

D³He 核融合

百 田 弘

核融合開発研究は無限で安価で環境保全性の高いエネルギーを人類社会に提供するという目標でスタートした。核融合燃料プラズマの加熱と閉じ込めの研究は順調に進展し、核融合の科学的実証が現在計画中のトカマク装置 ITER によってここ十数年程度で遂行されると考えられる。しかし重水素 (D) とトリチウム (T) を燃料とする DT 核融合は上述の核融合本来の目的に必ずしも適したものではなく、実用核融合炉としてその理想を達成するためには幾多の工学的課題の克服が必要である。核融合炉構造材料の中性子による損傷や誘導放射化に対する対策と放射性廃棄物処理等はその典型的な例である。これらの課題を根本的に回避する方策としてトリチウムを燃料としない核融合が模索されたが、魅力的な方法は容易には見いだせなかった。このあたりの事情はすでに核融合研究誌の解説に詳しく紹介した[1]。

1986年に Wisconsin 大学から発表された月面のヘリウム3 (³He) 資源に関する論文は核融合研究を全く新しい方向へ転換させる可能性を示唆した[2]。即ち、アポロ (米) やルナ (ソ連) 等月探索ロケットの持ち帰った月面サンプルを分析した結果、月表面には経済的に採取しうるヘリウム3が少なくとも100万トン以上は存在することを明らかにした。これは21世紀に予想される全世界のエネルギー需要を700年間賄える量であり、将来的には木星等での無尽蔵のヘリウム3資源の利用も考えられる。

ヘリウム3は核融合燃料として重水素と反応させ、アルファ粒子とヘリウム3の運動エネルギーの形でエネルギーを取り出す。これが D³He 核融合であり、その核融合システムに高効率直接エネルギー変換器を設置することで60%という高プラント効率の核融合システムの構築が可能となる。重水素同志の反応や、これで発生するトリチウムと燃料重水素の反応で中性子が発生するが、せいぜい核融合エネルギーの2%程度なので中性子に由来する工学的課題は劇的に軽減する。

D³He 核融合を具体化するためには $3.5 \times 10^{21}/$

秒・立方メートル以上の閉じ込めパラメータで40～100keV という高温プラズマを閉じ込めることが必要である。(ちなみに DT 核融合の要請はそれぞれ： $2 \times 10^{20}/$ 秒・立方メートル, 13keV である。) D³He 核融合プラズマの自己燃焼を持続させるためには高温プラズマからのシンクロトロン放射によるエネルギー損失を減らすべくプラズマの高ベータ値が要請される。さらに荷電粒子または放射エネルギーを電力に変換する直接エネルギー変換器の設置が可能でなければならない。現状で我々が知るかぎり、これらの条件を満たすプラズマ閉じ込め方式は磁場反転配位 (FRC) である[3]。トカマクを利用した D³He 核融合炉システムはダイバータの設置性とエネルギー変換が問題となり、タンデムミラーはプラズマの閉じ込めが問題で効率95%の直接エネルギー変換器の開発を待っても11%のプラント効率が得られるに過ぎない。

D³He 核融合炉の魅力的な特性を定量的に示し、その開発に必要とされる課題を明らかにする目的で磁場反転配位による D³He 核融合炉「アルテミス」の概念設計が遂行された[4]。炉は本来的に安全であり、非常に優れた経済性と環境安全性が示された[5]。ここに採用された技術の基礎は全て既存のもので、1 MeV 100A 級の中性粒子ビーム源と直接エネルギー変換器の開発が必要とされる程度である。他方、炉心プラズマに関しては実験室の小規模装置で現在までに得られている FRC プラズマのパラメータ (温度3 keV, 1 ミリ秒) と前述の目標値とのギャップは非常に大きく、本格的研究の早期発足が強く望まれる所以である。それとともに、“Goal Oriented Research” を無視し、従来路線に固執しその計画をしゃにむに大型化しようとする核融合研究の保守的・独善的な体質を払拭することが急務である。

参考文献

- [1] 百田 弘：核融合研究, **61**, 5 (1989).
- [2] L. J. Wittenberg, J. F. Santarius and G. L. Kulcinski, Fusion Technology **10**, 436 (1986).
- [3] H. Momota, Kakuyugo Kenkyu **67**, 539 (1992).
- [4] H. Momota *et al.*, Fusion Technology **21**, 2307 (1992).
- [5] 百田 弘, 日本エネルギー学会誌 **72**, 91 (1993).