

3Dp01

FIREXプロジェクトにおける磁場アシスト高速点火による効率的燃料加熱の達成と展望

Demonstration of fast ignition with assistance of external magnetic fields in FIREX project

千徳靖彦¹, FIREXチーム¹
Y. Sentoku¹, FIREX team¹

¹阪大レーザー研
¹ILE, Osaka Univ.

レーザー核融合は現在、米国リバモア国立研究所のNIFレーザーによる間接照射方式の中心点火核融合の実証実験が行われている。現在、1.5MJのレーザーで爆縮し、 1.9×10^{16} 個のDT核反応中性子が発生し、プラズマの持つ爆縮運動エネルギー21kJを2.5倍上回る54kJの核融合エネルギーを生成している。コア密度は3000倍の固体密度を達成しており、圧力は350ギガバールと太陽コア中心の400ギガバールに肉薄し、点火条件を探っている状況である [1]。

高速点火核融合は中心点火方式と異なり、燃料の爆縮と加熱を分けて行うため、爆縮時にプラズマの圧力が低く抑え、レーザーターゲットに代表される流体不安定性の低減が期待される。また、中心で温度を高め点火燃焼点を作る必要がないため、シェルターゲットである必要がなく、より安定な爆縮が可能な固体ターゲットを用いることができる。

大阪大学レーザー科学研究所(阪大レーザー研)では、GEKKO-LFEXレーザー[2]を用いて、高速点火核融合の原理実証実験(FIREXプロジェクト)を行っている。金コーンを取り付けた固体球ターゲットをGEKKO-XIIレーザーで爆縮し、キロジュール級エネルギーを持つパルス幅ピコ秒のペタワットレーザーLFEXを用いて加熱物理の解明を行っている。

高速点火方式において、レーザー生成高速電子によるコアを加熱する上で最大の問題は、発生する電子ビームの発散角が大きく加熱が非効率になってしまうことである。我々はキャパシターコイル方式で600テスラの磁場を発生し、それを印加することで、高速電子の収束性を高め加熱効率を上げることに初めて成功した。これまで2%程度であった加熱効率を8%まで向上している[3]。

また一方、同実験では銅1%を含むオレイン酸液を封入した球ターゲットを用いることで、加

熱に温度上昇の情報として銅のK核からのX線を計測し、コア中の銅がHe-likeまでイオン化されている兆候を捉えている。これは固体の10倍に圧縮されたコアが平均約2keVに加熱されていることを示唆している。

加熱物理を解明するため、衝突・イオン化過程を組み込んだプラズマ粒子コードPICLS[4]による2次元シミュレーションを実施した。その結果、パルス幅1.5ピコ秒のLFEX加熱において、高温化したレーザー吸収点近傍から、エネルギーが熱拡散的にコアに伝播し、コアの温度がkeV以上に加熱されることがわかってきた(図参照)。熱拡散的な加熱が始まる時間スケールはピコ秒程度であり、LFEXレーザーによる加熱シミュレーションにより初めて明らかになった加熱現象である。

本講演では熱拡散的加熱物理の解説とそのスケージング、また、高速点火方式における点火スケールの固体ターゲット爆縮の実現可能性や加熱レーザーの条件などを紹介する。

- [1] S. Le Pape *et al.*, Phys. Rev. Lett. **120**, 245003 (2018).
- [2] N. Miyanaga *et al.*, J. Phys. IV France **133**, 81-87 (2006).
- [3] S. Sakata *et al.*, Nature Commun. **9**, 3937 (2018).
- [4] Y. Sentoku and A. J. Kemp, J. Comput. Phys. **227**, 6846 (2008).

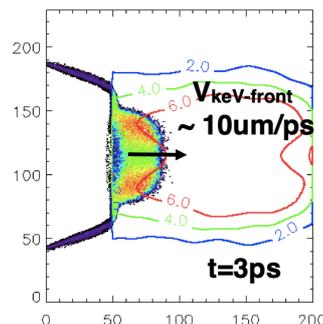


図: 2次元PICLSコードによる爆縮コアの加熱シミュレーション結果。keV以上の高温領域が拡散的に10um/psのスピードで伝播し加熱が進む様子がわかる。等高線は質量密度[g/cm³]。