

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5598956号  
(P5598956)

(45) 発行日 平成26年10月1日(2014.10.1)

(24) 登録日 平成26年8月22日(2014.8.22)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 T 1/161 (2006.01)** GO 1 T 1/161 A  
**A 6 1 B 5/055 (2006.01)** A 6 1 B 5/05 3 9 0

請求項の数 23 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2010-52389 (P2010-52389)	(73) 特許権者	301032942
(22) 出願日	平成22年3月9日(2010.3.9)		独立行政法人放射線医学総合研究所
(65) 公開番号	特開2011-185796 (P2011-185796A)		千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(43) 公開日	平成23年9月22日(2011.9.22)	(74) 代理人	100080458
審査請求日	平成25年2月12日(2013.2.12)		弁理士 高矢 諭
		(74) 代理人	100076129
			弁理士 松山 圭佑
		(74) 代理人	100089015
			弁理士 牧野 剛博
		(72) 発明者	山谷 泰賀
			千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
			独立行政法人放射線医学総合研究所内
		(72) 発明者	小島 隆行
			千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
			独立行政法人放射線医学総合研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 PET/MRI装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定ポートを有するMRI装置と、  
 前記測定ポートに挿入できるPET検出器から構成され、  
 PET検出器をMRI測定ポート内外へスライドして移動できる機構を備え、  
 PET測定中にMRI測定が可能とされているPET/MRI装置であって、  
 前記PET検出器が測定対象のベッドに取付けられていて互いに一体に移動することを特徴とするPET/MRI装置。

【請求項2】

前記PET検出器を、測定対象が載せられるベッドの長手方向にスライドできる機構を備えていることを特徴とする請求項1に記載のPET/MRI装置。

10

【請求項3】

前記PET検出器の内側にMRI用RFコイルが取付けられていることを特徴とする請求項1又は2に記載のPET/MRI装置。

【請求項4】

前記PET検出器内側に取り付けられたMRI用RFコイルが、送信用コイル、または受信コイル、または送受信兼用コイル、または送信用コイルと受信コイルの両方が混在するコイルであることを特徴とする請求項3に記載のPET/MRI装置。

【請求項5】

前記PET検出器の測定視野幅が、少なくとも測定対象の頭部から体幹部までをカバー

20

するように延設されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項6】

前記PET検出器が、測定対象の長手方向に分割されていることを特徴とする請求項5に記載のPET/MRI装置。

【請求項7】

前記PET検出器を構成する検出器リング、及び/又は、該検出器リングを構成する検出器ユニットの間隔が一定でないことを特徴とする請求項5又は6に記載のPET/MRI装置。

【請求項8】

頭部用と体幹部用で分解能及び/又は感度が異なるPET検出器が用いられていることを特徴とする請求項5乃至7のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項9】

頭部用PET検出器の分解能が、体幹部用PET検出器の分解能より高いことを特徴とする請求項8に記載のPET/MRI装置。

【請求項10】

頭部用PET検出器を構成する検出器リングの内径が、体幹部用PET検出器を構成する検出器リングの内径より小径とされていることを特徴とする請求項5乃至9のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項11】

前記PET検出器の測定対象の頭部部分において、少なくとも目を覆う部分に開口が設けられていることを特徴とする請求項1乃至10のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項12】

前記PET検出器を構成する検出器リングの断面形状において、測定対象の体幹部分の測定対象厚み方向サイズが、検出器が体幹表部に近接するよう、厚み方向と直交する幅方向のサイズと異なるようにされていることを特徴とする請求項1乃至11のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項13】

前記PET検出器を構成する検出器リングの、測定対象の体幹部分における測定対象の厚み方向上側半湾部分の曲率半径が、厚み方向下側半湾部分の曲率半径より小とされていることを特徴とする請求項12に記載のPET/MRI装置。

【請求項14】

前記PET検出器を構成する検出器リングの、前記測定対象の厚み方向上側半湾部分の少なくとも一部が開放可能とされていることを特徴とする請求項1乃至13のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項15】

前記上側半湾部分が観音開きとされていることを特徴とする請求項14に記載のPET/MRI装置。

【請求項16】

前記上側半湾部分が片開きとされていることを特徴とする請求項14に記載のPET/MRI装置。

【請求項17】

前記上側半湾部分と残りの下側半湾部分とが分離可能とされていることを特徴とする請求項14に記載のPET/MRI装置。

【請求項18】

前記PET検出器を構成する検出器リングの少なくとも測定対象の厚み方向上側半湾部分の大きさ及び/又は形状が、測定対象に応じて可変とされていることを特徴とする請求項1乃至17のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項19】

10

20

30

40

50

頭部用のPET検出器が、体幹部用のPET検出器に対して移動可能及び/又は取り外し可能とされていることを特徴とする請求項8乃至10のいずれかに記載のPET/MRI装置。

【請求項20】

測定ポートを有するMRI装置と、  
前記測定ポートに挿入できるPET検出器から構成され、  
PET検出器をMRI測定ポート内外へスライドして移動できる機構を備え、  
PET測定中にMRI測定が可能とされているPET/MRI装置であって、  
 PET測定を、PET検出器をMRI測定ポート内へスライドする移動開始前に開始し、MRI測定終了後にPET検出器を測定対象の退避位置までスライドする移動終了後に終了することで、PET測定時間を可能な限り長くすることを特徴とするPET/MRI装置。

10

【請求項21】

測定ポートを有するMRI装置と、  
前記測定ポートに挿入できるPET検出器から構成され、  
PET検出器をMRI測定ポート内外へスライドして移動できる機構を備え、  
PET測定中にMRI測定が可能とされているPET/MRI装置であって、  
 前記PET検出器が、前記測定ポート内を測定対象のスライド移動とは独立してスライド移動する機構を備え、検査中において測定対象がスライドする移動速度よりも遅い移動速度でPET検出器をスライド移動するよう制御することを特徴とするPET/MRI装置。

20

【請求項22】

測定対象のベッドへの昇降およびセットアップを容易にするために、前記PET検出器を、ベッド上からMRI測定ポート内へ退避できるスライド機構をもつことを特徴とする請求項21に記載のPET/MRI装置。

【請求項23】

PET測定を、MRI測定の開始直前に開始しMRI測定の終了直後に終了することで、またはPETの画像再構成処理において、MRI測定の開始直前からMRI測定の終了直後までに収集したPETデータを使用することで、PET測定とMRI測定の同時性を高めたことを特徴とする請求項1乃至22のいずれかに記載のPET/MRI装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、PET/MRI装置に係り、特に、短時間でPET画像とMRI画像をほぼ同時に取得することが可能なPET/MRI装置に関する。

【背景技術】

【0002】

図1に例示する如く、CT装置100とPET装置200を組合せて、PET装置200による機能画像をCT装置100により得られる形態画像上に重ねて診断するPET/CT装置が普及している。図において、10は測定(検査)対象である患者又は被検者(以下、患者と総称する)、20は患者10が載せられる(寝かされる)ベッド、22は該ベッド20の水平方向への移動装置、102は、CT装置100のX線源であるX線管球、104はX線検出器、202は、PET装置200のPET検出器を構成する検出器リング(以下単にリングとも称する)である。しかしながら、一般的に、CTによる被曝はPETによる被曝の数倍であるため、CTによる被曝は無視できない。

40

【0003】

一方、CT装置の代わりに、放射線に被曝することなく形態画像を取得可能なMRI装置が注目されており、PET画像とMRI画像の取得が可能なPET/MRI装置の研究開発が進んでいる。特に、受光素子に磁場の影響を受けないAPD(アバランシェフォトダイオード)やガイガーモードAPD(SiPMとも呼ばれる)を用いて、PET装置の

50

検出器ユニットを完全にMRIの静磁場中に設置する半導体受光素子方式が開発されており、小動物PET装置と頭部用PET装置で開発実績がある（非特許文献1乃至3、特許文献1乃至3参照）。

【0004】

一般に、PET装置の感度は、検出器自体の感度が同じ場合、検出器が患者に近いほど、また患者の体軸方向の視野（体軸視野と称する）が広がるほど高感度になる。しかしながら、静磁場が安定する領域で決まるMRI装置の有効体軸視野（30～40cm程度）と同程度のPET装置の体軸視野では、PET装置の感度が不足し、MRIの計測時間（通常数分程度）よりも長いPET測定時間を要してしまうという問題点を有していた。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許第7626392B2号明細書

【特許文献2】米国特許US2008/0287772A1号明細書

【特許文献3】米国特許US2009/0108206A1号明細書

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】Schlyer D, et al., "A Simultaneous PET/MRI scanner based on RatCAP in small animals," IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record, Volume: 5, pp: 3256 - 3259, 2007

【非特許文献2】Schlemmer HW, et al. Simultaneous MR/PET Imaging of the Human Brain: Feasibility Study. Radiology, 2008; 248, 1028 - 1035.

【非特許文献3】Judenhofer MS, et al. Simultaneous PET-MRI: a new approach for functional and morphological imaging. Nat Med 2008; 14(4): 459 - 65.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、前記従来の問題点を解決するべくなされたもので、短時間でPET画像とMRI画像をほぼ同時に取得できるようにすることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、測定ポートを有するMRI装置と、前記測定ポートに挿入できるPET検出器から構成され、PET検出器をMRI測定ポート内外へスライドして移動できる機構を備え、PET測定中にMRI測定が可能とされているPET/MRI装置であって、前記PET検出器が測定対象のベッドに取付けられていて互いに一体に移動することを特徴とするPET/MRI装置により、前記課題を解決したものである。

【0013】

ここで、前記PET検出器を、測定対象が載せられるベッドの長手方向にスライドできる機構を備えることができる。

【0014】

又、前記PET検出器の内側にMRI用RFコイルを取付けることができる。

【0015】

又、前記PET検出器内側に取り付けられたMRI用RFコイルを、送信用コイル、または受信コイル、または送受信兼用コイル、または送信用コイルと受信コイルの両方が混在するコイルとすることができる。

【0016】

又、前記PET検出器の測定視野幅を、少なくとも測定対象の頭部から体幹部までをカバーするように延設することができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 7 】

又、前記 P E T 検出器を、測定対象の長手方向に分割することができる。

## 【 0 0 1 8 】

又、前記 P E T 検出器を構成する検出器リング、及び/又は、該検出器リングを構成する検出器ユニットの間隔が一定でないようにすることができる。

## 【 0 0 1 9 】

又、頭部用と体幹部用で分解能及び/又は感度が異なる P E T 検出器を用いることができる。

## 【 0 0 2 0 】

又、頭部用 P E T 検出器の分解能を、体幹部用 P E T 検出器の分解能より高くすることができる。

10

## 【 0 0 2 1 】

又、頭部用 P E T 検出器を構成する検出器リングの内径を、体幹部用 P E T 検出器を構成する検出器リングの内径より小径とすることができる。

## 【 0 0 2 2 】

又、前記 P E T 検出器の測定対象の頭部部分において、少なくとも目を覆う部分に開口を設けることができる。

## 【 0 0 2 3 】

又、前記 P E T 検出器を構成する検出器リングの断面形状において、測定対象の体幹部の測定対象厚み方向サイズを、検出器が体幹表部に近接するよう、厚み方向と直交する幅方向のサイズと異なるようにすることができる。

20

## 【 0 0 2 4 】

又、前記 P E T 検出器を構成する検出器リングの、測定対象の体幹部における測定対象の厚み方向上側半湾部分の曲率半径を、厚み方向下側半湾部分の曲率半径より小とすることができる。

## 【 0 0 2 5 】

又、前記 P E T 検出器を構成する検出器リングの、前記測定対象の厚み方向上側半湾部分の少なくとも一部を開放可能とすることができる。

## 【 0 0 2 6 】

又、前記上側半湾部分を観音開きとすることができる。

30

## 【 0 0 2 7 】

又、前記上側半湾部分を片開きとすることができる。

## 【 0 0 2 8 】

又、前記上側半湾部分と残りの下側半湾部分とを分離可能とすることができる。

## 【 0 0 2 9 】

又、前記 P E T 検出器を構成する検出器リングの少なくとも測定対象の厚み方向上側半湾部分の大きさ及び/又は形状を、測定対象に応じて可変とすることができる。

## 【 0 0 3 0 】

又、頭部用の P E T 検出器を、体幹部用の P E T 検出器に対して移動可能及び/又は取り外し可能とすることができる。

40

## 【 0 0 3 1 】

本発明は、又、測定ポートを有する M R I 装置と、前記測定ポートに挿入できる P E T 検出器から構成され、P E T 検出器を M R I 測定ポート内外へスライドして移動できる機構を備え、P E T 測定中に M R I 測定が可能とされている P E T / M R I 装置であって、P E T 測定を、P E T 検出器を M R I 測定ポート内へスライドする移動開始前に開始し、M R I 測定終了後に P E T 検出器を測定対象の退避位置までスライドする移動終了後に終了することで、P E T 測定時間を可能な限り長くすることを特徴とする P E T / M R I 装置により、同様に前記課題を解決したものである。

## 【 0 0 3 2 】

本発明は、又、測定ポートを有する M R I 装置と、前記測定ポートに挿入できる P E T

50

検出器から構成され、PET検出器をMRI測定ポート内外へスライドして移動できる機構を備え、PET測定中にMRI測定が可能とされているPET/MRI装置であって、前記PET検出器が、前記測定ポート内を測定対象のスライド移動とは独立してスライド移動する機構を備え、検査中において測定対象がスライドする移動速度よりも遅い移動速度でPET検出器をスライド移動するよう制御することを特徴とするPET/MRI装置により、同様に前記課題を解決したものである。

【0033】

ここで、測定対象のベッドへの昇降およびセットアップを容易にするために、前記PET検出器を、ベッド上からMRI測定ポート内へ退避できるスライド機構をもつことができる。

10

【0034】

又、PET測定を、MRI測定の開始直前に開始しMRI測定の終了直後に終了することで、またはPETの画像再構成処理において、MRI測定の開始直前からMRI測定の終了直後までに収集したPETデータを使用することで、PET測定とMRI測定の同時性を高めることができる。

【発明の効果】

【0043】

本発明によれば、PET検出器を患者に近づけ、かつ/またはMRI装置の有効測定視野よりもPET検出器の有効測定視野を広くすることで、短時間でPET画像とMRI画像をほぼ同時に取得できる。

20

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図1】従来のPET/CT装置の一例の構成を示す(a)斜視図及び(b)正面から見た断面図

【図2】本発明の第1実施形態の概略構成を示す斜視図

【図3】同じく詳細構成を示す(a)正面図及び(b)側面から見た断面図

【図4】同じく一般的な動作を示す断面図

【図5】同じく操作手順を示す流れ図

【図6】同じくタイムチャート

【図7】同じく変形例のタイムチャート

30

【図8】同じく他の変形例のタイムチャート

【図9】本発明の第2実施形態の(a)概略構成を示す斜視図及び(b)詳細構成を示す側面から見た断面図

【図10】同じくRFコイルの装着状態を示す横断面図

【図11】本発明の第3実施形態の詳細構成を示す(a)正面図及び(b)側面から見た断面図

【図12】本発明の(a)第4実施形態及び(b)第5実施形態の要部構成を示す、側面から見た断面図

【図13】本発明の第6実施形態の概略構成を示す斜視図

【図14】同じく側面から見た断面図

40

【図15】本発明の第7実施形態の概略構成を示す斜視図

【図16】第7実施形態の要部構成を示す縦断面図

【図17】同じく(a)細身体形用、(b)太身体形用、及び(c)頭部用のPET検出器配置を示す横断面図

【図18】本発明の第8実施形態の構成及び作用を示す横断面図

【図19】同じく斜視図

【図20】第8実施形態の変形例の構成及び作用を示す横断面図

【図21】本発明の第9実施形態の要部構成及び作用を示す斜視図

【図22】本発明の第10実施形態の要部構成を示す斜視図

【図23】第10実施形態で用いられるベルト状PET検出器の要部構成を示す斜視図

50

【図24】第10実施形態の信号処理および画像再構成処理を示すブロック図

【図25】同じくベルト状PET検出器の配置例を示す横断面図

【図26】本発明の第11実施形態の要部構成及び作用を示す斜視図

【図27】第11実施形態で用いられるベルト状PET検出器の関節部の構成を示す斜視図

【図28】第11実施形態をインナーフレームに装着している状態を示す斜視図

【図29】同じく装着後の状態の例を示す横断面図

【図30】本発明の第12実施形態で用いられるベルト状PET検出器を示す斜視図

【図31】同じく関節部の構成を示す斜視図

【図32】同じく装着後の状態の例を示す横断面図

10

【図33】第12実施形態の変形例で用いられるインナーフレームを示す斜視図

【図34】本発明の第13実施形態の構成を示す斜視図

【図35】本発明の第14実施形態の要部構成を示す斜視図

【図36】同じく(a)横断面図及び(b)平面図

【図37】本発明の第15実施形態の全体構成を示す(a)正面図及び(b)側面から見た断面図

【図38】第15実施形態の動作状態を示す断面図

【図39】本発明の第16実施形態の全体構成を示す(a)正面図及び(b)側面から見た断面図

【図40】同じく動作状態を示す断面図

20

【図41】本発明の第17実施形態の動作状態を示す、側面から見た断面図

【図42】本発明の第18実施形態の全体構成を示す(a)正面図及び(b)側面から見た断面図

【図43】本発明の第19実施形態の要部構成を示す斜視図

【図44】本発明の第20実施形態の要部構成を示す斜視図

【図45】同じく全体構成を示す側面から見た断面図

【図46】同じく動作状態を示す断面図

【発明を実施するための形態】

【0046】

以下図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

30

【0047】

本発明の第1実施形態は、図2(概要を示す斜視図)、図3(a)(正面図)及び(b)(側面から見た断面図)に示す如く、測定ポート(ここでは患者ポート)302を有するMRI装置300と、前記患者ポート302の内径より小さな外径を有し、該患者ポート302内を測定対象(ここでは患者)10と共に移動可能な、MRI装置300の有効測定視野(MRI視野と称する)Mよりも広い有効測定視野(PET視野と称する)Pを有するPET検出器210とを備えることにより、PET測定中にMRI測定を可能としたものである。図において、24は、患者10を保護するためのクッション、304は、MRI装置300用のRFコイルである。RFコイル304の患者背中側の部分は、クッション24と一体化していても良い。

40

【0048】

前記MRI視野Mは、静磁場が安定する領域で決まり、一般的には30~40cm程度であるが、PET視野Pを拡張することによって、PET測定 of 感度を高めることができる。その結果、MRI測定時間と同程度のPET測定時間でも、十分な画質のPET画像を得ることができる。

【0049】

前記PET検出器210としては、MRIの磁場環境下でも安定に動作するもの、例えば、シンチレータブロックの底面にAPDを配置したものや、発明者らが特開2009-121929号公報やY. Yazaki, H. Murayama, N. Inadama, A. Ohmura, H. Osada, F. Nishikido, K. Shibuya, T. Yamaya, E. Yoshida, T. Moriya, T. Yamashita, H. Kawai,

50

“ Preliminary study on a new DOI PET detector with limited number of photo-detectors, ” The 5th Korea-Japan Joint Meeting on Medical Physics, Sept 10-12, 2008, Jeju, Korea, YI-R2-3, 2008. で提案した、小さなシンチレータ素子の3次元配列の表面に3次元的に半導体受光素子を配置した Depth - of - Interaction ( DOI ) 検出器を用いることができる。 DOI 検出器を使えば、近接化させても分解能の低下は抑えられる。近接化させると、角度揺動による分解能劣化も低減されるほか、立体角も増え、比較的少ない数の検出器でも感度を高めることができる。

【 0 0 5 0 】

本実施形態において、前記 PET 検出器 2 1 0 は、ベッド 2 0 と一体化されている。即ち、PET 検出器 2 1 0 の一部がベッドとしての機能も兼ねている。PET 検出器を最も患者に近づけることができることにより、立体角を大として感度を向上し、測定を短時間に行なうことができる。

10

【 0 0 5 1 】

前記 RF コイル 3 0 4 は、PET 視野 P と同様に、体軸視野をほぼカバーするように設置されている。この RF コイル 3 0 4 は、患者 1 0 に近付けた方が信号の S / N 比が高まることに加え、PET 検出器 2 1 0 からの電氣的ノイズ等を避けるためにも、PET 検出器 2 1 0 より内側 ( 内径内 ) に設置する。なお、消滅放射線は RF コイルを透過し易いため、RF コイル 3 0 4 の存在が PET 測定に与える影響は限られる。

【 0 0 5 2 】

なお、ベッド移動装置 2 2 によるベッド 2 0 の移動速度は、一定でも良いし、ステップ

20

バイステップでも良い。

【 0 0 5 3 】

MRI 測定開始時の状態を図 4 ( a ) に、同じく MRI 測定終了時の状態を図 4 ( b ) に示す。図 4 の場合、ベッド移動速度  $V_b$  は、一定速度の場合、 $V_b = ( P - M ) / T_m$  となる。ここで  $T_m$  は MRI 測定時間である。

【 0 0 5 4 】

できる限り PET 測定時間  $T_p$  を長くしてデータ収集時間を長くすることで、PET の画質を高めたい場合の処理手順を図 5 ( a ) に示す。また、PET 測定を、MRI 測定の開始直前に開始し MRI 測定の終了直後に終了することで、または PET の画像再構成処理において、MRI 測定の開始直前から MRI 測定の終了直後までに収集した PET データ

30

を使用することで、PET 測定時間と MRI 測定時間をほぼ等しくして、PET 測定と MRI 測定の同時性を確保したい場合の処理手順を図 5 ( b ) に示す。息止め撮影を行う場合は、図 5 ( b ) が望ましい。

【 0 0 5 5 】

タイムチャートを図 6 に示す。ベッド位置は、ベッド前後の端位置をプロットしている。ここで、PET 薬剤は、事前に患者に投与されているとする。FDG - PET であれば通常 1 時間前に投与する。

【 0 0 5 6 】

図 6 において、PET 測定時間の最大値  $T_{pmax}$  は、PET 検出器 2 1 0 の装着が終ってから、PET 検出器 2 1 0 の取り外し又は移動を行なうまでの時間差を示す。

40

【 0 0 5 7 】

実際の  $T_p$  は、次式の間で決めることができる。

$$T_m - T_p \leq T_{pmax} \leq T_m \quad \dots ( 1 )$$

【 0 0 5 8 】

図 5 ( a ) の手順では、 $T_p$  が  $T_{pmax}$  に近くなり、図 5 ( b ) の手順では、 $T_p$  が  $T_m$  に近くなる。

【 0 0 5 9 】

なお、MRI 測定開始位置や MRI 測定終了位置は、必ずしも MRI 視野 M の両端である必要は無い。例えば図 7 に示す変形例の如く、良好な磁場が形成されている MRI 視野の中央を、それぞれ MRI 測定開始位置や MRI 測定終了位置としても良い。

50



## 【0060】

更に、MRI測定中のベッドのスライドは、一定速度で無く、ステップバイステップでも良い。

## 【0061】

更に、図6や図7では、MRI測定がベッドの片道移動中に行われていたが、図8に示す他の変形例の如く、往復移動の両方でMRI測定を行っても良い。この場合、行きのMRI測定1と帰りのMRI測定2は同一シーケンスでも良いが、例えばMRI測定1はT1強調、MRI測定2はT2強調とするなど、異なるシーケンスを組合せても良い。

## 【0062】

なお、前記第1実施形態においては、PET検出器210が測定対象の長手方向、ここでは、患者10の体軸方向に一様な構成とされていたが、図9(a)に示す第2実施形態の如く、頭部用PET検出器212と体幹部である胴体用PET検出器214で分けても良い。第2実施形態の具体例の側面から見た断面図を図9(b)に、PET検出器の胴体部と頭部の横断面図を図10(a)(b)に示す。なお、胴体部のPET検出器の断面形状は円形でもよいが、ここでは楕円形としている。

10

## 【0063】

本実施形態においては、頭部用PET検出器212と胴体用PET検出器214がベッド20に固定されており、ベッド移動装置22により、患者10と一体的に水平方向に移動可能とされている。

## 【0064】

ここで、頭部用PET検出器212と胴体用PET検出器214の間でも同時計数測定を行うようにすれば、頭部用PET検出器212と胴体用PET検出器214の境界付近で再構成画像の精度が低下することは無い。

20

## 【0065】

頭部用検出器212と胴体用検出器214の間は、発明者らがWO2009/133628A1で提案した開放型PET装置の手法で空けても良いが、図9のように隙間を空けない場合、PET視野Pは、頭部視野H+胴体視野Bとなる。

## 【0066】

RFコイルは、送受信兼用、又は、送信専用、又は受信専用とすることができる。RFコイルとPET検出器は別体でも良いが、図10に示すようにPET検出器と一体化する場合、以下のような組み合わせが可能である。

30

- ・送受信兼用RFコイルをPET検出器内側に一体化する。
- ・送信用RFコイルのみをPET検出器内側に一体化し、受信用RFコイルは患者を覆うように別途設置する。
- ・送信用RFコイルをMRI装置本体に内蔵し、受信側RFコイルのみをPET検出器内側に一体化する。

## 【0067】

図10において、218はカバー、312は頭部用RFコイル、314は胴体用RFコイルである。

## 【0068】

第2実施形態を変形させた第3実施形態の具体例の正面図を図11(a)に、側面から見た断面図を図11(b)に示す。

40

## 【0069】

本実施形態においては、頭部用PET検出器212がベッド20に固定される一方、胴体用PET検出器214は、PET検出器移動装置220によりベッド20とは独立に水平方向に移動可能とされている。図において、320は患者ポート302内でPET検出器214を支持するローラである。

## 【0070】

なお、MRI装置300の患者ポート302内で頭部用PET検出器212と胴体用PET検出器214の中心位置がずれるので、ベッド移動装置22にベッド上下機構26を

50

設けて、頭部用PET検出器212及び頭部用RFコイル312を、患者10と共に上下移動及びスライド移動可能とすることができる。一方、胴体用PET検出器214及び胴体用RFコイル314は、水平方向のスライド移動のみで上下移動は不要である。

【0071】

PET検出器は、部位によって分解能の異なる検出器を組み合わせても良い。図12(a)は、分解能が要求される頭部の近傍では、高分解能の検出器を配置した第4実施形態、図12(b)は、あまり感度が要求されない下半身、特に脚において、検出器の隙間を大きくして、感度を落とす代わりに使用する検出器数を削減した第5実施形態を示す。

【0072】

更に、図13(斜視図)及び図14(側面から見た断面図)に示す第6実施形態のように、頭部の密閉感に対して、前記開放型PET装置の手法で頭部用PET装置212の視野周辺に開放領域を設けても良い。

【0073】

更に、図15に示す第7実施形態のように、PET検出器が患者の身体に近接するように、例えば胴体用PET検出器214を非円形(図は楕円形)リングとすることも可能である。

【0074】

更に、図16に示す要部構成のように、患者10の体形に応じて、検出器リングの大きさを変えることも可能である。図16(a)は、通常サイズの検出器リング214aを用いた例、図16(b)は、腹部に大径の検出器リング214bを用いた例、図16(c)は、腹部だけでなく、胴体全体に大径の検出器リング214bを用いた例である。

【0075】

図17は図16の断面を示したもので、図17(a)は細身体形用のPET検出器配置、(b)は太身体形用のPET検出器配置、図17(c)は頭部用のPET検出器配置を示す。ここで、図17(b)の太身体形用のPET検出器配置では、ベッド側(厚み方向下側)の半湾部と対向側(厚み方向上側)の半湾部で、異なる曲率を持ったカーブに沿って検出器が配置されている。

【0076】

図中の柵は、シンチレータブロック又は検出器ユニットを示す。

【0077】

図18に示す第8実施形態は、患者10のセットアップを容易とするために、厚み方向上側の半湾部のPET検出器224を、例えば観音開きで開放可能としたものである。図において、222は下側(ベッド側)のPET検出器、226はヒンジである。

【0078】

PET検出器は重量があるので、図19に示すように、いくつか分割(図19では6分割)することができる。

【0079】

なお、図20に示す変形例のように、片開きとすることもできる。

【0080】

あるいは図21に示す第9実施形態のように、ベッド側(厚み方向下側)半湾部の検出器222とその対向側(厚み方向上側)半湾部の検出器224に上下に2分割できる構造とすることもできる。ここで上側検出器224は、体形に合わせて、大小様々なものを設置できるようにすることもできる。

【0081】

あるいは、図22に示す第10実施形態のように、各検出器ユニット204をリンク232で結合してベルト状とし、同一のベルト状PET検出器230で、体形に応じて、検出器リングの大きさを変えるように構成しても良い。ここでベッド部分となる下半分においては、各検出器ユニット204は、例えば固定用ワイヤ234で固定されている。

【0082】

一方、厚み方向上側の検出器ユニット204の関節部分には、図23に示す如く、角度

10

20

30

40

50

情報を取得するエンコーダ 236 が付いている。従って、図 24 に示す如く、各検出器ユニット 204 の相対位置（隣り合う検出器ユニット間の空間位置座標関係）を得て、画像再構成計算による断層像を得ることが可能となる。

【0083】

図 24 を用いて、被験者の体形に合わせて PET 検出器の配置を変形する際の、エンコーダ 236 と画像再構成ワークステーション (WS) 400 との関係の説明する。PET 検出器 204 で検出された消滅放射線の対は、データ収集システム 500 において、同時計数処理、データ収集処理等を通じて、計測データとなる。計測データは、画像再構成 WS 400 に送られ、画像再構成処理ののち、断層像として画像出力される。画像再構成においては、正確な検出器の位置が分からないと、システムマトリクスを計算することができ  
10

【0084】

具体的には、エンコーダ 236 によって、各検出器間の関節部分の相対的な角度情報が得られる。これらは、画像再構成 WS 400 に送られる。まず検出器座標計算処理によって、検出器の座標が得られる。そして、この検出器座標を元に、システムマトリクスが計算される。画像再構成処理では、まとめて計算したシステムマトリクスを一括して読み込んで  
20

【0085】

第 10 実施形態において、小さい検出器リングにした状態を図 25 (a) に、大きい検出器  
20

【0086】

なお、図 26 に示す第 11 実施形態のように、体形に合わせた大小のインナーフレーム 30 を用意し、ベッド 20 部分に接合できるようにして、図 27 に示すような、エンコーダを持たないベルト状 PET 検出器 230 に対して、空間位置座標（検出器位置）を正確  
20

【0087】

第 11 実施形態において、ベルト状 PET 検出器 230 をインナーフレーム 30 に装着  
30

【0088】

なおベルト状 PET 検出器 230 は、各検出器ユニット 204 が自在に回転するだけでなく、  
30

【0089】

第 12 実施形態を用いた場合の小さいリングサイズの装着状態を図 32 (a) に、大きい  
40

【0090】

この第 12 実施形態においては、図 33 に示す変形例のように、インナーフレーム 30 に  
40

【0091】

図 21 に示す第 9 実施形態、あるいは図 26 に示す第 11 実施形態のように、予め用意  
50

の空間位置座標を得ることができる。具体的には、ユーザーがコンソール上にて選択した上側検出器 224 やインナーフレーム 30 の種類を入力するか、上側検出器 224 やインナーフレーム 30 に識別タグをつけて、ベッド 20 側で使われた種類を自動判別することもできる。

【 0092 】

システムマトリクスは、図 24 に示したように、検出器座標を元に毎回計算してもよいが、使用する上側検出器 224 やインナーフレーム 30 の種類に限られるため、それぞれのパターンの検出器配置に対応したシステムマトリクスを事前に計算しておき、データセットとして、画像再構成 WS 内記憶装置に保存しておいてもよい。

【 0093 】

なお、ベルト状 PET 検出器は、頭部や胴体だけでなく、部位に特化した使用も可能である。図 34 は、ベルト状 PET 検出器の別の応用例を示す第 13 実施形態である。ここでは、腕に特化して、腕を巻くようにベルト状 PET 検出器 230 を用いている。ここで、40 はベルト状 PET 検出器を設置するテーブルである。

【 0094 】

たとえば、頭部用 PET 装置（図には記されていない）で頭部の動態機能計測を行う場合など、数秒から数分の時間間隔で動脈血の採血を必要とするため、簡便ではない。これに対し腕に巻きつけたベルト状 PET 検出器を同時に使用すれば、動脈採血することなく、腕内部の動脈を流れる RI の濃度や流量を計測することができるため、動態機能計測が容易になる。ベルト状 PET 検出器は、動脈採血以外にも、部位に特化した高精度な画像診断も可能にする。部位としては、腕のほか、足、関節部分、首、乳房等が挙げられる。

【 0095 】

図 35 に示す第 14 実施形態は、患者 10 のセッティングを容易にするため、頭部用 PET 検出器 212 が、ベッド 20 のガイドレール 21 上を体軸方向にスライドできるようにしたものである。スライド機構の詳細を図 36 に示す。ここで、頭部用 PET 検出器 212 は取り外し可能とすることもできる。

【 0096 】

なお図 37 に示す第 15 実施形態のように、PET 視野 P が RF コイル視野 F と MRI 視野 M の間にある場合は、ベッド 20 と PET 検出器 210 を独立してスライド可能とすることができる。

【 0097 】

本実施形態によれば、ベッド 20 と PET 検出器 210 を異なる速度でスライドさせることで、RF コイル視野幅 F に対応する広い視野を PET と MRI で測定することができる。

【 0098 】

本実施形態における検査開始から検査終了までの状態を図 38 に示す。ベッド移動速度  $V_b$ 、PET 検出器移動速度  $V_p$  共に一定速度と仮定し、MRI 測定時間 = PET 測定時間 =  $T$  と仮定すると、 $V_p$ 、 $V_b$  は次式に示す如くとなる。

$$V_p = (P - M) / T \quad \dots (2)$$

$$V_b = (F - M) / T \quad \dots (3)$$

【 0099 】

なお、第 15 実施形態では、PET 検出器が体軸方向で一体型とされていたが、図 39 に示す第 16 実施形態のように、頭部用 PET 検出器 212 と胴体用 PET 検出器 214 を分けても良い。ここで、頭部用 PET 検出器 212 とベッド 20 は一体化して速度  $V_b$  でスライドし、胴体用 PET 検出器 214 は速度  $V_p$  でスライドする。

【 0100 】

第 16 実施形態における検査開始から検査終了までの移動状態を図 40 に示す。ここで、ベッド移動速度  $V_b$ 、PET 検出器移動速度  $V_p$  共にそれぞれ一定速度と仮定し、MRI 測定時間 = PET 測定時間 =  $T$  と仮定すると、 $V_p$  および  $V_b$  は次式で表される。

$$V_p = (B + H - M) / T \quad \dots (4)$$

10

20

30

40

50

$$V_b = (F - M) / T \quad \dots (5)$$

## 【0101】

なお、図41に示す第17実施形態のように、PET検出器（少なくとも胴体用PET検出器214）が、ベッド20の移動とは独立して移動する機構を持つ場合、PET検出器に蓋が開くような工夫をしなくても、PET検出器214をMRI装置300内へ移動することによって、患者のセットアップを容易にすることができる。

## 【0102】

即ち、患者セットアップ時には図41(a)に示す如く、PET検出器214をMRI患者ポート302内に移動し、ベッド20に患者10が乗り易いようにする。頭部用PET検出器212を装着する場合、図では左側に移動しておく。

10

## 【0103】

次いで、図41(b)に示す如く、RFコイル312、314及び頭部用PET検出器212を装着する。具体的には、まず、頭部及び胴体用のRFコイル312、314を装着する。頭部用PET検出器212を付ける場合は、スライドして装着する。ここで頭部用RFコイル312は頭部用PET検出器212に一体化していても良い。

## 【0104】

最後に、図41(c)に示す如く、ベッド20とPET検出器214のスライドによって、所定のMRI測定開始位置に移動する。

## 【0105】

検査後の患者の退避は、上記と逆の順序で行なえば良い。

20

## 【0106】

図では頭部からMRI患者ポート302中に入る構成を示しているが、脚側から入るようにしても良い。

## 【0107】

又、図42に示す第18実施形態のように、送信用RFコイル304SをPET検出器210の内側に一体となるよう配設しても良い。受信用RFコイルは、より患者に密接するように設置するが、頭部用RFコイル312Rと胴体用RFコイル314Rでサイズを変えても良い。

## 【0108】

図43は、全身ではなく、局所をPETとMRIで同時に計測をするための第19実施形態を示している。PET検出器210をベッド20上のガイドレール21に従ってスライドできるようにしており、計測する部位の位置に来るように、PET検出器210を自在に移動できる。MRI患者ポート302の外で、正確かつ安全にPET検出器210を計測部位に設置することができ、かつ、PET検出器210の設置後は、ベッド20上患者と一体にスライドするため、位置ずれを心配する必要もない。ベッド20とPET検出器210の段差をなくすために、クッション24を設置するが、クッション24は、PET検出器210の位置に応じて、長さを調整する必要がある。

30

## 【0109】

図44は、第19実施形態を変形させた第20実施形態の要部構成を示す斜視図である。ベッド20は、ガイドレール21を含む土台20B、支柱20Sおよびカバー20Cから構成され、PET検出器210は、リングの一部を土台20Bとカバー20Cの間に挟むように配置する。これによって、患者と接するカバー20Cにおいて段差がなくなるほか、患者をベッドに寝かせたまま、計測箇所を覆う適切な位置にPET検出器210をスライド移動することができて、便利である。

40

## 【0110】

図45は、第20実施形態の全体構成を示す側面から見た断面図である。ここでは、PET検出器210の内側に一体になるようにRFコイル304が配置されている。

## 【0111】

図46は、第20実施形態の動作状態を示している。図46(a)のように、患者をベッドに寝かす際には、ベッドをMRI患者ポート302から遠ざけた状態で、PET検出

50

器 2 1 0 をベッド端部に移動しておく。図 4 6 ( b ) のように、患者を寝かした後は、計測箇所 ( 図では胸部 ) を P E T 検出器 2 1 0 が覆うように、P E T 検出器 2 1 0 をスライドする。患者セットアップが完了した後、P E T 検出器 2 1 0 を M R I 患者ポート 3 0 2 中央に挿入し、M R I 測定を開始する。

【産業上の利用可能性】

【 0 1 1 2 】

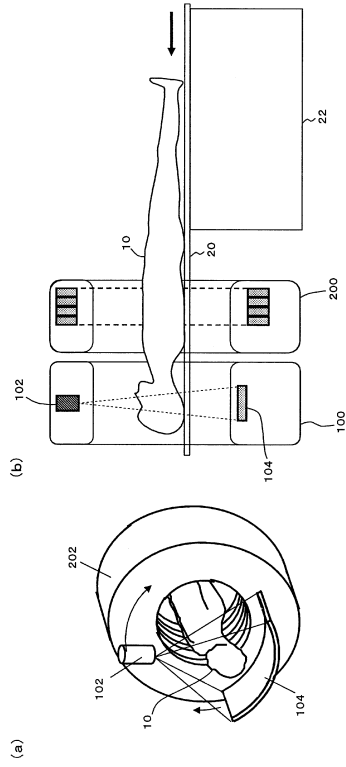
本発明により、P E T と M R I の同時検査や、全身の P E T / M R I 検査が可能になり、有用性はきわめて高い。

【符号の説明】

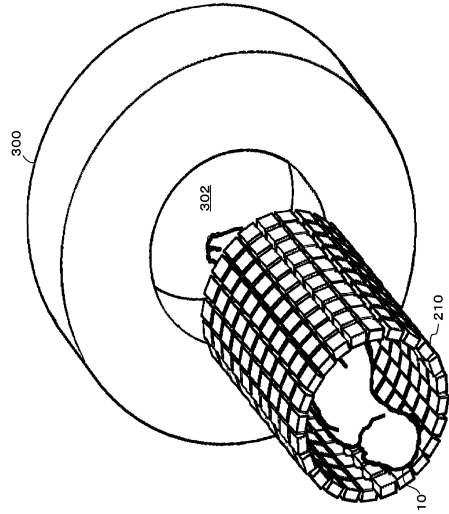
【 0 1 1 3 】

1 0 ... 患者 ( 測定対象 )	
2 0 ... ベッド	
2 1 ... ガイドレール	
2 2 ... ベッド移動装置	
2 6 ... ベッド上下機構	
3 0 ... インナーフレーム	
3 0 a ... 位置決め用窪み	
4 0 ... テーブル	
2 0 4 ... 検出器ユニット	
2 1 0 ... P E T 検出器	10
2 1 2 ... 頭部用 P E T 検出器	
2 1 4 ... 胴体用 P E T 検出器	
2 2 0 ... P E T 検出器移動装置	
2 2 2 ... ベッド側 ( 下側 ) P E T 検出器	
2 2 4 ... 上側 P E T 検出器	
2 3 0 ... ベルト状 P E T 検出器	
2 3 2 ... リンク	
2 3 6 ... エンコーダ	
3 0 0 ... M R I 装置	
3 0 2 ... M R I 装置の患者ポート ( 測定ポート )	20
3 0 4 ... R F コイル	
3 1 2 ... 頭部用 R F コイル	
3 1 4 ... 胴体用 R F コイル	
4 0 0 ... 画像再構成 W S	
5 0 0 ... データ収集システム	
M ... M R I 視野	
P ... P E T 視野	
F ... R F コイル視野	
B ... 胴体 P E T 視野	
H ... 頭部 P E T 視野	30
	40

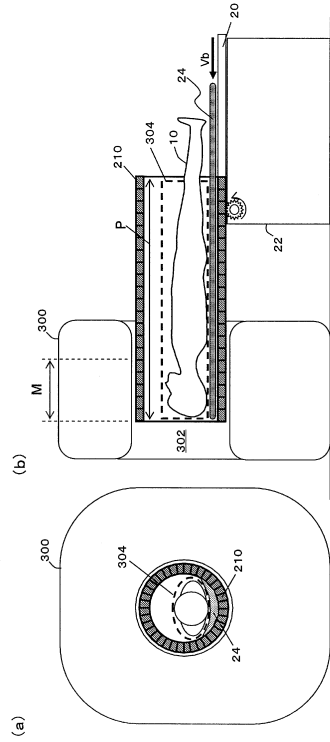
【図1】



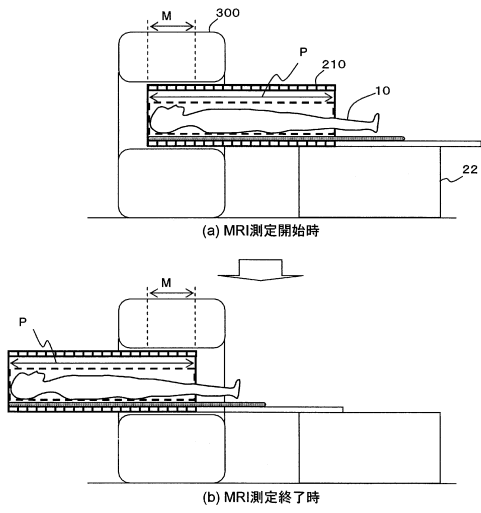
【図2】



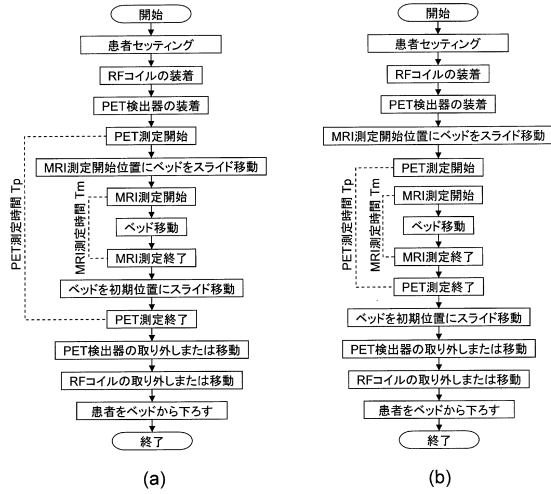
【図3】



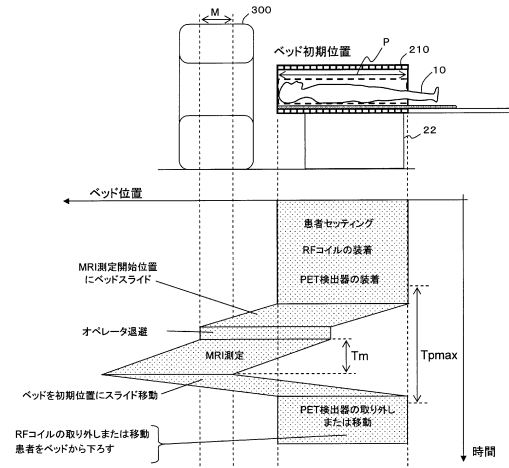
【図4】



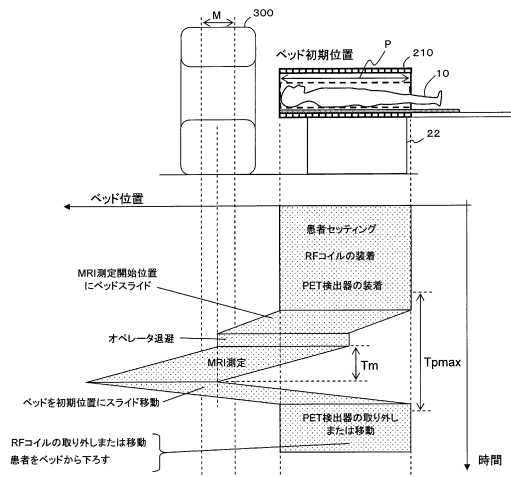
【図5】



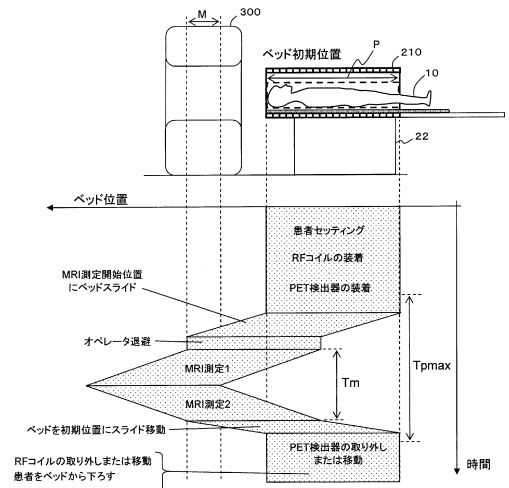
【図6】



【図7】

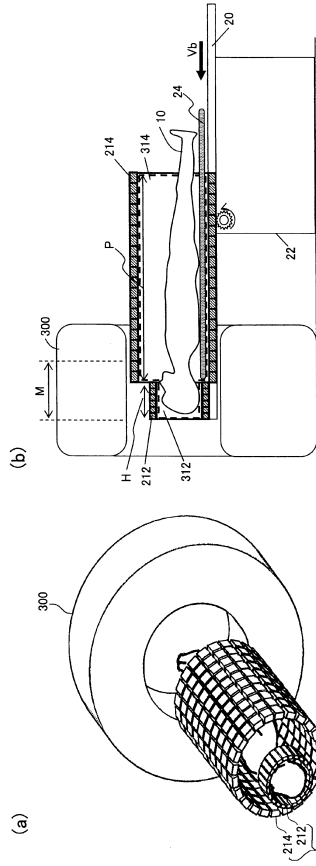


【図8】

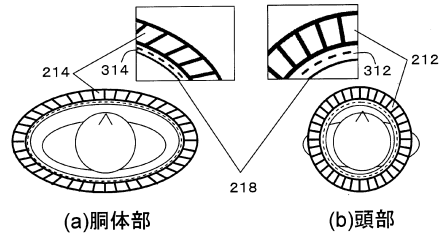




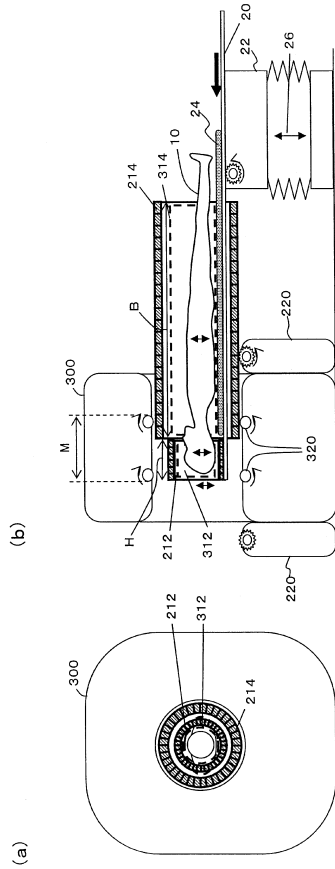
【図9】



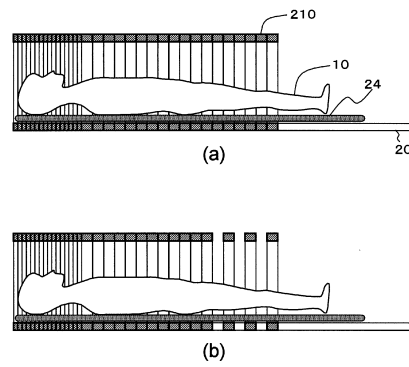
【図10】



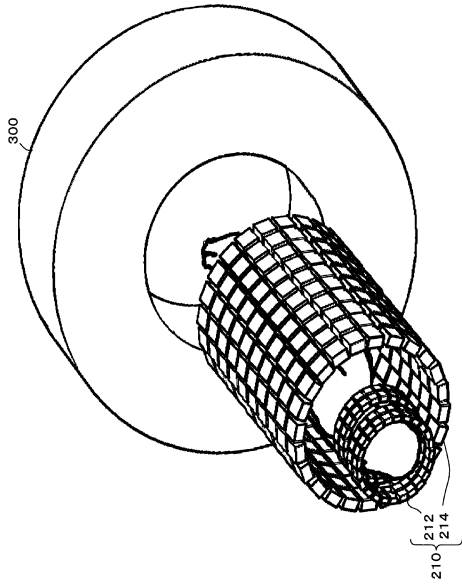
【図11】



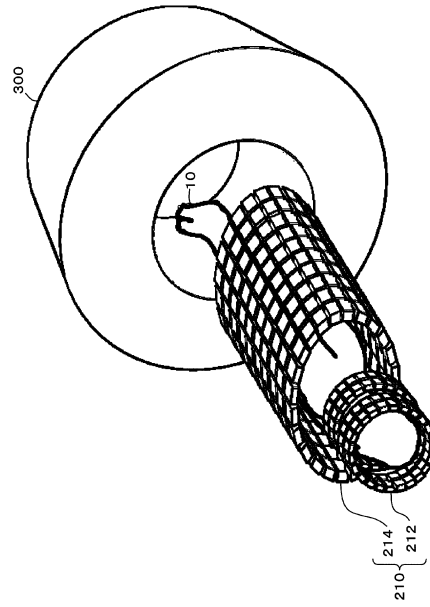
【図12】



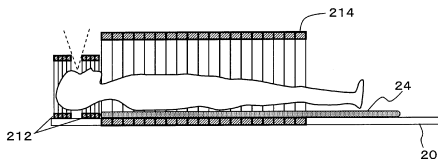
【 図 1 3 】



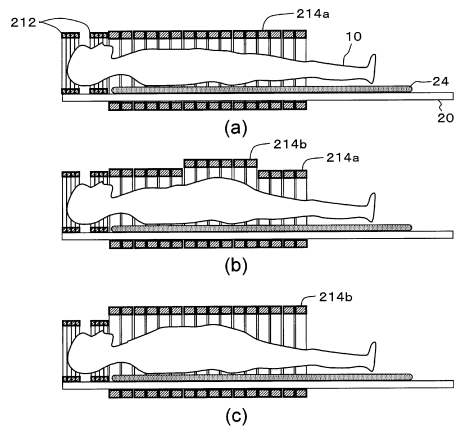
【 図 1 5 】



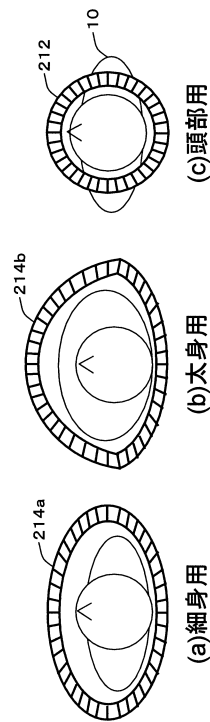
【 図 1 4 】



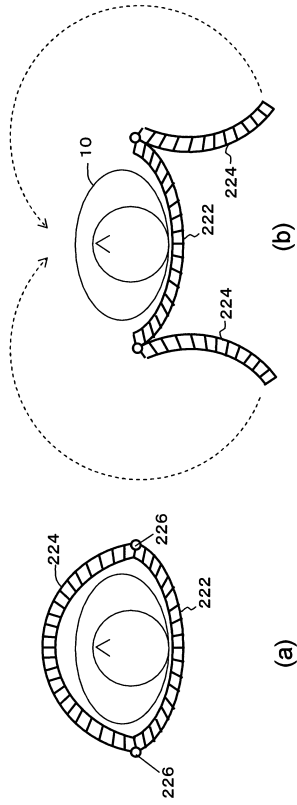
【 図 1 6 】



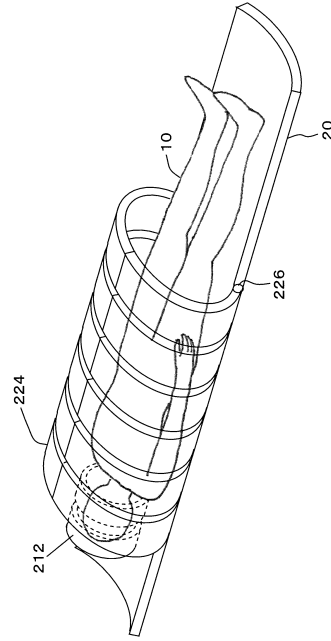
【 図 1 7 】



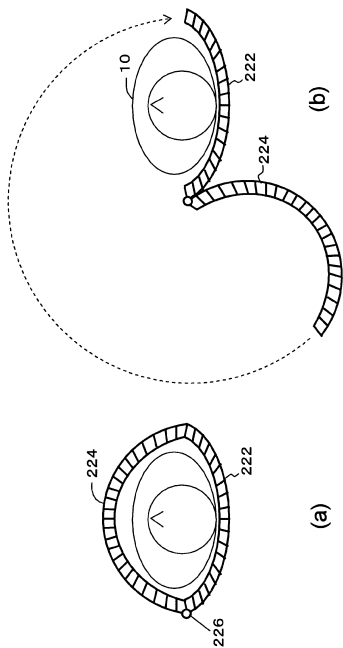
【 18 】



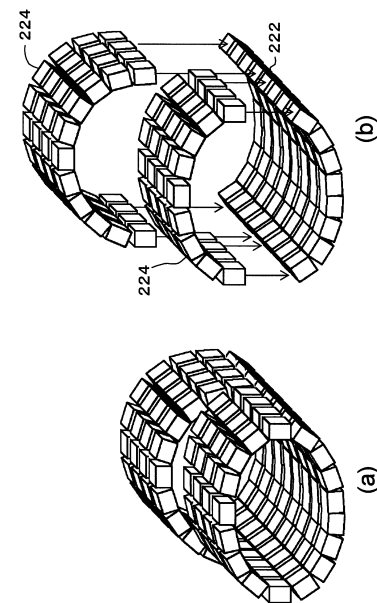
【 19 】



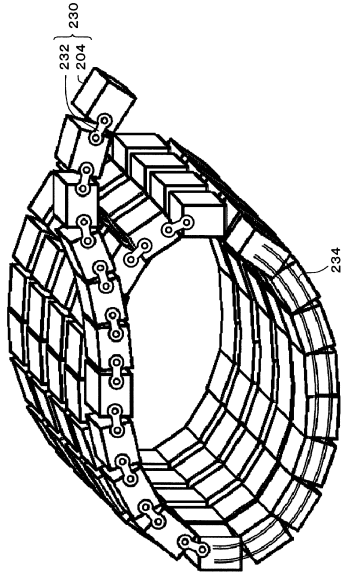
【 20 】



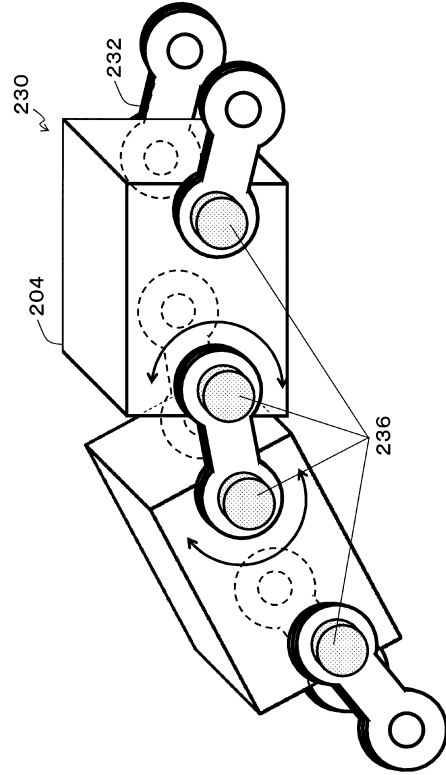
【 21 】



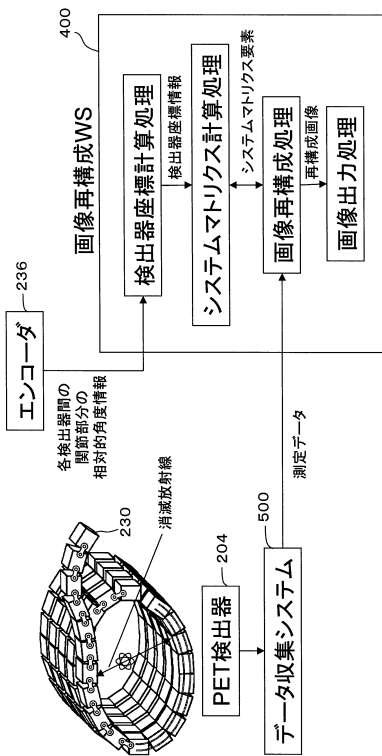
【図22】



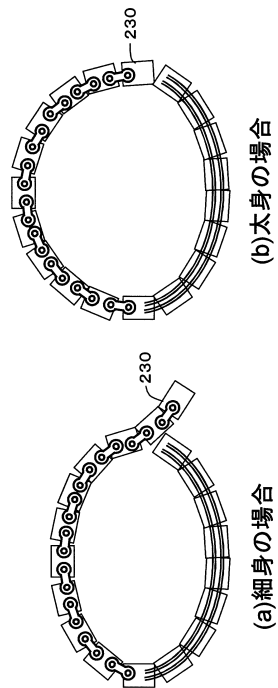
【図23】



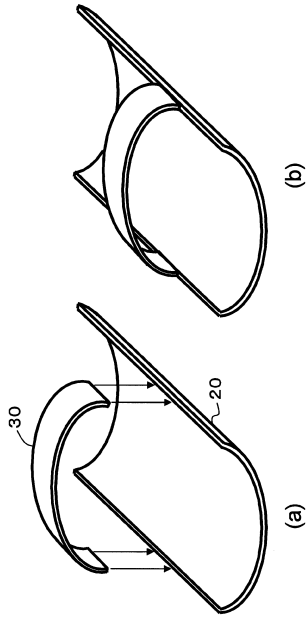
【図24】



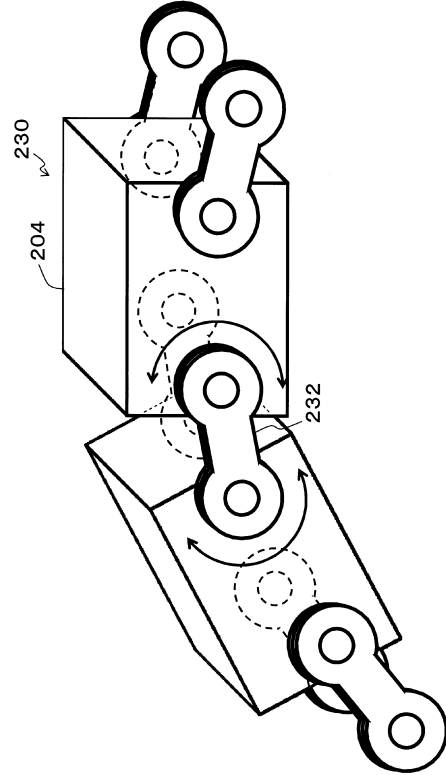
【図25】



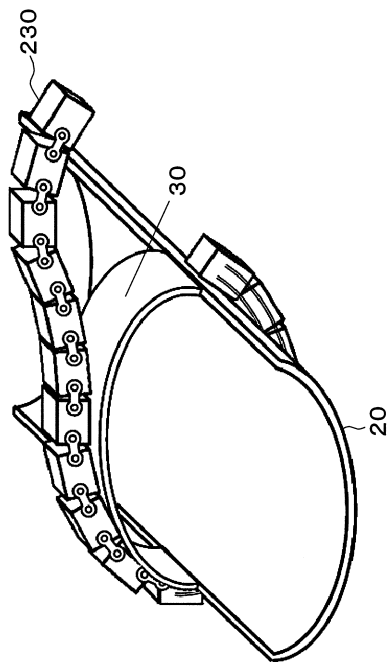
【図 26】



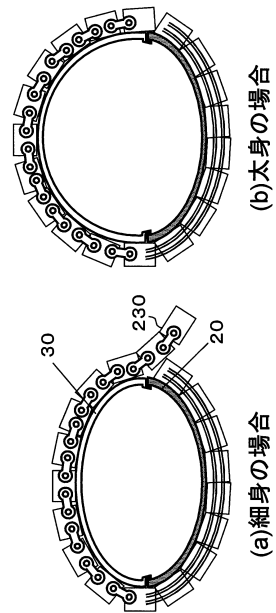
【図 27】



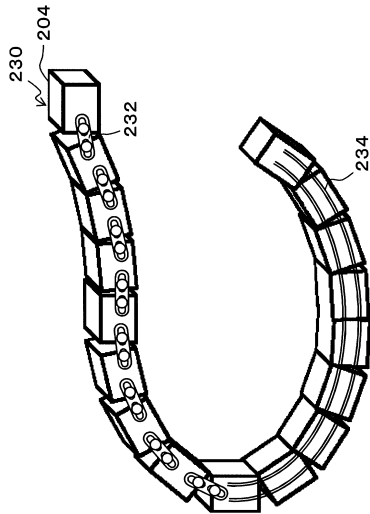
【図 28】



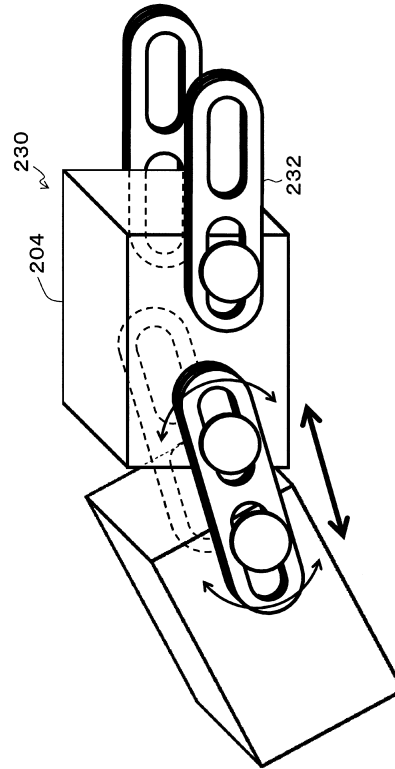
【図 29】



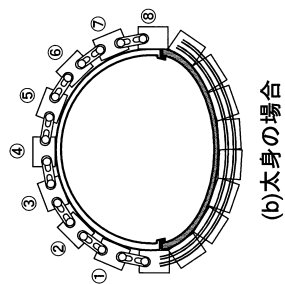
【図 30】



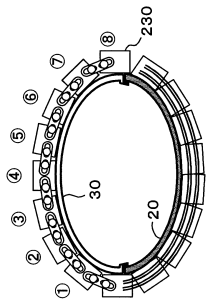
【図 31】



【図 32】

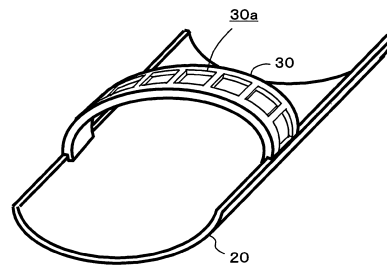


(b)太身の場合

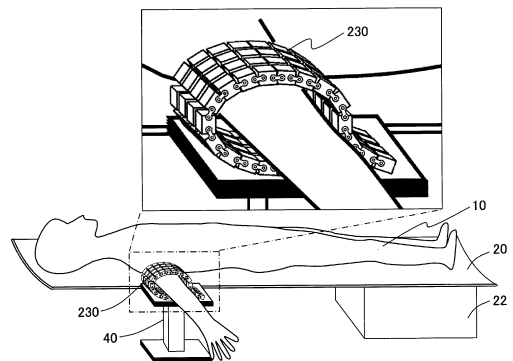


(a)細身の場合

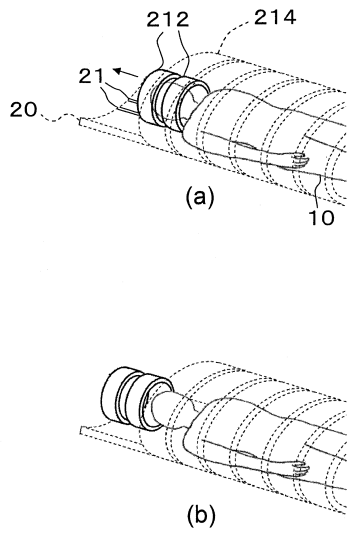
【図 33】



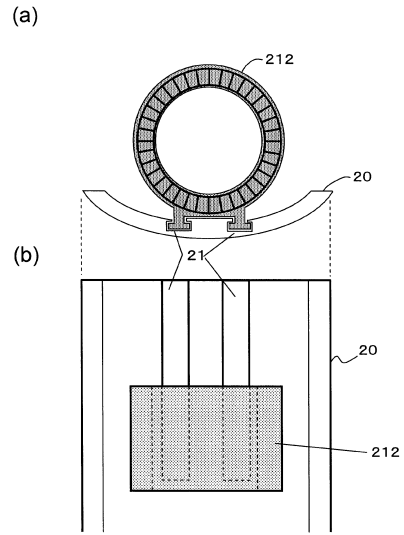
【図 34】



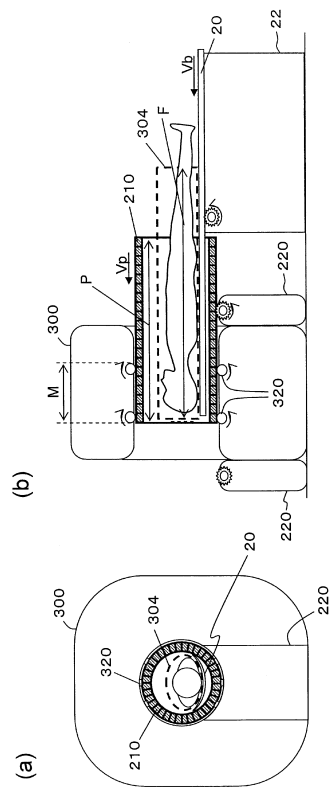
【図 35】



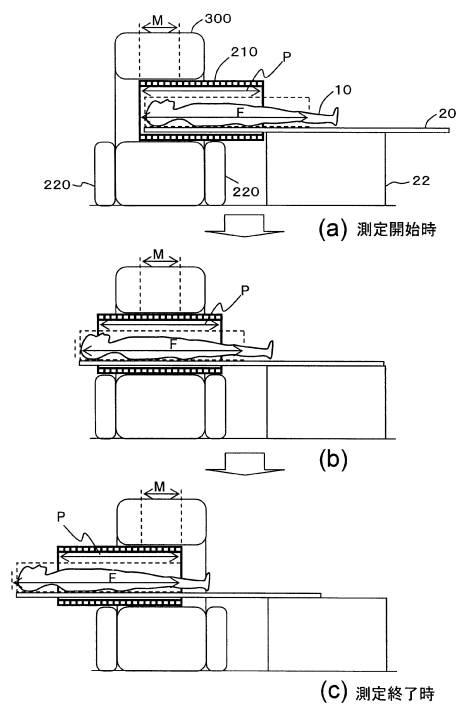
【図 36】



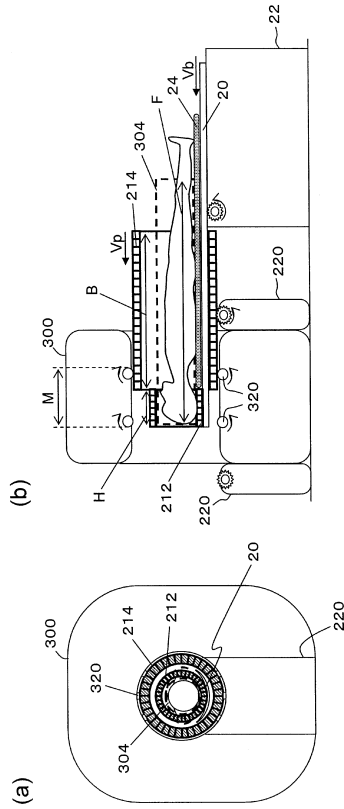
【図 37】



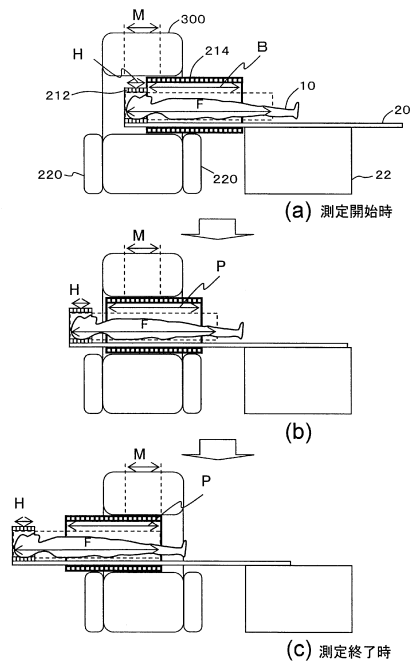
【図 38】



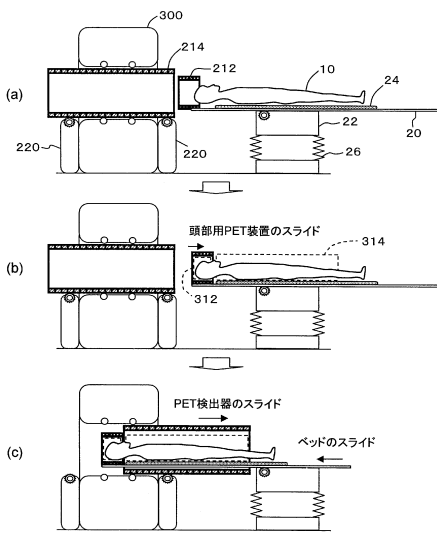
【図39】



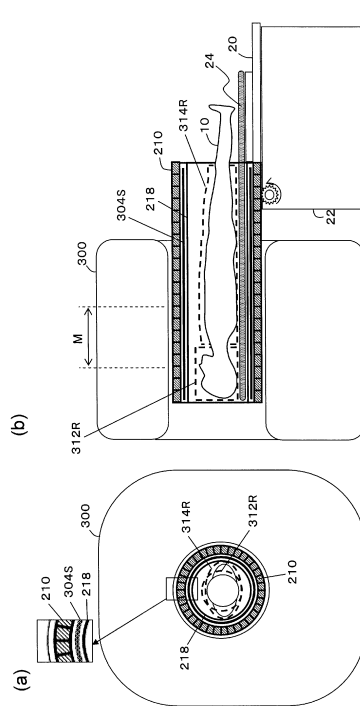
【図40】



【図41】

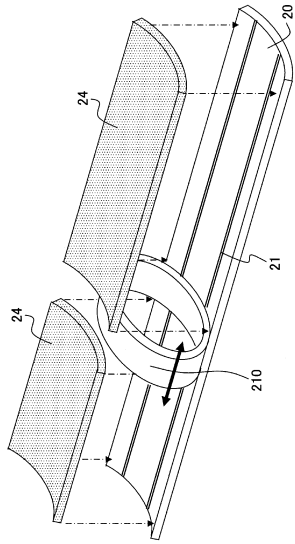


【図42】

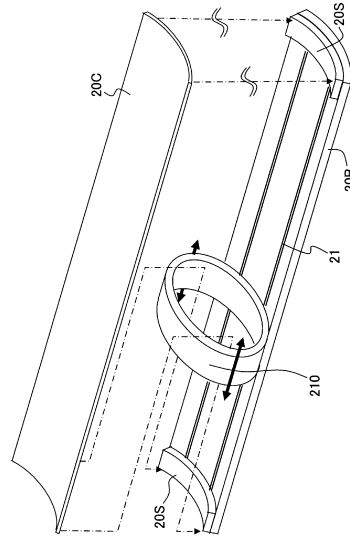




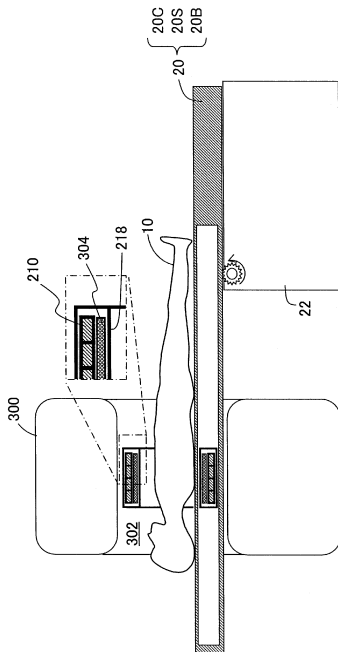
【図43】



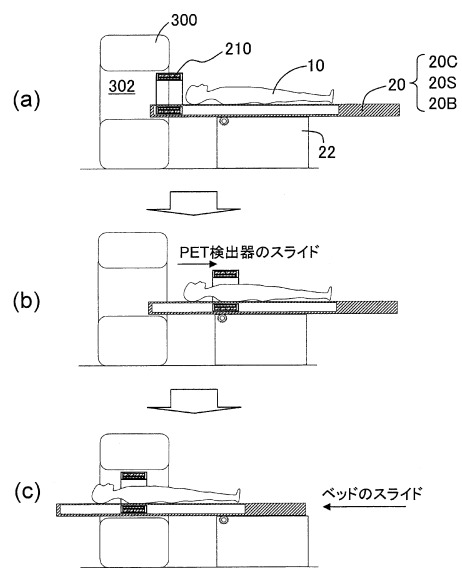
【図44】



【図45】



【図46】



---

フロントページの続き

審査官 南川 泰裕

- (56)参考文献 特開2009-186315(JP,A)  
特表2008-525161(JP,A)  
国際公開第2009/128131(WO,A1)  
米国特許出願公開第2008/0214927(US,A1)  
国際公開第2008/129666(WO,A1)  
特開2009-236726(JP,A)  
特開2000-214263(JP,A)  
特開2007-163373(JP,A)  
特開2008-089396(JP,A)  
米国特許第07750311(US,B1)  
特開2008-149147(JP,A)  
特開2008-307083(JP,A)  
特表2009-540882(JP,A)  
米国特許出願公開第2010/0010337(US,A1)  
米国特許出願公開第2007/0055127(US,A1)
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01T 1/00-7/12  
A61B 5/05-5/055