

# 革新炉WG -フュージョンエネルギー の現状と産業界の取組

2024年10月22日



# J-Fusion概要

|     |  |
|-----|--|
| 名称  | 和称：フュージョンエネルギー産業協議会<br>英称：Japan Fusion Energy Council (J-Fusion) |
| 目的  | フュージョン産業・ビジネスの創出   |
| 設立日 | 2024年3月29日   |
| 会員数 | 75 (2024年9月18日時点)  |

## < 常任理事企業・理事 >



副会長

住友商事株式会社  
執行役員 エネルギーイノベーション・イニシアチブ (EII) SBU長  
北島 誠二



株式会社Helical Fusion  
代表取締役CEO

田口 昂哉



会長

京都フュージョニアリング株式会社  
代表取締役社長

小西 哲之



常任理事

日揮株式会社  
執行役員 インダストリーソリューション本部長代行  
藤原 正彦



古河電気工業株式会社  
代表取締役社長

森平 英也

## < 理事企業 > 五十音順

株式会社IHI

株式会社アトックス

株式会社EX-Fusion

株式会社INPEX

清水建設株式会社

東芝エネルギーシステムズ株式会社

日本電信電話株式会社

株式会社フジクラ

Blue Laser Fusion合同会社

三井住友海上火災保険株式会社

三井物産株式会社

三井不動産株式会社

三菱重工業株式会社

三菱商事株式会社

株式会社LINEAイノベーション

大和合金株式会社

# 目次

1. フュージョンエネルギーおよび現在の開発競争について
2. 各閉じ込め形式の実現ロードマップ
3. 産業構築とエネルギー供給実現に向けて

# フュージョンエネルギーとは (1)

脱炭素、安定調達、エネルギー安全保障に強く貢献する夢の技術

エネルギー政策的利点



脱炭素時代における  
主要なエネルギー供給源

原理的に  
燃料枯渇の懸念なし

エネルギー安全保障  
(実現によるエネルギー  
力学関係に影響)

# フュージョンエネルギーとは（2）

## 脱炭素時代における主要な電源およびエネルギー源として開発進行中

エネルギー政策的利点

脱炭素時代における  
主要なエネルギー供給源

原理的に  
燃料枯渇の懸念なし

エネルギー安全保障  
(実現によるエネルギー  
力学関係に影響)

脱炭素  
ベースロード電源

- トカマク形式、ヘリカル形式などで開発
- 自然環境に左右されない安定・主要電源としての貢献を志向
- 立地制約、燃料サイクル、核不拡散上の利点

脱炭素  
調整電源

- レーザー形式などで開発
- 自然環境に左右されない、需給カーブに応じた調整電源としての貢献を志向

脱炭素  
多様エネルギー活用

- 脱炭素高温熱源により、水素製造やSAFなどの燃料製造、熱利用、カーボンネガティブを実現する炭素固定化への貢献を志向した開発が進行中

# エネルギー政策への貢献可能性

各課題に対し、ゲームチェンジャーとなる貢献ポテンシャルを持つ

フュージョンエネルギーの  
エネルギー政策的利点

＜第6次エネルギー基本計画（令和3年10月） 概要より＞

脱炭素時代における  
主要なエネルギー供給源

原理的に  
燃料枯渇の懸念なし

エネルギー安全保障  
(実現によるエネルギー  
力学関係に影響)

- 第6次エネルギー基本計画では、**2050年カーボンニュートラル（2020年10月表明）**、2030年度の46%削減、更に50%の高みを目指して挑戦を続ける新たな削減目標（2021年4月表明）の実現に向けたエネルギー政策の道筋を示す
  - 世界的な脱炭素に向けた動きの中で、**国際的なルール形成を主導**することや、**これまで培ってきた脱炭素技術、新たな脱炭素に資するイノベーション**により国際的な競争力を高めることが重要。
- 同時に、日本のエネルギー需給構造が抱える課題の克服が、もう一つの重要なテーマ。安全性の確保を大前提に、気候変動対策を進める中でも、**安全供給の確保**やエネルギーコストの提言（S+3E）に向けた取り組みを進める。

# フュージョンエネルギー開発の経緯

ITERにおける世界初機器開発の進展を受けて、この20年で進んだ技術を活用し、早期実現を図る新たなプログラムが進行中

- 2006年 ITER協定署名

⇒ 核融合実験炉(熱出力50万kW)を建設中

(参考)

原子力での実験炉

高速炉：常陽（熱出力14万kW）

高温ガス炉：HTTR（熱出力3万kW）

- 2019年 UK STEPプログラム発表（DESNZ検討）

⇒ 発電出力100MWe＋燃料増殖実証を目指す

UKAEA（会社組織）

- 2022年 US US Bold Decadal Plan発表（DOE検討）

⇒ ”Commercial“ Fusion Energy開発に向けた方向性を提示

Public Private Partnership

# 技術・人材・国際について

開発の加速化を通じて、覇権を巡って、コア技術・人材の獲得競争やルールメイクの検討、サプライチェーン戦略競争が既に起こっている

|         | US                                    | 中国                             | イギリス                | 日本                      |
|---------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------|
| ロードマップ  | 2028年<br>FPP計画策定                      | ‘20年代後半BEST<br>‘30年代 CFETR     | 2040年<br>STEP計画     | 2030年代<br>発電実証<br>(検討中) |
| 開発コンセプト | Public Private Partnership<br>(多様な炉形) | 国内での競争的開発と産業構築<br>(BEST、CFETR) | 公的計画と民間活用<br>(STEP) | 内閣府有識者会合等を通じた検討         |
| ファイナンス  | 私的資金/<br>公的資金                         | 公的資金                           | 公的資金                |                         |

# 目次

1. フュージョンエネルギーおよび現在の開発競争について
2. 各閉じ込め形式の実現ロードマップ
3. 産業構築とエネルギー供給実現に向けて

# 2030年代発電実証への開発競争の状況

スタートアップを中心に各形式開発競争が勃発、  
US DOEは複数の民間を支援してFPPデザイン（2028年）で多様性戦略

| 海外プレイヤー           |  |
|-------------------|--|
| 磁場閉じ込め            | トカマク形式<br>Commonwealth Fusion Systems (米)<br>Tokamak Energy (ST形式、英) |
|                   | ヘリカル・ステラレーター<br>Thea Energy (米)<br>Type One Energy (米) 等             |
|                   | FRC形式<br>Helion Energy (米)<br>TAE Technologies (米) 等                 |
|                   | ミラー型<br>Realta Fusion (米)  |
| 慣性閉じ込め型<br>(レーザー) | Excimer (米) 等  |
| MTFその他            | Zap Energy (米)<br>General Fusion (加)                                 |

- ✓ USにおけるFPPの方向性決定に向けて、DOE Milestone-based-programによる開発競争
- ✓ データセンターエネルギー需要等から民間需要-民間開発での早期開発（Helion EnergyとMicrosoft契約等）による開発競争の加速

# 日本の開発蓄積と民間を含む取り組み

一方で日本には開発蓄積も、民間からの取り組みも既に存在する

|                |              | 海外プレイヤー  | 日本   |   |
|----------------|--------------|--|--|---|
| 磁場閉じ込め         | トカマク形式       | Commonwealth Fusion Systems (米)<br>Tokamak Energy (ST形式、英) | 大学・研究機関<br>JT-60SA (QST)<br>QUEST(ST形式、九大) | 民間検討等<br>原型炉チームに参加<br>京都フュージョニア<br>リング中心の検討 |
|                | ヘリカル・ステラレーター | Thea Energy (米)<br>Type One Energy (米) 等                   | LHD (NIFS)                                 | Helical Fusion                              |
|                | FRC形式        | Helion Energy (米)<br>TAE Technologies (米) 等                | FAT-CM (日大)                                | LINEA イノベーション                               |
|                | ミラー型         | Realta Fusion (米)  | GAMMA10 (筑波大)                              |   |
| 慣性閉じ込め型 (レーザー) |              | Excimer (米) 等  | レーザー研 (阪大)                                 | EX-Fusion<br>Blue Laser Fusion              |
| MIFその他         |              | Zap Energy (米)<br>General Fusion (加)                       | -  | -   |

# 2030年代発電実証取り組み

フュージョン反応の改善に加えて、エネルギー取り出し・燃料系のニュークリア技術が発電実証には課題

|            |         | トカマク<br>(2030年代検討中)   | ヘリカル<br>(Helical Fusion)        | レーザー<br>(Ex-Fusion)   |
|------------|---------|---|---------------------------------|---|
| フュージョン反応   | 性能向上    | サイズ拡大/高磁場化等による性能向上  | サイズ拡大/高磁場化等による性能向上              | レーザー変換効率向上  |
|            | 維持・連続反応 | 継続運転  | 超長期での定常運転(1年連続)                 | 中性子連続発生(1Hz以上-24h)  |
| エネルギー取り出し  |         | DT反応*からのエネルギー変換統合実証<br>*D(t,n)4He 反応                                |                                 |   |
| 燃料増殖       |         | DT反応からの燃料増殖統合試験実証   |                                 |   |
| 目標とする出力、時間 |         | 参考：原型炉計画*<br>ネット発電出力200-300MW、70%稼働率<br>*実証タイミング前倒しを検討中のため、同計画は再検討中 | ネット発電出力<br>50-70MW<br>1年以上の定常運転 | 1shot:40MJ/(1-10Hz)<br>40-400MW維持 (核融合出力)<br>1Hz以上-24h 365日<br>連続稼働 |

\*上記の他、LINEAイノベーションがFRCミラーハイブリッド方式でp-11B反応による発電実証を計画  
Blue Laser FusionはHB11でのレーザー形式での技術を開発中

# 参考) トカマク\*

完成済み  
着手中

未着手・  
今後の課題

|                     |           | 関係機器                      | 現在地  | 2030年代発電実証に向けた取り組み課題  | 2030年代発電実証          |   |
|---------------------|-----------|---------------------------|--|---|---------------------|---|
| 閉じ込め形式に<br>よらない共通課題 | プラント設計    | プラズマ加熱                    | RF: <u>1MW, 1000sを実現</u><br>NBI: <u>ITER機器実現</u> | RF: 高磁場対応周波数、<br>長時間駆動 (CW)   | 閉じ込め形式に<br>よらない共通課題 |   |
|                     |           | プラズマ<br>(点火・効率化・維持)       | 超伝導コイル<br>クワイースタット<br>ファーストウォール<br>ダイバータ         | 磁石: <u>LTS ITER構造材・<br/>導体</u> プラズマ: <u>デイスラフ<br/>ジョン回避等開発 (DD)</u> |                     | 磁石: 規模化・HTS<br>プラズマ: トカマクスケリングによる設計・α粒子挙動想定 |
|                     |           | エネルギー取り出し                 | ブランケット<br>発電技術 (熱交換、発電)                          | ITER TBM技術<br>ブランケット実証 (エネルギー変換・運搬、MHD 他)                           |                     | 発電実証規模サーマルサイクル設計・実証<br>技術要素は左記+遮蔽材等         |
|                     | 燃料増殖      | ポンプ<br>分離・抽出<br>トリチウム除去設備 | 水素同位体取り出し、分離サイクル実証                               | 発電実証規模燃料サイクル設計・実証<br>技術要素は左記  |                     |   |
| 閉じ込め形式に<br>よらない共通課題 | 運転・メンテナンス | リモートハンドリング                | ITERブランケット遠隔保守技術                                 | ブランケット遠隔交換設計/必要技術   | DT燃焼による統合実証         |   |
|                     | 安全設計      |                           | 安全設計   | 安全概念/規制の確立⇔DT燃焼安全設計・承認<br>14MeV照射材料DB                               | DT燃焼による統合実証         |   |
|                     |           |                           |  |   | DT燃焼による統合実証         |   |

※トカマク形式における2030年代実証については 検討が進行中の状況のため、特定の計画に寄らず、技術要素としての整理を行ったもの (文責: 京都フュージョンリアリング)

# 参考) ヘリカル/ステラレータ

完成済み  
着手中

未着手・  
今後の課題

|                 |             | 現在地  | 2030年代発電実証に向けた取り組み課題                      | 2030年代発電実証                                       |
|-----------------|-------------|--|---|--|
| フュージョン<br>反応    | プラズマ<br>性能  | 高性能実証済 (三重積: $0.5 \times 10^{20}$ )<br>性能改善方法を科学的に解明 | 性能改善の有力手法である高磁場化 (高電流密度) 手法の確立            | DT燃焼による統合実証                                      |
|                 | 維持・<br>連続反応 | 3000秒以上の運転実証済  | 超長期の定常運転実証                                |  |
| 発電・<br>燃料安定供給実証 |             | 液体増殖材ループ実験済  | ブランケット及び増殖材ループのモジュール実証                    | プラズマ定常運転による<br>正味発電実証<br>(連続運転1年、メンテナンス3ヶ月の繰り返し) |
| 素材・製作・組立        |             | LTS素材でのコイル製作組立<br>複雑形状の製作・組立実証済                      | HTS素材でのコイルの製作、複雑形状の製作・組立<br>最適なブランケット材料開発 | コンパクトなプラントの<br>実証<br>(含む炉心以外の付随装置)               |
| 運転・メンテナンス       |             | 大型実験装置の運転実績<br>メンテナンス性に優れた設計の完了                      | 遠隔保守用クレーン開発<br>クレーンのみで交換可能な炉内機器開発         | 高プラント稼働実証<br>(12か月運転+3か月定修)                      |

※内容はいずれも事業者において検討中の暫定のもの

# 参考) レーザー核融合

完成済み  
着手中

未着手・  
今後の課題

現在地

2030年代発電実証に向けた取り組み課題

2030年代発電実証

ゲイン

✓ 利得2.5以上を実験的に実証

より効率的に利得1以上を達成する方法の探索と利得30-100を実現するターゲットデザイン

レーザー

✓ 出力kWレベルの繰り返しハイパワーレーザーモジュールの実現

合計100kW以上の繰り返しハイパワーレーザーシステムの実現

プラズマ制御

✓ ターゲット供給装置、レーザー制御コンポーネントなどの一部機能実証

数Hz以上でレーザー核融合反応を1時間以上連続で起こし続ける

ブランケット

✓ 概念設計

エネルギー取り出しと燃料サイクルの機能実証

統合実証による  
レーザーフュージョンによる  
熱電変換とトリチウムブリーディング

※内容はいずれも事業者において検討中の暫定のもの

# 目次

1. フュージョンエネルギーおよび現在の開発競争について
2. 各閉じ込め形式の実現ロードマップ
3. 産業構築とエネルギー供給実現に向けて

# 産業構築とエネルギー供給実現に向けて

産業創出に向けた主要課題対応へのご支援をお願いしたく

早期実現を図る  
具体計画  
(公的・民間)  
とその推進体制

サイト公募

規制・  
法体系整備

国際体制

国内技術・産業・人  
材は海外への流出

計画の大幅な遅れ

フュージョンプラ  
ント自体の魅力の喪失

国際標準化にも適切  
なサプライチェーン  
につながらない

**のリスクが生じており**

早期実現に向けて公  
的、民間の企画を競  
争させ、最速かつ高  
効率で実現する計画  
の実現

国内での実証計画を  
実現させ、近隣住民  
の理解・協力を得ら  
れるサイト公募プロ  
セス

安全を最優先にしつ  
つ、固有の安全性に  
立脚した規制の実現

一方で、国際連携や  
国際的サプライチェ  
ーンの構築による産  
業構造の組成

**の対応が必要**

# J-Fusion活動補足

- J-Fusionとエネルギー政策における留意点
  - －既存原子力政策との整合・シナジー
  - －将来のエネルギー政策におけるフュージョンの適切な取り込み
  - －フュージョン電力導入以前でのフュージョン装置産業の構築
  - －他産業と共通、利用可能なクロス Cutting 技術の推進
  - －低炭素技術輸出、国際的サステイナブル産業・市場への展開
- 既存原子力との関係
  - － J-Fusionとしては、再稼働、リプレース、革新炉の原子力政策を認識
  - － フュージョン電力の導入は、試験的にも2040年代が最速、方式により幅あり
  - － 既存電力、再エネ、将来的グリッドの状況に対応したグリッドパリティを志向
  - － 特に、低炭素ベースロードのみでなく、中小、分散、需要対応、グリッド安定化を意識
  - － 多目的利用、途上国、国際市場への展開も展望
- 当面の政策では
  - － フュージョン装置国際市場への展開の支援
  - － 他産業と共通、利用可能なクロス Cutting 技術の推進
  - － 大型エネルギー開発プロジェクトへの民間企業参入支援（革新炉同様）