

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月30日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2011

課題番号：21686085

研究課題名（和文）追加熱レーザー入射タイミング測定のための高速ゲートX線フレーミングカメラの開発

研究課題名（英文）Development of high speed X-ray framing camera for measurement of heating laser injection time

研究代表者 古賀 麻由子（KOGA MAYUKO）

大阪大学・レーザーエネルギー学研究センター・助教

研究者番号：40403969

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では従来の計測器よりも正確な計測を目指し、高速ゲートX線フレーミングカメラの開発を行った。2009年度にX線受光部、2010年度に結像機構部を製作し、計測器として完成させた。同年激光12号を用いた高速点火原理実証実験において実際に計測を行い、従来機を上回る高速で画像取得できることを確認した。2011年度はこの実験結果を踏まえ、計測器にアライメント精度の向上や効率的な画像取得のための改良を施し、高速点火実験に臨んだ。この結果、前年度を上回る精度でデータを取得することに成功した。

## 研究成果の概要（英文）：

We developed high speed X-ray framing camera (XFC) for a simultaneous measurement of an implosion process and an injection time of heating laser. We made thin micro channel plate in 2009 and X-ray imager system in 2010. This high speed XFC was tested in fast ignition realization experiment 2010 by using Gekko 12. It was confirmed that the high speed XFC had higher time resolution than that of conventional one. In 2011, the high speed XFC was improved based on the result of the 2010 experiment. We obtained detailed data in the 2011 experiment.

## 交付決定額

（金額単位：円）

|        | 直接経費       | 間接経費      | 合計         |
|--------|------------|-----------|------------|
| 2009年度 | 6,600,000  | 1,980,000 | 8,580,000  |
| 2010年度 | 3,900,000  | 1,170,000 | 5,070,000  |
| 2011年度 | 600,000    | 180,000   | 780,000    |
| 年度     |            |           |            |
| 年度     |            |           |            |
| 総計     | 11,100,000 | 3,330,000 | 14,430,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・核融合学

キーワード：慣性核融合・高速点火方式

## 1. 研究開始当初の背景

レーザー核融合では、高速点火方式が有望な手法として研究が進められている。これはターゲット燃料を爆縮し、最大圧縮に至った瞬間、外部から超高強度レーザーを注入して加熱を制御する方法である。効果的な追加

熱・点火・燃焼を達成するためには、追加熱タイミングの調整と初期の加熱過程の詳細な観測が不可欠である。

しかしながら、爆縮プロセスを観測するための熱的X線と追加熱レーザー入射によって発生する高エネルギーX線はエネルギー領域

が大きくことなるため、同一の計測器で同時に観測するのは困難であった。

我々はこれまで X 線フレーミングカメラによるコアプラズマへの追加熱レーザー入射タイミング測定を試み、これらの信号の同時計測に成功した。その計測結果から、追加熱レーザーの入射タイミングの指標となる高エネルギー X 線信号がカメラの時間分解能によってぼやけ、計測結果に大きく影響することがわかった。

## 2. 研究の目的

本研究ではより詳細な追加熱レーザー入射タイミング測定と加熱メカニズムの解明を目指し、高速ゲート X 線フレーミングカメラの開発を行うこととする。

印加パルス電圧のパルス幅を減少させることでカメラの時間分解能を向上させることができ、高速点火レーザー核融合におけるプラズマの爆縮加熱研究に大いに貢献することができる。さらにコアプラズマの 2 次元高速撮影方法として挙げられる 1 次元マルチイメージング X 線ストリークカメラ法や 2 次元画像サンプリング X 線ストリークカメラ法はいずれも 2 次元画像を得るために画像処理が必要であるのに対し、高速ゲート X 線フレーミングカメラは直接 2 次元画像を得ることができ、爆縮コアプラズマのダイナミクスをより直観的、効果的に理解することができるという利点があり、高速電荷原理実証実験において重要な計測器となると期待される。

## 3. 研究の方法

X 線フレーミングカメラは X 線を光電変換する金のストリップラインに電圧パルスを伝搬させることでパルスが印加された部分にその瞬間の X 線像を記録することができるカメラである (図 1 参照)。そのため、印加パルス電圧のパルス幅を短くすることでカメラの時間分解能を向上させることができると考えられる。本研究では印加パルス電圧のパルス幅を従来の 200ps から 100ps 程度に狭くし、測定精度の向上を試みる。パルス幅を狭くすることで十分な数の電子が増倍部出口に到達することができず、ゲインが大幅に減少してしまうことが予想されるため、電子増倍部の厚みを半分に薄くし、到達率を上げる。さらに増倍部出口にもう 1 枚電子増幅用 MCP を取り付け、DC 電圧によって電子増倍を行うことで電子の数を増大させる。

改造した電子増倍部を X 線フレーミングカメラに取り付け、爆縮コアプラズマの高速撮影および追加熱レーザー入射タイミング測定を行う。

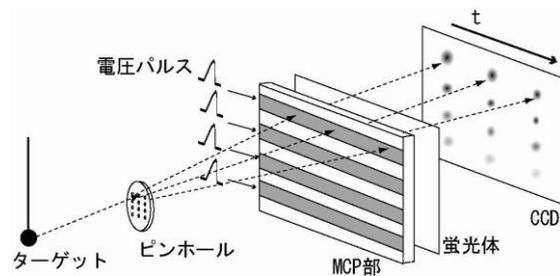


図 1 X 線フレーミングカメラの概念図

## 4. 研究成果

2009 年度は従来の約半分の厚さ (240  $\mu\text{m}$ ) の薄型マルチチャンネルプレートを作製し、結像機構部に取り付けを行った。改造した結像機構部について真空排気テスト、電圧印加テスト等の動作テストを行い、設計通りに動作することを確認した。

高速点火実験時に生成された高速電子が発生する高エネルギーの X 線がマルチチャンネルプレートに大きなノイズとして熱的 X 線像にオーバーラップするのを防ぐため、全反射ミラーにより熱的 X 線と高エネルギー X 線をエネルギー弁別し、それぞれ計測を行うこととした。全反射ミラーは表面をプラチナで蒸着したミラーで、入射角を 1 度にするので 3.2 keV の X 線で約 48% の反射率、30 keV の X 線ではその約 1 万分の 1 の反射率となる。2010 年度は、この全反射ミラー機構の製作および画像測定位置調整機構の製作を行い、前年度製作した結像機構部と合わせて計測器として完成させた。また激光 12 号による高速点火実験において、完成した計測器を実際に使用して爆縮コアプラズマおよび高エネルギー X 線の計測を行うことに成功した (図 2 参照)。得られた計測データから、観測された高エネルギー X 線の信号の半値幅は従来型カメラでは約 200ps であるのに対して、高速 X 線フレーミングカメラでは約 80ps と大幅に減少していることがわかった。これは数値計算の結果とも一致するものであった。また実験データの解析および数値計算の結果、追加熱レーザーの入射タイミングを十数 ps という高精度で算出できることが確認された。タイミング計測手法が確率されたことで今後の高速点火実験において加熱を制御するパラメータを正確に議論することができるようになり、研究の進展に大きく寄与するものと思われる。

2011 年度は前年の実験結果を踏まえ、計測器にアライメント精度の向上や効率的な画像取得のための改良を施し、高速点火実験に臨んだ。この結果、前年度を上回る精度でデータを取得することに成功した。また KrF レーザーを用いて計測器の感度分布や入射フ

光子数と CCD 出力の関係などの基本パラメータを計測した。これらのパラメータを使用することで、取得された画像データをより定量的に解析できるようになった。

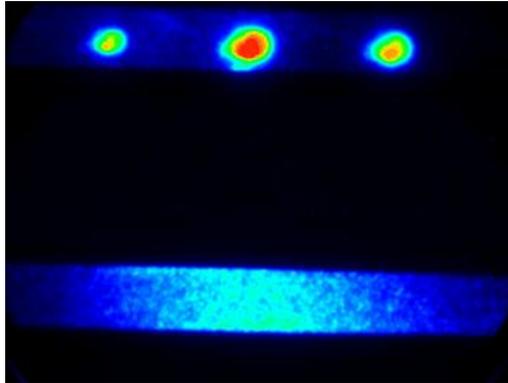


図2 高速フレーミングカメラで得られた X 線画像の例 (上のラインに並んでいる画像が爆縮コアの 2 次元 X 線画像。各コマの時間間隔は 35ps。下のラインで観測されている発光が入射した追加熱レーザーによる高エネルギー X 線信号。上下のラインは左側から同時に時間掃引されている。)

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- (1) Mayuko Koga, Y. Arikawa, H. Azechi, Y. Fujimoto, 他 42 名,  
“Present States and Future Prospect of Fast Ignition Realization Experiment (FIREX) with Gekko and LFEX Lasers at ILE”,  
Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A., 査読有り, Volume 653, Issue 1, 2011, pp. 84-88.
- (2) Mayuko Koga, Keisuke Shigemori, Hiroyuki Shiraga, Hiroshi Azechi,  
“Implosion hydrodynamics and heating synchronization measurement using X-ray framing cameras”  
Journal of Physics: Conference Series, 査読有り, 244, 2010, 022043.
- (3) Mayuko Koga, Takashi Fujiwara, Tatsuhiro Sakaiya, Myongdok Lee, Keisuke Shigemori, Hiroyuki Shiraga, Hiroshi Azechi,  
“Simultaneous measurement of imploded core and heating laser injection by using x-ray framing camera”  
Proceedings of SPIE, 査読無し, vol. 7126, 2009, 71261K1-8.

- (4) Mayuko Koga, Takashi Fujiwara, Tatsuhiro Sakaiya, Myongdok Lee, Keisuke Shigemori, Hiroyuki Shiraga, Hiroshi Azechi, Tetsuo Ozaki,  
“Simultaneous Measurement of Implosion Process and Heating Laser Injection by Using X-ray Framing Camera”,  
Journal of Plasma and Fusion Research SERIES, 査読有り, Vol. 8, 2009, pp. 1218-1221.

[学会発表] (計 13 件)

- (1) 古賀麻由子,  
“高速 X 線画像計測による高速点火レーザー核融合プラズマの研究”,  
レーザー学会学術講演会第 32 回年次大会, 2012 年 2 月 1 日, TKP 仙台コンファレンスセンター.
- (2) 古賀麻由子,  
“高速点火レーザー核融合実験における爆縮コアプラズマ制御”,  
高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム 2011, 2011 年 12 月 2 日, 熊本大学黒髪キャンパス.
- (3) 古賀麻由子,  
“Control of Imploded Core Plasma by Using 12 beams of Gekko XII”,  
Plasma conference 2011, 2011 年 11 月 18 日, 石川県立音楽堂.
- (4) Mayuko Koga,  
“High resolution X-ray imaging in fast ignition experiment using Gekko and LFEX lasers”,  
The 7th international conference on Inertial Fusion Sciences and Applications, 2011 年 9 月 6 日, Palais des Congrès de Bordeaux-Lac, France.
- (5) 古賀麻由子,  
“高速点火実験における X 線画像計測”,  
画像計測研究会 2011, 2011 年 9 月 1 日, 核融合科学研究所.
- (6) Mayuko Koga,  
“Present States and Future Prospect of Fast Ignition Realization Experiment (FIREX) with Gekko and LFEX Lasers at ILE”,  
The 4th International Conference on SUPERSTRONG FIELDS IN PLASMAS, 2010 年 10 月 5 日, Varenna, Italy.
- (7) 古賀麻由子,  
“LFEX レーザーを用いた高速点火レーザー核融合実験における爆縮コアおよび追加熱レーザー入射タイミングの計測”,  
第 8 回核融合エネルギー連合講演会, 2010 年 6 月 10 日, 高山市民文化会館.

- (8) 古賀 麻由子,  
“高速点火統合実験におけるX線フレーミングカメラを用いた爆縮コアおよび追加熱レーザー入射タイミングの計測”,  
物理学会第65回年次大会, 2010年3月21日, 岡山大学津島キャンパス.
- (9) 古賀 麻由子,  
“高速点火核融合実験におけるX線画像計測”,  
プラズマ核融合学会年会, 2009年12月3日, 京都市国際交流会館.
- (10) 古賀 麻由子,  
“高速点火核融合プラズマのX線画像観測—高エネルギーX線成分とその除去—”,  
第10回X線結像光学シンポジウム, 2009年11月7日, つくば国際会議場.
- (11) 古賀麻由子,  
“非結像X線フレーミングカメラによる追加熱レーザー入射タイミング測定”,  
日本物理学会秋季大会, 2009年9月27日, 熊本大学黒髪キャンパス.
- (12) Mayuko Koga,  
“Implosion Hydrodynamics and heating synchronization measurement using x-ray framing camera”,  
The Sixth International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA), 2009年9月8日, The Intercontinental San Francisco, USA.
- (13) 古賀 麻由子,  
“高速点火核融合プラズマのX線画像観測”,  
画像計測研究会, 2009年9月3日, 核融合科学研究所.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

古賀 麻由子 (KOGA MAYUKO)

研究者番号: 40403969