



ムーンショット目標 10

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

実施状況報告書

2025 年度版

革新的ミュオン触媒フュージョン技術の

社会実装

岡田 信二

中部大学 理工学部



MOONSHOT
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM



【目 次】

<u>革新的ミュオン触媒フュージョン技術の社会実装</u>	1
PM：岡田 信二（中部大学 教授）	
<u>Advanced μCF実現に向けた反応機構の理論的枠組みと条件の検討</u>	3
課題推進者：木野 康志（東北大学 教授）	
<u>Advanced μCF実現に必要なビームパラメータと到達可能性の評価</u>	5
課題推進者：三原 智（高エネルギー加速器研究機構 教授）	
<u>Advanced μCF実験の構想設計と検証手法の検討</u>	7
課題推進者：岡田 信二（中部大学 教授）	
<u>将来実証を見据えたトリチウム制御システム設計要件と安全運用の先行的検討</u>	9
課題推進者：下村 浩一郎（高エネルギー加速器研究機構 特別教授）	

2025 年度研究開発プロジェクト実施報告書

「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」

「革新的ミュオン触媒フュージョン技術の社会実装」

PM :

岡田 信二（中部大学 教授）

1. 研究進捗状況と成果

2025 年度は、「Advanced μ CF 実現に向けた反応機構と実験基盤の包括的検討（研究開発項目 1）」を中核テーマとして、理論、ビーム、実験設計、トリチウム安全を統合した研究体制を構築し、SG 前フェーズにおける研究基盤整備と実現可能性評価を進展させた。

本プロジェクトでは、核融合サイクル数（F 値）の向上を目指す“Advanced μ CF”の実現可能性を、異分野融合型アプローチにより検討している。2025 年度は、木野 PI（理論）、三原 PI（ビーム）、岡田 PI（実験設計）、下村 PI（トリチウム）の 4 課題体制を整備し、研究課題間の接続を重視したプロジェクト運営を開始した。

理論研究では、Fast track・Inflight fusion・放射線化学効果等を含む F 値向上条件探索モデルの初期構築を進めた。ビーム研究では、J-PARC（MLF/COMET）および PSI におけるビーム条件・実験環境の比較評価を実施した。実験設計では、TES X 線検出器や中性子検出系を含む実験構成要件の検討を開始するとともに、放射線化学効果を考慮した標的設計および実験シミュレーションに着手し、実証実験に必要な設計条件の検討を進めた。さらに、トリチウム研究では、安全運用・供給回収に関する国内外事例調査と技術議論を進め、将来実証を見据えた T₂運用基盤構築の検討を開始した。

また、2026 年 2 月には μ CF プロジェクト・キックオフミーティングを開催し、研究課題間の役割共有と SG 評価に向けた課題整理を行った。加えて、J-PARC および PSI での site visit を通じて国内外研究環境を調査し、MuFusE グループおよび Liverpool 大学との協力関係形成を進めた。

これらにより、本年度は Advanced μ CF 研究を推進するための統合的研究体制と国際的研究基盤の形成において重要な進展を得た。

2. 代表的な成果事例

1) 目標達成に最も寄与する成果

本プロジェクト目標達成に最も寄与する成果は、Advanced μ CF 実現に向けた研究推進基盤を、理論・ビーム・実験・トリチウム安全を統合する形で立ち上げたことである。

2025 年度は、従来個別に進められてきた μ CF 研究を、“Advanced μ CF”という共通目標のもとで再整理し、4 課題を相互接続する統合的研究体制を構築した。これにより、F 値向上条件探索、実験設計、ビーム到達可能性評価、およびトリチウム安全運用を一体的に検討する研究基盤が形成された。

さらに、共鳴状態ミュオン分子研究の進展を背景として、Advanced μ CF 条件探索に向けた理論検討や検出技術を基盤とした実験設計を開始するとともに、J-PARC・PSI を中心とした国際比較や site visit を通じて研究環境評価を進めた。加えて、MuFusE グループおよび Liverpool 大学との連携形成を進め、将来の実証研究および国際共同研究に向けた協力体制を構築した。

本年度の成果は、Advanced μ CF 研究を推進するための研究体制・実験構想・国際連携基盤を形成し、SG 後の実証研究に向けた研究推進基盤を整備した点にある。

2) 代表的な論文

なし

3) 代表的な特許

なし

2025 年度実施状況報告書（成果）

「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」

「革新的ミュオン触媒フュージョン技術の社会実装」

「Advanced μ CF 実現に向けた反応機構の理論的枠組みと条件の検討」

課題推進者：

木野 康志（東北大学 教授）

1. 研究進捗状況と成果

2025 年度は、「Advanced μ CF 実現に向けた反応機構の理論的枠組みと条件の検討」を研究課題として、 μ CF の従来モデルを拡張した反応機構理解と、核融合サイクル数 (F 値) 向上条件探索に向けた理論基盤整備を進めた。

本課題では、Advanced μ CF 実現に向け、従来の熱平衡近傍に限定された μ CF モデルを超え、共鳴状態経路 (Fast track・Inflight fusion) や放射線化学効果等を含む統合的反応モデルの構築を目指している。2025 年度は、まず F 値向上条件探索モデルの初期構築を進め、従来モデルでは全く考慮されてこなかった共鳴状態から連続状態への遷移 (Resonance-to-Continuum) に起因した非熱的 μ 原子過程を含む反応機構の検討を開始した。

また、放射線化学効果に関しては、分子イオンやクラスター形成を含む多体・局所環境効果の取り扱いについて検討を進め、既存データベースを活用した初期計算を実施するとともに、独自の精密計算研究を開始した。さらに、外部放射線や三重水素崩壊に起因する時間依存組成・局所密度変化を考慮した Advanced μ CF 条件探索の理論的枠組みについて検討を進めた。

研究推進面では、PM・研究課題メンバーとの議論や site visit 等を通じて、理論課題と実験・ビーム・トリチウム課題との接続条件整理を進めた。加えて、大規模理論計算基盤の整備を進め、九州大学重点支援制度および HPCI 若手課題の採択を得るなど、今後の Advanced μ CF 理論研究推進に向けた計算研究基盤を形成した。

これらにより、2025 年度は Advanced μ CF 条件探索に向けた理論的枠組みと研究基盤整備において重要な進展を得た。

2. 代表的な成果事例

1) 目標達成に最も寄与する成果

本課題目標達成に最も寄与する成果は、Advanced μ CF 実現に向けた F 値向上条件探索モデルの初期構築と、その基盤となる理論的枠組みの形成を開始したことである。

本課題では、従来の μ CF 理論を超え、共鳴状態経路や放射線化学効果等を含む統合的反応モデルの構築を目指している。2025 年度は、その初期段階として、非熱的 μ 原子過程を含む反応機構の検討を開始し、Advanced μ CF に必要な反応条件を定量的に探索するための理論的枠組み形成を進めた。

また、分子イオン・クラスター形成を含む多体・局所環境効果や、外部放射線・組成変化・局所密度変化を考慮する拡張モデル検討を開始するとともに、計算研究基盤整備および関連大型計算課題採択を通じて、今後の精密理論計算研究へ接続する研究体制を形成した。

本年度の成果は、Advanced μ CF 条件探索を可能とする理論的枠組みと計算研究基盤の整備を進め、将来的な理論・実験融合研究に向けた研究推進基盤を形成した点にある。

2) 代表的な論文

なし

3) 代表的な特許

なし

2025 年度実施状況報告書（成果）

「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」

「革新的ミュオン触媒フュージョン技術の社会実装」

「Advanced μ CF 実現に必要なビームパラメータと到達可能性の評価」

課題推進者：

三原 智（高エネルギー加速器研究機構 教授）

1. 研究進捗状況と成果

2025 年度は、「Advanced μ CF 実現に必要なビームパラメータと到達可能性の評価」を研究課題として、Advanced μ CF 実現に必要なミュオンビーム条件の検討と、国内外施設における実現可能性評価を進めた。

本課題では、Advanced μ CF 実現に向け、J-PARC (MLF/COMET) および海外施設を対象として、ビーム強度・時間構造・運転条件等を含むビーム特性評価と、到達可能な実験条件の比較検討を目指している。2025 年度は、その初期段階として、J-PARC および PSI を対象とした site visit を実施し、ビームライン環境および実験実施条件に関する調査を進めた。

J-PARC site visit では、MLF および COMET における実験環境・技術課題の確認を行い、Advanced μ CF 実験に必要なビーム利用条件について検討を開始した。また、PSI site visit では、PSI beamline の調査を通じて国際比較を進めるとともに、現行で数少ない μ CF 実験研究グループである MuFusE との交流を実施し、海外施設における μ CF 研究の現状と実験運用条件について理解を深めた。

さらに、Liverpool 大学、MuFusE グループおよび PSI との交流を通じて、Advanced μ CF 研究に関する友好的協力関係の形成を進めた。これらの活動により、将来的な国際共同研究やワークショップ開催を含む研究推進基盤形成が進展した。

これらにより、2025 年度は Advanced μ CF に必要なビーム条件評価と国際比較研究に向けた研究基盤形成において重要な進展を得た。

2. 代表的な成果事例

1) 目標達成に最も寄与する成果

本課題目標達成に最も寄与する成果は、Advanced μ CF 実現に向けた国内外ビーム条件比較と、その基盤となる国際研究連携形成を開始したことである。

本課題では、J-PARC (MLF/COMET) および海外施設におけるビーム特性を比較評価し、Advanced μ CF に必要なビーム条件と到達可能性の検討を目指している。2025 年度は、その初期段階として、J-PARC および PSI における site visit を実施し、実験環境・ビーム利用条件・技術課題に関する情報収集と比較検討を進めた。

また、PSI において MuFusE グループとの交流を行うとともに、Liverpool 大学および PSI との連携形成を進めたことにより、Advanced μ CF 研究を推進するための国際比較研究および共同研究体制構築への道筋を具体化した。

本年度の成果は、Advanced μ CF に必要なビーム条件探索に向けた施設比較評価と国際連携基盤の整備を進め、将来的な国際共同研究および実証研究に向けた研究推進基盤を形成した点にある。

2) 代表的な論文

なし

3) 代表的な特許

なし

2025 年度実施状況報告書（成果）

「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」

「革新的ミュオン触媒フュージョン技術の社会実装」

「Advanced μ CF 実験の構想設計と検証手法の検討」

課題推進者：

岡田 信二（中部大学 教授）

1. 研究進捗状況と成果

2025 年度は、「Advanced μ CF 実験の構想設計と検証手法の検討」を研究課題として、Advanced μ CF 実現に必要な実験構成要件の検討と、ステージゲート (SG) 後実証実験に向けた設計基盤整備を進めた。

本課題では、Advanced μ CF 実現に向け、放射線化学効果を考慮した標的・照射条件評価、および TES X 線検出器や粒子検出系を含む実験システムの構想設計と検証手法の構築を目指している。2025 年度は、その初期段階として、標的設計、検出系構成、および実験シミュレーションを含む実験設計条件の検討を開始した。

標的設計では、岡山大学との連携を開始し、放射線化学効果を考慮した標的設計および固体水素中化学種評価に向けた実験システム検討を進めた。また、検出系設計では、TES X 線検出器を基盤とした高分解能測定手法に加え、理研・大阪大学等との議論を通じて新規中性子検出系の構成要件検討を開始した。

さらに、Liverpool 大学との連携を開始し、Geant4 を用いた Advanced μ CF 実験シミュレーションを開始し、実験設計条件の検討を進めた。加えて、J-PARC および PSI における site visit を実施し、実験環境・技術課題・ミュオンビーム利用条件に関する調査を進めるとともに、PSI ミュオンビームを利用した将来実験可能性について検討を行った。

これらにより、2025 年度は Advanced μ CF 実証実験に向けた構想設計と検証手法整備を進め、実験設計基盤の形成を開始した。

2. 代表的な成果事例

1) 目標達成に最も寄与する成果

本課題目標達成に最も寄与する成果は、Advanced μ CF 実現に向けた実験構想設計と、その基盤となる検証手法整備を開始したことである。

本課題では、放射線化学効果を考慮した標的設計と、高分解能検出技術・粒子検出技術を統合した実験システム構築を目指している。2025 年度は、その初期段階として、標的設計・検出系構成・実験シミュレーション研究を開始し、Advanced μ CF 実験に必要な実験条件を検討するための設計基盤形成を進めた。

また、岡山大学との連携による標的・化学種評価検討、Liverpool 大学との連携による Geant4 を用いた Advanced μ CF 実験シミュレーション、および J-PARC・PSI における site visit を通じた実験環境評価を進めたことにより、SG 後実証実験および国際共同研究へ接続する研究基盤形成が進展した。

本年度の成果は、Advanced μ CF 実験を可能とする設計基盤・検証手法・研究連携体制の整備を進め、将来的な実証研究に向けた研究推進基盤を形成した点にある。

2) 代表的な論文

なし

3) 代表的な特許

なし

2025 年度実施状況報告書（成果）

「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」

「革新的ミュオン触媒フュージョン技術の社会実装」

「将来実証を見据えたトリチウム制御システム設計要件と安全運用の先行的検討」

課題推進者：

下村 浩一郎（高エネルギー加速器研究機構 特別教授）

1. 研究進捗状況と成果

2025 年度は、「将来実証を見据えたトリチウム制御システム設計要件と安全運用の先行的検討」を研究課題として、Advanced μ CF 実験に必要なトリチウム制御システム設計要件の検討と、安全運用基盤整備に向けた調査・技術検討を進めた。

本課題では、Advanced μ CF 実現に向け、トリチウムの供給・純化・回収・排気を含む制御システム設計と、多重防護・インターロックを含む安全運用要件の構築を目指している。2025 年度は、その初期段階として、国内外施設の運用事例調査と、実験環境・安全要件に関する技術検討を開始した。

J-PARC site visit では、MLF および COMET における実験環境の相違点を確認するとともに、トリチウム取扱いおよび安全運用に関する技術検討を実施した。また、PSI site visit では、MuFusE グループによるトリチウム μ CF 実験運用実績を調査し、PSI および外部企業連携によるトリチウムシステム構築体制について理解を深めた。さらに、将来的な国際共同実験の可能性について検討を進めた。

加えて、トリチウムの運用実績を有する富山大学水素同位体科学研究センター、大阪大学レーザー科学研究所の専門家で、研究参加者として参画しているメンバーとの意見交換を実施した。これにより、国内外におけるトリチウム取扱い事例、法規制、安全運用技術、および施設運用上の課題について知見を収集した。

これらにより、2025 年度は Advanced μ CF 実験に向けたトリチウム制御システム設計要件および安全運用基盤形成に向けた検討を進展させた。

2. 代表的な成果事例

1) 目標達成に最も寄与する成果

本課題目標達成に最も寄与する成果は、Advanced μ CF 実現に向けたトリチウム制御・安全運用要件の検討を開始し、その基盤となる国内外運用知見の収集と技術検討を進めたことである。

本課題では、トリチウム供給・回収・排気を含む制御システムと、多重防護・安全運用技術を統合した運用基盤構築を目指している。2025 年度は、その初期段階として、J-PARC および PSI における site visit を通じて施設環境・運用条件・技術課題に関する調査を進めるとともに、トリチウム実験運用実績およびシステム構築事例の比較検討を開始した。

また、国内専門家との講演・技術議論を通じて、法規制、安全管理、および実際のトリチウム運用に関する知見を集約したことにより、Advanced μ CF 実験に向けたトリチウム安全運用および制御システム設計へ接続する研究基盤形成が進展した。

本年度の成果は、Advanced μ CF 実験に必要なトリチウム制御・安全運用要件の整理と関連知見の集約を進め、将来的な実証研究に向けた安全運用および制御システム設計の研究基盤を形成した点にある。

2) 代表的な論文

なし

3) 代表的な特許

なし