

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：31201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26461804

研究課題名(和文) ダークカウントの無い Mcps エネルギー弁別を利用した高画質前臨床 X 線 CT

研究課題名(英文) Zero-dark-counting Mcps-range X-ray detectors and their applications to high-image-quality preclinical energy-dispersive CT

研究代表者

佐藤 英一 (Sato, Eiichi)

岩手医科大学・教養教育センター・教授

研究者番号：90154038

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000 円

研究成果の概要(和文)：Mcps領域でX線フォトンカウントしてエネルギー弁別可能なダークカウントが無い検出器に関する基礎研究を行い、エネルギー分解能の向上をはかった。次いで、デュアルエネルギー(DE)フォトンカウンターを作製し、第1世代CTスキャナーに組み込み、ヨウ素(I)とガドリニウム(Gd)の造影剤が入ったファントムを用いてKエッジCT撮影を行った。さらにクアッドエネルギー(QE)カウンターを試作し、QE-CT撮影を行なった。最後に、空間分解能が0.1 mmのCdTeアレーを用い、DE-CTに関する基礎実験を行い、I-KエッジCTによりI原子を高コントラストで描出できた。

研究成果の概要(英文)：We performed fundamental experiments concerning zero-dark-counting Mcps-range X-ray photon detectors of LSO-MPPC and YAP(Ce)-MPPC. In these experiments, the count rate was increased, and the special resolutions were improved. Next, we developed a dual-energy (DE) photon counter to select two different energy ranges, and K-edge CT using iodine (I) and gadolinium (Gd) media was performed. The quad-energy (QE) counter was developed to perform QE-CT, and four different energy tomograms were obtained simultaneously. Finally, high-spatial-resolution DE-CT was accomplished using a CdTe-array detector with a spatial resolution of 0.1 mm, and high-spatial-resolution I-K-edge CT was performed.

研究分野：X線画像工学

キーワード：CdTe検出器 YAP(Ce)-MPPC検出器 LSO-MPPC検出器 フォトンカウンティングX線CT エネルギー弁別CT  
デュアルエネルギーカウンター クアッドエネルギーカウンター スペクトラルX線CT

## 1. 研究開始当初の背景

日本におけるエネルギー弁別 X 線 CT (ED-CT) スキャナーに関する研究は、法政大学の尾川等そして静岡大学の青木等によって始められ、これらの ED-CT スキャナーには既成のテルル化カドミウム (CdTe) ライン検出器が用いられた。

筆者等は後発ではあるが、エネルギー分解能 1.2 keV の CdTe 検出器を用い、検出器を振動させてプロジェクションデータを撮るような第一世代の ED-CT スキャナーを構築した。これを用いてヨウ素 (I) やガドリニウム (Gd) 造影剤を使った K エッジ撮影を行い、比較的良好な成果が得られた。さらに Feuerlein 等が CdTe の検出器アレーを使って前臨床用の ED-CT スキャナーを構築し、K エッジ撮影を行ったが、まだ臨床用の装置は実現されていないようである。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、まずマルチピクセルフォトンカウンター (MPPC)、小型光電子増倍管 (sPMT)、そしてマイクロ光電子増倍管 ( $\mu$ PMT) を用い、ダークカウントが無い Mcps のエネルギー弁別 X 線フォトン検出器の基礎研究を行い、カウントレートの増加、エネルギー分解能と空間分解能の向上を目指した。次いで、デュアルエネルギー (DE) とクアッドエネルギー (QE) のカウンターを製作し、基礎研究用の DE-CT と QE-CT を開発した。最終的にこれらの研究成果をもとに前臨床用の ED-CT スキャナーを開発し、臨床用 ED-CT の実現を試みた。

## 3. 研究の方法

(1) YAP(Ce)-MPPC と LSO-MPPC の検出器を試作し、新しい電流・電圧増幅器と組み合わせてダークカウントが無い Mcps 級の検出器を開発し、エネルギー分解能を測定した。

(2) YAP(Ce)-sPMT、LSO-sPMT、YAP(Ce)- $\mu$ PMT、LSO- $\mu$ PMT の検出器を試作し、新しい反転増幅器と組み合わせてダークカウントが無い検出器を開発し、エネルギー分解能を測定した。

(3) コンパレータ、マイコン、周波数電圧変換器を組み合わせたデュアルエネルギー (DE) フォトンカウンターを作製した。

(4) 上記 6 種の検出器と DE カウンターを第一世代の CT スキャナーに組み込み、DE-CT スキャナーを構築した。次いで、I や Gd の造影剤を用いて DE-CT 撮影を行った。

(5) クアッドエネルギー (QE) カウンターを試作し、既成の CdTe 検出器と組み合わせて、QE-CT スキャナーを構築した。

(5) XCounter 社の CdTe アレー検出器を用いて高空間分解能 DE-CT 撮影を試みた。

(5) 前臨床用 ED-CT の基礎研究として、被写体を固定して、X 線管と検出器を回転する方式の ED-CT スキャナーを構築した。

## 4. 研究成果

(1) MPPC を使った検出器では MPPC のバイアス電圧をプリガイガーモードで調整することによりダークカウントを 0 cps にすることができた。カウントレートは 1 Mcps を超えたが、カウンターの最大レートが 100 kcps であったため、DE-CT の最大レートは約 100 kcps であった。造影剤を使った K エッジ撮影により、I と Gd が高コントラストで撮影できた。またエネルギー分解能は 30% 以下まで改善できる。

(2) sPMT や  $\mu$ PMT を使った検出器では増幅器の時定数を 200 ns 程度まで長くすることにより、ダークカウントを無くすことができた。よって、ダークカウント無しの条件下では 1 Mcps のレートを達成できなかった。DE-CT 撮影におけるレートは約 100 kcps で、K エッジ CT 撮影により造影剤が高コントラストで撮影できた。また、エネルギー分解能は 15% 程度まで改善することができた。

(3) 既成の CdTe 検出器のエネルギー分解能は約 1% at 122 keV であることから、QE-CT 撮影ではコントラストが異なる 4 種の断層像が同時に得られた。

(4) CdTe アレーを用いた DE-CT 撮影の空間分解能は CdTe ピクセルの大きさに相当し、約  $0.1 \times 0.1 \text{ mm}^2$  であった。I 造影剤を使った K エッジ CT 撮影により、微小血管が高コントラストで撮影できた。

(5) 前臨床用 ED-CT スキャナーにおいても断層像のエネルギー弁別効果を確認し、コーンビームの補正を行っているところである。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 24 件)

1. Sato, E., Kosuge, Y., Yamanome, H., Mikata, A., Miura, T., Oda, Y., Ishii, T., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Investigation of dual-energy X-ray photon counting using a cadmium telluride detector with dual-energy selection electronics, Rad. Phys. Chem. 130, 385-390 (2017)

2. Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Measurement of X-ray-tube voltage using a 0.3-mm-thick copper filter, Ann. Rep. Iwate Med. Univ. Center Lib. Arts Sci. 51, 1-5 (2016)

3. Sato, E., Oda, Y., Sagae, M., Yamaguchi, S., Sato, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Measurement of the X-ray tube voltage using filtrated spectra, Ann. Rep. Iwate Med. Univ. Center Lib. Arts Sci. 51, 7-10 (2016)

4. Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.:

- Spectral X-ray computed tomography scanner using a cadmium telluride detector, Proc. SPIE 9969, 99690L-1-6 (2016)
5. Sato, E., Oda, Y., Yuichi, S., Yamaguchi, Ishii, T., S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Investigation of a near-infrared-ray computed tomography scanner, Proc. SPIE 9969, 99690I-1-6 (2016)
  6. Sato, E., Ito, H., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray computed tomography scanner using an energy-selecting device and a cadmium telluride detector, Mech. Eng. J. 3, 16-00308-1-7 (2016)
  7. Sato, E., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S., Metoki, T., Sato, Y., Oda, Y., Sagae, M., Yamaguchi, S., Ehara, S.: Cancerous-region enhancement utilizing gadolinium-oxide nanoparticles and 7.0-T magnetic resonance imaging, Med. Imag. Inform. Sci., 33, 1-6 (2016).
  8. Oda, Y., Sato, E., Sagae, M., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Quasi-monochromatic X-ray computed tomography system using a cadmium telluride detector and its application to gadolinium imaging. Ann. Rep. Iwate Med. Univ. Center Lib. Arts Sci. 50, 23-30 (2015)
  9. Oda, Y., Sato, E., Sagae, M., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: High-sensitivity X-ray computed tomography using a ceramic-substrate silicon diode and a current-voltage amplifier module. Ann. Rep. Iwate Med Univ. Center Lib. Arts Sci. 50, 31-36 (2015)
  10. Sato, E., Ito, H., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy-dispersive X-ray computed tomography using a ceramic-substrate silicon diode. Ann. Rep. Iwate Med Univ. Center Lib. Arts. Sci. 50, 1-9 (2015)
  11. Sato, E., Ito, H., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray photon counting using a silicon-PIN diode and its application to photon-count energy subtraction. Ann. Rep. Iwate Med Univ. Center Lib. Arts Sci. 50, 11-21 (2015)
  12. Oda, Y., Sato, E., Wada, K., Momokawa, H., Kataoka, D., Otani, R., Yamaguchi, S., Ehara, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray computed tomography using a YAP(Ce)-multipixel-photon detector and an energy-selecting device. Med. Imag. Inform. Sci. 32, 71-76 (2015)
  13. Miura, Y., Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray computed tomography system using a cadmium telluride detector and its application to gadolinium imaging. Proc. SPIE 9594, 959402-1-7 (2015)
  14. Oda, Y., Sato, E., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Monochromatic X-ray photon counting using an energy-selecting device and its application to iodine imaging. Proc. SPIE 9594, 959405-1-6 (2015)
  15. Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray photon counting using an LSO-MPPC spectrometer and an energy-selecting device. Proc. SPIE 9594, 95940F-1-6 (2015)
  16. Sato, E., Oda, Y., Sagae, M., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: High-sensitivity X-ray computed tomography system using a direct-conversion silicon-PIN X-ray diode and a 50-ms-time-constant integrator. Ann. Rep. Iwate Med. Univ. Center Lib. Arts Sci. 49, 1-8 (2014)
  17. Sato, E., Oda, Y., Sagae, M., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Low-dose-rate X-ray detection using a direct-conversion ceramic-substrate silicon diode and a 5-m-length coaxial cable. Ann. Rep. Iwate Med. Univ. Center Lib. Arts Sci. 49, 9-14 (2014)
  18. Fujii, T., Fukuyama, N., Tanaka, C., Ikeya, Y., Shinozaki, Y., Kawai, T., Atsumi, T., Shiraiishi, T., Sato, E., Kuroda, R., Toyokawa, H., Yamada, K., Ikarib, Y., Mori, H.: Visualization of microvessels by angiography using inverse-Compton scattering X-rays in animal models. J. Synchrotron Rad. 21, 1327–1332 (2014)
  19. Yamaguchi, S., Sato, E., Oda, Y., Nakamura, R., Oikawa, H., Yabuushi, T., Ariga, H., Ehara, S.: Zero-dark-counting high-speed X-ray photon detection using a cerium-doped yttrium aluminum perovskite crystal and a small photomultiplier tube and its application to gadolinium imaging. Jpn. J. Appl. Phys. 53, 040304-1-4 (2014)
  20. Kami, S., Sato, E., Kogita, H., Numahata, W., Hamaya, T., Nihei, S., Arakawa, Y., Oda, Y., Kodama, H., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Osawa, A., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S., Sato, S., Ogawa, A.: Zero-dark-counting X-ray photon detection using a YAP(Ce)-MPPC detector and its application to computed tomography using gadolinium contrast media. Rad. Phys. Chem. 100, 1-7 (2014)
  21. Arakawa, Y., Sato, E., Kogita, H., Hamaya, T., Nihei, S., Numahata, W., Kami, S., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Osawa, A., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S., Sato, S., Ogawa, A.: Investigation of X-ray photon-counting using ceramic-substrate silicon diode and its application to gadolinium imaging. Jpn. J. Appl. Phys. 53, 072201-1-5 (2014)
  22. Shimamura, A., Sato, E., Shikanai, S., Kitakami, K., Nakaya, I., Nishikawa, W., Sato, Y., Yamaguchi, S., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S., Ehara, S.: Image-quality improvement in pileup-less cadmium-telluride X-ray computed tomography using a frequency-voltage converter and its application to iodine imaging. Med. Imag.

Inform. Sci. 31, 35-40 (2014)

23. Hagiwara, O., Sato, E., Watanabe, M., Sato, Y., Oda, Y., Matsukiyo, H., Osawa, A., Enomoto, T., Kusachi, S., Ehara, S.: Investigation of dual-energy X-ray photon counting using a cadmium telluride detector and two comparators and its application to photon-count energy subtraction. Jpn. J. Appl. Phys. 53, 102202-1-6 (2014)

24. Nihei, S., Sato, E., Hamaya, T., Numahata, W., Kogita, H., Kami, S., Arakawa, Y., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Osawa, A., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Construction of an X-ray detecting module and its application to relative-sensitivity measurement using a silicon PIN diode in conjunction with short-decay-time scintillators. Nucl. Instrum. Meth. A 767, 193-198 (2014)

[学会発表](計 61 件)

1. 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤裕一, 山口哲, 江原茂:LYSO- $\mu$ PMT 検出器を用いたデュアルエネルギー X 線 CT スキャナーの試作, 第 50 回日本生体医工学会東北支部大会, 1 月, 2017, 仙台.

2. 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤裕一, 江原茂: 940 nm 近赤外線 CT スキャナーの試作, 第 50 回日本生体医工学会東北支部大会, 1 月, 2017, 仙台.

3. 佐藤裕一, 佐藤英一, 小田泰行, 山口哲, 江原茂: LSO-MPPC 検出器を用いた高速デュアルエネルギーフォトンカウンティング CT スキャナーの構築, 第 50 回日本生体医工学会東北支部大会, 1 月, 2017, 仙台.

4. 小田泰行, 佐藤英一, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 山口哲, 江原茂, 佐藤公悦: CdTe 検出器を使ったスペクトラル X 線 CT システム, 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 2016 年 4 月, 横浜.

5. 佐藤英一, 小田泰行, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 山口哲, 江原茂, 佐藤公悦: CdTe 検出器を使ったスペクトラル X 線 CT システム, 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 2016 年 4 月, 横浜.

6. 山口哲, 角原久夫, 菊池光洋, 及川博文, 中村隆二, 有賀久哲, 佐藤英一: エネルギー弁別 X 線 CT を利用した金属アーチファクト低減の基礎検証, 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 2016 年 4 月, 横浜.

7. 佐藤裕一, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 江原茂: シリコン X 線ダイオードとエネルギー選択器を使ったデュアルエネルギー CT, 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 2016 年 4 月, 横浜.

8. 寒河江康朗, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤裕一, 山口哲, 江原茂, 佐藤公悦: CdTe 検出器と 2 つのエネルギー選択器を使ったデュ

ルエネルギー X 線 CT システム 2016 年 4 月, 横浜.

9. Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Spectral X-ray computed tomography scanner using a cadmium telluride detector, SPIE Optics+Photonics, August 2016, San Diego.

10. Sato, E., Oda, Y., Yuichi, S., Yamaguchi, Ishii, T., S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Investigation of a near-infrared-ray computed tomography scanner, SPIE Optics+Photonics, August 2016, San Diego.

11. Enomoto, T., Sato, E., Oda, Y., Ishii, T., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: High-speed dual-energy X-ray photon counting utilizing an LSO-multipixel photon detector, 31th Int. Congr. on High Speed Imaging and Photonics, November 2016, Osaka.

12. Sato, E., Oda, Y., Ishii, T., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: High-speed dual-energy X-ray photon counting using a micro-photomultiplier tube and a LYSO crystal, 31th Int. Congr. on High Speed Imaging and Photonics, November 2016, Osaka.

13. Ishii, T., Sato, E., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Quad-energy X-ray photon counting using a CdTe detector and its application to spectral computed tomography, 31th Int. Congr. on High Speed Imaging and Photonics, November 2016, Osaka.

14. Hagiwara, O., Sato, E., Oda, Y., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: High-speed triple-energy X-ray photon counting using a small photomultiplier tube and an LSO crystal, 31th Int. Congr. on High Speed Imaging and Photonics, November 2016, Osaka.

15. Sato, Y., Sato, E., Yamaguchi, S., Ehara, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray computed tomography scanner utilizing an LSO-multipixel photon detector, 22nd Int. Conf. on Medical Physics, December 2016, Bangkok.

16. Sato, E., Oda, Y., Ishii, T., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Spectral X-ray computed tomography scanner using a cadmium telluride detector, 22nd Int. Conf. on Medical Physics, December 2016, Bangkok.

17. Sato, E., Oda, Y., Sato, Y., Ishii, T., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: First-generation near-infrared-ray computed tomography scanner, 22nd Int. Conf. on Medical Physics, December 2016, Bangkok.

18. 小田泰行, 佐藤英一, 佐藤公悦, 萩原令彦, 松清大, 渡邊学, 草地信也: マイコンと CdTe 検出器を用いた単色 X 線 CT の基礎研究. 高速度イメージングとフォトンクスに関する総合シンポジウム, 11 月, 2015, 盛岡.

19. 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 萩原令彦,

松清大, 渡邊学, 草地信也: CdTe 検出器を使ったスペクトラルX線 CT システムの構築. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

20. 松清大, 萩原令彦, 渡邊学, 草地信也, 佐藤英一, 小田泰行: CdTe 検出器を用いた高感度蛍光X線カメラ. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

21. 山口哲, 角原久夫, 菊池光洋, 及川博文, 中村隆二, 有賀久哲, 江原茂, 佐藤英一: 検出器を用いて測定した X 線スペクトルのピクセル数による変化. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

22. 佐藤英一, 小田泰行, 山口哲, 萩原令彦, 松清大, 渡邊学, 草地信也: YAP(Ce)-MPPC 検出器を使ったX線スペクトルの測定とデュアルエネルギーCT への応用. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

23. 渡邊学, 萩原令彦, 松清大, 草地信也, 佐藤英一, 小田泰行, 山口哲: スペクトラルX線 CT と 7T-MRI による分子イメージング. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

24. 山口哲, 角原久夫, 菊池光洋, 及川博文, 中村隆二, 有賀久哲, 江原茂, 佐藤英一: 結晶と小型光電子増倍管検出器を用いた高速エネルギー弁別X線 CT システムとガドリニウムイメージング. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

25. 寒河江康朗, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤裕一, 萩原令彦, 松清大, 渡邊学, 草地信也: シリコンX線ダイオードを用いたX線の検出と高感度 CT への応用. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

26. 佐藤裕一, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 萩原令彦, 松清大, 渡邊学, 草地信也: シリコン X 線ダイオードを使ったデュアルエネルギーCT システムの構築. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

27. 佐藤英一, 寒河江康朗, 佐藤公悦: 弱電離黄銅プラズマターゲットからのX線スペクトル. 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム, 11月, 2015, 盛岡.

28. 佐藤祐一, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 江原茂: シリコンX線ダイオードと5.0 m 同軸ケーブルを用いた X 線の検出. 第 111 回日本医学物理学会学術大会, 4月, 2016, 横浜.

29. 寒河江康朗, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤裕一, 山口哲, 江原茂, 佐藤公悦: CdTe 検出

器と2つのエネルギー選択器を使ったデュアルエネルギーX線CTシステム. 第111回日本医学物理学会学術大会, 4月, 2016, 横浜.

30. 佐藤英一, 小田泰行, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 山口哲, 江原茂, 佐藤公悦: CdTe 検出器を使ったスペクトラルX線 CT システム. 第 111 回日本医学物理学会学術大会, 4月, 2016, 横浜.

31. 山口哲, 角原久夫, 菊池光洋, 及川博文, 中村隆二, 有賀久哲, 佐藤英一: エネルギー弁別 X 線 CT を利用した金属アーチファクト低減の基礎検証. 第 111 回日本医学物理学会学術大会, 4月, 2016, 横浜.

32. 佐藤英一, 小田泰行, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 山口哲: 7T-MRI と  $Gd_2O_3$  ナノ粒子懸濁液を用いた癌のイメージング. 日本生体医工学会東北支部大会, 11月, 2015, 郡山.

33. 山口哲, 角原久夫, 菊池光洋, 及川博文, 中村隆二, 有賀久哲, 江原茂, 佐藤英一: LSO 結晶と小型光電子増倍管検出器を用いた高速エネルギー弁別X線 CT日本生体医工学会東北支部大会, 11月, 2015, 郡山.

34. 佐藤裕一, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 江原茂: シリコン X 線ダイオードを使ったデュアルエネルギーCT システムの構築. 日本生体医工学会東北支部大会, 11月, 2015, 郡山.

35. 寒河江康朗, 小田泰行, 佐藤英一, 佐藤裕一, 山口哲: シリコン X 線ダイオードを用いた X 線の検出と高感度 CT への応用. 日本生体医工学会東北支部大会, 11月, 2015, 郡山.

36. 佐藤英一, 小田泰行, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 山口哲: CdTe 検出器を使ったスペクトラル X 線 CT システム. 日本生体医工学会東北支部大会, 11月, 2015, 郡山.

37. 小田泰行, 佐藤英一, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 山口哲: マイコンと CdTe 検出器を用いた単色 X 線 CT. 日本生体医工学会東北支部大会, 11月, 2015, 郡山.

38. Sato, E., Sagae, M., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Investigation of dual-energy X-ray photon counting using a cadmium telluride detector and its application to dual-energy computed tomography. 14th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, December 2014, Ho Chi Minh City.

39. Sagae, M., Sato, E., Sato, Y., Oda, Y., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Investigation of a dual-energy silicon X-ray diode and its application to gadolinium imaging. 14th Asia-Oceania Congress of Medical Physics, December 2014, Ho Chi Minh City.

40. Miura, Y., Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray computed

- tomography system using a cadmium telluride detector and its application to gadolinium imaging. SPIE Optics+Photonics, August 2015, San Diego.
41. Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy X-ray photon counting using an LSO-MPPC spectrometer and an energy-selecting device. SPIE Optics+Photonics, August 2015, San Diego.
42. Oda, Y., Sato, E., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: Monochromatic X-ray photon counting using an energy-selecting device and its application to iodine imaging. SPIE Optics+Photonics, August 2015, San Diego.
43. Sato, E., Oda, Y., Sagae, M., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Watanabe, M., Kusachi, S.: High-speed X-ray photon counting and its application to dual-energy computed tomography. International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics 2015, October 2015, Toyohashi.
44. 寒河江康朗, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 江原茂: シリコン X 線ダイオードと 5.0 m 同軸ケーブルを用いた X 線の検出. 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
45. 小田泰行, 佐藤英一, 佐藤祐一, 佐藤公悦, 江原茂: マイコンと CdTe 検出器を用いた単色 X 線 CT の基礎研究. 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
46. 佐藤祐一, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 江原茂: シリコン X 線ダイオードを使ったデュアルエネルギー CT システムの構築. 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
47. 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤祐一, 山口哲, 佐藤公悦, 江原茂: CdTe 検出器を使ったスペクトラル X 線 CT システムの構築 (英語講演). 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
48. 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤祐一, 佐藤公悦, 江原茂: YAP(Ce)-MPPC 検出器を使った X 線スペクトルの測定とデュアルエネルギー CT への応用 (英語講演). 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
49. Yamaguchi, S., Kakuhara, H., Kikuchi, K., Oikawa, H., Nakamura, R., Ariga, H., Sato, E., Ehara, S.: Measurement of X-ray spectra using an LSO-MPPC detector with changes in the MPPC-pixel number (英語講演). 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
50. Yamaguchi, S., Kakuhara, H., Kikuchi, K., Oikawa, H., Nakamura, R., Ariga, H., Sato, E., Ehara, S.: Low-dark-counting high-speed X-ray energy dispersing using an LSO crystal and a small photomultiplier tube and its application to gadolinium imaging (英語講演). 第 109 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2015, 横浜.
51. 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤裕一: CdTe 検出器を用いたデュアルエネルギー X 線 CT. 日本生体医工学会東北支部大会, 12 月, 2014, 仙台.
52. 小田泰行, 佐藤英一, 佐藤公悦, 江原茂: Si-PIN-XD と F-V コンバーターを用いたデュアルエネルギー併別 X 線 CT の研究. 第 107 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2014, 横浜.
53. 佐藤裕一, 佐藤英一, 小田泰行, 佐藤公悦, 江原茂: CdTe 検出器と F-V コンバーターを用いたエネルギー併別 X 線 CT の研究. 第 107 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2014, 横浜.
54. Yamaguchi, S., Sato, E., Oda, Y., Nakamura, R., Oikawa, H., Yabuuchi, T., Ariga, H., Ehara, S.: Dark-less high-speed X-ray energy dispersing using a compact YAP(Ce)-photomultiplier detector its application to gadolinium imaging (英語講演). 第 107 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2014, 横浜.
55. 佐藤英一, 小田泰行, 寒河江康朗, 佐藤裕一, 江原茂, 佐藤公悦: YAP(Ce)-MPPC スペクトロメーターの開発とフォトンカウンティング X 線 CT への応用. 第 107 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2014, 横浜.
56. 佐藤英一, 小田泰行, 寒河江康朗, 山口哲, 江原茂, 佐藤公悦: ダブルシリコン X 線ダイオードを使ったデュアルエネルギー CT の研究. 第 107 回日本医学物理学学会学術大会, 4 月, 2014, 横浜.
57. Yamaguchi, S., Sato, E., Oda, Y., Nakamura, R., Oikawa, H., Yabuuchi, T., Ariga, H., Ehara, S.: Low-dark-counting high-speed X-ray photon detection using an LSO crystal and a small photomultiplier tube. SPIE Optics+Photonics, August 2014, San Diego.
58. Sato, E., Oda, Y., Yamaguchi, S., Hagiwara, O., Matsukiyo, H., Osawa, A., Enomoto, T., Watanabe, M., Kusachi, S.: Dual-energy computed tomography system using a high-speed photon counter. SPIE Optics+Photonics, August 2014, San Diego., その他

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

佐藤 英一 (SATO Eiichi)

岩手医科大学・教養教育センター・教授

研究者番号: 90154038

### (2)連携研究者

小田 泰行 (ODA Yasuyuki)

岩手医科大学・教養教育センター・助教

研究者番号: 50583671

### (3)連携研究者

寒河江 康朗 (SAGAE Michiaki)

岩手医科大学・教養教育センター・助教

研究者番号: 30235197