

WO 2020/184524 A1

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一 国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：加速電極と、加速電極に設けられたマグネティックチャンネルと、マグネティックチャンネルを支持する支持部材と、マグネティックチャンネルを冷却する冷却部と、を備え、冷却部は、支持部材に設けられており、当該支持部材を介してマグネティックチャンネルを冷却する、加速器。

明 細 書

発明の名称： 加速器、及びサイクロトロン

技術分野

[0001] 本開示は、加速器、及びサイクロトロンに関するものである。

背景技術

[0002] 従来、このような分野の技術として、下記特許文献1に記載の加速器が知られている。この加速器では、イオン源から送られてきた荷電粒子は、一対の磁極間において、キャビティーによって形成される電場で加速される。加速器では、荷電粒子は十分に加速された後、マグネティックチャンネル及び静電デフレクタを通過することで引き出される。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2014-160613号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ここで、ディ電極はキャビティー内のマイクロ波のエネルギーロスの影響によって発熱する。マグネティックチャンネルは、ディ電極に設けられる部材である。従って、ディ電極で発生した熱がマグネティックチャンネルに伝達される場合がある。また、マグネティックチャンネルには、ビームの衝突による入熱の影響もある。この場合、ディ電極及びマグネティックチャンネルの熱膨張によってマグネティックチャンネルの位置精度に影響が及ぼされることがあった。従って、マグネティックチャンネルを冷却することが求められていたが、上述の加速器では、マグネティックチャンネルを適切に冷却することができないという問題があった。

[0005] 上記の問題に鑑み、本開示は、マグネティックチャンネルを適切に冷却することができる加速器、及びサイクロトロン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

- [0006] 本開示の一形態に係る加速器は、加速電極と、加速電極に設けられたマグネティックチャンネルと、マグネティックチャンネルを支持する支持部材と、マグネティックチャンネルを冷却する冷却部と、を備え、冷却部は、支持部材に設けられており、当該支持部材を介してマグネティックチャンネルを冷却する。
- [0007] この加速器では、マグネティックチャンネルは、支持部材によって支持された状態で加速電極に設けられている。マグネティックチャンネルを冷却する冷却部は、支持部材に設けられている。すなわち、冷却部は、支持部材を介してマグネティックチャンネルを冷却することができる。このように、冷却部が、マグネティックチャンネルに直接設けられることに代えて、支持部材に設けられることで、構造上や機能上の制約を低減した状態で、マグネティックチャンネルを冷却することができる。以上より、マグネティックチャンネルを適切に冷却することができる。
- [0008] 支持部材は、加速電極に対して取り付け可能であり、支持部材と加速電極との間に隙間が形成され、支持部材は加速電極に対して位置調整可能であってよい。この場合、支持部材を介してマグネティックチャンネルの位置調整が可能となる。
- [0009] 加速電極には、加速電極用冷却部が設けられ、冷却部は、冷却媒体を流通させる配管を有し、冷却部の配管は、加速電極用冷却部から冷却媒体を分岐させるように設けられてよい。これにより、冷却部は、加速電極用冷却部で用いられている冷却媒体を流用することができる。従って、冷却部が大型化することを抑制できる。
- [0010] 支持部材は、加速電極に対して取り付け可能であり、且つ、当該加速電極に対する位置調整を許容する位置調整部を有する。これにより、熱膨張の影響などによって加速電極に対するマグネティックチャンネルの位置がずれた場合であっても、位置調整部によって支持部材の位置調整を行うことで、マグネティックチャンネルの位置合わせをすることができる。
- [0011] 冷却部は、支持部材から引き出され、冷却媒体を流通させる配管を有し、

配管は、支持部材と共に加速電極から取り外し可能であってよい。この場合、支持部材を加速電極から取り外して位置調整を行うとき、冷却部の配管も同時に加速電極から取り外すことができる。従って、支持部材の位置調整に伴って、冷却部の配管の位置も支持部材に追従させることができる。

[0012] 本開示の一形態に係るサイクロトロンは、ディ電極と、ディ電極に設けられたマグネティックチャンネルと、マグネティックチャンネルを冷却する冷却部と、を備え、冷却部は、平面視において、ディ電極よりも内側の領域に配置されている。

[0013] このサイクロトロンにおいて、マグネティックチャンネルは、マグネティックチャンネルを冷却する冷却部を備える。従って、マグネティックチャンネルは、冷却部によって冷却可能となる。ここで、冷却部は、平面視において、ディ電極よりも内側の領域に配置されている。以上より、マグネティックチャンネルを適切に冷却することができる。

発明の効果

[0014] 本開示によれば、マグネティックチャンネルを適切に冷却することができる加速器を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本開示に係るサイクロトロンの内部の平面図である。

[図2]図1のサイクロトロンが備える一対の磁極の模式図である。

[図3]ディ電極周辺の構造を模式的に示した断面図である。

[図4]ディ電極の外周側の端部を示す平面図である。

[図5]図4に示すV-V線に沿った断面図である。

[図6]位置調整部である固定孔の形状を示す平面拡大図である。

[図7]ステムと継手部との間の流路構造を示す概略断面図である。

[図8] (a) は、ディ電極から取り外したマグネティックチャンネル用冷却部の様子を示し、(b) は、ディ電極の溝部に収容された配管の様子を示す拡大断面図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、図面を参照しつつ本開示に係る加速器の実施形態について詳細に説明する。本実施形態では、加速器としてサイクロトロン1を例示する。なお、図1に示される本実施形態のサイクロトロン1では、荷電粒子の螺旋状の周回軌道Bが水平面上にあるものとする。

[0017] 図1に示されるように、サイクロトロン1は、真空容器3、ディ電極5A、5B（加速電極）、及びマグネティックチャンネル9を有する。真空容器3は、荷電粒子の加速空間を高真空状態に保持するための容器である。真空容器3内には、粒子加速に必要な磁場を形成するための一対の磁極21及び磁極23（図2参照）が設けられている。磁極21、23は、平面視で円形をなし、加速平面であるメディアンプレーンに対して上下面对称の形状を成している。また、磁極21、23は、荷電粒子の周回軌道Bを挟んで、上下方向（図1の紙面に直交する方向）に対面して配置されている。磁極21、23のそれぞれの周囲にコイルが配置され、磁極21と磁極23との間に磁場が発生される。

[0018] 図2は、磁極21、23のみを模式的に示す斜視図である。図に示されるように、磁極21、23は円柱状をなしている。以下で用いる「径方向」及び「周方向」との文言は、図1の方向から見た磁極21、23の輪郭形状である円の径方向及び周方向を意味するものとする。磁極21の上面には、螺旋状に湾曲した4つの凸部21aと、4つの凹部21bとが、周方向に交互に配列され形成されている。そして、磁極23の下面にも、螺旋状に湾曲した4つの凸部23aと、4つの凹部23bとが、周方向に交互に配列され形成されている。凸部21aと凸部23a、凹部21bと凹部23bは、互いにメディアンプレーンに対して面对称をなすようにギャップをあけて配置されている。なお、ここで磁極21、23の凸部21a、23aとは、メディアンプレーンに向けて突出している部分であり、凹部21b、23bとは、メディアンプレーンから離れるように凹んでいる部分である。また、メディアンプレーンとは、荷電粒子ビームが加速して進行する周回軌道Bが位置する平面である。厳密には、荷電粒子ビームは、磁極21、23が対向する方

向（図3における上下方向）に振動しながら進行する。従って、振動する荷電粒子ビームの、磁極21、23が対向する方向の位置のおよそ中央値を取った平面がメディアンプレーンとなる。なお、凸部21a、23a及び凹部21b、23bの形状は、上記のような螺旋状に湾曲した形状に限られず、扇形であってもよい。

[0019] 磁極21と磁極23との間には、凸部21aと凸部23aとで挟まれた狭いギャップのヒル領域25hと、凹部21bと凹部23bとで挟まれた広いギャップのバレー領域25vとが形成されている。磁極21、23との対称面上に、荷電粒子の螺旋状の周回軌道Bが形成される。

[0020] 図3に示すディ電極5A、5Bは、真空容器3の内部で荷電粒子を加速するための電場を発生させるキャビティー部6の一部である。ディ電極5A、5Bは、両方ともバレー領域25vに配置され、互いに径方向に対向するように配置されている。ディ電極5A、5Bは、平面視でバレー領域25vの形状に沿った形状に形成されている。磁極21の中心部には、インフレクタ11が配置される。インフレクタ11は、サイクロトロン1の外部又は内部に設けられたイオン源（図示せず）から送られてきた荷電粒子を偏向して、メディアンプレーン上に送る。ただし、内部イオン源の場合、メディアンプレーン上に荷電粒子が出るため、インフレクタ11は設けられない。

[0021] 図1に示す静電デフレクタ90は、磁場中で周回軌道Bを周回する荷電粒子を偏向させて、引出軌道に引き出す機能を有する。マグネティックチャンネル9は、静電デフレクタ90で引き出された荷電粒子を更に外に曲げる機能と、荷電粒子を水平方向に収束する機能を有している。マグネティックチャンネル9として、マグネティックチャンネル9A、及びマグネティックチャンネル9Bが設けられている。

[0022] マグネティックチャンネル9Aは、ディ電極5Aの内部に設けられる。マグネティックチャンネル9Aは、ディ電極5Aの外周側の端部に設けられており、周回軌道Bの最外周部に対応する位置に設けられている。マグネティックチャンネル9Aは、静電デフレクタ90で引き出された荷電粒子を更に

外に曲げる機能と、荷電粒子を水平方向に収束する機能の両方を有している。マグネティックチャンネル 9 B は、荷電粒子の周回軌道 B において、マグネティックチャンネル 9 A から下流側へ離間して設けられている。マグネティックチャンネル 9 B は、平面視において磁極 2 1, 2 3 の外側に設けられる。マグネティックチャンネル 9 B は、真空容器 3 の壁部内に配置される。マグネティックチャンネル 9 B は、荷電粒子を水平方向に収束する機能を有する。

[0023] サイクロトロン 1 では、磁極 2 1 と磁極 2 3 との間に磁場を発生させると共に、ディ電極 5 A, 5 B とアース板 1 3 の間で高周波電場が付与される。これにより、荷電粒子が、加速されつつ、メディアンプレーン上の螺旋状の周回軌道 B を進行する。径方向の外周側に達した荷電粒子は、静電デフレクタ 9 0 で周回軌道から分けられる。また、荷電粒子は、マグネティックチャンネル 9 A の導入ギャップを通過することで、偏向と収束を繰り返し、更にマグネティックチャンネル 9 B の導入ギャップを通過することで収束されながら、ビーム引出ダクトを通じて外部に引き出される。

[0024] 図 3 を参照して、ディ電極 5 A 周辺の構成について更に詳細に説明する。図 3 はディ電極 5 A 周辺の構造を模式的に示した断面図である。図 3 に示すように、サイクロトロン 1 には、一对のキャビティー部 6 が周回軌道 B の通路を挟んで上下に設けられている。一对のキャビティー部 6 は、互いにほぼ上下対称で同一又は同等の構造を有している。よって以下では、重複する説明を省略すべく、下方に位置するキャビティー部 6 の構造についてのみ説明する。

[0025] キャビティー部 6 は、高周波が印加されるディ電極 5 A とアース板 1 3、ステム 1 7 とを有している。アース板 1 3 は、ディ電極 5 A と離間し、ディ電極 5 A を内部に収容する有底のカップ状をなしており、ヨーク 4 の凹部に嵌め込まれている。アース板 1 3 は、例えば無酸素銅からなる。アース板 1 3 の底面から上方に向けてステム 1 7 が延びている。ディ電極 5 A はステム 1 7 の上端に固定されている。ディ電極 5 A は、周回軌道 B の通路に平行な

平面内に延びており、アース板 13 の上端よりもやや低い位置に位置している。

[0026] アース板 13 の上端縁部はカウンターディー 19 を構成している。また、アース板 13 の上端縁部とディ電極 5 A との間には間隙が設けられており、この間隙が、ディ電極 5 A とカウンターディー 19 との間の加速ギャップ G を構成している。ディ電極 5 A とカウンターディー 19 との間に、周回軌道 B 上の荷電粒子の回転位相に応じた高周波電場が発生する。これにより、荷電粒子が加速ギャップ G を通過する毎に加速される。

[0027] 次に、図 4 及び図 5 を参照して、マグネティックチャンネル 9 A 周辺の具体的な構成について説明する。図 4 は、ディ電極 5 A の外周側の端部を示す平面図である。図 4 では、上下方向に対向する一対のディ電極 5 A のうち、上側のディ電極 5 A が省略されている。図 5 は、図 4 に示す V-V 線に沿った断面図である。

[0028] 図 4 に示すように、マグネティックチャンネル 9 A は、支持構造 30 を介してディ電極 5 A に設けられている。支持構造 30 は、上下方向に対向する一対の支持板 31（支持部材）を備えており、一対の支持板 31 間にマグネティックチャンネル 9 A を支持している。支持板 31 は、ディ電極 5 A の外周側の端部において、周方向に沿って延びるように延伸している。支持板 31 は、平面視において、ディ電極 5 A の外形の範囲内に収まるように配置されている。すなわち、支持板 31 は、平面視において、ディ電極 5 A からみ出す部分を有していない。図 5 に示すように、一対の支持板 31 は、後述の内周側磁性部材 40 の第 2 の壁部 42 A、42 B をそれぞれ支持し、且つ、外周側磁性部材 50 の高さ方向の両端部を支持する。なお、第 2 の壁部 42 A、42 B は、押さえ板 32 によって、支持板 31 の反対側の面を押さえられている。

[0029] 支持板 31 は、ディ電極 5 A の外周側の端部付近に形成された溝部 33 に收容されるように配置されている。支持板 31 の加速平面と反対側の主面 31 a は、溝部 33 の底面 33 a に支持される。支持板 31 の主面 31 a と溝

部33の底面33aとの間には、断熱スペーサ35が配置される。断熱スペーサ35の材質として、アルミナ96、PEEKなどが採用される。これにより、ディ電極5Aの熱がマグネティックチャンネル9Aへ伝達されることが抑制される。なお、支持板31の加速平面側の主面と、ディ電極5Aの加速平面側の主面は、高さ方向において略同位置となるように配置される。

[0030] 支持板31は、ディ電極5Aに対して取り付け可能である。図5に示すように、支持板31は、ディ電極5Aとの間で隙間を形成するように配置される。互いに対向する支持板31の側面（主面31aと直交する面）と溝部33の側面（底面33aと直交する面）との間には隙間が形成される。これにより、当該隙間の範囲で、支持板31をディ電極5Aに対して位置調整することが可能となっている。また、支持板31は、ディ電極5Aに対する位置調整を許容する位置調整部を有する。具体的には、図4に示すように、支持板31には、各角部にボルトで固定するための固定孔36が形成されている。当該固定孔36にはボルトが挿通され、当該ボルトがディ電極5Aのタップ穴に固定される。支持板31は、ボルトの頭部とディ電極5Aに挟まれることで、ディ電極5Aに固定される。

[0031] ここで、図6（a）に示すように、固定孔36の内径は、ボルト37の軸部の外径に比して大きく設定されている。従って、ボルト37を緩めることで、支持板31は、ディ電極5Aに対して移動が可能となる。このように、固定孔36は、ディ電極5Aに対する支持板31の位置調整を許容する位置調整部に該当する。図6（a）の固定孔36は、全方向への支持板31の位置調整を許容する。固定孔36の内径は特に限定されないが、固定孔36とボルト37とで中心軸を合わせたとき、固定孔36の内周壁とボルト37の外周面との間に、1～2mm程度の隙間が形成される事が好ましい。これにより、熱の影響などによって支持板31とディ電極5Aとの位置がずれた場合でも、支持板31の位置調整を行うことが可能となる。なお、特定の方向に位置ずれが起きやすい場合は、位置調整部は、当該方向における位置調整を許容してもよい。例えば、図6（b）に示すように、固定孔36が、調整方

向へ長手方向を有する長孔の形状を有してよい。なお、調整方向としては、例えば、荷電粒子の回転方向（周方向）、及び径方向などが挙げられる。周方向への調整代を大きく取りたい場合は、固定孔36は、周方向へ長手方向を有するような形状となる。

[0032] マグネティックチャンネル9Aは、内周側磁性部材40と、外周側磁性部材50と、を備える。内周側磁性部材40は、湾曲しながら延伸する部材である。外周側磁性部材50は、内周側磁性部材40よりも湾曲形状における径方向の外周側に配置され、湾曲形状における周方向に沿って湾曲するように延伸する部材である。外周側磁性部材50は、内周側磁性部材40に対して径方向に隙間を空けて配置される。なお、内周側磁性部材40及び外周側磁性部材50は、サイクロトロン1の周方向に沿って湾曲するように、ディ電極5A内に配置される（図4参照）。ただし、マグネティックチャンネル9Aの湾曲形状に対する中心位置は、サイクロトロン1の中心位置とは異なる位置に設定される。以降の説明では、マグネティックチャンネル9Aについての「周方向」「径方向」を基準として説明する。また、径方向及び周方向に対して直交する方向を「高さ方向」とする。内周側磁性部材40及び外周側磁性部材50は、例えば、純鉄、コバルト鉄などの磁性材料によって構成される。

[0033] 内周側磁性部材40は、第1の壁部41と、一对の第2の壁部42A、42Bと、を備えた断面コ字状の部材である。第1の壁部41は、周方向及び高さ方向に広がる。第1の壁部41の断面形状は、高さ方向に直線状に延伸する長方形の形状を有する。第1の壁部41は、当該断面形状を維持した状態で周方向へ延伸する。第2の壁部42A、42Bは、第1の壁部41の高さ方向における両端から、径方向における内周側及び周方向へ広がる。

[0034] 外周側磁性部材50は、高さ方向及び周方向に広がる板状部材によって構成される。板状部材である外周側磁性部材50は、一对の延伸部51A、51Bと、複数の連結部52と、を備える。一对の延伸部51A、51Bは、高さ方向の両端側において周方向に延伸する部分である。複数の連結部52

は、高さ方向に延伸して一对の延伸部 5 1 A, 5 1 B 同士を連結する。また、複数の連結部 5 2 は、周方向に互いに隙間を空けて離間して配置される。連結部 5 2 と連結部 5 2 との間には貫通部 5 3 が形成される。貫通部 5 3 は、板状部材である外周側磁性部材 5 0 を径方向に貫通する。

[0035] 延伸部 5 1 A と延伸部 5 1 B とは、連結部 5 2 で連結されるため、延伸部 5 1 A、連結部 5 2、及び延伸部 5 1 B によって一枚の壁部が構成される。このように、外周側の一枚の壁部と、第 1 の壁部 4 1 による内周側の一枚の壁部が径方向に対向することで、荷電粒子を偏向させる偏向タイプ (D e f l e c t i o n t y p e) のマグネティックチャンネルが構成される。また、貫通部 5 3 に対応する箇所では延伸部 5 1 A と延伸部 5 1 B とが互いに離間する。延伸部 5 1 A、及び延伸部 5 1 B によって高さ方向に離間した二枚の壁部が構成される。このように、外周側の二枚の壁部と、第 1 の壁部 4 1 による内周側の一枚の壁部とが径方向に離間するように配置されることで、荷電粒子を収束させる収束タイプ (R a d i a l f o r c u s i n g t y p e) のマグネティックチャンネルが構成される。上述のように、マグネティックチャンネル 9 A では、連結部 5 2 と貫通部 5 3 が交互に繰り返して形成される。従って、マグネティックチャンネル 9 A は、交互に繰り返して配置された偏向タイプのマグネティックチャンネルと収束タイプのマグネティックチャンネルを一部品の中で有することとなる。従って、マグネティックチャンネル 9 A の導入ギャップに入り込んだ荷電粒子に対して、外周側への偏向と、水平方向の収束とが交互に繰り返して行われる。

[0036] 図 4 に示すように、サイクロトロン 1 は、ディ電極 5 A を冷却するディ電極用冷却部 6 0 (加速器用冷却部) と、マグネティックチャンネル 9 A を冷却するマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 と、を備える。

[0037] ディ電極用冷却部 6 0 は、ディ電極 5 A 内に配置された配管 6 1 と、配管 6 1 に冷却媒体を供給する継手部 6 2 と、を備える。継手部 6 2 は、支持構造 3 0 よりも内周側の位置に設けられる。また、継手部 6 2 には、分配部 6 3 A 及び合流部 6 3 B が取り付けられる。分配部 6 3 A は、ディ電極 5 A を

冷却する配管 6 1 と、マグネティックチャンネル 9 A を冷却する配管 7 1 とに冷却媒体を分配する継手である。合流部 6 3 B は、ディ電極 5 A を冷却する配管 6 1 からの冷却媒体と、マグネティックチャンネル 9 A を冷却する配管 7 1 からの冷却媒体とを合流させる継手である。

[0038] 配管 6 1 は、分配部 6 3 A と合流部 6 3 B との間で、ディ電極 5 A の外縁部付近に沿って這い回されるように配置される。配管 6 1 は、平面視において、ディ電極 5 A からはみ出ないように配置される。また、配管 6 1 は、平面視において支持板 3 1 と重なる位置にも這い回される。具体的には、配管 6 1 は、分配部 6 3 A から支持板 3 1 へ延びる第 1 の部分 6 1 a と、平面視において支持板 3 1 と重なる第 2 の部分 6 1 b と、支持板 3 1 から合流部 6 3 B へ延びる第 3 の部分 6 1 c と、を有する。第 1 の部分 6 1 a は、分配部 6 3 A からディ電極 5 A の周方向の一方側の外縁部 5 a 付近まで延びると共に当該外縁部 5 a に沿って径方向外側へ延びる。第 1 の部分 6 1 a は、支持板 3 1 の周方向における一方側の端部 3 1 b から、当該支持板 3 1 へもぐり込む。第 2 の部分 6 1 b は、支持板 3 1 下を周方向に沿って延びて、支持板 3 1 の径方向の内側の端部 3 1 c から当該支持板 3 1 外へ出る。第 3 の部分 6 1 c は、ディ電極 5 A の周方向の他方側の外周縁 5 b 付近まで延びると共に当該外縁部 5 a に沿って径方向内側へ延びる。そして、第 3 の部分 6 1 c は、合流部 6 3 B に接続される。

[0039] このように第 2 の部分 6 1 b を有することで、ディ電極 5 A で発生した熱が支持板 3 1 へ伝達される箇所で、配管 6 1 がディ電極 5 A を冷却することができる。配管 6 1 は、第 2 の部分 6 1 b において、溝部 3 3 の底面 3 3 a に形成された溝部 6 5 に配置されている（図 5 参照）。配管 6 1 は、第 1 の部分 6 1 a 及び第 3 の部分 6 1 c においても、ディ電極 5 A に形成された溝部に配置されている。

[0040] 図 7 に示すように、継手部 6 2 は、ステム 1 7 に形成された流路 1 7 a を介して冷却媒体を供給される。ステム 1 7 の流路 1 7 a は、図示されないポンプ等に接続されている。ステム 1 7 の流路 1 7 a は、ステム 1 7 の長手方

向に沿ってステム 17 内部を延びるように形成されている。継手部 62 は、ステム 17 の端部と対応する位置に設けられている。継手部 62 内の流路 62a は、ステム 17 の流路 17a と連通されている。継手部 62 内の流路 62a は、ステム 17 の流路 17a との接続箇所から屈曲し、ディ電極 5A が広がる方向へ延びる。これにより、継手部 62 は、配管 61、71 へ冷却媒体を供給することができる。

[0041] マグネティックチャンネル用冷却部 70 は、分配部 63A に接続された継手部 72A と、合流部 63B に接続された継手部 72B と、継手部 72A 及び継手部 72B に両端が接続された配管 71 と、を備える。継手部 72A は、分配部 63A を介してディ電極用冷却部 60 からの冷却媒体を配管 71 へ供給する。継手部 72B は、配管 71 から流れてきた冷却媒体を合流部 63B を介してディ電極用冷却部 60 へ戻す。このように、マグネティックチャンネル用冷却部 70 の配管 71 は、ディ電極用冷却部 60 から冷却媒体を分岐させるように設けられる。

[0042] 配管 71 は、平面視において、ディ電極 5A と重なる領域のうち、ディ電極用冷却部 60 の配管 61 で囲まれる領域内にて、張り巡らされている。具体的に、配管 71 は、継手部 72A から支持板 31 へ延びる第 1 の部分 71a と、平面視において支持板 31 と重なる第 2 の部分 71b と、支持板 31 から継手部 72B へ延びる第 3 の部分 71c と、を有する。第 1 の部分 71a は、部分的に湾曲しながら継手部 72A から径方向外側へ向かって延びる。第 1 の部分 71a は、支持板 31 の周方向における一方側の端部 31b から、当該支持板 31 内へ入り込む。第 2 の部分 71b は、支持板 31 内を周方向に沿って延びて、支持板 31 の径方向の内側の端部 31c から当該支持板 31 外へ出る。第 2 の部分 71b は、支持板 31 の端部 31c のうち、周方向における中央位置付近から、支持板 31 外へ引き出される。第 3 の部分 71c は、湾曲しながら径方向内側へ向かって延びる。そして、第 3 の部分 71c は、継手部 72B に接続される。

[0043] このように、配管 71 は、第 2 の部分 71b を有することで、支持板 31

を介してマグネティックチャンネル 9 A を冷却することができる。配管 7 1 は、第 2 の部分 7 1 b において、支持板 3 1 の内部に埋め込まれている（図 5 参照）。配管 7 1 は、第 1 の部分 7 1 a 及び第 3 の部分 7 1 c においても、ディ電極 5 A に形成された溝部 7 5 に配置されている（図 8（b）参照）。

[0044] 上述のように、継手部 7 2 A、7 2 B 及び配管 7 1 は、いずれも平面視においてディ電極 5 A よりも内側の領域に配置されている。すなわち、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、平面視において、ディ電極 5 A よりも内側の領域に配置されている。配管 7 1 は、ディ電極 5 A の外縁部からはみ出て、加速ギャップ G（図 3 参照）の電場に影響を及ぼすような部分を有していない。

[0045] 図 8（a）に示すように、配管 7 1 は、支持板 3 1 と共にディ電極 5 A から取り外し可能である。すなわち、マグネティックチャンネル 9 A、支持板 3 1、及びマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、一つのユニットとして取り扱い可能である。継手部 7 2 A、7 2 B を分配部 6 2 A 及び合流部 6 2 B から取り外し、ボルト 3 7（図 6 参照）をディ電極 5 A から外すと、マグネティックチャンネル 9 A、支持板 3 1、及びマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 を同時にディ電極 5 A から取り外すことができる。このとき、配管 7 1 の第 1 の部分 7 1 a 及び第 3 の部分 7 1 c は、支持板 3 1 によって端部を支持された状態となる。

[0046] また、マグネティックチャンネル 9 A、支持板 3 1、及びマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、ディ電極 5 A に対して同じタイミングで組み付け可能である。このとき、支持板 3 1 を溝部 3 3 に収容すると共に、配管 7 1 の第 1 の部分 7 1 a 及び第 3 の部分 7 1 c をディ電極 5 A の溝部 7 5 に収容する。溝部 7 5 の幅は、配管 7 1 の外径よりも大きく設定されており、当該溝部 7 5 内で配管 7 1 の位置を調整可能に設定されている。配管 7 1 と溝部 7 5 の側面 7 5 a との間には隙間が形成されている。従って、溝部 3 3 内で支持板 3 1 の位置調整をするときに、配管 7 1 は、支持板 3 1 の位置調整

に合わせて溝部 7 5 内を幅方向に移動できる。支持板 3 1 の位置が決まったら、固定孔 3 6 にボルト 3 7（図 6 参照）を挿入して支持板 3 1 をディ電極 5 A に固定する。そして、継手部 7 2 A、7 2 B を分配部 6 2 A 及び合流部 6 2 B に接続する。なお、メンテナンスの際などには、支持板 3 1 のボルト 3 7（図 6 参照）だけを緩め、継手部 7 2 A、7 2 B が分配部 6 2 A 及び合流部 6 2 B に接続された状態で、支持板 3 1 の位置調整を行ってもよい。

[0047] 次に、本実施形態に係るサイクロトロン 1 の作用・効果について説明する。

[0048] 本実施形態に係るサイクロトロン 1 は、ディ電極 5 A と、ディ電極 5 A に設けられたマグネティックチャンネル 9 A と、マグネティックチャンネル 9 A を支持する支持板 3 1 と、マグネティックチャンネル 9 A を冷却するマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 と、を備え、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、支持板 3 1 に設けられており、当該支持板 3 1 を介してマグネティックチャンネル 9 A を冷却する。

[0049] このサイクロトロン 1 では、マグネティックチャンネル 9 A は、支持板 3 1 によって支持された状態でディ電極 5 A に設けられている。マグネティックチャンネル 9 A を冷却するマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、支持板 3 1 に設けられている。すなわち、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、支持板 3 1 を介してマグネティックチャンネル 9 A を冷却することができる。このように、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 が、マグネティックチャンネル 9 A に直接設けられることに代えて、支持板 3 1 に設けられることで、構造上や機能上の制約を低減した状態で、マグネティックチャンネル 9 A を冷却することができる。以上より、マグネティックチャンネル 9 A を適切に冷却することができる。例えば、支持板 3 1 を介することなく、マグネティックチャンネル 9 A を直接冷却するような冷却部を設ける場合、ディ電極 5 A 付近の他の部材と干渉したり、サイクロトロン 1 の加速性能に影響を及ぼし得る配置になる場合がある。

[0050] 支持板 3 1 は、ディ電極に対して取り付け可能であり、支持板 3 1 とディ

電極 5 A との間に隙間が形成され、支持板 3 1 はディ電極 5 A に対して位置調整可能である。この場合、支持板 3 1 を介してマグネティックチャンネル 9 A の位置調整が可能となる。

[0051] ディ電極 5 A には、ディ電極用冷却部 6 0 が設けられ、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、冷却媒体を流通させる配管 7 1 を有し、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 の配管 7 1 は、ディ電極用冷却部 6 0 から冷却媒体を分岐させるように設けられている。これにより、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、ディ電極用冷却部 6 0 で用いられている冷却媒体を流用することができる。従って、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 が大型化することを抑制できる。

[0052] 支持板 3 1 は、ディ電極 5 A に対して取り付け可能であり、且つ、当該ディ電極 5 A に対する位置調整を許容する位置調整部である固定孔 3 6 を有する。これにより、熱膨張の影響などによってディ電極 5 A に対するマグネティックチャンネル 9 A の位置がずれた場合であっても、位置調整部によって支持板 3 1 の位置調整を行うことで、マグネティックチャンネル 9 A の位置合わせをすることができる。

[0053] マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、支持板 3 1 から引き出され、冷却媒体を流通させる配管 7 1 を有し、配管 7 1 は、支持板 3 1 と共にディ電極 5 A から取り外し可能である。この場合、支持板 3 1 をディ電極 5 A から取り外して位置調整を行うとき、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 の配管 7 1 も同時にディ電極 5 A から取り外すことができる。従って、支持板 3 1 の位置調整に伴って、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 の配管 7 1 の位置も支持板 3 1 に追従させることができる。

[0054] 本実施形態にサイクロトロン 1 は、ディ電極 5 A と、ディ電極 5 A に設けられたマグネティックチャンネル 9 A と、マグネティックチャンネル 9 A を冷却するマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 と、を備え、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、平面視において、ディ電極 5 A よりも内側の領域に配置されている。

[0055] このサイクロトロン 1 において、マグネティックチャンネル 9 A は、マグネティックチャンネル 9 A を冷却するマグネティックチャンネル用冷却部 7 0 を備える。従って、マグネティックチャンネル 9 A は、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 によって冷却可能となる。ここで、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、平面視において、ディ電極 5 A よりも内側の領域に配置されている。すなわち、平面視においてディ電極 5 A よりも外側の領域では磁場が形成されているが、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、当該磁場に影響を与えることを抑制した状態にて、マグネティックチャンネル 9 A を冷却することができる。以上より、マグネティックチャンネル 9 A を適切に冷却することができる。

[0056] 以上、本開示の一実施形態について説明したが、本開示は、上記実施形態に限られるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形したものであってもよい。例えば、実施形態のサイクロトロン 1 では、荷電粒子ビームの螺旋状の周回軌道 B が水平面上にあるものとして説明したが、本開示のサイクロトロンは、周回軌道 B が鉛直面上にあるように配置してもよい。

[0057] 配管 7 1 は、支持板 3 1 の内部に設けられていなくともよい。例えば、配管 7 1 が支持板 3 1 の外表面に接触するような構成であってもよい。具体的には、配管 7 1 が支持板 3 1 の下側にもぐり込んで、支持板 3 1 の下面に接触してもよい。また、マグネティックチャンネル用冷却部 7 0 は、支持板 3 1 を介することなくマグネティックチャンネル 9 A を冷却してよい。

[0058] 本開示の構成が採用される加速器は、必ずしもサイクロトロンに限定されず、シンクロトロン等の他の加速器に採用されてもよい。

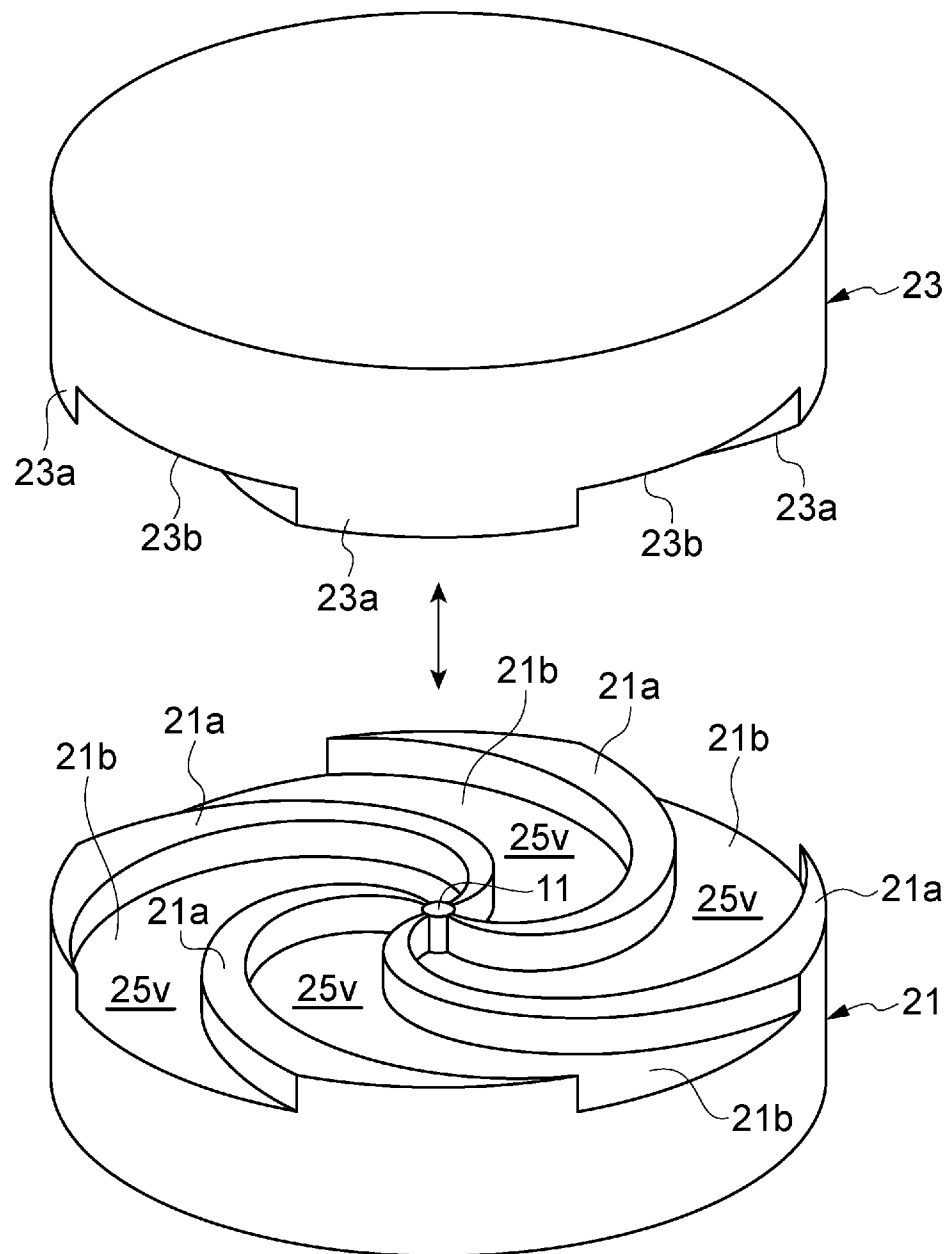
符号の説明

[0059] 1…サイクロトロン（加速器）、5 A, 5 B…ディ電極（加速電極）、9 A…マグネティックチャンネル、3 1…支持板（支持部材）、3 6…固定孔（位置調整部）、6 0…ディ電極用冷却部（加速器用冷却部）、7 0…マグネティックチャンネル用冷却部（冷却部）、7 1…配管。

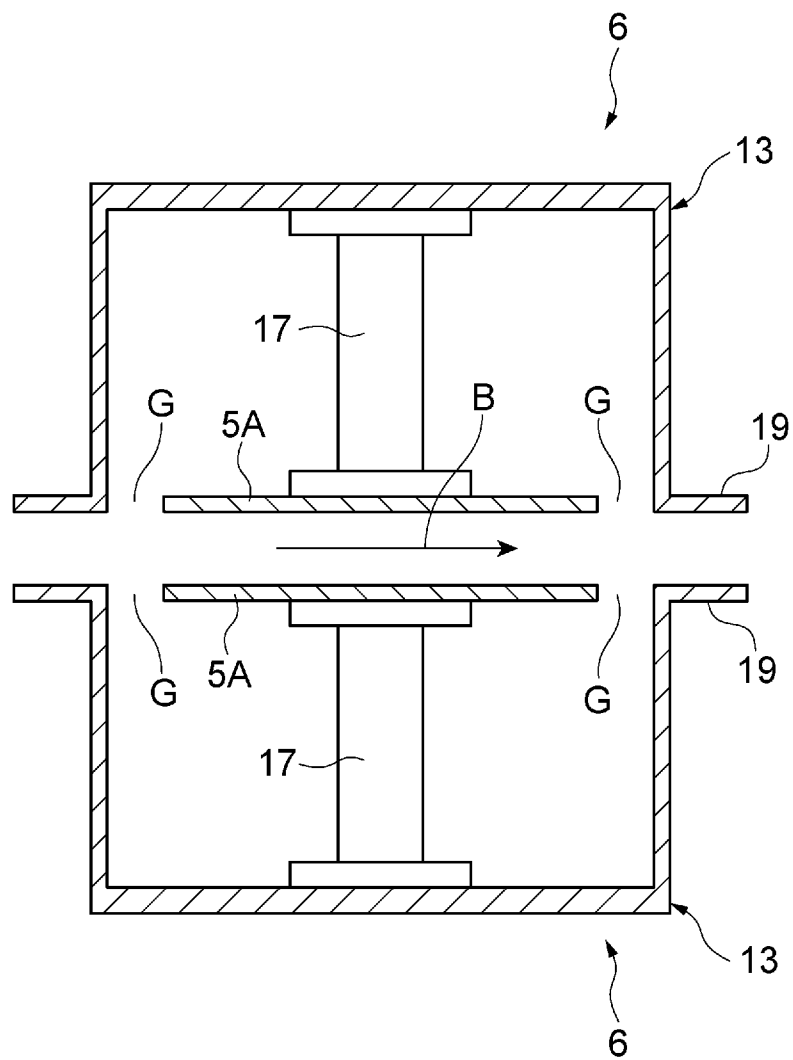
請求の範囲

- [請求項1] 加速電極と、
 前記加速電極に設けられたマグネティックチャンネルと、
 前記マグネティックチャンネルを支持する支持部材と、
 前記マグネティックチャンネルを冷却する冷却部と、を備え、
 前記冷却部は、前記支持部材に設けられており、当該支持部材を介して前記マグネティックチャンネルを冷却する、加速器。
- [請求項2] 前記支持部材は、前記加速電極に対して取り付け可能であり、前記支持部材と前記加速電極との間に隙間が形成され、前記支持部材は前記加速電極に対して位置調整可能である、請求項1に記載の加速器。
- [請求項3] 前記加速電極には、加速電極用冷却部が設けられ、
 前記冷却部は、冷却媒体を流通させる配管を有し、
 前記冷却部の前記配管は、前記加速電極用冷却部から前記冷却媒体を分岐させるように設けられる、請求項1又は2に記載の加速器。
- [請求項4] 前記支持部材は、前記加速電極に対して取り付け可能であり、且つ、当該加速電極に対する位置調整を許容する位置調整部を有する、請求項1～3の何れか一項に記載の加速器。
- [請求項5] 前記冷却部は、前記支持部材から引き出され、冷却媒体を流通させる配管を有し、
 前記配管は、前記支持部材と共に前記加速電極から取り外し可能である、請求項1～4の何れか一項に記載の加速器。
- [請求項6] ディ電極と、
 前記ディ電極に設けられたマグネティックチャンネルと、
 前記マグネティックチャンネルを冷却する冷却部と、を備え、
 前記冷却部は、平面視において、前記ディ電極よりも内側の領域に配置されている、サイクロトロン。

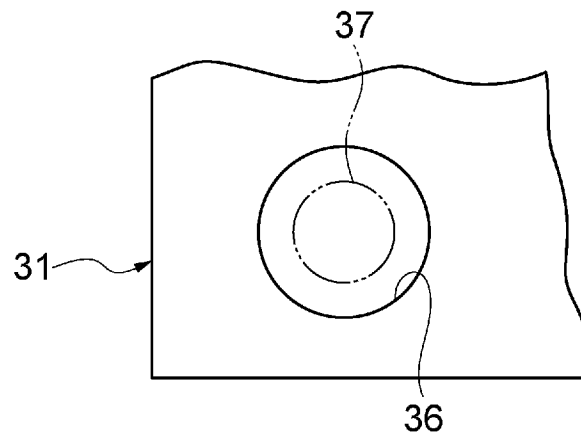
[図2]



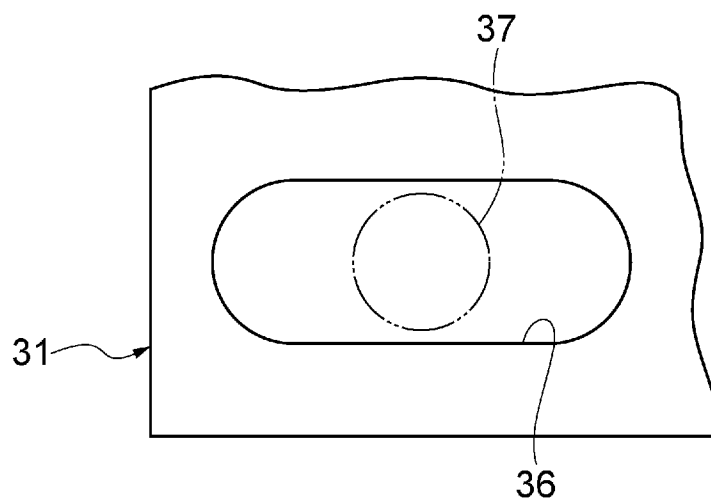
[図3]



[図6]

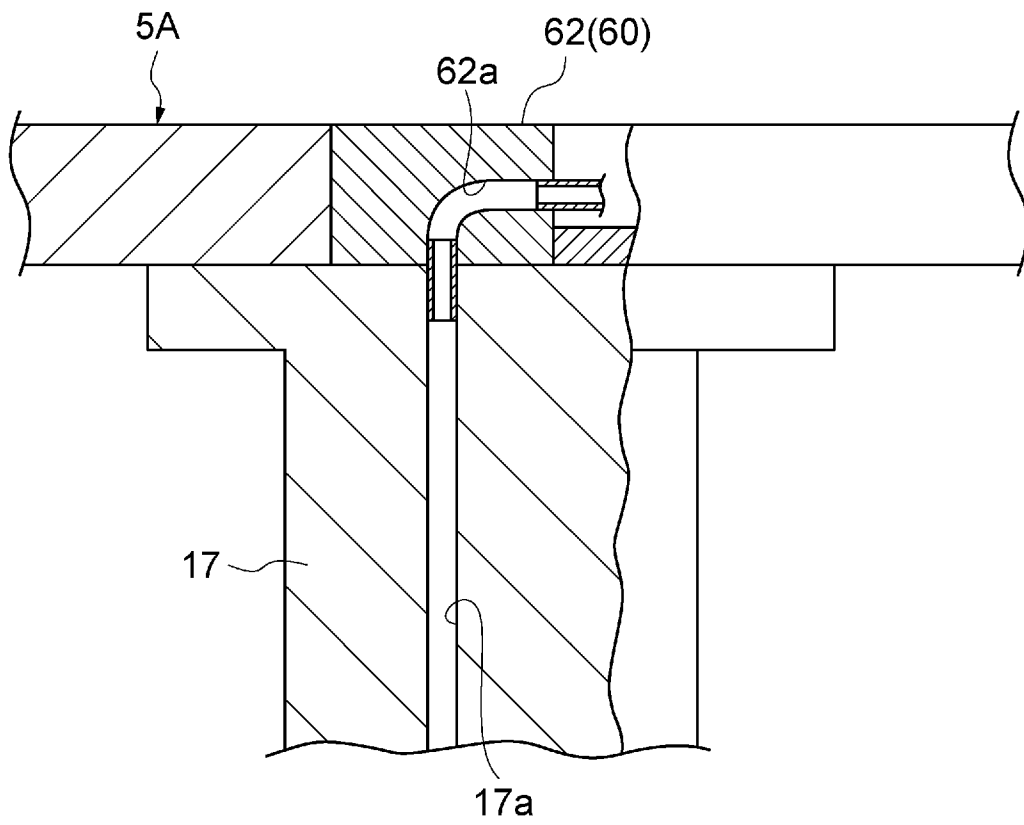


(a)



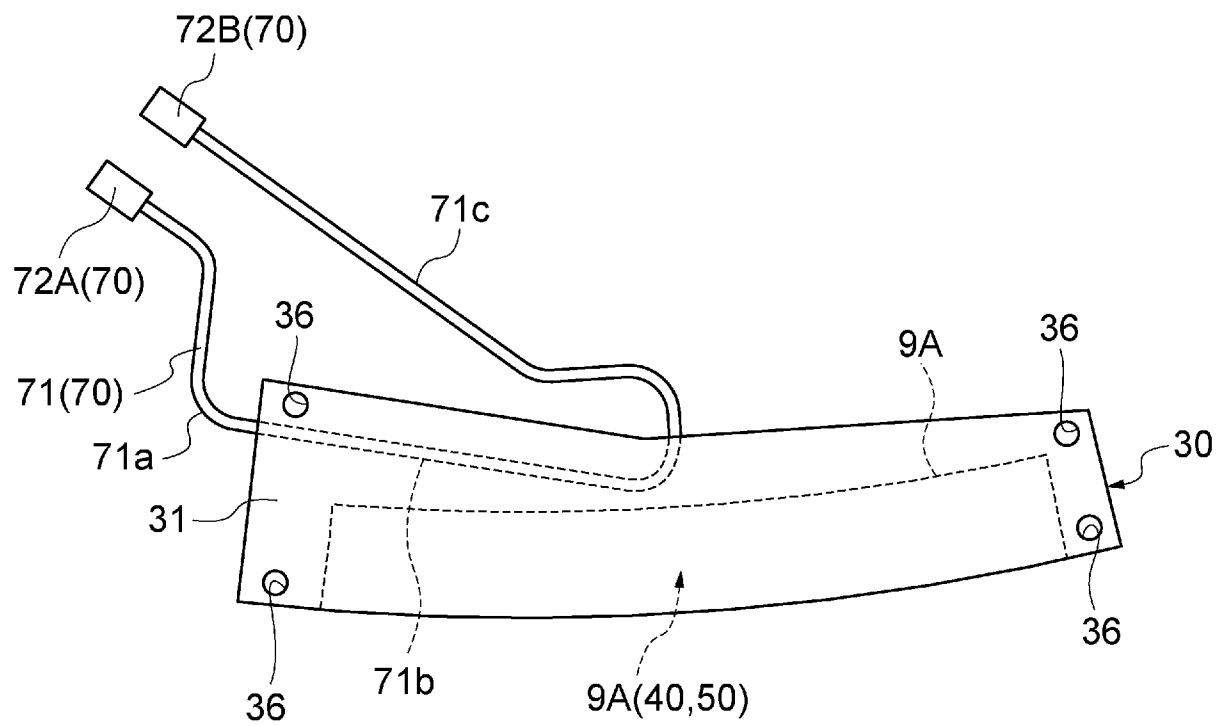
(b)

[図7]

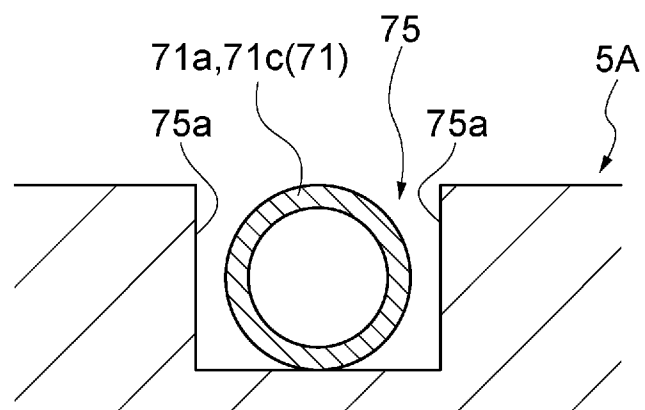


[図8]

(a)



(b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/010102

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05H 13/00 (2006.01) i

FI: H05H13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05H13/00, H05H7/04, G21K5/04, G21K5/10, A61N5/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-160613 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 04.09.2014 (2014-09-04)	1-6
A	JP 2013-182881 A (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 12.09.2013 (2013-09-12)	1-6
A	JP 48-87297 A (THE CYCLOTRON CORP.) 16.11.1973 (1973-11-16)	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 May 2020 (18.05.2020)

Date of mailing of the international search report

02 June 2020 (02.06.2020)

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/010102

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2014-160613 A	04 Sep. 2014	(Family: none)	
JP 2013-182881 A	12 Sep. 2013	(Family: none)	
JP 48-87297 A	16 Nov. 1973	DE 2304902 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H05H 13/00(2006.01)i FI: H05H13/00														
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） H05H13/00, H05H7/04, G21K5/04, G21K5/10, A61N5/10 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2020年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2020年</td> </tr> </table> 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年				
日本国実用新案公報	1922 - 1996年													
日本国公開実用新案公報	1971 - 2020年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2020年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2020年													
C. 関連すると認められる文献														
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号												
A	JP 2014-160613 A（住友重機械工業株式会社）04.09.2014（2014 - 09 - 04）	1-6												
A	JP 2013-182881 A（住友重機械工業株式会社）12.09.2013（2013 - 09 - 12）	1-6												
A	JP 48-87297 A（ザ・サイクロトロン・コーポレーション）16.11.1973（1973 - 11 - 16）	1-6												
☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。														
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの</td> <td>“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>“&” 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td></td> </tr> <tr> <td>“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献</td> <td></td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献	“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献	
* 引用文献のカテゴリー	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの													
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの	“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの													
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの													
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	“&” 同一パテントファミリー文献													
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献														
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献														
国際調査を完了した日 18.05.2020	国際調査報告の発送日 02.06.2020													
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山口 敦司 2G 9216 電話番号 03-3581-1101 内線 3226													

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/010102

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2014-160613	A	04.09.2014	(ファミリーなし)			
JP	2013-182881	A	12.09.2013	(ファミリーなし)			
JP	48-87297	A	16.11.1973	DE	2304902	A1	