

# 文部科学省における 核融合の挑戦的な研究の支援の 在り方に関する検討状況について

2023年8月3日

文部科学省 研究開発局

- ①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ついて
  
- ②核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会の中間とりまとめ案について
  
- ③今後の予定について

①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ついて

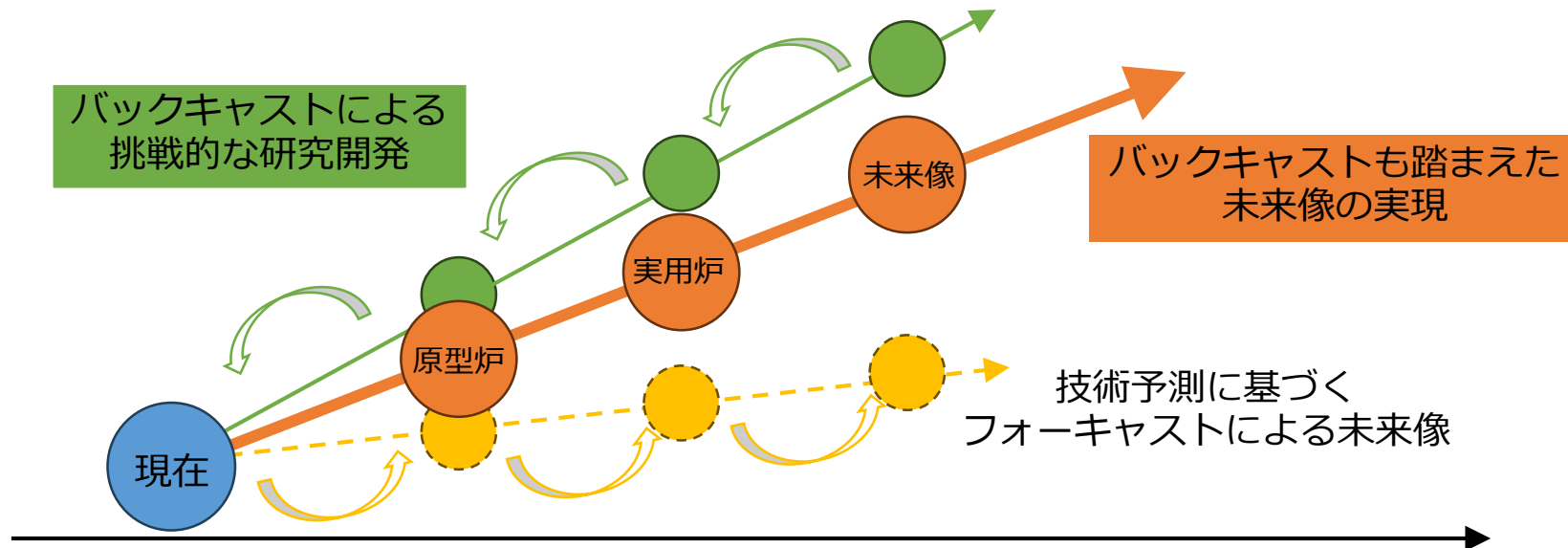
②核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会の中間とりまとめ案について

③今後の予定について

# フュージョンエネルギーに関する挑戦的な研究支援の必要性

フュージョンエネルギーの実用化のため、

- ✓ 我が国は、ITER計画等を推進し、原型炉開発へと繋げる技術フォーキャストのアプローチを推進
- ✓ 一方で、野心的な実現時期の目標を掲げるスタートアップ等が出現し、研究開発競争が激化
- ✓ 市場ニーズからのバックキャストに基づく研究開発も両輪として実施することが必要



## 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)

『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となりうる。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。』



文部科学省に「核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会」を設置。第1回は挑戦的な研究について有識者より情報提供を受けるとともに、支援の在り方についての議論。第2回はフュージョンエネルギーが実現した未来社会について議論した。第3回（8月4日）では中間とりまとめ案について議論予定。

## 核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会 委員名簿

---

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

①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ついて

②核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会の中間とりまとめ案について

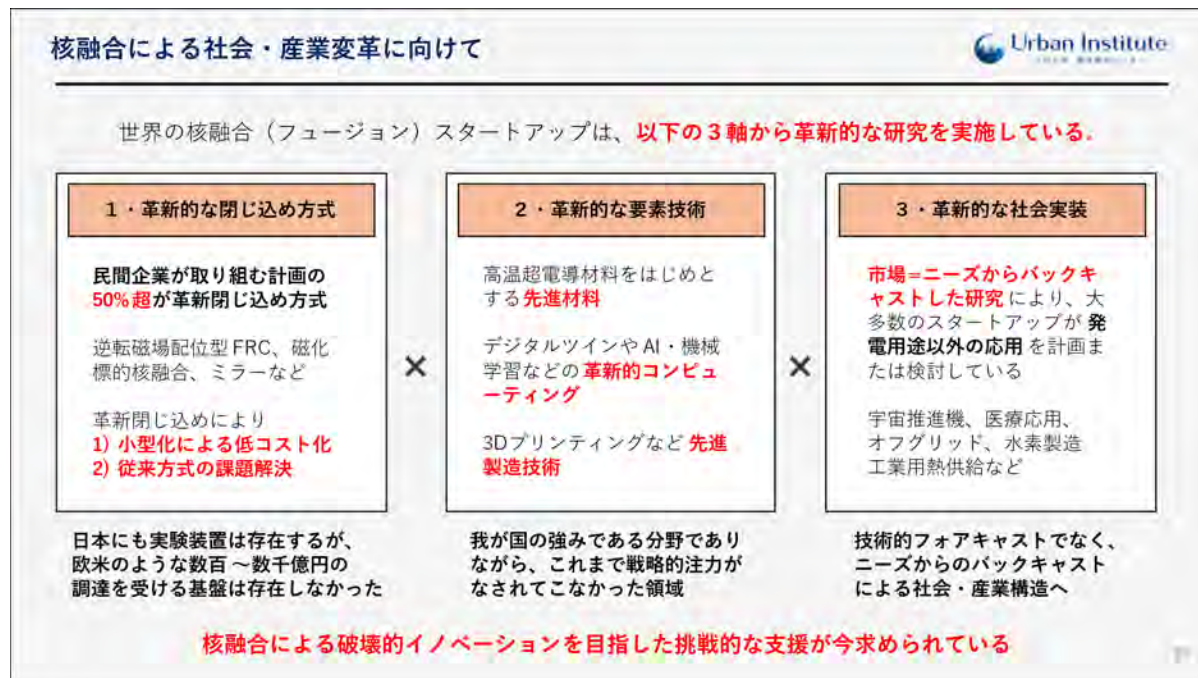
③今後の予定について

# 挑戦的な研究の支援の在り方について

世界の核融合スタートアップは、3社に2社が2035年かそれ以前の初送電を見込んでおり、革新的な閉じ込め方式（トカマク、ヘリカル、レーザー以外の方式）、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。

革新的な閉じ込め方式については、我が国においても6つの装置が運用中であり、多様性を確保。革新的な要素技術については、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。

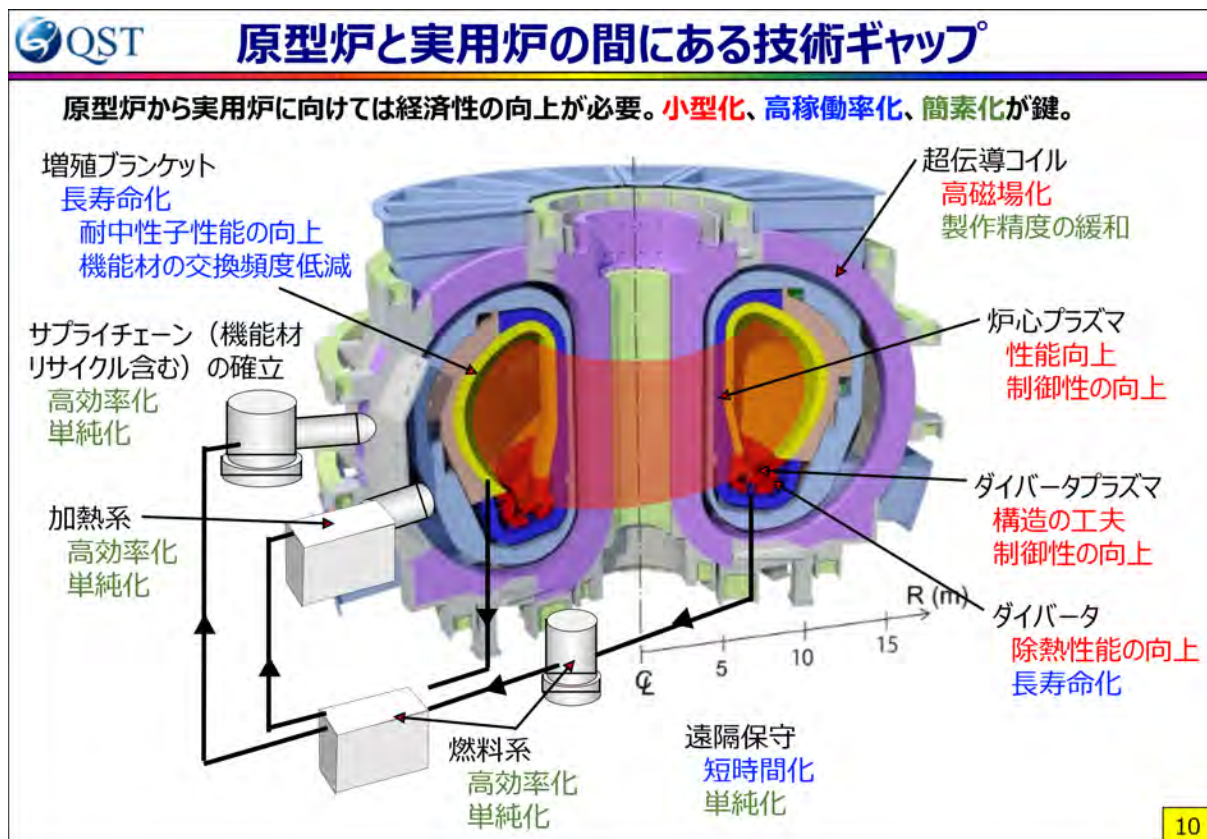
一方で、革新的要素技術は、我が国が技術的に可能でありながら欧米と比して注力の弱い領域。また、革新的な社会実装については、発電用途以外の、例えば、宇宙・海洋推進機、オフグリッド、水素製造、工業用熱供給等の市場ニーズからバックキャストした研究を実施。また、スタートアップの研究開発のサイクルは早く、早く取り組んで、早く失敗するアプローチ。



# 挑戦的な研究の支援の在り方について

ITER、原型炉の閉じ込め方式であるトカマク型でさえ、実用炉に向けて小型化、高稼働率化、簡素化を鍵とした経済性の向上に取り組む必要がある。具体的な開発要素としては、例えば、超伝導コイルの高磁場化や炉心プラズマの性能・制御性の向上等による小型化、増殖ブランケットの長寿命化や遠隔保守の短時間化等による高稼働率化、加熱系や燃料系等の単純化による簡素化。

また、これらの研究テーマへの取組方法としては、潜在的なアイデアに取り組むべく、幅広くアカデミアや産業界からも研究開発課題を募集し、専門家によるレビューを経て、全体を統括するPD（プログラムディレクター）の下で研究開発を実施することが有効。





# 挑戦的な研究の支援の在り方について

ゲームチェンジャーとなり得る小型化、高度化等の挑戦的な新興技術は、個人や機関のアイデアが非常に重要であり、広く募集するべきであるという意見から、主要な競争的研究費で、どのような支援を実施しているか、事務局より説明したのち、委員間で比較検討を行った結果、以下の意見が得られた。

## 【委員からいただいた意見】

- ✓ フュージョンエネルギーは未来社会、人類の発展に貢献する可能性を有することから、明確なビジョンを基に研究開発に取り組むべきであること。
- ✓ 核融合分野は非常に幅広い科学技術分野を巻き込みながらイノベーションを生み出す可能性があること。
- ✓ 社会実装からのバックキャストで研究開発に取り組むスタートアップは、早く取り組んで、早く失敗するアプローチで挑戦的な研究に取り組んでいること。
- ✓ 潜在的なアイデアも取り込むべく、幅広くアカデミアや産業界から研究開発課題を募集し、専門家によるレビューを経て、全体を統括するPDの下で研究開発を実施することが有効であること。
- ✓ 博士号を取得した研究者に限らず、特に若手の核融合の研究者を支援することが、核融合の実現を早める可能性があること。



総論として、核融合の挑戦的な研究の支援については、ムーンショット型研究開発制度を念頭に検討することで合意。  
新目標案について議論を開始。

# フュージョンエネルギーが実現した 未来社会及び達成目標について

---

## 1. 目標案

### (1) MS目標案の名称

2060年までに、尽きることのない地上の太陽を作り出し、エネルギー資源の制約と温室効果ガスから解放されたダイナミックな社会を実現

### (2) 実現したい2060年の社会像

ネットゼロ社会を実現する切り札として、人類が消費するエネルギーを持続可能に供給し続けるエネルギーシステムを中心に核融合が位置する社会を実現

# フュージョンエネルギーが実現した 未来社会及び達成目標について

---

## 2. ターゲット（MS目標の達成シーン。2060年に何が実現しているか）

### （1）2060年の達成シーン

- 尽きることのないフュージョンエネルギーによる自給自足を実現
- 海水を、森林を、尽きることのないカーボンフリー液体燃料へと生まれ変わらせる
- フュージョンエネルギーによる幅広い産業の炭素排出量の抜本的改善
- 都市部の家庭も遠く離れた村落部も、フュージョンエネルギーで炭素排出量の抜本的改善
- 大気中の二酸化炭素を回収する、産業革命以来のサイクル逆転をフュージョンエネルギーで駆動

### （2）2035年に実現すること

- 系統接続できる核融合発電の実現
- 核融合の早期実現に向けた革新閉じ込めの実証
- 核融合の多様な社会実装に向けた革新用途の実証
- 挑戦を可能とする基盤的革新技術の実現

## 3. 当該目標達成によるもたらされる社会・産業構造の変化

- エネルギーは“地”政学から、“知”政学へ
- エネルギー限界費用“ゼロ”社会の実現
- 炭素負債（カーボンデット）の返済へ

# 社会実現に向けて必要となる取組について

---

## 4. 社会像実現に向けたシナリオ

### (1) 挑戦的研究開発の分野・領域及び研究課題

※今後の議論を踏まえて、記載

### (2) 2035年、2060年のそれぞれにおける、達成すべき目標（マイルストーン）、マイルストーン達成に向けた研究開発、これによる波及効果

※今後の議論を踏まえて、記載

## 5. 目標達成に向けた国際連携のありかた

※今後の議論を踏まえて、記載

## 6. 目標達成に向けた分野・セクターを超えた連携のあり方

- 産学官による集中的な取組

## 7. ELSI（目標達成に向けて取り組むうえでの倫理・法的・社会的課題及びその解決策）

- 環境アセスメント
- 電源の所有者に競争原理が働く、マーケットルールの確立
- フュージョンエネルギーの認知度の向上

①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ついて

②核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会の中間とりまとめ案について

③今後の予定について

# 今後の予定について

---

## 6月28日

- 第1回 核融合の挑戦的な研究の支援の在り方に関する検討会（以下、「検討会」）  
「挑戦的な核融合の研究の支援方策について議論」

## 7月7日

- 第2回 検討会「2050年の社会像におけるフュージョンエネルギーについて議論」

## 8月3日

- CSTI木曜会合にてムーンショット型研究開発制度を活用して支援する方針について報告

## 8月4日

- 第3回 検討会「未来社会からのバックキャスト、中間とりまとめ」

## 8月

- パブリックコメント
- 核融合科学技術委員会で検討内容（中間とりまとめ）について議論

## 9月

- 第4回 検討会「パブリックコメントの結果を踏まえた議論」

## 10月

- 第5回 検討会「新目標案について議論」
- CSTI木曜会合において、新目標案を提案

**新目標の設定に際しては、CSTI決定が必要**

※予定は変更する可能性がある。

# 参考資料

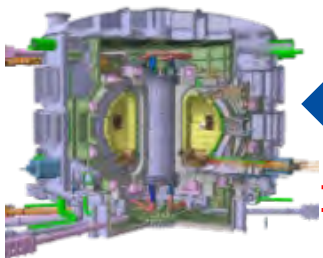
# 核融合開発 協調から競争の時代へ

- 核融合への政策的重要性の高まりから、**主要国は核融合エネルギー開発に関する各国の取組を一斉に加速**するとともに**核融合ベンチャーへの投資も拡大**するなど、**国際競争の時代**に突入。
- 我が国としても核融合発電に必須な機器の研究開発を加速し、諸外国に対する技術的優位性を確保するとともに、産業競争力強化につなげる必要

## ITER計画等を中心とした国際協調の時代

### ITER計画

- ✓ 世界7極35か国の参画
- ✓ 2020年より炉心の組立が開始され、運転開始までの77%建設完了
- ✓ 2025年運転開始、2035年実燃料の運転開始



ITER (実験炉)  
(仏 (ITER機構))

ITER計画の  
補完・支援

**BA活動**  
(茨城県那珂市  
青森県六ヶ所村)



JT-60SA

### 我が国の現状

- ✓ 国際協力プロジェクトに参画することにより、フュージョン関連機器の基幹技術を着実に蓄積
- ✓ 将来の発電に向けて、ポストイーター計画の不透明さや若手人材の不足を解決する中長期にわたる戦略的な取組が不可欠

## 各国独自の取組・ベンチャーによる国際競争の時代

### 各国の取組



商業フュージョンエネルギーの実現を加速するための10年戦略を策定することを宣言 (2022.3)



フュージョンエネルギー国家戦略発表 (2021.10)  
2040年代に核融合発電炉の建設を目指す



イーターと同規模の工学試験炉を建設し、これを2030年代までに発電炉 (原型炉) に改造する計画を推進中

### フュージョンエネルギー研究開発への投資額が急増



米: 民間投資  
対前年比約10倍増

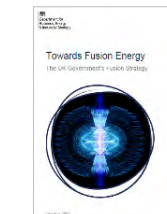
諸外国においては、民間投資が増加。このまま手をこまねくと、我が国のフュージョンエネルギー開発の優位性が低下する恐れ



# カーボンニュートラル実現に向けて各国で加速する核融合開発競争












核融合はエネルギー問題と環境問題を根本的に解決することから、カーボンニュートラル実現の鍵となるエネルギー源。これまで、世界7極35か国による国際協力を実施してきたITER計画が進捗していることを受け、主要国は、**核融合エネルギー開発に関する各国独自の取組みを2020年頃から一斉に加速。国際競争の様相に突入**している。併せて、各国において**核融合ベンチャーへの投資も活性化**。

- 欧州連合関連機関（EUROfusion）が策定した「核融合エネルギー実現に向けた欧州研究ロードマップ」（2018年）において、22世紀に世界で1テラワット（100万kW発電所 1,000基分）の核融合発電所が必要と記載。フォン・デア・ライエン欧州委員長（2019年発足）の「欧州グリーンディール」政策の下で核融合は推進され、2020年5月-11月に3段階による中間評価を行い、**2050年頃に発電を行う核融合原型炉（DEMO）を建設**すべきと評価。
- 米国ではエネルギー省（DOE）の核融合エネルギー科学諮問委員会（FESAC）は、**2040年代までに核融合パイロットプラント（発電炉）を建設するための準備を整える**ことを提言（2021年2月）。全米科学アカデミーは、**2028年までに実施判断し、2035～2040年に発電を目指す**と提言（2021年2月）。**2022年12月にはローレンスリバモア研究所において実際の燃料を用いて、史上初めて入力エネルギーを上回る出力エネルギーを発生させることに成功**。大統領府がDOEと共催した会合（2022年3月）において、「**商業核融合エネルギーの実現を加速するための10年戦略**」を、民間セクターとの連携の下で策定することを表明し、**2023年6月に、2030年代のパイロットプラント建設を目指すプログラムに他国のスタートアップも含めて8社が採択された**。安全規制について、**2023年4月に原子力規制委員会（NRC）が核分裂の原子力とは異なる副産物フレームワークを適用することを決定**。
- 英国は、ジョンソン首相による新政策「グリーン産業革命に向けた10項目の計画」（2020年11月）、「英国政府の核融合戦略」（2021年10月）において、**2040年までに核融合原型炉の建設を目指す**と明記。発電炉STEPの立地地域を募集し、**ウエストバートンにある石炭火力発電所敷地に決定（2022年10月）**するとともに、**建設を担うUKIFS社を設立（2023年2月）**。また、**他国スタートアップも含めて企業を誘致し、産業集積化を推進**。政府の規制政策諮問会議による今後の核融合規制に関する勧告（2021年5月）に対し、政府が核融合規制に関する討議資料（グリーンペーパー）を公表（2021年10月）し、核分裂の**原子力発電所とは異なる規制を適用するために法案を議会に提出中**。
- 韓国政府（国家核融合委員会）が策定した「第4次核融合エネルギー開発振興基本計画（2022-26）」（2021年12月）において、**2050年代に核融合電力生産実証炉（K-DEMO）による発電実証**という目標を設定するとともに、**発電の実証に必要な8つのコア技術群の確保**、安全規制について、2024年までに核融合規制体系の基本的な方針を策定すると記載。**核融合実験装置KSTARは1億度のプラズマを20秒閉じ込めることに成功し、2025年までに300秒まで伸ばすことを目標としている**。
- 中国においても、国産の核融合発電実現に向けた取組が進められている。実験装置EASTでは2021年12月に7000万度のプラズマを1000秒以上維持するという世界記録を達成し、2023年4月には高出力で403秒の運転を達成させ世界記録を達成。また、イーターで製作できなかった核融合要素技術の獲得のための施設群CRAFTを建設中（2025年に完成予定）。さらにJT-60SAと同規模でDT運転も計画している実験装置BESTを2027年に運転開始予定。2025年よりイーターと並行して、**イーターと同規模の核融合工学試験炉（CFETR）を1基建設した後、これを2030年代までに発電炉（原型炉）に改造する計画を推進中**。



# 海外のフュージョンエネルギー・スタートアップの動向

- 近年、イーター計画の進捗による技術的成熟に対する信頼感の形成、カーボンニュートラルに対する政策的要請の高まりを背景としつつ、主要国において、スタートアップの設立、民間投資の獲得が相次いでいる。

企業名	資金源	研究内容		実用化に向けた計画
Commonwealth Fusion Systems 米国、マサチューセッツ 	<ul style="list-style-type: none"> <li>マサチューセッツ工科大学</li> <li>投資による資金調達 累積2000M米ドル (約2800億円) ビルゲイツ、Googleなど</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>トカマク型(国内ではQST)</li> <li>小型化に必要な高温超伝導磁石を開発中</li> <li>(株)フジクラが高温超電導線材を納入</li> <li>DOEのマイルストーンプログラムに採択</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2025年に小型炉稼働</li> <li>2030年代早期に20万キロワット</li> </ul>
TAE Technologies 米国、カリフォルニア 	<ul style="list-style-type: none"> <li>投資による資金調達 累積1200M米ドル (約1680億円) 住友商事、Googleなど</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁場反転配位(FRC)型(国内では日本大学)</li> <li>核融合科学研究所と協力し、中性子を発生しない水素-ホウ素による核融合反応を実証</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年代に30~50万キロワット</li> </ul>
General Fusion カナダ、バーナビー 	<ul style="list-style-type: none"> <li>カナダ政府</li> <li>投資による資金調達 累積335M米ドル (約470億円) ジェフ・ペゾス</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝撃波磁化標的核融合(MTF) ※ピストンで音響圧力波を生成し、プラズマを繰返し生成・圧縮する方式</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>英国が実証炉を誘致</li> <li>2030年代早期に23万キロワット</li> </ul>
Tokamak Energy 英国、オックスフォードシャー 	<ul style="list-style-type: none"> <li>英国政府</li> <li>投資による資金調達 累積250M米ドル (約350億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>球状トカマク型(国内では東京大、京都大、九州大)</li> <li>小型化に必要な高温超伝導磁石を開発中</li> <li>古河電気工業(株)が高温超電導線材を納入</li> <li>DOEのマイルストーンプログラムに採択</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2030年代早期に50万キロワット</li> </ul>
Helion Energy 米国、ワシントン 	<ul style="list-style-type: none"> <li>投資による資金調達 累積570M米ドル (約800億円) サムアルトマンなど</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>磁場反転配位(FRC)型(国内では日本大学)</li> <li>重水素-ヘリウム3による核融合反応を利用</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>2028年に5万キロワット</li> <li>マイクロソフトと電力供給契約</li> </ul>
Neo Fusion 中国、合肥 	<ul style="list-style-type: none"> <li>投資による資金調達 累積723M米ドル (約1012億円)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中国電気自動車企業NIOと政府系エネルギー企業の出資により企業</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>20年で実用化</li> </ul>

# 国内のフュージョンエネルギー・スタートアップなど民間投資の動向

- 我が国においても核融合に関連したベンチャーが近年立ち上がっている。
- 文部科学省が推進している原型炉合設計同特別チームにも、国内の核融合ベンチャーあるいはベンチャーを起業した研究者が参画しており、国内企業及び大学・国立研究所と連携して、原型炉設計活動にも貢献(130名中5名)。

企業名	資金源	研究内容		備考
京都 フュージョニアリング 日本、京都市 	・京都大学 ・投資による資金調達 累計122億円	・欧米の核融合装置向けに加熱装置ジャイロトロンを供給し、ブランケットなどのトリチウム技術、プラント技術を供給。		<ul style="list-style-type: none"> <li>2019年、京都大学エネルギー理工学研究所の教授を中心に設立</li> <li>経済産業省令和2-3年度「原子力産業基盤強化事業補助金」の間接補助対象事業者に採択</li> </ul>
Helical Fusion 日本、東京都 	・核融合科学研究所 ・投資による資金調達 累計9億円	・ヘリカル（ヘリオトロン）磁気配置の核融合炉の実現が目標		<ul style="list-style-type: none"> <li>2021年に核融合科学研究所の研究者らによって設立</li> <li>2040年前半にパイロットプラント（商用炉、発電量は100MW）を想定</li> </ul>
EX-Fusion 日本、大阪府 	・大阪大学 ・投資による資金調達 累計 19.3億円	・慣性レーザー核融合方式による発電の商用化が目標		<ul style="list-style-type: none"> <li>2021年にレーザー核融合を研究してきた大阪大学レーザー科学研究所や光産業創成大学院大学の研究者らによって設立</li> <li>2030年代後半にパイロットプラントを想定</li> </ul>
浜松ホトニクス 日本、浜松市 	・自社資金 年間10億円	・高強度レーザーによる慣性核融合の実証を目指し、高強度レーザーを開発 ・産業への技術応用も展開		<ul style="list-style-type: none"> <li>2015年、浜松ホトニクス産業開発研究所に実験施設を建設</li> <li>研究員30名程度</li> <li>大阪大、光産業創成大学院大学、トヨタ自動車と連携</li> </ul>



2022年3月現在

# フュージョンエネルギー・イノベーション戦略案の概要

- ✓ **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

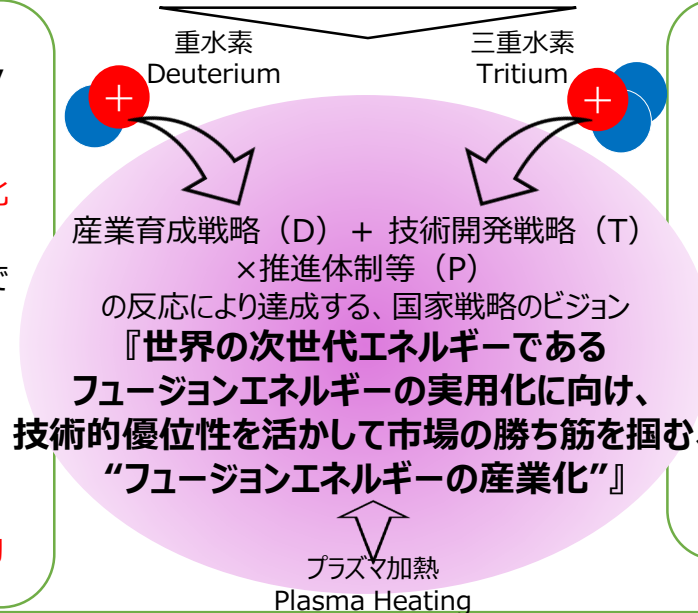
## 新たな産業としてのフュージョンエネルギー

- ・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