

高Z 金属ワイヤ挿入による爆縮プラズマ中における高速電子の収束モデリング

羽原英明¹, 牧山大暉¹, 大熊祐輝¹, 長友英夫², 城崎知至³

¹大阪大学大学院工学研究科, ²大阪大学レーザー科学研究所, ³広島大学大学院工学研究科

INTRODUCTION

慣性核融合の高速点火では、爆縮コアプラズマでの加熱効率が低いことが問題の一つとして挙げられる。追加熱に用いられる高強度レーザーによって生成される高速電子は、コアプラズマを加熱する上で大きな役割を果たす。この高速電子は高密度プラズマと高強度レーザーの相互作用によって生成されるが、その高速電子は40度以上の大きな発散角を持っており、加熱効率が低い原因となっている。この問題を解決するために本研究では、物質の比抵抗率勾配に起因する自己生成磁場を用いて高速電子の発散角を抑えるために、中実球の中にNiワイヤを挿入したターゲットを使用した。このターゲットを用いることで自己生成磁場による高速電子のコリメートを実験的に確認した。

EXPERIMENT SETUP

昨年度の結果より、X線ストリークカメラ(XSC)画像から推定される燃料コアが、最大爆縮時でもそれほど面密度が高くないため、高速電子が燃料コアにエネルギーを与えずに通抜けした可能性があった。そのため、爆縮時の燃料球の面密度を向上させるために爆縮パルス波形をガウシアンパルスからテーパードパルス(3段パルス)に変更した。さらに昨年度の実験結果の詳細な解析から高速電子の放出角度が燃料コアの断面積よりも大きいことが推定されたため、高速電子の収束性を高めるためにテーパ形状のついたNiワイヤを注入し、高速電子の収束の効果を検証した。

ターゲット球には、阪大レーザー研で開発されたオレイン酸銅(Cu-oleate)中実球(直径190μm)に

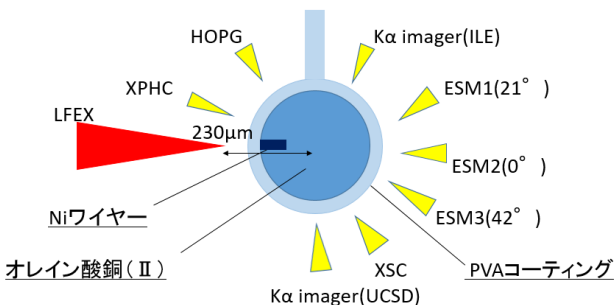


図1 実験セットアップ

Niワイヤ(直径25μm、長さ40μm)を挿入し、その球の表面をPVAでコーティング(厚さ30μm)したターゲットを用いた。

阪大レーザー研で行われた実験では、GXII(760J/beam, 2.0ns)、LFEX(300J/beam, 1.5ps)の二つのレーザーを用い、Niワイヤの有無の2種類の条件で、LFEXのみとJoint shotを行った。これらの条件でどの程度の差が生じるか各計測器を用いることで検証を行った。

EXPERIMENT RESULTS

爆縮プラズマのパラメータを推測するため、2次元放射流体シミュレーションを用いてXSCの結果の再現を行った。この放射流体コードには我々が改良したレーザープラズマ不安定性(LPI)によって生成するhot electronによる燃料のプレヒートの効果が含まれており、以前の実験においてXSCの結果を再現するようプレヒートの度合いを調整した結果、X線ピンホール画像、銅イオン特性X線単色画像等他の実験結果も同時に再現したため、その計算による爆縮プラズマの面密度を実験値とした。今回も同様な手続きで計算を行った結果、爆縮パルスのエネルギーが約6割程度であるにも関わらず、ガウシアンパルスよりも3段パルスを用いた方が大きな面密度が得られる可能性が示された。

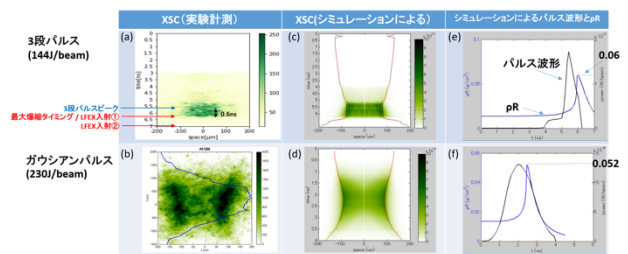


図2 (a-b)実験によって得られたX線ストリークカメラ画像、(c-d)2次元MHDシミュレーションで解析的に再現したX線ストリークカメラ画像、(e-f)シミュレーションによる面密度の時間発展(青)、黒線が爆縮パルス波形

次に、直径20μm、長さ50μmの円柱形、及びテーパ付き円柱形Niワイヤを挿入したターゲットと、挿入されていないターゲットのモノクロX線(8.02±0.02 keV)のイメージング画像を比較すると、Niが

存在していると見られる部分でX線発光の抜けが確認でき、実際に高速電子がNiワイヤ中を伝搬している可能性が示された。さらにNi通過後に当たるコア領域と思われる部分で特に発光強度が50%程度増加していることが確認できたことから、Niワイヤによる高速電子が収束している可能性が示された。

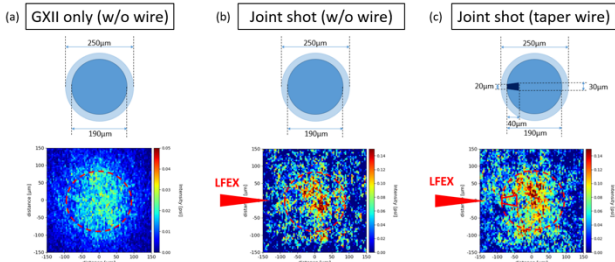


図3 (a) GXIIのみでの金属ワイヤなしターゲットのCuK α のイメージング画像、(b)Jointショットでの金属ワイヤなしのターゲットのCuK α のイメージング画像、(c)Jointショットでの金属ワイヤありのCuK α のイメージング画像

さらにHOPG結晶を用いた8keV前後のX線分光の結果から、ガウシアンパルスを使用したJointショットと比較して、3段パルスを使用したJointショットの発光量が30%程度増加していることから、XSCの解析で示されたようにガウシアンパルスでの爆縮に比べ面密度が増加し、高速電子がコア部分に衝突した割合が増加した可能性が考えられる。また、3段パルスを使用したJointショットについて金属ワイヤの有無で発光量を比較してみるとワイヤなしでのショットから発光量が47%増加していることが確認でき、金属ワイヤを挿入することで高速電子が自己生成磁場によって収束し、コア領域により多く衝突した可能性が示された。

CONCLUSION

これらの結果から、オレイン酸銅にNiワイヤを挿入することで生じる比抵抗率の勾配由来の自己生成磁場により、高速電子の発散角を抑え、爆縮コアに誘導できた可能性があることが分かった。さらにNiワイヤの形状の最適化によってさらに収束が進み、よりプラズマが加熱される可能性が示された。

ACKNOWLEDGEMENT(S)

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究S, 15H05751)によって行われた。

REFERENCE(S)

- [1] S. Kar, et al., Phys. Rev. Lett. 102,055001 (2009).
- [2] A.P.L. Robinson and M. Sherlock, Phys, Plasma 14,083105 (2007)

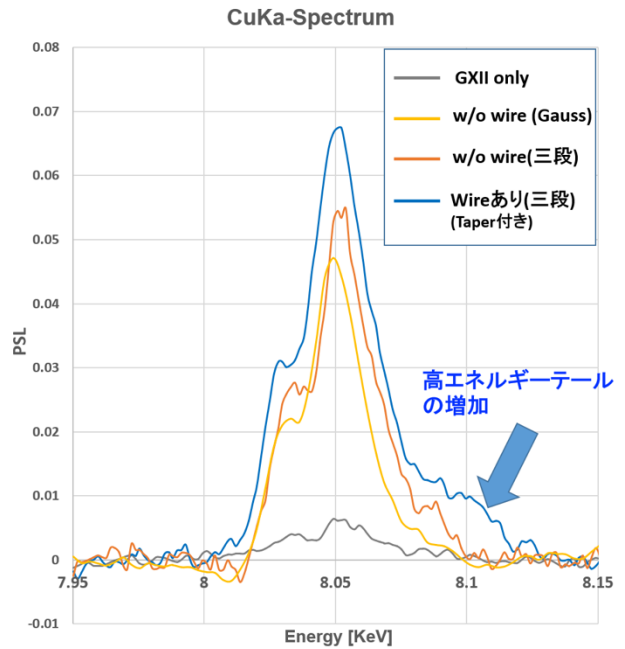


図4 各条件によるCuK α スペクトル、灰色線はGXIIのみ、黄色線はガウシアンパルスのJointショットで金属ワイヤなし、オレンジ線は3段パルスのJointショットで金属ワイヤなし、青色線は3段パルスのJointショットで金属ワイヤあり。