

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24390295

研究課題名(和文) 近接・一体型PET-MRIプローブ用MRI送受信コイルの開発

研究課題名(英文) Development of a removable MR head coil integrated with high-resolution PET detectors

研究代表者

小畠 隆行 (Obata, Takayuki)

独立行政法人放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・チームリーダー

研究者番号：00285107

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：当研究の目的は、臨床及びヒト研究に応用可能な近接・一体型PET-MRIディテクタを開発するにあたって、PET・MRI間のさまざまな干渉を低減できるMRI送受信コイル部分の開発を行うことである。まず、PETディテクタの近接限界評価可能であること、PETディテクタ・MRIコイルの相互干渉の低減をはかれることを主目的に設計を行い、調整用コイルを制作した。このコイルを用いたテストにより干渉低減のためのシールドボックスの改良やコイルデザインの変更を実施した。改良されたコイルに1リングのPETディテクタシステムを搭載し、PETとMRIの同時撮像を行い、実用に耐えうる画像を両撮像法で取得することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to develop an MRI transmitting and receiving head coil that can be integrated with high-resolution PET detectors. Using a prototype head coil, we tried to optimize the position of the shield boxes in proximity to the head, and to reduce interaction between PET and MRI. After modifying the shield boxes for the PET system and the coil design, an MRI coil integrated with one-ring PET detectors was developed. Simultaneous measurement of PET and MRI by this system provided sufficient useful information to support its clinical applicability.

研究分野：放射線科学

キーワード：MRI PET/MRI PET-MRI 一体型 コイル

1. 研究開始当初の背景

PET-MRI 装置開発は、世界各国で試みられており、シーメンス社から臨床装置が発表されるなど、さらにその競争は激しさを増している (Schlemmer et al 2008 Radiology)。しかし日本においては、低磁場の MRI での動物用実験機としての PET-MRI の試行が行われているもの (Yamamoto S, et al 2011 Phys. Med. Biol)。臨床を目指した研究開発は世界のレベルには大きく後れをとっている。

現在、臨床にて使用されている PET-MRI 装置は PET 検出器が MRI のガントリサイズと同等であり、リング径が大きく空間分解能が劣る。当研究施設では、PET ディテクターの独自開発により、磁場内でも高分解能を得ることを目指した近接・PET ディテクターの開発が進んでおり (Nishikido, et al, 2010, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, Yamaya T et al, 2011, Phy. Med. Biol) 実用可能なレベルにある。このディテクターを搭載可能な MRI 送受信コイルを開発することにより、近接・一体型 PET-MRI プローブが製作可能であり、一気に日本の装置開発は世界レベルを追い越す可能性がある。課題としては、磁性体・導電体を含む機器を MRI 送受信コイルに近接することによって生じる干渉 (ノイズ・磁場の乱れ・渦電流など) がある。これは PET、MRI 双方の画質を劣化させるのみでなく、装置の破損を起こす危険もある。これを PET・MRI 研究グループの連携によって克服していく。

今回作成する近接型 PET-MRI プローブ用 MRI 送受信コイルが臨床・ヒト研究に応用できれば、高感度・高分解能 PET を装着することにより、画像診断の高度化に大きく貢献するものと考えられる。また、一体型でコンパクトな形態となるため、普及型 MRI 装置への装着も簡便で広く普及する可能性を持っている。

2. 研究の目的

まず、PET ディテクターを搭載可能な MRI 送受信コイルのプロトタイプを製作する。これを用いて、課題となる PET・MRI 間の干渉を低減するための調整を行っていく。最終的に臨床・ヒト研究に応用可能な、安全性・安定性の高い近接・一体型 PET-MRI プローブ用 MRI 送受信コイルを製作する。

3. 研究の方法

PET ディテクターが MRI 送受信コイルより内側に配置される世界に類を見ない近接・一体型 PET-MRI プローブ作成のための、MRI 技術開発を展開する。具体的には非磁性 PET ディ

テクターを搭載可能な MRI 送受信コイルの作成を行う。(A) 初年度にファントム実験用の試作機を作成し、(B) 1~2 年目に PET システムと MRI 装置間の干渉の低減を目的とする諸実験を行う。(C) 2 年目後半からヒト用 MRI 送受信コイルの作成をはじめ、(D) 3 年目に安全性テスト・調整を行い、最終年度にヒト PET-MRI 測定可能な実用システムを完成させる。

4. 研究成果

調整用 MRI 送受信コイル制作、および、初期的検討

臨床用コイル作成に先駆けて、最適化を念頭においた調整用コイルを作成し、臨床応用に向けた初期的検討 (実装テスト、シールドボックス最適化、相互干渉テスト) を行った。

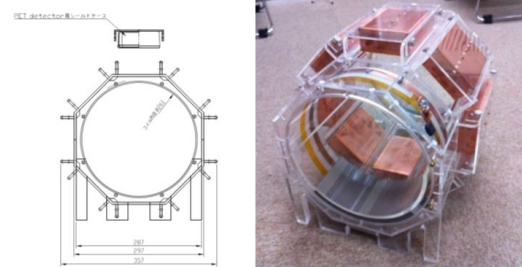


図 1、プロトタイプ PET-MRI 用 MRI 送受信コイルの設計図(左)と完成品(右)。PET システムを内包するシールドボックスをコイルエレメントの間に配置した。

PET ディテクターの近接限界評価可能であること、PET ディテクター・MRI コイルの相互干渉 (漏洩電磁波、磁場不均一、渦電流) の低減をはかれることを主目的に設計を行い、既存の MRI 装置への実装に成功した (図 1)。これを用いて、シールドボックスに生じる減衰の遅い渦電流の影響を測定し、画質に影響を与えないレベルであることを示した。また、PET 検出器と MRI の相互干渉に関する検討では、一つの PET ディテクターユニットを装着し、PET・MRI 相互干渉テストを行ったが、PET 信号への影響はごくわずかであったが、MRI では軽度のノイズの増加と渦電流による画像の乱れが観測された。

渦電流定量測定法開発とその低減実験

課題の残った渦電流の影響を評価するため、渦電流で生じる二次磁界の定量化法を確立した。渦電流定量化のため、急速反転磁場下での信号取得における奇数・偶数回での位相差を画像化する新たな測定法も提案した (図 2)。

上述の定量評価により、シールドボックス上での減衰の速い渦電流により生じる二次磁界が作成中の PET-MRI 装置において干渉として問題になることが分かった。このため、シールドボックスの改良にあたっては、減衰の速い渦電流に関する干渉低減を目的に研究を行った。渦電流の流れる方向と垂直にシールドボックスにカットラインを入れることにより二次磁界の低減に成功した。

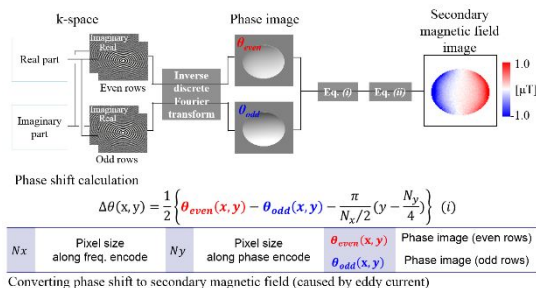


図 2、渦電流定量測定法。急速反転磁場下での信号取得における奇数・偶数回での位相差を画像化することにより渦電流により生じる二次磁界のマップを作成する。

1 リング PET ディテクター搭載型 MRI 送受信コイル開発

最終年度は前年度までの実績を踏まえ、PET ディテクタを一例全周性に装着できる頭部用バードケージ型 RF コイルの作成を行い、その相互干渉・安全性などの基礎検討を行った。

PET ディテクタは最も近いところで RF コイルの要素より被験体に近接するように設計された。このような状況でも RF コイルのチューニングなどに問題はなく、臨床で一般的に行う測定法での画像取得が可能であった。PET から MRI への干渉に関しては MRI 室外からの電源ケーブルにフィルターを挿入することと、PET ディテクタに十分なシールドをすることで誤差レベルまでに低減することができた。MRI から PET への干渉に関しても、測定された PET 情報を劣化させるものはなかった。

2 次磁界を定量的に評価する測定法を用いて検討した結果、磁場勾配を高速で反転させる一部のシーケンスで画質への影響が確認された。この点に関してはシールド素材の改良などで渦電流の低減に成功しており、次の試作機においてこの技術を応用する予定である。

安全性評価として発熱テストを光ファイバー温度計を用いて行った。観測された温度上

昇はごくわずかで、一般的な安全基準を十分に満たすものであった。

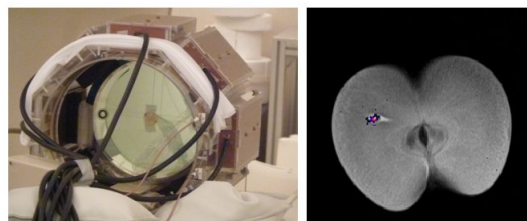


図 3、One-ring PET ディテクター搭載型 MRI 送受信コイル(左)とその画像(右)。MRI のリングの画像に挿入されている点線源の PET 画像をヒュージョンしている。

なお、本プロジェクトの一部(PET 開発部分)には JST 研究成果展開事業 先端計測分析技術・機器開発プログラムの予算が使用されていた。

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 2 件)

Nishikido F, Tachibana A, Obata T, Inadama N, Yoshida E, Suga M, Murayama H, Yamaya T, “Development of 1.45-mm resolution four-layer DOI-PET detector for simultaneous measurement in 3T MRI”, Radiological physics and technology, 査読有, vol.8, no.1, pp.111-119, 2015,

DOI: 10.1007/s12194-014-0298-6

Nishikido F, Obata T, Shimizu K, Suga M, Inadama N, Tachibana A, Yoshida E, Ito H, Yamaya T, “Feasibility of a brain-dedicated PET-MRI system using four-layer DOI detectors integrated with an RF head coil,” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 査読有, vol.756, pp.6-13, 2014,

DOI: 10.1016/j.nima.2014.04.034

[学会発表] (計 17 件)

K. Shimizu, M. Suga, F. Nishikido, H. Kuribayashi, I. Nakajima, Y. Kawabata, T. Yamaya, T. Obata, “Quantitative Analysis of Effect of Shield Boxes for PET Electronics Combined with an MR

Head Coil ”, 2014 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging, 2014-11-14, (Seattle, USA)

錦戸文彦, 清水浩大, 菅幹生, 稲玉直子, 吉田英治, 田島英朗, 小島隆行, 山谷泰賀, “ A Full-Ring Prototype PET-MRI System Based on Four-Layer DOI-PET Detectors Integrated with a RF Coil ”, 2014 IEEE NSS/MIC, 2014-11-13, (Seattle, USA)

佐野ひろみ, 川口拓之, 菅幹生, 清水浩大, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 小島隆行, “ PET-MRI 一体型検出器の開発：シールドボックスの発熱評価 ”, 第 42 回日本磁気共鳴医学会大会, 2014-09-19, ホテルグランヴィア京都 (京都市)

清水浩大, 菅幹生, 錦戸文彦, 中島巖, 川畑義彦, 栗林秀人, 山谷泰賀, 小島隆行, “ PET/MRI 一体型検出器の開発：カーボン製シールドボックスの MRI への影響評価 ”, 第 42 回日本磁気共鳴医学会大会, 2014-09-18, ホテルグランヴィア京都 (京都市)

錦戸文彦, 清水浩大, 稲玉直子, 吉田英治, 田島英朗, 菅幹生, 小島隆行, 山谷泰賀, “ コイル一体型 PET/MRI 装置のフルリング試作機の開発：同時撮像における性能評価 ”, 第 75 回応用物理学学会秋季学術講演会, 2014-09-18, 北海道大学 (北海道・札幌市)

佐野ひろみ, 川口拓之, 菅幹生, 清水浩大, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 小島隆行, “ MRI 撮像時における光ファイバー温度計を用いた非磁性導体の発熱評価 ”, Advanced CT・MR 2014, 2014-06-14, 軽井沢プリンスホテルウエスト (長野県・軽井沢町)

Mikio Suga, Takayuki Obata, Kodai Shimizu, Fumihiko Nishikido, Atsushi Tachibana, Hideto Kuribayashi, Iwao Nakajima, Yoshihiko Kawabata, and Taiga Yamaya, “ Quantitative evaluation of the short-lived eddy currents in shield boxes of the novel MRI head coil integrated with PET detectors ”, ISMRM2014, 2014-5-10~16, (Milan, Italy)

錦戸文彦, 清水浩大, 菅幹生, 小島隆行, 稲玉直子, 吉田英治, 山谷泰賀, “ RF コイル一体型 PET-MRI 装置用 DOI-PET 検出器の MRI との同時測定における性能評価 ”, 第 61 回応用物理学学会春季学術講演会, 2014-03-20, 青山学院大学 (神奈川県・相模原市)

Fumihiko Nishikido, Takayuki Obata, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Mikio Suga, Kodai Shimizu, Tachibana Atsushi, Hiroshi Ito, Taiga Yamaya, “ One-pair prototype integrated system of DOI-PET and the RF-coil specialized for

simultaneous PET-MRI measurements ”, The 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, and Room-Temperature Semiconductor X-Ray and Gamma-Ray Detectors workshop, 2013-11-02, (Soul, Korea)

Kodai Shimizu, Mikio Suga, Atsushi Tachibana, Fumihiko Nishikido, Hideto Kuribayashi, Iwao Nakajima, Yoshihiko Kawabata, Taiga Yamaya, and Takayuki Obata, “ Development of a Novel MR Head Coil Integrated with PET Detectors: Design and Optimization of Shield Boxes, ” 2013 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging, 2013-10-31, (Seoul, Korea)

清水浩大, 菅幹生, 橘篤志, 錦戸文彦, 栗林秀人, 中島巖, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, “ PET/MRI 一体型検出器の開発：シールドボックスが誘発する画像アーチファクト・ノイズの評価 ”, 第 41 回日本磁気共鳴医学会大会, 2013-09-21, 徳島大学 (徳島市)

佐野ひろみ, 小島隆行, 川口拓之, 尾松美香, 青天目州晶, 小原哲, 赤羽恵一, 島田義也, 伊藤浩, “ ポリマーゲル線量計における高空間分解能 T2 測定の連続撮影による安定性評価 ” 第 41 回日本磁気共鳴医学会大会, 2013-09-21, 徳島大学 (徳島市)

清水浩大, 菅幹生, 橘篤志, 錦戸文彦, 栗林秀人, 中島巖, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, “ PET/MRI 一体型検出器の開発：シールドボックスに生じる渦電流による位相シフトの定量評価 ”, 第 32 回日本医用画像工学会大会 (JAMIT2013), 2013-08-02, 日本科学未来館 (東京・江東区)

清水浩大, 橘篤志, 錦戸文彦, 栗林秀人, 中島巖, 川畑義彦, 山谷泰賀, 小島隆行, 菅幹生, “ 一体型検出器の開発：シールドボックスに生じる渦電流による静磁場歪みの評価 ”, 第 105 回日本医学物理学学会学術大会, 2013-04-13, パシフィコ横浜 (神奈川県・横浜市)

Fumihiko Nishikido, Takayuki Obata, Naoko Inadama, Eiji Yoshida, Hideaki Tashima, Mikio Suga, Hideo Murayama, Taiga Yamaya, “ Prototype Integrated System of DOI- PET and the RF-Coil Specialized for Simultaneous PET-MRI Measurements ”, 2012 Nuclear Science Symposium, Medical Imaging Conference, USA, 2012, (Anaheim, CA, USA)

錦戸文彦, 小島隆行, 菅幹生, 尾松美香, 稲玉直子, 吉田英治, 村山秀雄, 山谷泰賀, “ PET-MRI 装置用 RF コイル一体型 PET 検出器の開発 ”, 第 73 回応用物理学学会学術講演会, 2012-09, 愛媛大学 (愛媛・松

山市)
錦戸文彦, 小島隆行, 稲玉直子, 吉田英治, 菅幹生, 村山秀雄, 山谷泰賀, “RF コイル一体型PET-MRI 装置用4層D01-PET 検出器のMRI 中での評価”, 第59 回応用物理学関係連合講演会, 2012-03, 早稲田大学(東京・新宿区)

〔図書〕(計 2 件)

平野好幸, 小島隆行, ワールドプランニング, 老年精神医学雑誌 vol 24, no3, “基礎講座 老年精神医学と Brain Imaging 機能的MRI の基礎”, 2013, pp.289-302

小島隆行, オーム社, 実践医用画像解析ハンドブック, “臨床分子MR イメージング”, 2012/11, pp.497-505, ISBN 978-4-274-21282-6

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称: PET-MRI 装置
発明者: 菅野巖, 山谷泰賀, 小島隆行 他
権利者: 放射線医学総合研究所 他
種類: 特許
番号: W02012060304 A1
出願年月日: 2011 年 10 月 28 日
国内外の別: 国外

名称: PET-MRI 装置
発明者: 小島隆行, 山谷泰賀, 菅野巖 他
権利者: 放射線医学総合研究所 他
種類: 特許
番号: W02012060305 A1
出願年月日: 2011 年 10 月 28 日
国内外の別: 国外

取得状況(計 3 件)

名称: オープンPET/MRI 複合機
発明者: 山谷泰賀, 村山秀雄, 小島隆行, 青木伊知男
権利者: 放射線医学総合研究所
種類: 特許
番号: 特許第 5224421 号
取得年月日: 2013 年 3 月 22 日
国内外の別: 国内

名称: PET/MRI 装置
発明者: 山谷泰賀, 小島隆行
権利者: 放射線医学総合研究所
種類: 特許
番号: 特許第 5598956 号
取得年月日: 2014 年 8 月 22 日
国内外の別: 国内

名称: PET/MRI 一体型装置
名称: PET/MRI 装置
発明者: 山谷泰賀, 錦戸文彦, 小島隆行、

菅幹生, 齊藤一幸, 渡辺光男, 田中栄一
権利者: 放射線医学総合研究所, 浜松ホトニクス株式会社
種類: 特許
番号: 特許第 5713468 号
取得年月日: 2015 年 3 月 20 日
国内外の別: 国内

〔その他〕

受賞
2014 年 Advanced CT・MR 研究会 大会長賞
MRI 撮像時における光ファイバー温度計を用いた非磁性導体の発熱評価
佐野ひろみ, 川口拓之, 菅幹生, 清水浩大, 錦戸文彦, 山谷泰賀, 小島隆行

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小島隆行(Oyata Takayuki)
放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・チームリーダー
研究者番号: 00285107

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

山谷 泰賀(Yamaya Taiga)
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・チームリーダー
研究者番号: 40392245

綿戸 文彦(Nishikido Fumihiko)
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・研究員
研究者番号: 60367117

Jeffrey Kershaw
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・技術員
研究者番号: 50508801

佐野 ひろみ(Sano Hiromi)
放射線医学総合研究所・分子イメージング研究センター・放射線技師
研究者番号: 80754366

立花 泰彦(Tachibana Yasuhiko)
放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・医師
研究者番号: 20749973

尾松 美香(Omatsu Mika)
放射線医学総合研究所・重粒子医科学センター・放射線技師

菅 幹生(Suga Mikio)
千葉大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 00294281

齊藤 一幸(Saito Kazuyuki)
千葉大学・フロンティア医工学センター・准教授

研究者番号：80334168

平野 好幸 (Hirano Yoshiyuki)
千葉大学・医学研究科・特任講師

研究者番号：50386843

橘 篤志 (Tachibana Atsushi)
スタンフォード大学・医学部・リサーチア
ソシエート