

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：82502

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20239

研究課題名（和文）完全な開放空間を有する走査型PET装置 Scratch-PETの開発

研究課題名（英文）Development of Scratch-PET, a scanning PET system with a completely open space

研究代表者

岩男 悠真 (Iwao, Yuma)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子医科学研究所 先進核医学基盤研究部・研究員

研究者番号：40758330

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：術中支援を目的とした世界初のコンセプトとなるScratch-PETを開発した。これは被験者の背面に並べたディテクタと、手持ちで走査を行うハンドディテクタから構成され、任意の個所をなぞるように動かすことで広範囲の撮像が可能となる。シミュレーションにより基礎的な性能評価を行った後、1ペアのディテクタを用いた試作機開発を行った。ハンドディテクタは光学機器を用いてトラッキングし、体動補正技術を応用した再構成アルゴリズムを開発した。内部に複数径のロッド構造を有するデレンゾファントムの撮像を行い、5mm程度の構造が可視化可能であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Scratch-PETは、少数のディテクタで広い範囲の撮像が可能であり、また撮像時以外は装置の上面は完全にフリーとなるため、術技の妨げとなることもない。このような特徴は術中PETの実現に必要な不可欠なものである。試作機による性能評価から、肉眼では同定困難な数mm程度のガンを可視化できる性能が示唆されており、術中支援によるガンの外科手術の更なる精度向上が期待できる。

研究成果の概要（英文）：We have developed the world's first concept of Scratch-PET for intraoperative support. The Scratch-PET consists of a detector placed on the patient's back and a hand-held detector that scans the patient's body. After basic performance evaluation through simulation, a prototype was developed using a pair of detectors. The hand detector was tracked using an optical device and a reconstruction algorithm based on body motion compensation technology was developed. Imaging of a Delenzo phantom with a rod structure of multiple diameters inside was performed, and it was demonstrated that a structure of about 5 mm in diameter could be visualized.

研究分野：画像処理

キーワード：PET 体動補正 モーショントラッキング

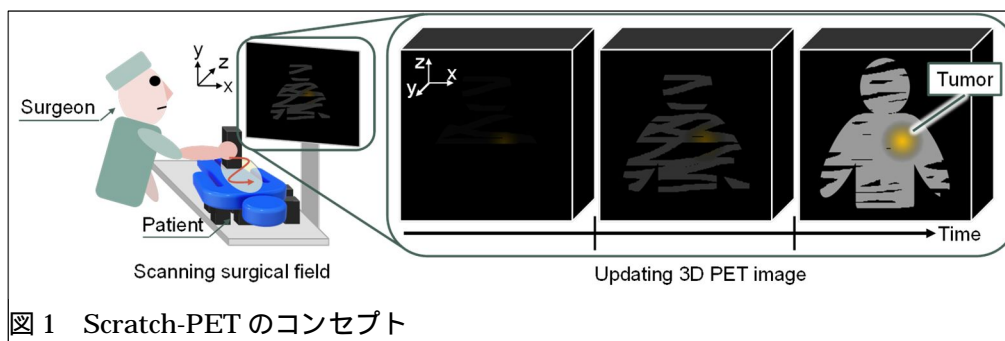
1. 研究開始当初の背景

がん手術において、悪性腫瘍領域の完全切除は、高い治療効果を得るために重要である。外科医は事前検査の情報と合わせ、悪性腫瘍の位置や広がり目視にて見極めて切除を行うが、形態的な変化に乏しい腫瘍など、肉眼での同定が困難なケースが存在する。そこで、医用画像技術を用いて手術をガイドするシステムが注目されている。

陽電子断層撮像法 (PET) は生体内の陽電子放出核種の分布を 3 次元で可視化するモダリティであり、 ^{18}F -FDG を使用した PET 撮像は、がん診断に広く用いられている。最新装置では数 mm 程度の分解能を有することから、PET による術中ガイドが実現されれば、微小な悪性腫瘍を高い精度で同定することが可能となる。しかし、既存装置の持つ大がかりな検出器リングは、手術室への持ち込みが困難であり、また解放空間の問題から術技の妨げとなることが予想される。

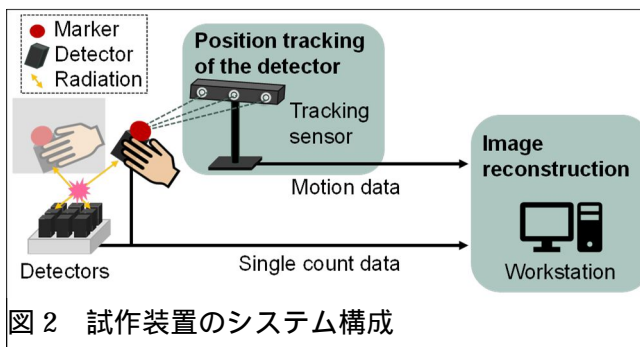
2. 研究の目的

本研究では、画像ガイド下手術のための新しいコンセプトの PET 装置「Scratch-PET」の基礎技術開発を行う。Scratch-PET は、使用者が手に持ったプローブ型検出器で術野をなぞるように走査することで、ベッド下に配置あるいはベッドに内蔵した検出器パネルとの間で PET 計測を行い、3 次元 PET 画像を迅速に使用者にフィードバックする装置である (図 1)。



3. 研究の方法

はじめに、Scratch-PET の特性を明らかにするために、計算機シミュレーションを実施した。具体的には、Geant4 シミュレーションにより小規模な撮影系をモデル化した。データ収集中の検出器ジオメトリの変化は、収集時間を短時間フレームに区切り、フレームごとに検出器位置を変化させたシミュレーションを行い、収集データを繋ぎ合わせることで再現した。数値ファントムに対するデータ収集を行い、空間分解能やコントラストを評価した。



次に、検出器ジオメトリが変化する条件下での画像再構成を実現するソフトウェアを開発した。プローブ型検出器の姿勢と位置は外部センサにより正確に計測されていることを前提として、検出器位置データを再構成ソフトに入力する。また、同時計数データと計測時刻を同期させることで、同時計数線の角度・位置・時刻を対応付ける。このデータを使用して DRAMA 法による逐次近似画像再構成を実施する。画像の表示段階では、再構成画像を術者に迅速にフィードバックするために、短時間での収集データのみを用いた高速な画像再構成を行い、過去の再構成画像との時間平均を計算し、術者に提示する。開発したソフトウェアの性能は、シミュレーションデータを用いて評価した。

最後に、シミュレーションデータによる検証をもとに、小型の試作装置を開発した (図 2)。2 つの検出器を使用し、プローブ型検出器と固定検出器にひとつずつ使用した。シンチレータは 16×16 の LYSO 結晶 ($3 \times 3 \times 15\text{mm}^3$) のアレイを使用し、 16×16 配列の MPPC アレイと一対一に結合した。プローブ型検出器の姿勢と位置は、光学式トラッキングにより計測した。4 つの反射マーカ

をプローブ型検出器に治具を介して設置し、トラッキングセンサにより計測した PET 画像の座標系とトラッキングセンサの座標系を統一するためのキャリブレーション手法を開発し、画像再構成ソフトウェアに統合することで、試作装置の画像再構成処理を実装した。 ^{22}Na を内包した複数径のロッドを持つファントムに対する撮像を行い、試作装置の撮像性能を実験的に検証した。

4. 研究成果

図 3 に計算機シミュレーションの条件と再構成結果を示す。数値ファントムは円柱型の水でできた背景領域の中に、腫瘍への集積を模擬した 4 つのホット球が埋め込まれた構造を持つ。背景の線源強度は 1.6 kBq/ml、ホット球と背景の線源強度比は 8:1 を設定した。データ収集時間は 120 秒とした。結果として、直径 6 mm の線源球を可視化することが示された。

図 4 に試作した小型装置による撮像実験と再構成画像を示す。ファントムの放射能強度は 0.3MBq であり、180 秒間計測を実施した。結果として 3次元の再構成画像を取得され、直径 3mm のロッドが分解された。

これらの成果から Scratch-PET での撮像を行うための基礎技術を確立したことが示された。

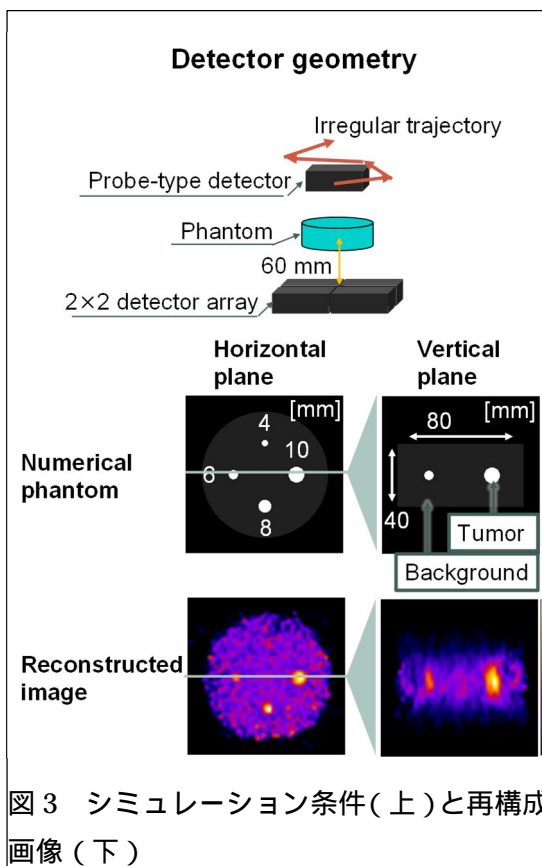


図 3 シミュレーション条件(上)と再構成画像(下)

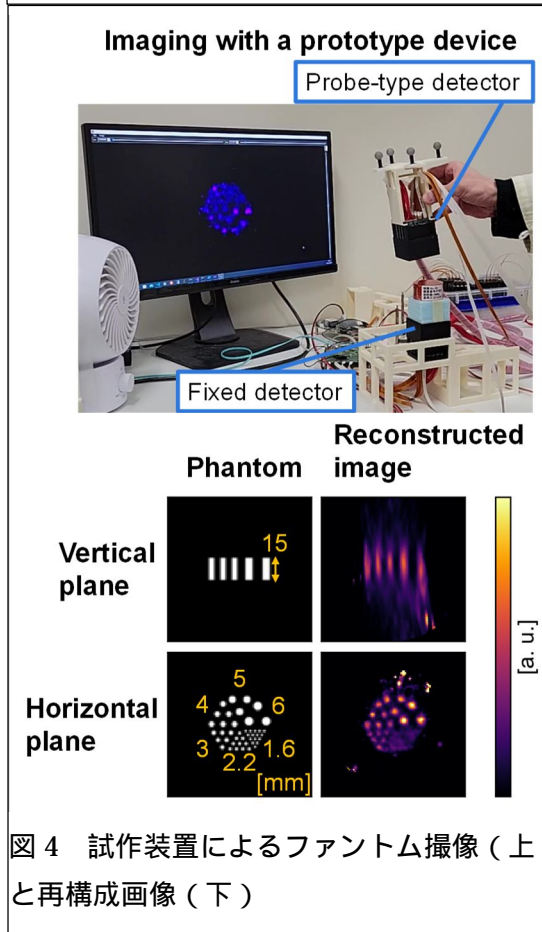


図 4 試作装置によるファントム撮像(上)と再構成画像(下)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 石川大洋, 岩男悠真, 赤松 剛, 田久創大, 田島英朗, 岡本尚之, 山谷泰賀, 羽石秀昭
2. 発表標題 手持ちプローブ型術中ガイドPET 「Scratch-PET」のための画像化システムの開発
3. 学会等名 メディカルイメージング連合フォーラム2023
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 石川 大洋, 岩男 悠真, 赤松 剛, 田久 創大, 田島 英朗, 山谷 泰賀, 羽石 秀昭
2. 発表標題 手持ち型検出器による術中ガイドPET「Scratch-PET」の画像化シミュレーション
3. 学会等名 第59回アイソトープ・放射線研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川 大洋, 岩男 悠真, 赤松 剛, 田久 創大, 田島 英朗, 岡本 尚之, 山谷 泰賀, 羽石 秀昭
2. 発表標題 手持ちプローブ型術中ガイドPET「Scratch-PET」のコンセプト実証
3. 学会等名 SAMIT2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiyo Ishikawa, Yuma Iwao, Go Akamatsu, Sodai Takyu, Hideaki Tashima, Member, IEEE, Takayuki Okamoto, Taiga Yamaya, Member, IEEE, Hideaki Haneishi
2. 発表標題 Imaging simulation of “Scratch-PET”: an intraoperative PET with a hand-held detector
3. 学会等名 2023 IEEE NSS MIC RTSD (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川 大洋, 岩男 悠真, 赤松 剛, 田久 創大, 田島 英朗, 岡本 尚之, 山谷 泰賀, 羽石 秀昭
2. 発表標題 手持ちプローブ型術中ガイドPET「Scratch-PET」の試作機開発
3. 学会等名 第13回核医学画像解析研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 石川 大洋, 岩男 悠真, 赤松 剛, 田久 創大, 田島 英朗, 岡本 尚之, 山谷 泰賀, 羽石 秀昭
2. 発表標題 術中ガイドPET「Scratch-PET」のファントムを用いた実験的検証
3. 学会等名 メディカルイメージング連合フォーラム2024
4. 発表年 2023年～2024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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------