

平成 21 年 5 月 8 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18500385

研究課題名（和文）次世代 PET のための新しい被験者動き計測・補正法の開発

研究課題名（英文）New motion detection and correction method for new-types of PET

研究代表者

長谷川 智之（HASEGAWA TOMOYUKI）

北里大学・医療衛生学部・講師

研究者番号 10276181

研究成果の概要（約 200 字）：

本研究課題は、検査中の動きを許容する核医学検査を実現することを長期的な最終目標とする。本研究期間内において、(1)検出器近接型次世代 PET 装置に適用可能な、立体マーカを用いる独自の頭部動き計測手法を開発し、(2)次世代 PET 装置の特徴である多段深さ認識型検出器方式に適する動き補正アルゴリズムの開発を進め、(3)これら研究に不可欠なツールとして核医学装置モンテカルロシミュレーションプログラムの開発を進め、(4)主としてファントム実験により開発手法の有効性を明らかにした。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	2,700,000	0	2,700,000
2007 年度	600,000	180,000	780,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,800,000	330,000	4,130,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、医用システム

キーワード：核医学、放射線物理学

1. 研究開始当初の背景

核医学検査では、一般に、数 10 分間に及ぶ長い検査のあいだ、被験者は静止を強要される。時には、検査部位が動かないように特殊な器具で固定され、場合によっては、鎮静剤などの投与が必要となる。これらは、特に心身に不自由がある方々にとって大きな肉体的・精神的負担である。また、わずかなゆるやかな動きでさえも画質を劣化させてしまう。もちろん、身体を動かしながらの生体機能検査はできない。それゆえ、もし、動きを許容する核医学装置・検査手法があれば、これら問題が解決され、しいては医療の質の

向上に大きく貢献すると考えられる。

研究代表者及び連携研究者らを含む産官学共同研究グループでは、高感度と高空間分解能（解像力）を従来装置よりも高いレベルで両立できる検出器近接型の次世代 PET 装置の開発を進めてきた。この次世代 PET 装置の最大の特徴は、体内から放出されるガンマ線をシンチレーション検出器により検出する際に、検出器の深さ方向の位置情報まで得られる新しい検出器（多段深さ認識型検出器、多段 DOI 検出器）を採用していることである。これにより、ガンマ線の検出器に対する入射角度の増加による空間分解能の劣化を抑え、

従来よりも検出器を被験者に近づけることができる。しかし、検出器近接型装置であるため患者ポートが狭く細長いため、従来の動き計測手法の適用が難しかった。

PET 検査における頭部動き計測・補正に関する研究については、市販 3 次元位置トラッキング装置と点状マーカを用いて動きを計測し補正処理を施す手法の開発が進められていた[1]。しかし、これら手法では、複数台のカメラを互いにある程度の距離はなしで設置するため、我々が開発を進めているような細長い患者ポートを有する検出器近接型 PET 装置への適用は困難であった。

このような状況の中で、我々は、立体マーカを用いた独自の動き計測手法を考案し、動き計測・補正に利用しようという発想に至った[2]。

[1] R.R. Fulton et al., "Correction for head movements in positron emission tomography using an optical motion tracking system," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 49(1), pp.116-123, 2002

[2] T.Hasegawa, et al. "Motion Correction for jPET-D4: Improvement of Measurement Accuracy with a Solid Marker," IEEE Medical Imaging Conference (Puerto-Rico) October 2005

2 . 研究の目的

本研究の長期的な最終目標は、被験者の動きを許容する夢のような核医学検査を実現し、被験者の肉体的・精神的負担を低減すること、動きによる空間分解能など画質の劣化を防ぐこと、また、動きを許容する状況下での検査により従来にはない新しい知見を得る道を開くことである。ただし、この最終目標のためには多くの課題が残されている。よって、短期的にはまず、比較的取り組み易い検査条件での動き計測・補正手法の開発を進め、その中で特に先駆的・独創的なアイデアも積極的に発展させる必要がある。

本研究課題では、上記長期的目標を念頭におき、我々グループが開発してきた検出器近接型次世代 PET 装置に適用可能な頭部動き計測・補正手法を開発することを目的とする。この目的は、具体的には、(1)立体マーカ(後述)を用いた、検出器近接型の次世代 PET 装置に適用しやすい新しい動き計測手法の開発、(2)多段 DOI 検出器方式の次世代 PET 装置(前述)に適応した動き補正アルゴリズムの開発、(3)シミュレーション評価に必要なモンテカルロ・シミュレーション・プログラム等の研究ツールの開発、(4)頭部専用次世代プロトタイプ PET 装置への動き計測手法及び補正手法の適用による動き計測・補正の実現、以上に分けられる。

3 . 研究の方法

(1)立体マーカを用いた独自の動き計測手法の開発

図 1 に動き計測・補正手法の全体像を示す。動き計測においては、検出器と被験者が近接するため、狭く細長い患者ポートにも適用できる手法として、立体マーカと 1 台の撮影装置を用いる手法を開発する。立体マーカの軽量・高精度化、撮影装置の高速・高解像度化、PET 装置への実装方法の検討などを進める。また、市販 3 次元位置トラッキング装置との比較検討などにより、計測精度の評価等を進める。

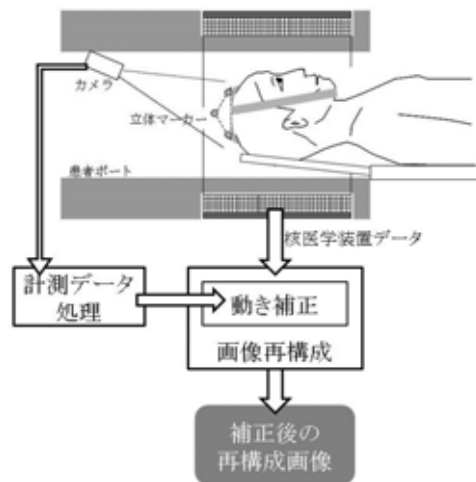


図 1 動き計測・補正手法の全体像

(2)補正アルゴリズム

動き計測データを利用し、PET 装置からの計測データに対して補正処理を施すためのアルゴリズムを開発する。図 2 には動き補正の基本的考え方を図示する。特に、我々が開発を進めてきた検出器近接型かつ多段深さ認識型という先駆的特長を有する次世代 PET 装置への適用に注目し、近似化・高速化などを検討する。

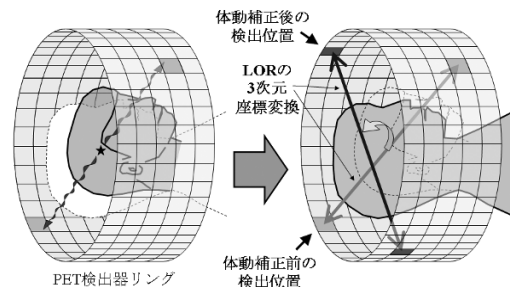


図 2 . 動き補正の基本的考え方

(3) モンテカルロ・シミュレーションプログラム等の研究ツール開発

汎用性の高いモンテカルロ・シミュレーション・プログラム Geant4 をベースとして、研究対象とする PET 装置に関するモンテカルロ・コードを開発する。特に、被験者の動きなどもシミュレーション可能とする。また、PET・SPECT 専用モンテカルロ・シミュレーション・コードも活用する。これにより、実際に次世代 PET 装置を用いて PET 検査を行うことなしに、仮想的に PET 計測データを生成し、動き計測・補正手法のシミュレーション評価ができるようにする。

(4) 頭部専用 PET 装置側での作業

本研究期間中に放射線医学総合研究所（放医研）において、検出器近接型頭部専用プロトタイプ次世代 PET 装置が完成する予定である。本装置に開発した動き計測・補正手法を適用し、動き計測・補正が可能であることを示す。なを、まずはファントム実験を中心に進める。

(5) 共同研究体制について

連携研究者として検出器近接型次世代 PET 装置の開発を指揮する村山秀雄（放医研）画像再構成の専門家である山谷泰賀（放医研）同所属で画像処理計算などを補助する村石浩（北里大）の協力を得た。また、研究協力者として、プロトタイプ PET 装置に関わる実験について吉田英治（放医研）、動き補正アルゴリズムの開発について菅 幹夫、木内尚子（千葉大）、その他、様々な実験準備、実験、データ分析などの作業について合計約 20 名の卒業研究学生（北里大）及び大学院学生（同大学院院）の協力を得た。（以上、所属は略称、敬称略）

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

初年度の平成 18 年度には以下の成果を得た。立体マーカーの設計や工作方法を見直し、角度測定精度を向上させた。また、試作マーカーを用いた検討の結果、立体マーカーの軽量化を進め、頭部への取り付け方法について実用に耐え得る案を見出した。動き計測装置においてカメラから得られた動画像の処理方法を改善することにより、動画取得スピードと同程度のスピードでデータ処理できる見通しをつけた。汎用の光学的 3 次元位置計測システムを導入することにより、立体マーカー計測システムの校正や精度評価を効率的に進める体制を築いた。これまでのシステムの弱点であった体軸方向座標の計測精度を向上させるため、立体マーカー動き計測システム全体について新しいアイデアを考案し検討を始めた。本計測システムを次世代 PET 装置上に仮設し、限定されたファントム実験において動き計測と動き補正が可能であることを確認した。実験結果の推定や評価のために、核医学装置のモンテカル

ロシミュレーションプログラムの開発を進めた。頭部核医学検査中に実際にどの程度、頭部の動きがあるのか、健常者ボランティア数人について評価を行った。その結果、被験者が静止しているつもりであっても、画質に悪影響を与える程度の動きが容易に生じてしまうことを確認した。次世代 PET 装置に適応した動き補正アルゴリズムについて基礎的検討を進めた。

平成 19 年度には以下の成果を得た。動き計測手法の改良：立体マーカーの軽量化、計測システムの簡易化により動き計測装置の実用性を向上させた。また、高精度校正器具を新たに製作し校正手順を再検討した。補正アルゴリズムの開発：補正アルゴリズムの開発のため、新たに千葉大研究グループとの協力関係を築いた。プロトタイプ PET 装置への実装方法の検討：動き計測装置と PET 装置の時間同期方法の検討、座標系の相対位置校正方法の検討、補正アルゴリズムの実装方法の検討を進めた。また、簡単なファントム実験系において動き計測・補正が可能であることを確認した。臨床用核医学装置における被験者動きの調査：動き計測装置を臨床用核医学装置に対して設置し、健常者ボランティアを対象に動きの特性分析を進めた。

平成 20 年度には以下の成果を得た。動き計測システムの改良：被験者に装着する立体マーカーの更なる軽量化と装着方法の改良、計測精度の向上、実用性・安定性の向上を図った。また、新たに製作した高精度校正器具による計測システム校正を可能とした。補正アルゴリズムの開発：特に連携研究者及び新たな研究協力者の貢献のもと、被験者の動き情報を近似的に逐次近似画像再構成アルゴリズムに組み込む補正手法の開発を進め、補正精度や計算スピードに関わる評価により提案手法の有効性を示した。検査中の被験者動きの分析：ここでは臨床用と同タイプの核医学装置を用いて、健常者ボランティアを対象とし、検査中の被験者の動きにかかわる分析・評価を進めた。核医学装置モンテカルロシミュレーションプログラムの開発：仮想実験により評価条件などを効率的に詳しく検討するために、モンテカルロプログラムの開発・調整を進めた。検出器近接型の次世代 PET 装置への実装：動き計測装置と PET 装置の時間同期方法、座標系の相対位置校正方法、動き計測データ処理方法等について作業を進めた。

(2) 国内外における位置づけ

本研究計画を開始して以来、動き計測・補正については国内外で様々な先駆的研究が進められてきている。具体例として、動き計測についてはマーカーを用いずに頭部の特徴物を画像処理により認識し動きを計測す

る手法なども検討されている。また、補正アルゴリズムについては、動きに合わせてガンマ線検出位置を仮想的にシフトさせるリビング手法の他、逐次近似画像再構成法の感度関数に動き補正を組み込む手法、それらの高速化手法などが検討されてきている。

この中で、本研究で開発を進めた動き計測手法は、一台のカメラと立体マーカで動き計測が可能であり、検出器近接型 PET 装置における狭い領域にも適用しやすいという他にない利点を有している。また、補正アルゴリズムについては、多段深さ認識型検出器にも適用できるよう工夫をこらしている点に独自性があると考えられる。

(3)今後の展望

本研究で得られた成果を基盤に、検出器近接型頭部専用プロトタイプ PET 装置における動き計測・補正に関わる研究を進め、先駆性にこだわりながら関連する要素技術の開発を進めながら、新たな研究成果を得ることを目指している。このためには、計測システムの利便性の向上、補正アルゴリズムの開発と実装、より現実的な検査条件における動き計測・補正法の評価等をさらに進めることが必要と考えられる。

また、頭部以外の動き補正については、国内外でも様々な研究が展開されている。近年、国内でも急速に普及している PET-CT 装置による全身検査などにおいては、特に、胸腹部における様々な動きへの対処が重要な課題となっている。今後、頭部に限らず、様々な動き計測・補正に関わる研究にも着手していきたい。

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5件)

H. Muraishi, T. Hasegawa, Y. Fukushima, K. Yoda, K. Maruyama, Y. Shiba, M. Muraishi, T. Yamaya, E. Yoshida and H. Murayama, "A New Tracking Method for Head Motion using a Single Camera and a Solid Marker," Med. Imag. Tech 24(4):320-328 2006 (査読有)
E. Yoshida, T. Yamaya, M. Watanabe, K. Kitamura, A. Kobayashi, T. Hasegawa, T. Obi, H. Haneishi, M. Fukushi, and H. Murayama, "Design and initial evaluation of a 4-layer DOI-PET system: the jPET-D4," Jpn. J. Med. Phys. 26: 131-140 2006 (査読有)
T. Hasegawa, E. Yoshida, A. Kobayashi, K. Shibuya, F. Nishikido, T. Kobayashi, M. Suga, T. Yamaya, K.

Kitamura, K. Maruyama, and H. Murayama, "Evaluation of static physics performance of jPET-D4 with Monte Carlo simulation," Phys. Med. Biol. 52: 213-230 2007 (査読有)

村石 浩、長谷川智之 PET 画像情報処理(5)PET 検査における体動補正計測・補正の研究 放射線科学 48(4): 133-141 2005 (査読無)

長谷川智之 PET 装置性能評価と定量性放射線 33(1):47-54 2007 (査読無)

[学会発表](計5件)

Y. Fukushima, H. Murayama, E. Yoshida, T. Yamaya, K. Maruyama, Y. Shiba, H. Muraishi, T. Hasegawa, "Speed-Up of a New Head Motion Tracking Method for PET," World Congress of Medical Physics 2006 (Korea) 2006.8.30

長谷川智之、菊池 敬、吉田英治、山谷泰賀、村山秀雄、菅 幹生「次世代 PET 装置 jPET-D4 のための立体マーカーを用いた頭部動き計測・補正」第 47 回日本核医学会(仙台) 2007.11.4-6

木内尚子、小林哲哉、山谷泰賀、長谷川智之、村山秀雄、菅 幹生「体動補正付 PET 画像再構成における感度画像計算法の基礎的検討」第 94 回日本医学物理学会(横浜) 2008.4.5

山谷泰賀、長谷川智之、小林哲哉、村山秀雄、菅 幹生 "Motion correction in PET image for 3D-reconstruction using approximated global sensitivity image," アジア国際フォーラム 2009 International Forum on Medical Imaging in Asia (台北市) 2009.1.19-21

木内尚子、山谷泰賀、長谷川智之、小林哲哉、村山秀雄、菅 幹生「3次元体動補正付逐次近似 PET 画像再構成の実装方法の検討」第 97 回日本医学物理学会学術大会(横浜) 2009.4.18

6. 研究組織

(1)研究代表者

長谷川智之(HASEGAWA TOMOYUKI)
北里大学・医療衛生学部・講師
研究者番号：10276181

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

村山秀雄 (MURAYAMA HIDEO)
放射線医学総合研究所・医学物理部・室長
研究者番号：50166310

山谷泰賀 (YAMAYA TAIGA)
放射線医学総合研究所・医学物理部・研究員
研究者番号：40392245

村石 浩 (MURAIISHI HIROSHI)
北里大学・医療衛生学部・講師
研究者番号：00365181

(4)研究協力者

以下()内に所属を記す

吉田英治

(放射線医学総合研究所・任期付研究員)

菅 幹生(千葉大学・工学部・准教授)

木内尚子(千葉大学大学院・学生)

福島康弘(北里大学大学院 2006 年度学生)

中村剛樹(北里大学 2006 年度卒業研究生)

丸山由希(同上)

小堀甲子朗(同上)

小島春奈(同上)

増 知里(同上)

岡本めぐみ(同上)

吉田有沙(同上)

金井 梢(同上)

泉 翔一(北里大学 2007 年度卒業研究生)

加世田 健吾(同上)

高橋 加奈江(同上)

武藤恵子(同上)

紅林久美子(同上)

深井正隆(北里大学 2008 年度卒業研究生)

三上信哉(同上)

本庄弘樹(同上)

田中優樹(同上)

國吉 涉(同上)

鈴木悠一(同上)

以上