

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4202884号
(P4202884)

(45) 発行日 平成20年12月24日(2008.12.24)

(24) 登録日 平成20年10月17日(2008.10.17)

(51) Int.Cl.		F 1
H05H 7/18	(2006.01)	H05H 7/18
H05H 7/02	(2006.01)	H05H 7/02
H05H 13/00	(2006.01)	H05H 13/00

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2003-348770 (P2003-348770)	(73) 特許権者	000002107
(22) 出願日	平成15年10月7日(2003.10.7)		住友重機械工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-116328 (P2005-116328A)		東京都品川区大崎二丁目1番1号
(43) 公開日	平成17年4月28日(2005.4.28)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成18年6月14日(2006.6.14)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100113435
			弁理士 黒木 義樹
		(72) 発明者	齊藤 勝彦
			愛媛県新居浜市忽開町5番2号 住友重機械工業株式会社新居浜製造所内
		審査官	山口 敦司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 周波数補償器及びその駆動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する周波数補償器の駆動方法であって、

前記モータの回転数を一定とし、

前記モータの回転量と前記補償板の進退量との関係を、前記高周波共振器側の電極と該補償板との間の距離に応じて変更することを特徴とする周波数補償器の駆動方法。

【請求項2】

前記高周波共振器側の電極と前記補償板とが第1の距離 d_1 及びこれより大きい第2の距離 d_2 だけそれぞれ離れているとき、

前記モータの一定回転量に対する前記補償板の進退量をそれぞれ $G(d_1)$ 及び $G(d_2)$ とすると、

$$G(d_1) > G(d_2)$$

であることを特徴とする請求項1に記載の周波数補償器の駆動方法。

【請求項3】

モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する周波数補償器であって、

前記モータの回転量と前記補償板の進退量との関係を、前記高周波共振器側の電極と該補償板との間の距離に応じて変更する出力変換機構を備えることを特徴とする周波数補償器。

【請求項 4】

モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する周波数補償器であって、

前記モータの駆動によりロッドを軸方向に進退させるリニア駆動機構と、

前記ロッドの軸方向の進退運動を、該軸方向とは異なる方向の前記補償板の前記高周波共振器側の電極に対する進退運動に変換する運動変換機構と、
を備えることを特徴とする周波数補償器。

【請求項 5】

モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する周波数補償器であって、

前記モータの駆動によりロッドを軸方向に進退させるリニア駆動機構と、

前記ロッドの軸方向の進退運動を、該軸方向とは異なる方向の前記補償板の前記高周波共振器側の電極に対する進退運動に変換する運動変換機構と、

前記モータの回転量と前記補償板の進退量との関係を、前記高周波共振器側の電極と該補償板との間の距離に応じて変更する出力変換機構と、
を備えることを特徴とする周波数補償器。

【請求項 6】

前記運動変換機構は、前記ロッドに一端が係止されると共に、他端には前記補償板が固定されており、該ロッドの進退により所定軸を中心として回転して、該補償板を前記高周波共振器側の電極に対して進退させるガイド部材を有することを特徴とする請求項 5 に記載の周波数補償器。

【請求項 7】

前記出力変換機構は、

前記ロッドと前記ガイド部材の前記一端との間に設けられる窪み部と、

前記ロッドの進退により前記窪み部内を移動する突起部と、

を有することを特徴とする請求項 6 に記載の周波数補償器。

【請求項 8】

モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する周波数補償器の駆動方法であって、

前記モータからの出力を、前記高周波共振器側の電極と前記補償板との間の距離に応じて所定の出力に変換し、変換後の出力に基づいて前記補償板を進退させることを特徴とする周波数補償器の駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、高周波共振器の周波数補償器、及びその駆動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

サイクロトロン等の粒子加速器に使用される高周波共振器（RFキャビティ）は、粒子に高周波（RF）電力を与えることによって粒子を加速する。高周波共振器は、加速電極（ディー）及び内導体（ステム）を含むRF電極と、外導体とを有している。この高周波共振器は、所定の周波数（共振周波数）で粒子に電力を与えるように設計されている（例えば、特許文献1）。

【0003】

このような粒子加速器の稼動中には、温度変化やその他の要素により共振周波数が変化するため、RF電力の周波数を調整することが必要となる。そのための装置として、C型補償器とL型補償器とがあり、一般的にC型補償器が多く用いられる（例えば、特許文献2）。

【0004】

C型補償器は、モータ、及びモータの駆動により軸方向に進退されるロッドを有するリ

10

20

30

40

50

ニア駆動機構と、電極としての補償板と、を備えている。補償板は、ロッドの先端に取り付けられている。従って、モータを駆動してロッドを進退させることで、RF電極に対して補償板を近付けたり遠ざけたりすることができる。C型補償器は、このように補償板をRF電極に対して進退させることで、キャパシタンスを調整して、周波数を補償する。

【特許文献1】特開平5-144597号公報

【特許文献2】特開2000-228299号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ここで、RF電力の周波数 f は、次式(1)を用いて表すことができる。

10

【0006】

【数1】

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L\frac{\epsilon S}{d}}} \dots (1)$$

式(1)において、 L はインダクタンスであり、 C はキャパシタンスであり、 S は電極面積であり、 ϵ は誘電率であり、 d は電極間距離である。式(1)に示すように、RF電力の周波数 f は、 $d^{-1/2}$ に比例する。よって、RF電極と補償板との距離 d がある程度以上となると、距離 d の変動量 Δd に対する周波数 f の変動量 Δf は非常に小さくなる。逆に言えば、RF電極と補償板との距離 d がある程度以下となると、距離 d の変動量 Δd に対する周波数 f の変動量 Δf は非常に大きくなる。

20

【0007】

従って、距離 d が大きいときに周波数 f を所定量 f_0 だけ変動させるためには、補償板の移動量 Δd は大きくする必要がある。逆に言えば、距離 d が小さいときに周波数 f を所定量 f_0 だけ変動させるためには、補償板の移動量 Δd は小さくする必要がある。

【0008】

しかしながら、従来のC型補償器では、モータの駆動により単にロッドを軸方向に進退させていた。従って、周波数遅れに対する反応を一定にしてビーム出力を安定させるため、一定時間内に周波数 f を所定量 f_0 だけ変動させる必要があるとき、距離 d が大きいときにはモータの回転数を高くする必要があり、一方、距離 d が小さいときにはモータの回転数を低くする必要があった。このように、距離 d に応じてモータの回転数を変動させる必要があり、モータの制御が複雑になるという問題があった。

30

【0009】

本発明は、上記した事情に鑑みて為されたものであり、モータの制御を容易とする周波数補償器及びその駆動方法を提供することを目的とする。

【0010】

また、近年、医療用サイクロトロン等においては、建て屋の簡略化及び軽量化等の観点から、サイクロトロン設置室自体をシールドする必要のない自己シールド型のサイクロトロンが求められており、サイクロトロン自体のコンパクト化が必要とされている。

40

【0011】

しかしながら、従来のC型補償器では、補償板の移動方向(ロッドの軸方向)に駆動源としてのモータを設置する必要があり、配置の自由度が低く、サイクロトロンのコンパクト化を妨げているという問題があった。

【0012】

本発明は、上記した事情に鑑みて為されたものであり、配置の自由度が高い周波数補償器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明に係る周波数補償器の駆動方法は、モータの駆動により高周波共振器側の電極に

50

対し補償板を進退させ、周波数を補償する。この方法では、モータの回転数を一定とし、モータの回転量と補償板の進退量との関係を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて変更することを特徴とする。

【0014】

また本発明に係る周波数補償器は、モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する。この周波数補償器は、モータの回転量と補償板の進退量との関係を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて変更する出力変換機構を備えることを特徴とする。

【0015】

この周波数補償器及びその駆動方法では、出力変換機構により、高周波共振器側の電極と補償板との距離が小さいときには、モータの所定回転量に対する補償板の進退量を小さくし、一方、高周波共振器側の電極と補償板との距離が大きいときには、モータの所定回転量に対する補償板の進退量を大きくすることができる。このように、モータの回転量と補償板の進退量との関係を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて変更することで、高周波共振器側の電極と補償板との距離にかかわらず、所望時間内に必要な量だけ周波数を変動させて、高周波共振器の周波数を補償することができる。その結果、周波数遅れに対する反応を一定にすることができ、例えばサイクロトロン等の粒子加速器においては、ビーム出力を安定させることが可能となる。このとき、モータの回転数を一定とすることで、その制御が容易になる。

【0016】

本発明に係る周波数補償器の駆動方法では、高周波共振器側の電極と補償板とが第1の距離 d_1 及びこれより大きい第2の距離 d_2 だけそれぞれ離れているとき、モータの一定回転量に対する補償板の進退量をそれぞれ $G(d_1)$ 及び $G(d_2)$ とすると、 $G(d_1) > G(d_2)$ であることを特徴としてもよい。このようにすれば、高周波共振器の周波数を好適に補償することができる。

【0017】

本発明に係る周波数補償器は、モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する。この周波数補償器は、モータの駆動によりロッドを軸方向に進退させるリニア駆動機構と、ロッドの軸方向の進退運動を、軸方向とは異なる方向の補償板の高周波共振器側の電極に対する進退運動に変換する運動変換機構と、を備えることを特徴とする。

【0018】

この周波数補償器は、運動変換機構を備えているため、ロッドが進退する軸方向と、補償板が進退する方向とが異なる。従って、補償板が進退する方向にモータを配置する必要がなく、配置の自由度が高くなって、例えばサイクロトロン等の粒子加速器では、コンパクト化が可能となる。

【0019】

本発明に係る周波数補償器は、モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する。この周波数補償器は、モータの駆動によりロッドを軸方向に進退させるリニア駆動機構と、ロッドの軸方向の進退運動を、軸方向とは異なる方向の補償板の高周波共振器側の電極に対する進退運動に変換する運動変換機構と、モータの回転量と補償板の進退量との関係を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて変更する出力変換機構と、を備えることを特徴とする。

【0020】

この周波数補償器は、運動変換機構を備えているため、ロッドが進退する軸方向と、補償板が進退する方向とが異なる。従って、補償板が進退する方向にモータを配置する必要がなく、配置の自由度が高くなって、例えばサイクロトロン等の粒子加速器では、コンパクト化が可能となる。また、出力変換機構により、高周波共振器側の電極と補償板との距離が小さいときには、モータの所定回転量に対する補償板の進退量を小さくし、一方、高周波共振器側の電極と補償板との距離が大きいときには、モータの所定回転量に対する補

10

20

30

40

50

償板の進退量を大きくすることができる。このように、モータの回転量と補償板の進退量との関係を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて変更することで、高周波共振器側の電極と補償板との距離にかかわらず、所望時間内に必要な量だけ周波数を変動させて、高周波共振器の周波数を補償することができる。その結果、周波数遅れに対する反応を一定にすることができ、例えばサイクロトロン等の粒子加速器においては、ビーム出力を安定させることが可能となる。このとき、モータの回転数を一定とすることで、その制御が容易になる。

【0021】

本発明に係る周波数補償器において、運動変換機構は、ロッドに一端が係止されると共に、他端には補償板が固定されており、ロッドの進退により所定軸を中心として回転して、補償板を高周波共振器側の電極に対して進退させるガイド部材を有することを特徴としてもよい。このようにすれば、ロッドの進退により所定軸を中心としてガイド部材が回転することで、ロッドの軸方向とは異なる方向に補償板が移動され、高周波共振器側の電極に対して進退される。

10

【0022】

本発明に係る周波数補償器において、出力変換機構は、ロッドとガイド部材の一端との間に設けられる窪み部と、ロッドの進退により窪み部内を移動する突起部と、を有することを特徴としてもよい。このようにすれば、ロッドの進退により突起部が窪み部内を移動することにより、モータの回転量と補償板の進退量との関係が、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて変更される。

20

【0023】

本発明に係る周波数補償器の駆動方法は、モータの駆動により高周波共振器側の電極に対し補償板を進退させ、周波数を補償する。この方法では、モータからの出力を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて所定の出力に変換し、変換後の出力に基づいて補償板を進退させることを特徴とする。

【0024】

この方法では、モータの回転数を一定とし、高周波共振器側の電極と補償板との距離が小さいときには変換後の出力を小さくして補償板の進退量を小さくし、一方、高周波共振器側の電極と補償板との距離が大きいときには変換後の出力を大きくして補償板の進退量を大きくすることができる。このように、モータからの出力を、高周波共振器側の電極と補償板との間の距離に応じて所定の出力に変換することで、高周波共振器側の電極と補償板との距離にかかわらず、所望時間内に必要な量だけ周波数を変動させて、高周波共振器の周波数を補償することができる。その結果、例えばサイクロトロン等の粒子加速器においては、ビーム出力を安定させることが可能となる。このとき、モータの回転数は一定であるため、その制御が容易になる。

30

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、モータの制御を容易とする周波数補償器及び周波数補償方法が提供される。また本発明によれば、配置の自由度が高い周波数補償器が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

40

【0026】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0027】

図1は、本実施形態に係る周波数補償器を備えた粒子加速器として、サイクロトロンの構成を示す正面図である。図1に示すように、サイクロトロン10は縦型で、また全体が放射線を遮断する鉛等の遮蔽壁100で覆われた自己シールド型のサイクロトロンである。

【0028】

図2は、図1に示すサイクロトロン長軸に沿ってII-II線で切断したサイクロトロ

50

ン 10 の断面図である。また図 3 は、サイクロトロン 10 の本体部 12 と蓋部 14 とを分離した状態の断面図である。また図 4 は、サイクロトロン 10 の本体部 12 の正面図である。

【 0029 】

図 2 ~ 4 に示すように、サイクロトロン 10 は、一对の磁極 16 と、一对のコイル 18 と、真空箱 20 と、一对の高周波共振器と、ヨーク 28 と、一对の周波数補償器 70 と、を備えている。

【 0030 】

一对の磁極 16 は、図 4 及び図 5 に示すように、それぞれ円板状の外形を有する。これら磁極 16 の対向する面には、それぞれ谷領域 16 a と山領域 16 b とが交互に連続して設けられている。より詳細には、これら磁極 16 の対向する面は、それぞれ 4 つの谷領域 16 a と 4 つの山領域 16 b とが交互に現れる 8 つの扇形のセクタに分割されている。このように構成することで、セクターフォーカシングを利用して加速粒子の高集束を図っている。

【 0031 】

ヨーク 28 は、本体部 12 側のヨーク本体 28 a と、蓋部 14 側のヨーク蓋 28 b とを有している。ヨーク本体 28 a は、図 2 及び図 3 に示すように、縦断面がコ字状をなす。ヨーク蓋 28 b は、鉛直方向に沿って延び、正面視が長方形形状をなす。ヨーク蓋 28 b の長軸は、磁極 16 の直径の二倍程度の長さであり、短軸は磁極 16 の直径よりも若干長い程度の長さである。一对の磁極 16 の一方は、ヨーク本体 28 a 上に設けられ、他方の磁極 16 は、ヨーク蓋 28 b 上に設けられている。そして、固定側のヨーク本体 28 a に対して可動側のヨーク蓋 28 b を付き当てることで、図 2 に示すように、環状のヨーク 28 が構成されている。なお、ヨーク蓋 28 b の長軸はヨーク 28 全体としての高さと同しく、以降はこれをヨーク長軸という。このヨーク長軸が、サイクロトロン長軸となる。

【 0032 】

真空箱 20 は、図 6 に示すように、箱本体 30 と箱蓋 32 とを有している。箱本体 30 は、底壁部 30 a と側壁部 30 b とを含んでいる。底壁部 30 a には、磁極 16 の外形と略同径の開口部 30 c が設けられている。また、底壁部 30 a には真空排気用の 2 つの排気口 30 d が設けられている。これら排気口 30 d に、図 1 に示すように真空ポンプ 102 が接続される。また底壁部 30 a には、後述する周波数補償器 70 のリニア駆動機構 72 が有するロッド 74 を支持し、その直線運動をガイドするためのロッド支持部 76 が設けられている。ロッド支持部 76 は、例えば底壁部 30 a 上に立設された板材であって、ロッド 74 が挿通される貫通孔 78 を有している。この箱本体 30 が、図 2 ~ 4 に示すように、サイクロトロン 10 の本体部 12 側に取り付けられる。箱本体 30 が取り付けられたとき、磁極 16 の表面は開口部 30 c を通して真空箱 20 内に突出している。箱蓋 32 は、箱本体 30 の上部開口を塞ぐ。この箱蓋 32 には、磁極 16 の外形と略同径の開口部 32 a が設けられている。この箱本体 32 が、図 2 ~ 4 に示すように、サイクロトロン 10 の蓋部 14 側に取り付けられる。箱蓋 32 が取り付けられたとき、磁極 16 の表面は開口部 32 a を通して真空箱 20 内に突出している。

【 0033 】

サイクロトロン 10 の本体部 12 側のコイル 18 は、図 2 及び図 3 に示すように、磁極 16 の周りであってヨーク本体 28 a と箱本体 30 との間に設けられており、電磁石が構成されている。また、サイクロトロン 10 の蓋部 14 側のコイル 18 は、磁極 16 の周りであってヨーク蓋 28 b と箱蓋 32 との間に設けられており、電磁石が構成されている。

【 0034 】

一对の高周波共振器は、それぞれ加速電極 22 と、内導体 24 と、外導体 26 と、を有している。

【 0035 】

一对の加速電極 22 は、図 4 に示すように、それぞれ正面視において略三角形形状をなす。各加速電極 22 は、図 7 に示すように、上下 2 枚の三角板を底辺で連結して構成されて

10

20

30

40

50

いる。そして、加速電極 22 の板面には複数の孔 22 a が穿設されている。これにより、真空排気の効率化とサイクロトロン 10 の軽量化が図られている。かかる構成の一对の加速電極 22 が、図 3 及び図 4 に示すように、サイクロトロン 10 の本体部 12 側に設けられている。ここで、一对の加速電極 22 が並置される並び軸（所定軸）X は、ヨーク長軸に沿っていると好ましい。本実施形態では、並び軸 X とヨーク長軸とは一致している。

【0036】

これら一对の加速電極 22 は、一对の磁極 16 の谷領域 16 a に位置する。そして、加速電極 22 の先端部同士が、図 7 に示すように、蝶の羽のような外形を有する接続部材 34 により、機械的且つ電氣的に接続されている。

【0037】

一对の内導体 24 は、図 4 及び図 7 に示すように、それぞれ加速電極 22 の並び軸 X と交差する方向に、当該並び軸 X に対して反対方向に延びている。これら一对の内導体 24 はそれぞれ円筒状の部材であり、一端が加速電極 22 に接続されている。そして、加速電極 22 の並び軸 X と内導体 24 の軸との交点 P1 と、内導体 24 の軸とシヨート板 37 との交点 P2 と、を結ぶ直線と、並び軸 X とのなす角度は鋭角である。なお、内導体 24 は湾曲していてもよい。このようにすれば、サイクロトロン 10 がよりコンパクトになる。また、シヨート板 37 と内導体 24 との交点 P2 近傍の磁界が最大になる部分において、内導体 24 と外導体 26 との距離を離すことができるため、当該交点 P2 近傍での磁界を弱めることで発熱を抑えることができる。更に、内導体 24 と真空箱 20 との距離を離すことができるため、当該交点 P2 近傍での磁界が真空箱 20 に与える影響を弱めること

10

20

【0038】

一对の外導体 26 は、それぞれ一对の内導体 24 を取り囲む。各外導体 26 は、図 8 に示すように、外導体本体部 36 と外導体蓋部 38 とを含み、所定周波数を生成するように外形が設計されている。外導体本体部 36 は、底壁部 36 a と側壁部 36 b とカウンタ電極 36 c とを有する。カウンタ電極 36 c は、外形が加速電極 22 よりも若干大きく、加速電極 22 の下板を収容可能である。これにより、加速電極 22 の下板とカウンタ電極 36 c の上端が面一になる。この外導体本体部 36 が、サイクロトロン 10 の本体部 12 側で真空箱 20 の箱本体 30 上に設けられている。このとき、カウンタ電極 36 c は磁極 16 の谷領域 16 a に入り込む。そして、側壁部 36 b の一端に、シヨート板 37 が設けられている。シヨート板 37 は、内導体 24 と外導体 26 とを短絡する。このシヨート板 37 に設けられた開口部 37 e を通して、加速電極 22 が連結された内導体 24 が支持されている。外導体本体部 36 の側壁部 36 b には、後述する周波数補償器 70 を通す開口部 36 e が設けられている。また、カウンタ電極 36 c に近い側壁部 36 b 上には、後述する周波数補償器 70 が備える補償板 80 をアースするためのアース部材 82 が設けられている。このアース部材 82 は補償板 80 に連結されるものであり、補償板 80 の進退に伴って変形可能なように、銅等から形成された導電性を有する薄板から構成されている。

30

【0039】

外導体蓋部 38 は、底壁部 38 a と側壁部 38 b とカウンタ電極 38 c とを有する。カウンタ電極 38 c は、外形が加速電極 22 よりも若干大きく、加速電極 22 の上板を収容可能である。これにより、加速電極 22 の上板とカウンタ電極 38 c の下端が面一になる。この外導体蓋部 38 が、サイクロトロン 10 の蓋部 14 側で真空箱 20 の箱蓋 32 上に設けられる。このとき、カウンタ電極 38 c は磁極 16 の谷領域 16 a に入り込む。

40

【0040】

サイクロトロン 10 の本体部 12 と蓋部 14 とを合体させたとき、外導体本体部 36 と外導体蓋部 38 とが合体し、閉空間が形成される。この閉空間内に、加速電極 22 及び内導体 24 が収容される。このようにして、外導体 26、内導体 24、及び加速電極 22 により、高周波共振器（RF キャピティ）が形成される。また、内導体 24 と加速電極 22 により、RF 電極（高周波共振器側の電極）が形成される。なお、外導体本体部 36 及び外導体蓋部 38 それぞれの側壁部 36 b、38 b の縁とシヨート板 37 の縁には、コンタ

50

クトフィンガー４０が設けられている。コンタクトフィンガー４０は、バネ板片を所定方向に連続して並べて構成したものである。このように、外導体本体部３６と外導体蓋部３８及びショート板３７がコンタクトフィンガー４０を介して合わさることで、両者の確実な電氣的接続が図られている。

【００４１】

一对の内導体２４は、図４に示すように、それぞれ真空箱２０の外まで延びている。これら内導体２４の内部には、冷媒を循環させるための管４２が通っており、加速電極２２及び内導体２４を冷却できるようになっている。また、外導体２６の内部にも冷媒を循環させるための管（図示しない）が通っており、外導体２６を冷却できるようになっている。

10

【００４２】

このように、本実施形態に係るサイクロトロン１０では、一对の内導体２４は、それぞれ加速電極２２の並び軸Ｘと交差するように、当該並び軸Ｘに対して反対方向に延びている。従って、磁極１６の周りには他の装置を配置するスペースが生じる。そこで、このスペースに、並び軸Ｘに対して対称な位置に、加速粒子を取り出すためのフォイルストリッパ４６と、放射性同位元素を生成するためのターゲット４８とを配置している。また、真空箱２０の右方に、先端が磁極１６内に至る電流検出器５０が設けられている。

【００４３】

また、真空箱２０に設けられた排気口３０ｄと、磁極１６の中心部に設けられたビーム引出し部０との間に、磁極１６の谷領域１６ａが存在している。よって、排気口３０ｄからビーム引出し部０が見通せるようになっている。

20

【００４４】

一对の周波数補償器７０は、図４に示すように、それぞれ内導体２４に沿って設けられている。この周波数補償器７０は、リニア駆動機構７２と、ガイド部材（運動変換機構）８４と、補償板８０とを備えている。

【００４５】

リニア駆動機構７２は、図９に示すように、モータ８６と、モータ８６の駆動によりその軸方向に進退するロッド７４と、を有している。モータ８６とロッド７４との間には、公知の運動伝達機構が設けられている。運動伝達機構は、例えば外周面に雄ネジが刻設されたボールネジ８８と、このボールネジ８８の雄ネジと噛合するように、ロッド７４の起端部に穿設された雌ネジを含むネジ穴とにより構成することができる。このボールネジ８８を、モータ８６の出力軸９０にカップリング９２を介して連結することで、ボールネジ８８はモータ８６の出力軸９０と同期に回転する。そして、このボールネジ８８が回転することで、ボールネジ８８がロッド７４のネジ穴にねじ込まれたり、引き出されたりして、ロッド７４がその軸方向に進退する。

30

【００４６】

このリニア駆動機構７２は、大部分が真空箱２０の外部に配置され、ロッド７４が側壁部３０ｂを貫通して真空箱２０の内部にまで延びている。そして、ロッド７４は真空箱２０の底壁部３０ａ上に設けられたロッド支持部７６の貫通孔７８に挿通され、その直線運動がガイドされている。なお、リニア駆動機構７２のロッド７４の軸方向Ｙは、高周波共振器の内導体２４の軸方向にほぼ沿っている。

40

【００４７】

ガイド部材８４は、図１０に示すように、外形が略扇形状の板材である。ガイド部材８４の先端には、補償板８０を取り付けるための取付部９４が設けられている。ガイド部材８４の起端部は、リニア駆動機構７２のロッド７４と連結されるようになっている。より詳細には、図１１に示すように、ロッド７４の先端には円柱状の突起部９６が設けられており、ガイド部材８４の起端部にはその突起部９６が摺動可能に嵌まり込む窪み部９８が設けられている。本実施形態では、窪み部９８は貫通形成された孔から構成されており、嵌め込まれた突起部９６の先端にナット５２が締結されて、ロッド７４とガイド部材８４との連結が確実になされている。図９に示すように、ガイド部材８４は、その大部分が外

50

導体 2 6 の内部に設けられており、起端部は外導体 2 6 の側壁部 3 6 b に設けられた開口 3 6 e から出入りできるようになっている。

【 0 0 4 8 】

補償板 8 0 は、図 1 2 に示すように、長手方向に垂直な断面が円弧状をなす板材である。この補償板 8 0 は、例えば銅などの金属から形成されており、内径が内導体 2 4 の外径より若干大きくなるように形成されている。従って、図 1 3 に示すように、補償板 8 0 は内導体 2 4 に対して至近距離まで近接できるようになっている。この補償板 8 0 は、図 1 2 に示すように、外面に設けられた基部 5 4 を介して、ガイド部材 8 4 の取付部 9 4 に取り付けられている。

【 0 0 4 9 】

上記したガイド部材 8 4 は、長手方向について略中心付近に支点 Q を有し、図 9 及び図 1 3 に示すように、外導体 2 6 の底壁部 3 6 a 上に立設された所定軸としてのピン（図示しない）により、その支点 Q を中心として図中の矢印方向（図 9 に示す A 方向、或いは、図 1 3 に示す B 方向）に回転可能に支持されている。

【 0 0 5 0 】

ここで、上記したように、リニア駆動機構 7 2 のロッド 7 4 とガイド部材 8 4 とは、突起部 9 6 及び窪み部 9 8 を介して連結されているため、ロッド 7 4 が進退して窪み部 9 8 内を突起部 9 6 が移動することにより、図 9 及び図 1 3 に示すように、ガイド部材 8 4 が支点 Q を中心として回転して、補償板 8 0 が内導体 2 4 に対して進退されるようになっている。この様な機構により補償板 8 0 が進退される周波数補償器 7 0 では、補償板 8 0 の進退方向 Z は、リニア駆動機構 7 2 のロッド 7 4 の進退方向 Y と交差（ここでは、ほぼ直交）している。

【 0 0 5 1 】

ここで、式 (1) を参照して前述したように、RF 電力の周波数 f は、図 1 4 に示すように、RF 電極（ここでは内導体 2 4 ）と補償板 8 0 との距離（電極間距離）を d として、 $d^{-1/2}$ に比例する。よって、内導体 2 4 と補償板 8 0 との距離 d がある程度以上となると、距離 d の変動量 Δd に対する周波数 f の変動量 Δf は非常に小さくなる。逆に言えば、内導体 2 4 と補償板 8 0 との距離 d がある程度以下となると、距離 d の変動量 Δd に対する周波数 f の変動量 Δf は非常に大きくなる。

【 0 0 5 2 】

従って、距離 d が大きいときに周波数 f を所定量 f_0 だけ変動させるためには、補償板 8 0 の移動量 Δd は大きくする必要がある。逆に言えば、距離 d が小さいときに周波数 f を所定量 f_0 だけ変動させるためには、補償板 8 0 の移動量 Δd は小さくする必要がある。

【 0 0 5 3 】

本実施形態では、上記した事情を踏まえ、RF 電力の周波数 f が $d^{-1/2}$ に比例することを考慮して、図 1 0 に示すように、窪み部 9 8 を、直線状に延びる孔の部分（直線部）9 8 a と、曲線状に延びる孔の部分（曲線部）9 8 b とにより構成している。これにより、図 1 4 に示すように、距離 d の変動に対して周波数 f が略直線的に変動する距離範囲（ $d > d_0$ ）では、モータ 8 6 の回転量に対して補償板 8 0 の進退量が直線的に変動するようにしている。一方、距離 d の変動に対して周波数 f が曲線的に変動する距離範囲（ $d < d_0$ ）では、モータ 8 6 の回転量に対して補償板 8 0 の進退量が曲線的に変動するようにしている。

【 0 0 5 4 】

このようにして、モータ 8 6 の回転量と補償板 8 0 の進退量との関係を、内導体と補償板 8 0 との間の距離に応じて変更できるようにしている。本実施形態では、この窪み部 9 8 と突起部 9 6 とが、出力変換機構を構成している。

【 0 0 5 5 】

なお、窪み部 9 8 は、RF 電力の周波数 f が $d^{-1/2}$ に比例することを考慮して、図 1 5 (a) に示すように、傾きの異なる直線部を繋げて構成したものであってもよいし、ま

10

20

30

40

50

た図15(b)に示すように、全て曲線部で構成してもよい。最も好ましくは、周波数 f が常にリニアに変化するように、窪み部98の形状を決定するとよい。ただし、いずれの場合であっても、内導体24と補償板80とが第1の距離 d_1 及びこれより大きい第2の距離 d_2 だけそれぞれ離れているとき、モータ86の一定回転量に対する補償板80の進退量をそれぞれ $G(d_1)$ 及び $G(d_2)$ とすると、 $G(d_1)$ $G(d_2)$) であるように設計すると好ましい。このようにすれば、高周波共振器の周波数を好適に補償することができる。

【0056】

次に、本実施形態に係るサイクロトロン10が備える周波数補償器70の駆動方法について説明する。

10

【0057】

本実施形態に係るサイクロトロン10では、まず所定の周波数(共振周波数)で粒子に電力を与えるように、内導体24に対して補償板80を所定距離だけ離して運転する。

【0058】

この状態で、図4を参照して、磁極16の中心部に設けられたビーム引出し部0から引き出された陽子或いは重陽子といった加速粒子は、RFキャビティにより生成される加速電極22とカウンタ電極36c, 38cとの間の電界により、所定の共振周波数で多重加速される。そして、加速に伴って軌道半径が大きくなり、最後にフォイルストリッパ46のフォイルにより軌道が曲げられて、ターゲット48内に進入する。

【0059】

20

このようなサイクロトロン10の稼動中には、温度変化やその他の要素により共振周波数が変化するため、周波数 f を調整することが必要となる。

【0060】

例えば、図14に示す d_2 の距離で運転を開始したとき(点E1参照)、電極間距離 d と周波数 f との関係が曲線Sで表すように変化して、周波数が f だけ変動すると(点E2参照)、これを補償する必要がある。この周波数の変動 f を補償するためには、補償板80を d_2 だけ遠ざける(点E3参照)必要がある(第1のケース)。一方、図14に示す d_1 の距離で運転を開始したとき(点F1参照)、電極間距離 d と周波数 f との関係が曲線Tで表すように変化して、周波数が f だけ変動すると(点F2参照)、これを補償する必要がある。この周波数の変動 f を補償するためには、補償板80を d_1 だけ遠ざける(点F3参照)必要がある(第2のケース)。

30

【0061】

このとき、本実施形態では、ガイド部材84の窪み部98を、直線状に延びる孔の部分(直線部)98aと、曲線状に延びる孔の部分(曲線部)98bとにより構成している。従って、第1のケースでは、モータ86の回転量に対して補償板80の進退量が直線的に変動して、補償板80が大きく変位する。一方、第2のケースでは、モータ86の回転量に対して補償板80の進退量が曲線的に変動して、補償板80が小さく変位する。

【0062】

このように、モータ86の出力は、ガイド部材84の窪み部98とロッド74の突起部96とから構成される出力変換機構により、内導体24と補償板80との距離に応じて、ガイド部材84を必要な量だけ回転させる所定出力に変換され、この変換後の出力に基づいて、ガイド部材84により補償板80が内導体24に対して進退される。

40

【0063】

このようにして、必要な量だけ周波数を変動させて、高周波共振器の周波数 f を補償する。このとき、一連の操作において、モータ86の回転数を常に一定とすることで、内導体24と補償板80との距離にかかわらず、所望時間内に周波数の補償が行われる。

【0064】

次に、本実施形態に係るサイクロトロン10の作用及び効果について説明する。

【0065】

本実施形態では、モータ86の回転量と補償板80の進退量との関係を、内導体24と

50

補償板 80 との間の距離に応じて変更できるため、内導体 24 と補償板 80 との距離にかかわらず、所望時間内に必要な量だけ周波数を変動させて、高周波共振器の周波数 f を補償することができる。その結果、周波数遅れに対する反応を一定にすることができ、サイクロトロン 10 のビーム出力を安定させることが可能となる。このとき、モータ 86 の回転数は一定であるため、その制御が容易になる。

【0066】

また、ロッド 74 の直線運動をガイド部材 84 の回転運動に変換して、このガイド部材 84 の回転運動により補償板 80 を進退させている。従って、ロッド 74 が進退する軸方向 Y と、補償板 80 が進退する方向 Z とを異ならしめることができる。その結果、補償板 80 が進退する方向にモータ 86 を配置する必要がなく、配置の自由度が高くなって、サイクロトロン 10 のコンパクト化が可能となる。

10

【0067】

なお、本発明は上記した実施形態に限定されることなく種々の変形が可能である。例えば、ショート板 37 を内導体 24 の軸方向に移動可能に構成して、高周波共振器の周波数 f を粗調整するようにしてもよい。

【0068】

また、モータ 86 の回転量と補償板 80 の進退量との関係を、高周波共振器側の電極（内導体 24）と補償板 80 との間の距離に応じて変更する出力変換機構は、モータ 86 の出力軸 90 とボールネジ 88 との間に設けてもよい。

【図面の簡単な説明】

20

【0069】

【図 1】本実施形態に係るサイクロトロンの構成を示す正面図である。

【図 2】長軸に沿って切断したサイクロトロンの断面図である。

【図 3】サイクロトロンの本体部と蓋部とを分離した状態の断面図である。

【図 4】サイクロトロンの本体部の正面図である。

【図 5】一对の磁極の構成を示す斜視図である。

【図 6】真空箱の構成を示す斜視図である。

【図 7】加速電極及び内導体の構成を示す斜視図である。

【図 8】外導体の構成を示す斜視図である。

【図 9】周波数補償器の構成を示す図である（内導体に対して補償板が最も離れている状態）。

30

【図 10】ガイド部材の構成を示す斜視図である。

【図 11】リニア駆動機構のロッドとガイド部材との連結の様子を示す斜視図である。

【図 12】補償板の構成を示す斜視図である。

【図 13】周波数補償器の構成を示す図である（内導体に対して補償板が最も近接している状態）。

【図 14】電極間距離と周波数との関係を示すグラフである。

【図 15】窪み部の変形例を示す図である。

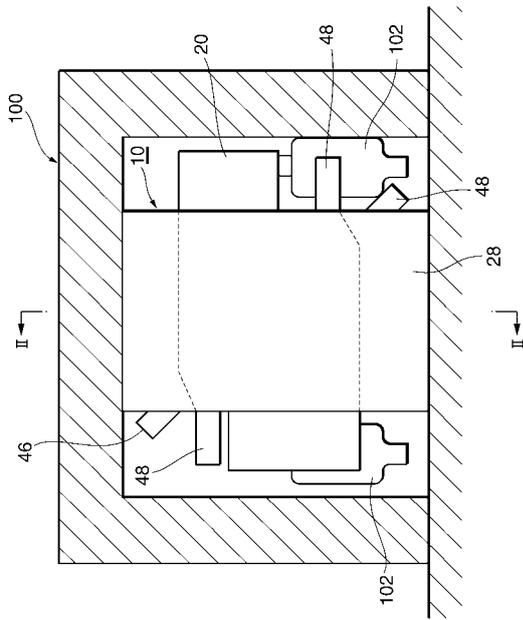
【符号の説明】

【0070】

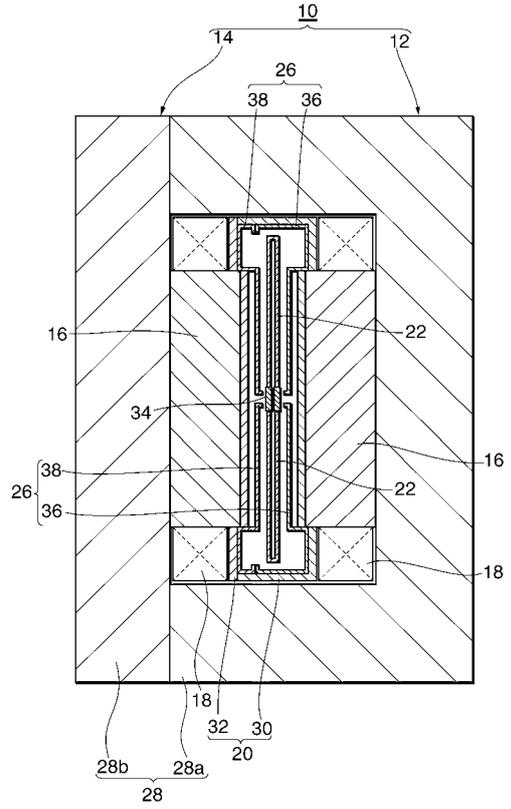
40

10 ... サイクロトロン、22 ... 加速電極、24 ... 内導体、26 ... 外導体、60 ... 高周波共振器、70 ... 周波数補償器、72 ... リニア駆動機構、74 ... ロッド、80 ... 補償板、84 ... ガイド部材、86 ... モータ、96 ... 突起部、98 ... 窪み部、98a ... 直線部、98b ... 曲線部。

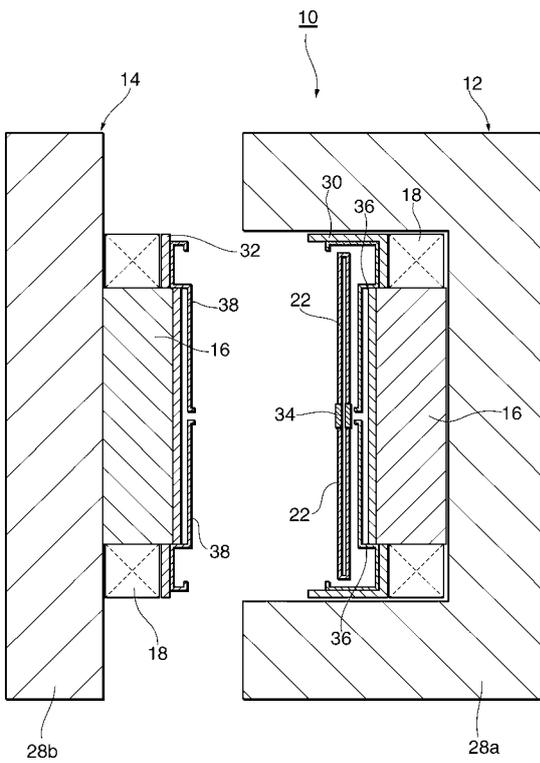
【 図 1 】



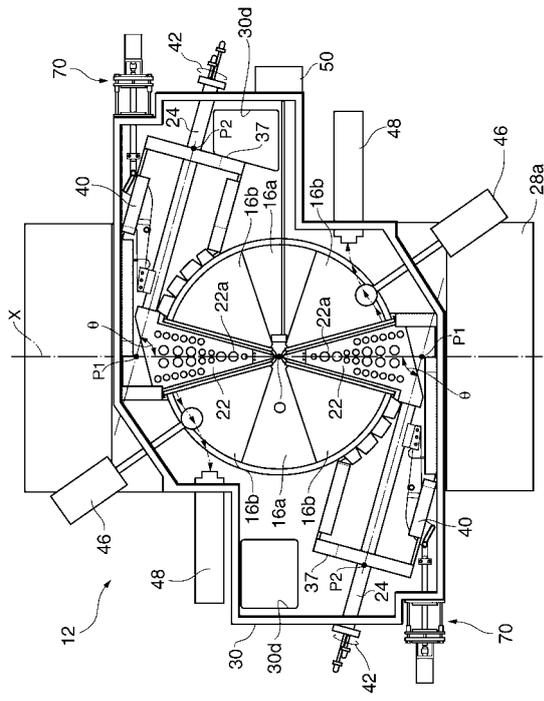
【 図 2 】



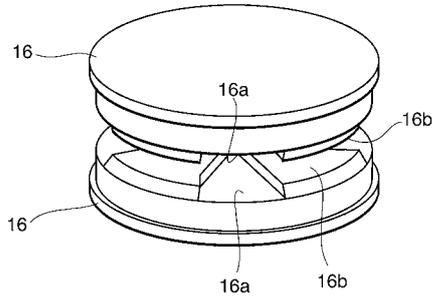
【 図 3 】



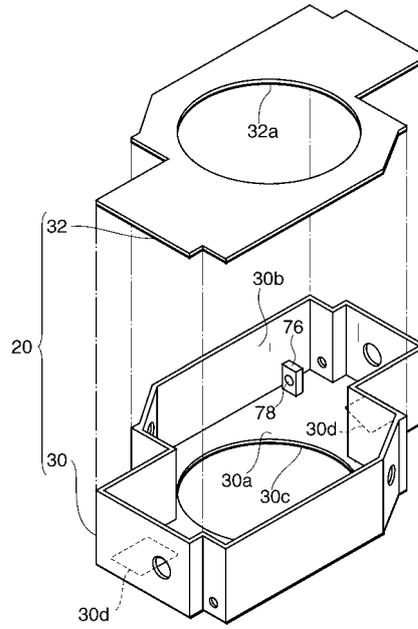
【 図 4 】



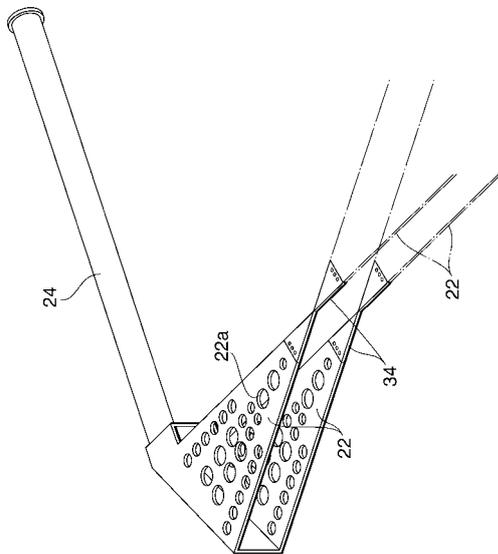
【図5】



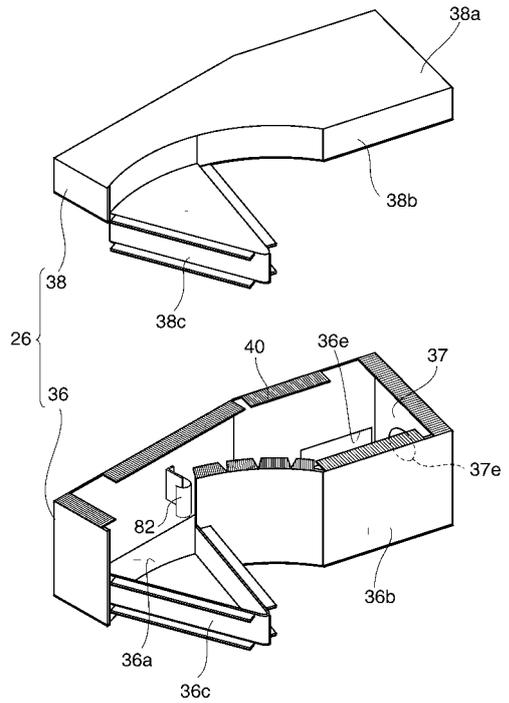
【図6】



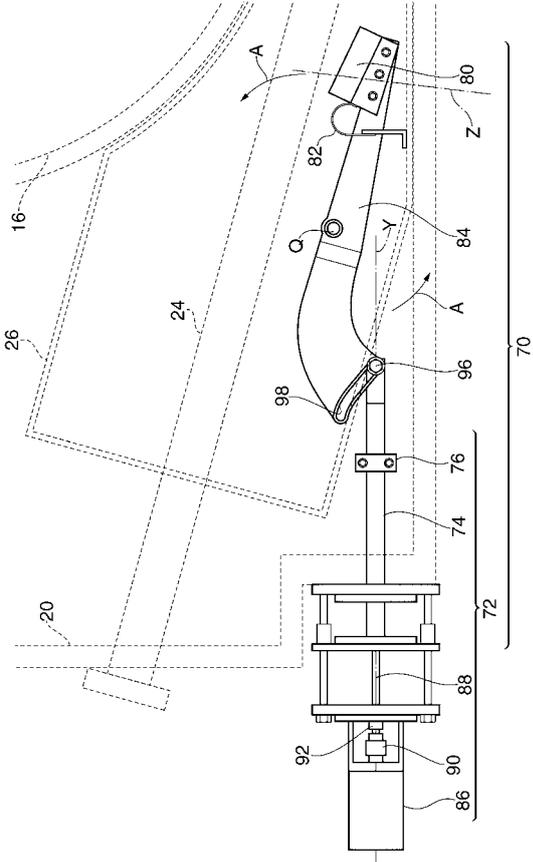
【図7】



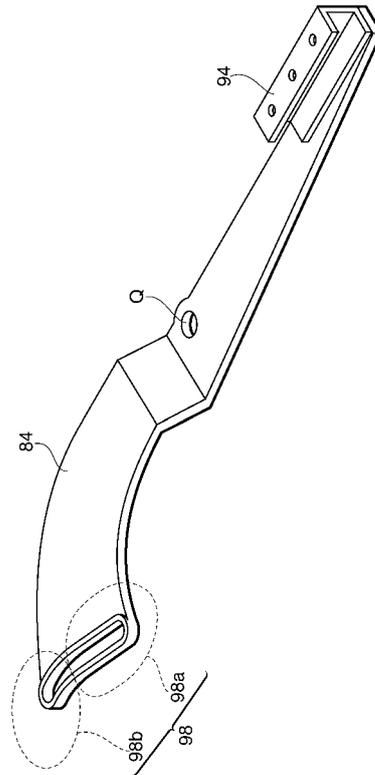
【図8】



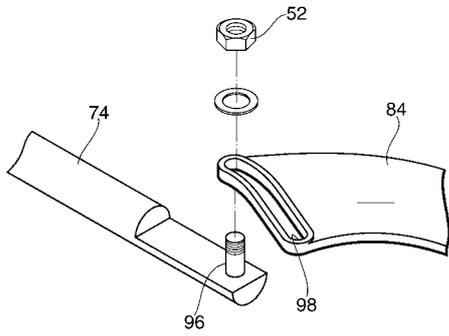
【 図 9 】



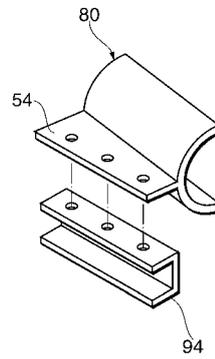
【 図 10 】



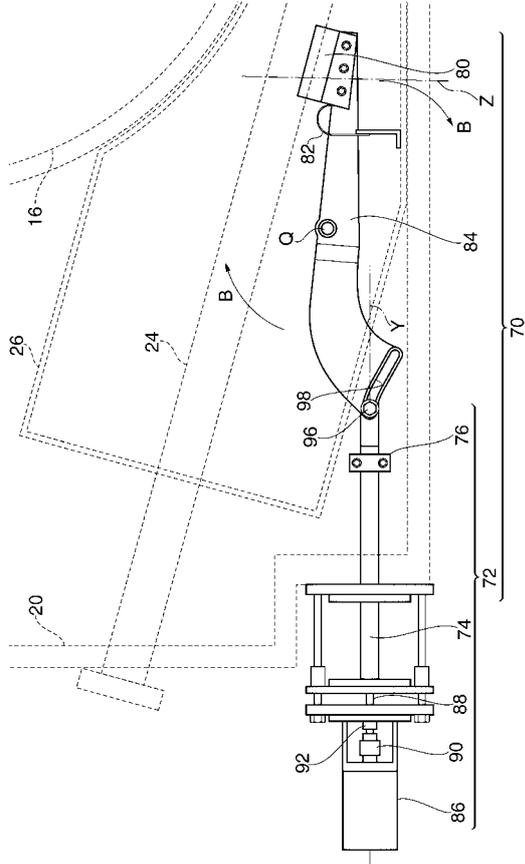
【 図 11 】



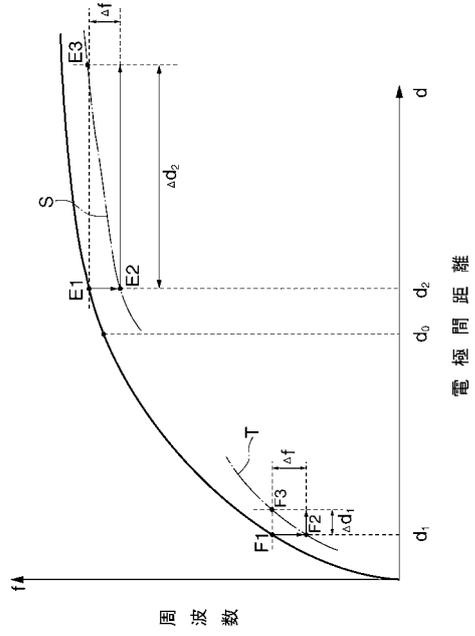
【 図 12 】



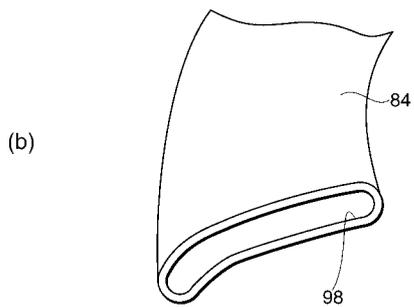
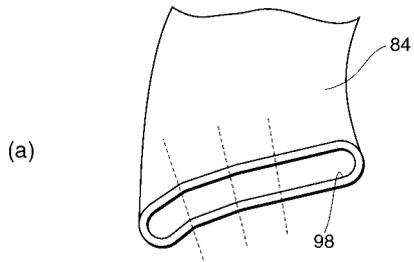
【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-228299(JP,A)
特開昭62-229797(JP,A)
実開昭62-098145(JP,U)
実開昭59-125051(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H05H 7/18
H05H 7/02
H05H 13/00