

ムーンショット型研究開発制度における新目標 (フュージョンエネルギー) について



馬場 大輔

内閣府 科学技術・イノベーション推進事務局 参事官/
文部科学省 研究開発局 研究開発戦略官



目次

1. フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要
2. フュージョンエネルギー研究開発の全体像
3. ムーンショット目標10について

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略概要

- ✓ **フュージョンエネルギーを新たな産業として捉え、構築されつつある世界のサプライチェーン競争に我が国も時機を逸せずに参加。**
- ✓ ITER計画/BA活動、原型炉開発と続くアプローチに加え、産業化等の多面的なアプローチによりフュージョンエネルギーの実用化を加速。
- ✓ **産業協議会の設立、スタートアップ等の研究開発、安全規制に関する議論、新興技術の支援強化、教育プログラム等を展開。**

エネルギー・環境問題の解決策としてのフュージョンエネルギー

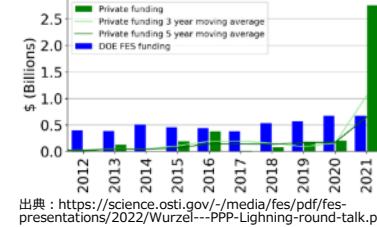
- ・2050年カーボンニュートラルの実現
- ・ロシアのウクライナ侵略により国際的なエネルギー情勢が大きく変化
- ・エネルギー安全保障の確保

- ・フュージョンエネルギーの特徴 (①カーボンニュートラル、②豊富な燃料、③固有の安全性、④環境保全性)
- ・エネルギーの覇権が資源から技術を保有する者へとパラダイムシフト



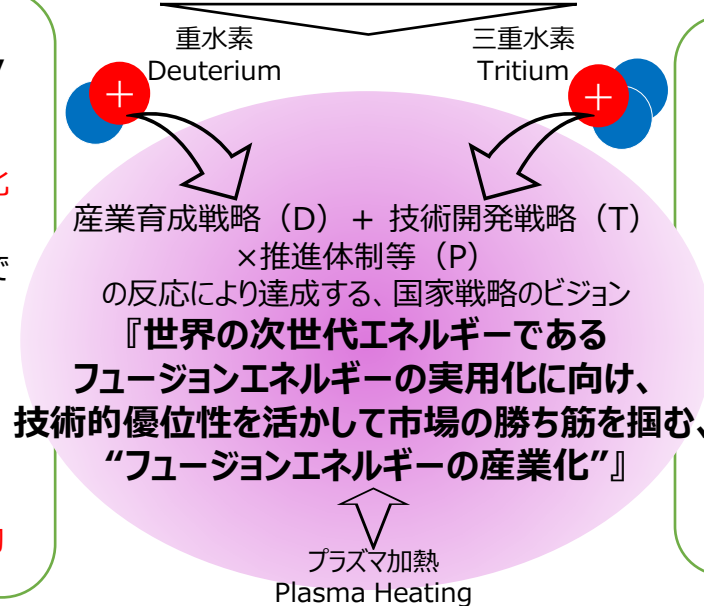
新たな産業としてのフュージョンエネルギー

- ・諸外国におけるフュージョンエネルギー開発への民間投資の増加
- ・米国や英国政府はフュージョンエネルギーの産業化を目標とした国家戦略を策定 (= 自国への技術の囲い込みを開始)
- ・技術的優位性と信頼性を有する我が国が、技術で勝って事業で負けるリスク
- ・他国にとっては有力なパートナーであり、海外市場を獲得するチャンス



フュージョンインダストリーの育成戦略 Developing the Fusion industry

- 【見える】
 - ・研究開発の加速による原型炉の早期実現
 - ・技術及び産業マップ作成による**ターゲット明確化**
- 【繋がる】
 - ・**R5年度の設立を目指す核融合産業協議会**でのマッチング
- 【育てる】
 - ・民間企業が保有する**技術シーズと産業ニーズのギャップを埋める支援をR5年度から強化**
 - ・安全規制・標準化に係る同志国間での議論への参画
 - ・固有の安全性等を踏まえた**安全確保の基本的な考え方の策定**



フュージョンテクノロジーの開発戦略 Technology

- ・**ゲームチェンジャー**となりうる**小型化・高度化等**の独創的な新興技術の支援策の強化
- ・ITER計画/BA活動を通じて**コア技術の獲得**
- ・将来の**原型炉開発を見据えた研究開発の加速**
- ・フュージョンエネルギーに関する学術研究の推進
- ・新技術を取り組むことを念頭においた原型炉開発の**アクションプランの推進**

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の推進体制等 Promotion

- ・内閣府が政府の司令塔となり、関係省庁と一丸となって推進
- ・原型炉開発に向けて、QSTを中心に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 (**フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点の設立**)
- ・将来のキャリアパスを明確化し、フュージョンエネルギーに携わる人材を産学官で計画的な育成
- ・国内大学等における人材育成を強化するとともに、他分野や他国から優秀な人材の獲得 (**フュージョンエネルギー教育プログラムの提供**)
- ・国民の理解を深めるためのアウトリーチ活動の実施

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要①

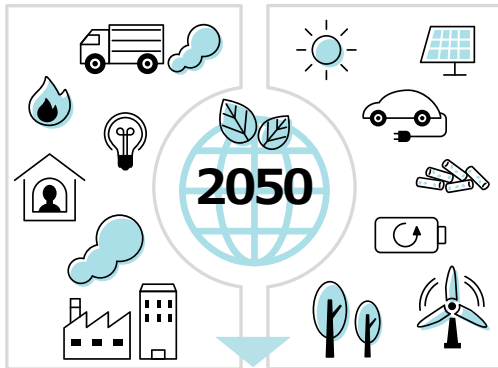
- ✓フュージョンエネルギーを新たな産業として捉え、構築されつつある世界のサプライチェーン競争に我が国も機会を逸せずに参入。
- ✓ITER計画／BA活動、原型炉開発と続くアプローチに加え、産業化等の多面的なアプローチによりフュージョンエネルギーの実用化を加速。
- ✓産業協議会の設立、スタートアップ等の研究開発、安全規制に関する議論、新興技術の支援強化、教育プログラム等を展開。

エネルギー・環境問題の解決策としてのフュージョンエネルギー



新たな産業としてのフュージョンエネルギー

- 2050年カーボンニュートラルの実現
- ロシアのウクライナ侵略により国際的なエネルギー情勢が大きく変化
- エネルギー安全保障の確保

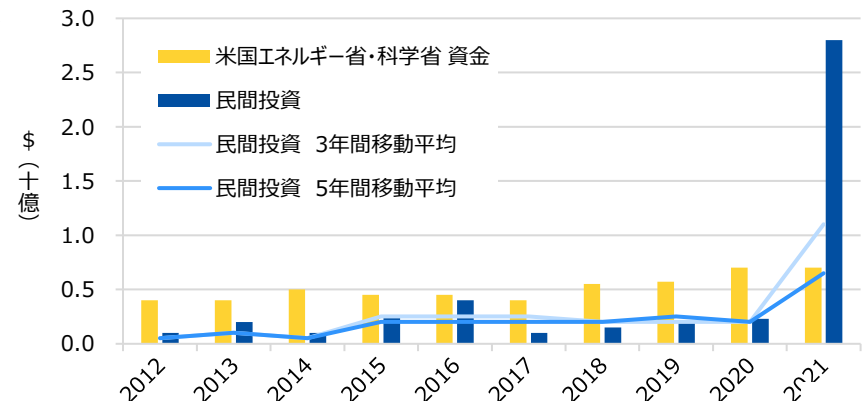


- 諸外国におけるフュージョンエネルギー開発への民間投資の増加
- 米国や英国政府はフュージョンエネルギーの産業化を目標とした国家戦略を策定（＝自国への技術の囲い込みを開始）
- 技術的優位性と信頼性を有する我が国が、技術で勝って事業で負けるリスク
- 他国にとっては有力なパートナーであり、海外市場を獲得するチャンス

●フュージョンエネルギーの特徴:

- ①カーボンニュートラル
- ②豊富な燃料
- ③固有の安全性
- ④環境保全性

- エネルギーの覇権が資源から技術を保有する者へとパラダイムシフト

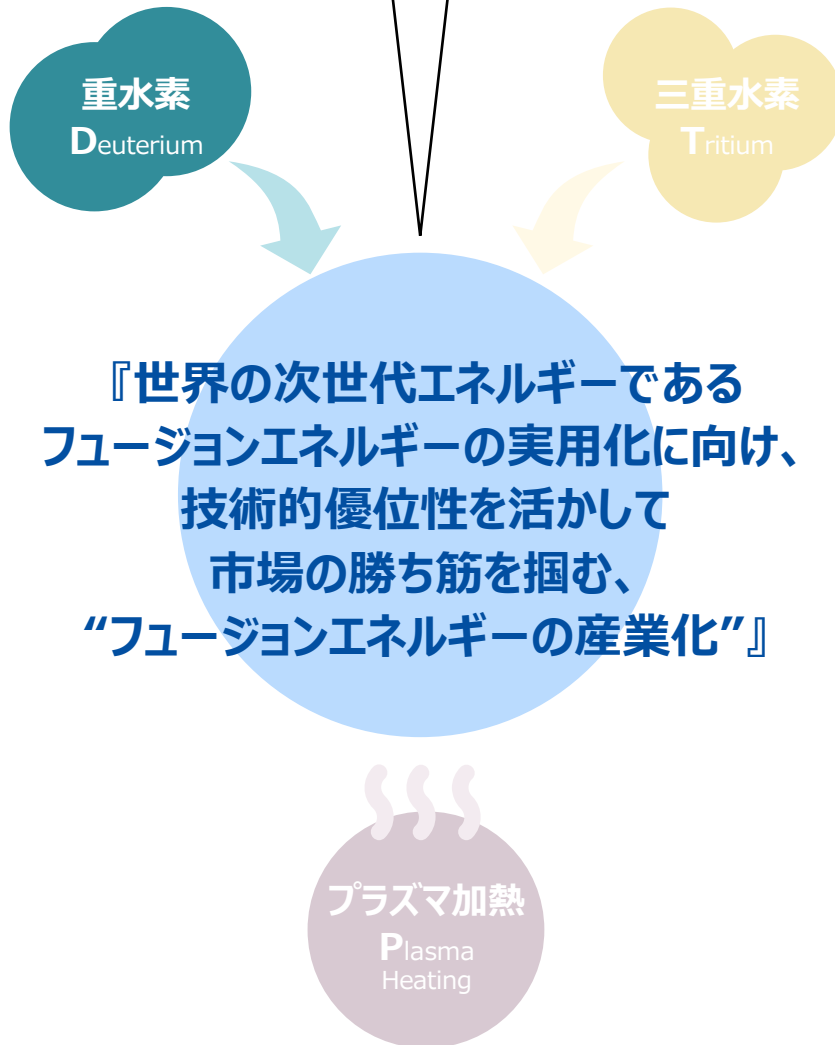


出典：<https://science.osti.gov/-/media/fes/pdf/fes-presentations/2022/Wur.PPP-Lightning-round-talk.pdf>

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要②

D 産業育成戦略 **+** **T** 技術開発戦略 **×** **P** 推進体制等

の反応により達成する、
国家戦略のビジョン



フュージョンインダストリーの育成戦略

Developing the Fusion industry

見える

- 研究開発の加速による原型炉の早期実現
- 技術及び産業マップ作成による**ターゲット明確化**

繋がる

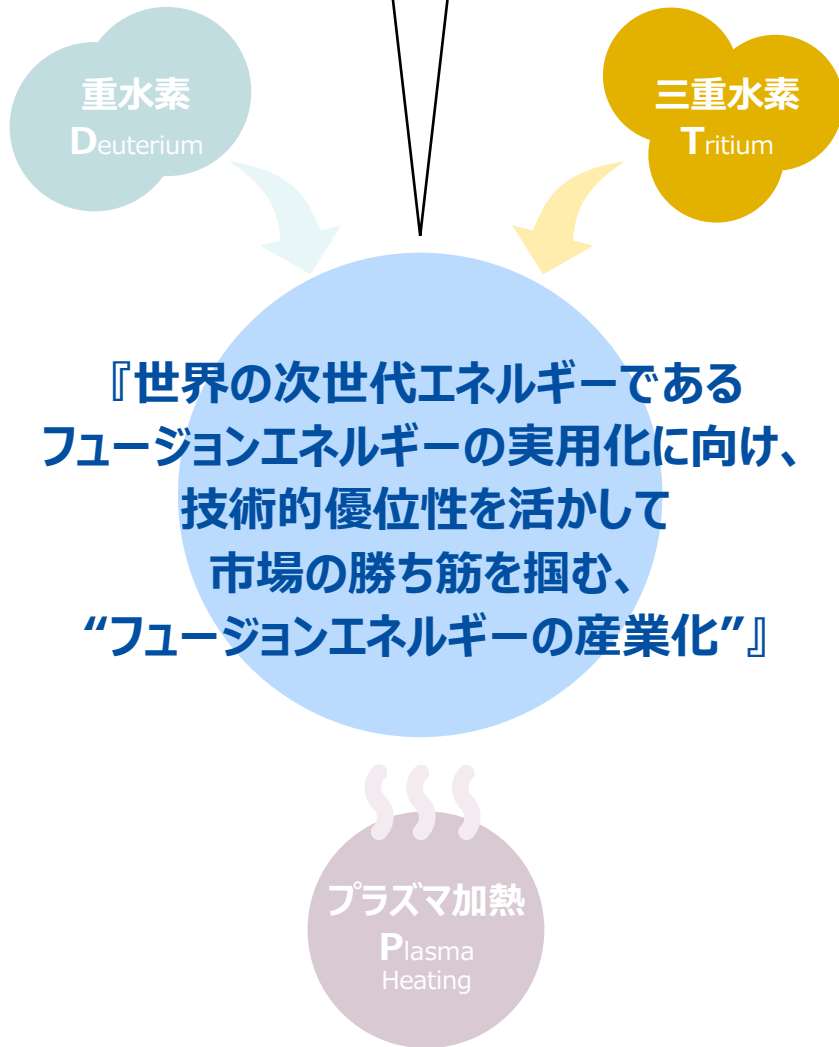
- R5年度の設立を目指す核融合産業協議会でのマッチング

育てる

- 民間企業が保有する**技術シーズと産業ニーズのギャップ**を埋める支援をR5年度から強化
- 安全規制・標準化に係る同志国間での議論への参画
- 固有の安全性等を踏まえた**安全確保の基本的な考え方の策定**

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要③

D 産業育成戦略 **+** **T** 技術開発戦略 **×** **P** 推進体制等 の反応により達成する、
国家戦略のビジョン

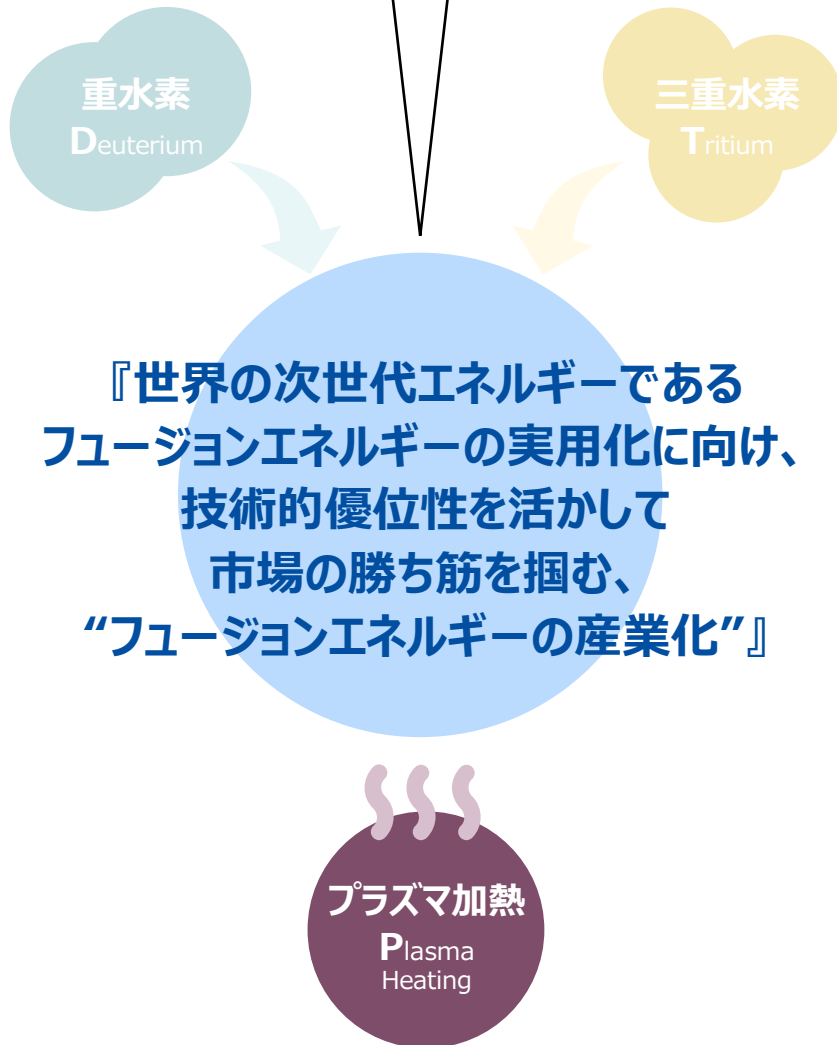


フュージョンテクノロジーの開発戦略 Technology

- ゲームチェンジャーとなりうる小型化・高度化等の
独創的な新興技術の支援策の強化
- ITER計画／BA活動を通じてコア技術の獲得
- 将来の原型炉開発を見据えた研究開発の加速
- フュージョンエネルギーに関する学術研究の推進
- 新技術を取り組むことを念頭においた原型炉開発の
アクションプランの推進

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要④

D 産業育成戦略 **+** **T** 技術開発戦略 **×** **P** 推進体制等 の反応により達成する、
国家戦略のビジョン



フュージョンエネルギー・ イノベーション戦略の推進体制等 Promotion

- 内閣府が政府の司令塔となり、関係省庁と一丸となって推進
- 原型炉開発に向けて、QSTを中心に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（フュージョンテクノロジー・イノベーション拠点の設立）
- 将来のキャリアパスを明確化し、フュージョンエネルギーに携わる人材を産学官で計画的な育成
- 国内大学等における人材育成を強化するとともに、他分野や他国から優秀な人材の獲得（フュージョンエネルギー教育プログラムの提供）
- 国民の理解を深めるためのアウトリーチ活動の実施

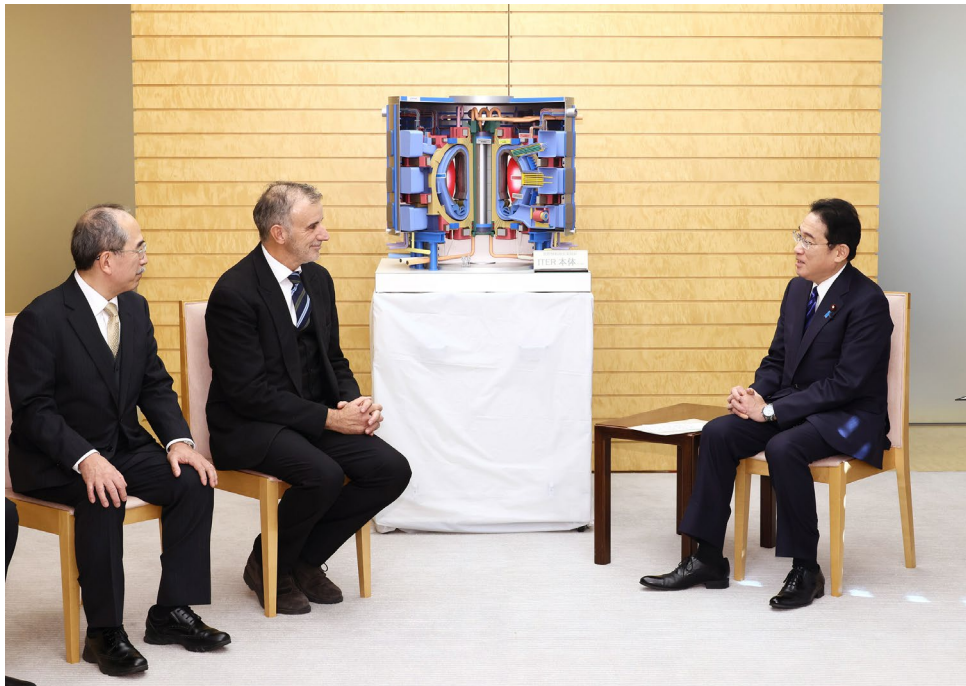
(参考) ITER機構長の総理表敬(11/30)



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**JT60-SA**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。

(参考) 盛山大臣の記者会見要旨(12/1)



茨城県に出張し、先日初めてプラズマの生成に成功したJT-60SAの運転開始記念式典に参加するとともに、同式典に出席予定のシムソン欧州委員、バラバスキ機構長と会談を行い、日欧の研究開発の見通し等について意見交換を行う予定です。

文部科学省としては、昨日の総理の発言も踏まえ、**国際連携も活用し、原型炉に必要な基盤整備を加速**するとともに、**小型化・高度化等の新興技術の開発支援を実施**することで、フュージョンエネルギーの早期実現に向けて、取り組んでまいります。



シムソン欧州委員(エネルギー担当)とともに、フュージョンエネルギーに関する共同プレス声明に署名



高市内閣府科学技術政策担当大臣、シムソン欧州委員と共にプラズマ生成のボタンを押す様子

目次

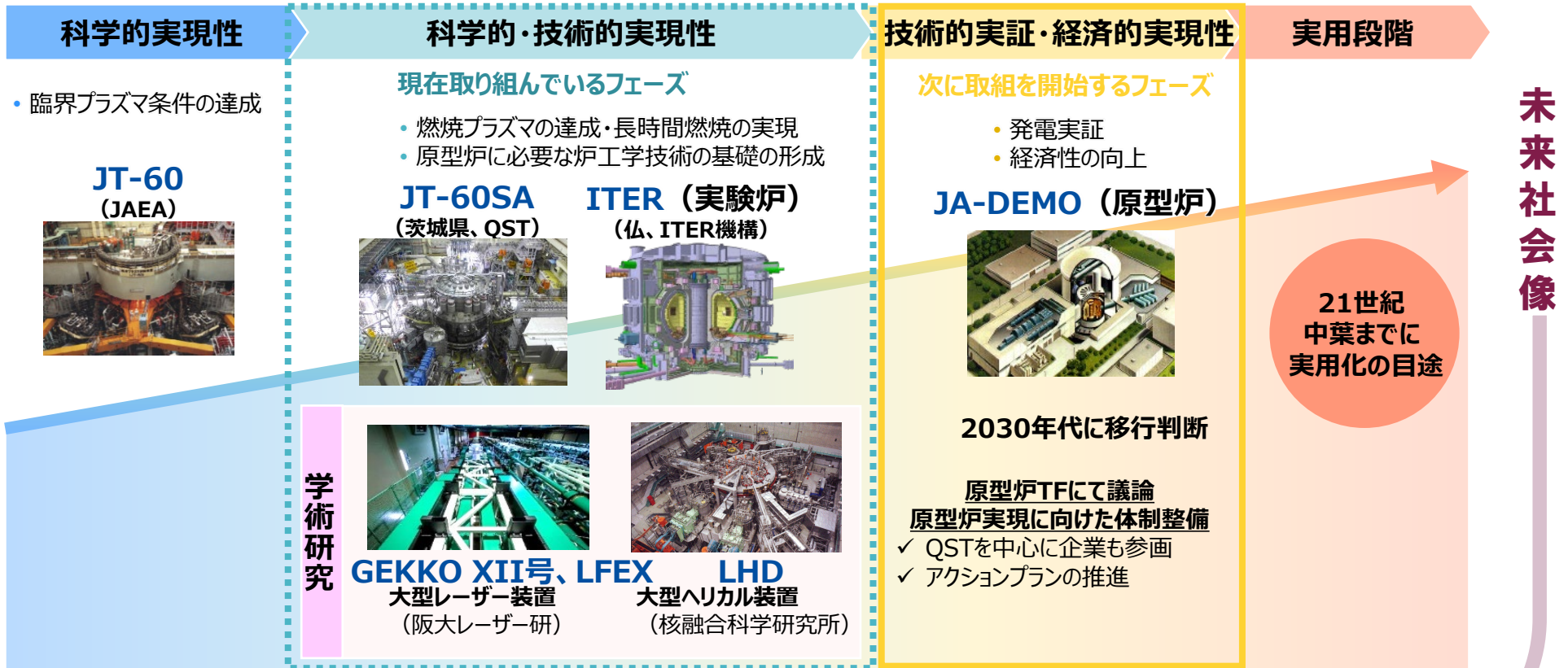
1. フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要
2. フュージョンエネルギー研究開発の全体像
3. ムーンショット目標10について

フュージョンエネルギー研究開発の全体像

- ◆ ITER計画等への参画を通じて科学的・技術的実現性を確認した上で、原型炉への移行を判断。
- ◆ 科学技術・学術審議会 核融合科学技術委員会等における議論を踏まえ、原型炉に必要な技術開発の進捗を定期的に確認しつつ、研究開発を推進。

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



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

核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会

(1) 検討会設置の背景

- ✓ フュージョンエネルギー・イノベーション戦略に基づき、実験炉ITERから原型炉そして実用炉とフォーキャスト的なアプローチに加え、従来の延長線上の取組とは異なる発想で、挑戦的な研究の支援の在り方を検討することが必要。
- ✓ フュージョンエネルギーが実現した未来社会を議論し、そこからのバックキャスト的なアプローチで取り組むべき研究テーマを検討するため、本検討会を設置。

(2) 挑戦的な研究例について

- ✓ 世界では、民間企業の挑戦的な研究を牽引するスタートアップは急増。2035年かそれ以前の初送電を見込む。
- ✓ 代表的な閉じ込め方式（トカマク、ヘリカル、レーザー）に加えて、革新的な閉じ込め方式、革新的な要素技術、革新的な社会実装の3軸に沿って取組を推進。
- ✓ 宇宙・海洋推進機、オフグリッド、水素製造、工業用熱供給等の発電用途以外の市場ニーズからバックキャスト的なアプローチで、先進材料や革新的コンピューティング、先進製造技術、工業用部品の採用による、小型化及び高度化を追求。

(参考) フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の抜粋

- ゲームチェンジャーとなりうる小型化・高度化等をはじめとする独創的な新興技術の支援策を強化すること
他国や民間企業においては、先進的な技術や多様な炉型等にも取り組んでおり、これら独創的な新興技術はゲームチェンジャーになりうる。フュージョンテクノロジーとして幅を持たせ、将来のリスクヘッジをはかるため、我が国においても未来の可能性を拓くイノベーションへの挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討を令和5年度から開始する。その際、産業化や共通基盤技術の醸成を見据えて、研究機関と民間企業の協働を推奨する。

核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会名簿

| | | |
|------|--------|---|
| 主査 | 足立 正之 | 株式会社堀場製作所 代表取締役社長 |
| | 出雲 允 | 株式会社ユーグレナ 代表取締役社長 |
| | 宇藤 裕康 | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー部門 六ヶ所研究所 核融合炉システム研究グループ 主幹研究員 |
| | 奥本 素子 | 北海道大学 大学院教育推進機構 オープンエデュケーションセンター 科学技術コミュニケーション教育研究部門 准教授 |
| | 加藤 之貴 | 東京工業大学 科学技術創成研究院 ゼロカーボンエネルギー研究所長・教授 |
| | 近藤 寛子 | 合同会社マトリクスK 代表 |
| | 武田 秀太郎 | 九州大学 都市研究センター 准教授 |
| | 竹永 秀信 | 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 量子エネルギー部門 六ヶ所研究所長 |
| | 飛田 健次 | 東北大学大学院 工学研究科 量子エネルギー工学専攻 教授 |
| | 豊田 祐介 | デジタルグリッド株式会社 代表取締役 |
| | 村木 風海 | 一般社団法人炭素回収技術研究機構（CRRA） 代表理事・機構長 |
| 主査代理 | 吉田 善章 | 大学共同利用機関法人自然科学研究機構 核融合科学研究所長 |

デフレ完全脱却のための総合経済対策(抜粋)



岸田内閣総理大臣記者会見(令和5年11月2日)

(1) 科学技術の振興及びイノベーションの促進

ムーンショット型研究開発プログラム²⁸の研究開発を加速するとともに、その成果の社会実装を支援するほか、**新たにフュージョンエネルギーに関する研究領域をプログラムに追加**する。

(2) フロンティアの開拓

フュージョンエネルギーについては、**ITER計画³⁴の着実な実施**に加えて、**世界最大の超伝導トカマク装置(JT-60SA)³⁵の運転開始に向けた機器の整備**を支援する。

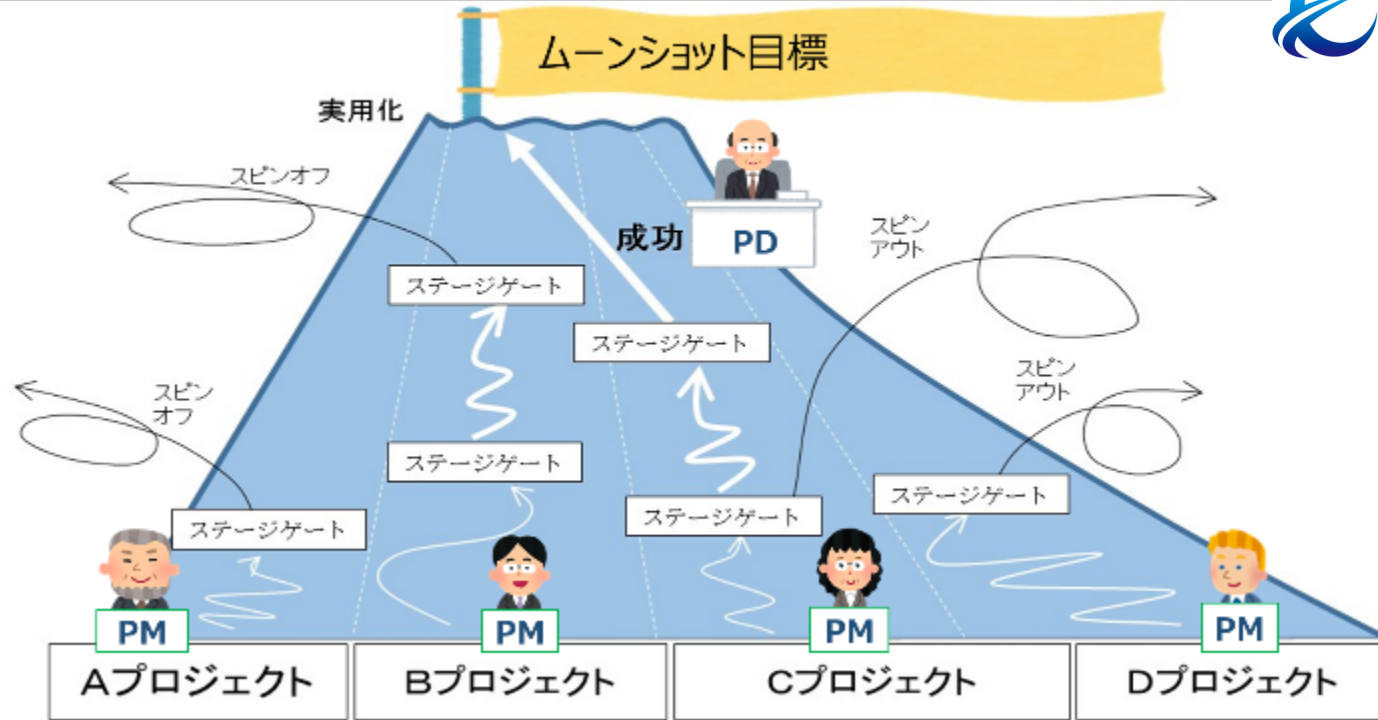
28 我が国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にないより大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発を推進するプログラム。

34 世界7極(日・欧・米・韓・中・露・印)の国際協力に基づき、核融合実験炉ITER(国際熱核融合実験炉)の建設・運転を通じて、フュージョンエネルギーの科学的・技術的実現性の確立を目指す国際プロジェクト。

35 日欧協力によるBA活動(幅広いアプローチ活動)の中で、原型炉に向けたITER計画の補完及び支援、人材育成等を目的として、建設された世界最大の超伝導トカマク型核融合実験装置。

ムーンショット型研究開発制度

【PDによるポートフォリオ運営】



- 未来社会を展望し、困難だが実現すれば大きなインパクトが期待される社会課題等を対象として、人々を魅了する野心的な目標(**ムーンショット目標**)及び構想を国が策定
- 各ムーンショット目標において、複数のプロジェクトを統括する**PD(プログラムディレクター)**を任命し、その下に国内外トップの研究者を**PM(プロジェクトマネージャー)**として採択
- 研究全体を俯瞰したポートフォリオを構築し、我が国の基礎研究力を最大限に引き出す挑戦的研究開発を積極的に推進し、失敗も許容しながら**挑戦的な研究開発**を推進
- ステージゲートを設けて**ポートフォリオを柔軟に見直し**、将来における社会実装を見据え派生的な研究成果のスピノアウトを奨励

ムーンショット型研究開発制度

| | | |
|--|---|--|
| <p>目標1 身体、脳、空間、時間の制約からの解放</p>  | <p>目標2 疾患の超早期予測・予防</p>  | <p>目標3 自ら学習・行動し人と共生するAIロボット</p>  |
| <p>目標4 地球環境の再生</p>  | <p>目標5 2050年の食と農</p>  | <p>目標6 誤り耐性型汎用量子コンピュータ</p>  |
| <p>目標7 健康不安なく100歳まで</p>  | <p>目標8 気象制御による極端風水害の軽減</p>  | <p>目標9 こころの安らぎや活力を増大</p>  |

我が国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発(ムーンショット)を推進する国の大型研究プログラム

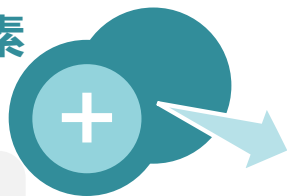
目次

1. フュージョンエネルギー・イノベーション戦略の概要
2. フュージョンエネルギー研究開発の全体像
3. ムーンショット目標10について

ムーンショット型研究開発制度における新しい目標（フュージョンエネルギー）

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

重水素



三重水素



フュージョンエネルギー

軽い原子核同士(重水素、三重水素)が融合して別の原子核(ヘリウム)に変わる際に放出されるエネルギー。太陽や星を輝かせるエネルギーでもある。

核融合の燃料は海水中に豊富に存在！



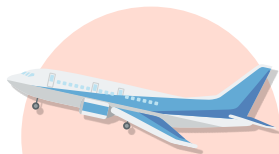
=



燃料1グラムが石油8トン相当

核融合でフュージョンエネルギー発生！

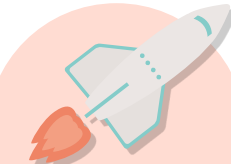
少量の燃料で長期間移動が可能に



小型動力源

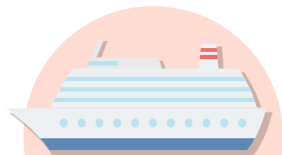
フュージョンエネルギー

未知の領域への挑戦が可能に



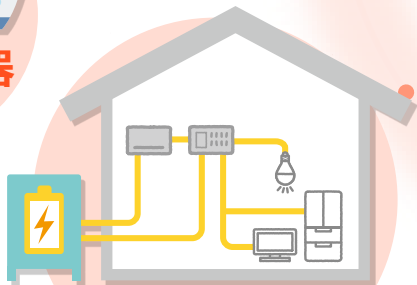
宇宙推進器

海洋推進器



水素製造
合成燃料製造

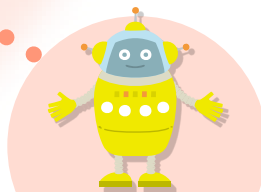
オフグリッド



日常の様々な
場面で活用



ロボット



ムーンショット型研究開発制度（フュージョンエネルギー）

ムーンショット型研究開発制度における新目標について

<目標>

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>

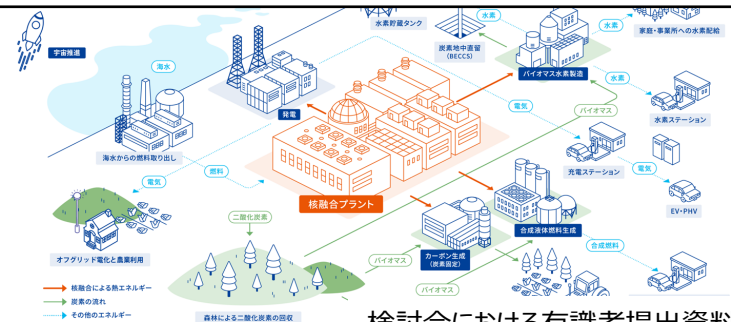
- 2050年までに、様々な場面でフュージョンエネルギーが実装された社会システムを実現する。
- 2035年までに、電気エネルギーに限らない、多様なエネルギー源としての活用を実証する。
- 2035年までに、エネルギー源としての活用に加えて、核融合反応で生成される粒子の利用や要素技術等の多角的利用により、フュージョンエネルギーの応用を実証する。

各国の状況を踏まえたマイルストーン

| 2035年のマイルストーン | 2050年の達成目標 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ● フュージョンエネルギーの多様な社会実装に向けた用途の実証（小型動力源等の原理実証） | <ul style="list-style-type: none"> ● 小型動力源等の革新的な社会実装を可能とする革新的なフュージョンエネルギーシステムの実現 |

↑
欧米の
核融合ベンチャー

| 2030年代前半 | ~2040年 |
|----------|--------|
| コンパクト炉開発 | グリッド投入 |



ムーンショット型研究開発制度（フュージョンエネルギー新目標）

ムーンショットの新しい目標を目指す社会

<資源制約の克服への貢献>

- 海水中に豊富にある資源から地上の太陽※を生み出し、エネルギー資源の偏在性から生じる紛争や飢餓が消失する。

※太陽内部で核融合反応により発生している膨大なエネルギー(フュージョンエネルギー)。

同様の反応を、地上で人為的に起こすことを目標に、「地上に太陽を作る技術」としてフュージョンエネルギーが研究されてきた。

<エネルギー問題の解決への貢献>

- 安定的で豊富なフュージョンエネルギーを活用し、我が国のエネルギー安全保障に貢献する。

<人類の挑戦への貢献>

- 小型動力源として活用し、宇宙探査・海洋探査等の未知な領域への挑戦を可能とする。

<脱炭素社会の実現への貢献>

- 安全・安心のフュージョンエネルギーシステムを実現し、幅広い産業や一般家庭の炭素排出量を抜本的に改善する。

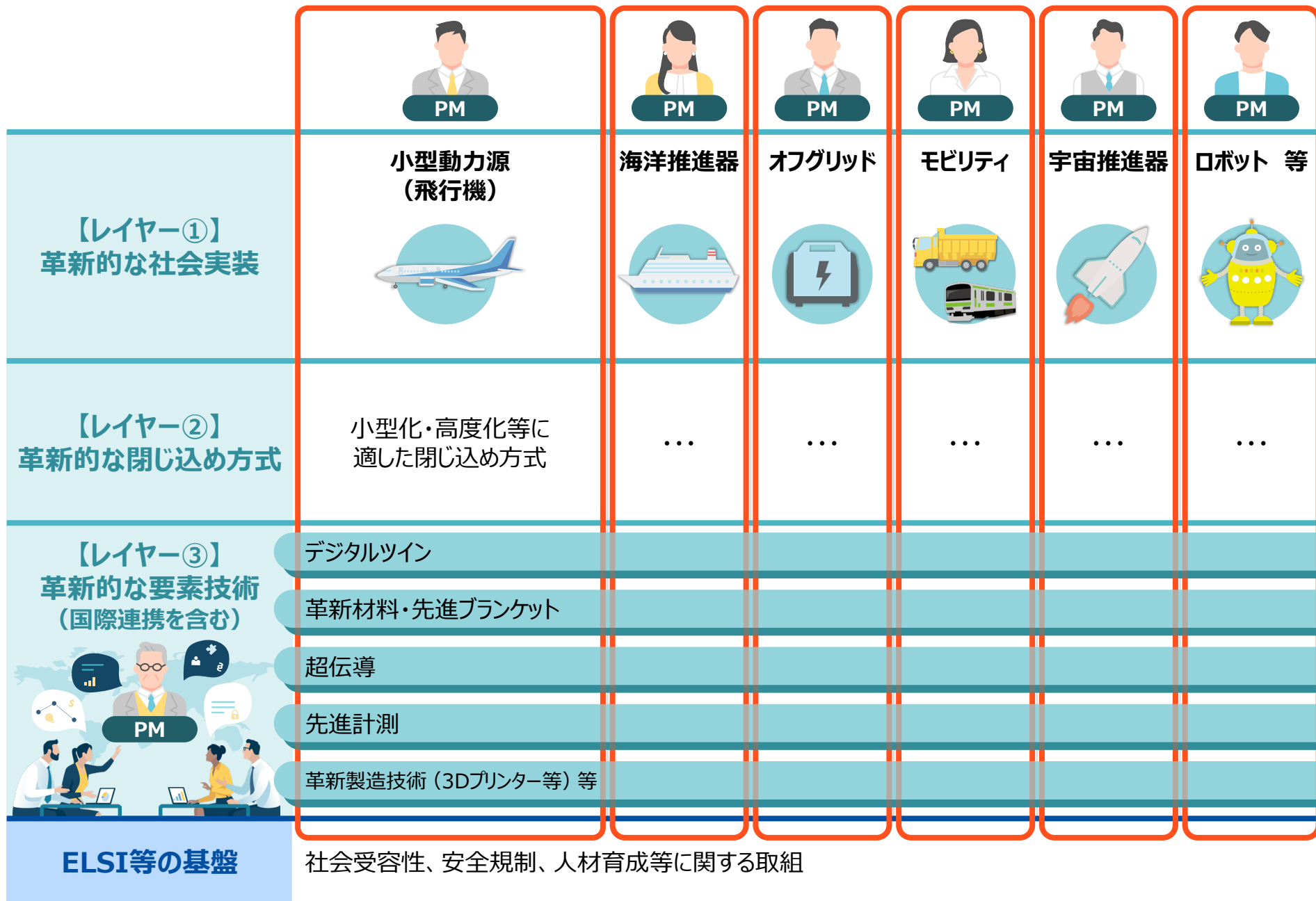
<環境問題の解決への貢献>

- 大気中の二酸化炭素から合成燃料を製造することで、産業革命以来の悪循環を好転させる。

<技術による課題解決への貢献>

- 我が国から輩出されたスタートアップが、世界の課題解決や技術開発を牽引する。

ムーンショット型研究開発制度における推進体制（イメージ）

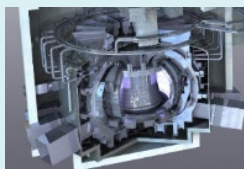


核融合反応の実現を目指す多様な炉型

世界各国で、多様な炉型による取組が進展

磁場閉じ込め型

トカマク型



(日) JA-DEMO



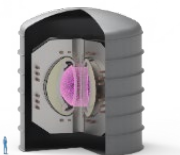
(米) Commonwealth Fusion Systems
2,800億円以上を調達
ビルゲイツ、Googleなど

ヘリカル型



(日) 核融合科学研究所 (NIFS)

球状トカマク型



(英) Tokamak Energy
350億円以上を調達

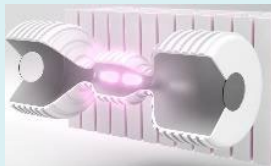


(中) ENN
260億円以上を調達



(日) Helical Fusion
9億円以上を調達

逆磁場配位型



(米) Helion Energy
800億円以上を調達
サムアルトマンなど



(米) TAE Technologies
1,680億円以上を調達

ミラー型



(米) Lockheed Martin
飛行機や船等の動力源として開発中

慣性閉じ込め型

レーザー型

中心点火方式



(米) ローレンス・リバモア国立研究所

高速点火方式



(日) 阪大レーザー研
(日) EX-Fusion
19億円以上を調達



(米) Blue laser fusion
2,500万ドルを調達

磁化標的核融合

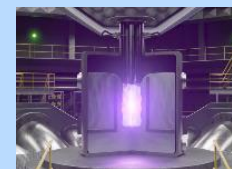


(加) General Fusion
470億円以上を調達
ジェフ・ベゾス

Zピンチ



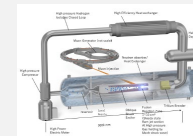
(英) First Light Fusion
130億円以上を調達



(米) Zap energy
260億円以上を調達

その他

ミュオン触媒



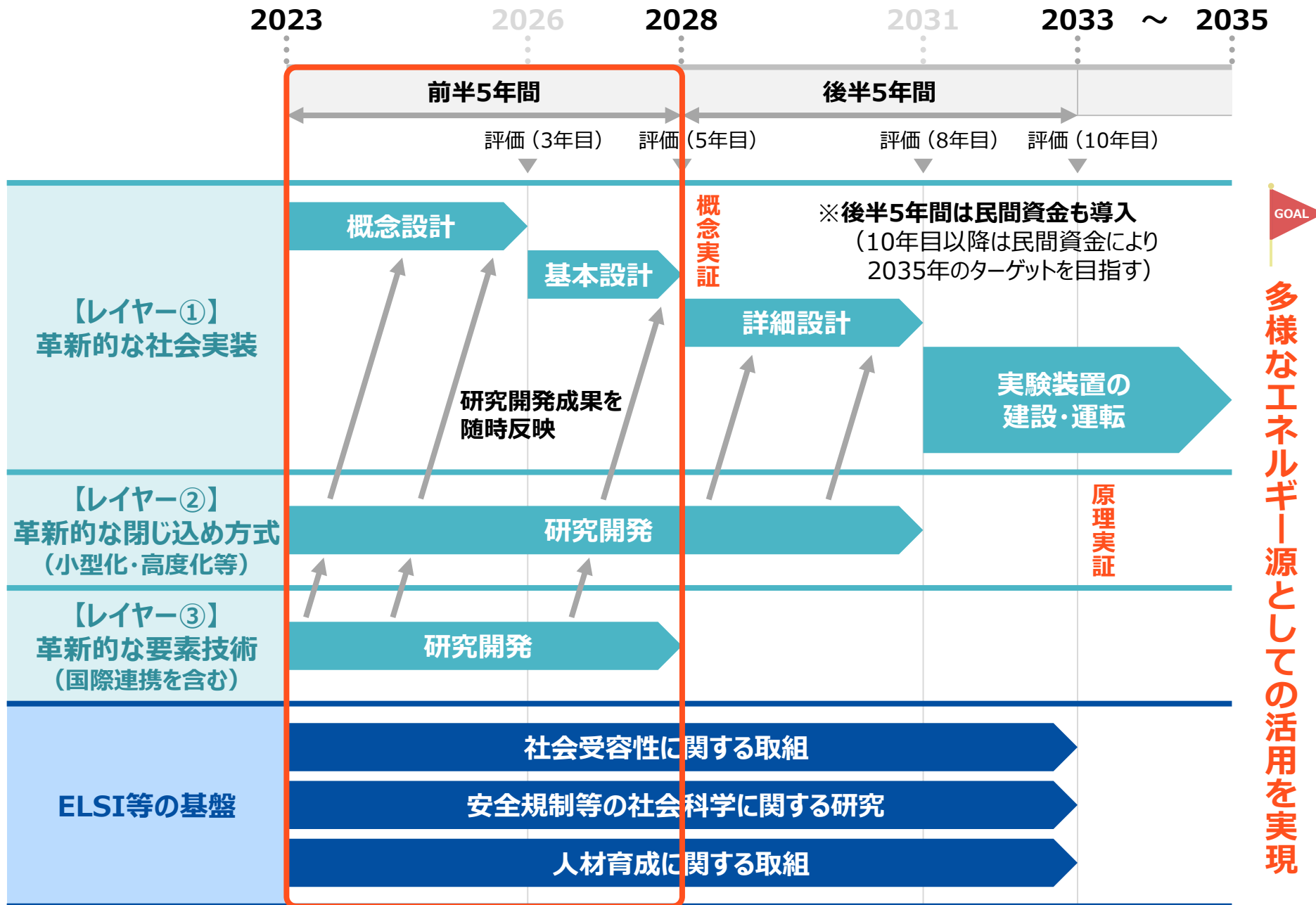
(日) 中部大学
ミュオンの特徴
● 強い結合力→核融合
● 高い透過力→構造物イメージング等

凝縮系



(日) クリーンプラネット
20億円以上を調達

ムーンショット型研究開発制度における推進体制（イメージ）



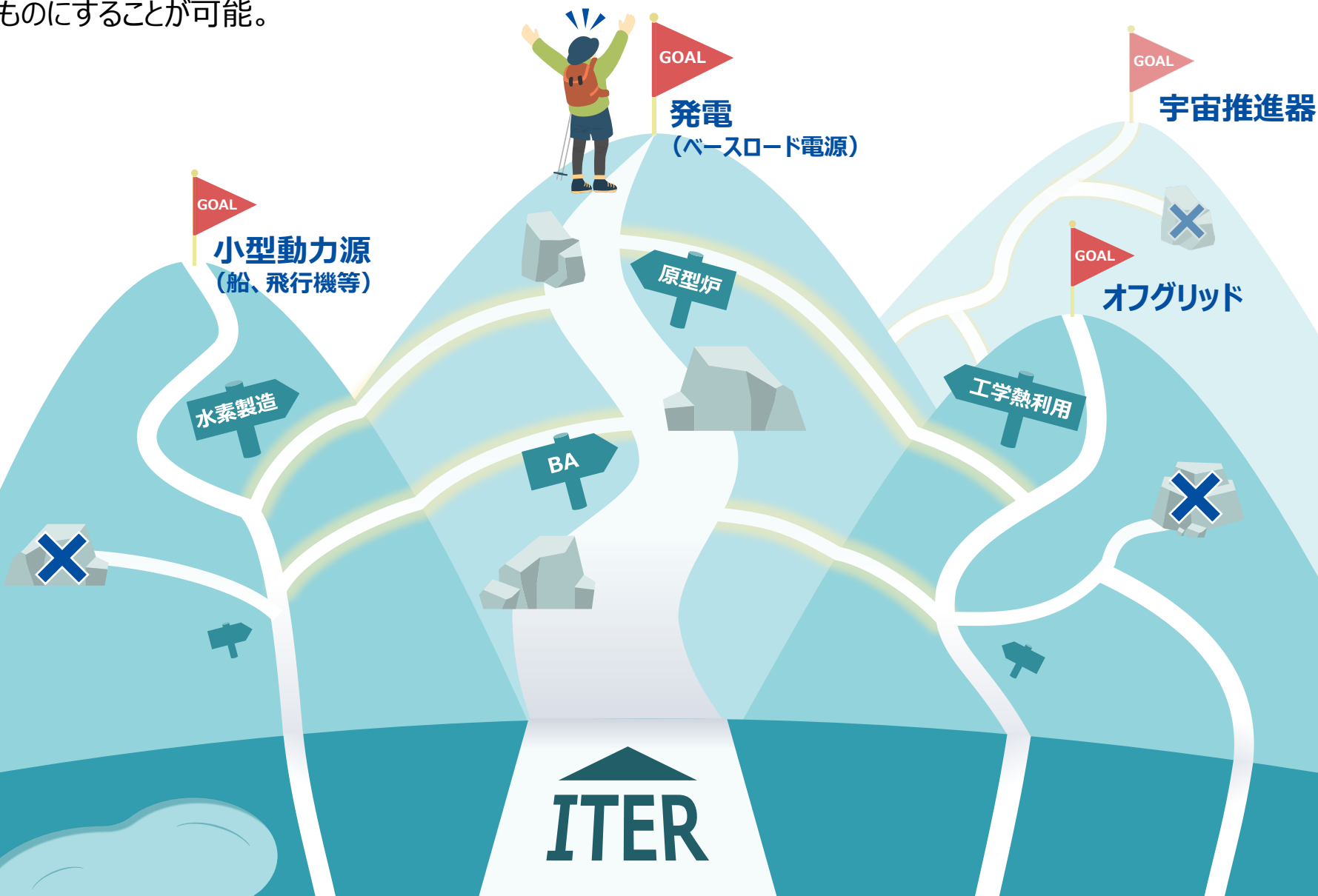
ムーンショット型研究開発制度との **協働がない** 場合

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。



最後に（ムーンショットへの期待）

① 革新的な社会実装（Big picture, Vision with Action）

既存の枠組みにとらわれない発想や革新的な要素技術をシステムとして統合、社会システム

② 挑戦的な研究開発（Moonshot for Fusion Energy）

果敢な挑戦でありつつも明確な結論が導かれる客観性、方法論の妥当性、民間資金の導入

③ 仲間を集める（If you want to go far, go together.）

世代を超えた研究開発、関連人材の巻き込み、技術の蓄積・連結、国際連携の促進



第213回国会 岸田内閣総理大臣施政方針演説(1月30日)

バイオ、量子、**フュージョンエネルギー**などの技術についても中長期的視点をもって取り組み、投資促進、規制改革を進めます。

※本日の国際ワークショップでの議論、2月7日の核融合科学技術委員会での審議も踏まえ、3月中に公募開始予定

ご清聴、ありがとうございました。

内閣府/文部科学省 馬場 大輔
(d-baba@mext.go.jp)