フュージョンエネルギー開発におけるコスト合理化に関する検討

仕様書

令和8年10月

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
六ヶ所フュージョンエネルギー研究所
原型炉プロジェクト推進部
原型炉統合設計グループ

１．一般仕様

1.1 件名

フュージョンエネルギー開発におけるコスト合理化に関する検討

1.2 目的

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構（以下「QST」という。）では、フュージョンエネルギー発電実証を目的とする原型炉 Q-DEMO 計画の検討を進めている。フュージョンエネルギーの社会実装に向けては、物理・工学的成立性及び安全性の確保に加え、建設費、運転保守費、交換費用、停止損失、機器開発費、プロジェクト管理費等を含むライフサイクル全体の経済性を設計初期から考慮することが重要である。

本件は、原子力、火力、再生可能エネルギー、宇宙輸送等のエネルギー・産業分野におけるコスト合理化の実績と、その背後にある因果関係及び成立条件を分析するとともに、フュージョンエネルギー開発（Q-DEMO 計画）における、技術開発、調達、建設、運転保守及び開発戦略・プロジェクト管理へ適用可能なコスト合理化の方針並びに今後のコスト解析・分析の方向性を検討することを目的とする。

1.3 納期

令和 9 年 3 月 12 日

1.4 納入先

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駮字表舘 2 番地 166
QST　六ヶ所フュージョンエネルギー研究所
原型炉プロジェクト推進部　原型炉統合設計グループ
管理研究等 2 階 224 室

1.5　作業内容（詳細は 2. 技術仕様による）

フュージョンエネルギー開発（Q-DEMO 計画）のコスト合理化の検討を念頭に以下の作業を行う。

(1) エネルギー・産業分野におけるコスト合理化事例の調査及び構造分析
(2) フュージョンエネルギーにおける技術開発（R&D）の実施によるコスト低減

方策への適用性分析
(3) フュージョンエネルギーにおける開発戦略、調達・供給網及びプロジェクト管理によるコスト低減方策への適用性分析
(4) Q-DEMO 計画のコスト合理化及びフュージョンエネルギーの早期社会実装を目指す戦略への提言
(5) 報告書及び説明資料の作成並びに打合せの実施

1.6 提出図書

図書名	提出時期	部数	確認
報告書	作業完了時	２部	要
再委託承諾願（QST 指定様式）	契約後速やかに *下請け等がある場合に提出のこと	１式	要
打合せ議事録	打合せ後２週間以内	２部	不要

提出先） 原型炉プロジェクト推進部 原型炉統合設計グループ
報告書、打ち合わせ議事録については、電子ファイル（PDF 形式）でも提出すること。報告書については Microsoft Word もしくは PowerPoint で作成すること。

1.7 検査条件

1.5 項の作業完了後、1.6 項の提出図書を納入後、報告書が本仕様書に定める技術仕様を満足することを確認したことをもって検査合格とする。

1.8 貸与品

QST で保有している検討報告書について、必要に応じて貸与する。

1.9 機密の保持

本契約において作成され、又は QST から貸与された資料は契約目的以外に使用してはならない。ただし、事前に QST の承諾を得た場合にはこの限りではない。

1.10 打合せ

作業の進行状況に応じて、QST 担当者と月に 1・2 回の打合せを持つものとする。さらに、検討作業の円滑な実施のため、受注者は QST の依頼に基づき、

QST が適宜開催する原型炉設計に係る作業連絡会及び報告会(年 1 回を想定)に参加するものとする。また、打合せ、作業連絡会、及び報告会は、原則、Web 会議などによる参加とする。

1.11　グリーン購入法の推進

⑴ 本契約において、グリーン購入法（国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律）に適用する環境物品（事務用品、OA 機器等）が発生する場合は、これを採用するものとする。

⑵ 本仕様に定める提出書類（納入印刷物）については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

1.12　協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、QST と協議の上、その決定に従う。

2.　技術仕様

2.1　一般事項

受注者は、エネルギー・産業分野におけるコスト低減の実績と、その背後にある因果関係及び成立条件を分析するとともに、フュージョンエネルギー開発における、技術開発、調達、建設、運転保守及び開発戦略・プロジェクト管理へ適用可能なコスト低減方策並びに今後のコスト解析・分析の方向性を検討する。

エネルギー・産業分野におけるコスト低減事例の分析は、単なる事例紹介又は費目別の低減案列挙にとどめず、可能な限り「何を変えたか」「どの物量・工数・期間・リスクが減ったか」「どの費用項目へ波及したか」「必要な技術成熟度や技術開発、標準化、規制、供給網及び建設頻度はどうか」といったコスト低減への因果関係として整理する。その分析結果に基づいて、具体的なフュージョンエネルギーへの適用性分析に反映させる。

フュージョンエネルギーへの適用分析を行う際、必要となる基本情報が未確定の場合には、QST と相談の上、QST が提供する概念検討結果・実験炉 ITER 計画の実績・内外のフュージョンエネルギー開発動向等の情報を参考に検討を進める。

2.2　コスト低減方策を検討する際のフュージョンエネルギー開発の政策及び官民投資の動向の前提条件

世界のフュージョンエネルギー開発は、ITER 計画を中核とする国際協力に加え、米国・英国・EU・中国・日本が商業化を見据えた国家戦略へ移行している。民間投資も急増し、2025 年時点で世界のフュージョン企業への累積投資額は約 100 億ドル規模に達し、2030 年代の実証発電を目標とする企業が多数存在する。日本では 2025 年改定のフュージョンエネルギー・イノベーション戦略に基づき、官民連携、産業基盤整備、実証炉開発、サプライチェーン形成を加速している。本検討では、各国の脱炭素・エネルギー安全保障政策が維持され、政府支援と民間投資が今後も拡大し、2030 年代にフュージョン発電実証プラント建設が本格化することを前提条件とする。

2.3　フュージョンエネルギー開発におけるコスト低減方策における一般的な考慮項目

フュージョンエネルギーにおけるコスト低減の方針としては、機器単価だけでなく、装置小型化、稼働率向上、建設工期短縮、量産・学習効果等に関して、原型炉に留まらず、商用化までふくめたフュージョンエネルギー開発のコスト低減を基本方針とする。具体的に考慮すべき項目を以下とする：①高磁場化・高出力密度化による小型化、②高性能・低価格超伝導体と高強度構造材、③高効率発電と所内電力削減、④真空容器・クライオスタット製作性、⑤ブランケット・ダイバータ製作性・長寿命化、⑥遠隔保守・交換時間短縮による稼働率向上、⑦機器標準化・簡素化、モジュール化、工場製作、3D プリンターやフィジカル AI 等の革新的製造技術、⑧連続建設による学習効果、⑨建設期間、間接費・資金調達費の削減、⑩燃料・廃棄物・廃止措置を含むライフサイクル最適化、⑪設計初期からのコスト評価導入、⑫次世代デジタル・AI 技術の適用。

2.4　エネルギー・産業分野におけるコスト合理化事例の調査及び構造分析

2.4.1　調査対象の事例

調査対象の事例として例えば以下の分野等を対象とし、情報の入手性やフュージョン炉への適用可能性に応じて、QST と協議の上、調査・分析の重み付けを行って実施する。

- 高速炉 FaCT／JSFR：プラント物量低減、系統簡素化、機器統合及びコンパクト化
- 韓国 PWR（OPR1000、APR1400 等）：標準設計、連続建設、許認可、国内供給網及び学習効果
- AP1000：標準化、モジュール化、FOAK 課題、後続機への教訓移転及び供給網成熟
- 天然ガス複合発電（CCGT）：LNG 導入戦略(東京電力・東京ガス共同事業、税免除、長期契約)、標準パッケージ、短工期 EPC(設計・調達・建設)、性能保証及び BOP 共通化
- 太陽光発電：量産、歩留まり、効率向上、材料使用量低減、累積生産及び国際供給網
- 日本のロケット開発における H-II から H-IIA、H3 への展開：システム簡素化、民生品活用、ライン生産、自動点検、地上設備流用及び事業化
- 洋上風力その他、フュージョンへの移転可能性が高いエネルギー又は大型産業プロジェクト

2.4.2 主な分析項目

コスト低減の分析においては、以下の観点から分析を実施する。

分析軸	確認事項	取り纏め方法
コスト低減の主要因	物量低減、標準化、量産、工期短縮、稼働率向上等の本質的要因	事例ごとの要約
因果メカニズム	設計変更から機器数、工数、建屋、工程、金融費用等への波及	因果関係の説明
適用条件	技術成熟度、規制、建設頻度、供給網、契約方式、人材	成功した成立条件のリスト
反作用・失敗要因	設計未成熟、仕様変更、品質不適合、供給者交代、過度な個別最適	課題・リスク要因のリスト

2.5 フュージョンエネルギーにおける技術開発(R&D)の実施によるコスト低減方策への適用性分析

2.4 節の調査・分析結果に基づき、技術革新や設計改善によってフュージョンエネルギー開発のコスト低減が可能となる方策の分析を行う。フュージョン炉のコスト低減を検討する際、以下の観点から分析を行う。

- 炉心・プラント寸法を支配する因子：主半径、磁場強度、遮蔽厚、磁場、保守空間、熱輸送距離、建屋サイズ、敷地面積
- システム簡素化及び物量低減：系統数、機器数、配管長、貫通部数、支持構造、建屋容積及び検査点数
- 標準化・モジュール化・工場製作：ブランケット、ダイバータ、加熱電流駆動、電源、冷却、燃料、制御及び Balance of Plant
- 製造性・施工性・保守性：材料歩留まり、製造タクト、接合・検査工程、遠隔保守、交換頻度、停止期間及び廃棄物流、次世代製造技術
- 性能と費用のトレードオフ：プラント性能(出力、稼働率、効率、信頼性、保守性)の向上とそれに必要な技術・機器の費用の関係、規制・安全余裕及び技術リスクと費用の関係
- 汎用品・民生品の活用：安全重要度及び品質保証要求に応じた適用範囲と認定方法

2.6　フュージョンエネルギーにおける開発戦略、調達・供給網及びプロジェクト管理によるコスト低減方策への適用性分析

2.4 節の調査・分析結果に基づき、開発戦略、供給網構築及びプロジェクト管理によるフュージョンエネルギー開発のコスト低減方策を体系的に抽出・評価する。具体的な検討項目の例としては、①開発目標・ロードマップ検討方法、②国際協力・知識獲得戦略、③研究開発ポートフォリオや技術選択方法、④供給・調達網構築や供給・調達リスクの回避、⑤標準化・共通化・モジュール化、⑥規制簡素化等が考えられる。例えば、ITER 計画等への人材派遣を、単なる技術習得ではなく、設計変更管理、国際調達、契約管理、品質保証、工程管理及び不具合対応の経験を国内へ還流させる②国際協力・知識獲得戦略として分析する。成果として、各施策の削減対象、作用機構、今後の実施方策・実施主体等を整理する。

2.7　Q-DEMO 計画のコスト合理化及びフュージョンエネルギーの早期社会実装を目指す戦略への提言

2.5 項と 2.6 項の結果に基づき、原型炉(Q-DEMO)に適用するコスト合理化策の方向性を体系的にとりまとめる。同様に、フュージョンエネルギーの早期社会実装を目指す戦略ついて QST への提言という形でとりまとめる。

2.8　報告書の作成

2.4 項から 2.7 項の検討内容を報告書にまとめる。また、検討途中においても適宜打ち合わせを行い、進捗状況を報告する。

以上