

レーザー核融合磁化高速点火方式によるコア加熱統合シミュレーション Integrated simulation for core heating in laser fusion magnetized fast ignition

城崎知至^A、長友英夫^B、千徳靖彦^B、藤岡慎介^B、坂田匠平^B、砂原淳^C
T. Johzaki^A, H. Nagatomo^B, Y. Sentoku^B, S. Fujioka^B, S. Sakata^B, A. Sunahara^C

^A広大院工, ^B阪大レーザー研, ^Cパデュー大
^AHiroshima Univ., ^BILE Osaka Univ., ^CPurdue Univ.

背景と目的

高速点火原理実証実験FIREX-Iでは、高密度爆縮コアに対する高効率加熱の実証が最大の課題であった。レーザー加速電子のエネルギーが高すぎることで、発散角が大きいことが、高効率加熱を阻害していた。これに対し、加熱レーザーの高コントラスト化、穴あきコーン・中実ターゲットの導入、電子ビームガイド用キロテスラ級磁場印加等により、2016年度統合実験で加熱効率 $\sim 8\%$ が実証された[1]。本研究では、この統合実験を対象に爆縮からコア加熱までの統合シミュレーションを行い、印加磁場による加熱効率向上効果を明らかにする。

解析結果

2次元球座標系MHD-輻射流体コードPINOCO[2]により、コーン付Cu含有オレイン酸中実ターゲットに、電子ビームガイド用コイルで生成した磁場（コーンチップ近傍で $\sim 400\text{T}$ ）[3]を印加した状態で爆縮シミュレーションを行った。最大圧縮近傍で、爆縮コア密度は最大で 18 g/cm^3 、面密度 0.05 g/cm^2 であった。印加磁場強度は、高速電子生成点（コーンチップ）で 0.4 kT 、コア中心の最も高いところで 2 kT で、生成点からコアまでの磁場強度比であるミラー比は最大5程度であった。

次に、2次元円柱系ハイブリッドコードFIBMET[4]により加熱効率評価を行った。この計算では、爆縮計算で得られたプラズマ・磁場分布を用い、コーンチップから電子ビームを入射した。入射電子ビームプロファイルには実験にて観測されたエネルギースペクトル[5]を仮定し、ビームスポット径 $30\text{ }\mu\text{m}$ 、パルス長 1 ps （ガウス波形の半値全幅）とした。ビーム入射点での磁場強度 $B_{\phi, \text{in}}$ が $0\sim 1\text{ kT}$ となるように、全体の磁場強度を $0\sim 2.5$ 倍し、印加磁場によるガイド効果の評価した。図1に電子ビームによるコ

ア加熱エネルギーを電子ビーム入射点における磁場強度に対して示す。右軸は加熱レーザーから電子ビームへのエネルギー変換効率を 40% と仮定して換算したレーザーによる加熱効率を示す。印加磁場無しで加熱効率は 3.2% であった。印加磁場強度を上げていくと加熱効率は増大し、 $B_{\phi, \text{in}} = 0.3\text{ kT}$ で最大値 6.8% となり、磁場無しの場合に比べ 2.1 倍となった。この結果は実験結果に一致する[1]。一方、 $B_{\phi, \text{in}} \geq 0.3\text{ kT}$ では、加熱効率は $B_{\phi, \text{in}}$ の増加に伴い徐々に減少していく。これは、ミラー反射効果が顕著になっていくためである。

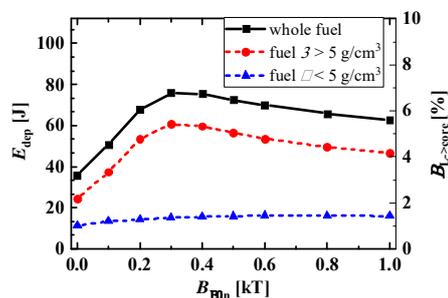


図1 電子ビームによるコア加熱エネルギー E_{dep} の印加磁場強度 $B_{\phi, \text{in}}$ 依存性。

まとめ

2016年度統合実験を対象とした統合シミュレーションにより、磁場印加により加熱効率が倍増することが分かった。この結果は実験結果を再現した。講演では、コーンチップの影響についてPICシミュレーションで評価した結果についても触れる。

- [1] S. Sakata, et al., Nat. Commun. **9**, 3937 (2018).
- [2] H. Nagatomo, et al., Nucl. Fusion **57**, 086009 (2017).
- [3] H. Morita, et al., Phys. Plasmas **25m** 094505 (2018).
- [4] T. Johzaki, et al., Phys. Plasmas **16**, 062706 (2009).
- [5] S. Fujioka, et al., Phys. Rev. E **91**, 063102 (2015).