

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年11月17日(17.11.2022)



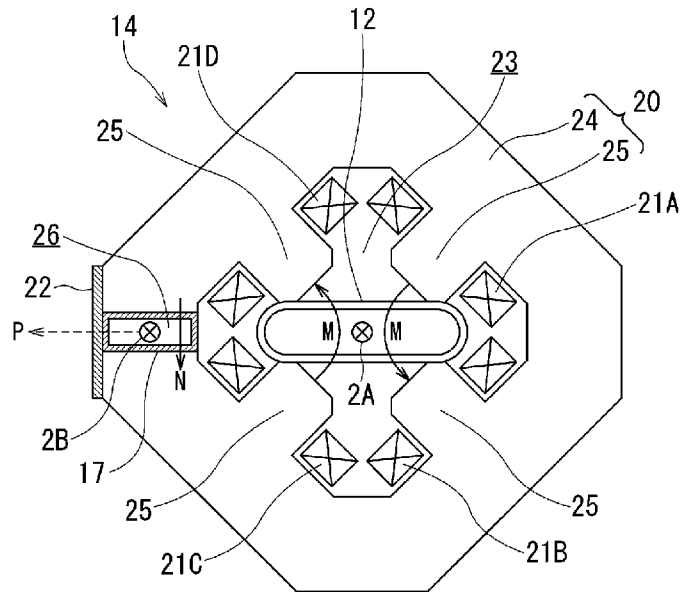
(10) 国際公開番号

WO 2022/239398 A1

- (51) 国際特許分類:
H05H 7/04 (2006.01) *H05H 13/04* (2006.01) **CORPORATION)** [JP/JP]; 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 Kanagawa (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/008972 (72) 発明者:横田 龍輝(YOKOTA, Ryuki); 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).
(22) 国際出願日: 2022年3月2日(02.03.2022) 田島 裕二郎(TAJIMA, Yujiro); 〒2120013 神奈川県川崎市幸区堀川町7番地34 東芝エネルギーシステムズ株式会社内 Kanagawa (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2021-082565 2021年5月14日(14.05.2021) JP (74) 代理人: 弁理士法人 東京国際特許事務所 (TOKYO INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒2220033 神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目13番地6 第一K・Sビル402号室 Kanagawa (JP).
- (71) 出願人: 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1050023 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP). 東芝エネルギーシステムズ株式会社 (TOSHIBA ENERGY SYSTEMS & SOLUTIONS (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,

(54) Title: ELECTROMAGNET AND CHARGED PARTICLE ACCELERATOR

(54) 発明の名称: 電磁石及び荷電粒子加速装置



(57) Abstract: The present invention ensures a sufficient separation distance between the orbit of a separated charged particle beam and the orbit of a charged particle beam traveling through a main region while preventing interference between the orbit of the separated charged particle beam and an electromagnet. A quadrupolar electromagnet (14) is formed from: an iron core (20) provided with a beam-passing gap (26) for an emitted beam (2B), that is, a separated charged particle beam, to travel therethrough in addition to a main region (23) for an orbiting beam (2A), that is, a charged particle beam, to travel therethrough; excitation coils (21A, 21B, 21C, 21D) wound on the iron core; a main vacuum duct (12) disposed in the main region (23) of the iron core and allowing the orbiting beam (2A) to travel through the inside thereof; and a sub-vacuum duct (17) disposed on the beam-passing gap (26) of the iron core and allowing the emitted

BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, 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))

beam (2B) to travel through the inside thereof.

(57) 要約: 分離した荷電粒子ビームの軌道と電磁石との干渉を回避しつつ、分離した荷電粒子ビームの軌道とメイン領域を進行する荷電粒子ビームの軌道との離反距離を十分に確保できること。四極電磁石 (14) は、荷電粒子ビームである周回ビーム (2A) が進行するためのメイン領域 (23) のほかに、分離した荷電粒子ビームである出射ビーム (2B) が進行するためのビーム通過ギャップ (26) が設けられた鉄心 (20) と、鉄心に巻き回された励磁コイル (21A、21B、21C、21D) と、鉄心のメイン領域 (23) に設けられて、内部を周回ビーム (2A) が進行するメイン真空ダクト (12) と、鉄心のビーム通過ギャップ (26) に設けられて、内部を出射ビーム (2B) が進行するサブ真空ダクト (17) と、を有して構成されている。

明 細 書

発明の名称：電磁石及び荷電粒子加速装置

技術分野

[0001] 本発明の実施形態は電磁石、及びこの電磁石を備えた荷電粒子加速装置に関する。

背景技術

[0002] 荷電粒子加速装置は、電子や陽子をはじめとする荷電粒子を加速し、高エネルギーの状態にする装置である。この荷電粒子加速装置から取り出された荷電粒子ビームは、例えば癌の粒子線治療や素粒子物理研究、新素材の開発などの幅広い分野で用いられる。

[0003] 一方、上述の荷電粒子加速装置では、荷電粒子ビームは主に電磁石によってその軌道や形状が制御される。例えば、荷電粒子加速装置としてのシンクロトロンにおいては、荷電粒子ビームは環状に設置された真空ダクトの内部を周回するように偏向電磁石の磁場によって偏向され、荷電粒子ビームの拡散は四極電磁石及び六極電磁石によって抑制される。シンクロトロンにおけるビームの出射部では、静電デフレクタにより荷電粒子を蹴り出し、この蹴り出されて分離された荷電粒子のビームをセプタム電磁石によりビーム周回軌道の外側へ偏向させて、荷電粒子ビームの利用のためにビーム輸送系に送られる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：実開平3－55700号公報

特許文献2：特開2019－96543号公報

特許文献3：特開2007－35495号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 図7に示す従来のシンクロトロンのビーム出射部100は、静電デフレク

タ 1 0 1、偏向電磁石 1 0 2、四極電磁石 1 0 3 及びセプタム電磁石 1 0 4 が順次配置されてなる。このビーム出射部 1 0 0 では、出射される荷電粒子ビームのみをセプタム電磁石 1 0 4 内の磁場で偏向する必要があるため、周回する荷電粒子ビームのビーム周回軌道 1 A と出射すべき荷電粒子ビームのビーム出射軌道 1 B とのセパレーション(離反距離)を十分にとる必要がある。

[0006] しかしながら、セプタム電磁石 1 0 4 よりも上流側の四極電磁石 1 0 3 (図 8 参照)において、荷電粒子ビームの軌道は、励磁コイル 1 0 5 が巻き回される鉄心 1 0 6 の中央位置にある真空ダクト 1 0 7 内に制限される。そのため、ビーム出射軌道 1 B の出射ビーム 2 B は、四極電磁石 1 0 3 の中央付近を、ビーム周回軌道 1 A の周回ビーム 2 A に接近した浅い角度で進行しなければならない。従って、ビーム周回軌道 1 A とビーム出射軌道 1 B 間に十分なセパレーション(離反距離)を得るためには、四極電磁石 1 0 3 からセプタム電磁石 1 0 4 に至る直線部分の長さ L 0 を大きく設定しなければならない。このことはビーム出射部 1 0 0 の設計尤度が低下する要因になっている。

[0007] 本発明の実施形態は、上述の事情を考慮してなされたものであり、分離した荷電粒子ビームの軌道と電磁石との干渉を回避しつつ、分離した荷電粒子ビームの軌道とメイン領域を進行する荷電粒子ビームの軌道との離反距離を十分に確保できる電磁石及び荷電粒子加速装置を提供することを目的とする。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第 1 実施形態に係る電磁石が適用された四極電磁石及び偏向電磁石を備えるシンクロトロンのビーム出射部を示す平面図。

[図2]図 1 の四極電磁石を示す正面図。

[図3]図 2 の四極電磁石の第 1 変形形態を示す正面図。

[図4]図 2 の四極電磁石の第 2 変形形態を示す正面図。

[図5]図 1 の偏向電磁石を示す正面図。

[図6]第2実施形態に係る電磁石が適用されたビーム輸送系の四極電磁石を示す正面図。

[図7]従来のシンクロトロンビームの出射部を示す平面図。

[図8]図7の四極電磁石を示す正面図。

発明を実施するための形態

[0009] 以下、本発明を実施するための形態を、図面に基づき説明する。

[A] 第1実施形態（図1～図5）

図1は、第1実施形態に係る電磁石が適用された四極電磁石及び偏向電磁石を備えるシンクロトロンビームの出射部を示す平面図である。荷電粒子加速装置としてのシンクロトロン10は、陽子や電子などの荷電粒子を周回させて加速し、高エネルギーの状態にするものであり、メイン真空ダクト12、偏向電磁石13、四極電磁石14、六極電磁石及び高周波加速空洞（共に図示せず）を有して構成される。

[0010] メイン真空ダクト12は、環状に設置されており、内部を荷電粒子ビームが進行する。偏向電磁石13は、発生する磁場によりメイン真空ダクト12内の荷電粒子ビームを偏向させて、この荷電粒子ビームをメイン真空ダクト12内で周回させる。四極電磁石14及び六極電磁石は、メイン真空ダクト12内の荷電粒子ビームを収束させてその拡散を抑制する。高周波加速空洞は、メイン真空ダクト12内を周回して進行する荷電粒子ビームを加速する。ここで、メイン真空ダクト12内を周回して進行する荷電粒子ビームを周回ビーム2Aと称し、その軌道をビーム周回軌道1Aと称する。

[0011] シンクロトロン10により加速された荷電粒子ビームは、図1に示すシンクロトロン10のビーム出射部11からビーム輸送系（図示せず）へ出射され、このビーム輸送系を経て粒子線治療や素粒子物理研究などのための各装置へ導かれる。上記ビーム出射部11は、静電デフレクタ15、偏向電磁石13、四極電磁石14及びセプトム電磁石16が順次配置されて構成され、更に、メイン真空ダクト12及びサブ真空ダクト17を有する。

[0012] 静電デフレクタ15は、ビーム周回軌道1Aを周回する周回ビーム2Aの

荷電粒子を蹴り出す。この静電デフレクタ 15 により蹴り出されてビーム周回軌道 1 A から分離された荷電粒子のビームはサブ真空ダクト 17 内を進行し、偏向電磁石 13 の磁場により、ビーム周回軌道 1 A から離反する方向に偏向されて出射ビーム 2 B となる。この出射ビーム 2 B の軌道をビーム出射軌道 1 B と称する。サブ真空ダクト 17 内を進行する出射ビーム 2 B は、四極電磁石 14 の磁場により再度ビーム周回軌道 1 A から離反する方向へ偏向され、セプタム電磁石 16 によりビーム周回軌道 1 A から更に離反する方向に偏向されて、ビーム輸送系に送られる。

[0013] 上述のシンクロトロン 10 のビーム出射部 11 における四極電磁石 14 を図 2 に示し、その変形形態を図 3 及び図 4 に示し、更に、ビーム出射部 11 における偏向電磁石 13 を図 5 に示す。

[0014] 図 2 に示す四極電磁石 14 は、鉄心 20、励磁コイル 21 A、21 B、21 C 及び 21 D、並びに支持部材 22 を有し、更に、前述のメイン真空ダクト 12 及びサブ真空ダクト 17 を有して構成される。

[0015] 四極電磁石 14 の鉄心 20 は、正面視矩形状の中央位置に空隙（ギャップ）であるメイン領域 23 が形成される。更に、鉄心 20 は、メイン領域 23 を臨む周辺部 24 から等間隔にメイン領域 23 へ向かって磁極部 25 が 4 本突設されると共に、周辺部 24 に単一のビーム通過ギャップ 26 が形成される。メイン領域 23 は周回ビーム 2 A を進行させるために、ビーム通過ギャップ 26 は出射ビーム 2 B を進行させるためにそれぞれ設けられたものである。

[0016] 4 本の各磁極部 25 に、励磁コイル 21 A、21 B、21 C、21 D がそれぞれ巻き回される。また、支持部材 22 は、鉄心 20 の周辺部 24 におけるビーム通過ギャップ 26 の周囲、つまりビーム通過ギャップ 26 を臨む位置に掛け渡されて固定され、周辺部 24 におけるビーム通過ギャップ 26 の周囲を支持して補強する。この支持部材 22 は、非磁性体にて構成される。

[0017] 鉄心 20 のメイン領域 23 内にメイン真空ダクト 12 が配置され、このメイン真空ダクト 12 の内部を周回ビーム 2 A が進行する。メイン真空ダクト

12は非磁性体にて構成されると共に、内部が真空中に保持されることで、進行する周回ビーム2Aに対しビーム損失を抑制する。このメイン真空ダクト12内を進行する周回ビーム2Aは、励磁コイル21A～21Dにより励起された磁場Mによってメイン真空ダクト12の中央位置に収束され、拡散が抑制される。

[0018] 鉄心20のビーム通過ギャップ26内にサブ真空ダクト17が配置され、このサブ真空ダクト17の内部をビーム周回軌道1Aから分離した出射ビーム2Bが進行する。サブ真空ダクト17は、非磁性体にて構成されると共に、内部が真空中に保持されることで、進行する出射ビーム2Bに対しビーム損失を抑制する。このサブ真空ダクト17内を進行する出射ビーム2Bは、ビーム通過ギャップ26に生じた磁場Nによってビーム周回軌道1A（周回ビーム2A）から離反する方向Pに偏向される。

[0019] 上述のようにメイン領域23及びビーム通過ギャップ26が形成された鉄心20は、四極電磁石14の磁場の対称性を維持するように、その厚さを含めた形状が調整されている。

[0020] 図3に示す四極電磁石27は四極電磁石14の第1変形形態である。この四極電磁石27では、鉄心28にメイン領域23及びビーム通過ギャップ26が形成されると共に、ビーム通過ギャップ26の対称な位置にビーム不通過ギャップ29X、29Y、29Zが形成されている。例えば、ビーム不通過ギャップ29Zは、ビーム通過ギャップ26に対向する位置に形成され、ビーム不通過ギャップ29X及び29Yは、ビーム通過ギャップ26に対し互いに反対方向に90度離れた位置に形成される。これらのビーム不通過ギャップ29X、29Y及び29Zは、荷電粒子ビームが進行（通過）しないギャップである。

[0021] ビーム不通過ギャップ29X、29Y及び29Zは、ビーム通過ギャップ26と同様な形状に形成され、これにより、四極電磁石27の磁場の対称性が維持される。また、鉄心28には、ビーム不通過ギャップ29X、29Y、29Zのそれぞれの周囲に、つまりビーム不通過ギャップ29X、29Y

、 29 Z のそれぞれを臨む位置に支持部材 22 が掛け渡されて固定されて、鉄心 28 のビーム不通過ギャップ 29 X ~ 29 Z のそれぞれの周囲が支持されて補強される。

[0022] 図 4 に示す四極電磁石 30 は四極電磁石 14 の第 2 変形形態である。この四極電磁石 30 では、鉄心は第 1 変形形態の鉄心 28 であり、この鉄心 28 のビーム不通過ギャップ 29 X、29 Y、29 Z のそれぞれに、四極電磁石 30 の磁場の対称性をより厳密に維持するための構造物 31 が配置される。この構造物 31 は、ビーム通過ギャップ 26 に配置されたサブ真空ダクト 17 と同様な構成、例えば非磁性体製の筒形状に形成される。

[0023] 図 5 に示す偏向電磁石 13 は、四極電磁石 14 の第 2 変形形態の四極電磁石 30 と同様な構成である。つまり、正面視矩形状の鉄心 32 の中央位置にメイン領域 35 が形成され、鉄心 32 はメイン領域 35 を臨む周辺部 36 の対向位置に、メイン領域 35 へ向かって磁極部 37 が突設される。各磁極部 37 に励磁コイル 33 X、33 Y がそれぞれ巻き回される。

[0024] 鉄心 32 の周辺部 36 には、ビーム通過ギャップ 38 が形成されると共に、このビーム通過ギャップ 38 の対向位置にビーム不通過ギャップ 39 が形成される。鉄心 32 の周辺部 36 におけるビーム通過ギャップ 38 とビーム不通過ギャップ 39 のそれぞれの周囲、つまりビーム通過ギャップ 38 とビーム不通過ギャップ 39 のそれぞれを臨む位置に、非磁性体製の支持部材 34 が掛け渡されて固定される。この支持部材 34 が、鉄心 32 の周辺部 36 におけるビーム通過ギャップ 38、ビーム不通過ギャップ 39 のそれぞれの周囲を支持して補強する。

[0025] 鉄心 32 のメイン領域 35 内にメイン真空ダクト 12 が配置され、このメイン真空ダクト 12 の内部を周回ビーム 2 A が進行する。このメイン真空ダクト 12 内を進行する周回ビーム 2 A は、励磁コイル 33 X 及び 33 Y により励起される磁場 S によってビーム位置が偏向されて、メイン真空ダクト 12 内を周回する。

[0026] 鉄心 32 のビーム通過ギャップ 38 内にサブ真空ダクト 17 が配置され、

このサブ真空ダクト 17 の内部をビーム周回軌道 1 A から分離した出射ビーム 2 B が進行する。このサブ真空ダクト 17 を進行する出射ビーム 2 B は、ビーム通過ギャップ 38 に生じた磁場 T によってビーム周回軌道 1 A（周回ビーム 2 A）から離反する方向 P に偏向される。また、鉄心 32 のビーム不通過ギャップ 39 内に、偏向電磁石 13 の磁場の対称性を厳密に維持するための構造物 31 が配置されている。

[0027] 以上のように構成されたことから、本第 1 実施形態の四極電磁石 14、27 及び 30 によれば、次の効果（1）及び（2）を奏する。偏向電磁石 13 においても、四極電磁石 14 等と同様な効果を奏する。

[0028] （1）シンクロトロン 10 のビーム出射部 11 に設けられた四極電磁石 14、27 及び 30 の鉄心 20、28 には、周回ビーム 2 A を進行させるためのメイン領域 23 のほかに、ビーム周回軌道 1 A から分離して出射する出射ビーム 2 B を進行させるためのビーム通過ギャップ 26 が設けられている。このため、出射ビーム 2 B のビーム出射軌道 1 B と四極電磁石 14、27 及び 30 との干渉を回避しつつ、サブ真空ダクト 17 内の出射ビーム 2 B のビーム出射軌道 1 B とメイン真空ダクト 12 内の周回ビーム 2 A のビーム周回軌道 1 A との図 1 に示す離反距離（セパレーション）H を十分に確保することができる。この結果、シンクロトロン 10 のビーム出射部 11 における四極電磁石 14、27、30 からセプタム電磁石 16 に至る直線部分の長さ L を、従来の直線部分の長さ L0（図 7）に比べて短縮できるので、シンクロトロン 10 のビーム出射部の設計尤度を向上させることができる。

[0029] （2）ビーム周回軌道 1 A から分離して出射するサブ真空ダクト 17 内の出射ビーム 2 B は、四極電磁石 14、27、30 の鉄心 20、28 のビーム通過ギャップ 26 を進行するとき、このビーム通過ギャップ 26 内の磁場 N によって、鉄心 20、28 のメイン領域 23 のメイン真空ダクト 12 内を進行する周回ビーム 2 A のビーム周回軌道 1 A から離反する方向 P に偏向される。この観点からも、出射ビーム 2 B のビーム出射軌道 1 B と周回ビーム 2 A のビーム周回軌道 1 A との図 1 に示す離反距離（セパレーション）H を、

更に十分に確保できる。この結果、シンクロトロン10のビーム出射部11に設置されたセプタム電磁石16を削減または省略できるので、ビーム出射部11における直線部分の長さLの短縮と相俟って、シンクロトロン10の設置面積を減少させることができる。

[0030] [B] 第2実施形態（図6）

図6は、第2実施形態に係る電磁石が適用されたビーム輸送系の四極電磁石を示す正面図である。この第2実施形態において第1実施形態と同様な部分については、第1実施形態と同一の符号を付すことにより説明を簡略化し、または省略する。

[0031] 本第2実施形態の電磁石としての四極電磁石40が第1実施形態と異なる点は、四極電磁石40がビーム輸送系に設置された電磁石であると共に、この四極電磁石40を構成する鉄心41の周辺部42に、荷電粒子ビーム2Cのビーム軌道1Cから分離した荷電粒子ビーム2D、2Eが進行するためのビーム通過ギャップが複数、例えば2個（ビーム通過ギャップ26及び43）が形成された点である。

[0032] つまり、四極電磁石40は、鉄心41、励磁コイル21A～21D、及び支持部材22を有し、更に、メイン真空ダクト12及びサブ真空ダクト17を有して構成される。鉄心41は、正面視矩形状の中央位置に空隙（ギャップ）であるメイン領域23が形成される。更に、鉄心41は、メイン領域23を臨む周辺部42から等間隔にメイン領域23へ向かって磁極部25が4本突設されると共に、それぞれの磁極部25に励磁コイル21A、21B、21C、21Dが巻き回される。

[0033] 鉄心41の周辺部42には、対向位置にビーム通過ギャップ26、43がそれぞれ1個形成されると共に、ビーム不通過ギャップ29X、29Yが対向して形成される。また鉄心41の周辺部42には、ビーム通過ギャップ26、43、ビーム不通過ギャップ29X、29Yの周囲、つまりビーム通過ギャップ26、43、ビーム不通過ギャップ29X、29Yをそれぞれ臨む位置に支持部材22が架け渡されて固定されて、鉄心41の周辺部42にお

けるビーム通過ギャップ26、43、ビーム不通過ギャップ29X、29Yのそれぞれの周囲が支持されて補強される。

[0034] メイン真空ダクト12は、鉄心41のメイン領域23内に配置され、このメイン真空ダクト12の内部を荷電粒子ビーム2Cが進行する。このメイン真空ダクト12内を進行する荷電粒子ビーム2Cは、励磁コイル21A～21Dにより励起された磁場Mによってメイン真空ダクト12の中央位置に収束され、拡散が抑制される。この荷電粒子ビーム2Cの軌道がビーム軌道1Cである。

[0035] サブ真空ダクト17は、鉄心41のビーム通過ギャップ26、43のそれぞれに配置され、これらのサブ真空ダクト17の内部を、ビーム軌道1Cから分離した荷電粒子ビーム2D、2Eがそれぞれ進行する。荷電粒子ビーム2Dの軌道がビーム軌道1Dであり、荷電粒子ビーム2Eの軌道がビーム軌道1Eである。

[0036] ビーム通過ギャップ26に配置されたサブ真空ダクト17内を進行する荷電粒子ビーム2Dは、ビーム通過ギャップ26に生じた磁場Nによってビーム軌道1C（荷電粒子ビーム2C）から離反する方向Pに偏向される。また、ビーム通過ギャップ43に配置されたサブ真空ダクト17内を進行する荷電粒子ビーム2Eは、ビーム通過ギャップ43に生じた磁場Kによってビーム軌道1C（荷電粒子ビーム2C）から離反する方向Qに偏向される。ここで、離反する方向Qは、例えば離反する方向Pと反対方向である。

[0037] 以上のように構成されたことから、本第2実施形態によれば、次の効果（3）を奏する。

（3）四極電磁石40の鉄心41には、荷電粒子ビーム2Cを進行させるためのメイン領域23のほかに、荷電粒子ビーム2Cのビーム軌道1Cから分離した荷電粒子ビーム2D、2Eをそれぞれ進行させるための複数のビーム通過ギャップ（ビーム通過ギャップ26及び43）が設けられている。このため、分離した荷電粒子ビーム2Dのビーム軌道1D及び分離した荷電粒子ビーム2Eのビーム軌道1Eと四極電磁石40との干渉を回避しつつ、荷

電粒子ビーム 2 D のビーム軌道 1 D と荷電粒子ビーム 2 C のビーム軌道 1 C との離反距離、荷電粒子ビーム 2 E のビーム軌道 1 E と荷電粒子ビーム 2 C のビーム軌道 1 C との離反距離をそれぞれ十分に確保することができる。

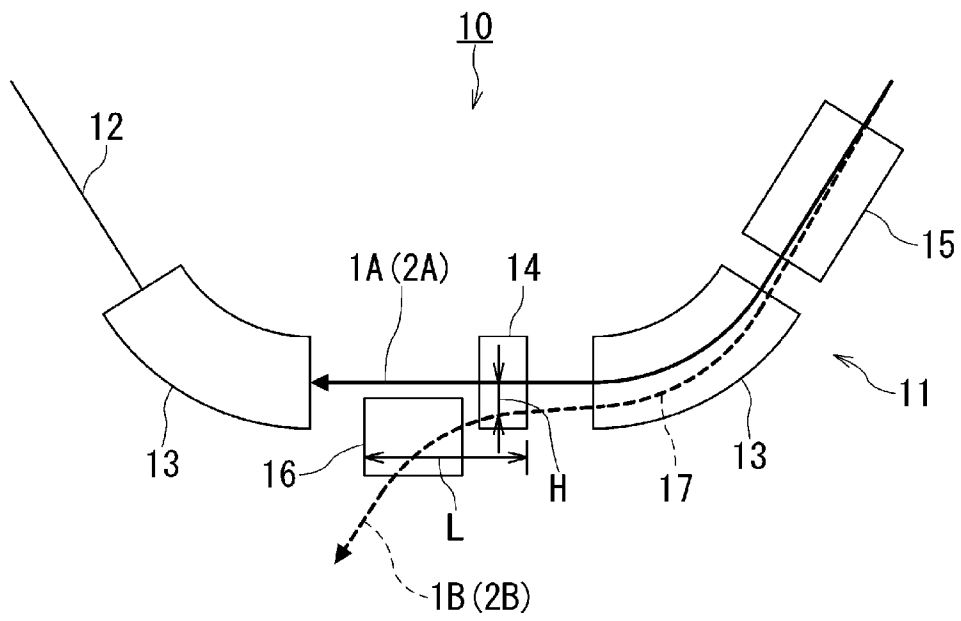
[0038] 従って、この四極電磁石 4 0 によって、荷電粒子ビーム毎に進行すべきビーム通過ギャップ 2 6、4 3 を選択することで、各荷電粒子ビーム（例えば荷電粒子ビーム 2 D、2 E）を異なる方向へ偏向させることができる。この結果、1 台の四極電磁石 4 0 で荷電粒子ビーム（例えば荷電粒子ビーム 2 D、2 E）を異なる方向に同時に分岐することができる。

[0039] 以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これらの実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができ、また、それらの置き換えや変更は、発明の範囲や要旨に含まれると共に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

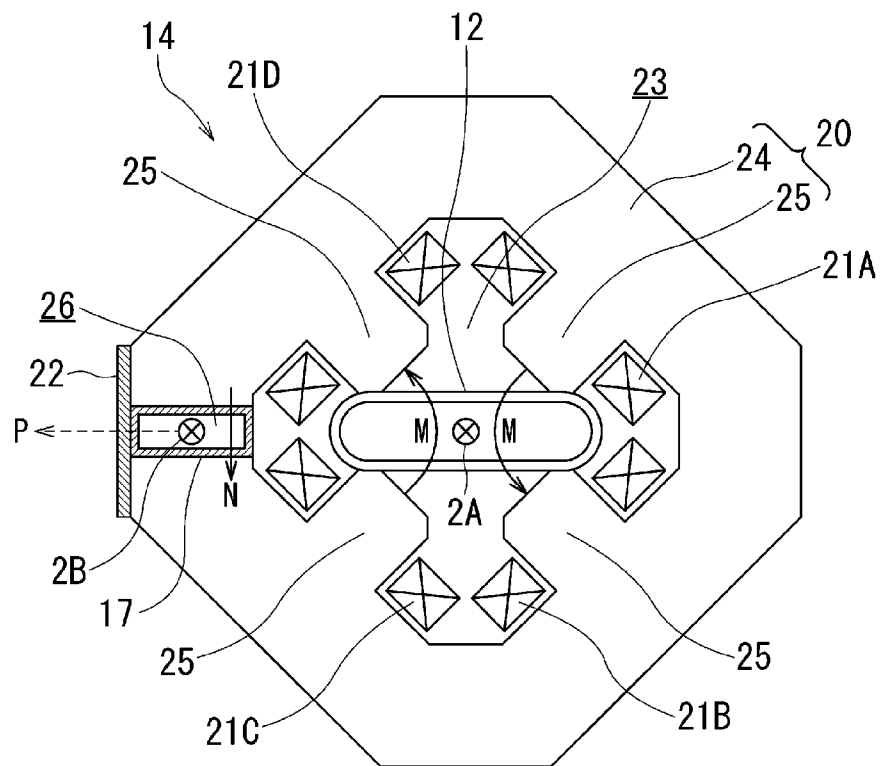
請求の範囲

- [請求項1] 荷電粒子ビームが進行するためのメイン領域の他に、分離した前記荷電粒子ビームが進行するためのビーム通過ギャップが設けられた鉄心と、
- 前記鉄心に巻き回された励磁コイルと、
- 前記鉄心の前記メイン領域に設けられて、内部を前記荷電粒子ビームが進行するメイン真空ダクトと、
- 前記鉄心の前記ビーム通過ギャップに設けられて、内部を分離した荷電粒子ビームが進行するサブ真空ダクトと、を有して構成されたことを特徴とする電磁石。
- [請求項2] 前記鉄心には、ビーム通過ギャップが複数設けられたことを特徴とする請求項1に記載の電磁石。
- [請求項3] 前記鉄心には、荷電粒子ビームが進行しないビーム不通過ギャップが設けられたことを特徴とする請求項1または2に記載の電磁石。
- [請求項4] 前記ビーム不通過ギャップには、ビーム通過ギャップに設けられたサブ真空ダクトと同様な構成の構造物が設けられたことを特徴とする請求項3に記載の電磁石。
- [請求項5] 前記鉄心には、ビーム通過ギャップの周囲またはビーム不通過ギャップの周囲をそれぞれ支持する支持部材が配置されたことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の電磁石。
- [請求項6] 請求項1乃至5のいずれか1項に記載の電磁石を備えて構成されたことを特徴とする荷電粒子加速装置。

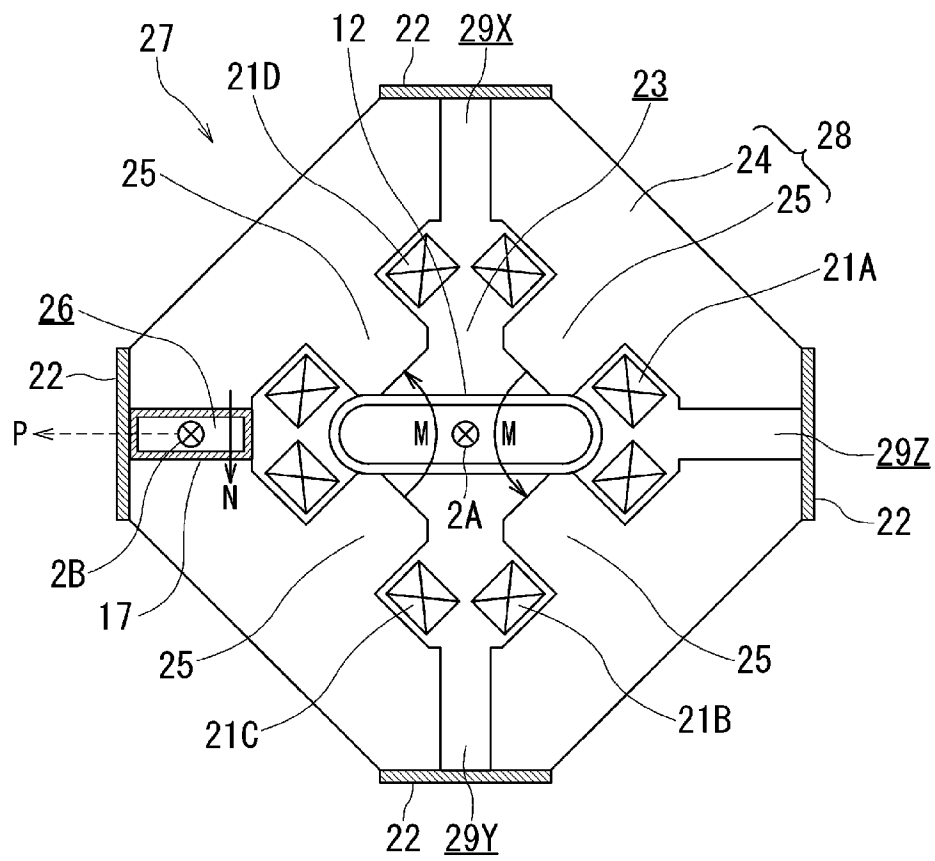
[図1]



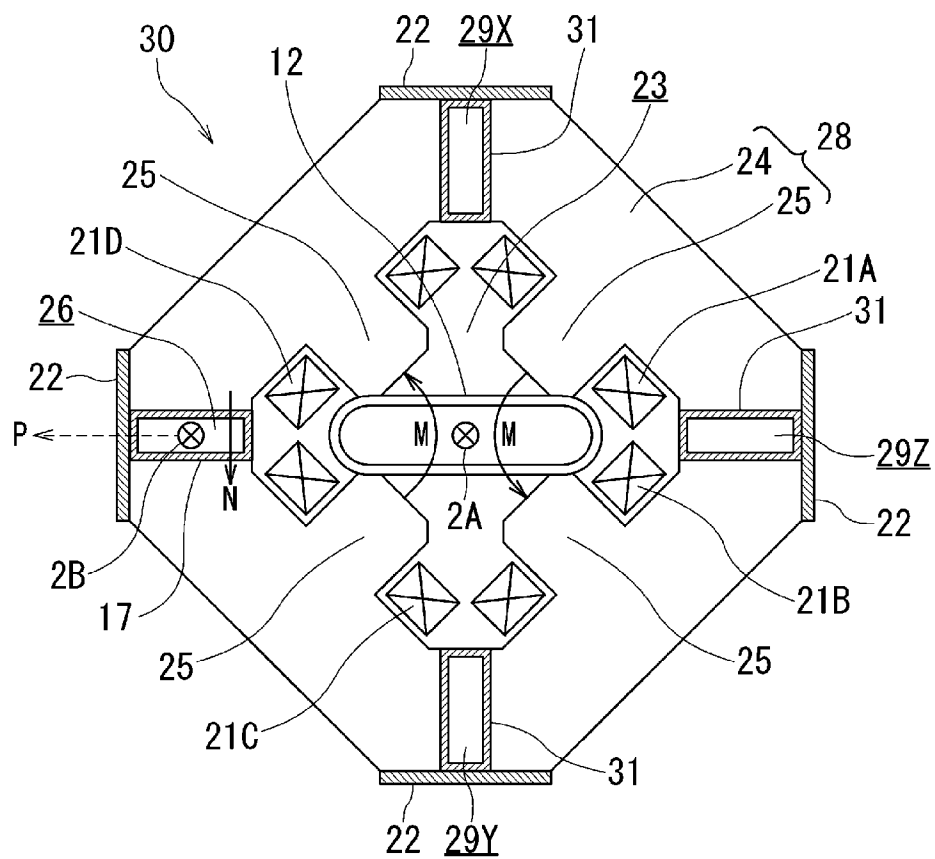
[図2]



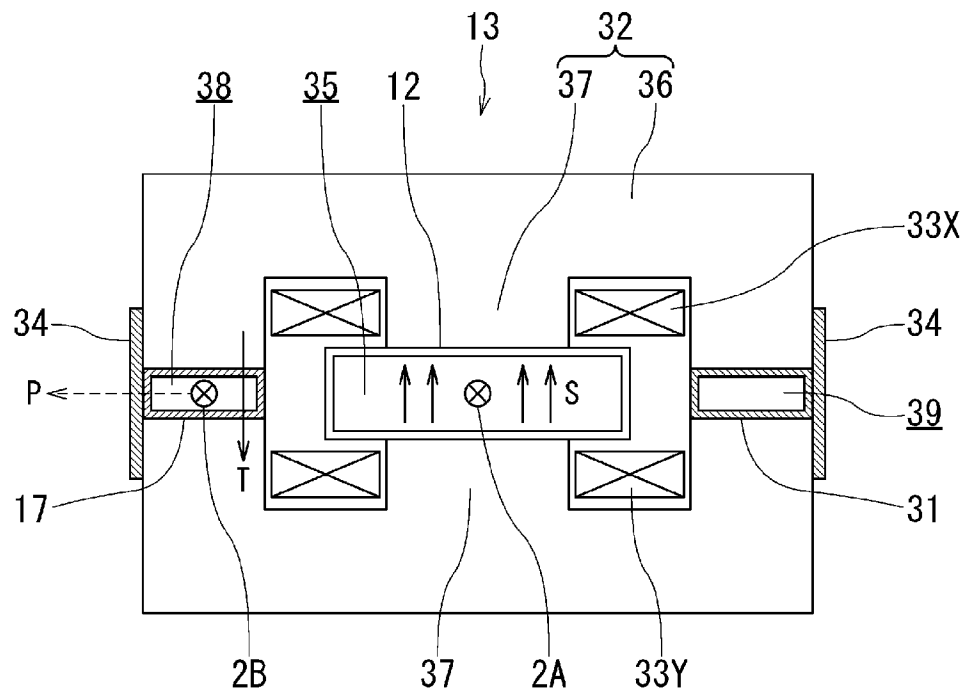
[図3]



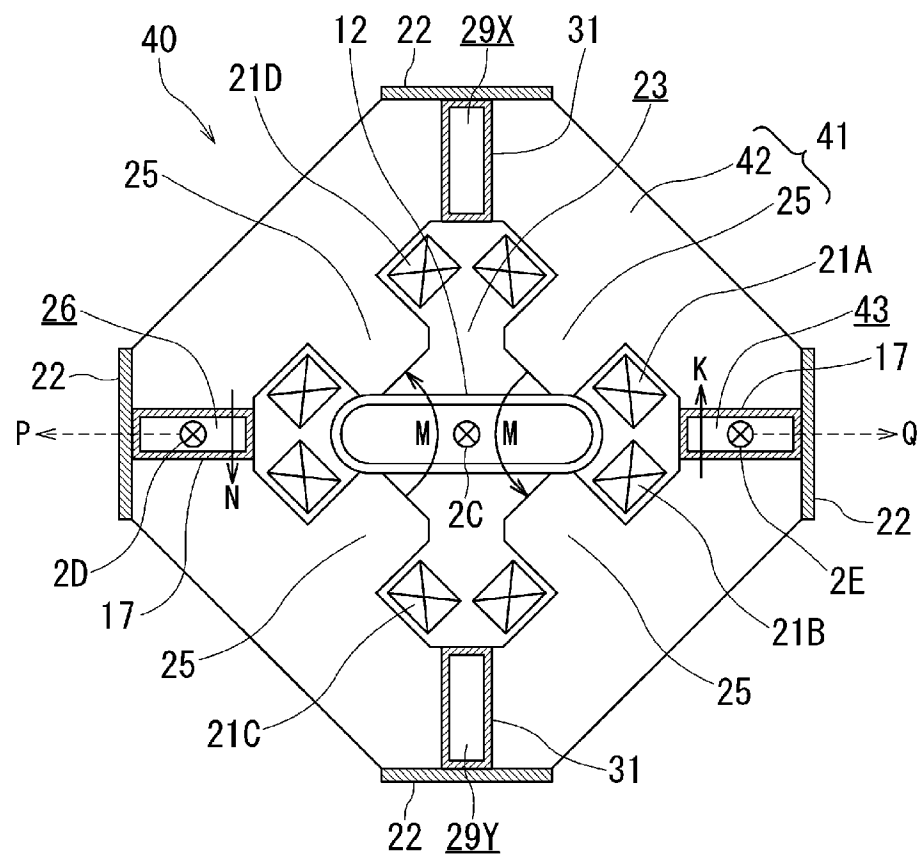
[図4]



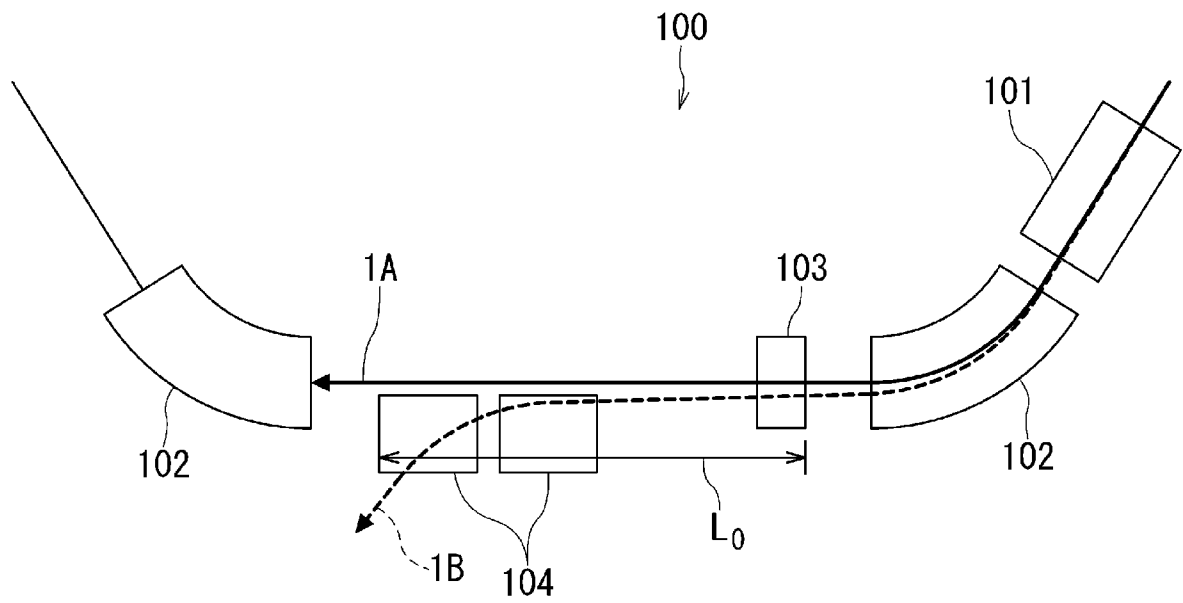
[図5]



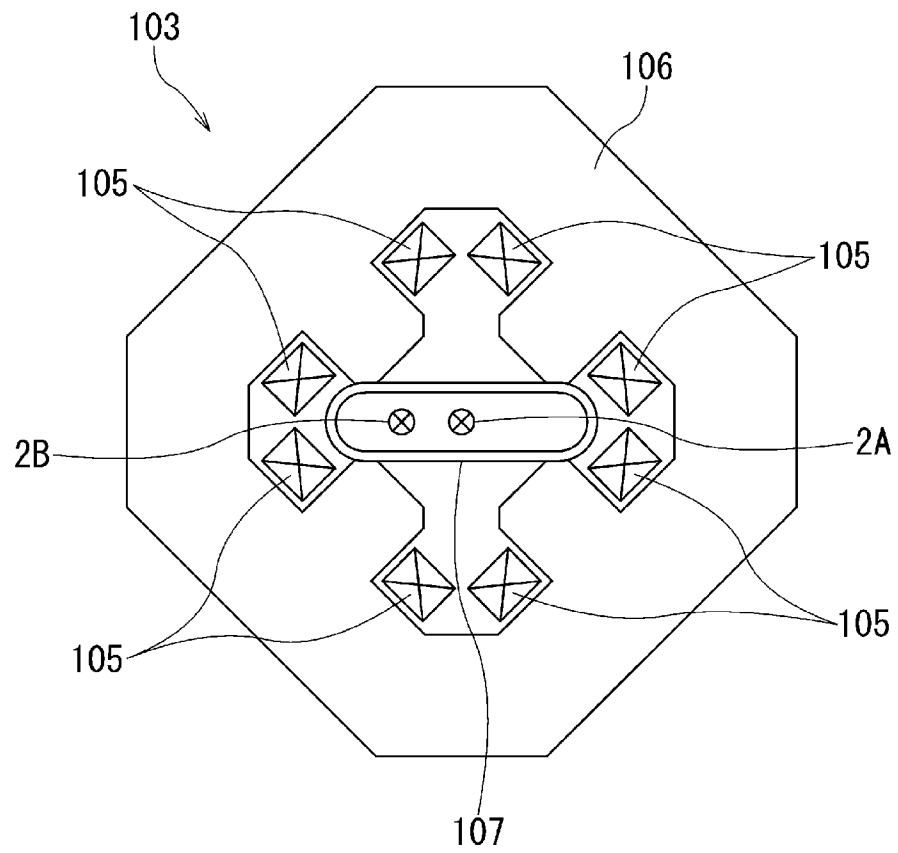
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/008972

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER H05H 7/04 (2006.01)i; H05H 13/04 (2006.01)i FI: H05H7/04; H05H13/04 G 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) H05H7/04; H05H13/04 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 1971-2022 Registered utility model specifications of Japan 1996-2022 Published registered utility model applications of Japan 1994-2022 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.
X	JP 11-339998 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 10 December 1999 (1999-12-10)	1, 6
Y	paragraphs [0001], [0010], fig. 1	2-5
Y	SAEIDI, F. et al. Magnet design for an ultralow emittance storage ring. Physical Review Accelerators and Beams. 22 March 2016., vol. 19, 032401, pp. 1-14	2-5
A	sections IV-V	1, 6
Y	OHNISHI, Y. et al. Upgrade Plan of KEKB. The 40th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity e+ e- Factories. 14 April 2008, pp. 23-27	4
A	fig. 5	1-3, 5-6
☐ 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 “T” 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 April 2022		Date of mailing of the international search report 17 May 2022
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 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/JP2022/008972

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 11-339998 A	10 December 1999	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H05H 7/04(2006.01)i; H05H 13/04(2006.01)i FI: H05H7/04; H05H13/04 G														
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）） H05H7/04; H05H13/04														
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 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2022年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2022年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922 - 1996年	日本国公開実用新案公報	1971 - 2022年	日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年	日本国登録実用新案公報	1994 - 2022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 - 2022年													
日本国実用新案登録公報	1996 - 2022年													
日本国登録実用新案公報	1994 - 2022年													
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）														
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												
X	JP 11-33998 A（三菱重工業株式会社）10.12.1999（1999 - 12 - 10） [0001], [0010], 図1	1, 6												
Y		2-5												
Y	F. Saeidi et al., Magnet design for an ultralow emittance strage ring, Physical Review Accelerators and Beams, 2016.03.22, Vol. 19, 032401, pp. 1-14	2-5												
A	Section IV. - V.	1, 6												
Y	OHNISHI Y. et al., Upgrade Plan of KEKB, The 40th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High Luminosity e+ e- Factories, 2008.04.14, pp. 23-27 Figure 5	4												
A		1-3, 5-6												
☐ 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 18.04.2022	国際調査報告の発送日 17.05.2022													
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） 中尾 太郎 2G 1765 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/JP2022/008972

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 11-339998 A	10.12.1999	(ファミリーなし)	