

レーザー核融合高速点火方式における点火実証級レーザーで生成される電子ビームの収束磁場を用いたガイディング

Converged Magnetic Field Guiding of Electron Beam Generated by Ignition-Class Laser in Fast Ignition Laser Fusion

武田志十朗¹, 城崎知至¹, 遠藤琢磨¹, 金佑勁¹, 千徳靖彦², 藤岡慎介²
Shijuro Takeda¹, Tomoyuki Johzaki¹, Takuma Endo¹, Wookyung Kim¹,
Yasuhiko Sentoku², Shinsuke Fujioka²

¹広大院工, ²阪大レーザー研
¹Hiroshima Univ., ²Osaka Univ.

1. 研究背景と目的

高速点火核融合では、加熱効率低下の一要因となる、過度に高エネルギーな電子の生成を抑えるため、加熱用レーザー強度を 10^{20} W/cm²程度に抑える必要がある。一方で、点火実証には 10^{20} W/cm²級の電子ビーム強度が要求される[1]。この両要求を満たすために収束磁場を用いて電子ビームを燃料コアに収束させる方法が考えられている。加熱実証級のレーザー強度(3×10^{19} W/cm²)を仮定した数値解析では、ミラー比 $R_M < 10$ の収束磁場で、電子ビームが適度にガイドされることが示された[2]。本研究では相対論電磁粒子シミュレーションにより、点火実証級強度のレーザーで生成される電子ビームの収束磁場によるビーム収束特性を評価する。

2. 計算手法

衝突過程を含む相対論電磁粒子コードPICLS2D[3]を用いる。二次元平板系 $(x, y) = (60, 60)$ [μm]中に、ターゲットとして $x \geq 20$ μmに臨界密度の100倍の完全電離重水素プラズマを配した。磁場配位は、磁場の節の位置を $x = 50$ μm(ターゲット表面から30 μm)とし、その位置でレーザー集光中心軸から y 方向に ± 3 μm ($y_{0+} = 33$ μm, $y_{0-} = 27$ μm)の点での磁場強度 B_0 が、その点を通る磁力線がターゲット表面と交わる点 $((20$ μm, $y_{i+}), (20$ μm, $y_{i-}))$ での磁場強度 B_i のミラー比倍($B_0 = R_M B_i$)となるように設定した。本計算では $B_i = 3$ kTとした。この条件のもと波長1 μm、強度 10^{20} W/cm²、パルス長0.5 psのフラットパルスレーザーを垂直入射し、ターゲット表面で集光させる。集光幅(半値全幅)は、印加磁場なし・平行磁場条件では $\phi_L = 6$ μmとし、収束磁場配位では、 $\phi_L = y_{i+} - y_{i-}$ とした。

3. 計算結果

$x = 50$ μmに観測線を置き、レーザー中心軸から ± 3 μmの幅の範囲を前方に通過する高速

電子を観測し、電子ビーム強度が準定常になる $t = 0.5 \sim 0.8$ psの間の平均ビーム強度 I_{REB} と、レーザーからビームへのエネルギー変換効率 $\eta_{L \rightarrow \text{REB}}$ を図1に示す。 I_{REB} はミラー比とともに増加し平行磁場の値より2~3倍高い値となった。しかし、 $\eta_{L \rightarrow \text{REB}}$ は平行磁場の時最大で、 R_M 増大とともに低下した。これは収束磁場によるミラー反射のためである。つまり、収束磁場によるビーム収束は可能であるが、 R_M 増加に伴いミラー反射効果が大きくなり、収束磁場による電子ビーム収束効果には上限があることが示唆された。

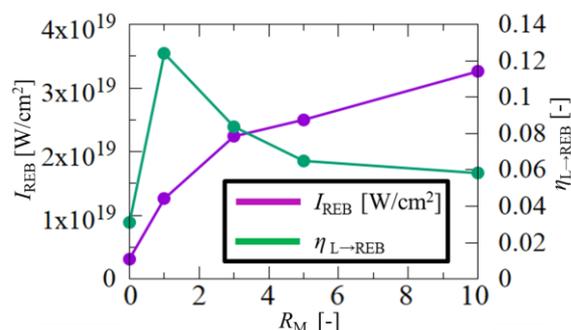


図1. 観測域を通過する電子ビームの平均強度 I_{REB} と変換効率 $\eta_{L \rightarrow \text{REB}}$ ミラー比依存性

4. まとめ

ミラー比 $R_M \leq 10$ の収束磁場条件で電子ビーム収束効果の評価した。収束磁場により平行磁場条件と比較して2~3倍の電子ビーム高強度化が得られた。この値は、点火実証に要求される値の3割程度である。講演ではさらに大きいミラー比($R_M \leq 20$)での計算結果とともに、コア加熱に有効なエネルギーを持つ電子や収束磁場による反射電子に着目した、ビーム収束特性の詳細について議論する。

[1]S. Atzeni, Phys. Plasmas.6 3317 (1999)

[2]T. Johzaki, et al., Nucl. Fusion **55**, 053022 (2015).

[3]Y. Sentoku and A. J. Kemp, J. Comput. Phys. **227**, 6846 (2008).