

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/10/2018

専攻名 (専門分野) Department	物理学及応用物理学専攻	氏名 Name	末岡 晃紀	指導教員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用物理学研究	学籍番号 Student ID number	5316A043-3		
研究題目 Title	高線量率環境下での革新的ガンマ線イメージング法の開発				

【はじめに】

福島第一原発の事故により多量の放射性核種が放出され、約7年を経た今でも除染は深刻な課題である。特に原子炉建屋内の線量率はいまだに1mSv/h~530Sv/hと極めて高く、廃炉に向けた取り組みを一層困難なものとしている。本研究では、従来イメージングが不可能であった超高線量率下に焦点をあて、新規ガンマ線イメージング手法の確立を目指した。

ピンホールカメラとは、幾何学的条件に基づきガンマ線到来方向を特定するガンマ線可視化装置であり、すでに福島県市街地でのホットスポット探査に用いられている。従来のピンホールカメラは個々のパルスを読み出すため、パイルアップが深刻なmSv/hを超える高線量率下での使用は不可能であった。本研究で設計・開発した新型ピンホールカメラを図1に示す。Gd₂O₂S(GOS)増感紙をピンホールコリメータ焦点面に配置し、その発光をElectron Multiplying Charge Coupled Device (EM-CCD)で積算撮影することで、パイルアップの問題を解決した。更にEM-CCDの電子増倍率や露光時間、開口率を変化させることで幅広いダイナミックレンジを実現することができる。

本研究では、まず新型ピンホールカメラがmSv/hを超える環境下において正しくイメージング可能であることを実証した。続いて、3次元イメージング、多色(カラー)イメージングについても検討した。

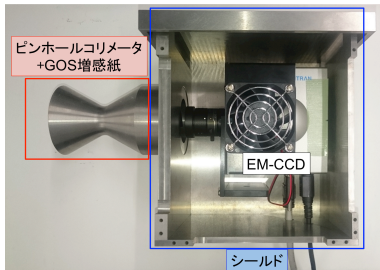


図1 新型ピンホールカメラ 写真

【高線量率下におけるイメージング】

東工大コバルト照射室の⁶⁰Co線源(1333keV)を使用し、線源方向0°(12.1Sv/h)及び15°(11.6Sv/h)の場合で撮像実験を行った。図2に実験結果を示す。線源方向が0°の場合1.18±0.04°、15°の場合14.36±0.04°となり、ガンマ線到来方向の特定に成功した。さらに、東海村FRSによる実験とあわせ、45mSv/h~680Sv/hの広いレンジでガンマ線のイメージングに成功した。

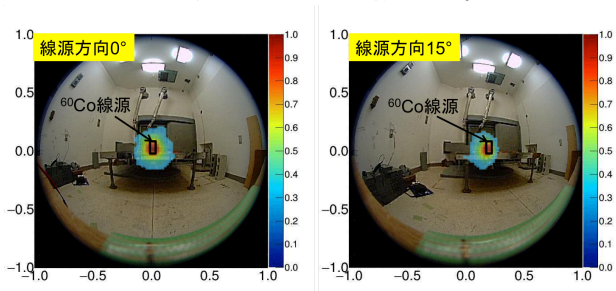


図2 高線量率下でのガンマ線イメージング実験
(左)線源方向0° (右)線源方向15°

【3次元イメージング】

既存の画像再構成法においては、射影平面を仮定しその平面上での放射性核種分布を算出しているが、奥行き方向が縮退するため3次元空間分布を求めることは出来ない。そこで逐次近似法で

あるML-EM法に基づく3次元画像再構成法を考案した。原点にある⁶⁰Co線源に対し、6箇所3~4方向から計20回の撮像実験を行った。図3は再構成結果を示しており、3次元空間において正確なイメージングが可能であることを確認した。

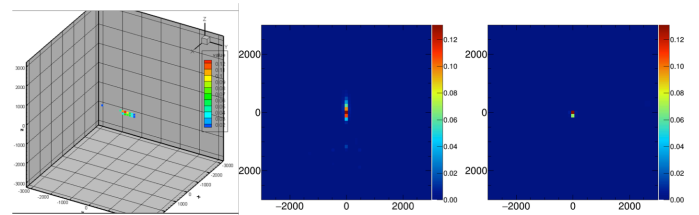


図3 3次元再構成結果 (左)xyz空間 (中)xy平面 (右)xz平面
【カラーイメージング】

新型ピンホールカメラは積算情報を取得するため、個々のガンマ線のエネルギー情報(色情報)が失われてしまう。従って、放射性核種の種類を識別することが出来ない。この問題を解決するため、GOS増感紙の代わりに、Ce:Ga₃Al₂Gd₃O₁₂(GAGG)シンチレータ(1層目, 中心発光波長520nm, 密度6.63g/cm³), 蛍光ガラス(2層目, 中心発光波長610nm, 密度3.77g/cm³), プラスチックシンチレータ(3層目, 中心発光波長430nm, 密度1.02g/cm³)で構成される3色シンチレータを採用し、分光フィルターを装着したEM-CCDによって発光を選択的に観測する。低エネルギーガンマ線は1層目でほとんど吸収されるが、高エネルギーガンマ線は全層で吸収される。従って、各層の発光比を測定することで放射性核種のエネルギー情報を大まかに取得することが出来る。X線発生装置(管電圧30kV, 管電流8mA)及び⁶⁰Co線源を使用し、発光比を測定した。図4は実験結果を示しており、ガンマ線のエネルギーに応じて発光比が変化することを確認した。

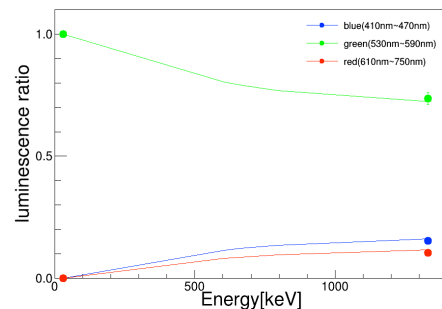


図4 ガンマ線のエネルギーに対する発光比変化

【まとめ】

本研究では、ピンホールコリメータの焦点面にGOS増感紙を配置し、その発光をEM-CCDにより積算して撮影する革新的手法を開発した。この手法により、簡単なピンホールカメラによって、従来は不可能であった680Sv/hといった高線量率下でも放射性核種の空間分布を簡単に可視化できることを示した。また、新型ピンホールカメラにおける3次元画像再構成法、カラーイメージング法の開発にも成功した。

【研究業績リスト】

- (1) [国際学会] K. Sueoka et al., "Development of a new pinhole camera for imaging in high dose-rate environment", NDIP2017, 2017, Tours, France
- (2) [論文] K. Sueoka et al., "Development of a new pinhole for imaging in high dose-rate environment", NIM-A, in press.
- (3) [国内学会] 末岡晃紀ほか、「高線量率環境下でのイメージングに向けた新型ピンホールカメラの開発」、応用物理学会春季年会 2017, 横浜