

高速点火レーザー核融合加熱実験の進展

有川安信 大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

arikawa-y@ile.osaka-u.ac.jp

大阪大学レーザーエネルギー学研究センターでは従来の中心点火核融合によりもエネルギー効率の 10 倍良い高速点火方式を採用し、点火燃焼に向けたプロジェクト **Fast Ignition Realization Experiment (FIREX)** 計画を推進している。高速点火とはレーザー爆縮により高密度になった燃料コアに、さらに別の短パルス超高強度レーザーを注入することで高速電子流を生成し、コアを瞬時に加熱して燃焼波を生成する。現在 **FIREX** 計画の第一期計画に位置し、爆縮コアを点火温度である **5keV** まで加熱する事を目標にした実験が進められている。この目的のために建設された追加加熱レーザー**LFEX** は 2009 年 3 月に **first light** に成功し、7 月から 10 月にかけて、徐々に出力を上げながら加熱実験を展開した。本発表ではイントロとして(1)高速点火方式の原理、(2)追加加熱レーザー**LFEX** の構成と性能、(3)プラズマ計測器のオーバービュー、(4)加熱実験の進展に分けて報告する。本概要ではそれぞれトピックのみかいつまんで記述する。

LFEX レーザーについて

加熱レーザーは爆縮燃料コアが最大密度を維持しているごく短時間(± 50 ps)に投入する必要があり、燃料爆縮用の大型レーザー激光 12 号装置(1 ns 幅のパルス)と、追加加熱レーザー(チャープパルス方式、1 ps)は同じシード光を分岐させることで光同期をとっている。レーザーは徐々に性能を発揮しており、オンターゲットで集光スポットおよそ 50 ミクロンまで絞れており、600 J/1.2 ps で運転している。**LFEX** は 4 ビームの合成によって最大 10 kJ/1 ps を発揮するシステムであり、2009 年に 1 ビーム分のパルス圧縮まで到達した。2010 年何には 2 ビーム圧縮による加熱実験と、4 ビーム化にむけた調整作業が行われ 2011 年には 4 ビーム・オンターゲットが実現する。



図 1 激光 12 号装置と LFEX



図 2 ターゲットチャンバーと LFEX 圧縮チャンバー

最先端プラズマ計測器について

プラズマ計測器には超高速応答性能が求められる。コア生成時刻近傍の X 線 2 次元画像をより高時間分解能で観測するために 20 ps の時間分解能を有する X 線画像撮影装置

2D-MIX や 2D-SIX が開発された。追加熱によって核融合反応がおこった時刻を正確にモニターするための高速応答の中性子検出器は高速応答シンチレータが開発され実験的に 50 ps の時刻測定時間分解能が実証された。

高速点火で大きな問題となるのは、超高強度レーザーが引き起こす高エネルギーかつ高フラックスな X 線ノイズである。従来の X 線画像計測器や中性子シンチレーションはこの高強度 X 線によるノイズで計測が困難になりつつある。高強度 X 線に適応できる計測器の開発が急がれており、いくつかが昨年度から導入されている。高エネルギー X 線を結像させない全反射ミラー付きのフレーミングカメラが開発された。大型多チャンネルシンチレータ中性子計測器には X 線ノイズを遮蔽するために厚さ 10 cm にもおよぶ鉛製の遮蔽体が設置されている。

加熱実験の進展

2009 年 6 月から 10 月にかけて加熱実験が展開された。おもな進展は、爆縮レーザーと加熱レーザーとの同期運転に成功した事、追加熱レーザー投入による中性子の有意な増大を観測した事があげられる。流体シミュレーションコードと実験で得られた爆縮軌跡、および高速シンチレータによる高強度 X 線パルスの観測結果によると、爆縮レーザーと追加熱レーザーは要求通り高精度で同期して当たっている事が確認された。

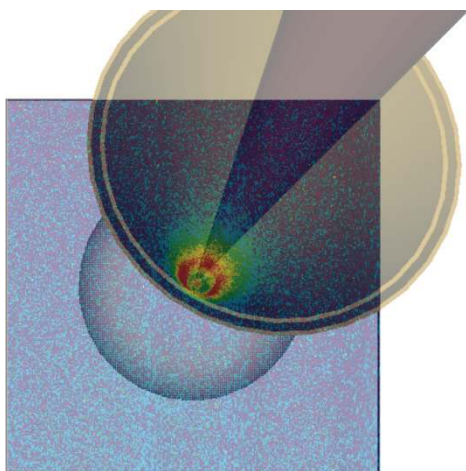


図3 高速点火ショットにおける X 線ピンホール画像と、ターゲット写真を合成したもの。LFEX による加熱による発光を捉えた。

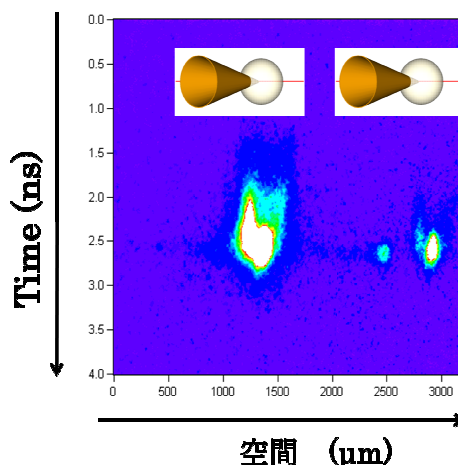


図4 高速点火ショットにおける X 線ストリークカメラ。シェルの爆縮軌跡と追加熱の入射タイミングが捉えられている。

高速点火計画は点火温度達成の目前まで来ている。同時に米国では、世界最大のレーザー核融合実験装置 National Ignition Facility が完成し中心点火方式による点火実証実験を開始し 2011 年に点火温度と密度の同時達成により正真正銘の点火・燃焼が実現すると計画されている。講演では、FIREX 計画の全体像から最前線について、並びに LFE レーザー装置及び先進計測システムについて報告する。