



小特集 ミュオン触媒核融合の新展開

7. まとめと今後の展望

7. Summary and Perspective

岡田 信二

OKADA Shinji

中部大学 理工学部 数理・物理サイエンス学科

(原稿受付：2023年2月24日)

1980年代から2000年にかけて世界的な盛り上がりを見せたミュオン触媒核融合 (μ CF) 研究は、2016年、革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) [1]に於いて μ CFの新たな応用の可能性が見いだされたことを契機に見直され始めている。 μ CFからの単色中性子を、高レベル放射性廃棄物の低減 (長寿命核分裂物質 (LLFP) 核種の核変換) に利用するというもので、ブレークイーブンに達していなくても成立する応用先の存在は、 μ CF再考の大きな動機付けとなった。これまで基礎物理学研究として行われてきた μ CF研究に、工学的な見地からの検討が加わることで、具体的な「ミュオン触媒核融合炉」のコンセプトが誕生し、新たな小型高強度負ミュオン生成法が創案された。これを受け、2018年、科研費 新学術領域研究 (量子ビーム応用) [2]が採択された。木野が世界をリードして発展させた少数多体計算法を駆使することで「新たな μ CF素過程」の存在を示すと同時に、最先端の精密分光技術を用いた実証実験が本格化している。 μ CF研究は今、新たな局面を迎えている。

本小特集では、これらの μ CF研究の現状をレビューすると共に、今後の展開についてまとめた。

第1章では、本小特集の焦点であるミュオン触媒核融合炉が、代表的な核融合炉 (磁場核融合・慣性核融合) との比較において、どのような位置にあるかを提示すると共に、低温且つ既存の工学技術で実用化可能な核融合システムであることを示した。

第2章では、これまでの μ CF研究を概観すると共に、基礎物理学的な観点からの問題点を整理した。ミュオン分子共鳴状態の寄与を取り込んだ最近の理論計算結果と「飛翔中ミュオン触媒核融合」という新たな μ CF素過程を紹介し、新しい μ CFモデルを検証するために今後期待される基礎物理的な課題をまとめた。

第3章では、ミュオン触媒核融合炉の概念設計を提示した。 μ CF過程におけるミュオンの拡散範囲の見積を述べた後、我々が提案している「ラムジェット型ミュオン触媒核融合反応炉」を紹介した。炉工学の観点から、核融合炉システム設計、必要なミュオン数、炉心構造、得られる核融合ゲインの推算を行った。

第4章では、「ラムジェット型ミュオン触媒核融合反応炉」の炉心、すなわち、ミュオン標的としての高密度高圧流れ場環境を、どのように中空に定常的に生成するか、近年実施した衝撃風洞試験結果を交えて、空力構造の工学概念を解説し、その設計例を提示した。

第5章では、高強度負ミュオンを生成する新方式 MERIT (Multiplex Energy Recovery Internal Target) を紹介した。エネルギー回復を用いた内部標的法で、従来手法に比べて2桁以上の生成効率で、数MWの陽子/重陽子ビームを用いると毎秒 10^{16} 個以上の負ミュオン生成を可能とする。さらに、 μ CFサイクル率を律速する「アルファ粒子への負ミュオン付着問題」を克服するためのアイデア (局在D/Tガス標的と高周波電場によるサイクロトロン共鳴加速法) を紹介した。

第6章では、冒頭に述べた μ CFの新たな応用の可能性として期待される、 μ CF中性子を用いたLLFP核種の核変換について、核反応・核データを含む放射線の輸送計算コード (PHITS) による基礎計算結果についてまとめた。有効半減期と中性子量の関係や、中性子照射によるLLFP核種の核変換速度などを示した。

μ CF研究は、長い歴史があるにも関わらず、一般にどこまで、核融合科学コミュニティに於いても、認知度は高くないのが現状である。脱炭素社会に向け、核融合研究に社会的関心が高まっている昨今、分野間連携による学際的发展を期待しつつ、本小特集が、プラズマ科学・核融合科学研究者の方々に μ CF研究について興味をもって頂く一助となれば幸いである。

参考文献

- [1] 革新的研究開発推進プログラム ImPACT 「核変換による高レベル放射性廃棄物の大幅な低減・資源化」 (PM: 藤田玲子)
<https://www.jst.go.jp/impact/report/08.html#3>
- (a) 「高温プラズマ中でのミュオン触媒核融合反応の素過程の理論計算」 (木野康志)
- (b) 「核融合中性子の LLFP の分離・核変換への応用」 (佐藤元泰)
- (c) 「核変換処理のための高効率負ミュオン生成法の

Chubu University, Kasugai, AICHI 487-0027, Japan

author's e-mail: sokada@isc.chubu.ac.jp

研究－加速／貯蔵 ERIT リングの開発」(森義治)
 [2] 文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究
 (2018-2022)「宇宙観測検出器と量子ビームの出会い」

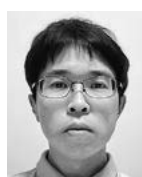
新たな応用への架け橋。」
 計画研究 B02「マッハ衝撃波緩衝領域での飛行中ミュオン触媒核融合の創生」(木野康志)

小特集執筆者紹介



いい よし あつ お
飯 吉 厚 夫

学校法人中部大学名誉総長。京都大学名誉教授。核融合科学研究所初代所長。工学博士(慶應義塾大学)。専門分野：プラズマ理工学。核融合科学。



やま した たく ま
山 下 琢 磨

東北大学高度教養教育・学生支援機構 助教。主な研究分野は、原子分子理論、放射化学。ミュオン触媒核融合のほか、陽電子や反陽子、反水素原子といった反粒子・反物質の化学にも取り組んでいます。



き の やす し
木 野 康 志

東北大学大学院理学研究科化学専攻教授。博士(理学)(九州大学)。ミュオン、陽電子、反陽子などを含む原子分子系の理論研究を行っています。福島第一原子力発電所事故以降は環境放射能、生物の放射線影響の研究にも取り組んでいます。



さ と う も と やす
佐 藤 元 泰

1947年生まれ。1988年、28 GHz・200 kW ジャイロトロンによるヘリオトロンEにおける無電流プラズマ実験、LHDのECRH。2002年から、大電力マイクロ波によるセラミックス加熱。2012年より中部大学で、核融合中性子による核廃棄物の短寿命化、減容化。さらにミュオン触媒核融合と未臨界トリウム固体炉の実現をめざす。



たな はし よし はる
棚 橋 美 治

中部大学理工学部宇宙航空学科教授。博士(工学)(名古屋大)。1988年から三菱重工にて主に航空機開発の風洞試験・空力研究に従事。2017年から現職。超音速流中のラムジェット衝撃波圧縮技術をミュオン触媒核融合に活用する手法の確立をめざし、プラズマ・核融合の有識者の指導の下、実証を模索中。年配の先生方の眼の黒い内に成果を出すことが目標。



もり よし はる
森 義 治

京都大学複合原子力科学研究所特任教授。東京大学原子核研究所教授。高エネルギー加速器研究機構教授。京都大学原子炉実験所教授を経て2016年3月定年退職(名誉教授)後現職。加速器物理、特に陽子シンクロトロン(J-PARC)、FFAG陽子加速器(京大・九大)の研究開発に従事。現在は、新加速方式とその応用(長寿命核変換、ミュオンコライダー・触媒核融合)等「意識された衝動」を以て研究を進めている。

やま もと のり まさ
山 本 則 正

中部大学 工学部 准教授 総合研究大学院大学・博士(理学)。プラズマ分光・素過程の分野で衝突輻射モデルの構築・分光スペクトル解析を中心に研究を行っている。



おか だ しん じ
岡 田 信 二

中部大学 理工学部 数理・物理サイエンス学科教授。博士(理学)(2004年東京工業大学)。専門は「エキゾチック原子」の実験的研究。加速器施設において「超伝導転移端マイクロカロリメータ」と呼ばれる高分解能X線検出器を駆使した基礎物理学実験を展開。近年は「ミュオン触媒核融合」を含む、素粒子・原子核・原子分子物理学の分野を跨ぐ学際的なミュオン科学研究を推進している。