークショップも企画・開催。関係省庁の参画を求める。

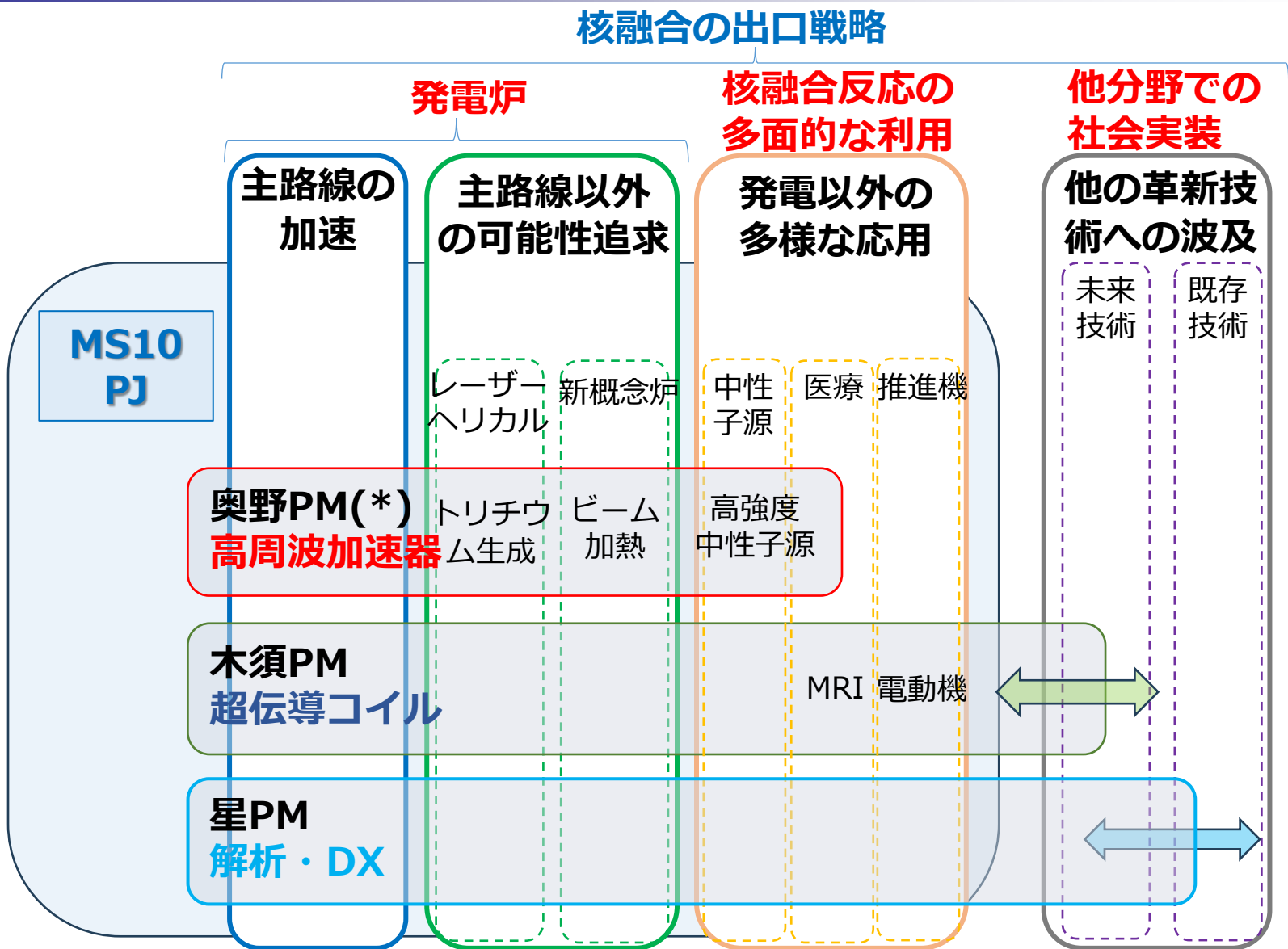
5-2. 目標全体の研究開発推進方針 (PD運営方針)

【マイルストーンの方向性】

はじめに、これまでにない挑戦の中からフュージョンエネルギーの早期実現に向けたゲームチェンジャーとなる破壊的イノベーションを目指す研究開発戦略をとり、他分野と連携を進め、広く展望を拓くことにより、多彩なバックグラウンドを持つ優秀な研究者や技術者を核融合分野への新規参入を促すことで学際的な研究チームを編成します。

- 3年目：学際的なチームによりフュージョンエネルギーの早期実現に向けたイノベーションの根幹となる基盤技術の基礎原理・着想に関する実現性の確証を得る。
- 5年目：開発した技術や研究結果の社会実装へ向けて、産業界や研究開発機関との研究協力が開始され、世界をリードできる基盤技術の実証または研究課題の概念実証を行う。
- 10年目：基盤技術などに基づくフュージョンエネルギー開発競争の勝ち筋となる「ツール」を生み出し、産業界や研究開発機関へ「ツール」という科学知をバトンタッチすることで、他分野や産業界への波及効果によりフュージョンエネルギーの早期実現を目指す。

5-3.目標全体の研究開発推進方針 (ポートフォリオ)



*:必要な最小限の検証・核融合分野研究者を巻き込んだ計画精査、体制構築を実施し、ステージゲートを設けて次の研究段階へ進むか判断(最長1年程度を想定)。

5-6. 目標全体の研究開発推進方針 (採択研究の作り込み方針)

提案者、及び 研究開発プロジェクト名	作り込みのポイント
奥野 広樹(*) 理化学研究所 室長 革新的加速技術による大強度中性子 源と超高温プラズマ維持装置の開発	●核融合分野の研究者との積極的な意見交換を行い、機器開発を実施する前にフュージョンエネルギーを早期実現するのに必要となる加速器の性能を決定する。 ●開発する大電流重陽子ビームを中性子源としての利用だけでなく、さらに核融合分野での応用を定量的かつ幅広く検討し計画に盛り込む。 ●核融合炉の応用例として、サイクロトロン共鳴加速器(CARA)に関する研究は、仮に実施するとしても予備的な小規模実験計画を策定する。
木須 隆暢 九州大学 教授 多様な革新的炉概念を実現する 超伝導基盤技術	●高温超伝導線材(HTS)を核融合炉に適用するために実施課題に優先度をつけて推進する。特に、核融合炉におけるHTSを使用したコイルの仕様を定め、HTSコイル運用で重要となる線材特性(クエンチ保護)、及びコイル製作上の技術課題解決を明確化する。 ●低価格・高品質なHTSの産業界への展開と現実的なサプライチェーン計画を立案する。 ●HTS運用に必要な効率的なエネルギー運用のための水素冷却技術の改善案や、HTS使用に付随する低温技術の社会への波及効果案を策定する。
星 健夫 核融合科学研究所 教授 超次元状態エンジニアリングによる 未来予測型デジタルシステム	●核融合分野の実験・理論研究者と密に協力し、核融合炉設計を見通す為に必要となる具体的な克服すべき課題を明確化する。 ●次世代核融合炉の設計を実施するフェーズに間に合うように、デジタルシステム開発計画の前倒しを前提とし、計算精度や時間などを考慮したシステム仕様を決定する。 ●マテリアルインフォマティクスやマルチフィジックスなどを実現するシステム構築に必要な異分野からの課題推進者の必要性や予算の適切性および優先度を決定する。

*:必要な最小限の検証・核融合分野研究者を巻き込んだ計画精査、体制構築を実施し、ステージゲート¹を設けて次の研究段階へ進むか判断(最長1年程度を想定)。

6-1. 採択候補者の研究概要①

「革新的加速技術による大強度中性子源と超高温プラズマ維持装置の開発」

奥野 広樹

理化学研究所 仁科加速器科学研究センター
核変換技術研究開発室 室長

研究開発プロジェクト概要

革新的な加速技術(電流値1A、エネルギー400MeV)による重陽子ビームを実現し、核融合反応の多面的な活用として、中性子の安定生成と供給などを狙います。

具体的には、開発した重陽子ビームをターゲットに衝突させることで核融合反応を起こし、発生した大強度中性子を利用した様々なアプリケーションの可能性について探ります。

解決すべき課題

- フュージョンエネルギーの早期実現に必要な加速器の最適化
- 革新的ビーム技術(電流値1A, エネルギー400MeV)の実現
- 中性子の安定生成と生成コスト

- 💡 核融合分野の研究者との俯瞰的な情報交換を行い、機器開発を実施する前にフュージョンエネルギーを早期実現するのに必要となる加速器の性能や多角的な利用の可能性を検討する。
- 💡 開発する大電流重陽子ビームを中性子源としての利用だけでなく、さらに核融合分野での応用を定量的かつ幅広く検討し計画に盛り込む。



大強度の中性子源により核融合炉開発を加速すると同時に、中性子を高レベル放射性廃棄物の処理、医療用RI製造、材料試験等の多面的な活用への展開の可能性を探る

2050年までに期待されるブレークスルー

- 革新的な加速技術を用いた電流値 1 A・エネルギー400MeV級の重陽子線型加速器の実現
- 本加速器で中性子の安定生成と供給、炉材料の耐中性子試験を実現し商用炉の稼働に貢献

6-2. 採択候補者の研究概要②

「多様な革新的炉概念を実現する超伝導基盤技術」

木須 隆暢

九州大学 超伝導システム科学研究センター
センター長

研究開発プロジェクト概要

希少資源である液体ヘリウムを使用しない高温超伝導（HTS）線材に対し、高電流密度・低コスト線材の量産技術、高速励磁導体技術、40T級超高磁場コイル技術などの総合開発を実現します。

得られたHTS線材を用いて、核融合炉に必要な導体・コイルを開発し、超高磁場小型核融合炉をはじめとする、革新的炉概念実現への道を切り拓きます。また、これらの要素技術は医療、交通などの他分野への社会実装が期待されます。

解決すべき課題

- HTS線材を用いた40T級の強磁場マグネットの実証
- 低コストで高品質な高電流密度のHTS線材の量産化
- 線材、導体、コイル、マグネットシステムを統合した設計基盤の確立

- 💡 核融合炉におけるHTSを使用した導体・コイルの仕様を定め、HTS導体・コイル運用で重要となる線材特性(クエンチ保護)、及びコイル製作上の技術課題の明確化。
- 💡 低価格・高品質なHTSの産業界への展開と現実的なサプライチェーン計画の立案。
- 💡 勝ち筋となる研究課題の選別や水素技術分野等の研究者の巻き込みなど、我が国がリーダーシップを確立するための俯瞰的な視点からの研究計画強化の検討。



高温超伝導を用いたコイル設計・生産技術を確立して超高磁場コイルを実現し、核融合炉の小型化に貢献する。さらに、医療、交通などの分野への社会実装を推進する。

2050年までに期待されるブレークスルー

- 高電流密度、高品質で低価格なHTS線材とその量産技術の開発
- 液体ヘリウムを必要としない超高磁場コイルの統合設計技術基盤の確立
- 液体ヘリウムを必要としない導体・超高磁場コイルによる革新的産業機器(を用いた医療、交通など)への展開

6-3. 採択候補者の研究概要③

「超次元状態エンジニアリングによる未来予測型デジタルシステム」

星 健夫

自然科学研究機構 核融合科学研究所 教授

研究開発プロジェクト概要

リアル世界の核融合炉の複雑性と時空間スケールを再現するために、時間・空間・物理量などを組み合わせた「超次元」というフレームワークを確立します。この超次元フレームワーク上でデータ駆動科学を用いてリアル世界の現象をデジタル世界上で再現することで精度の高い機器の開発を可能とし、核融合炉などの開発の加速・低コスト化・多様化を目指します。

提案されたデジタルシステムは、数理・物理モジュールおよびデータ処理を自在に組み合わせることにより、今までにない数値計算の柔軟性を持ち、材料インフォマティクスへの適用を含め、広い科学・産業分野への基盤技術となるツールとしての社会実装が期待されます。

解決すべき課題

- 複雑に絡み合った物理現象を解く汎用デジタルプラットフォーム構築
- デジタル世界とリアル世界の融合
- デジタルプラットフォームによるフュージョンエネルギーシステム

- 💡 フュージョンエネルギー開発の具体的な課題を解決するための方法論の構築。
- 💡 次世代核融合炉設計での使用を可能とする、デジタルシステムの研究開発工程の前出し、実用的なプラットフォームデザインの決定。
- 💡 マテリアルインフォマティクスやマルチフィジックスなどのアウトプットの具体化と必要十分な研究組織の構築。



デジタル世界とリアルな世界の融合により核融合開発を加速する強力なツールを実現。他の産業分野への応用展開も目指す。

2050年までに期待されるブレイクスルー

- データ駆動科学によるデジタル世界とリアル世界を融合したプラットフォームの実現
- モジュール化された柔軟なモデルを活用して、材料インフォマティクス、製造プロセスなどへ展開
- 仮想現実エンジニアリングの推進

(参考) 公募に関する基礎情報

1. 公募期間

令和6年3月29日～令和6年6月4日

2. 審査・採択スケジュール

令和6年7月4日	1次書類選考
7月25-27日	1次面接選考
9月6日	2次書類選考
9月20日	2次面接選考

3. 応募者

47人

4. 採択候補

3人

5. その他

10月～作り込み(ポートフォリオ構築に向けた研究計画の見直し)※

12月以降 契約・研究開始

※作り込みで実施する内容：

- ✓ 研究開発プロジェクトの内容のブラッシュアップ（見直し及び具体化）
- ✓ 具体的な研究開発計画及び研究開発体制の立案
- ✓ 研究開発体制の構築 など

(参考) 研究開発期間および評価



※このほか、PDが必要と認めた場合にも評価を実施

【作り込み時期】作り込み期間は、原則、採択後約2ヶ月以内。

【評価時期（採択研究）】

PM採択（研究開始時点）から3年目及び5年目。5年を越えて継続することが決定した場合には、8年目及び10年目。

(参考) 本目標の政策的背景について

SBIRフェーズ3基金 (Small Business Innovation Research)

✓ 中小企業イノベーション創出推進基金を造成し、スタートアップなどの有する先端技術の社会実装を促進

科学的実現性

- 臨界プラズマ条件の達成

JT-60
(JAEA)



科学的・技術的实现性

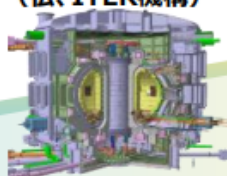
現在取り組んでいるフェーズ

- 燃焼プラズマの達成・長時間燃焼の実現
- 原型炉に必要な炉工学技術の基礎の形成

JT-60SA
(茨城県、QST)



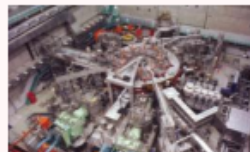
ITER (実験炉)
(仏、ITER機構)



学術研究



GEKKO XII号、LFEX
大型レーザー装置
(阪大レーザー研)



LHD
大型ヘリカル装置
(核融合科学研究所)

技術的実証・経済的实现性

次に取り組を開始するフェーズ

- 発電実証
- 経済性の向上

JA-DEMO (原型炉)



2030年代に移行判断

原型炉TFにて議論
原型炉実現に向けた体制整備

- ✓ QSTを中心に企業も参画
- ✓ アクションプランの推進

実用段階

21世紀
中葉までに
実用化の目途

未来社会像

核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会

- ✓ ムーンショット型研究開発制度を活用し、未来社会像からのバックキャストによる挑戦的な研究開発を推進

未来社会像からの
バックキャストによるアプローチ

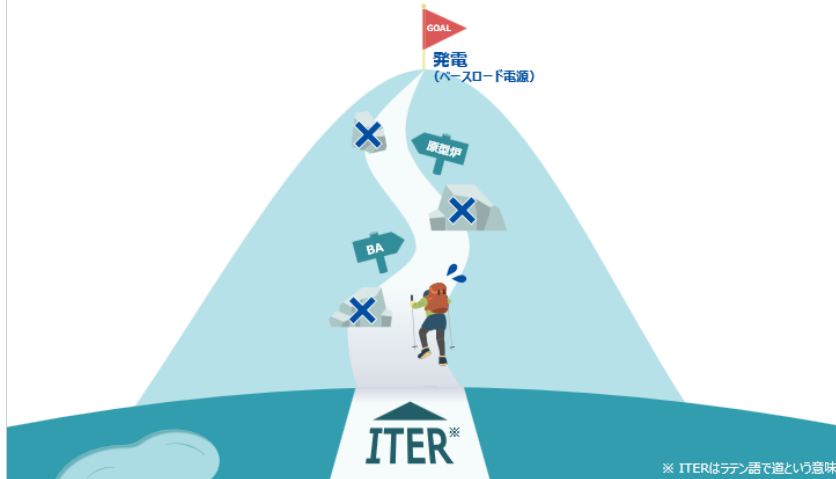
ー 多元化によるイノベーション喚起

マイルストーン

- 2050年までに、様々な場面でフュージョンエネルギーが実装された社会システムを実現する。
- 2035年までに、電気エネルギーに限らない、多様なエネルギー源としての活用を実証する。
- 2035年までに、エネルギー源としての活用に加えて、核融合反応で生成される粒子の利用や要素技術等の多角的利用により、フュージョンエネルギーの応用を実証する。

ムーンショット型研究開発制度との 協働がない 場合

ITER※／BA／原型炉から発電へと続く道の途中で困難が生じたときに、代替手段がないため、社会実装が遅れる。



ムーンショット型研究開発制度との 協働がある 場合

革新的な社会実装を目指す研究が先回りして成果を創出することで、ITER／BA／原型炉から発電へと続く道をより確実なものにすることが可能。

