

令和 4 (2022) - 5 (2023) 年度援助 研究課題最終報告書

提出: 2024 年 3 月 11 日

日本医学物理学会 御中

1. 研究課題名

日本語	医用コンプトンカメラの性能評価技術開発
英語	Development of performance evaluation methods for medical Compton camera

2. 研究代表者

(ふりがな)	あかまつ ごう	JSMP 会員番号	2729
氏名	赤松 剛		
所属機関	量子科学技術研究開発機構		
部署	量子医科学研究所 先進核医学基盤研究部 イメージング物理研究グループ		
役職	主任研究員	E-mail	akamatsu.go@qst.go.jp
所在地	〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1		
電話	043-206-3260	FAX	043-206-0819

3. 研究組織 (研究代表者以外の参加者氏名・所属機関)

氏名	所属機関
田島英朗 田久創大 錦戸文彦 吉田英治 高橋美和子 山谷泰賀	量子科学技術研究開発機構 量子医科学研究所
山口充孝 河地有木	量子科学技術研究開発機構 高崎量子応用研究所
酒井真理	群馬大学 重粒子線医学研究センター
黒澤俊介	東北大学 未来科学技術共同研究センター
島添健次	東京大学 大学院工学系研究科
武田伸一郎	東京大学 国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構
古川純 (2023 年より参加)	筑波大学 アイントープ環境動態研究センター
本村信治 (2023 年より参加)	理化学研究所 生命機能科学研究センター

4. 研究目的、背景

研究目的

PETに匹敵する解像度(約5 mm)を有する医用コンプトンカメラの実現に向け、次の3項目を研究目的とする。

- [1] 医用コンプトンカメラの性能評価技術を確立する。臨床核医学検査を想定し、様々なコンプトンカメラを同一条件で評価できる標準ファントム・標準評価法を開発する。ファントムは γ 線エネルギーが異なる3種類のRI (^{57}Co , ^{133}Ba , ^{22}Na)をそれぞれ密封して輸送可能な仕様とし、どの施設でも同じ評価ができるようにする。
- [2] 標準評価法を用いて、核医学物理学・高エネルギー物理学・宇宙物理学における様々なコンプトンカメラの検出器性能(位置分解能, エネルギー分解能, 検出効率)とイメージング性能(画像の解像度, コントラスト, ノイズ)を明らかにする。
- [3] 検出器性能とイメージング性能の関連性をもとに、医用コンプトンカメラに必要な検出器性能を導出する。様々な分野の優れた検出器から有望な検出器を選定し、臨床機開発を加速させる。

背景

SPECT, PETに続く第3の核医学診断法として、コンプトンイメージングの核医学応用が期待されている(右図)。コリメータを使用せずに幅広いエネルギー(数十keV~数MeV)の光子をイメージングできるコンプトンカメラ(コンプトンイメージング装置)は、宇宙物理学や高エネルギー物理学の分野で発展してきた。クライン仁科の式に基づいてコンプトン散乱時の検出エネルギー情報から散乱地点での散乱角度を逆算することで、円錐表面上にガンマ線発生位置を特定できる。

量子科学技術研究開発機構(以下、QST)では、放射線検出器をリング状に配置した医用コンプトンカメラの研究開発を進めている。PETと同程度の解像度を有する医用コンプトンカメラが実現すれば、これまで核医学分野で活用されていなかった1 MeV程度の高エネルギーガンマ線も新たなイメージング対象となり、 ^{89}Zr (909 keV ガンマ線を陽電子の4倍以上放出)標識抗体の高感度イメージング、 ^{225}Ac (壊変過程で440 keV ガンマ線を放出)を用いた α 線治療薬剤分布の可視化など、様々な医療応用が期待される。

コンプトンイメージングの核医学応用はまだ萌芽的な段階であるが、分野横断的な研究開発が盛んに行われており、医療機器開発プロセス(基礎研究→応用研究→実用化研究→臨床研究→診療)における実用化研究を推進すべきフェーズにある。実用化を目指すにあたり、**医用コンプトンカメラには標準的な性能評価技術が存在しない**という課題がある。SPECTやPETでは画像診断機器としての診断能を保証するため、核医学検査を想定した標準的な性能評価技術(NEMA規格等)が確立され、装置開発でも活用されている。同じように医用コンプトンカメラの標準的な性能評価技術を確立することで、**各装置のイメージング性能特性を同一条件で評価できるようになり、臨床機の実現に向けた研究開発を加速させることができる。**

そこでQSTが主体となり、コンプトンカメラの若手研究者を中心とした分野横断的なグループを組織し、医用コンプトンカメラの性能評価技術開発に取り組んでいる。

5. 研究成果概要(※著作権を侵さないよう簡潔な内容に留めた)

成果1 医用コンプトンカメラ用の RI 密封ファントムを開発し、標準評価法を確立した。
評価指標として、感度、角度分解能、空間分解能、画質(コントラスト・ノイズ)を選定した。

成果2 標準評価法を用いて、4 種類のコンプトンカメラの性能を明らかにした。

成果3 得られた性能評価データを活用し、コンプトンカメラ次世代機の開発および検出器開発を進めた。

6. 発表等

技術報告(1 報)

[1] 赤松剛, 田島英朗, 田久創大, 山口充孝, 河地有木, 酒井真理, 黒澤俊介, 島添健次, 古川純, 本村信治, 錦戸文彦, 吉田英治, 高橋美和子, 山谷泰賀. 医用コンプトンカメラの性能評価技術開発. *Medical Imaging Technology*. 2023;41:117–123.

学会発表(口頭発表 6 題, ポスター発表 3 題)

[1] Go Akamatsu, Sodai Takyu, Hideaki Tashima, Hidekatsu Wakizaka, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, Makoto Sakai, Shunsuke Kurosawa, Kenji Shimazoe, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Miwako Takahashi, Taiga Yamaya. Iodine-131 whole gamma imaging outperforms clinical SPECT. *IEEE NSS/MIC 2023*, Vancouver, 2023/11/9. (Poster)

[2] Go Akamatsu, Sodai Takyu, Hideaki Tashima, Hidekatsu Wakizaka, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, Makoto Sakai, Shunsuke Kurosawa, Kenji Shimazoe, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Miwako Takahashi, Taiga Yamaya. I-131 3D Compton imaging with a small whole gamma imaging prototype. 70th Annual Meeting, Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Chicago and Web, 2023/06/26. (Oral)

[3] Go Akamatsu, Hideaki Tashima, Sodai Takyu, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, Makoto Sakai, Shunsuke Kurosawa, Kenji Shimazoe, Miwako Takahashi, Taiga Yamaya. Performance evaluation standards for medical Compton imaging systems. *The 2nd International Conference on Radiological Physics and Technology (ICRPT) (JRC2023)*. 2023/4/13-16. Yokohama. Oral.

[4] Mitsutaka Yamaguchi, Yuto Nagao, Makoto Sakai, Go Akamatsu, Hideaki Tashima, Taiga Yamaya, Naoki Kawachi. Application of a standard performance evaluation method for a cost-effective Compton camera using high-sensitive inorganic scintillators. *The 2nd International Conference on Radiological Physics and Technology (ICRPT) (JRC2023)*. 2023/4/13-16. Yokohama. Oral.

[5] 赤松剛, 田島英朗, 田久創大, 山口充孝, 河地有木, 酒井真理, 黒澤俊介, 島添健次, 錦戸文彦, 吉田英治, 高橋美和子, 山谷泰賀. 医用コンプトンカメラの性能評価技術開発. 第 12 回核医学画像解析研究会. 秋田. 2022/11/26. 口頭発表.

[6] Go Akamatsu, Hideaki Tashima, Sodai Takyu, Mitsutaka Yamaguchi, Naoki Kawachi, Makoto Sakai, Shunsuke Kurosawa, Kenji Shimazoe, Shin'ichiro Takeda, Fumihiko Nishikido, Eiji Yoshida, Miwako Takahashi, Taiga Yamaya. Performance measurement standards for Compton imaging systems in nuclear

medicine. 2022 IEEE NSS MIC RTSD. Milano. 2022/11/5-12. Poster.

- [7] 田島英朗, 赤松剛, 田久創大, 錦戸文彦, 吉田英治, 高橋美和子, 山口充孝, 河地有木, 酒井真理, 黒澤俊介, 島添健次, 武田伸一郎, 山谷泰賀. 医用コンプトンカメラ標準性能評価法開発とフルリング型装置への適用. 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会. 仙台. 2022/9/20-23. 口頭発表.
- [8] 酒井真理, 山口充孝, 長尾悠人, 赤松剛, 田島英朗, 山谷泰賀, 河地有木. 医用コンプトンカメラ標準性能評価法の ASTROCAM への適用. 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会. 仙台. 2022/9/20-23. 口頭発表.
- [9] 赤松剛, 田島英朗, 田久創大, 山口充孝, 河地有木, 酒井真理, 黒澤俊介, 錦戸文彦, 吉田英治, 高橋美和子, 山谷泰賀. コンプトンカメラ性能評価用 RI 密封ファントムの開発. 第 124 回日本医学物理学会学術大会. 長崎. 2022/9/15-17. ポスター発表.

7. 今後の課題と展開

- 医用コンプトンカメラの標準評価法・標準ファントムに関する研究成果を英語論文として公表する
- 開発した標準ファントム容器を活用し、非密封 RI (^{131}I など) を用いてコンプトンカメラと診療用ガンマカメラ (SPECT) の比較評価を行う
- 複数のコンプトンカメラの性能評価データを活用して有望な検出器を見出し、ヒトサイズの臨床用コンプトンカメラ試作機の開発を加速させる

8. 研究費の使途

別途添付して提出した。

9. 特記事項

なし