

フュージョンエネルギーの社会実装に向けた基本的考え方（たたき台）

※今後の議論を踏まえて追記予定

目次

1. はじめに

2. 実用化段階のあるべき姿について

3. 発電実証の在り方について

4. 発電実証に向けた当面の取組について

5. その他社会実装を目指すにあたって考慮すべき事項について

（1） 安全確保（バックエンド対策を含む）

（2） 共通基盤の整備（イノベーション拠点化）

~~（2）~~ （3） 日本成長戦略会議への接続

※本日議論する技術成熟度の評価、ビジネスモデル、技術移転方策発電実証への道筋等などについて、今後の検討を踏まえて、追記項目を追加・修正
予定。

※構成についても今後検討。

1. はじめに

○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であり、環境・エネルギー問題の解決策として大きく期待されるもの。このため、我が国として、諸外国に先駆けてフュージョンエネルギーを早期に実用化できるよう、2030年代の発電実証を目指し、強力に取組を推進することが必要である。

2. 実用化段階のあるべき姿について

○フュージョンエネルギーの実用化段階においては、民間企業が発電事業者として商用プラントを建設・運営し、発電した電気を小売業者等に卸売りすることで収益を得られている姿が実現されているべきである。

○また、フュージョンエネルギーの活用形態は、大規模な系統用電源に限定されるものではなく、その特性を活かした多様な展開が考えられる。
例えば、フュージョン反応に伴い得られる熱の利用や、データセンター等に併設する小型のエネルギー源としての活用も考えられる。

○さらに、レーザー型に代表されるように、フュージョンエネルギー関連技術は、発電のみならず、多様なすそ野を有するものであり、新たな成長産業として位置付けられるべきものである。このため、我が国において産業基盤およびサプライチェーンを構築することにより、国際的な競争力を有する産業として発展することが期待される。

○このようなフュージョンエネルギーの実用化に向けては、発電所の建設および運営に必要な人材、技術、ノウハウならびに資金を有し、当該技術を用いて経済性のある発電を行う見込みを持つ民間事業者が出現し、その事業者が主体となり、以下のような対応を行うことが必要である。

・発電所立地に適したサイトの確保を進めるとともに、地域社会との

丁寧な対話を通じて地元の理解と信頼を得ながら、事業を着実に推進すること。

- ・科学的知見および合理性に基づいた規制の導入が不可欠であり、当該規制に適切に適合する体制を構築すること。
- ・運転に伴い発生する放射化物については、その特性を踏まえた適切な処理および管理を行うための仕組みを確立し、長期的な視点での安全確保と社会的受容性の向上を実施すること。

—(※本日の議論を踏まえて加筆・修正)—

3. 発電実証の在り方について

○バックキャストの観点から実用化への道筋を考慮すると、実用化一歩手前に位置付けられるフュージョンエネルギーの発電実証の在り方は以下①～③を満たす必要があると考えられる。

①商用プラントの建設および運用に必要となる技術的知見やノウハウが体系的に獲得できることが不可欠である。このため、耐久性、連続運転、メンテナンス、トリチウム増殖等を含む商用プラントにおいて不可欠となる主要技術を全て実証できることが重要であり、発電システム全体としての成立性を確認できることが求められる。また、その後の商用化を実際に担うことを想定する事業者が当初から参画することにより、実証成果が事業化に直結する形で活用される体制を構築すること。

②フュージョンエネルギー発電が将来的にビジネスとして成立し得ることを、経済的な成立性を前提としつつ、技術的成立性を示すことで、フュージョンエネルギーの商用化を行おうとする事業者が必要な資金を円滑に調達できること。

③安全の確保が大前提であり、科学的知見に基づく合理的な安全対策を

講じるとともに、周辺地域との丁寧な対話を通じて理解と信頼を得ること。

○これらを行う実施主体はフュージョン発電実証プラント（※）を建設・運用できる技術・ノウハウ・組織体制・資金力を有していることが重要である。フュージョン発電実証プラントは、高度かつ大規模な技術体系であることから、必要な技術・ノウハウを有していることに加えて、全体を統合・調整できるシステムインテグレーション能力を有し、運転に伴い発生する放射化物等の管理を含め、責任をもって確実に安全を確保することができる組織であることが必要である。

（※）フュージョン発電実証プラントについて

フュージョンエネルギーによる発電実証を行うプラントを指す一般的な概念を示す用語として、本報告書及びロードマップでは「フュージョン発電実証プラント」と定義している。

これは、フュージョンエネルギー・イノベーション戦略において、QST が中心となって検討を進めている原型炉計画を「原型炉」、スタートアップによるものを「パイロットプラント」と表現されていることから、導入した用語である。

フュージョンエネルギーに関する研究開発のフェーズを、実験炉段階、原型炉段階、商用炉段階と3段階で表現する場合、フュージョン発電実証プラントは原型炉段階に相当する研究開発フェーズにある。

○また、実証のステージの進展に応じて、発電実証で獲得した技術やノウハウをその後の商用プラントの実現に活用できる者であり、例えば、発電実証の成果を用いて、商用プラントを建設・運用し、発電事業を行うという構想を有している企業が参画していることが必要である。

○場所（サイト）の選定にあたっては、フュージョン技術の種類などによ

って求められる要件が異なると考えられることから、実施主体がそれらを踏まえて選定・確保することが適当であり、責任をもってサイトの選定を進める体制を整える必要がある。また、サイトの選定・確保には時間を要すると考えられることから、早い段階から検討を進めることが重要と考えられる。

○その際には、発電実証の炉型、規模、使用する三重水素等を踏まえ、想定されるリスクを考慮し、十分な安全確保及び環境汚染の防止が担保されるよう、最適な立地の選定を行うものとする。

○また、地域住民に対しては、事業内容や安全対策等に関する適切かつ丁寧な情報提供を行い、懸念や不安の解消を図るとともに、地域との信頼関係を着実に構築していくことが重要である。

(参考)

サイト選定の際、ポイントとなるチェックポイントとしては、ITER 計画の誘致時など過去の事例から以下のようなものが考えられる。

- ・用地面積：建屋や設備等を収容するための十分な面積。
- ・地質：地耐力・安定性があり、適切な地盤設計と監視体制を確保。
- ・用水：非常時の如何を問わず、高品質な水を安定的に供給する。
- ・生活及び産業排水：多数の従事者の作業に必要な生活及び産業排水体制。
- ・除熱：炉及び関連設備において、十分な除熱能力を有すること
- ・エネルギー及び電力：炉の運転のための安定的な電力供給体制の確保。
- ・輸送：サイト外での機器製作を可能とする、十分な搬入能力を有する。
- ・地元の理解と協力：地域と対話し安全環境への理解協力を得る。
- ・規制：放射性物質の管理を前提とした規制遵守。
- ・デコミッショニング：安全で確実なデコミッショニングが実施可能。

(発電実証の費用や費用負担の在り方)

○米国科学・工学・医学アカデミーの報告書によれば、フュージョン発電実証プラントにおいては、商用初号機（FOAK）のための主要な性能とコストの実証が求められるとしており、コストについては、総建設コスト50-60 億ドル未満に抑える必要があるとしている。

○我が国においては、フュージョンエネルギーの発電実証プロジェクトに要する費用については、民間事業者においては、発電を含む計画として数百 MW クラス以上で兆円規模、数十 MW クラスで数千億円規模の総建設コストが想定されている。

○フュージョンエネルギーの発電実証は、成功した場合、フュージョンエネルギーの事業化につながるものであることから、その成果を活用して事業化を進めようとする者が投資して行うべきものである。

○しかしながら、フュージョンエネルギーは科学的・技術的実現性の確認段階であり、現時点では、投資に対するリターンの見通し得ることは困難。加えて、フュージョンエネルギーは、多くの新たな要素技術を組み合わせる高度かつ大規模な技術体系であることから、技術的リスクがあり、民間資金のみで十分な資金を確保するのは容易ではない。

○また、フュージョンエネルギーの実用化は、カーボンニュートラルやエネルギー安全保障などの面で、広く国民に便益が及ぶもの。したがって、その早期実現に向けて、発電実証に対しても国が一定の支援を行うことが適当と考えられる。

○このように、発電実証は、フュージョンエネルギーの社会実装（ビジネス化）をめざす民間事業者と国が、応分の負担により進めることが適当である。

○なお、2030 年代の発電実証という目標達成のためにも、ITER の完成や運転の開始を待つのではなく、超伝導、プラズマ、燃料増殖、炉設計、炉材料、安全確保、プラントエンジニアリング、メンテナンス、経済成立性、廃止措置など、必要不可欠となる要素をポートフォリオとして捉えたアプローチが重要である。

4. 発電実証に向けた当面の取組について

(我が国の現状整理)

○フュージョンエネルギーには多くの要素技術を開発し、それをインテグレーションすることが必要となることから、発電実証を早期に実現するためには、国が強力に研究開発や民間の取組を支援することが必要である。

○我が国においては、これまで、実績のある方法で、科学的・技術的実現性を確立するための取組として、トカマク式である ITER 計画や JT-60SA の開発を進めるとともに、実用化に向けた技術の確立を目指す、それをベースにした原型炉計画を進めてきた。こうした取組より、多くの技術的知見が得られてきている。また、我が国企業が ITER の主要コンポーネントを製造するなど、サプライチェーンが構築されつつある。

○また、ヘリカル式、レーザー式など、それ以外の方式についても大学等で研究を進めるとともに、要素技術の研究開発を進めてきた。

○これに加えて近年では、大学等で開発された技術をベースにフュージョンエネルギーの実用化を目指すスタートアップが複数設立され、多様な方式による研究開発を進めている。これらのいくつかの方式の中には、例えば高温超伝導（HTS）技術の採用などにより小型化・低価格化を実現できる可能性があり、成功すれば大きなインパクトが期待されるもの

がある。他方で、それらを実現できるかどうかは不確実性が高い。これらのスタートアップの中には、国の支援を受けて早期に発電実証を行いたいという計画を有する企業もある。り、国は、SBIR 事業やムーンショット型研究開発事業により、こうした企業の研究開発についても支援をしてきたところ。

(発電実証に向けた当面の取組の在り方)

○発電実証及びその前段階の研究開発等には多くの人的・経済的リソースが必要となることから、我が国としてフュージョンエネルギーを早期実現するためには、どこかの段階でフュージョンエネルギーの方式等を絞り込み、集中的に支援することが望ましいと考えられる。

○我が国のフュージョンエネルギー関連技術は、世界トップレベルにある。しかしながら、フュージョンエネルギーの実用化には、信頼性・安全性・経済性などの実現が必要となるところ、いずれの方式も、現時点において、それらを実現できると確約することは難しい状況にある。このため、現時点においてどの方式が最も有力か結論を出すことは困難であり、実用化の可能性があると考えられるものの研究開発を広く推進・支援し、今後の進展を評価しつつ支援対象を絞り込んでいくことが適当である。

○また、発電実証に向けた支援対象を絞り込んだ後は、実用化につながる発電実証が速やかに実施できるよう、発電実証に必要な技術の確立に向けた研究開発や実施主体の体制整備などを集中的に支援する必要がある。

○こうしたことを踏まえ、どの炉型でも必要となる共通事項の技術開発・基盤整備を進めつつ、実用化の可能性があると考えられるものの研究開発を広く推進・支援し、今後の進展を評価しつつ支援対象を絞り込んで

いくこととし、当面、以下を推進するべきである。

(「当面の取組」の具体的な内容)

① 多くの蓄積があるトカマク型において実績のある方式でフュージョンエネルギーの実用化を目指す、QST が中心となって進める ITER 計画/BA 活動及び原型炉を見据えた基盤整備は引き続き重要であり、その推進をさらに加速する。なお、実用化段階において QST が発電事業者となることは現実的でないと考えられることから、その原型炉計画をベースにしてフュージョンエネルギーを商用化していく主体を明確化する。具体的には、概念設計が完了した段階で、後述する実現可能性、技術が確立された際の市場性、開発体制等を評価し、工学設計・実規模技術開発を含めた今後の取組の在り方を整理するべきである。

② イノベティブな技術を取り入れることなどで、より競争力の高いシステムの実現を目指すスタートアップの発電実証を目指した取組のうち、実現の可能性があり、世界に先駆けて成功した場合にインパクトが大きいと考えられるものについて、国が支援することによりその研究開発を加速する。特に、それら実現のカギとなる要素技術の研究開発をマイルストーン方式による支援により加速し、できるだけ早期にそれらの方式の実現可能性を見極める。~~これらの技術開発は不確実性が高いと考えられることから、マイルストーン型の支援により、技術開発の進捗状況や組織体制の整備状況など、実現可能性を評価し、支援を重点化していく。~~

~~〔注1：マイルストーン型の支援にあたっては、専門家による技術的な評価を実施する。本タスクフォースが評価を行うものではないことに留意。〕~~

③ フュージョンエネルギーの実用化に向けた技術開発課題のうち、トリチウムの取扱い、ブランケットやダイバータの開発、炉材料、遠隔保

守等の開発など各方式にの共通的な課題については、国研、アカデミア、スタートアップ等が分担・協力して取組を進めるよう国が適切に支援する。その際、共通的に必要となる要素技術であって、技術的成熟度の低いものは主に国が対応していくことが重要である。それらの研究開発を加速するため、フュージョンイノベーション拠点（QST、NIFS、ILE）において、実規模技術開発等のための試験施設・設備を整備し、民間企業等に供用する。その際、上記の3拠点が相互に連携し、役割分担をして進めていく。また、材料の評価等の共通で用いる試験施設・設備等については、QST などにおいて、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・設備群を整備し、発電実証に向けた研究開発を加速する。

○なお、QST については、ITER 計画/BA 活動などこれまでの研究開発プロジェクトを通じて技術蓄積を有することから、それをスタートアップに移転するなど、プラットフォーマーとしての役割を担うべきである。

○当面、上述①～③を進め、いずれかの段階で、国の支援対象を絞り込むことにより、早期の発電実証を実現する。その際、我が国の人的リソースが限られていることを踏まえ、できるだけ合流していくよう促す。

(方式の絞り込み)

○支援対象の絞り込みにあたっては、以下のような点を評価して判断することが適当と考えられる。

○これらについては、QST が中心となって進めている原型炉計画やスタートアップのパイロットプラントにも共通的に適用することが適切である。

【実現可能性】

・必要な要素技術のすべてについて、確立する見込みが得られつつあるか。

- ・それを統合する発電システムの内容は適当か。

(参考)「実現可能性」の評価にあたっては、令和 5 年 7 月に核融合科学技術委員会にて策定された「原型炉開発に向けたアクションプラン」で示された項目を確認することも考えられる。

【磁場閉じ込め方式】	【慣性閉じ込め方式】
・超伝導	・プラズマ（高利得炉心プラズマ）
・プラズマ	・炉材料（炉壁）
・燃料増殖（ブランケット）	・安全確保（燃料取扱）
・炉材料（炉壁・ダイバータ）	・繰り返し炉工試験装置
・炉設計	（ペレット製造・入射技術、レーザー開発）
・安全確保（燃料取扱）	・プラントエンジニアリング
・プラントエンジニアリング	・メンテナンス
・メンテナンス	・経済成立性
・経済成立性	・廃止措置 等
・廃止措置 等	

【技術が確立された際の市場性】

- ・技術的に確立された際に、市場性を獲得できる見込みはあるか。
- ・確立された技術を民間事業者採用する見込みがあるか。

例えば、発電コストについては、他のエネルギーと比較して競争力のあることが求められるのではないかと

注：経済産業省の「発電コスト検証に関するとりまとめ」における現時点での各電源の試算は 10 ～30 円/kWh 程度となっている。

- ・海外の競合と比較して、競争力のあるシステムとなる見込みはあるか。
- （フュージョンエネルギーの実用化には経済性も重要。市場性が見込みがない方式では、発電実証に成功しても社会実装にはつながらない。）

【開発体制】

- ・発電実証を実施する適切な組織体制を構築できる見込みがあるか。
- ・将来の社会実装（ビジネス化）に向けて、自ら一部費用を負担して発電

実証を進めようという意欲のある者が参加しているか。または、参加する見込みがあるか。

○発電実証に向けた支援対象を絞り込んだ後は、実用化につながる発電実証が速やかに実施できるよう、発電実証に必要な技術の確立に向けた研究開発や実施主体の体制整備などを集中的に支援する。

○その後の実用化につなげていくため、3. に示す実用化の一手手前の発電実証を速やかに実施できるよう、必要な技術の確立や実施主体の体制整備等を推進する。なお、その一環として、必要な技術の一部を実証する簡易な発電実証を行う場合もあり得ると考えられる。

5. その他社会実装を目指すにあたって考慮すべき事項について

~~★安全確保（バックエンド対策を含む）、共通基盤の整備などについて、今後の検討を踏まえて記載。~~

~~★日本成長戦略会議への接続についても記載。~~

（1）安全確保

○安全確保に関しては、原子力規制庁においては、事業者との意見交換が進められており、こうした取組を引き続き着実に推進するとともに、その成果を踏まえ、科学的に合理的で、かつ国際的整合性を確保した規制体系の構築が図る必要がある。

○また、バックエンド対策においては、フュージョンにおいても低レベルの放射化物が発生することを踏まえ、発生する放射化物の特性や量を十分に考慮した上で、処分および保管の方法について適切かつ安全に検討・整備することが求められる。

（2）共通基盤の整備（イノベーション拠点化）

○フュージョンエネルギーの社会実装を見据えた研究開発を着実に進める

ためには、民間企業のみでは対応が困難な要素技術の高度化や、長期的視点での技術基盤の確立が不可欠である。

○そこで、QST・NIFS・ILE が、共通的な技術課題等の解決に向けた研究開発等を実施する拠点（フュージョンイノベーション拠点）となる必要がある。それらの整備にあたっては、民間企業のニーズをよく把握してそれにあったものを整備することが重要である。

○これらの基盤については人材においても重要であり、国内外の研究動向や産業界の要求に柔軟に対応できる人材基盤を構築するための人材育成も進める必要がある。

（３４）日本成長戦略会議への接続

○令和７年１１月４日に立ち上がった「日本成長戦略本部」においては、「危機管理投資」・「成長投資」の戦略分野として１７の分野を定めており、フュージョンエネルギーがそのうちの一つに位置づけられた。

○同本部においては、戦略分野ごとにワーキンググループが設置され、投資内容やその時期、目標額などを含めた『官民投資ロードマップ』の策定を行うこととされている。同ロードマップの検討に当たっては、本タスクフォースのロードマップおよび関連検討状況を展開させていくことが重要である。