

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-126900

(P2001-126900A)

(43)公開日 平成13年5月11日(2001.5.11)

(51)Int.Cl.⁷

H05H 7/18

識別記号

F I

H05H 7/18

テームコード*(参考)

2G085

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平11-303669

(22)出願日

平成11年10月26日(1999.10.26)

(71)出願人 391012707

高エネルギー加速器研究機構長
茨城県つくば市大穂1番地1

(72)発明者 大森 千広

東京都田無市緑町3-2-1 高エネルギー
加速器研究機構田無分室内

(72)発明者 森 義治

東京都田無市緑町3-2-1 高エネルギー
加速器研究機構田無分室内

(74)代理人 100059258

弁理士 杉村 暁秀 (外2名)

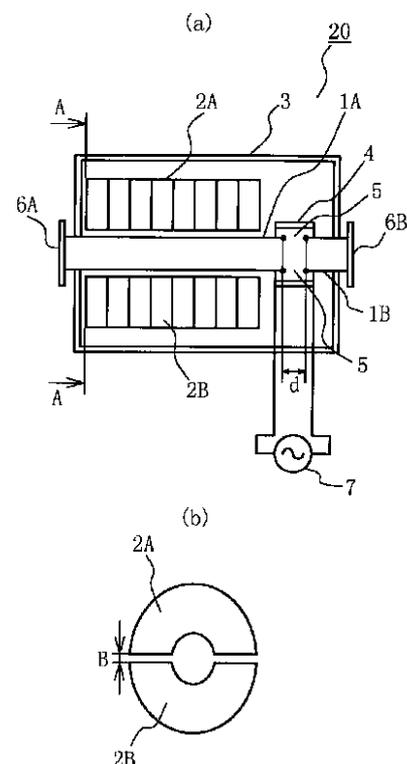
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高周波加速空洞及び高周波加速空洞の制御方法

(57)【要約】

【課題】 Q値を任意に調節することができ、これによってビームローディングを低減させ、均一にイオンビームを加速することが可能な高周波加速空洞、及び高周波加速空洞の制御方法を提供する。

【解決手段】 本発明の高周波加速空洞は、真空ダクト1A及び1Bと、真空ダクト1Aの外周部においてこの真空ダクトを同心円状に囲んでなる2つに分割された磁性体コア2A及び2Bと、真空ダクト1A及び1B、並びに磁性体コア2A及び2Bを収納するための外側カバー3とを具える。真空ダクト1A及び1Bは、所定のギャップ5を有するとともに、互いの長手方向における中心軸が一致するようにセラミックス材料からなるリング4で接続されている。そして、磁性体コア2A及び2Bの間隔Wを調節する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数の真空ダクトと、この複数の真空ダクトの少なくとも1つの外周部において前記真空ダクトを同心円状に囲む磁性体コアと、前記複数の真空ダクトと前記磁性体コアとを収納するための外側カバーとを具え、

前記複数の真空ダクトは、所定のギャップを有するとともに、互いの長手方向における中心軸が一致するようにセラミックス材料からなるリングで接続されてなり、前記複数の真空ダクト内を通過するイオンビームを前記ギャップに発生させる高周波電場で共振加速するようにした高周波加速空洞であって、

前記磁性体コアは、その中心軸を含む平面によって複数に分割されてなることを特徴とする、高周波加速空洞。

【請求項2】 前記磁性体コアは、その中心軸を含む平面によって2つに分割されてなることを特徴とする、請求項1に記載の高周波加速空洞。

【請求項3】 前記磁性体コアは、前記リングに対し左右対称の位置において前記複数の真空ダクトの外周部を同心円状に囲んでなる複数の磁性体コアからなり、前記複数の磁性体コアは、それらの中心軸を含む平面によってそれぞれ複数に分割されてなることを特徴とする、請求項1に記載の高周波加速空洞。

【請求項4】 前記複数の磁性体コアは、それらの中心軸を含む平面によってそれぞれ2つに分割されていることを特徴とする、請求項3に記載の高周波加速空洞。

【請求項5】 前記平面によって分割された、前記磁性体コアの分割面の間隔を調整するための制御部を具えることを特徴とする、請求項1～4のいずれか一に記載の高周波加速空洞。

【請求項6】 前記制御部は、イオンビームの周回周波数から算出される高周波加速空洞に対する共振幅の比と前記イオンビーム強度のモニター情報から最適な前記磁性体コアの分割面の間隔を算出する演算部と、前記磁性体コアを駆動させて前記分割面の幅を調整する駆動部とを具えることを特徴とする、請求項5に記載の高周波加速空洞。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか一に記載の高周波加速空洞を具えることを特徴とする、円形加速器。

【請求項8】 複数の真空ダクトと、この複数の真空ダクトの少なくとも1つの外周部において前記真空ダクトを同心円状に囲む磁性体コアと、前記複数の真空ダクトと前記磁性体コアとを収納するための外側カバーとを具え、

前記複数の真空ダクトは、所定のギャップを有するとともに、互いの長手方向における中心軸が一致するようにセラミックス材料からなるリングで接続されてなり、前記複数の真空ダクト内を通過するイオンビームを前記ギャップに発生させる高周波電場で共振加速するようにした高周波加速空洞の制御方法であって、

前記磁性体コアはその中心軸を含む平面によって複数に分割されてなり、前記平面によって分割された前記磁性体コアの分割面の間隔を調節することにより、前記イオンビームの加速状態を調整するようにしたことを特徴とする、高周波加速空洞の制御方法。

【請求項9】 前記リングによって接続されることにより、前記リングの左右に位置する前記真空ダクトに対し、それぞれ逆位相の高周波電圧を印加するようにしたことを特徴とする、請求項8に記載の高周波加速空洞の制御方法。

【請求項10】 前記高周波加速空洞は前記磁性体コアの分割面の間隔を調整するための制御部を具え、前記イオンビームの加速中において前記分割面の間隔を変化させることにより、前記イオンビームの加速状態を調整するようにしたことを特徴とする、請求項8又は9に記載の高周波加速空洞の制御方法。

【請求項11】 前記制御部は、イオンビームの周回周波数から算出される高周波加速空洞に対する共振幅の比と前記イオンビーム強度のモニター情報から最適な前記磁性体コアの分割面の間隔を算出する演算部と、前記磁性体コアを駆動させて前記分割面の幅を調整する駆動部とを具えることを特徴とする、請求項10に記載の高周波加速空洞の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、高周波加速空洞及び高周波加速空洞の制御方法に関し、さらに詳しくは、大強度、高エネルギーイオン加速器などにおいて好適に使用することのできる、高周波加速空洞及び高周波加速空洞の制御方法に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、大強度・高エネルギーイオン加速器においては、イオンを数GeV～数千GeV程度の高エネルギー領域に加速することが要求されている。一方、円形加速器は、周回するイオンビームを安定に加速することができることから、前記のような大強度・高エネルギーイオン加速器として好適に用いられている。

【0003】円形加速器において、イオンビームの加速は主として前記加速器を構成する高周波加速空洞によってなされる。この高周波加速空洞は、所定のギャップを有する真空ダクトを有しており、このギャップに前記真空ダクト内を通過するイオンビームの周回周期に同期した高周波電力を印加することによって、前記イオンビームに高周波電圧を印加し、イオンビームを加速する。また、上記イオンビームの加速においては、前記高周波加速空洞が本質的な高周波共振器であることから、入力された高周波電力に同期して、空洞内で、磁場のエネルギーと電場のエネルギーとが交互に変換され、電場のエネルギーをイオンビームに与えることによって、イオンビームが加速される。

【0004】相対論の効果が弱いエネルギー範囲（10 GeVまで）では、イオンビームに外部から力が加わることによって前記イオンビームの速度が増加するため、円形加速器内を周回する時間が変化する。したがって、上記のようにしてイオンビーム周回の周期に同期させた高周波電圧を、前記ギャップに与えて前記イオンビームを加速するものである。

【0005】また、上記のようなイオンビーム用高周波加速空洞では、空洞内に装着された磁性体コアにバイアス電流を加え、コア内の磁束密度を変化させることによって、高周波加速空洞のインダクタンスを調整し、空洞内の共振周波数を制御することができるようになっていく。したがって、入力高周波が変動した場合においても、前記共振周波数を制御することによって、イオンビームの周回周期に同期させて前記イオンビームを加速できるようになっている。このような高周波加速空洞は、一般に同調型高周波加速空洞と呼ばれている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】同調型高周波加速空洞の磁性体コアには、主にフェライトが用いられている。磁性体コアをフェライトから構成すると、磁性体コア内の磁束密度が小さい（10 Gauss以下）場合において、前記磁性体コアは使用に耐えうるべく十分大きなシヤントインピーダンス（損失抵抗） $R = V^2 / 2P$ （ V ：ピークギャップ電圧、 P ：高周波電源が高周波加速空洞に与える電力）を持っている。しかしながら、磁束密度が大きく（100 Gaussを超える）となると、前記磁性体コアのシヤントインピーダンスは小さくなってしまふ。このため、上記のような磁性体コアにおいては事実上の磁束密度限界があり、加速電圧にも限界が存在していた。

【0007】かかる観点から、イオンビームに同調可能な広い帯域幅の高周波特性をもつ磁性体コアを具え、バイアス電流を与える機構を取り去った無同調型加速空洞が開発され、実用化されている。図1は、このような無同調型高周波加速空洞の一例を示す図である。図1

(a)は、無同調型高周波加速空洞を、その長手方向に沿って切った場合の断面を示す図であり、図1(b)は、図1(a)に示す無同調型高周波加速空洞を、A-A線に沿って切ることにより、磁性体コアの断面形状を示したものである。

【0008】図1に示す無同調型高周波加速空洞10は、真空ダクト1A及び1Bと、真空ダクト1Aの外周部において真空ダクト1Aを同心円状に囲む磁性体コア2と、真空ダクト1A及び1B、並びに磁性体コア2を収納するための外側カバー3とを具えている。そして、真空ダクト1A及び1Bは、セラミックス材料からなるリング4によって、ギャップ5を有するように接続されている。また、真空ダクト1A及び1Bの一端には、フランジ6A及び6Bが固定されており、他の真空ダクト

と連結できるように構成されている。

【0009】また、真空ダクト1A及び1B、外側カバー3、並びにリング4とで、4共振器を構成している。ギャップ5には、高周波電源7から高周波電力（高周波電圧）が印加されるようになっており、これによって、真空ダクト1A及び1Bを通過するイオンビームを加速する。また、磁性体コア2は、図1(b)に示すように連続体をなしており、その内部に真空ダクトを巻くように磁場が誘起されるようになっている。そして、入力高周波の周波数が変動しても、それに対応した高周波電圧を真空ダクトのギャップ部分に作るように構成されており、常にイオンビームを均一に加速できるようになっている。

【0010】近年においては、磁性体コア2として、MAコア（Magnetic Alloyコア）を用いる研究が進んでいる。そして、100 Gaussを超えるコア内の大きな磁束密度に対してもシヤントインピーダンスが劣化せず、ほぼ均一の特性的を持つMAコアを用いることによって、大きな加速電圧を持つ無同調型高周波加速空洞が実現されている。

【0011】このような無同調型高周波加速空洞は、本質的に小さいQ値（共振周波数に対する、共振幅の比）を有している。しかしながら、Q値が小さいとイオンビームが高周波加速空洞に及ぼす影響（ビームローディング）を示す指標 R/Q 値がおおきくなってしまふ。このビームローディングが大きくなると、イオンビームの不安定性が誘起されるなど、円形加速器にとって好ましくない影響が出現するようになる。このためQ値は帯域幅が許す限り大きい方が好ましいことになる。さらに、 R/Q 値を下げることにより、より高い周波数での動作も可能となり、高周波加速空洞の周波数領域を拡大することも可能となる。

【0012】しかしながら、図1に示すような従来の無同調型高周波加速空洞においては、選択された磁性体コアの特性などによってQ値が決定されてしまふため、加速器全体の仕様から要求される最適なQ値を実現させることは極めて困難であった。

【0013】本発明は、Q値を任意に調節することができ、これによってビームローディングを低減させ、均一にイオンビームを加速することが可能な高周波加速空洞、及び高周波加速空洞の制御方法を提供することを目的とする。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明の高周波加速空洞は、上記目的を達成すべく、複数の真空ダクトと、この複数の真空ダクトの少なくとも1つの外周部において前記真空ダクトを同心円状に囲む磁性体コアと、前記複数の真空ダクトと前記磁性体コアとを収納するための外側カバーとを具える。前記複数の真空ダクトは、所定のギャップを有するとともに、互いの長手方向における中心

軸が一致するようにセラミックス材料からなるリングで接続されている。また、前記複数の真空ダクト内を通過するイオンビームは前記ギャップに発生させる高周波電場で共振加速するように構成されている。そして、前記磁性体コアが複数に分割されてなることを特徴とする。

【0015】また、本発明の高周波加速空洞の制御方法は、上記のような本発明の高周波加速空洞において、前記磁性体コアの分割面の間隔を調節することにより、前記イオンビームの加速状態を調整するようにしたことを特徴とする。

【0016】本発明者らは、上記目的を達成すべく鋭意検討を試みた。その結果、驚くべきことに、磁性体コアをその中心軸を含む平面によって、すなわち、前記磁性体コアの長手方向において複数に分割することによって、上記したQ値が変化することを見出した。そして、分割面の間隔を調節することにより、磁性体コアの材料によらず、Q値を任意の値に設定できることを見出した。したがって、所望するQ値を得ることによってビームローディングを十分に小さくすることができ、イオンビームを安定に加速することができるとともに、より高い周波数でイオンビームを加速することができる。また、磁性体コアの材料選択の幅が広がり、従来よりも高い磁束密度を得ることができる。このため、イオンビームの加速電圧をさらに向上させることもできる。

【0017】このように、磁性体コアを複数に分割することによってQ値が変化し、前記磁性体コアの分割面の間隔を調節することによって、Q値を任意の値に設定することができる理由については、以下のように推察することができる。高周波加速空洞に供給される電力はそのほとんどが前記高周波加速空洞内の磁性素材で消費される。つまり、高周波加速空洞の消費エネルギーは磁性体コアの体積によって決定される。一方、磁性体コアをその中心軸を含む平面に沿って分割すると、かかる部分において磁路が分断され、透磁率の連続性が失われることから磁気抵抗が増し、蓄積エネルギーが増加する。すなわち、上記のようにして磁性体コアを分離しても、磁性体コアの体積は一定のままであるので、消費エネルギーはほぼ一定値を採る。これに対し、蓄積エネルギーは前記分断面間の距離を適宜に調節することにより、任意の値に変化させることができる。高周波加速空洞のQ値は、その定義から単位時間当たりの蓄積エネルギーと消費エネルギーとの比で与えられる。したがって、磁性体コアの分離による上記エネルギー変化によって、Q値を任意の値に変化させることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に基づいて詳細に説明する。図2は、本発明の高周波加速空洞の一例を示す図である。図2(a)は、高周波加速空洞の長手方向における断面を示した図であり、図2(b)は、図2(a)に示す図をA-A線に沿って切断

し、磁性体コアの断面形状を示したものである。図2に示す本発明の高周波加速空洞20は、図1に示す従来の高周波加速空洞10と基本的に同様の構成を有している。したがって、同様の部分については同じ符号を用いて表している。

【0019】図2に示す本発明の高周波加速空洞20は、中心軸を含む平面に沿って2つに分割された磁性体コア2A及び2Bを具えている。すなわち、図2に示す高周波加速空洞20は、2つに分割された磁性体コアを1組として1体の磁性体コアを構成している。高周波加速空洞を構成する磁性体コアは、図2のように必ずしも2分割されている必要はなく、複数の分割されていればその数については限定されない。しかしながら、図2に示すように磁性体コアを2分割し、その分割面の間隔を調節することにより、所望するQ値を簡易に得ることができる。また、磁性体コアを3以上に分割すると、磁性体の保持手段が複雑になるとともに、分割面の間隔を調節するための操作も複雑になる傾向がある。したがって、磁性体コアは、図2に示すように2分割されていることが好ましい。

【0020】図2に示す高周波加速空洞の場合、磁性体コアの分割面の間隔、すなわち、磁性体コア2A及び2Bとの間隔Wは、0～数十cmの範囲にあることが好ましい。これによって、Q値を例えば1～数十の範囲で変化させることが可能となり、どのような材料から磁性体コアを構成した場合などにおいても、ビームローディングを極めて小さくすることができる。なお、磁性体コア2A及び2Bの間隔Wが0であるとは、磁性体コア2A及び2Bの分割面を接触させた状態をいう。

【0021】図3は、本発明の高周波加速空洞の他の例を示す図である。図1及び2と同様に、図3(a)は長手方向の断面図であり、図3(b)は、図3(a)をA-A線に沿って切断し、磁性体コアの断面形状を示すものである。図3においても、図1及び2と同様の部分については、同じ符号を用いて表している。図3に示す本発明の高周波加速空洞30は、真空ダクト1A及び1Bとを接続するセラミックス材料からなるリング4の左右対称位置において、それぞれ真空ダクト1A及び1Bの外周部を同心円状に囲んだ磁性体コア2A、2B、並びに12A、12Bを具えている。そして、磁性体コア2A及び2B、並びに12A及び12Bは、それぞれ互いに対をなして、各真空ダクトに対する磁性体コアを構成している。磁性体コア2A、2B、及び磁性体コア12A及び12Bは、それぞれ1体の磁性体コアがその中心軸を含む平面によって、すなわちその長手方向において、2つに分割されてなるものである。

【0022】図3に示すような構成の高周波加速空洞30においては、真空ダクト1A及び1Bに、高周波電源7からプッシュプル方式でそれぞれ逆位相の高周波電圧を印加することにより、上述した図1及び2に示す高周

波加速空洞の場合と比較して、ギャップ5において2倍の電圧を生じさせることができる。このため、上述した本発明の効果に加えて、イオンビームの加速をより効果的に行うことができるという追加の効果を得ることができる。

【0023】なお、図3に示す高周波加速空洞においても、真空ダクト1A及び1Bの外周部を囲む磁性体コアは、それぞれ複数に分割されていればその数については限定されるものではない。しかしながら、図2に示す高周波加速空洞と同様の理由から、図3に示すように各真空ダクトを囲む磁性体コアを、2つに分割することが好ましい。

【0024】図4は、図3に示す高周波加速空洞の変形例を示す図である。図4(a)は、高周波加速空洞の長手方向の断面を示し、図4(b)は、図4(a)に示す断面をA-A線に沿って切断することにより、磁性体コアの断面形状を示したものである。なお、図1~3と同様の部分については、同様の符号を用いて表している。図4に示す高周波加速空洞40においては、図3に示す磁性体コア2B及び12Bの下側部分に駆動装置13A及び13Bが設けられている。また、イオンビームの加速状態、特に上記Q値などのモニター情報を電気信号に変換するインターフェイス15を具えている。さらに、上記電気信号を演算処理するためのビームモニタ盤19、及びビームモニタ盤19における演算結果に基づいて駆動装置13A及び13Bに対する制御信号を発信するための制御装置17を具えている。制御装置17及びビームモニタ盤19は、図4に示す高周波加速空洞40の制御部を構成している。

【0025】図4に示す高周波加速空洞40は、イオンビームの加速状態、特にイオンビームの周回周波数から算出される空洞の共振周波数に対する共振幅の比であるQ値と、イオンビーム強度とを図示しないプローブで常にモニタリングし、かかるモニタ情報をインターフェイス15において電気信号に変換した後、ビームモニタ盤19へ伝送している。すると、ビームモニタ盤19において前記電気信号に基づいた演算処理がなされ、イオンビームを最適な状態で加速するための電気信号が発信される。

【0026】この電気信号は制御装置17に伝送され、この制御信号17から前記電気信号に対応した制御信号を発信して、駆動装置13A及び13Bを駆動する。そして、磁性体コア2A及び2Bの間隔、並びに磁性体コア12A及び12Bの間隔をイオンビームの加速中においてリアルタイムで調節できるように構成されている。したがって、高周波加速空洞のQ値をリアルタイムで制御することが可能となるため、イオンビームの加速状態を常に良好な状態に維持することが可能となる。

【0027】図5は、本発明の高周波加速空洞を含んで構成した円形加速器の概略図である。図5に示す円形加

速器50は、イオンビームを加速するための本発明にしたがった高周波加速空洞51と、イオンビームの行路が円形となるように前記イオンビームを偏光させるための偏向電磁石52と、ビーム制御のための収束・発散電磁石54とを具える。そして、これらの間は真空ダクト53で接続されてなるとともに、真空ダクト53内は常に真空ポンプ55で排気され、高真空に維持されている。

【0028】図5に示す円形加速器50は、本発明の高周波加速空洞を具えている。したがって、高周波加速空洞を構成する磁性体コアの材料の種類などによらず、磁性体コアを分割し、その間隔を変化させるのみで、加速器全体の仕様から要求される最適なQ値を実現させることができる。このため、常に安定したイオンビームの加速が可能となる。

【0029】

【実施例】本実施例においては、図2に示すような高周波加速空洞20を用いて、電子ビームを使ったビームローディング試験を行った。磁性体コア2A及び2Bには、マグネチックアロイ又は磁性合金を用い、これらの間隔Wをパラメータとして変化させた。リング4はステンレス鋼から構成し、ギャップ5の幅dを20mmとした。そして、間隔Wを変化させ、すなわちQ値をパラメータとして、真空ダクト1A及び1B内を通過する電子ビームが、このギャップ5に誘起する電圧を観測した。その結果、間隔Wを変えることによってビームローディングを示す指標R/Qが制御でき、ビームローディングの影響を受けないシステムを実現することが可能であった。

【0030】以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変形や変更が可能である。

【0031】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の高周波加速空洞及び高周波加速空洞の制御方法によれば、高周波加速空洞を構成する磁性体コアの材料の種類などによらず、任意のQ値を得ることができる。したがって、加速器全体の仕様から要求される最適なQ値を実現させることができ、長時間に渡って安定したイオンビームの加速が可能となる。また、高周波加速空洞の使用帯域幅が増大するため、より高い周波数でイオンビームを加速することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来の高周波加速空洞の一例を示す図である。

【図2】 本発明の高周波加速空洞の一例を示す図である。

【図3】 本発明の高周波加速空洞の他の例を示す図である。

【図4】 図3に示す高周波加速空洞の変形例を示す図である。

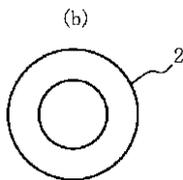
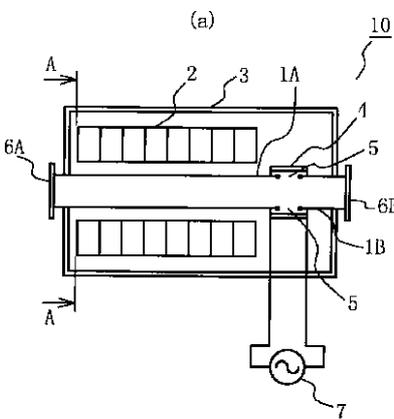
【図5】 本発明の円形加速器の概略を示す図である。

【符号の説明】

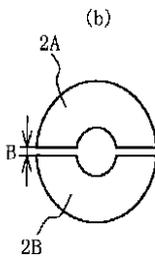
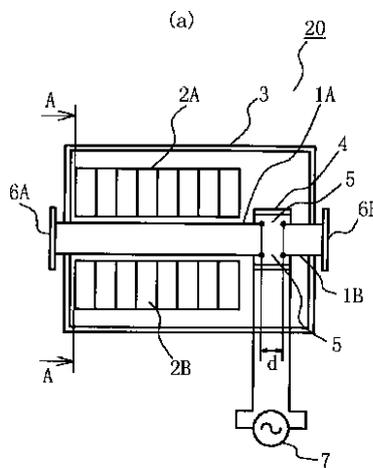
- 1 A、1 B、5 3 真空ダクト
- 2、2 A、2 B、1 2 A、1 2 B 磁性体コア
- 3 外側カバー
- 4 リング
- 5 ギャップ
- 6 A、6 B フランジ

- * 7 高周波電源
- 1 3 A、1 3 B 駆動装置
- 1 5 インターフェイス
- 1 7 制御装置
- 1 9 ビームモニタ盤
- 1 0、2 0、3 0、4 0、5 1 高周波加速空洞
- 5 0 円形加速器
- 5 2 偏向電磁石
- 5 4 収束・発散電磁石
- * 1 0 5 5 真空ポンプ

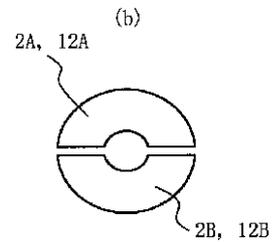
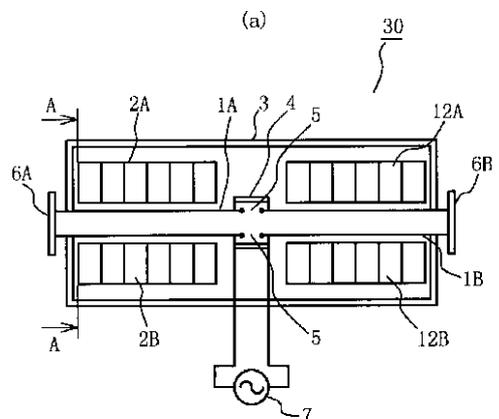
【図1】



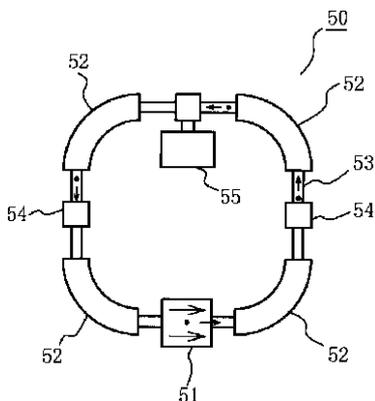
【図2】



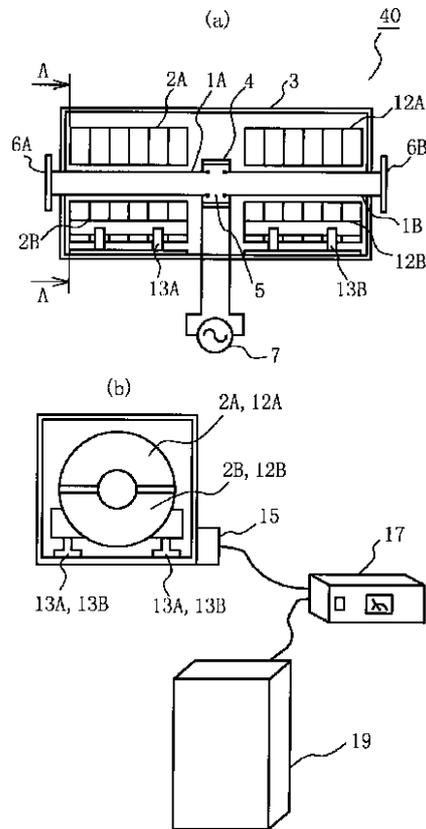
【図3】



【図5】



【図4】



フロントページの続き

(72)発明者 吉井 正人
茨城県つくば市大穂1番地1 高エネルギー
加速器研究機構加速器研究施設内

Fターム(参考) 2G085 BA05 BA08 BA09 BB01 BC11
BE03 BE05 BE06 BE10 CA06
CA12 DA08