

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04483

研究課題名（和文）X線CTの超鮮鋭化による医療診断の新展開

研究課題名（英文）New-generation medical diagnosis by ultra advancement of X-ray CT

研究代表者

有元 誠（Arimoto, Makoto）

金沢大学・先端宇宙理工学研究センター・准教授

研究者番号：40467014

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高速シンチレータと半導体光検出器マルチピクセルフォトンカウンターを組み合わせた次世代フォトンカウンティングCTシステムを開発し、従来型の臨床CT装置と定量比較を行った。そして、本システムの特徴である光子単位でのX線検出により、低被ばく化を達成できることを見出した。またX線のエネルギー情報を利用することで、ヨードやガドリニウム、プラチナなどの造影剤の3次元空間分布の可視化に成功した。さらに、造影剤を小動物のマウスに投与して、生体イメージングにも成功し、本研究で開発したシステムが将来のドラッグデリバリーシステムに資する性能を有することを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体にメスを入れることなく体内を可視化するシステムは、現代医療のみならず、次世代の診断・治療において必須となる技術である。現在普及しているX線CT装置は現代医療を支えるインフラのひとつであるものの、X線照射に伴う被ばくが多く、被写体の物質同定に乏しい。本研究で開発したフォトンカウンティングCTシステムはこれらの課題を解決し、どのような患者に対しても安心・安全な診断を提供することができる。また様々な疾患の早期発見や治療に応用でき、次世代の医療イメージング技術に大きく貢献する成果を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a next-generation photon counting CT (PC-CT) system consisting of high-speed scintillators and semiconductor photodetector multi-pixel photon counters, and conducted a quantitative comparison with conventional clinical CT devices. We found that the photon-counting detection of X-rays in this system, which is one of distinctive features, allows for low-dose radiation exposure. By utilizing the energy information of X-rays, we successfully visualized the three-dimensional spatial distribution of contrast agents such as iodine, gadolinium, and platinum. Furthermore, we successfully performed in vivo imaging by administering the contrast agent to mice, demonstrating that the PC-CT system developed in this study has the potential to contribute to future drug delivery systems.

研究分野：X線・ガンマ線イメージング

キーワード：X線CT フォトンカウンティング 造影剤 X線イメージング

### 1. 研究開始当初の背景

X線コンピュータ断層撮影 (Computed Tomography, CT) は非破壊的に人体内部構造を3次元的に取得でき、医療イメージングの根幹となるインフラの一つとして欠かすことができない。特に、空間分解能が0.5-1 mmと高く、このX線CTでしか見つからない病変が多いため、現代医療を支える上で必須の技術である。微細な血管を鮮明に映し出すために造影剤が用いられることが多いが、患者の病気によっては、造影剤の使用を大きく制限されることがあり未だ安全で汎用な技術には至っていない。またX線照射に伴う被ばくについても、健康上のリスクを指摘されており妊婦や小児への使用が制限されるなど、より低被ばくのX線CT装置が求められている。

また近年、投与した薬剤を腫瘍や患部のみ伝達させる技術 (ドラッグデリバリーシステム) が注目を集めている。例えば、現在の抗がん剤はがん細胞のみならず正常細胞にまで作用するため、患者への負担が著しく大きい。そこでドラッグデリバリーシステムを利用した薬剤を投与することができれば、患者の Quality of life (QOL) を劇的に改善することができる。一方で、現在のテクノロジーでは、薬剤が腫瘍や患部に届いたかどうかを客観的に判断できる薬剤の可視化ができないため、これを実現する新たな装置が必要とされている。

### 2. 研究の目的

上記の背景で述べた課題を解決する上で、「X線CT装置の圧倒的な感度向上」と「薬剤物質の同定」が必須となる。そこで本研究では、次世代光センサー・マルチピクセルフォトンカウンター (Multi-pixel photon counter, MPPC) を用いた超高感度のX線CT技術を新たに創出し、かつ臨床の見地からの性能実証を目指す。そして、高感度化の実現により新しい診断医療の道を切り拓くアプローチへの足がかりとする。

また従来のX線CT装置では、信号増幅機能を持たない光半導体としてフォトダイオードが用いられている。この方式では、X線を有意な信号として検出するために、複数のX線信号が重畳してしまい、個々のX線光子としての情報が失われ (図1左)、X線CTの被写体となる物質元素の同定が困難となっている。本研究で提案するMPPCベースのX線CT装置を用いることで、個々のX線光子の情報を取得し物質同定能力を飛躍的に高める。これにより、次世代のドラッグデリバリーシステムに向けた薬剤の3次元可視化機能を実証する。

### 3. 研究の方法

本研究では、X線を可視光信号に変換するシンチレータとして高速な発光時間 (~70 ns) を有するYGAGおよび光半導体センサーMPPCを組み合わせたフォトンカウンティングX線CT (Photon-counting CT, PC-CT) システムを提案する。ここで、MPPCは信号増幅率が極めて大きく (~ $10^6$  倍)、光子単位でのX線検出を実現できる (図1右、文献[1])。これにより、X線光子のエネルギーを測定できるため、物質元素の同定能力を飛躍的に向上させることができる。ここで、従来X線CTではシンチレータとして硫酸化ガドリニウム ( $Gd_2O_2S$ ) が主に用いられおり発光時間が数ミリ秒と長く、また用いられているフォトダイオードが信号増幅機能を持たない。そのため個々のX線光子を有意に検出することができず、センサー固有の暗電流ノイズの寄与も大きい (図1左)。対して、本研究で提唱するPC-CTシステムでは、ノイズを計測することなく一定以上の信号強度を持つX線信号のパルス数を計測するため、センサー起因のノイズを劇的に抑えることができる。このようにデータに含まれるノイズを低減させることができれば、CT画像の画質を劇的に向上させX線照射量 (被ばく量) の低減につながる。そこで、開発したPC-CTの性能評価に加えて、現在用いられている臨床CT装置 (以降「従来型CT」と呼ぶ) を用いてCT画像を取得し性能比較することで、低被ばく化の検証を行う。

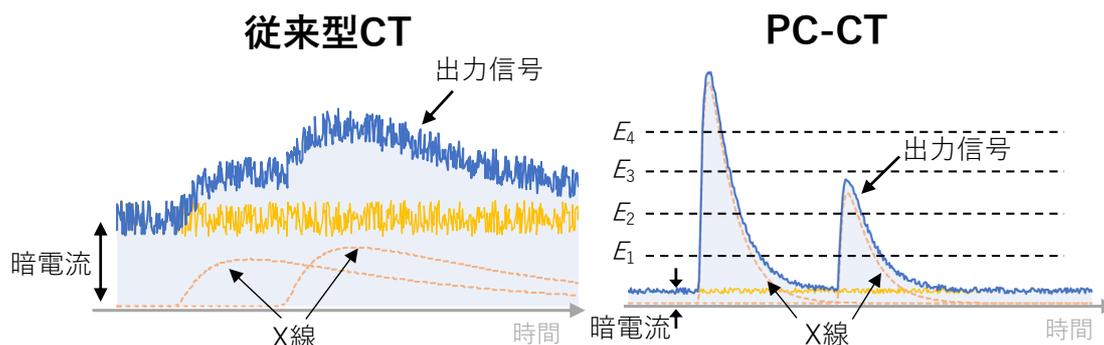


図1 : (左) 従来型X線CTのX線信号の波形。(右) PC-CTのX線信号の波形。(文献[1])

#### 4. 研究成果

##### (1) 大面積 PC-CT センサーアレイシステムの開発

これまで我々のグループで開発を進めてきた PC-CT センサーシステム (文献[2]) では、~16 mm の被写体を撮影できるものであった。しかし、後述する動物を被写体とする実験や造影剤や薬剤の三次元分布をイメージングする上で、さらに実践的な撮影サイズ (50 mm 以上) が必要となる。そこで、新たに 64 mm 相当のサイズの被写体を撮影できるセンサーアレイおよび読み出しエレクトロニクスシステムを開発した (図 2、3、文献[3, 4])。特に信号処理システムのコア部となるアナログ・デジタル LSI 開発では、単に処理できるピクセル数を増やすだけでなく、測定できるエネルギーウィンドウの数を増やし、さらに LSI の半導体プロセスによる製造に起因したシステムティックな動作電圧のズレ (エネルギーの測定誤差に相当) を補償する回路を実装した (図 3、文献[3])。またここで用いたシンチレータは、Ce をドープしたセラミック YGAG を用いており、プロテリアル社 (旧日立金属) との共同研究により開発されたものである。単結晶シンチレータに比べ、歩留まり高く大量生産できるため臨床応用を考えた上でも非常に有用である。

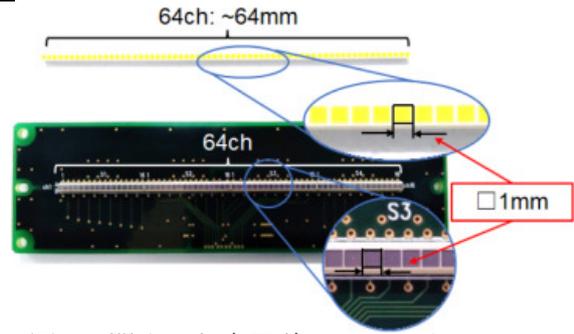


図 2 : 開発した大面積 CT アレイ。MPPC と YGAG シンチレータで構成される [文献 3, 4]

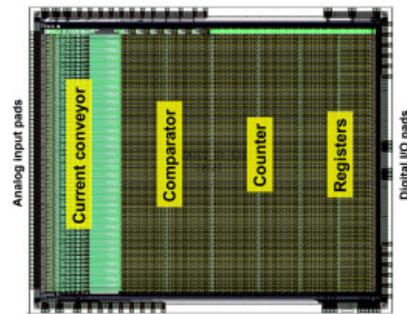


図 3 : 開発した高速信号処理 LSI [文献 3]

##### (2) 造影剤・薬剤の可視化

新たに開発した大面積 PC-CT アレイを用いて、体内に投与される造影剤として幅広く利用されているヨウ素と Gd 造影剤の濃度推定を行った。X 線 CT では主に 30-120 キロ電子ボルト (keV) のエネルギー帯域の X 線が用いられる。そこで本システムでは、このエネルギー帯を 6 つに分割して撮影を行った。ここで物質と X 線相互作用の頻度を示す減弱係数が K 吸収端と呼ばれるエネルギーの前後で大きく変化することが知られている。そして、このエネルギーは、ヨウ素や Gd の場合、それぞれ 33 keV, 50 keV であり、X 線 CT で使用されるエネルギー帯に含まれているため、本研究で開発した PC-CT システムでこの K 吸収端構造を検出することが可能である。これにより被写体の元素を同定し、さらに濃度を推定することが可能になる。ヨウ素と Gd を複数の濃度で被写体として作成し、X 線 CT イメージングとその濃度推定を行った結果を図 4 に示す。用意した濃度に対して、正しい濃度値が推定できていることがわかる。特に、これまで読み出しシステムの内部回路に起因する半導体プロセスの製造誤差が正しい濃度推定を妨げていたものの (文献[2])、これを補正する回路を用いることで高い精度での濃度推定イメージングを実現している (文献[3, 4])。

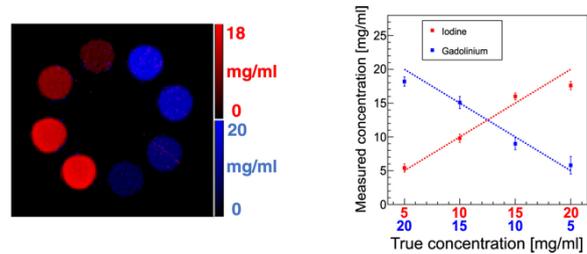


図 4 : 複数濃度のヨウ素および Gd ファントムを CT 撮影し、濃度推定を実施 [文献 4]

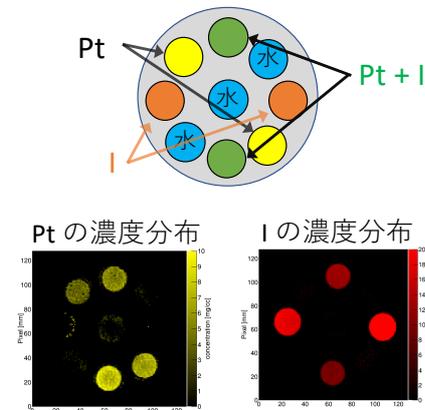


図 5 : 独自開発した CT 装置で、混合造影剤 (I と Pt) の元素物質の同定とその濃度推定に成功 (Yoshiura, Arimoto in prep, [受賞 1, 2])

がん治療では、化学的療法のひとつとして抗がん剤治療が行われる。抗がん剤には白金 (Pt) が含まれる薬剤があり、シスプラチンなどが挙げられる。ここで Pt は 78 keV に K 吸収端エネルギーを持つため、PC-CT システムを用いることで原理的に Pt を同定することが可能である。この Pt を可視化した結果が図 5 であり、複数の造影剤が混合している場合においても、Pt のみを抽出し濃度を推定することに成功している (図 5, [受賞 1, 2])。現在の抗がん剤治療では、抗がん剤が腫瘍部分まで正しく到達しているかどうか

を客観的に可視化する術がなく、今回開発した PC-CT システムはそれを実現できる一つの有力なモダリティであると言える。

### (3) 低被ばく化の検証

従来 CT システムから PC-CT 方式に移行することで、エネルギー情報に加えてノイズ低減が期待される。これは従来システムの場合、X 線信号に加えて暗電流成分まで積分した信号が取得されるのに対して、PC-CT の場合ノイズ成分をカットした信号を取得できるためである (図 1 参照)。そこで、我々が開発した PC-CT システムと金沢大学附属病院に設置されている臨床 CT 装置 (Revolution CT Apex Edition, GE 社) で得られた CT 画像の比較を実施した (図 6)。その結果、従来型に比べて、PC-CT ではより高いコントラスト対ノイズ比を部分的に達成できることを実験的に示すことに成功した [受賞 3]。ここで画像に含まれるノイズが低ければ低いほど、コントラスト対ノイズ比は高い値を示すため、我々の PC-CT システムが被ばく化を実現できる一つの有力なシステムとして提案できる。また、臨床の従来 CT 画像は、メーカー側によるさまざまなノイズ低減アルゴリズムが行われているのに対し、我々の PC-CT で取得された CT 画像では、極めて原理的なフィルター補正逆投影法のみで画像再構成を行なっている。よって、今後さらに周波数フィルターや機械学習などのさまざまなアプローチによって、さらなるノイズ低減を実現できると見込んでいる。

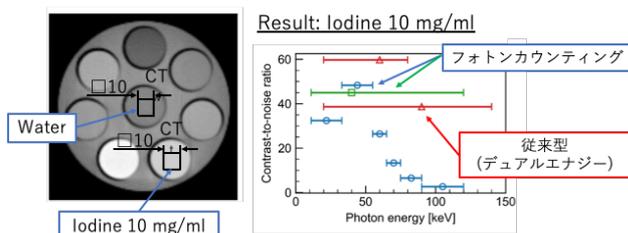


図 6: ヨウ素ファントムに対して、従来形 CT と PC-CT で得られたコントラスト対ノイズ比。(Sato, Arimoto in prep). [受賞 3]

### (4) 生体内イメージングによる薬剤可視化

実践的な PC-CT イメージングを実現していく上で、ファントムを用いた性能評価に加え、生体内の CT イメージングによる技術立証は、一つの大きなマイルストーンと言える。そこで、小動物のマウスに対してヨウ素や Gd を静脈注射し、マウス体内での造影剤分布の可視化を行った。ヨウ素を投与して得られた結果を図 7 (文献 5) に示す。CT センサーが一次元アレイ (図 1) のため、撮影が 30 分から 1 時間程度かかるため、造影剤分布の時間分解能としては改善の余地があるものの、腎臓および膀胱に分布したヨウ素造影剤を可視化することに成功した。特筆すべきは、減弱係数の大きなヨウ素と他の密度の高い骨などの部位を区別できている点が挙げられる。また、ヨウ素と Gd を同時に 1 匹のマウス投与した場合においても、複数の元素を同定してイメージングすることに成功している。また金ナノ粒子 (K 吸収端エネルギー 81 keV) はさまざまな薬剤に修飾できる粒子として注目されており、ドラッグデリバリーシステムをけん引する有力な粒子の一つである。この粒子をマウスに静脈投与し、可視化することにも成功した。[文献 6]

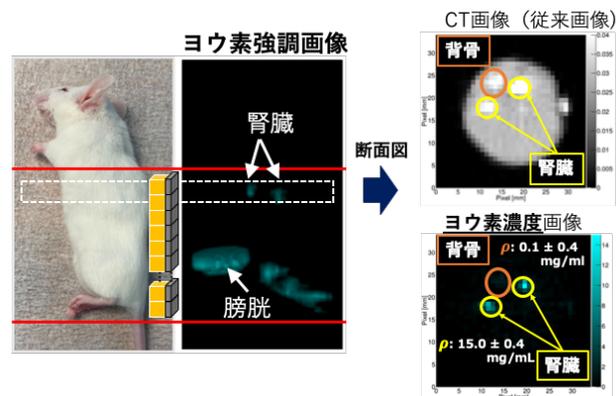


図 7: マウスの in vivo CT imaging の結果。従来 CT 画像では背骨も白く見えてしまうが、エネルギー情報を使ってヨウ素のみを可視化 [文献 5]

### (5) スピンオフテクノロジーの開発

本研究で開発した PC-CT システムは、極めて高線量率の環境下で光子カウンティングが可能な装置となっている。そこで、その装置をガンマ線イメージャーとして新たに応用することで、超高線量率でガンマ線を発する放射性デブリを可視化することが可能となる。特に、2011 年の東日本大震災に伴って福島第一原発がメルトダウンを起こし、その廃炉作業を効率的に行う方法が求められている。その要求の一つが、数 100 Sv/h という極限の線量率環境でのガンマ線イメージングである。本研究では、PC-CT で開発したセンサーアレイをさらに拡張し、 $16 \times 16 (= 256)$  ピクセルのセンサーアレイを開発した (図 8、[文献 7])。このガンマイメージャーを用いて、 $\sim 45$  TBq の

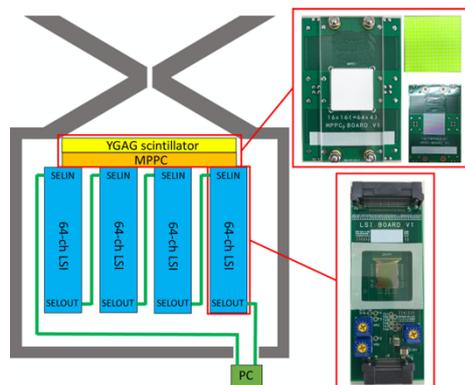


図 8: PC-CT 技術を応用して開発したガンマ線センサーアレイシステム [文献 7]

$^{60}\text{Co}$  線源を撮影し、ガンマ線源から発される MeV ガンマ線の 2 次元分布を「フォトンカウンティング方式」でイメージングすることに成功した (図 9、[文献 7]、[受賞 4])。このように医療用センサーを環境計測に応用し、開発したセンサーの新たな可能性を分野横断的に示すことができた。そして、ここで開発した 256 ピクセルセンサーを PC-CT 用途として技術的にフィードバックし、CT イメージングに向けた試験準備を進めている。

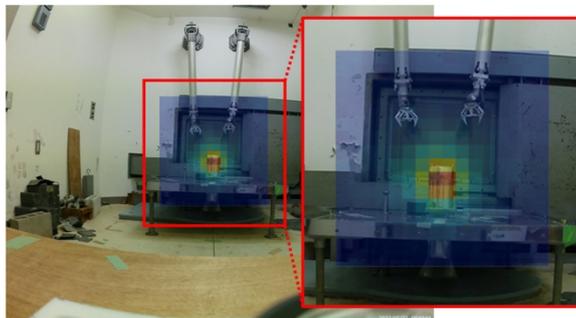


図 9: 開発したガンマ線イメージャーによる  $^{60}\text{Co}$  の可視化 [文献 7], [受賞 4]

また地球科学分野に向けた鉱物の CT イメージングを、金沢大学・地球社会基盤学系森下知晃教授と共同で進めている。ここで鉱物は、地球が誕生して 46 億年の歴史を紐解く鍵であり極めて重要なサンプルである。一方で、従来の鉱物を研究する手法の多くは、鉱物を破碎して成分分析を行っており、空間分布という極めて重要な情報が欠落してしまっていた。本研究で開発した PC-CT 装置を用いることで、非破壊で鉱物内部の元素を同定しさらにその空間分布を可視化できるため、地球科学という全く新しいフィールドで本研究の PC-CT 装置が威力を発揮する。鉱物は密度が高いため、CT 撮影に用いる X 線ビームが硬化し、ビームハードニングアーチファクトが発生しやすい。しかし、PC-CT システムが持つユニークな特徴である複数帯域でのエネルギー情報を利用することで、ビームハードニングを受けにくい高エネルギーの情報のみを選択し、鉱物の同定に成功している (図 10、[受賞 5])。

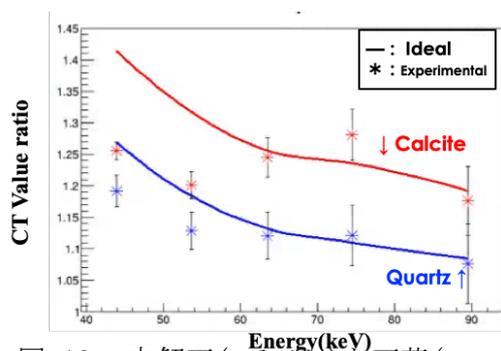


図 10: 方解石 (calcite) と石英 (quartz) の鉱物で、X 線エネルギーごとの減弱係数を取得。エネルギーが高い領域で、理論値と実験値が一致 (Ishiguro, Arimoto et al., in prep) [受賞 5]

#### 【引用文献】

1. 有元誠, 川嶋広貴, 小林聡, 片岡淳, “CT 開発の最先端 Photon-Counting CT”, 日獨医報 第 66 巻 第 1 号 79-90, 2022. 4
2. Arimoto, Makoto et al., “Development of LSI for a new kind of photon-counting computed tomography using multipixel photon counters”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 912, p. 186-190, 2018
3. Arimoto, Makoto; Sato, Daichi et al., “Development of 64-channel LSI with ultrafast analog and digital signal processing dedicated for photon-counting computed tomography with multi-pixel photon counter”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 1047, article id. 167721, 2023
4. Kiji, H.; Maruhashi, T. et al., “64-channel photon-counting computed tomography using a new MPPC-CT system”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 984, article id. 164610, 2020
5. Sato, Daichi; Arimoto, Makoto et al., “Initial results of in vivo CT imaging of contrast agents using MPPC-based photon-counting CT”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 1048, article id. 167960, 2023
6. Sagisaka, M.; Toyoda, T. et al., “Experiment of in vivo imaging with third generation setup using Photon-Counting CT with 64ch Multi-Pixel Photon Counter”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 1045, article id. 167580, 2023
7. Mizuno, Tomoya; Arimoto, Makoto et al., “Development of an MPPC-based gamma-ray detector onboard a radiation source imager under high-dose environments and initial performance results”, Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, Volume 1046, article id. 167544, 2023

#### 【受賞】

1. 吉浦 宏大龍, 「次世代 MPPC 型フォトンカウンティング CT の造影剤イメージングと臨床 CT との定量比較」, 2021 年応用物理学会・秋季学術講演会, 放射線分科会 学生優秀講演賞
2. 吉浦 宏大龍, 金沢大学・自然科学研究科長賞, 2021 年度
3. 佐藤 大地, 「次世代フォトンカウンティング CT による多系統イメージングの性能評価」, 2021 年応用物理学会・春季学術講演会, 放射線分科会 学生優秀講演賞
4. 水野 睦也, 金沢大学・自然科学研究科長賞, 2022 年度
5. 石黒 歩, 「フォトンカウンティング CT の岩石試料への初適用例」 日本地球惑星科学連合 (JpGU) 2022 年大会・固体地球科学セクション学生優秀発表賞

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Sugiura Takumi, Okumura Kenichiro, Sasaki Motomitsu, Matsumoto Junichi, Ogi Takahiro, Yoneda Norihide, Kitao Azusa, Kozaka Kazuto, Koda Wataru, Kobayashi Satoshi, Gabata Toshifumi	4. 巻 17
2. 論文標題 A low albumin level as a risk factor for transient severe motion artifact induced by gadoxetate disodium administration: A retrospective observational study with free-breathing dynamic MRI and an experimental study in rats	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0265588
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0265588	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Maruhashi T., Kiji H., Toyoda T., Kataoka J., Arimoto M., Kobayashi S., Kawashima H., Terazawa S., Shiota S., Ikeda H.	4. 巻 958
2. 論文標題 Demonstration of multiple contrast agent imaging for the next generation color X-ray CT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 162801 ~ 162801
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2019.162801	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kobayashi Satoshi, Kozaka Kazuto, Gabata Toshifumi, Matsui Osamu, Koda Wataru, Okuda Miho, Okumura Kenichiro, Sugiura Takumi, Ogi Takahiro	4. 巻 12
2. 論文標題 Pathophysiology and Imaging Findings of Bile Duct Necrosis: A Rare but Serious Complication of Transarterial Therapy for Liver Tumors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Cancers	6. 最初と最後の頁 2596 ~ 2596
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/cancers12092596	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kiji H., Maruhashi T., Toyoda T., Kataoka J., Arimoto M., Sato D., Yoshiura K., Kobayashi S., Kawashima H., Terazawa S., Shiota S., Ikeda H.	4. 巻 984
2. 論文標題 64-channel photon-counting computed tomography using a new MPPC-CT system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 164610 ~ 164610
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2020.164610	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kadoya Yoshisuke, Miyati Tosiaki, Kobayashi Satoshi, Ohno Naoki, Gabata Toshifumi	4. 巻 50
2. 論文標題 Effect of gravity on portal venous flow: Evaluation using multiposture MRI	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Magnetic Resonance Imaging	6. 最初と最後の頁 83 ~ 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jmri.26626	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshida Kotaro, Hamaoka Mami, Kobayashi Satoshi, Matsumoto Junichi, Inoue Dai, Yoneda Norihide, Gabata Toshifumi	4. 巻 37
2. 論文標題 Renal pelvic and ureteral wall thickening in renal cell carcinoma: prevalence, cause, and clinical significance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Radiology	6. 最初と最後の頁 832 ~ 840
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11604-019-00889-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Yoshiaki, Arai Kuniaki, Yamashita Taro, Yamashita Tatsuya, Shimakami Tetsuro, Kawaguchi Kazunori, Kitamura Kazuya, Sakai Yoshio, Mizukoshi Eishiro, Honda Masao, Kitao Azusa, Kozaka Kazuto, Kobayashi Satoshi, Kaneko Shuichi	4. 巻 9
2. 論文標題 Direct-Acting Antiviral Agents Reduce the Risk of Malignant Transformation of Hepatobiliary Phase-Hypointense Nodule without Arterial Phase Hyperenhancement to Hepatocellular Carcinoma on Gd-EOB-DPTA-Enhanced Imaging in the Hepatitis C Virus-Infected Liver	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Liver Cancer	6. 最初と最後の頁 261 ~ 274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1159/000504889	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikeno Hiroshi, Kobayashi Satoshi, Kozaka Kazuto, Ogi Takahiro, Inoue Dai, Yoneda Norihide, Yoshida Kotaro, Ohno Naoki, Gabata Toshifumi, Kitao Azusa	4. 巻 38
2. 論文標題 Relationship between the degree of abdominal wall movement and the image quality of contrast-enhanced MRI: semi-quantitative study especially focused on the occurrence of transient severe motion artifact	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Radiology	6. 最初と最後の頁 165 ~ 177
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11604-019-00896-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 有元 誠, 片岡 淳, 寺澤慎祐, 塩田 諭	4. 巻 36
2. 論文標題 次世代光センサーMPPCと高速シンチレータの融合による革新的X線CTへの挑戦	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日立金属技報	6. 最初と最後の頁 28 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 有元 誠, 川嶋 広貴, 小林 聡, 片岡 淳	4. 巻 66
2. 論文標題 CT開発の最先端 Photon-Counting CT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日獨医報	6. 最初と最後の頁 79 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arimoto Makoto, Sato Daichi, Mizuno Tomoya, Yoshiura Kotaro, Ishiguro Kairi, Tomoda Takahiro, Kawashima Hiroki, Kobayashi Satoshi, Kataoka Jun, Sagisaka Mayu, Ikeda Hirokazu, Terazawa Shinsuke, Shiota Satoshi	4. 巻 1047
2. 論文標題 Development of 64-channel LSI with ultrafast analog and digital signal processing dedicated for photon-counting computed tomography with multi-pixel photon counter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 167721 ~ 167721
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.167721	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mizuno Tomoya, Arimoto Makoto, Sato Daichi, Yoshiura Kotaro, Tomoda Takahiro, Ishiguro Kairi, Kataoka Jun, Sawano Tatsuya, Yonetoku Daisuke, Terazawa Shinsuke, Shiota Satoshi	4. 巻 1046
2. 論文標題 Development of an MPPC-based gamma-ray detector onboard a radiation source imager under high-dose environments and initial performance results	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 167544 ~ 167544
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.167544	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sato Daichi, Arimoto Makoto, Yoshiura Kotaro, Mizuno Tomoya, Aiga Ko, Ishiguro Kairi, Tomoda Takahiro, Kawashima Hiroki, Kobayashi Satoshi, Okumura Kenichiro, Murakami Kazuhiro, Kataoka Jun, Toyoda Takaya, Sagisaka Mayu, Terazawa Shinsuke, Shiota Satoshi	4. 巻 1048
2. 論文標題 Initial results of in vivo CT imaging of contrast agents using MPPC-based photon-counting CT	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 167960 ~ 167960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.167960	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sagisaka M., Toyoda T., Kataoka J., Arimoto M., Kawashima H., Kobayashi S., Murakami K., Okumura K., Sato D., Yoshiura K., Mizuno T., Aiga K., Terazawa S., Shiota S.	4. 巻 1045
2. 論文標題 Experiment of in vivo imaging with third generation setup using Photon-Counting CT with 64ch Multi-Pixel Photon Counter	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 167580 ~ 167580
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2022.167580	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計19件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 吉浦 宏大龍、有元 誠、佐藤 大地、水野 睦也、川嶋 広貴、小林 聡、片岡 淳、豊田 貴也、Sonia Dima、池田 博一、寺澤 慎祐、塩田 諭
2. 発表標題 次世代MPPC型フォトンカウンティングCTの造影剤イメージングと臨床CTとの定量比較
3. 学会等名 第82回 応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 大地、有元 誠、吉浦 宏大龍、水野 睦也、相賀 耕、川嶋 広貴、小林 聡、村上 和弘、片岡 淳、豊田 貴也、匂坂 真結、池田 博一、寺澤 慎祐、塩田 諭
2. 発表標題 次世代型カラーX線CTを用いた生体内イメージング(2)
3. 学会等名 第69回 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 本村 嘉響、市川 勝弘、川嶋 広貴、豊原 勇理、牛丸 裕基
2. 発表標題 Deep Learning Image Reconstructionを用いた低keV仮想単色X線画像の画質改善
3. 学会等名 第49回 日本放射線技術学会秋季学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Yoshiura, M. Arimoto, D. Sato, T. Mizuno, H. Kawashima, S. Kobayashi, J. Kataoka, H. Kiji, T. Toyoda, S. D. Dima, H. Ikeda, S. Terazawa, S. Shiota
2. 発表標題 Evaluation of multicolor image quality using MPPC-based photon-counting CT compared with clinical dual-energy CT
3. 学会等名 IEEE Nuclear science symposium and medical imaging conference (2021 IEEE NSS/MIC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Sato, M. Arimoto, K. Yoshiura, T. Mizuno, H. Kawashima, S. Kobayashi, J. Kataoka, H. Kiji, T. Toyoda, S. Dima, H. Ikeda, S. Terazawa, S. Shiota
2. 発表標題 Performance estimate of MPPC-based PC-CT system and initial results of CT image contrast
3. 学会等名 IEEE Nuclear science symposium and medical imaging conference (2021 IEEE NSS/MIC) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有元 誠
2. 発表標題 宇宙技術を次世代の産業用途へ -新たなイメージング技術への応用-
3. 学会等名 令和3年度第3回先端ものづくり技術交流セミナー (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤 大地、有元 誠、吉浦 宏大龍、水野 睦也、川嶋 広貴、小林 聡、片岡 淳、木地 浩章、豊田 貴也、Dima Sonia、池田 博一、寺澤 慎祐、塩田 諭
2. 発表標題 次世代フォトンカウンティングCTによる多系統イメージングの性能評価
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤 大地、有元 誠、吉浦 宏大龍、川嶋 広貴、小林 聡、片岡 淳、丸橋 拓也、木地 浩章、豊田 貴也、池田 博一、寺澤 慎祐、塩田 諭
2. 発表標題 次世代カラーX線CTに向けたMPPC用64チャンネル高速LSIの開発と性能評価
3. 学会等名 応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 大地、有元 誠、水野 睦也、石黒 海里、供田 崇弘、川嶋 広貴、小林 聡、村上 和弘、奥村 健一郎、片岡 淳、匂坂 真結、寺澤 慎祐、塩田 諭
2. 発表標題 次世代X線CTを用いた複数造影剤の生体内イメージング
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daichi Sato; Makoto Arimoto; Kotaro Yoshiura; Tomoya Mizuno; Ko Aiga; Kazuhiro Murakami; Hiroki Kawashima; Satoshi Kobayashi; Kenichiro Okumura; Jun Kataoka; Takaya Toyoda; Mayu Sagisaka; Kairi Ishiguro; Takahiro Tomoda; Shinsuke Terazawa; Satoshi Shiota
2. 発表標題 Initial results of in vivo CT imaging of contrast agents using MPPC-based photon-counting CT
3. 学会等名 9th Conference on New Development in Photodetection (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Makoto Arimoto, Daichi Sato, Tomoya Mizuno, Kotaro Yoshiura, Kairi Ishiguro, Takahiro Tomoda, Hiroki Kawashima, Satoshi Kobayashi, Jun Kataoka, Mayu Sagisaka, Hirokazu Ikeda, Shinsuke Terazawa, Satoshi Shiota
2. 発表標題	Development of 64-channel LSI with ultrafast analog and digital signal processing dedicated for PC-CT with MPPCs
3. 学会等名	9th Conference on New Development in Photodetection (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	D. Sato, M. Arimoto, K. Yoshiura, T. Mizuno, H. Kawashima, S. Kobayashi, K. Murakami, K. Okumura, J. Kataoka, M. Sagisaka, S. Terazawa, S. Shiota
2. 発表標題	Multi-color in-vivo imaging of mouse using novel photon counting CT with MPPC (2) : In vivo quantification and future prospects
3. 学会等名	2022 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room Temperature Semiconductor Detector Conference (国際学会)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	有元 誠
2. 発表標題	超高線量X線・ガンマ線イメージング
3. 学会等名	SMART 2022 (Scintillator for Medical, Astroparticle and environmental Radiation Technologies) (招待講演)
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	水野 睦也、有元 誠、澤野 達哉、佐藤 大地、片岡 淳、塩田 諭、寺澤 慎祐
2. 発表標題	超高線量環境下でのガンマイメジャーの開発と性能評価
3. 学会等名	第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 Tomoya Mizuno; Makoto Arimoto; Daichi Sato; Kotaro Yoshiura; Takahiro Tomoda; Kairi Ishiguro; Jun Kataoka; Tatsuya Sawano; Daisuke Yonetoku; Shinsuke Terazawa; Satoshi Shiota
2. 発表標題 Development of an MPPC-based gamma-ray detector onboard a radiation source imager under high-dose environments and initial performance results
3. 学会等名 9th Conference on New Development in Photodetection (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Mizuno, M. Arimoto, D. Sato, K. Yoshiura, S. Terazawa, S. Shiota, J. Kataoka
2. 発表標題 MPPC-based gamma-ray photon-counting imager for identifying radiation sources under high-dose environments
3. 学会等名 2022 IEEE Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference and Room Temperature Semiconductor Detector Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 供田 崇弘、水野 睦也、有元 誠
2. 発表標題 原子炉内の超高線量デブリの位置特定に向けたガンマカメラの開発
3. 学会等名 東日本大震災・原子力災害 第1回 学術研究集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石黒歩、森下知晃、有元誠、板野敬 太、佐藤大地、吉浦宏大龍、水野睦也、寺澤慎祐、塩田諭
2. 発表標題 フォトンカウンティングCTの岩石試料への初適用例
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石黒 歩, 森下 知晃, 小林 知洋, 有元 誠
2. 発表標題 岩石試料中の水貯蔵・輸送解明に向けたRANS中性子イメージング
3. 学会等名 2022年度 RANS シンポジウム ついに始まった中性子現場利用 - 中性子のものでづくり・インフラ産業での利用とサイエンスへの挑戦 -
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小林 聡  (Kobayashi Satoshi)  (30313638)	金沢大学・保健学系・教授   (13301)	
研究 分担者	片岡 淳  (Kataoka Jun)  (90334507)	早稲田大学・理工学術院・教授   (32689)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携 研究者	川嶋 広貴  (Kawashima Hiroki)  (70775577)	金沢大学・保健学系・助教   (13301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------