

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01/06/2022

専攻名 (専門分野) Department	物理及応用物理学 専攻	氏名 Name	小俣 陽久	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	5320A018-4 CD		
研究題目 Title	次世代医療応用を目指した広帯域 X 線ガンマ線カメラの研究				

【研究背景】

核医学の分野において、体内の薬剤分布を迅速かつ正確に可視化する技術が不可欠である。一般に、放射性核種が放射される特性 X 線や核ガンマ線を可視化する手法が用いられるが、これら光子のエネルギーは数十 keV から MeV の広帯域に渡る。現在主流の診断装置である SPECT や PET, また新たに注目されているコンプトンカメラの原理では、放射される広帯域の光子の一部しか可視化できない(図 1)。こうした制限は、臨床現場において追加の診断時間を要するだけでなく、可視化可能な新しい放射線薬剤の台頭を制限している。

本研究では、SPECT/PET/コンプトンカメラ全ての撮影帯域でイメージングが可能な新しい手法として、ピンホールカメラとコンプトンカメラを融合した「ハイブリッド・コンプトンカメラ(HCC)」をからなるシステムを開発し、広エネルギー帯域の同時撮影を実証した。

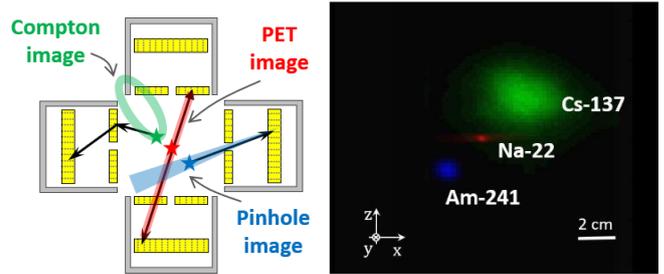


図 3. トリモダル撮影の概念図(左)と撮影画像(右)

【放射性薬剤の撮影】

核医学応用に向けた実証実験として、核医学診断で臨床利用されている In-111, Ga-67 診断薬の撮影を行い、HCC システムを用いて各診断薬の3次元撮影が可能であることを示した。さらに、核医学治療薬[At-211] NaAt を投与したマウスの撮影を行った。マウス体内の集積後の治療薬分布の可視化に成功したほか(図 4)、生体マウス体内における治療薬の動態の可視化に成功した(図 5)。

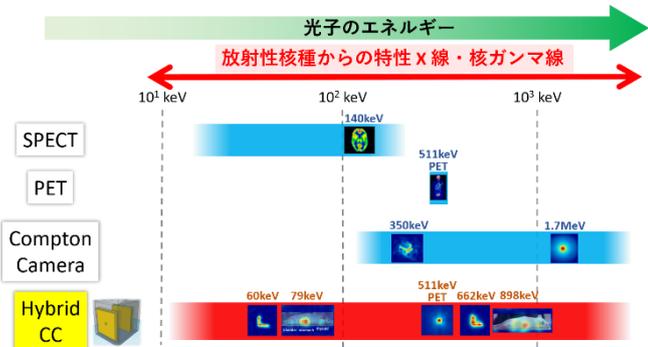


図 1. 各装置で撮影可能な光子のエネルギー。HCC は従来の各装置の撮影帯域を網羅する。

【ハイブリッド・コンプトンカメラの開発と実証実験】

HCC は二層の検出器からなり、各検出器は GAGG シンチレータアレイとMPPCアレイから構成される(図 2)。前段シンチレータアレイの中央に穴を穿つことによって、コンプトンカメラとしての高エネルギー帯域(>200keV)撮影に加えて、ピンホールカメラとしての低エネルギー帯域(<200keV)も撮影可能である。本研究では 4 台の HCC からなるシステムを開発し、ステレオ撮影を実施した。

実証実験として、SPECT で撮影可能な Am-241, PET が撮影可能な Na-22, コンプトンカメラで撮影可能な Cs-137 の 3 線源の同時撮影を行った(図 3)。

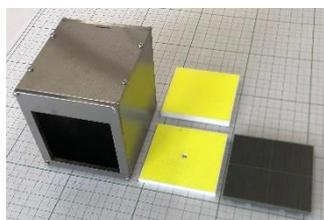


図 2. HCC の構成

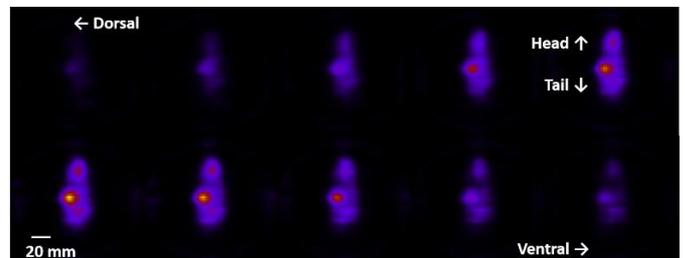


図 4. 核医学治療薬 NaAt を投与したマウス体内の 3 次元薬剤分布 (2.3mm-pitch slice)。

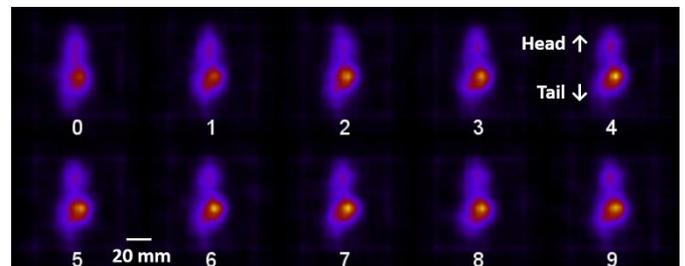


図 5. 核医学治療薬 NaAt を投与した生体マウス体内の 10 分毎の薬剤分布画像。

【今後の展望】

本研究では、ハイブリッド・コンプトンカメラ4台からなるイメージングシステムを開発し、広帯域 X 線・ガンマ線の 3 次元撮影を実証した。また、核医学診断薬や核医学治療薬の可視化に対する有効性を示した。今後は、核医学応用に向けて更なる装置の改良を行うほか、小型衛星搭載用カメラに向けた構成の検討と開発を行う。

【研究業績リスト】

2022年3月3日現在

各人の所属機関：早稲田大学先進理工学研究科^A，大阪大学医学系研究科^B，大阪大学放射線科学基盤機構^C，理化学研究所光量子工学研究センター^D，理化学研究所白眉研究チーム^E，理化学研究所仁科加速器科学研究センター^F

○：主著者・講演発表者

査読付き論文

1. ○Akihisa Omata^A, Miho Masubuchi^A, Nanase Koshikawa^A, Jun Kataoka^A, Hiroki Kato^B, Atsushi Toyoshima^C, Takahiro Teramoto^C, Kazuhiro Ooe^B, Yuwei Liu^B, Keiko Matsunaga^B, Takashi Kamiya^B, Tadashi Watabe^B, Eku Shimosegawa^B and Jun Hatazawa^B, “Multi-modal 3D imaging of radionuclides using multiple hybrid Compton cameras”, *Scientific Reports* 12, 2546, 2022.
2. ○Akihisa Omata^A, Jun Kataoka^A, Kazuya Fujieda^A, Shogo Sato^A, Eri Kuriyama^A, Hiroki Kato^B, Atsushi Toyoshima^C, Takahiro Teramoto^C, Kazuhiro Ooe^B, Yuwei Liu^B, Keiko Matsunaga^B, Takashi Kamiya^B, Tadashi Watabe^B, Eku Shimosegawa^B and Jun Hatazawa^B, “Performance demonstration of a hybrid Compton camera with an active pinhole for wide-band X-ray and gamma-ray imaging”, *Scientific Reports* 10, 14064, 2020.

国際会議 (oral)

1. ○Akihisa Omata^A, Miho Masubuchi^A, Nanase Koshikawa^A, Jun Kataoka^A, Hiroki Kato^B, Atsushi Toyoshima^C, Takahiro Teramoto^C, Kazuhiro Ooe^B, Yuwei Liu^B, Keiko Matsunaga^B, Takashi Kamiya^B, Tadashi Watabe^B, Eku Shimosegawa^B and Jun Hatazawa^B, “Performance demonstration of multi-modal imaging using hybrid Compton cameras”, The 16th Vienna Conference on Instrumentation, Vienna (online), Feb. 21-25, 2022.
2. ○Akihisa Omata^A, Miho Masubuchi^A, Jun Kataoka^A, Hiroki Kato^B, Atsushi Toyoshima^C, Takahiro Teramoto^C, Kazuhiro Ooe^B, Yuwei Liu^B, Keiko Matsunaga^B, Takashi Kamiya^B, Tadashi Watabe^B, Eku Shimosegawa^B and Jun Hatazawa^B, “Performance demonstration of multi-modal imaging using hybrid Compton cameras”, 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Yokohama (online), Oct. 21, 2021.
3. ○Akihisa Omata^A, Jun Kataoka^A, Kazuya Fujieda^A, Shogo Sato^A, Eri Kuriyama^A, Hiroki Kato^B, Atsushi Toyoshima^C, Kazuhiro Ooe^B, Yuwei Liu^B, Keiko Matsunaga^B, Takashi Kamiya^B, Tadashi Watabe^B, Eku Shimosegawa^B and Jun Hatazawa^B, “Wide-band imaging using a hybrid X-ray and gamma-ray camera”, 2020 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Boston (online), Nov. 3, 2020.

国内会議（口頭発表）

1. ○小俣 陽久^A, 増淵 美穂^A, 越川 七星^A, 岡崎 優^A, 片岡 淳^A, 加藤 弘樹^B, 松永 恵子^B, 豊嶋 厚史^C, 小林 知洋^D, 若林 泰生^D, 「広帯域 X 線ガンマ線による革新的放射化イメージング手法の提案 2」, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, オンライン, 2021 年 9 月 10 日.
2. ○小俣 陽久^A, 片岡 淳^A, 増淵 美穂^A, 加藤 弘樹^B, 豊嶋 厚史^C, 寺本 高啓^C, 大江 一弘^B, 劉 雨薇^B, 松永 恵子^B, 神谷 貴史^B, 渡部 直史^B, 下瀬川 恵久^B, 畑澤 順^B, 「ハイブリッド・コンプトンカメラを用いた核医学治療に向けた 3 次元イメージングの実証」, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, オンライン, 2021 年 3 月 17 日.
3. ○小俣 陽久^A, 片岡 淳^A, 藤枝 和也^A, 佐藤 将吾^A, 栗山 映里^A, 加藤 弘樹^B, 豊嶋 厚史^C, 寺本 高啓^C, 大江 一弘^B, 劉 雨薇^B, 松永 恵子^B, 神谷 貴史^B, 渡部 直史^B, 下瀬川 恵久^B, 畑澤 順^B, 「アクティブピンホールを用いた広帯域ガンマ線カメラの性能実証」, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, オンライン, 2020 年 9 月 10 日.

受賞

1. 応用物理学会放射線分科会 放射線分科会学生優秀講演賞, 「ハイブリッド・コンプトンカメラを用いた核医学治療に向けた 3 次元イメージングの実証」, 第 68 回応用物理学会春季学術講演会, 2021.
2. 応用物理学会放射線分科会 放射線分科会学生優秀講演賞, 「アクティブピンホールを用いた広帯域ガンマ線カメラの性能実証」, 第 81 回応用物理学会秋季学術講演会, 2020.

解説論文

1. 片岡 淳^A, 小俣 陽久^A, 増淵 美穂^A, 越川 七星^A, コンプトンカメラを用いたアクティブ動態イメージング, MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, 2021;39(5), 日本医用画像工学会.

報道・プレスリリースなど

1. 「X 線からガンマ線まで同時に可視化」, 科学新聞, 2020 年 10 月 2 日 4 面.
2. 「X 線ガンマ線の同時可視化を可能に」, プレスリリース: 早稲田大学 (<https://www.waseda.jp/top/news/69935>), 大阪大学 (https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20200827_3), 2020 年 8 月 27 日.
3. 「早大と阪大、数十キロ電子ボルト～数メガ電子ボルトの X 線ガンマ線を同時に可視化できるコンパクトなカメラを開発」, 日本経済新聞 (電子版: https://www.nikkei.com/article/DGXMLRSP539528_27082020000000/), 2020 年 8 月 27 日.

1. (査読付き論文) ○Nanase Koshikawa^A, Akihisa Omata^A, Miho Masubuchi^A, Yu Okazaki^A, Jun Kataoka^A, Keiko Matsunaga^B, Hiroki Kato^B, Yasuo Wakabayashi^D and Tomohiro Kobayashi^D, “Proof of concept of novel activation imaging with hybrid Compton camera”, *Scientific Reports*, under review.
2. (国際会議) ○Miho Masubuchi^A, Akihisa Omata^A, Jun Kataoka^A, Hiroki Kato^B, Atsushi Toyoshima^C, Takahiro Teramoto^C, Kazuhiro Ooe^B, Yuwei Liu^B, Keiko Matsunaga^B, Takashi Kamiya^B, Tadashi Watabe^B, Eku Shimosegawa^B and Jun Hatazawa^B, “Double-photon simultaneous imaging using a hybrid X-ray and gamma-ray camera”, 2021 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Yokohama (online), Oct. 19, 2021.
3. (国際会議) ○Eri Kuriyama^A, Jun Kataoka^A, Kazuya Fujieda^A, Akihisa Omata^A, Takaya Toyoda^A, Teruaki Enoto^E and Yuki Wada^F, “Observations of three gamma-ray bursts during thunderstorms with high-time resolution”, 2020 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, Boston (online), Nov. 4, 2020.
4. (国内会議) ○増渕 美穂^A, 小俣 陽久^A, 越川 七星^A, 片岡 淳^A, 加藤 弘樹^B, 豊嶋 厚史^C, 寺本 高啓^C, 大江 一弘^B, 劉 雨薇^B, 松永 恵子^B, 神谷 貴史^B, 渡部 直史^B, 下瀬川 恵久^B, 畑澤 順^B, 「広帯域 X 線ガンマ線撮像による生体マウス薬物動態 (At-211) イメージングの実証」, 第 69 回応用物理学会春季学術講演会, オンライン, 2022 年 3 月 23 日.
5. (国内会議) ○増渕 美穂^A, 小俣 陽久^A, 越川 七星^A, 片岡 淳^A, 加藤 弘樹^B, 豊嶋 厚史^C, 寺本 高啓^C, 松永 恵子^B, 神谷 貴史^B, 渡部 直史^B, 下瀬川 恵久^B, 畑澤 順^B, 上ノ町 水紀^F, 「広帯域 X 線ガンマ線による新規イメージング手法の開発と実証」, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, オンライン, 2021 年 9 月 10 日.
6. (国内会議) ○越川 七星^A, 小俣 陽久^A, 増渕 美穂^A, 岡崎 優^A, 片岡 淳^A, 加藤 弘樹^B, 松永 恵子^B, 豊嶋 厚史^C, 小林 知洋^D, 若林 泰生^D, 「広帯域 X 線ガンマ線による革新的放射化イメージング手法の提案 1」, 第 82 回応用物理学会秋季学術講演会, オンライン, 2021 年 9 月 10 日.
7. (国内会議) ○栗山 映里^A, 片岡 淳^A, 藤枝 和也^A, 小俣 陽久^A, 豊田 貴也^A, 榎戸 輝揚^E, 和田 有希^E, 「新潟県山間部における雷ガンマ線観測システムの開発と初期成果」, 日本物理学会 2020 年秋季大会, オンライン, 2020 年 9 月 17 日.
8. (研究会) ○増渕 美穂^A, 小俣 陽久^A, 越川 七星^A, 片岡 淳^A, 加藤 弘樹^B, 豊嶋 厚史^C, 寺本 高啓^C, 大江 一弘^B, 劉 雨薇^B, 松永 恵子^B, 神谷 貴史^B, 渡部 直史^B, 下瀬川 恵久^B, 畑澤 順^B, 「核医学治療に向けたハイブリッド・コンプトンカメラによる 3 次元イメージングの実証」, 短寿命 RI 供給プラットフォーム成果報告会 兼 RI 利用研究会, オンライン, 2021 年 7 月 20 日.