

重イオン慣性核融合炉システムの特徴と問題点の検討 Study on unique and problem points for reactor design of heavy-ion inertial fusion

菊池 崇志¹, 内田 雄大², 中村 誠³, 梶村 好宏⁴, 堀岡 一彦⁵
Takashi KIKUCHI¹, Yuki UCHIDA², Makoto NAKAMURA³,
Yoshihiro KAJIMURA⁴, Kazuhiko HORIOKA⁵

¹長岡技術科学大学, ²長岡工業高等専門学校, ³釧路工業高等専門学校,
⁴明石工業高等専門学校, ⁵東京工業大学

¹Nagaoka University of Technology, ²NIT, Nagaoka College, ³NIT, Kushiro College,
⁴NIT, Akashi College, ⁵Tokyo Institute of Technology

重イオン慣性核融合は慣性閉じ込め方式の一種で大強度の重イオンビームをエネルギードライバーとして用いる炉システムである。重イオンと物質の相互作用における特徴的なエネルギー付与過程を利用した燃料標的の柔軟な設計ができる利点を持つ。炉システムは極短時間に放出されるパルス的な核融合出力を受け止める工夫などのレーザー核融合炉と共通点・共通課題を持っている。一方で、重イオンビームをエネルギードライバーとして用いるため、レーザー核融合炉では問題とならない固有の課題も含んでいる。本研究では、重イオン慣性核融合の炉システムについて特徴的で固有な課題を検討する。

2019年4月より開始されたプラズマ・核融合学会の専門委員会「新たな日本版イオンビーム慣性閉じ込め核融合システム的设计」で、炉システムについての調査・検討を行なってきた[1]。重イオン慣性核融合はレーザー核融合と共通点が多いため、IFEフォーラムの支援を受けて設立されたレーザー核融合戦略会議で検討された項目[2]が多く流用できる。これより、炉システムとして扱う範囲で重イオン慣性核融合炉に固有の課題を挙げると、以下が考えられる。

- 炉内ビーム輸送
- 真空排気系
- ビームポート保護
- 加速器の放射化

まず、燃料ペレットへ向けて炉内に重イオンビームを輸送するため、残留ガスとの衝突によるビームの質の劣化に注意する必要がある[3]。このため、レーザー核融合炉よりも高い炉内の真空度が要求され、真空排気系にはより炉内圧力を低く維持する能力が要求される[4]。ただし、炉内の気圧を下げ過ぎると、炉壁を保護するために使用する液体金属が蒸発してしまうため、液体金属の蒸気圧よりも高く設定する必要がある。

核融合反応で生じるアルファ粒子からビームポートおよび最終光学系を防御するため、ビームポート先端にコイルを設置し、コイル磁場を用いて防御する方法が検討されている[5]。同様のシステムを重イオン慣性核融合炉に適用する場合、ビームの軌道がビームポート保護用の磁場から影響を受けることがないように、重イオンビームがポートを通過してから磁場を立ち上げる必要がある、検討が進められている[6]。

炉の放射化や燃料の放射能については、重イオン慣性核融合に限らず核融合発電で共通の課題となる。一方で、線量・放射能は低いことが予想されるとはいえ、広い領域に敷設されることになる重イオン加速器の放射化が特徴的な懸念事項となる[1]。大電流の重イオンビームの輸送に伴い発生する粒子損失が、粒子加速器の真空容器壁を叩くことに起因する放射化の問題がある。想定される真空容器の放射化によって生成される放射生同位体の検討[7]や重イオンの運動エネルギーに対する放射化の可能性を反応断面積により評価[8]しており、加速器システムの低エネルギー領域では放射化の問題はないことが示されている[8]。

参考文献

- [1] 菊池崇志, 他: 第38回プラズマ・核融合学会年会(2021) 25Aa01.
- [2] 森芳孝, 他: J. Plasma Fusion Res. 97 (2021) 352.
- [3] A.B. Langdon, Particle Accel. 37-38 (1992) 175.
- [4] T. Kikuchi, *et al.*, to be published in NIFS-PROC.
- [5] Y. Kajimura, *et al.*, J. Plasma Fusion Res. Series 8 (2009) 1248.
- [6] 梶村好宏, 福田愛弥: 第14回核融合エネルギー連合講演会(2022) 8P05.
- [7] S. Fujita, *et al.*, Plasma Fusion Res. 16 (2021) 2404022.
- [8] S. Fujita, *et al.*, High Energy Density Phys. 37 (2020) 100848.