

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 8/1/2020

専攻名 (専門分野) Department	物理学及 応用物理学専攻	氏名 Name	丸橋 拓也	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 5318A051-5		
研究題目 Title	次世代型カラーX線CTシステムにおけるK吸収端イメージングの実証				

【研究背景・目的】

従来CTでは、被ばく量が10mSv/scanと高く、モノクロCT画像しか得られない。これらの原因は、従来のX線検出器がエネルギーの異なる個々のX線信号を積算して読み出している(電流モード)ためである。一方、photon counting CT (PC-CT)は信号をパルスモード読み出しにすることで、個々のX線光子のエネルギー情報を取得し、従来では不可能な被ばく量の低減化やCT画像のカラー化を実現する。

そこで我々はMPPCを用いたPC-CTを開発し、先行研究では被ばく量を1/100程度まで低減化することに成功した。本研究では、我々のPC-CTのカラーCT画像技術を利用した造影剤のK吸収端イメージングに挑戦した。このK吸収端イメージングとは、造影剤ごとに異なるK吸収端エネルギー(図1参照)を利用することで、従来の造影CTよりも体内における造影剤の薬物動態をより多角的かつ正確に把握可能とするイメージング手法である。以下、1mm角の64-ch 1次元アレイ状MPPC及び、YGAGシンチレータを用いて、 ^{53}I と ^{64}Gd 造影剤、さらに将来臨床化が期待される金ナノ粒子(AuNP)造影剤をK吸収端イメージングした結果を示す。

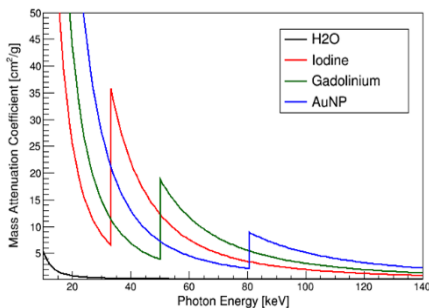


図1. 質量減弱係数曲線

【 ^{53}I と ^{64}Gd 造影剤の同時イメージング】

^{53}I と ^{64}Gd 造影剤の同時イメージング結果を図2に示す。従来CTではモノクロCT画像(図2B)のみ得られるため、 ^{53}I と ^{64}Gd が同じ白黒のコントラストで描画されてしまい、造影剤の判別不可である。

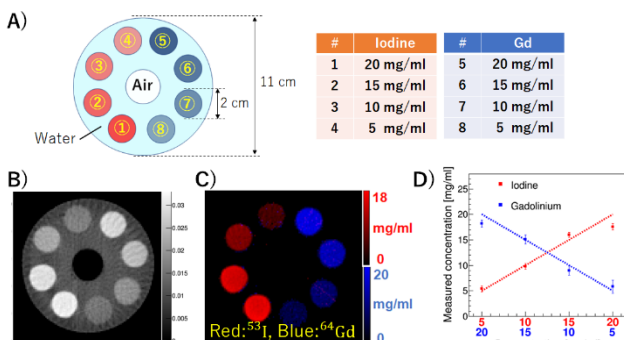


図2. ^{53}I と ^{64}Gd 造影剤の同時イメージング:A)ファントム模式図、B)従来モノクロCT画像、C)PC-CTカラー画像、D)造影剤の推定濃度評価

対するPC-CTは ^{53}I と ^{64}Gd のK吸収端エネルギーの違いを利用して、図2Cに示すようイオドを赤、ガドリニウムを青としたカラーCT画像を取得し、それら造影剤の弁別に成功した。そして、PC-CT画像における造影剤の推定濃度を図2Dにまとめた結果

(実測値:プロット、理論値:直線)、 ^{53}I と ^{64}Gd 共に良い精度で各造影剤の濃度[mg/ml]を推定できたことが分かる。

【MixファントムのK吸収端イメージング】

配合濃度の異なる ^{53}I と ^{64}Gd 造影剤の混合液であるMixファントムをイメージングした結果を図3に示す。図3Bの従来CT画像では、配合濃度の異なる2つのMixファントムが同じコントラストで描画されてしまい、それら配合濃度の違いが判別できない。対する図3CのPC-CT画像では、 ^{53}I と ^{64}Gd のK吸収端エネルギーの違いを利用して、 ^{53}I と ^{64}Gd を特異的に描画し、それら造影剤の配合濃度まで画像化することに成功した。

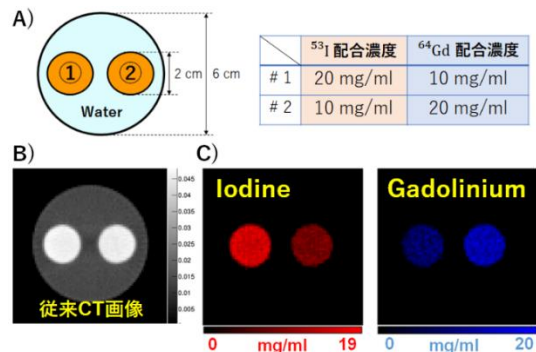


図3. Mixファントム:A)ファントム模式図、B)従来CT画像、C)PC-CT画像

【金ナノ粒子(AuNP)のK吸収端イメージング】

抗がん剤であるAuNP等の高原子番号のナノ粒子は、ドラッグデリバリーシステムの1種である“EPR効果”で腫瘍組織に蓄積される。しかし、それら薬剤の伝達・治療効果を確かめるには人体を切開する必要があった。そこで、ナノ粒子のK吸収端エネルギーを利用してPC-CTイメージングを用いて、抗がん剤の簡易かつ迅速な可視化をなすことで、患者の負担を従来よりも軽減させた腫瘍の診断・治療を実現する。

図4に我々のPC-CTでAuNPをK吸収端イメージングした結果を示す。AuのK吸収端エネルギー80.7keVを利用して、我々のPC-CTシステムは初めてAuNPを特異的に画像化することに成功した。

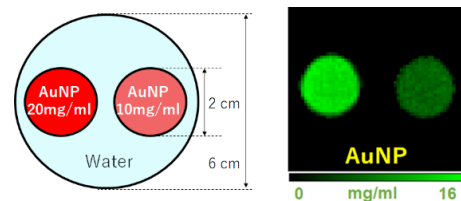


図4. AuNPのK吸収端イメージング:左)ファントム模式図、右)PC-CT画像

【まとめと今後の展望】

本研究では、我々が開発したPC-CTで様々な造影剤のK吸収端イメージングをし、従来CTの造影イメージングでは不可能とされる造影剤の画像化に成功した。今後は、このK吸収端イメージングにおける造影剤の濃度推定精度や、エネルギー分解能、X線レート耐性の向上に向け様々なシンチレータ、及びMPPCの比較検証をしつつ、機械学習によるCT画像の画質向上を目指す。

【研究業績リスト】

各人の所属機関

早稲田大学^A、金沢大学^B、日立金属(株)^C、ISAS^D、大阪大学^E、浜松ホトニクス(株)^F、名古屋陽子線治療センター^G、QST^H、東京女子医科大^I、東京大学^J、放医研^K

○：主著者・講演発表者

- 1) 国際会議(Oral 発表)：PM2018 -14th Pisa Meeting on Advanced Detectors (2018), Elba, Italy
タイトル：Evaluation of a novel photon-counting CT system using 16-ch MPPC array for multicolor 3D imaging
発表者・連名者：○T. Maruhashi^A, J. Kataoka^A, H. Morita^A, K. Fujieda^A, M. Arimoto^B, H. Nitta^C, H. Ikeda^D
- 2) 国際会議(Oral 発表)：PD18 5th International Workshop on New Photon-Detectors, Tokyo, Japan
タイトル：Evaluation of a novel photon-counting CT system using 16-ch MPPC array for multicolor 3D imaging
発表者・連名者：○T. Maruhashi^A, J. Kataoka^A, H. Kiji^A, M. Arimoto^B, S. Terazawa^C, S. Shiota^C, H. Nitta^C, H. Ikeda^D
- 3) 国際会議(Oral 発表)：VCI2019 15th VIENNA CONFERENCE OF INSTRUMENTATION, Vienna, Austria
タイトル：Evaluation of a novel photon-counting CT system using 16-ch MPPC array for multicolor 3D imaging
発表者・連名者：○T. Maruhashi^A, J. Kataoka^A, H. Kiji^A, M. Arimoto^B, S. Terazawa^C, S. Shiota^C, H. Ikeda^D
- 4) 査読付き論文：Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 936 (2019) 5-9
タイトル：Evaluation of a novel photon-counting CT system using 16-ch MPPC array for multicolor 3D imaging
主著者・共著者：○T. Maruhashi^A, J. Kataoka^A, H. Morita^A, K. Fujieda^A, H. Kiji^A, M. Arimoto^B, H. Nitta^C, H. Ikeda^D
- 5) 査読付き論文：Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, In press (2019)
タイトル：Demonstration of multiple contrast agent imaging for the next generation color X-ray CT
主著者・共著者：○T. Maruhashi^A, J. Kataoka^A, H. Kiji^A, M. Arimoto^B, S. Terazawa^C, S. Shiota^C, H. Ikeda^D
- 6) 国内会議(Oral 発表)：応用物理学会第65回春季学術講演会 (2018)
タイトル：マルチチャンネル MPPC を用いた低被ばくかつ多色 X 線 CT の構築と評価
発表者・連名者：○丸橋拓也^A、片岡淳^A、森田隼人^A、藤枝和也^A、有元誠^B、新田英雄^C
- 7) 国内会議(Oral 発表)：応用物理学会第80回秋季学術講演会 (2019)
タイトル：次世代型カラー X 線 CT システムによる K 吸収端イメージングの性能評価
発表者・連名者：○丸橋拓也^A、片岡淳^A、木地浩章^A、豊田貴也^A、有元誠^B、小林聡^B、川嶋広貴^B、寺澤慎祐^C、塩田諭^C、池田博一^D
- 8) 共著1(査読付き論文)；Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 912 (2018) 1-5
タイトル：Ultracompact Compton camera for innovative gamma-ray imaging
主著者・共著者：○J. Kataoka^A, A. Kishimoto^A, T. Taya^A, S. Mochizuki^A, L. Tagawa^A, A. Koide^A, K. Sueoka^A, H. Morita^A, T. Maruhashi^A, K. Fujieda^A, T. Kurihara^A, M. Arimoto^B, H. Okochi^A, N. Katsumi^A, S. Kinno^A, K. Matsunaga^E, H. Ikeda^E, E. Shimosegawa^E, J. Hatazawa^E, S. Ohsuka^F, T. Toshito^G, M. Kimura^G, Y. Nagao^H, M. Yamaguchi^H, K. Kurita^H, N. Kawachi^H
- 9) 共著2(査読付き論文)；Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 912 (2018) 186-190
タイトル：Development of LSI for a new kind of photon-counting computed tomography using multipixel photon counters
主著者・共著者：○M. Arimoto^B, H. Morita^A, K. Fujieda^A, T. Maruhashi^A, J. Kataoka^A, H. Nitta^C, H. Ikeda^D
- 10) 共著3(査読付き論文)；Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 924 (2019) 332-338
タイトル：Development of simple proton CT system with novel correction methods of proton scattering
主著者・共著者：○M. Takabe^A, T. Masuda^A, J. Kataoka^A, K. Sueoka^A, T. Maruhashi^A, M. Arimoto^B, S. Tanaka^I, T. Nishio^I, T. Toshito^G, M. Kimura^G, T. Inaniwa^K
- 11) 共著4(査読付き論文)；Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers,

Detectors and Associated Equipment, 936 (2019) 43-45

タイトル : High-precision Compton imaging of 4.4 MeV prompt gamma-ray toward an on-line monitor for proton therapy

主著者・共著者 : ○S. Mochizuki^A, J. Kataoka^A, A. Koide^A, K. Fujieda^A, T. Maruhashi^A, T. Kurihara^A, K. Sueoka^A, L. Tagawa^A, M. Yoneyama^A, T. Inaniwa^K

- 12) 共著5(査読付き論文) ; Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 936 (2019) 31-33

タイトル : Development of novel neutron camera to estimate secondary particle dose for safe proton therapy

主著者・共著者 : ○L. Tagawa^A, J. Kataoka^A, K. Sueoka^A, K. Fujieda^A, T. Kurihara^A, S. Mochizuki^A, T. Maruhashi^A, M. Arimoto^B, T. Toshito^G, M. Kimura^G, T. Inaniwa^K