

核融合中性子による LLFP 処理

(3) マッハ衝撃波面を標的とするインフライト・ミュオン触媒核融合中性子源

LLFP Transmutation by Irradiation of Fusion Neutrons

(3) Concept of Much Shock wave target In Flight Muon Catalysis Fusion (IFMCF)

*佐藤 元泰¹, 木野 康志², 棚橋 美治¹, 山本 則正¹, 松原 章宏¹, 高野 廣久¹, 武藤 敬¹, 藤田 明希³, 飯吉 厚夫¹

1.中部大、2.東北大学、3.科技研

抄録 核融合物理学の盲点「ローソン条件という呪縛」からの脱却により、コンパクトな高密度核融合中性子源の概念が生み出された。小型核融合炉としても実現性がある。

キーワード：ミュオン、新核融合炉概念、ラバールノズル、ガス標的、中性子

1. 緒言

これまでの核融合研究は、原子核間の静電遮蔽は困難であるとの前提に束縛されてきた。しかし、先の講演のように IFMCF では、反応断面積が 600 倍大きく、必要なイオンのエネルギーが一桁低くなる。IFMCF では、高密度ガス標的中に生成したミュオン原子と 1.4 keV の重水素・3 重水素イオンの間で核融合が発生する。ガス密度 10^{21} cm^{-3} 、ミュオンの生成密度 $10^{19} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ の時、この反応の飛程は数 mm で、体積は 1 cm^3 程度である。ガス密度は磁気核融合に較べて 6 桁ほど高く、また低温のミュオン核融合に較べて 2 桁程度低い。標的として必要なプラズマの寿命は 100ns 以下で、この反応領域内で消滅するから、磁場による保持は不要、また慣性核融合の様な爆縮過程も不要である。IFMCF のローソン条件は、磁場核融合に対し、核融合反応断面積で 1/600、温度が一桁低下することから、少なくとも 1/1000 に引き下げられる。

2. 飛翔型ミュオン核融合の実施方法

この標的、すなわち核融合領域を、電磁気力や慣性力ではなく、空力的に空間に支える方式を提案する。ラバールノズル中の超音速気流に楔を置いて、マッハ衝撃波を励起する。この衝撃波面には、マッハ数 3~4 の超音速で原料ガスが流入し、亜音速で流出する。この流入流出速度の差で気体が圧縮され、高密度領域が形成される。

LLFP 核変換処理には、 $10^{19} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ の核融合中性子が必要である。この DT 核融合では、高輝度アルファ線（ヘリウム ^4He 粒子、エネルギー 3.5MeV）が発生する。低輝度のアルファ線は気体中では Bragg 曲線に従って減衰し、数十 eV の低温プラズマが発生する。高輝度・高密度では、 ^4He （アルファ粒子）と D^+/T^+ の間にイオン-イオン衝突、更に量子散乱が Stopping に働くと考えられており⁽¹⁾、外部の熱源を使わずに、高温の標的イオンを生成・維持できる。これが ICMCF の自己点火条件である。

エネルギーバランスに係わる Q 値は、 $10^{19} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ の中性子(14.1 MeV)とアルファ粒子(3.5MeV)を生み出す核融合中性子源の総出力は 27.6MW（発電効率 30%を仮定すれば電気出力約 8.2MW（連続定格））と、反応維持に必要な補給エネルギーの比較で決まる。ミュオンの繰り返し利用回数を 1000 と仮定すると、 $10^{19} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ の中性子発生には $10^{16} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ の割合でミュオンを補給しなければならない。ミュオン 1 個の生成エネルギーが 1 GeV であるならば、 $10^{16} \text{ cm}^{-3}\text{s}^{-1}$ のミュオン生成に必要なエネルギーは 1.6 MW である。よって、この核融合では、 $Q \sim 5$ になる。もし触媒回数 300 ならば、 $Q \sim 2$ である。

3. 結論

現在までのプラズマ核融合、加速器術の研究成果、ロケットとジェットエンジン技術の蓄積など、日本の工業基盤・技術力を活かせば、最短で 10 年、最長 20 年で社会実装が可能である。無尽蔵かつ安全性の高いエネルギー供給を実現、日本発の文明史上に残る科学技術を世界に展開できる。(付記) 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議が主導する 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT) の一環として実施したものである。

参考文献(1)Frenje JA, et al., "Measurements of Ion Stopping Around the Bragg Peak in High-Energy-Density Plasmas", Phys Rev Lett. 2015 Nov 13;115(20):205001

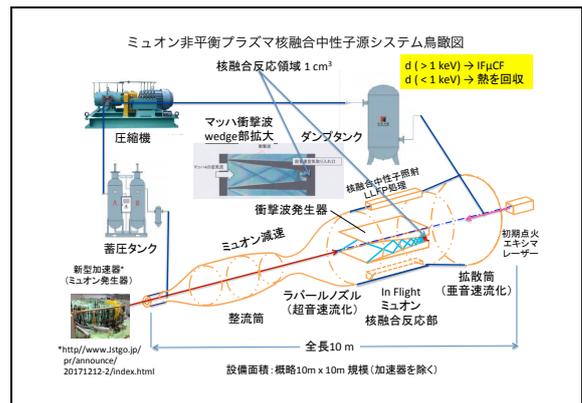


図1 飛翔型ミュオン核融合炉の模式図

*Motoyasu Sato¹, Yasushi Kino², Yosiharu Tanahashi¹, Norimasa Yamamoto¹, Akihiro Matsubara¹, Hirohisa Takano¹, Takashi Mutoh¹, Aki Fujita³, and Atsuo Iiyoshi¹

¹Chubu Univ., ²Tohoku Univ. ³Kagiken Co.