

核融合（フュージョン）の現状とポテンシャル

2025年10月28日（火）

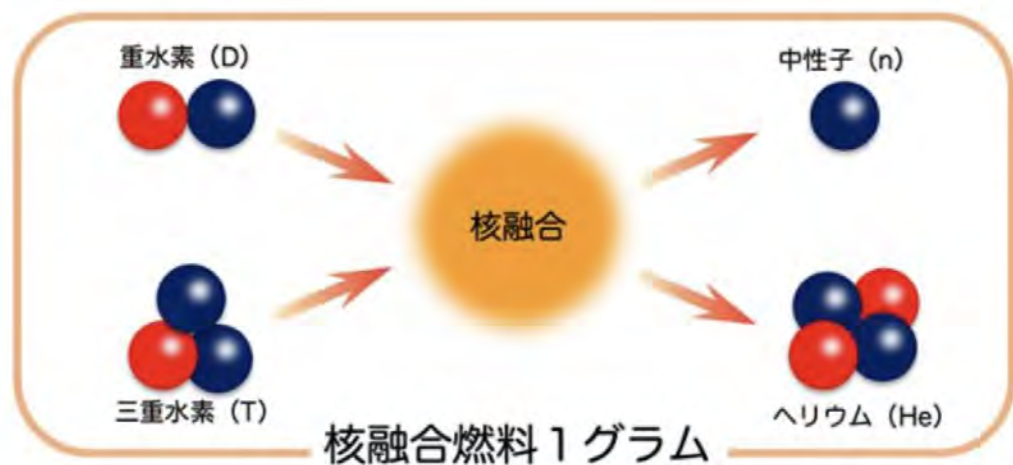
早稲田大学ビジネス・ファイナンス研究センター研究院教授

内閣府「フュージョンエネルギーの社会実装に向けた基本的な考え方検討タスクフォース」主査
内閣府核融合戦略有識者会議委員

尾崎 弘之

核融合の原理と産業化

核融合（フュージョン）の原理



質量とエネルギーの等価性



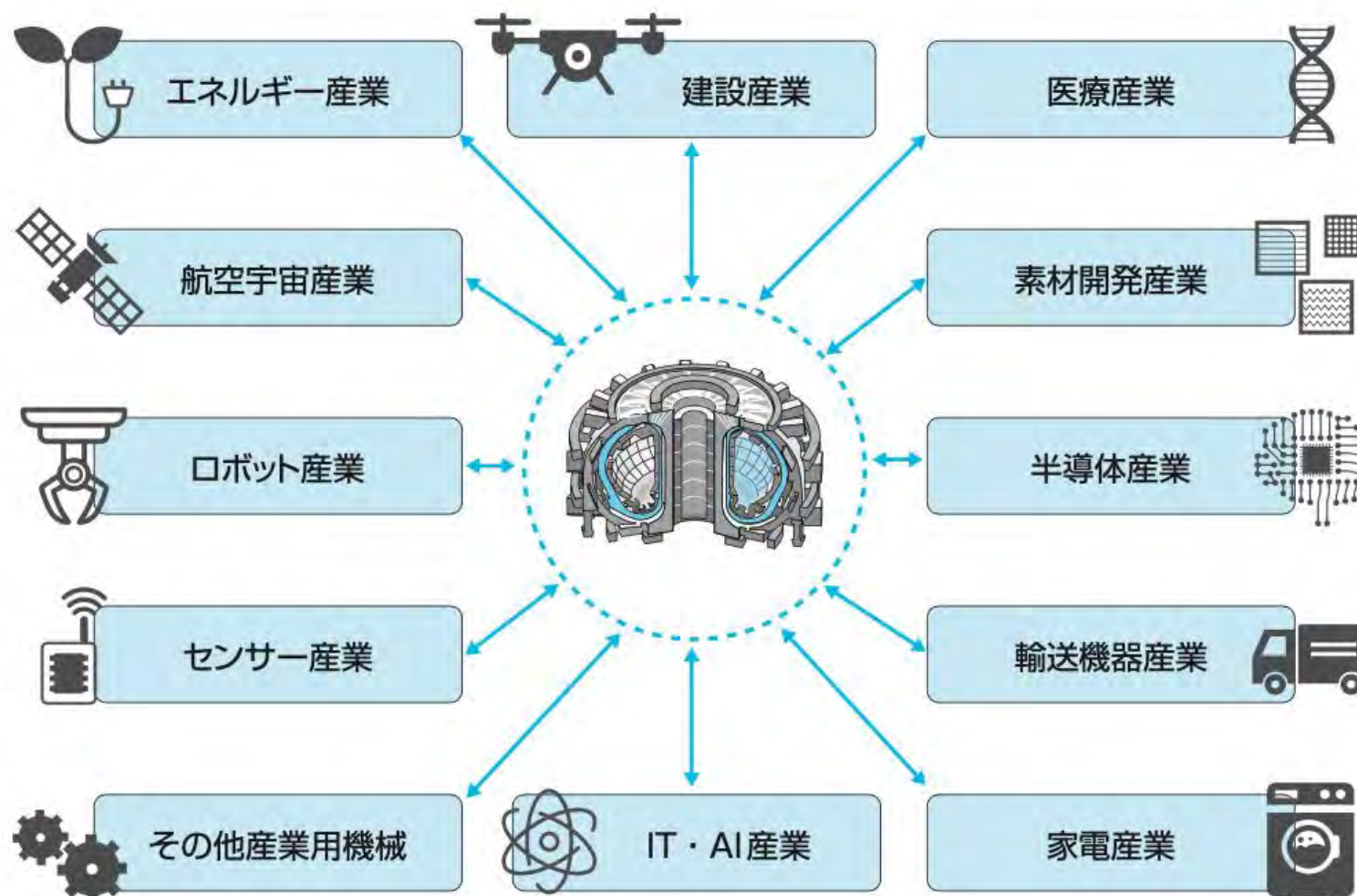
- エネルギー (E) が質量 (m) と等価であるという原理 ($E=mc^2$)
- わずかな質量の差が非常に大きなエネルギーに変わる

図出典： <https://www.qst.go.jp/site/jt60/4930.html>

なぜ核融合エネルギーが注目されているのか

- ベースロードになり得るクリーン電源
 - 原発再稼働以外の選択肢
- 高いエネルギー効率
 - 燃料1gで石油8トン分のエネルギー産出
- 燃料が無尽蔵に存在する
 - 海水から抽出可能なりチウム、重水素を燃料とする
 - 資源小国の日本にとって貴重
- 原発よりも安全
 - 高濃度放射性廃棄物を殆ど出さない
- 国際協力研究「ITER」以外に産業化の国際競争が進展中
- フュージョン国家戦略により、実証炉建設の早期化、関連産業の育成が計画されている

核融合と親和性が高い産業群



尾崎弘之(2024)「最新核融合産業の動向と仕組みがよくわかる本」秀和システム

発電実証を目指している民間企業

FAST (Fusion by Advanced Superconducting Tokamak) 計画



京都フュージョニアリングが国内研究者と共同で設計
2030年着工、2035年試験開始、2030年代発電実証

- ・ D-T 燃焼試験
- ・ ブランケット、炉内機器の総合ニュークリア試験
- ・ エネルギー変換システム、燃料循環系総合試験
- ・ 炉心はJT60SAに近い大きさのトカマク型

図 7-1 FAST(Fusion by Advanced Superconducting Tokamak)計画

京都フュージョニアリング /Starlight Engine



EX-Fusion



Blue Laser Fusion



Helical Fusion



LINEAイノベーション

出典：J-Fusion「フュージョンエネルギー白書」
(2025年6月3日版) より

国内外のロードマップと国際競争

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



ムーンショット型研究開発制度 (目標10)

✓ 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

「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」

概要

○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としての期待に加え、国際プロジェクトのITERや、米国等における政府主導の取組の進展もあり、各国で民間投資が増加している。各国が大規模な投資を行い、国策として自国への技術・人材の囲い込みを強める中、我が国の技術・人材の海外流出を防ぎ、エネルギーを含めた安全保障政策に資するため、「**フュージョンエネルギー・イノベーション戦略(令和7年6月4日改定)**」に基づき取組を推進する。

○特にフュージョンエネルギーの早期実現に向け、国際約束に基づき核融合実験炉の建設・運転を行う**ITER計画**、ITER計画を補完・支援する研究開発を行う**BA(幅広いアプローチ)活動**、**DONES(核融合中性子源)計画**、**原型炉を見据えた基盤整備**、ムーンショット型研究開発制度等を活用した**独創的な新興技術の支援**を推進する。

(参考)「新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画2025年改訂版」(令和7年6月13日閣議決定)

ITER/BA活動の知見や新興技術を最大限活用し、QST等のイノベーション拠点化を推進し、フュージョン産業エコシステムを構築していく。特に、**新たな国家戦略**に基づき、**2030年代の発電実証**を目指し、実施主体の在り方やサイト選定の進め方など、社会実装を促進する取組の在り方について検討を進めるとともに、**他国に劣らない資金供給量を確保し、工学設計等の原型炉開発と並行し、トカマク型、ヘリカル型、レーザー型等多様な方式の挑戦を促す**。

ITER(国際熱核融合実験炉)計画

令和8年度要求・要望額：
21,876百万円(13,945百万円)

- 協定：2007年10月発効
- 参加極：日、欧、米、露、中、韓、印
- 各極の費用分担(建設期)：

欧州(ホスト極) 45.5% 日本他6極 9.1%

※各極が分担する機器を調達・製造し、ITER機構が全体の組立・据付を実施(南仏でITERを建設中)。

- 進捗：トロイダル磁場(TF)コイルの全機納入や、最初の2つのセクターモジュールの設置完了など、各極及びITER機構において、機器の製造や組立・据付等が進展。

※2025年6月に開催されたITER理事会では、ITER計画の日程・コスト等を定める基本文書「ベースライン」について、段階的アプローチが検討された。ITER機構は、**ITERトロイダル磁場コイル納入完了記念式典(2024年7月1日)**に基づき、今後も着実に活動を推進する方針。



ITERサイトの建設状況



ITERトロイダル磁場コイル納入完了記念式典(2024年7月1日)

- ITER機構の活動(ITER分担金) 14,965百万円(8,903百万円)
- 機器の調達・製造等(ITER補助金) 6,911百万円(5,043百万円)

先進的核融合研究開発

BA(幅広いアプローチ)活動

令和8年度要求・要望額：
9,003百万円(6,731百万円)

- 協定：2007年6月発効
- 参加極：日、欧(青森県六ヶ所村、茨城県那珂市で実施)
- 進捗：JT-60SAの加熱実験開始に向けて、設備整備や研究開発を着実に実施等。



JT-60SA

DONES(核融合中性子源)計画

- 欧州の核融合中性子源計画において核融合炉等の構造材料の開発に必要な中性子照射試験を実施。

原型炉を見据えた基盤整備

- 2030年代の発電実証に向けて、研究開発、人材育成、アウトリーチ等の基盤整備を実施。



DONES加速器

- BA活動 8,186百万円(6,004百万円)
 - ①国際核融合材料照射施設に関する工学実証・工学設計活動 551百万円(584百万円)
 - ②国際核融合エネルギー研究センター等 2,311百万円(2,226百万円)
 - ③サテライト・トカマク計画 5,324百万円(3,194百万円)
- DONES計画 73百万円(新規)
- 原型炉を見据えた基盤整備 744百万円(727百万円)

※その他、核融合科学研究所の「超高温プラズマの「ミクロ集団現象」を中核とした核融合科学の学術研究基盤計画」事業に係る経費を国立大学法人運営費交付金に別途計上。

(担当：研究開発局研究開発戦略官(核融合・原子力国際協力担当) 付)



- 米国においては、スタートアップを中心とする民間企業がフュージョン産業をけん引している。
- フュージョンパイロットプラント（FPP）の実現に向けての要件を定義。
- 政府としては、民間企業に実現に向けたマイルストーンを提案させ、達成した際に支払う形のプログラムによって支援を実施。民間企業による意欲的な取り組みの支援と投資の呼び込みを喚起し、産業のエコシステムを構築している。

民間企業の活況

- フュージョンエネルギー関連スタートアップへの投資額が急増



- 主たるプレイヤー（例）



Commonwealth Fusion Systems
2,800億円以上を調達
ビル・ゲイツ、Googleなど



Helion Energy
800億円以上を調達
サム・アルトマンなど

発電実証を目指す様々な炉型を主体としたスタートアップに対して、VCや投資家が巨額投資

（出典）米国エネルギー省「MILESTONE-BASED FUSION DEVELOPMENT PROGRAM」公募要項、

The National Academies of SCIENCES・ENGINEERING・MEDICINE, Bringing Fusion to the U.S. Grid, 2021 等から内閣府作成

フュージョンパイロットプラント実現に向けての要件

- 米国科学・工学・医学アカデミーの報告書において、パイロットプラントはFOAK（商用初号機）を可能とするための主要な性能とコストの実証が求められており、以下の定義がされている。

・フュージョンパイロットプラント：

発電容量50MWe以上で、総建設コスト50-60億ドル未満に抑える必要

・FOAK核融合発電所：

米国電力市場で実現可能で、**運用寿命40年とすれば総建設コストを50-60億ドル未満に抑える必要**

政府としての支援

- 上記の定義を元にフュージョンパイロットプラントの実現に向けたマイルストーンを民間企業に提案させ、達成時に支払いを行うマイルストーンプログラムを実施。
- 2023年採択発表以降、受賞企業はマイルストーンに対して政府が拠出した4,600万ドルに対し、3億5,000万ドル超の新たな民間資金を集めている。



事前概念設計とロードマップ提出

※2023年8社採択



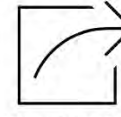
民間企業から
資金調達



マイルストーン達成
エネルギー省が認定



政府補助
民間資金調達



次段階の実験を構築・運用、
FPPに不可欠な基盤技術の一部を実証する

- 英国においては、政府主導の「STEPプログラム」において、**2040年をターゲットに、100MWの発電を行うプロトタイプ発電炉を設計、建設することを目標**として社会実装に向けての検討が進められている。
- **英国原子力公社（UKAEA）の完全子会社である英国産業核融合ソリューション社（UKIFS）**がプロジェクト主体を担う。連携先企業を公募で決定し、民間企業を巻き込みながら一体となってプロジェクトを推進。
- 政府として民間企業・研究機関に対しての関連技術の開発に対しても支援を行い、STEPを補完している。

STEPについて

設計概要

- 主体：**英国原子力公社（UKAEA）の完全子会社である英国産業核融合ソリューション社（UKIFS）**がプログラムを推進。2025年1月に、エンジニアリングおよび建設のパートナー候補企業が公開され、2025年末または2026年初頭に契約締結される予定。
- 予算：概念設計のPhase1において、2.2億ポンド（≒440億円）の予算を投資。2025年6月に、STEP含めフュージョンエネルギー分野に5年間で25億ポンド（≒0.5兆円）を投資することが決定。
- 建設地：ノッティンガムシャー州の石炭発電所があった土地に建設を決定。



STEP概念図



建設予定地

今後の進展

- **2040年に最初の運転を開始し、可能な限り早期に少なくとも100MWの正味のエネルギーを実証することを目標として進捗。**

Phase1 概念設計 2019 ~ 2024

- 2024年まで概念設計、主要な技術・インフラプログラムを実現するための組織体制の構築、用地選定、適切な規制枠組みの整備に注力（2025年3月発表）。
- 並行して、社会実装への道筋を検討。

Phase2 設計・製造 2025 ~ 2032

- 主要産業を巻き込んで、クリティカルとなる技術の開発をプログラムし、設計、実証、コンポーネントの製造へと移行する。また、建設地の地方自治体の協力パートナーや周辺地域と緊密に連携し、**計画承認と許可の取得**を目指す。

Phase3 建設 2032 ~ 2040

- **発電所の建設とインフラ整備**に関するもので、計画許可と同意が得られ次第、**2030年代に開始**される。STEPプロトタイプ発電所は**2040年に最初の運転を開始し、可能な限り早期に少なくとも100MWの正味のエネルギーを実証**する予定。

STEP以外の民間企業等向け制度

- Fusion Industry Programme（うちChallenge Scheme）：革新的技術の開発促進。加熱・冷却システムの革新および新素材・製造技術によるプラント稼働率の向上を重点分野とする。
- LIBRTI：トリチウム燃料の持続的・自己完結的な供給方法の確立のため、制御されたトリチウムの育成技術を実証することを目的。

その他の国におけるフュージョン戦略の考え方

○フランス

French Strategy for Energy and Climateでは、2050年までのカーボンニュートラルの実現を目的としている。フュージョンについては、国家的なフラッグシップであるITERの推進とBA、DONES等への貢献、アジア・欧州・北米の先進的な研究所との科学協力を推進することとしている。

○ドイツ

Fusion 2040では、慣性核融合と磁気核融合について、技術に対するオープンなアプローチで開発し、2030年代前半までを研究開発段階とし、2030年代前半～2040年代初頭を移行フェーズ（TRL7～8に相当する発電所のプロトタイプ構築）、2040年代以降に運用段階としている。また、社会実装段階では産業界の重要性がますます高まると言及しているほか、社会実装に必要な技術的課題として、第一壁と高温プラズマとの相互作用、炉材料開発、レーザーシステムなどを特定している。

○中国

核融合の要素技術を獲得するための大規模試験施設群CRAFTを2019年に建設開始し、2025年完成を見込む。

ITERに先立ってDT運転を行うトカマク型核融合実験炉BESTを2023年に建設開始し、2027年に運転開始を見込む。

中国版原型炉CFEDRを構想。CRAFTによる工学実証を踏まえR & Dを実施（プラズマ半径は7.8mであり、ITERより大きい）。

CRAFT : Comprehensive Research Facility for Fusion Technology

BEST : Buring plasma Experimental Superconducting Tokamak

CFEDR : Chinese Fusion Engineering DEMO Reactor

(出典) フランス環境連帯移行省「French strategy for energy and climate Multiannual energy programming (2025-2030, 2031-2035)」(2025年3月)

ドイツ連邦教育研究省「Förderprogramm Fusion 2040」(2024年3月)、公表資料等より内閣府作成

フュージョンエネルギー・イノベーション戦略

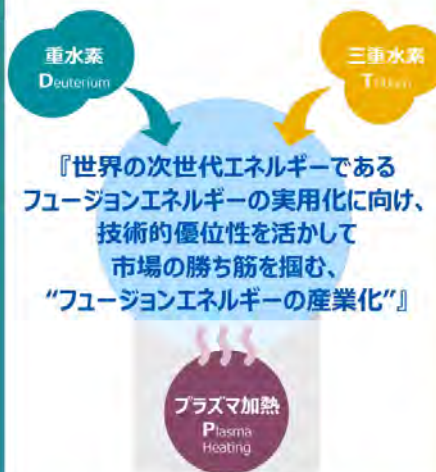
フュージョンエネルギー・イノベーション戦略(概要)

※令和7年6月4日改定

ITER計画/BA活動の知見や新興技術を最大限活用し、世界に先駆けた2030年代の発電実証を目指し、
**バックキャストによるロードマップを今後策定するとともに、QST等のイノベーション拠点化を推進し、
フュージョン産業エコシステムを構築**

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

- ① **産業協議会(J-Fusion)との連携**
(国際標準化、サプライチェーンの構築、
知財対応、ビジネスの創出、投資の促進等)
- ② **科学的に合理的で国際協調した安全確保**
(当面は、RI法の対象として位置づけ。新たな知見や
技術の進展に応じて、アジャイルな規制を適用。
G7やIAEA等との連携など、国際協調の場も活用)
- ③ **社会実装の促進**に向けたTFの設置
(現状の技術成熟度の評価に加え、実施主体の
在り方やサイト選定の進め方等について検討)



(2)フュージョンテクノロジーの開発戦略 Technology

- ① 原型炉実現に向けた**基盤整備の加速**
(工学設計や実規模技術開発等、原型炉開発を見据
えた研究開発の加速。ITERサイズの原型炉の検証)
- ② スタートアップを含めた**官民の研究開発力強化**
(NEDO、JST、QST等の資金供給機能の強化の検討。
技術成熟度の高まりやマイルストーンの達成状況に応じ、
トカマク、ヘリカル、レーザー等多様な方式の挑戦を促進)
- ③ ITER計画/BA活動を通じた**コア技術の獲得**
(日本人職員数の増加や調達への積極的な参画促進。
様々な知見を着実に獲得し、その果実を国内に還元)

(3)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

- ① **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
(世界に先駆けた2030年代の発電実証の達成に向けて、必要な官民の取組を含めた工程表の作成)
- ② QST、NIFS、ILE等の**イノベーション拠点化**
(産学官の研究力強化及び地方創生の観点から、スタートアップや原型炉開発に必要となる大規模施設・設備群の整備・供用)
※QST:量子科学技術研究開発機構、NIFS:核融合科学研究所、ILE:大阪大学レーザー科学研究所 ※(2)①②と連動
- ③ 大学間連携・国際連携による**体系的な人材育成システム**の構築と育成目標の設定
(核融合科学研究所(NIFS)が中核となり、教育プログラムを実施。ITERをはじめ、海外の研究機関・大学等に人材を派遣)
- ④ **リスクコミュニケーション**による国民理解の醸成等の環境整備
(J-Fusionや関連学会等とも連携し、社会的受容性を高めながら、関係者が協調して活動を推進)

○フュージョンエネルギーの社会的位置づけを明確にするとともに、社会実装を促進すること

【内（関係省庁）】

研究開発の延長でフュージョンエネルギーの社会実装を捉えるのではなく、バックキャストでフュージョンエネルギーの位置づけを明確にするため、関係省庁と協力しながら社会的・経済的有用性やコスト目標等の検討を行う。

特にフュージョンエネルギーの社会実装に向けては、現状の技術成熟度の評価に加え、技術開発から事業化に至るまでのビジネスモデル、原型炉やパイロットプラントをはじめとする将来のフュージョン装置のコストやファイナンス、円滑な技術移転を進めるための方策、サイト選定の進め方、実施主体の在り方、社会実装に繋がる発電実証の定義、安全確保に向けた取組等について検討する必要がある。そのため、**内閣府にタスクフォースを設置し、関係省庁の協力を得ながら、フュージョンエネルギーの社会実装を目指すに当たって考慮すべき課題について検討**することとし、産業の予見性を高める観点から、諸外国や異なる技術分野の状況も参考に**令和 7 年度中の取りまとめを目指す**。



BRINGING FUSION TO THE U.S. GRID (2021) 「フュージョンを米国の電力網へ」
National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (米国科学・工学・医学アカデミー)

【報告書の指摘事項のポイント】

- パイロットプラントは、商業プラントへ向け、技術が実装可能であり、他の発電方式と対比しうる発電コストであることを実証する必要がある。FOAK（商用初号機）に先立って、想定される交換頻度、廃棄物処理、安全上の考慮事項、環境上の考慮事項等について理解を深められるものでなければならない。
- パイロットプラントはFOAKを可能とするための主要な性能とコストの実証が求められる。 それぞれの定義は以下のとおり。

- ・パイロットプラント：
発電容量50MWe以上で、総建設コスト50-60億ドル未満に抑える必要
 - ・FOAK(商用初号機)核融合発電所：
米国電力市場で実現可能で、運用寿命40年とすれば総建設コストを50-60億ドル未満に抑える必要
- 現時点では、ダイバータやプラズマ第一壁などプラズマに直接的にさらされるコンポーネント（PFCs：Plasma-Facing Components）や統合的なブランケットの技術成熟度（TRL）は非常に低く、相当の研究開発が必要である。
- 米国のフュージョン産業は、ITERから得られる技術、ノウハウ、経験から恩恵を受けている。ITERから得られた経験を活用することは、パイロットプラントの厳しいスケジュールを達成する上で重要。
- パイロットプラントは科学的課題と技術的課題の双方を包括的に検討する必要がある。より低コストのパイロットプラントを実現するには科学的・技術的イノベーションが不可欠であり、設計を確定し建設を開始する前に徹底的に評価されなければならない。
- パイロットプラントをFOAKの予定コストよりも低いコストで建設できない場合、また経済的に競争力のあるコストで電力を発生する可能性がない場合は、建設に進む前にコストを減じ、コンセプトを改善することが求められる。
- パイロットプラントを成功裏に稼働させるためには、残された技術的・科学的課題の解決及びパイロットプラントの設計、建設、運転の双方に対してDOEと民間企業からの緊急の投資が必要。

