

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19760596  
 研究課題名 (和文) X線フレーミングカメラを用いた高感度硬X線測定法の開発  
 研究課題名 (英文) Development of high energy X-ray measurement by Using X-ray Framing Camera  
 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：X線フレーミングカメラに金属フィルターを組み合わせて、爆縮追加熱実験時に発生する硬X線のエネルギー測定を目標とした測定システムの構築を行った。また結像系を通した通常X線と結像系を透過する硬X線を同時に測定することで、高速点火核融合実験時に重要となる爆縮コアへの追加熱レーザー入射タイミングを推定する手法を考案し、電子増倍モデルを用いた数値計算および実験においてその有用性を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,200,000	150,000	2,350,000

## 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、硬X線測定

## 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。この追加熱時に発生した高速電子は硬X線の放射を引き起こすことから、硬X線の測定を行うことで、追加熱時のターゲットプラズマ中の高速電子の振る舞いを調べることができる。また、この硬X線の発生と爆縮プラズマの様子を同時に測定することができれば、これまで測定が困難とされていた爆縮プラズマに対する追加

熱レーザーの入射タイミングを算出することができると考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では以下のことを目的として研究を行った。

(1) 硬X線領域の高感度時間分解測定法としてX線フレーミングカメラと金属フィルターを組み合わせた測定法を開発する。

(2) 爆縮プラズマと硬X線の入射を同時に測

定することで追加熱レーザーの入射タイミングを推定する手法を開発する。

### 3. 研究の方法

- (1) 硬 X 線入射時の X 線フレーミングカメラの光電子増倍応答についてモデルを構築して数値計算を行う。
- (2) 新しい金属フィルターシステムの試作を行い、実験でその性能を確認する。
- (3) 高エネルギー領域に吸収端 (K エッジ) を持つ金属を数種類選定し、試作品の実験結果を元に金属フィルターシステムを製作する。
- (4) 製作した金属フィルターシステムを X 線フレーミングカメラに取り付け、爆縮追加熱実験によって X 線測定を行う。

### 4. 研究成果

(1) これまでの研究で我々は爆縮追加熱実験時に硬 X 線由来と考えられる発光が観測されることを見出した。図 1 に典型的なその画像を示す。2 本目のストリップラインに発光が表れているのが分かる。この発光は硬 X 線がピンホール結像部を透過して直接光電子増倍部 (MCP 部) に入射することで起こると考えられる。図 2 にこの時の X 線強度の時間変化を示す。入射した追加熱レーザーはパルス幅約 0.8 ps であるにも関わらず、発光は半値幅約 200 ps もの時間的広がりを持つことがわかる。これは硬 X 線が MCP の表面だけでなく内部まで侵入してから電子を発生することで、増倍率と蛍光面への到達時間にばらつきが生じることで起こると考えられる。この効果を検証するため、光電子増倍管のモデル計算であるダイノードモデルを用いて数値計算を行った。図 3 に計算結果を示す。L は電子の増倍距離であり、値が小さいほど MCP 内部で発生したことを示す。図より明らかなように、MCP 内部で発生した電子は表面で発生した電子よりも大きな時間的広がりを持つことがわかる。この結果は観測された発光の広がりを定性的に説明するものである。実際の発光広がりにはこれらの分布の重ね合わせであるため、より正確なフィッティングモデルを構築するためには入射した X 線のエネルギーを知る必要がある。

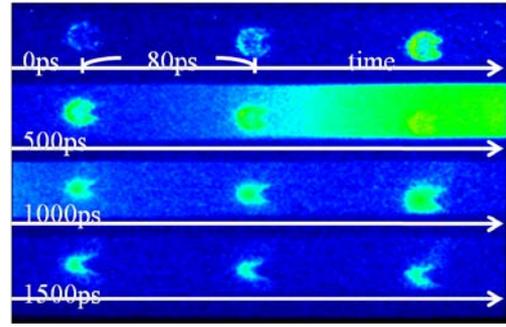


図 1 爆縮追加熱実験時に観測された発光

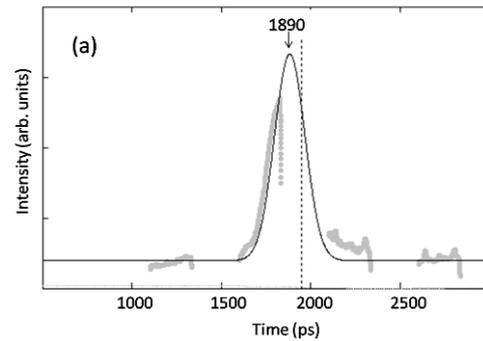


図 2 爆縮追加熱実験時のバックグラウンド X 線強度の時間変化 (グレーが実験データ、黒線が半値幅 200 ps のガウスフィッティング)

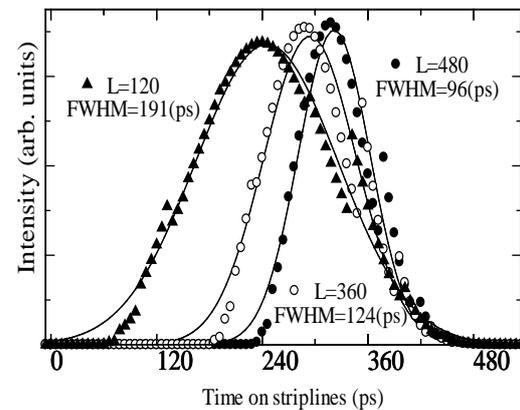


図 3 ダイノードモデルによる数値計算結果

(2) 次に既存のフィルターシステムを改良する形で金属フィルターの試作を行った。追加熱レーザーである LFEX レーザーは稼働前であったため、爆縮レーザーである激光 12 号を用いた爆縮実験において試作品のテストを行った。この爆縮実験では硬 X 線は発生せず、通常 X 線のみが発生するため、金属

フィルターは通常X線領域に透過率変化が大きいパラジウム2ミクロンとチタン5ミクロンを用いた。その結果、各金属フィルターに対するX線強度を測定することに成功し、エネルギーの低い通常X線の実験ではあるが、この測定法の有用性を確認することができた。またこの試作品では位置調整が困難で観測データに影響を与えることが判明したため、次年度のフィルター製作では位置調整機構を組み込むことにした。

(3) 平成20年度には新たに位置調整機構を搭載したフィルターシステムの設計、製作を行った。既存のフィルターシステムはベローズを使用して真空保持とシャフトの駆動を行っていたが、新たに製作したものはOリングとローレットネジを用い、よりシンプルな構造で真空保持、シャフトの駆動、さらに位置の微調整と固定まで可能にした。このためフィルターシステム自体のサイズも小さくなり、さらに素材をステンレスからアルミに変更したことで、従来のもよりもコンパクトで軽いフィルターシステムとなった。これは実験上非常に有利な点である。また種々の金属についてX線透過率計算を行い、爆縮追加熱実験で使用する金属フィルターとしてタンタルとチタンを選定した。タンタル10ミクロン、50ミクロン、90ミクロンの3種類を使用することで30~60keVのX線を弁別、チタン5ミクロン、25ミクロン、45ミクロンの3種類を使用することで10~30keVを弁別することができる。

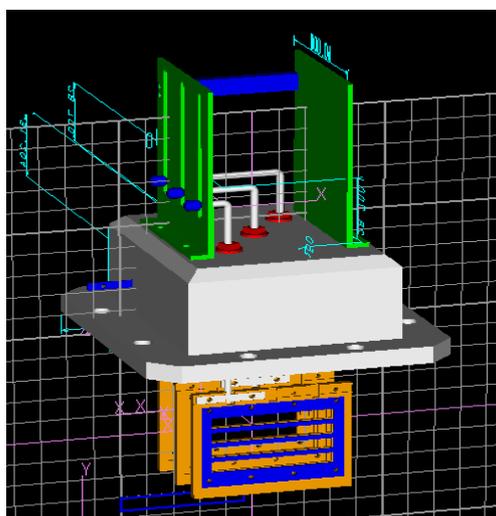


図4 金属フィルターシステムの概略図

(4) 追加熱レーザーテスト実験において、この金属フィルターシステムを搭載したX線フレーミングカメラによるX線測定を行った。実験ではLFEXレーザーをアルミ平板ターゲットに入射させた。まず低レーザーエネルギー

(1J, 50J)での実験を行った。入射レーザーエネルギーが低いため、発生するX線のエネルギーは10keV以下であろうと考え、フィルターにはチタン5ミクロン、アルミ30ミクロンをフィルターとして用いた。観測するX線のシグナル強度を上げるため、ピンホール結像部は取り付けず、時間積算測定(DCモード)にて測定を行った。実際に測定された画像を図5に示す。画像から明らかなように、1Jショット、50Jショットのいずれにおいてもそれぞれの金属フィルターに対する強度変化を明確に観測することができた。この強度比からフレーミングカメラに入射したX線は約5keV程度と推定される。同時に測定を行った電子スペクトロメータ(ESM)でも高速電子の発生は観測されなかったことから、この結果は妥当であると考えられる。

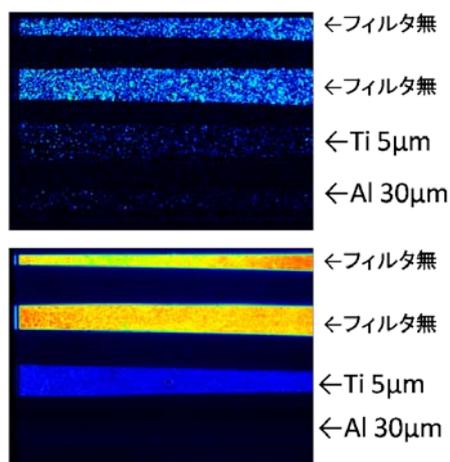


図5 各金属フィルターに対するX線強度変化(1Jショット(上)、50Jショット(下))

次に設定エネルギー100J、設定パルス幅4psとして実験を行った。この時は硬X線の発生が期待されたため、金属フィルターはタンタル10ミクロン、50ミクロン、90ミクロンの3種を使用した。金属フィルターが無い場合、時間積算測定(DCモード)で硬X線によるノイズが観測された。金属フィルターを通した測定では、一部でこのノイズが遮蔽されることが確認された。シグナルは大変少ないものであったが現在詳細を解析中である。同時に測定を行ったESMでも1~3MeVの高速電子をごくわずかに検出したにとどまったことから、やはりこの結果も妥当なものであると考えられる。しかしながら、今後LFEXレーザーの出力が上昇すれば、十分な信号量を得られると思われる。また金属フィルターの位置調整はかなり繊細に行わなければならないことが判明した。今後の実験では対向ポートからのアライメント確認を行い、より精度の高い測定を行うことを考えている。

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3件)

- ① M. Koga, T. Fujiwara, T. Sakaiya, M. Lee, K. Shigemori, H. Shiraga, H. Azechi, Simultaneous Measurement of Imploded Core and Heating Laser Injection by Using X-ray Framing Camera, Proceedings of SPIE, 7126, 71261K-1~71261K-8, 2009、査読無
- ② M. Koga, T. Fujiwara, T. Sakaiya, M. Lee, K. Shigemori, H. Shiraga, H. Azechi, Measurement of Heating Laser Injection Time to Imploded Core Plasma by Using X-ray Framing Camera, Review of Scientific Instrument, 79, 10E909-1~10E909-3, 2008、査読有
- ③ Mayuko KOGA, Takashi FUJIWARA, Tatsuhiro SAKAIYA, Myongdok LEE, Keisuke SHIGEMORI, Hiroyuki SHIRAGA, Hiroshi AZECHI, and Tetsuo Ozaki, SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF IMPLOSION PROCESS AND HEATING LASER INJECTION BY USING X-RAY FRAMING CAMERA, Journal of Plasma and Fusion Research Series, in press、査読有

[学会発表] (計10件)

- ① 「X線フレーミングカメラによる爆縮コアへの追加熱レーザー入射タイミング測定」  
古賀麻由子  
日本物理学会第64回年次大会(東京)  
(2009.3.27)
- ② 「X線フレーミングカメラによる爆縮コアへの追加熱レーザー入射タイミング測定」  
古賀麻由子  
第25回プラズマ核融合学会年会(栃木)  
(2008.12.04)
- ③ 「Simultaneous Measurement of Imploded Core and Heating Laser Injection by Using X-ray Framing Camera」  
古賀麻由子  
The 28th International Congress on High-Speed Imaging and Photonics  
Canberra, Australia  
(2008.11.10)
- ④ 「SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF IMPLOSION PROCESS AND HEATING LASER INJECTION BY USING X-RAY FRAMING CAMERA」  
古賀麻由子

International Congress On Plasma Physics  
2008

Fukuoka International Congress Center  
(Fukuoka, Japan)  
(2008.9.11)

⑤ 「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同時測定」  
古賀麻由子  
第7回核融合エネルギー連合講演会(青森)  
(2008.06.21)

⑥ 「Measurement of Heating Laser Injection Time to Imploded Core Plasma by Using X-ray Framing Camera」  
古賀麻由子  
Albuquerque, New Mexico  
(2008.5.13)

⑦ 「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の同時測定」  
古賀麻由子  
プラズマ核融合学会第24回年会  
イーグレ姫路(兵庫)  
(2007.11.29)

⑧ 「Measurement of PW laser injection time to imploded core plasma by using X-ray framing camera」  
古賀麻由子  
高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム2007  
名古屋工業大学(愛知)  
(2007.11.15)

⑨ 「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の同時測定2」  
古賀麻由子  
日本物理学会秋季大会 北海道大学(北海道)  
(2007.09.23)

⑩ 「Measurement of PW Laser Injection Time to Imploded Core Plasma by Using X-ray Framing Camera」  
The Fifth International Conference on Inertial Fusion Sciences and Applications (IFSA2007)  
古賀麻由子  
Kobe International Congress Center (Kobe, Japan)  
(2007.9.14)

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：