

電子ビーム駆動高速点火レーザー核融合における核融合点火条件 (1)

Ignition condition for electron-beam-driven fast ignition laser fusion (1)

城崎知至¹, 長友英夫², 砂原淳³, 千徳靖彦², 甲斐祐亮¹, 遠藤琢磨¹
T. Johzaki¹, H. Nagatomo², A. Sunahara³, Y. Sentoku⁴, S. Fujioka², T. Endo¹

¹ 広大院工, ² 阪大レーザー, ³ レーザー総研

¹ Hiroshima Univ., ² Osaka Univ., ³ ILT

高速点火レーザー核融合は、予め爆縮により高密度燃料コアプラズマを形成し、そこに相対論的高強度レーザーを照射してコア端を瞬時に点火温度まで加熱し、核融合点火・燃焼を実現する核融合方式である。従来の中心点火レーザー核融合方式に比べ、高効率なレーザー核融合点火方式と期待されており、現在、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターを中心に、爆縮コアの高効率加熱の実証を目的とした高速点火原理実証実験(FIREX-I)が進められており、統合実験による高効率加熱の実証が目前となっている。

高効率加熱実証後の次期ステップは、核融合点火・燃焼の実証である。本研究では、まずは点火に要する電子ビーム条件を、高速電子ビームによるコア加熱から核燃焼までのシミュレーションにより評価するとともに、そのような電子ビームを生成するためのレーザー条件について議論する。

シミュレーションは、2次元輻射流体+粒子(相対論電子ビーム)ハイブリッドコードfibmetにより行った。コア密度500 g/cm³, 面密度2 g/cm²のDTコアプラズマに、パルス長20 ps, スポット半径20 μmの電子ビームを入射した。エネルギー・スペクトルは実験より得られたレーザー強度と電子ビームの傾斜温度に対するスケールリング則に基づいて設定した。角度広がり $\theta_{\text{div}} = 0, 20, 40$ 度(半角)の電子ビームに対し、ビームエネルギー E_b を変え、点火に要する電子ビームエネルギーを評価した。図1に $E_b = 50$ kJにおける高速電子ビームのエネルギー密度分布を示す。 $\theta_{\text{div}} = 0$ 度の場合は、z軸に沿って平行に伝播し、コア領域でエネルギーを失い、高密度コアを加熱していることが分かる。 $\theta_{\text{div}} = 20$ 度の場合は、抵抗性ワイベル不安定性により細かいフィラメント構造が形成されているが、ビーム外縁において強い自己生成ピンチ磁場が形成され、これによりガイドされるため、全体としてはほぼ平行に伝播する。一方、 $\theta_{\text{div}} = 40$ 度では、自己磁場によるガイディングが効かず、フィラメント化した後、伝播に伴い発散している。 $\theta_{\text{div}} = 40$ 度の場合に1kTの平行縦磁場を印可すると、ビームはほぼ並行に伝播しており、点火クラスにおいてもkTクラス磁場による

ガイディングが有効であることが分かる。また、図2に点火に要するビームエネルギー $E_{b,\text{ig}}$ の θ_{div} 依存性を示す。 $\theta_{\text{div}} = 0$ 度では $E_b = 30$ kJで点火した。自己磁場によるガイディングが有効な $\theta_{\text{div}} = 20$ 度の場合は、若干増加するがほとんど変わらず $E_b = 40$ kJとなった。一方、伝播に伴う発散が顕著な $\theta_{\text{div}} = 40$ 度では $E_b = 140$ kJとなり、大幅に増加した。これに対し1 kTの縦磁場を印可すると、 $\theta_{\text{div}} = 0$ 度の場合と同様の30 kJにて点火した。これまでの研究により電子ビームは数十度の発散角を有することが示されており、点火に要するビームエネルギーの低減化するためには外部磁場等によりガイディングが必須であることが分かる。講演では、これらの詳細について、報告する。

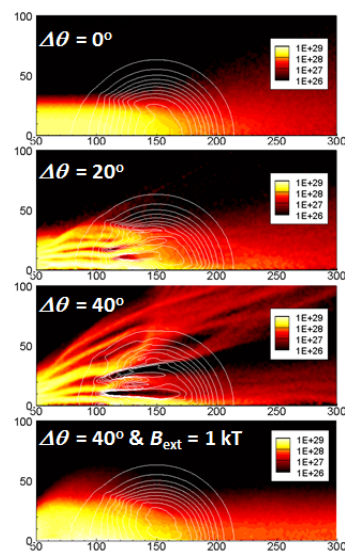


図1 $E_b = 50$ kJ, 傾斜温度 $T_b = 2$ MeV の電子ビームを入射した際の、電子ビームのエネルギー密度 [erg/cm³] の空間プロファイルの発散角依存性。

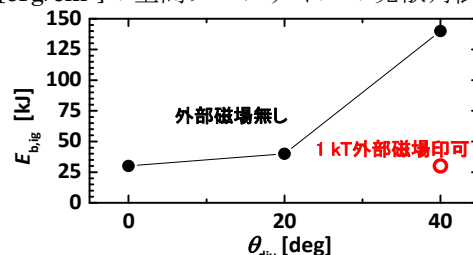


図2 点火に要する電子ビームエネルギー $E_{b,\text{ig}}$ のビーム発散角 θ_{div} 依存性。