

## 巨大クラスターイオンビームを用いた慣性核融合の非線形ビーム阻止能と爆縮への影響

### Study on implosion dynamics and nonlinear stopping power in giant cluster-ion-beam inertial-confinement-fusion

佐々木徹<sup>1</sup>, 高橋一匡<sup>1</sup>, 菊池崇志<sup>1</sup>, 川田重夫<sup>2</sup>, 堀岡一彦<sup>3</sup>, 高山健<sup>4</sup>

TORU Sasaki<sup>1</sup>, KAZUMASA Takahashi<sup>1</sup>, TAKASHI Kikuchi<sup>1</sup>, SHIGEO Kawata<sup>2</sup>, KAZUHIKO Horioka<sup>3</sup>, KEN Takayama<sup>4</sup>

長岡技科大<sup>1</sup>, 宇都宮大<sup>2</sup>, 東工大<sup>3</sup>, 高エネ研<sup>4</sup>

NUT<sup>1</sup>, Utsunomiya Univ.<sup>2</sup>, Tokyo Tech.<sup>3</sup>, KEK<sup>4</sup>

慣性核融合のエネルギードライバーには、高強度レーザーや重イオンビーム、パルスパワー放電などが検討されているが、昨今、インダクションシンクロトロンを用いたインダクションマイクロトロンを利用した高強度巨大クラスターイオンビームを用いた慣性核融合の検討が進められている [1]。巨大クラスターイオンビームの特長として、従来の重イオンビームに比べてクラスターで供給することで、粒子フラックス密度を保ったまま空間電荷効果の影響を少なくすることができる。一方で、従来のイオンビームに比べると、クラスター効果など複数の粒子が作る場によってクーロン衝突が変化するため、阻止能の予測が難しい。このため、クラスター効果を考慮した阻止能モデル [2-4] を基盤として、巨大クラスターイオンビーム慣性核融合に必要なビームの加速電圧、電流、ビーム本数などの検討を行う必要がある。本研究は、クラスター効果などの影響を考慮して、慣性核融合燃料標的の爆縮に与える影響を検討することが目的である。

一般的なイオンビーム慣性核融合の爆縮モデルでは、直接照射型燃料標的の場合、イオンビームが燃料標的の内部に侵入することから、膨張を抑制するタンパー層、燃料を圧縮加熱するプッシャー層、燃料の重水素に対応する燃料層の中空構造で構成されている [5]。阻止能の予測ができていない場合には概ね、プッシャー層にブラックピークと呼ばれるビームエネルギーを多く付与する領域を合わせることで爆縮効率を改善することができる。一方、インダクションマイクロトロンでは、Si-100 や C-60 のクラスターを利用し、120 GeV まで加速することが検討されていることから、そのビームエネルギーを付与するプロセスについて弾道モデルで Si-100 に対して解析した結果、従来の阻止能モデルの場合には、1.2 mm 程度の飛程があるが、非線形効果を考慮したモデルにより解析した結果では、4.5 nm と大きく異なる結果となった。このため、従来の阻止能モデルに従うとすれば、直接照射型燃料標的の場合には従前に行われている重イオンビーム慣性核融合のスキームに従うため、燃料標的構造は比較的単純なモデルに従う。一方で、阻止能に非線形効果を考慮した場合には、燃料標的構造がレーザー核融合のスキームに従う形となることがわかる。

間接照射型の燃料標的構造を検討する場合には、圧縮加熱に寄与する Radiator の温度を検討する必要がある。簡単のため、村上ら [6] のモデルを利用して、イオンビームに必要な粒子束を見積もった。Radiator の温度を 250 eV ~ 300 eV とし、爆縮時間スケール ~ 10 ns でその温度まで到達させるためには、アルミニウムの Radiator を利用すると仮定すれば、通常の阻止能モデルを利用して必要な粒子数を見積もるとビームバンチには ~ 10<sup>12</sup> 程度のイオンビームが必要となるが、非線形効果を仮定すると、~ 10<sup>10</sup> 程度の粒子数で実現できることが明らかとなった。このため、阻止能に非線形効果が強く現れる場合には、従来の重イオンビーム慣性核融合とは異なる燃料設計、標的設計をする必要がある。

[1] K. Takayama and K. Horioka, presented at HIF2016 (2016).

[2] C. Deutsch, Plasma Phys. Control. Fusion, **41**, A195 (1999)

[3] T. A. Mehlhorn, J. Appl. Phys., **52**, p. 6522 (1981).

[4] M. Vicanek, *et. al.*, Phys. Rev. A, **46**, p.5745 (1990).

[5] T. Someya, *et. al.*, Laser and Particle Beams, **24**, 359-369 (2006).

[6] M. Murakami, *et. al.*, J. X-ray Sci. Tec., **2**, 127 (1990)