

自己評価報告書

平成 23 年 4 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2012

課題番号：20300175

研究課題名（和文） 造影剤濃度と被ばく線量の低い重粒子線励起
二波長パルス X 線による血管動画撮影研究課題名（英文） Movie Imaging of Blood Vessels with Particle-induced
Two-wavelength Pulsed X-rays for Reduction of
Contrast Medium Concentration and Radiation Dose

研究代表者

小栗 慶之 (OGURI YOSHIYUKI)

東京工業大学・原子炉工学研究所・准教授

研究者番号：90160829

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：重粒子線，荷電粒子励起特性 X 線，血管動画撮影，造影剤，被ばく線量，二波長差分，シンチレーター，EMCCD カメラ

1. 研究計画の概要

異なる二種類の金属ターゲットに MeV 重粒子線を交互に繰り返し照射して造影剤の吸収端前後の二種類の波長（エネルギー）を持つ準単色パルス X 線を発生する。これを用いた二波長差分法による高コントラスト動画撮影の可能性を調べる。差分により造影剤の像のみを抽出することにより、造影剤濃度と被ばく線量が小さい患者にやさしい X 線動画撮影を目指す。

平成 20-24 年の研究期間中、最初の 2 年間で本研究に不可欠な重粒子（陽子）線の出力増強、専用ビーム輸送・集束・照射系の構築、及びターゲット回転機構と X 線照射装置系の開発・建設を行う。平成 22 年度には得られた陽子ビームで各種金属ターゲットを照射し、X 線強度、スペクトルの測定の後、ファントムを用いて静止画撮影のための最適化調整を行う。平成 23 年度はターゲットを回転させてパルス毎に異なるエネルギーの X 線を発生する試験を行った後、二波長差分法による動画撮影の予備の結果を得る。最終年度には最適条件を確定してシステムの総合的性能評価を行い、研究を総括するとともに、実用化のための課題を提示する。

2. 研究の進捗状況

現在までに上記陽子ビームの出力増強及び円盤状回転ターゲットの開発がほぼ完了している。Fe 造影剤の K 吸収端 (7.110 keV) 前後の波長（エネルギー）を持つ $K\alpha$ X 線を

発生する鉄 (Fe ; 6.398 keV) 及びニッケル (Ni ; 7.471 keV) 板を取り付け、二波長パルス X 線の発生試験を行った。このために専用の真空容器を設置し、これらの低エネルギー X 線を大気中に取り出すための厚さ 50 μm のマイラー窓を取り付け、真空試験を行った。両端にこれらの金属板を装着した円盤状ターゲットをステップモーターにより真空中で回転させながら、エネルギー 2 MeV、ビーム電流 100 nA 程度の陽子ビームを照射した。ビームは四重極電磁石により集束し、ターゲット上で直径 1 mm 程度であった。赤外線温度計で照射面の温度を測定したところ、この程度のビーム強度であれば、ターゲットの発熱は放射冷却により十分除去できることが分かった。冷却型 CdTe-X 線検出器を用いて発生する X 線のエネルギーを測定し、実際にエネルギーの異なる準単色パルス X 線を交互に発生できることを確認した。

並行して X 線撮影用高感度 EMCCD カメラを加速器ビームラインに設置して動画撮影の試験を行った。このために専用の架台を製作してカメラを真空容器に固定した。しかし、X 線を可視光に変換する YAG シンチレーター取り付け部の遮光設計が十分でなかったため、予定していた陽子ビーム励起 X 線を用いた撮影性能の定量的評価には至らなかった。代わりに X 線管から発生する連続 X 線を用いて試験を行い、十分な画像分解能が得られることを確認できた。

さらに X 線励起用陽子ビームの径を小さくして画像の分解能を向上するためにガラスキャピラリーを用いた陽子ビーム集束装

置の開発を行い、数値シミュレーションにより当面必要な 100 μm 程度までのビーム径が得られることを確認できた。

3. 現在までの達成度

③やや遅れている (理由)

平成 22 年度の前半までは二波長パルス X 線の発生を含めてほぼ順調に進展した。しかし後半に実施した X 線撮影用高感度 EMCCD カメラの据え付け調整試験において、遮光設計が不十分であったために画像に予期しないノイズが発生した。このため、結果的に年度内に予定していたファントムを用いた最適化調整試験ができなかったため。

4. 今後の研究の推進方策

現時点での課題である X 線撮影用高感度 EMCCD カメラの遮光対策を早急に完了し、実際に陽子ビーム励起 X 線を用いてファントム撮影実験を開始する。それぞれのターゲットから発生する X 線を用いて模擬血管に Fe 造影剤を注入したアクリル製ファントムの透過静止画像を撮影する。被写体までの距離、拡大率等の条件を調整して画質・画像強度の最適化を行う。並行してガラスキャピラリーを用いてビームを 100 μm 程度に集束して X 線光源サイズを縮小し、画像分解能の向上を目指す。

上記作業の後、動画撮影の予備実験を開始する。ファントムを二次元駆動装置で動かしながら異なるエネルギーの X 線で交互に透過画像を撮影する。時間的に隣り合う X 線エネルギーの異なるフレーム同士を画像的に差し引き、造影剤のみを抽出した 10 フレーム/秒の動画を構成する。最適な X 線発生条件、撮影条件を確定してシステムの総合的性能評価を行う。

最後にファントム内の造影剤濃度を変化させ、撮影可能な濃度の下限を調べる。鮮明な動画が得られる被写体速度とフレームレートの上限も評価する。また血管を模擬したファントム内細孔のサイズを細かく変化させて解像度の評価を行うとともに、実用化に向けた今後の開発課題を明らかにする。

5. 代表的な研究成果

(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 2 件)

- ① J. Hasegawa, S. Jaiyen and Y. Oguri, “Development of a Micro-PIXE System Using Tapered Glass Capillary Optics”,

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (2011), in press.

- ② J. Hasegawa, S. Shiba, H. Fukuda and Y. Oguri, “A Compact Micro-Beam System Using a Tapered Glass Capillary for Proton-Induced X-ray Radiography”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 266 (2008) 2125-2129.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 長谷川 純, S. Jaiyen, 小栗慶之, 「テーパードキャピラリーによるイオン集束とビーム品質の評価」, 日本物理学会 2010 年秋季大会, 2010 年 9 月 26 日, 大阪府立大学.
- ② J. Hasegawa, S. Jaiyen and Y. Oguri, “Development of a μ -PIXE System Using Tapered Glass Capillary Optics”, 10th European Conference on Accelerators in Applied Research and Technology, 14 September 2010, Athens, Greece.
- ③ J. Hasegawa, Y. Oguri and S. Jaiyen, “Monte-Carlo Simulation of Ion Beam Focusing Using Glancing-Angle Scattering”, The 18th International Symposium on Heavy Ion Inertial Fusion, 30 August 2010, Darmstadt, Germany.