

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 07 / 2014

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	武内 健士郎	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	CD 5312A056-0		
研究題目 Title	多点イメージ観測による放射線源の三次元位置測定法の確立				

1. はじめに

福島第一原発の事故により飛散した放射性核種(主に¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs)は三年弱を経た現在においても大きな課題であり、除染作業を効率化するガンマ線可視化装置の開発が急がれている。我々の研究室では、上記核種の検出を目的とした携帯可能な高感度コンプトンカメラの開発を行っており、本論文の前半部ではシミュレーションに基づくカメラの最適化について述べる。これらの結果に基づき浜松ホトニクス社と共同でプロトタイプを作成し、福島県浪江町において実地試験を行った。

実地試験では市街地のみならず、森林部など周囲を樹木に覆われた複雑な環境での調査も行った。こうした状況では視野方向の木々が折り重なり、一枚のガンマ線画像のみから奥行き方向の縮退を解くことが難しいことが想定される。本論文では、コンプトンカメラを用いて同一の領域を多点観測(ステレオ観測)することによって放射線源の位置を三次元的に決定することが可能であることを示し、シミュレーションを用いてこの手法の確立を目指す。

2. コンプトンカメラの構成最適化

コンプトンカメラの性能は主に検出効率と角度分解能の二つの値によって評価される。これらは検出部(散乱体・吸収体)の構成によって変化するため、Geant4を用いたシミュレーションによって最適化を行った。まず散乱体と吸収体の厚みを可変とし、いくつかの検出器間距離 d の値に対する¹³⁷Csの662keVガンマ線に対する検出効率の変化を調べた(図1、図2は $d=15\text{mm}$ の場合)。検出効率は散乱体と吸収体の厚みの和を固定した場合ピークを持つ関数となる(図2)。次に散乱体と吸収体の厚みを固定し、深さ方向(DOI)の分解能を変化させ角度分解能の値を調べた(図3)。目標性能として角度分解能 10° を仮定した場合、散乱体8mm-吸収体12mm、検出器間距離10mmにおけるDOI構成が最適な構成の一例として与えられた。

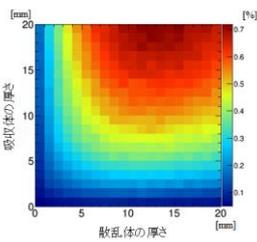


図1. 散乱体と吸収体の厚みに対する検出効率の変化

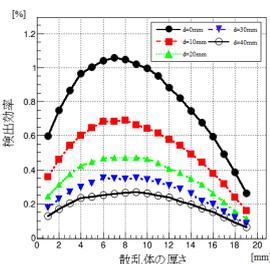


図2. 検出器の厚みの和を20mmとした際の検出効率の変化

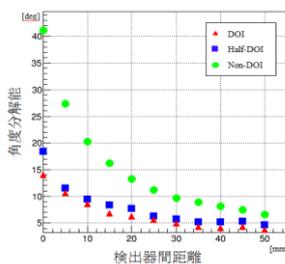


図3. DOI構成の有無による角度分解能の変化

3. 三次元位置計測法

三角測量の原理を応用し、コンプトンカメラ一台ないしは複数台を用いた多点からのステレオ観測により、ガンマ線源の位置を特定することができる(図4)。コンプトンカメラは可視カメラと比較して解像度が低く、とくに線源が複数ある場合に位置を正しく1対1に同定出来るかは必ずしも自明ではない。様々な状況を想定し、Geant4シミュレーションを用いた線源の三次元画像再構成を行った。

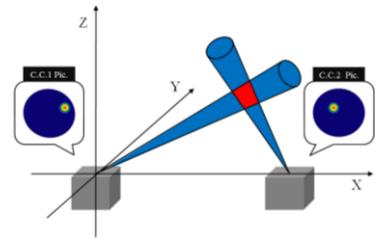


図4. 三次元位置計測法の概念図

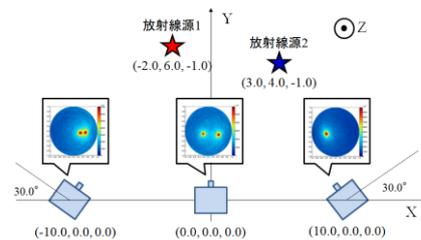


図5. 三次元位置計測のジオメトリ

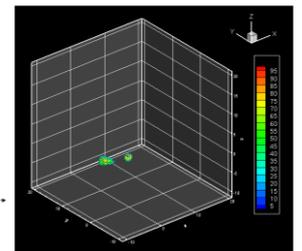


図6. 再構成された線源の三次元ヒストグラム

図6より、二線源を正しく分離し三次元位置が決定できることを示した。求められた線源位置は放射線源1に対して(-1.9, 6.4, -1.0)、放射線源2に対して(3.0, 4.2, -1.0)となり、またカメラから見た線源方向の距離に対して誤差 $\sim 20\%$ となり、誤差の範囲で正しく放射線源の位置を再現できている。

4. まとめと今後の展望

本研究では、コンプトンカメラの構成最適化と、それによる多点観測を用いた放射線源の三次元位置再構成法の確立を行い、線源の位置を約20%の精度で決定できることを示した。今後は、実機を用いた多点観測データに三次元位置再構成を行った際の結果について検討していく。

【研究業績リスト】

- (1) 【講演】武内 健士郎 他, 「新型シンチレーターGAGGの基礎特性評価及び線量計への応用」, 日本応用物理学学会 2012年春青年会(口頭発表)
- (2) 【国際会議】K. Takeuchi et al., “‘Stereo Compton cameras’ for 3-D localization of radioactive isotopes optimized by Geant4”, HSTD-9, 2013 (Oral)
- (3) 【論文】K. Takeuchi et al., 同上, NIMA, submitted.
- (4) 【国際会議】K. Takeuchi et al., “‘Stereo Compton cameras’ for 3-D localization of radioisotopes.”, IEEE2013 NSS/MIC (Poster)
- (5) 【講演】武内 健士郎 他, 「三次元位置計測可能な『ステレオコンプトンカメラ』の提案」, 日本応用物理学学会 2013年秋青年会(口頭発表)