

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6010815号
(P6010815)

(45) 発行日 平成28年10月19日 (2016. 10. 19)

(24) 登録日 平成28年9月30日 (2016. 9. 30)

(51) Int. Cl.	F 1
F 1 6 H 21/28 (2006. 01)	F 1 6 H 21/28
G O 1 T 1/161 (2006. 01)	G O 1 T 1/161 A
F 1 6 H 21/20 (2006. 01)	F 1 6 H 21/20 C

請求項の数 7 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2012-103861 (P2012-103861)	(73) 特許権者	301032942
(22) 出願日	平成24年4月27日 (2012. 4. 27)		国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
(65) 公開番号	特開2013-231479 (P2013-231479A)		千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(43) 公開日	平成25年11月14日 (2013. 11. 14)	(73) 特許権者	504026247
審査請求日	平成27年3月31日 (2015. 3. 31)		三樹工業株式会社
			千葉県千葉市稲毛区山王町381番6号
		(74) 代理人	100080458
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 楕円軌道回転装置及びPET装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、
楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、
前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、
該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備え、
前記ガイドが円筒の周面に形成された溝とされ、前記追従機構が、該溝に倣って物体を移動させるものとされていることを特徴とする楕円軌道回転装置。

【請求項2】

物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、
楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、
前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、
該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備え、
前記ガイドの端面が、前記ガイドを形成する円筒の中心軸に対して垂直な動径に平行となるように加工されていることを特徴とする楕円軌道回転装置。

【請求項3】

前記ガイドが交換可能とされていることを特徴とする請求項1又は2に記載の楕円軌道回転装置。

【請求項 4】

物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、
楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、
前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、
該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対し
斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備え、
 前記楕円軌道上で物体の速度が等速となるように、前記回転機構の回転速度を変化させることを特徴とする楕円軌道回転装置。

【請求項 5】

物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備える楕円軌道回転装置を備えたことを特徴とする P E T 装置。

10

【請求項 6】

P E T 装置の検出器リングの外板が、ガイド機構のガイドを兼ねていることを特徴とする請求項 5 に記載の P E T 装置。

【請求項 7】

前記ガイドが、円筒の端面とされ、前記追従機構が、該端面に向けて物体を付勢する付勢手段とされていることを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の P E T 装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、楕円軌道回転装置及び P E T 装置に係り、特に、検出器リングの端面形状が楕円形である P E T 装置に用いるのに好適な楕円軌道回転装置、及び、これを用いた P E T 装置に関する。

【背景技術】

【0002】

癌の早期診断に有効と注目されている陽電子放射断層撮像法 (P E T) は、極微量の陽電子放出核種で標識した化合物を投与し、体内から放出される消滅放射線を検出することで、糖代謝等、代謝機能を画像化し、病気の有無や程度を調べる検査法であり、これを実施するための P E T 装置が実用化されている。

30

【0003】

P E T の原理は次のとおりである。陽電子崩壊によって陽電子放出核種から放出された陽電子が周囲の電子と対消滅し、それによって生じる一対の 5 1 1 k e V の消滅放射線を、対の放射線検出器で同時計数の原理によって測定する。これにより、核種の存在位置を、対の検出器同士を結ぶ 1 本の線分 (同時計数線) 上に特定することができる。核種の分布は、様々な方向から測定された同時計数線のデータから、画像再構成によって求められる。

【0004】

P E T 装置の感度を高めるためには、図 1 に例示する如く、多数の P E T 検出器 1 0 を周方向及び軸方向に並べた円筒状の検出器リング 1 2 をトンネル状に配置して、測定立体角を大きくする必要がある。

40

【0005】

出願人は、図 2 に例示する如く、P E T 検出器が患者 8 の身体に近接するようにして測定立体角をより大きくするために、検出器リング 1 2 の端面形状が楕円形である P E T 装置を提案している (特許文献 1) 。

【0006】

一方、長いトンネル状の患者ポートは、ベッド 6 上で検査中の患者 8 の心理的ストレスを高めると共に、外部から患者 8 へアクセスする (例えば、がん治療のために放射線ビー

50

ムを患者の患部に照射する)際の障害にもなる。ここで、検出器リング12は真円形が主流であり、PET検出器10は検出器リング12の切り口に垂直な方向に積層されている。

【0007】

これに対して、出願人は、図3に例示する如く、円筒を、円筒の切り口に対して傾斜する2つの平面で切り取った形状となるような検出器配置のPET装置を提案している(非特許文献1)。検出器リングの端面形状(切り口)は楕円形となる。

【0008】

この開放型PET装置は、従来のPET装置では不可能であった治療中のPET診断を可能にする。具体的には、図3に例示する如く、水平照射ポート20Xを持つ水平照射の粒子線治療装置と組み合わせた場合、水平照射ポート20Xから照射野24に向けて治療ビーム22Xを照射しつつ、照射中又はその前後に、検出リング12で得られる信号を用いて、照射野24のPET画像を得ることができる。すなわち、開放型PET装置でがんの位置を確認しながら放射線の治療ビームを照射したり、開放型PET装置でリアルタイムに放射線治療ビームの照射野を可視化することが可能になる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2011-185796

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】S. Kinouchi, T. Yamaya, et al., "Simulation Design of a Single-Ring OpenPET for in-Beam PET," Conf. Rec. of 2011 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, MIC15.S-275, 2011.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

PET装置では、通常、校正用線源を検出器リングに沿って回転させる機構を内蔵もしくは後付けできるようにする必要がある。この機構は、PET検出器リングが真円であれば、単純な回転装置で良く、特に問題は無い。

【0012】

一方、図2および図3に示したように検出器の端面形状が楕円である場合、これに校正用線源を追従させるのは容易でない。

【0013】

敢えて言えば、2次元以上の動作ができるロボットアーム、あるいは、回転の制御と回転軸に沿った1軸の制御により楕円軌道の動作が実現可能であるが、いずれも2軸動作のため構造や制御が複雑になる。又、複数の線源を同時に動作させるためには、更に駆動機構を増やす必要があり、容易ではないという問題点を有していた。

【0014】

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、単純な機構により、楕円軌道に沿う回転を1軸の制御で実現して、コストを下げ、かつ信頼性を高めることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0015】

本発明は、物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備え、前記ガイドが円筒の周面に形成された溝とされ、前記追従機構が、該溝に倣って物体を移動させるものとすることにより、前記課題を解決するものである。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

本発明は、又、物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備え、前記ガイドの端面を、前記ガイドを形成する円筒の中心軸に対して垂直な動径に平行となるように加工することにより、同様に前記課題を解決するものである。

【 0 0 1 9 】

又、前記ガイドを交換可能とすることができる。

【 0 0 2 0 】

本発明は、又、物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備え、前記楕円軌道上で物体の速度が等速となるように、前記回転機構の回転速度を変化させることにより、同様に前記課題を解決するものである。

【 0 0 2 1 】

本発明は、又、物体を楕円軌道に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、楕円軌道のガイドが形成されたガイド機構と、前記ガイドに物体を追従させるための追従機構と、該追従機構により物体を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転機構とを備える楕円軌道回転装置を備えたことを特徴とする P E T 装置を提供するものである。

【 0 0 2 2 】

ここで、P E T 装置の検出器リングの外板が、ガイド機構のガイドを兼ねることができる。

又、前記ガイドを、円筒の端面とし、前記追従機構を、該端面に向けて物体を付勢する付勢手段とすることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 3 】

本発明によれば、単純な機構で、1軸の制御により楕円軌道上を動かすことができるため、コストを下げ、信頼性を高めることができる。更に、複数の物体を同時に回転させることも容易である。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 4 】

【図 1】従来の P E T 装置の一例を示す図

【図 2】検出器リングが楕円形状の P E T 装置の一例を示す図

【図 3】開放型 P E T 装置と重粒子線照射装置を組み合わせた例を示す図

【図 4】本発明の第 1 実施形態の全体構成を示す図

【図 5】同じく要部構成を示す図

【図 6】同じく楕円軌道ガイドの製造方法の一例を示す図

【図 7】同じく完成した楕円軌道ガイドを示す図

【図 8】同じく速度制御方法を説明するための図

【図 9】同じく速度制御例を示す図

【図 10】同じく軌道ガイドの変更例を示す図

【図 11】同じく検出器リングの変形例を示す図

【図 12】図 3 に示した検出器配置の P E T 装置に本発明を適用した例を示す図

【図 13】本発明の第 2 実施形態を示す図

【図 14】本発明の第 3 実施形態を示す図

【図 15】本発明の第 4 実施形態を示す図

【図 16】本発明の第 5 実施形態の要部を示す図

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0025】

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。

【0026】

本発明の第1実施形態は、図4（全体構成）及び図5（要部構成）に示す如く、棒状の線源が格納された3本の線源格納棒40を、基準中心軸に対してだけ傾けられたPET検出器リング12の内周に沿って回転させるための楕円軌道回転装置であって、楕円軌道のガイド面42Aが軸方向と垂直に形成された円筒状のガイド機構である楕円軌道ガイド42と、前記ガイド面42Aに線源格納棒40を追従させるための追従機構を構成する、ローラ状のカムフォロア44、前記線源格納棒40が固定され、後出回転ロッド50上を摺動するリニアプッシュ46、及び、該リニアプッシュ46をガイド面42Aと当接する方向に付勢する圧縮コイルばね48と、該追従機構により線源格納棒40を前記楕円軌道に沿って移動させるための、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通り基準中心軸と一致する回転軸を有する回転機構を構成する、前記カムフォロア44をガイド面42Aに沿って回転させるロッド50、該ロッド50が植立された、前記楕円軌道に対して斜めに配設され、前記楕円軌道の中心を斜めに通る回転軸を有する回転ドラム52、及び、該回転ドラム52を回転する回転装置54とを備えたものである。

10

【0027】

前記回転ドラム52の回転軸は、楕円軌道の中心点を通り、且つ、楕円面の垂線に対して角度 $= \arcsin(b/a)$ （ a は楕円軌道の長径、 b は楕円軌道の短径）となるように配設されている。

20

【0028】

図において、56は、校正時に楕円軌道回転装置をPET検出器リング12内に挿入するための架台である。なお、架台に、基準中心軸方向に位置を前後に変化できる機構を備えれば、架台をPET装置に固定した後に、PET検出器リングと線源の位置を調整することができる。あるいは、基準中心軸方向に位置を前後に変化できる機構を架台に備えなくても、ベッドなど前後移動できる台に架台を固定すれば、同様に線源の位置の調整が可能である。

【0029】

前記楕円軌道ガイド42のガイド面42Aは、図6に例示するような方法で加工することができる。この加工方法は、カムフォロア44が、楕円軌道ガイド42の切り口に、常に点ではなく線で接するようにしたものである。

30

【0030】

具体的には、まず、楕円軌道ガイド42の材料となる円筒を、円筒の中心軸を中心にして回転できるようにし、中心軸と垂直に、切り口を切削する刃物62を当てる。そして、円筒を 方向に等速回転させ、回転と同期しながら、刃物62を、中心軸と平行な方向に動かす。その際、刃物62の動きは、正弦波状に制御し、円筒の1回転が正弦波の一周期に対応するようにする。図6は、外直径180mm、幅 $W = 144$ mmの楕円軌道ガイド42を製作するときの制御例である。完成した楕円軌道ガイド42を図7に示す。

【0031】

40

なお、刃物62は、図6では回転体刃物を使用しているが、円筒の材質によっては、回転体刃物に限らずカッターやレーザーでも切る事ができる。

【0032】

校正時における前記回転装置54の回転速度は、例えば回転ドラム52の回転速度が一定となるように制御したり、あるいは、カムフォロア44が楕円軌道上で等速で移動するように制御することができる。後者の場合は、図8に示す如く制御すれば良い。

【0033】

具体的には、 $x-y$ 平面上では円になるため、PET検出リング12の傾斜角 θ と楕円軌道の短軸 b 、同じく長軸 a の間には次式の関係が成立する。

$$\theta = \arcsin(b/a) \quad \dots (1)$$

50

【 0 0 3 4 】

従って、時刻 t の時の円軌道上の位相を ϕ_t とすると、各座標の値は次のようになる。

【 数 1 】

$$x = b \cos \phi_t \quad \dots (2)$$

$$y = b \sin \phi_t \quad \dots (3)$$

$$z = \frac{y}{\tan \theta} = b \frac{\sin \phi_t}{\tan \theta} \quad \dots (4)$$

$$q = \frac{y}{\sin \theta} = b \frac{\sin \phi_t}{\sin \theta} \quad \dots (5)$$

10

【 0 0 3 5 】

又、 x y 平面上での速度は次のようになる。

【 数 2 】

$$\begin{aligned} v_{xy} &= \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \\ &= \frac{d}{d\phi_t} \begin{pmatrix} b \cos \phi_t \\ b \sin \phi_t \end{pmatrix} \cdot \frac{d\phi_t}{dt} \\ &= b \begin{pmatrix} -\sin \phi_t \\ \cos \phi_t \end{pmatrix} \cdot \frac{d\phi_t}{dt} \quad \dots (6) \end{aligned}$$

20

$$|v_{xy}| = b \cdot \frac{d\phi_t}{dt} \quad \dots (7)$$

【 0 0 3 6 】

従って x q 平面上での速度は次のようになる。

【 数 3 】

$$\begin{aligned} v_{xq} &= \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x \\ q \end{pmatrix} \\ &= \frac{d}{d\phi_t} \begin{pmatrix} b \cos \phi_t \\ b \frac{\sin \phi_t}{\sin \theta} \end{pmatrix} \cdot \frac{d\phi_t}{dt} \\ &= b \begin{pmatrix} -\sin \phi_t \\ \frac{\cos \phi_t}{\sin \theta} \end{pmatrix} \cdot \frac{d\phi_t}{dt} \quad \dots (8) \end{aligned}$$

30

$$\begin{aligned} |v_{xq}| &= b \left(\sqrt{\sin^2 \phi_t + \frac{\cos^2 \phi_t}{\sin^2 \theta}} \right) \cdot \frac{d\phi_t}{dt} \\ &= \left(\sqrt{\sin^2 \phi_t + \frac{\cos^2 \phi_t}{\sin^2 \theta}} \right) |v_{xy}| \quad \dots (9) \end{aligned}$$

40

【 0 0 3 7 】

従って、 x q 表面上での速度を一定にするためには、 C を定数として、次式の関係を満たすれば良い。

【数 4】

$$|v_{xq}| = \left(\sqrt{\sin^2 \phi_t + \frac{\cos^2 \phi_t}{\sin^2 \theta}} \right) |v_{xy}| = C \quad \dots(10)$$

$$|v_{xy}| = \frac{C}{\left(\sqrt{\sin^2 \phi_t + \frac{\cos^2 \phi_t}{\sin^2 \theta}} \right)} \quad \dots(11)$$

10

【0038】

長軸半径 $a = 412.5$ mm、短軸半径 $b = 300$ mm、回転半径 40 mm、 $\theta = 46.7^\circ$ として、円軌道上の速度を一定とした場合の楕円軌道上の速度の例を図 9 (A) に、楕円軌道上の速度を一定に制御した場合の楕円軌道上の速度の例を図 9 (B) に示す。

【0039】

本実施形態によれば、検出器リングの形状に合わせて、検出器リングが楕円である場合には、図 10 (A) に示す如く、図 4 と同様に楕円軌道ガイド 42 を用い、一方、検出器リングが従来と同様の円形である場合には、図 10 (B) に示すように円軌道ガイド 58 に交換することにより、動作軌道を容易に変更できる。これは特に、図 11 に例示するような、短冊状の検出器 36 を周方向に並べて検出器リングの形状を傾斜状 (A) と円形 (B) で可変とした検出器リング 30 に有効である。

20

【0040】

図 12 は、図 3 に例示した、円筒をその切り口に対して傾斜する 2 つの平面で切り取った形状となるような検出器配置の PET 装置に、本発明を適用した例である。

【0041】

なお、前記実施形態においては、楕円軌道上を動く物体である線源格納棒 40 が 3 本とされていたが、図 13 に示す第 2 実施形態のように 1 本であったり、あるいは図 14 に示す第 3 実施形態のように 2 本であっても良い。また、同様にして、4 本以上に増やすことも容易である。

【0042】

又、楕円軌道ガイドも前記実施形態に限定されず、図 15 に示す第 4 実施形態のように、検出器リング 13 の外板に直接ガイド面 13A を形成することも可能である。

30

【0043】

この場合には、別体の楕円軌道ガイドが不要となり、コンパクト化が可能である。

【0044】

又、前記実施形態においては、いずれも、楕円軌道ガイド 42 に対して圧縮コイルばね 48 によりカムフォロア 44 を追従させていたが、楕円軌道ガイド 42 にカムフォロア 44 を追従させる方法はこれに限定されず、図 16 に要部を示す第 5 実施形態の如く、楕円軌道を楕円軌道ガイド 43 のスリット (又は溝) 43A で形成し、該スリット 43A 内をカムフォロア 44 が移動するように構成することも可能である。

40

【0045】

本実施形態によれば、カムフォロア 44 を楕円軌道ガイド 43 で両側から挟むことにより、確実に追従させることができる。

【0046】

なお、前記実施形態においては、いずれも、検出器リングが円筒状または楕円筒状に配設されていたが、検出器配置は、必ずしも円筒状や楕円筒状である必要はなく、多角筒状や、一部に切れ目のある部分円筒状または部分楕円筒状であってもよい。

【0047】

又、適用対象も PET 装置に限定されず、医療画像機器以外にも工作機械、製造機器等、幅広い応用が可能である。

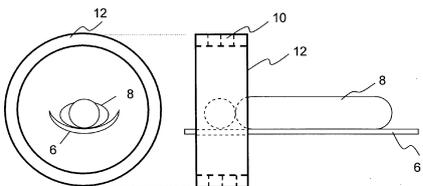
50

【符号の説明】

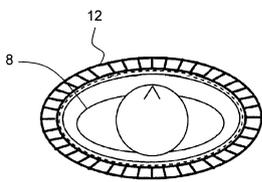
【0048】

- 12、13、30 ... 検出器リング
- 13A、42A ... ガイド面
- 40 ... 線源格納棒
- 42、43 ... 楕円軌道ガイド
- 43A ... スリット
- 44 ... カムフォロア
- 46 ... リニアプッシュ
- 48 ... 圧縮コイルばね
- 50 ... ロッド
- 52 ... 回転ドラム
- 54 ... 回転装置
- 56 ... 架台

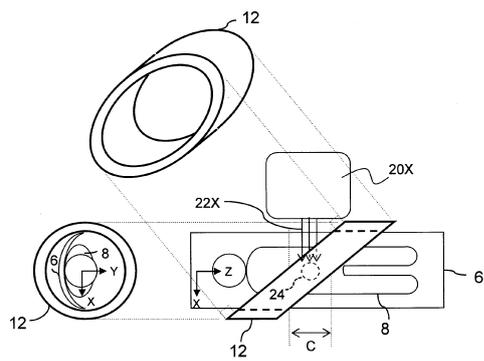
【図1】



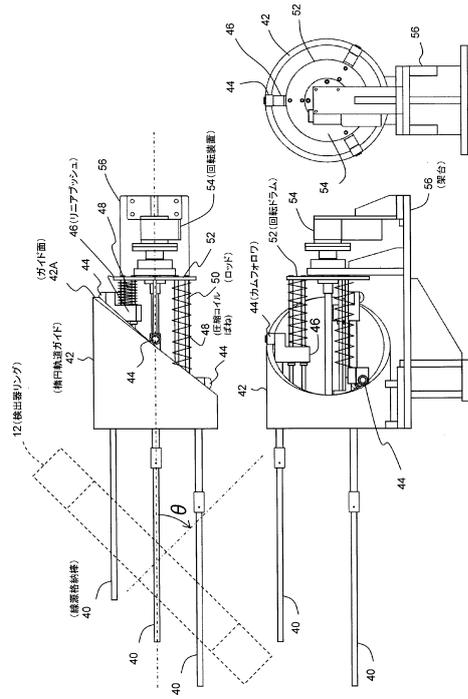
【図2】



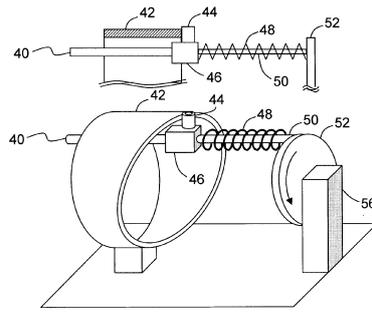
【図3】



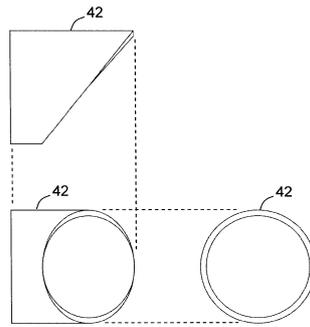
【図4】



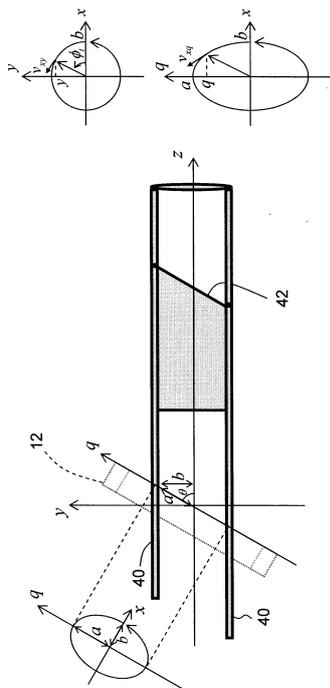
【図5】



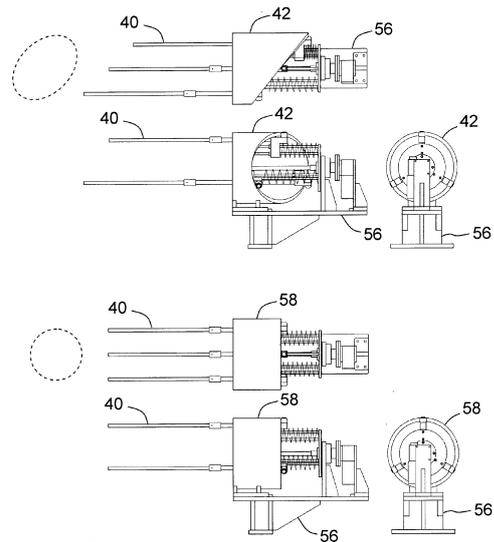
【図7】



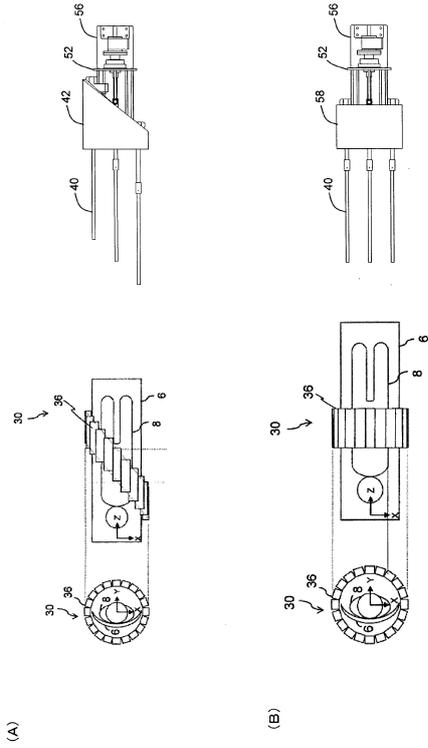
【図8】



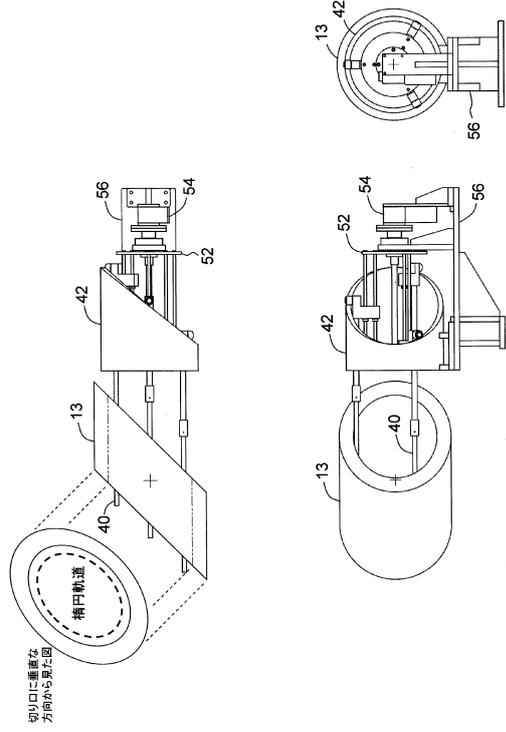
【図10】



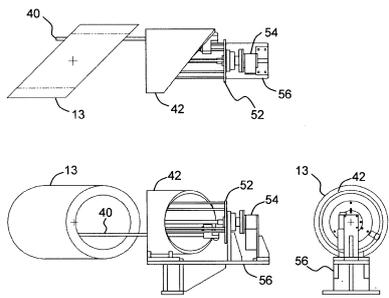
【図 1 1】



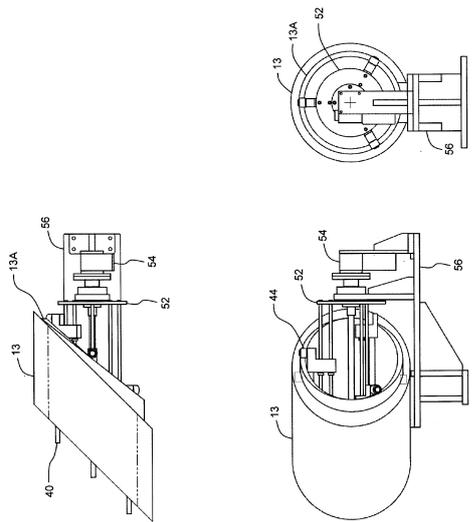
【図 1 2】



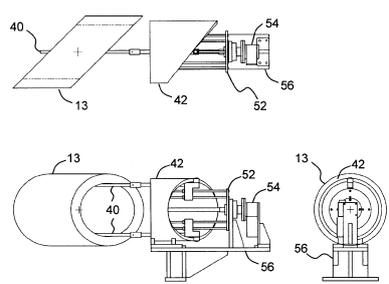
【図 1 3】



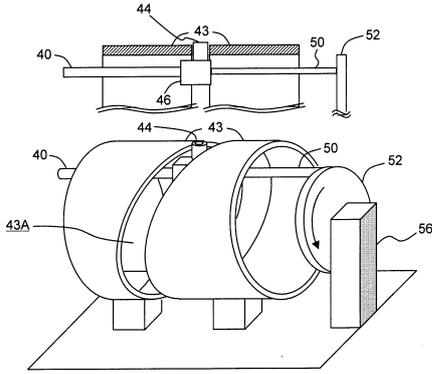
【図 1 5】



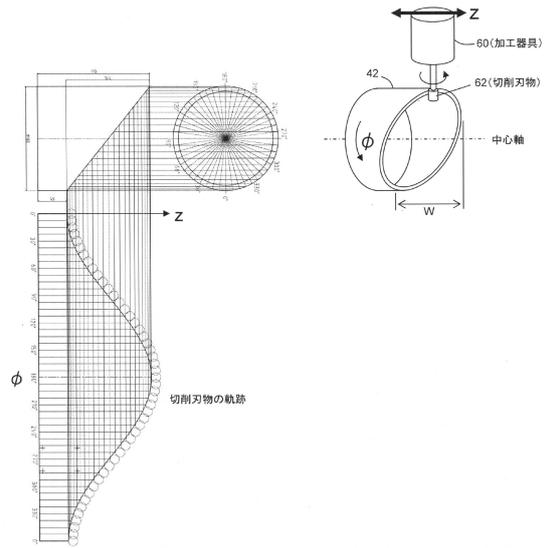
【図 1 4】



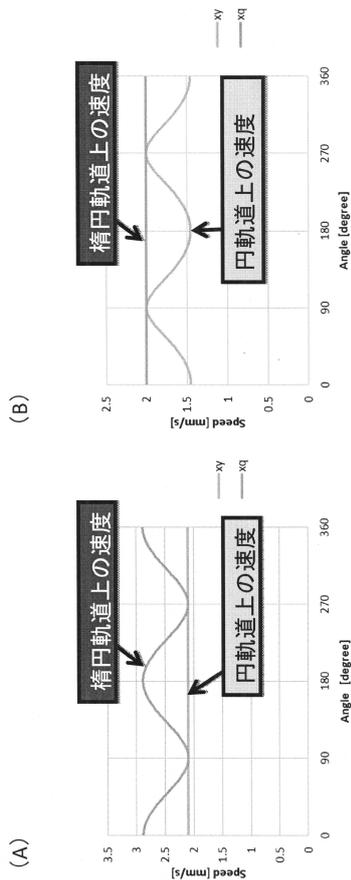
【図16】



【図6】



【図9】



フロントページの続き

- (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 田島 英朗
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 東又 厚
千葉県千葉市稲毛区山王町381番6号 三樹工業株式会社内

審査官 高吉 統久

- (56)参考文献 特開2004-251400(JP,A)
特開2011-185796(JP,A)
特開2008-298165(JP,A)
特開昭59-019761(JP,A)
実開昭48-019031(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F16H 21/20
F16H 21/28
F16H 47/02
G01T 1/161