

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料
〔平成30年度研究進捗評価用〕

平成27年度採択分
平成30年3月22日現在

実用化へ向けた高解像度 3D カラー放射線イメージング技術
の開拓

Toward new frontiers in high-resolution 3D color radiology imaging

課題番号：15H05720

片岡 淳 (KATAOKA JUN)

早稲田大学・理工学術院・先進理工学研究所・教授



研究の概要

レントゲン撮影やCT、PET 検査や手荷物検査に至るまで、一般に放射線イメージングは2次元モノクロ静止画を基調とする。本研究では革新的X線・ガンマ線可視化技術により、放射線の多色3D画像や動画を迅速に取得する。医療から環境で汎用的に活用できる次世代放射線イメージングの基盤技術を純国産ベースで開発し、臨床や産業への迅速なフィードバックを目指す。

研究分野：複合領域・人間医工学・画像診断システム

キーワード：医療用コンプトンカメラ、低被ばく多色CT、ドローン搭載システム

1. 研究開始当初の背景

近年、ステレオセンシング技術を利用した3次元動的イメージングが、様々な分野で応用展開されつつある。一方で放射線イメージングは未だレントゲン撮影に代表される2次元モノクロ静止画を基本とする。現代医療診断の根幹をなすX線CTやPET(陽電子断層撮影)でも同様で、体内における複数核種の追跡を同時に行うことはできない。X線からガンマ線にわたる広いエネルギーで、被写体の立体構造や材質、現象のダイナミクスにまで迫る革新的なイメージング技術が望まれている。

2. 研究の目的

本研究では、医療から環境計測にまで広く展開可能な「3次元高解像度カラー放射線イメージング」の基盤技術を確立する。独自に開発した高感度光半導体素子MPPC (Multi-Pixel Photon Counter)と高精細シンチレータをベースにシステム全体を“オールジャパン”で開発し、分野全体の活性化と産業界への迅速なフィードバックを目指す。具体的にはA) 超高解像度X線・ガンマ線イメージングの開拓 B) 医療用リアルタイム3Dコンプトンカメラの開発 C) 広視野環境放射線イメージング技術の開発を5年間で実施する。

3. 研究の方法

1次元MPPCアレイを用いたフォトンカウンティングCTの開発を主題に、これに特化した専用高速アナログLSIを開発した。従来CTの1/100の低線量下で様々なファントムを用

いたX線多色撮影を行い、3次元画像再構成に挑戦した。一方では世界最小「手のひら」サイズ医療用コンプトンカメラを開発し、生後8週間の生体マウスの撮影を行った。さらに、放医研サイクロトロンビーム施設では陽子線治療を模擬した照射実験を行い、人体を構成する様々な元素から出る即発ガンマ線のオンライン・イメージングに挑戦した。環境計測では福島浪江の帰宅困難地域でフィールド試験を定期で実施している。コンプトンカメラをドローンに搭載し、GNSSで高精度に姿勢や位置を制御しつつ、高度10~20メートルからのガンマ線撮影を行った。

4. これまでの成果

(1) MPPCと高速シンチレータCe:YAPを組み合わせた低被ばく多色X線CTシステムを開発した。従来CTの1/10~1/100の低線量で同等以上の高コントラスト画像が取得でき、K吸収端をもちいた物質同定やライターの3次元多色撮影にも成功した(図1)。

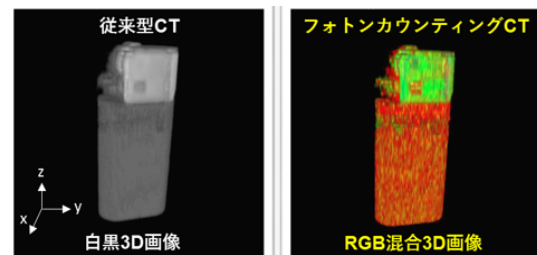


図1 ライターの白黒CT (左)と3D多色X線CT画像 (右)

(2) 医療用コンプトンカメラを用いた生体マウスの3次元多色ガンマ線撮影に成功した。図2では、ヨウ素 (^{131}I : 364 keV) が甲状腺に、ストロンチウム (^{85}Sr : 514 keV) は骨に、また亜鉛 (^{65}Zn : 1116 keV) は肝臓を中心として肺や心臓、脾臓などに広く取り込まれる様子が解像度 3mm で確認できる。

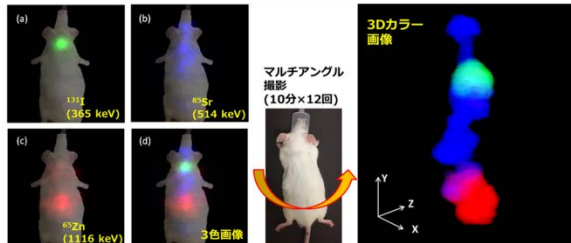


図2: (左) 生体マウスのガンマ線撮影と3色合成 (右) マルチアングル撮影による、3D多色ガンマ線撮影結果

(3) 陽子線治療の高精度化に向けた試みとして (a) 陽電子放出核種の核反応断面積の高精度測定 (b) 即発ガンマ線イメージングの両方の観点から研究を進めた。(a) はチェレンコフ光の時間発展を CCD で撮影するユニークな手法であり、従来のデータベースを刷新する高精度を実現した。(b) では ^{12}C からの 4.4MeV ガンマ線がブラッグピークに高精度に追従することを初めて実証した(図3)。

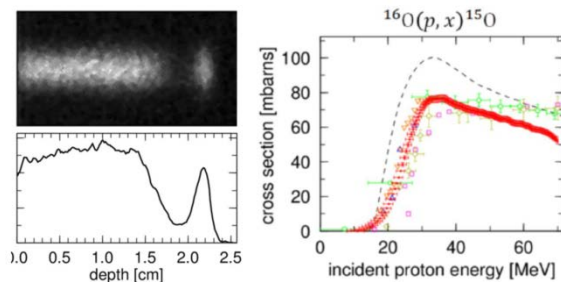


図3: (左) CCD で撮影した陽子線照射後のチェレンコフ発光分布 (右) これより導出した原子核反応断面積

(4) 高感度小型コンプトンカメラ (大きさ 1.9 キログラム) とタブレット PC を汎用ドローンに搭載し、上空 10~20 メートルから地上 100×100 メートル四方を一気にガンマ線で撮影することに成功した。サーベイメータ

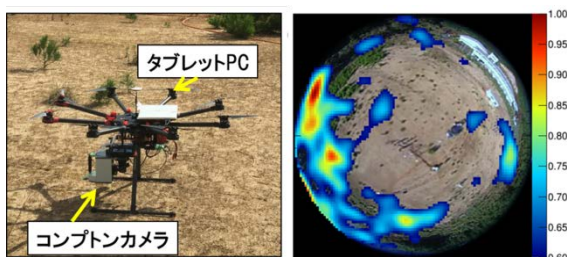


図4: (左) DJI S1000+ に搭載したコンプトンカメラ (右) 上空 20 メートルからの撮影結果

を用いた地上測定より、はるかに短時間かつ正確に、放射線核種のローカルな集積を画像化できることを実証した (図4)

5. 今後の計画

フォトンカウンティング CT においては、64ch までのシステム拡張とさらなる高速化・高性能化を目指す。医療用コンプトンカメラは、RI 内用療法での臨床応用を目指した低エネルギー用カメラの最適化と、4.4MeV 即発ガンマ線イメージング用の高エネルギー装置の開発を同時に行う。環境計測では引き続き福島でのフィールド試験を実施し、散乱ガンマ線が画像に及ぼす影響を定量評価する。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

・Masuda, T., Kataoka, J., Arimoto, M. et al., "Measurement of nuclear reaction cross sections by using Cherenkov radiation toward high precision proton therapy, Scientific Reports, (2018), vol.8, 2570

・Kishimoto, A., Kataoka, J., Tagawa, L. et al., "First demonstration of multi-color 3-D in vivo imaging using ultra-compact Compton camera, Scientific Reports, (2017), vol.7, 2110

・Morita, H., Oshima, T., Kataoka, J. et al., "Novel photon-counting low dose computed tomography using a multi-pixel photon counter", NIM-A, (2017), vol.857, pp.58-65

・Mochizuki, S., Kataoka, J., Tagawa, L. et al., "First demonstration of aerial gamma-ray imaging using drone for prompt radiation survey in Fukushima", Jinst, (2017) vol.12, P11014

・片岡淳, 武田伸一郎, 高橋忠幸 「放射線物質を可視化するコンプトンカメラ」, 日本光学会誌「光学」, 2016, 第 45 巻, 第 8 号, pp.289-300
他 14 編

ホームページ等

・2018年3月1日 BSテレビ 19:55~20:00 科学ミチル。世界は未知で満ちている 「見えない光で未知を観る！」

http://www.bs-j.co.jp/official/kagaku_michiru/

・2018年2月14日 化学工業新聞朝刊9面 「陽子線治療精度を向上 一早大が体内進路可視化」

・2017年5月29日 日経新聞(全国版)朝刊11面 「ガンマ線立体画像に一早大などが小型カメラ」

https://www.nikkei.com/article/DGXLASG25H55_X20C17A5TJM00/

・2016年9月26日 日経産業新聞(全国版)朝刊6面 「セシウムの分布可視化—一早大、ドローン使い空撮」