

## X 線分光・画像計測による高速点火方式の加熱効率の評価 Evaluation of Heating Efficiency via Fast Ignition Scheme by using X-ray Spectroscopy and Imaging Technique

藤岡慎介<sup>1</sup>、瀧澤龍之介<sup>1</sup>、郭署旺<sup>1</sup>、嶽村真緒<sup>1</sup>、LAN Zhechan<sup>1</sup>、安部勇輝<sup>1</sup>、MORACE Alessio<sup>1</sup>、ZHU Baojun<sup>1</sup>、敦近原<sup>1</sup>、有川安信<sup>1</sup>、余語覚文<sup>1</sup>、長友英夫<sup>1</sup>、東直樹<sup>1</sup>、岩田夏弥<sup>1</sup>、千徳靖彦<sup>1</sup>、兒玉了祐<sup>1</sup>、城崎知至<sup>2</sup>、松尾一輝<sup>3</sup>、尾崎哲<sup>4</sup>、岩本晃史<sup>4</sup>、坂上仁志<sup>4</sup>、FUJIOKA Shinsuke<sup>1</sup>、TAKIZAWA Ryunosuke<sup>1</sup>、GUO Shuwang<sup>1</sup>、TAKEMURA Mao<sup>1</sup>、LAN Zhechan<sup>1</sup>、ABE Yuki<sup>1</sup>、MORACE Alessio<sup>1</sup>、ZHU Baojun<sup>1</sup>、DUN Jinyuan<sup>1</sup>、ARIKAWA Yasunobu<sup>1</sup>、YOGO Akifumi<sup>1</sup>、NAGATOMO Hideo<sup>1</sup>、HIGASHI Naoki<sup>1</sup>、IWATA Natsumi<sup>1</sup>、SENTOKU Yasuhiko<sup>1</sup>、KODAMA Ryosuke<sup>1</sup>、JOHZAKI Tomoyuki<sup>2</sup>、MATSUO Kazuki<sup>3</sup>、OZAKI Tesuo<sup>4</sup>、IWAMOTO Akifumi<sup>4</sup>、SAKAGAMI Hitoshi<sup>4</sup>、  
阪大レーザー研<sup>1</sup>、広島大学<sup>2</sup>、UCSD<sup>3</sup>、核融合研<sup>4</sup>  
ILE, Osaka Univ.<sup>1</sup>、Hiroshima Univ.<sup>2</sup>、UCSD<sup>3</sup>、NIFS<sup>4</sup>

加熱レーザーのエネルギーから、核融合燃料の熱エネルギーへ変換される効率(加熱効率)が、レーザー核融合における高速点火方式の優位性を決定する重要な物理量である。加熱レーザーが物質と相互作用することで、高エネルギーの電子ビーム(高速電子ビーム)が生成され、高速電子ビームのエネルギー分布とその発散角によって、加熱効率は大きく左右される。我々は、キロテスラ級の磁場を高速電子ビームの伝播領域に印加することで、高速電子を磁場によって捕捉し、高速電子流を核融合燃料にまで導くことを世界で初めて実証し、約8%の高いドラッグ加熱効率を実現したことを報告している[1]。本研究では、核融合燃料に導かれた高速電子が、プラズマを加熱する物理過程を、時空分解 X 線画像計測法を用いて明らかにすることを目指した。高速電子によって加熱される過程は、大きく分けて二つある。一つは、ドラッグ加熱と呼ばれるもので、プラズマ中のバルク電子が高速電子と衝突することによって、高速電子のエネルギーがプラズマに移行する過程である。もう一つは、拡散加熱と呼ばれるものであり、加熱レーザーとプラズマの相互作用領域から、熱伝導によって、プラズマ内部に拡散的に輸送される過程である。高速電子流と反対方向に流れる帰還電流によって、レーザー・プラズマ相互作用領域は加熱される。外部磁場は、高速電子流及び帰還電流を、狭い領域に誘導し、その強度を高める働きを持っている。ドラッグ加熱効率を実験的に計測する方法は既に確立されているが、拡散加熱の効率を実験的に決定することは出来ていなかった。本研究では、加熱後のプラズマの電子温度及び密度の 2 次元空間分布を計測す

ることで、加熱されたプラズマの内部エネルギーの増加量を算出することで、拡散加熱効率を求めた。まず、ドラッグ加熱では、圧縮された燃料が一様に 100 eV 程度に加熱されていることが明らかになった。一方、拡散加熱では、加熱領域が加熱レーザー軸に沿って局在化しており、達成された温度も 2.2 keV と高いことが明らかになった[?]。新しい X 線計測器として、フレネル位相型ゾーンプレート[2]と全反射型 X 線ミラーを組み合わせた計測器も開発を行い、性能試験を現在行っている。上述の温度・密度・加熱効率計測法と、加熱領域の時間変化の観測結果と、数値シミュレーション結果を比較することによって、シミュレーション・コードの精度、及び将来の高利得ターゲット設計へのフィードバックを行うことが可能になる。

### References

- [1] S. Sakata *et al.*, Nat. Commun. **9**, 1 (2018), 1712.06029.
- [2] K. Matsuo *et al.*, Phys. Rev. Lett. **124**, 035001 (2020), 1907.10447.
- [3] K. Matsuo *et al.*, High Energy Density Phys. **36**, 100837 (2020).