

**Mesoscale energy transport and heating
in fast ignition-based laser fusion plasma**

岩田夏弥¹、東直樹²、杉本馨³、澤田寛⁴、城崎知至⁵、高木悠司³、佐野孝好¹、
Morace Alessio¹、余語覚文¹、有川安信¹、藤岡慎介¹、三間罔興¹、
千徳靖彦¹、兒玉了祐¹

N. Iwata¹, N. Higashi², K. Sugimoto³, H. Sawada⁴, T. Johzaki⁵, Y. Takagi³, T. Sano¹,
A. Morace¹, A. Yogo¹, Y. Arikawa¹, S. Fujioka¹, K. Mima¹,
Y. Sentoku¹, and R. Kodama¹

¹大阪大学レーザー科学研究所、²北海道大学、³大阪大学、
⁴ネバダ大学リノ校、⁵広島大学

¹Institute of Laser Engineering, Osaka University, ²Hokkaido University,
³Osaka University, ⁴University of Nevada, Reno, ⁵Hiroshima University

高速点火レーザー核融合は、レーザーで爆縮した高密度ターゲットに加熱用の短パルス高強度レーザーを照射し、高温・高密度の核融合プラズマを実現する方法である。最近では、 10 g/cm^3 の密度に爆縮したプラズマをおよそ 2 keV の電子温度に加熱することに成功している [1]。

短パルス高強度レーザーによるプラズマ加熱では、局所的かつ短時間に物質にエネルギーが注入される。レーザー光のエネルギーフラックスは 10^{18} W/cm^2 、レーザー電磁場のエネルギー密度はギガバール（10億気圧）を超える。物質表面ではレーザー電磁場により電子が相対論的エネルギーに加速され、物質内部へと打ち込まれる。この非熱的な高速電子によって高密度プラズマ内部にエネルギーが輸送される。高速電子流のエネルギーは、不安定性や自己生成電磁場による散乱、粒子同士のクーロン衝突を通して、熱エネルギーへと緩和していく。その過程で、熱波や磁場構造の形成が非平衡プラズマの集団現象として進展する。

本発表では、高速点火レーザー核融合プラズマで見られるエネルギー輸送と加熱現象について、理論・シミュレーション研究を中心に紹介する。ここでは特に、電子加速や非熱的粒子の散乱・衝突などマイクロ過程と、マクロスケールの高温プラズマ形成との間をつなぐメゾスケール物理に着目する。メゾスケール物理は、近年発展しているキロジュール級大エネルギーの高強度レーザーによるプラズマ加熱において特に重要となる。こ

のようなレーザーはパルス長がイオンプラズマ周波数（レーザー波長1ミクロンに対しおよそ100フェムト秒）より十分長い。そのためイオンを含めたプラズマ全体がレーザー照射に反応して運動を始める。これにより光の吸収特性が変化しレーザーから高速電子へのエネルギー変換が高効率化する [2]。高密度領域の加熱過程は、高速電子による非局所的な加熱（ジュール加熱、ドラッグ加熱）に加えて、レーザー光吸収領域からの熱拡散が重要となる [3]。加熱されたプラズマ中では物質種に依存してkeV領域の硬X線が輻射され、加熱領域を冷却するとともに周辺領域のプラズマ形成・加熱に寄与する [4]。このように非熱的な高エネルギー粒子から高温・高密度のバルクプラズマまでが輻射や電磁場を介して相互に影響を及ぼし合い、プラズマの運動量分布が発展し、高温領域が伸展していく。これらの物理の理解は、高効率の核融合燃焼プラズマ生成のための鍵であり、自然界における高エネルギー密度現象の解明にも貢献するものである。

- [1] K. Matsuo *et al.*, Phys. Rev. Lett. **124**, 035001 (2020)
- [2] N. Iwata *et al.*, Nat. Commun. **9**, 623 (2018); S. Kojima *et al.*, Commun. Phys. **2**, 99 (2019); A. Morace *et al.*, Nat. Commun. **10**, 2995 (2019)
- [3] N. Higashi *et al.*, Phys. Rev. E **105**, 055202 (2022); H. Sawada *et al.*, Phys. Rev. Lett. **122**, 155002 (2019)
- [4] K. Sugimoto *et al.*, Plasma Phys. Control. Fusion **64**, 035004 (2022)