

(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  
2016年5月6日(06.05.2016)



(10) 国際公開番号  
WO 2016/067820 A1

- (51) 国際特許分類:  
A61N 5/10 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/077711
- (22) 国際出願日: 2015年9月30日(30.09.2015)
- (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 2014-219305 2014年10月28日(28.10.2014) JP  
特願 2015-117703 2015年6月10日(10.06.2015) JP
- (71) 出願人: 国立研究開発法人 放射線医学総合研究所(NATIONAL INSTITUTE OF RADIOLOGICAL SCIENCES) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 Chiba (JP). 株式会社 東芝 (KABUSHIKI KAISHA TOSHIBA) [JP/JP]; 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 古川 卓司 (FURUKAWA Takuji); 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 国立研究開発法人 放射線医学総合研究所内 Chiba (JP). 高山 茂貴 (TAKAYAMA Shigeki); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 矢澤 孝

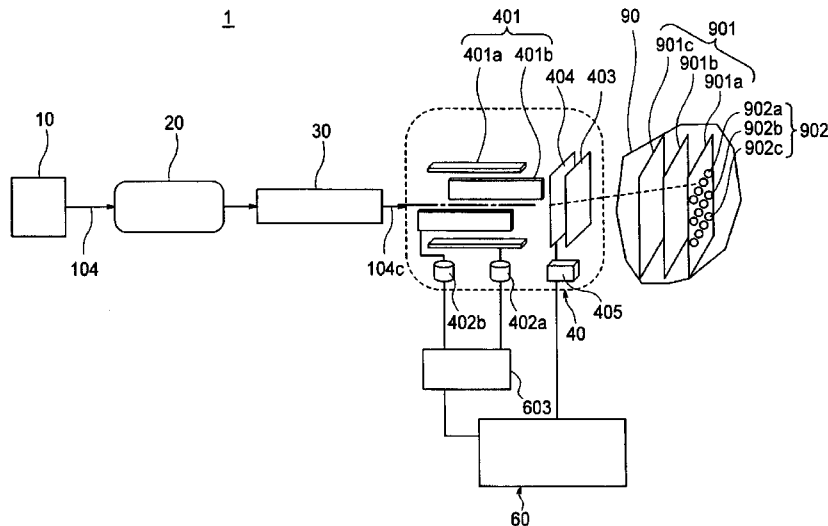
(YAZAWA Takashi); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 金井 芳治 (KANAI Yoshiharu); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 佐藤 耕輔 (SATO Kosuke); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 折笠 朝文 (ORIKASA Tomofumi); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP). 小柳 圭 (KOYANAGI Kei); 〒1058001 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社 東芝 知的財産室内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 勝沼 宏仁, 外 (KATSUNUMA Hirohito et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内1丁目6番6号 日本生命丸の内ビル 協和特許法律事務所 Tokyo (JP).
- (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, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, 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,

[続葉有]

(54) Title: CHARGED PARTICLE BEAM IRRADIATION DEVICE

(54) 発明の名称: 荷電粒子ビーム照射装置



(57) Abstract: Provided is a charged particle beam irradiation device capable of suppressing size increases and capable of securing a sufficient irradiation field. The charged particle beam irradiation device according to the present embodiment comprises a first scanning electromagnet part which deflects a charged particle beam that is incident from a first direction to a second direction substantially orthogonal to the first direction, and a second scanning electromagnet part which deflects the charged particle beam to a third direction substantially orthogonal to the first direction and the second direction. The first and second scanning electromagnet parts are arranged parallel to the first direction.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2016/067820 A1



QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

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).

(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,

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

大型化を抑制することができるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供する。本実施形態による荷電粒子ビーム照射装置は、荷電粒子ビームが入射する第 1 方向に実質的に直交する第 2 方向に前記前記荷電粒子ビームを偏向する第 1 走査電磁石部と、前記第 1 方向および前記第 2 方向に実質的に直交する第 3 方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第 2 走査電磁石部と、を備え、前記第 1 および第 2 走査電磁石部は、前記第 1 方向に対して並列に配置される。

## 明 細 書

発明の名称：荷電粒子ビーム照射装置

### 技術分野

[0001] 本発明の実施形態は、荷電粒子ビーム照射装置に関する。

### 背景技術

[0002] 癌などの患者の患部に重粒子線等の荷電粒子ビームを照射する荷電粒子ビーム照射装置が知られている。この荷電粒子ビーム照射装置は、ビーム発生装置で生成された荷電粒子ビームをビーム加速装置で加速し、ビーム輸送装置を経て治療室内のビーム照射装置によって患部に照射する装置である。このビーム照射装置は照射目標である患部の立体形状に合わせて照射する装置である。このビーム照射装置においては、2組の走査電磁石、例えば一組の水平方向走査電磁石および一組の垂直方向走査電磁石を直列に配置することにより、荷電粒子ビームを直交する2方向に走査する。

[0003] 様々な部位および大きさの異なる癌部に照射するため、照射可能な領域(照射野)は広く確保することが望ましい。照射野を広くする方式は大きく分けて二通りある。1つは、直列配置された2組の走査電磁石の位置と、荷電粒子ビームが照射される患者の位置とを大きく離す方式、もう1つは2組の走査電磁石の出力する磁場強度を上げるか、または軸長を延長する方式である。

[0004] 広い照射野を確保するために、直列に配置された2組の走査電磁石と患者の位置とを大きく離れた場合、荷電粒子ビーム照射装置の設置に必要な空間が大きくなってしまい、これらの装置を収納する建屋等が大きくなる。

[0005] 一方、走査電磁石が出力する磁場強度を上げるか軸長を延長した場合、ビーム進行方向下流の走査電磁石による磁場発生効率が低下し、十分な照射野を確保することができなくなってしまう。

### 先行技術文献

### 特許文献

[0006] 特許文献1：特開2010-125012号公報

## 発明の概要

### 発明が解決しようとする課題

[0007] 本実施形態は、大型化を抑制することができるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供する。

### 課題を解決するための手段

[0008] 本実施形態による荷電粒子ビーム照射装置は、荷電粒子ビームが入射する第1方向に実質的に直交する第2方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第1走査電磁石部と、前記第1方向および前記第2方向に実質的に直交する第3方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第2走査電磁石部と、を備え、前記第1および第2走査電磁石部は、前記第1方向に対して並列に配置される。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]第1実施形態による荷電粒子ビーム照射装置を示す図。

[図2]第1実施形態に用いられる走査電磁石を説明する図。

[図3]図3(a)乃至3(c)は、第1実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

[図4]図4(a)乃至4(c)は、第1実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

[図5]図5(a)乃至5(c)は、第1実施形態の変形例による走査電磁石を説明する図。

[図6]第2実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

[図7]第3実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

[図8]第3実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

[図9]第4実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

[図10]第4実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

[図11]第4実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

[図12]第5実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

[図13]第5実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

[図14]第6実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

[図15]第6実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

[図16]第7実施形態の垂直走査電磁石を説明する図。

[図17]第7実施形態の水平走査電磁石を説明する図。

[図18]第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石を示す図。

[図19]第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石の上面図。

[図20]第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石の断面図。

### 発明を実施するための形態

[0010] 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図面を参照して説明する。

[0011] (第1実施形態)

第1実施形態による荷電粒子ビーム照射装置を図1に示す。本実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1は、荷電粒子、例えば、負パイ中間子、陽子、ヘリウムイオン、炭素イオン、ネオンイオン、シリコンイオン、またはアルゴンイオンを治療照射用の粒子ビーム源とする照射装置1である。

[0012] 荷電粒子ビーム照射装置1は、図1に示すように、ビーム発生装置10、ビーム加速装置20、ビーム輸送装置30、ビーム照射装置40、および照射制御装置60を備え、例えば患者の患部90に荷電粒子ビーム104を照射する。

[0013] ビーム発生装置10は、荷電粒子ビームを発生する。

[0014] ビーム加速装置20は、荷電粒子ビーム104を所定のエネルギーに加速する装置である。この構成の一例として、前段加速装置と後段加速装置とで

構成されることがある。例えば、前段加速装置として直線加速器、後段加速装置としてシンクロトンで構成される例がある。構成要素としては、真空容器（配管）、高周波加速空洞、ビーム偏向装置（二極電磁石）、ビーム集束・発散装置（四極電磁石）、ビーム軌道補正装置（ステアリング電磁石）、入射装置、出射装置、および制御装置などがある。ビーム加速装置20の構成は任意とすることができるので、ここでは、詳述しない。加速器としてサイクロトロン等を選択しても構わない。

[0015] ビーム輸送装置30は、加速された荷電粒子ビーム104を被照射物へと、すなわち照射治療室内の患者の患部90へ輸送する装置である。その構成要素としては、真空容器（配管）、ビーム偏向装置（二極電磁石）、ビーム集束・発散装置（四極電磁石）、ビーム軌道補正装置（ステアリング電磁石）、および制御装置などである。

[0016] ビーム照射装置40は、ビーム輸送装置30の荷電粒子ビーム出口側に設けられ、ビーム輸送装置30を通過した特定エネルギーの荷電粒子ビーム104cが患者の患部90の設定された照射点902に正しく入射するように、荷電粒子ビーム104cの軌道を調節する。また、患部90における荷電粒子ビーム104cの照射位置および照射線量を監視する。このビーム照射装置40は、走査電磁石401、走査電磁石電源402、位置モニタ403、線量計404および線量計回路405を有する。

[0017] 走査電磁石401は、励磁電流の制御を受け、荷電粒子ビーム104cの垂直方向の軌道調節を行う一対の垂直走査電磁石401aと、荷電粒子ビーム104cの水平方向の軌道調節を行う一対の水平走査電磁石401bと、を有する。走査電磁石電源402は電磁石電源402a、402bを有している。電磁石電源402aは、走査電磁石401aに対して荷電粒子ビーム104cの走査に必要な励磁電流を供給する。電磁石電源402bは、走査電磁石401bに対して荷電粒子ビーム104cの走査に必要な励磁電流を供給する。一対の垂直走査電磁石401aおよび一対の水平走査電磁石401bについては、後で詳細に説明する。

- [0018] 位置モニタ403は、これを通過した荷電粒子ビーム104cの位置すなわち患者の患部90における荷電粒子ビームの入射位置の指標となる信号を出力し、照射制御装置60に送信する。なお、位置モニタ403としては、電離箱式などを用いることができる。
- [0019] 線量計404は、これを通過した荷電粒子ビーム104cの強度或いは線量すなわち患者の患部90に照射された荷電粒子ビームの強度ないし線量に応じた電気信号を出力する。なお、線量計404としては、電離箱式などを用いることができる。
- [0020] 線量計回路405は、線量計404から出力される電気信号を受信し、受け取った電気信号が予め設定された積算出力値に到達したとき、患者の患部90に設定された照射点902の線量満了を示す線量満了信号を照射制御装置60に送信する。
- [0021] 照射制御装置60は、患者の治療照射をどのように行うかを示す照射パターンデータを記録可能に構成され、この照射パターンデータを参照して荷電粒子ビーム照射装置1の全体制御を行う。なお、照射パターンデータは、治療照射の事前に行われる治療計画にて作成される最適照射情報を元にして作成される。
- [0022] この照射パターンデータには、患者の患部90を仮想的に切り分けた照射スライス901ごとに設定された照射点902の位置指標となる基準位置からみた水平方向の相対位置および垂直方向の相対位置、照射スライス901の位置指標すなわち体内深度の指標となる体内飛程、体内におけるビーム停止幅の指標となるビーム停止幅、各照射点902に照射すべきビーム強度および設定線量から構成されるもので、ビーム発生装置10、ビーム加速装置20、ビーム輸送装置30、およびビーム照射装置40の一部あるいはすべての動作制御に必要な情報が収められる。なお、ビーム停止幅は、荷電粒子ビームのエネルギー幅に基づく体内飛程の差により生ずるものである。また、照射パターンデータの内容は適宜変更できる。
- [0023] 照射制御装置60は、ビーム集束制御部601、エネルギー選択制御部6

02および走査制御部603を有する。

[0024] 走査制御部603は、所定の照射点902に対し荷電粒子ビーム104cが入射するよう、走査電磁石電源402の出力を制御し、走査電磁石401に印加する励磁電流を調節する。

[0025] (垂直走査電磁石および水平走査電磁石)

次に、垂直走査電磁石および水平走査電磁石について詳細に説明する。一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bは、図2に示すように、荷電粒子ビーム104cの進行に対して並列に配置されている。すなわち一对の垂直走査電磁石401aは垂直方向に配置され、一对の水平走査電磁石401bは、一对の垂直走査電磁石401aが配置された位置と同じ位置でかつ水平方向に配置される。そして、一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bは、直交する2方向、すなわち垂直方向および水平方向の走査を同時に行うように配置されている。

[0026] 一对の垂直走査電磁石401aの詳細について図3(a)乃至3(c)を参照して説明する。図3(a)是一对の垂直走査電磁石401aの上面図を示し、図3(b)是一对の垂直走査電磁石401aの側面図を示し、図3(c)は、図3(b)に示す切断面A-Aで切断した断面図を示す。

[0027] 一对の垂直走査電磁石401aは、中空形状の構造体401a3と、この構造体401a3の上側の表面に設けられたコイル部401a1と、構造体401a3の下側の表面に設けられたコイル部401a2と、を備えている。構造体401a3は、渦電流が生じない材料、例えば、非磁性金属、FRP(Fiber-Reinforced Plastic)等が用いられる。

[0028] コイル部401a1は、構造体401a3の上側の表面に設けられサドル形状のコイル401a1<sub>1</sub>と、このコイル401a1<sub>1</sub>の外側に設けられたコイル401a1<sub>2</sub>と、このコイル401a1<sub>2</sub>の外側に設けられたコイル401a1<sub>3</sub>と、を備えている、なお、各コイル401a1<sub>1</sub>、401a1<sub>2</sub>、401a1<sub>3</sub>は絶縁材で被覆されている。

[0029] コイル部401a2は、構造体401a3の下側の表面に設けられサドル



形状のコイル401a2<sub>1</sub>と、このコイル402a1<sub>1</sub>の外側に設けられたコイル401a2<sub>2</sub>と、このコイル401a2<sub>2</sub>の外側に設けられたコイル401a2<sub>3</sub>と、を備えている、なお、各コイル401a2<sub>1</sub>、401a2<sub>2</sub>、401a2<sub>3</sub>は絶縁材で被覆されている。各コイル401a1<sub>1</sub>~401a1<sub>3</sub>、401a2<sub>1</sub>~401a2<sub>3</sub>に励磁電流を流すことにより、垂直方向に磁場を発生する。なお、図3(a)乃至3(c)では、コイルは上側および下側にそれぞれ3個設けられていたが、それぞれ1個、2個、または4個以上設けてもよい。なお、図3(c)において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

[0030] 一对の水平走査電磁石401bの詳細について図4(a)乃至4(c)を参照して説明する。図4(a)是一对の水平走査電磁石401bの上面図を示し、図4(b)是一对の水平走査電磁石401bの側面図を示し、図4(c)は、図4(b)に示す切断面A-Aで切断した断面図を示す。

[0031] 一对の水平走査電磁石401bは、一对の垂直走査電磁石401aの外側に設けられた中空形状の構造体401b3と、この構造体401b3の一对の側面のうちの一方の側面に設けられたコイル部401b1と、構造体401b3の他方の側面に設けられたコイル部401b2と、を備えている。構造体401b3は、構造体401a3と同様に渦電流が生じない材料、例えば、非磁性金属、FRP(Fiber-Reinforced Plastic)等が用いられる。また、この時水平走査電磁石401bは垂直走査電磁石401aの内側に設けても良い。

[0032] コイル部401b1は、構造体401a3の一方の側面に設けられサドル形状のコイル401b1<sub>1</sub>と、このコイル401b1<sub>1</sub>の外側に設けられたコイル401b1<sub>2</sub>と、このコイル401b1<sub>2</sub>の外側に設けられたコイル401b1<sub>3</sub>と、を備えている、なお、各コイル401b1<sub>1</sub>、401b1<sub>2</sub>、401b1<sub>3</sub>は絶縁材で被覆されている。

[0033] コイル部401b2は、構造体401a3の他方の側面に設けられサドル形状のコイル401b2<sub>1</sub>と、このコイル401b2<sub>1</sub>の外側に設けられたコ

イル401b2<sub>2</sub>と、このコイル401b2<sub>2</sub>の外側に設けられたコイル401b2<sub>3</sub>と、を備えている、なお、各コイル401b2<sub>1</sub>、401b2<sub>2</sub>、401b2<sub>3</sub>は絶縁材で被覆されている。各コイル401b1<sub>1</sub>~401b1<sub>3</sub>、401b2<sub>1</sub>~401b2<sub>3</sub>に励磁電流を流すことにより、水平方向に磁場を発生する。なお、図4(a)乃至4(c)では、コイルは一对の側面にそれぞれ3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。なお、図4(c)において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

[0034] なお、本実施形態においては、図5(a)乃至5(c)に示すように、水平走査電磁石401bの外側にヨーク401cを設けることが好ましい。図5(a)は走査電磁石401からヨーク401cを除いた上面図を示し、図5(b)は走査電磁石401からヨーク401cを除いた側面図を示し、図5(c)は、図5(b)に示す切断面A-Aで切断した断面図を示す。このように、ヨーク401cを設けることにより、外部に磁場が漏れるのを抑制することができる。なお、図5(c)において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

[0035] (荷電粒子ビーム照射装置1の動作)

次に、荷電粒子ビーム照射装置1の動作を説明する。

[0036] 以下の動作用説明は、いわゆるスポットスキャンニング照射法を用いて治療照射を行う例に基づくものである。スポットスキャンニング照射法は、すでに加速器駆動型の粒子線照射技術にあっては確立されており、治療効果が高いことが確認されている照射方法である。

[0037] このスポットスキャンニング照射法は、患者の患部を仮想的に3次元格子点、すなわち、照射スライスおよびその照射スライスに設定される照射点に切り分け、患部の深さ方向(荷電粒子ビーム軸の方向)、患部の断面方向(荷電粒子ビーム軸と交わる方向)の各方向に荷電粒子ビームを走査する方法である。

[0038] 1つの照射点に照射された線量はその照射点に対する設定線量に到達したことを示す線量満了信号が生成されたタイミングで荷電粒子ビームの照射を

一旦停止させる。その後、荷電粒子ビームを次の照射点ないし照射スライスへと走査して照射を再開する。この操作を繰り返すことにより患部全域の照射が行われる。

[0039] 例えば、ターゲットとしてスライス面901a~901cのそれぞれに照射スポット（図ではスライス面901a上の照射点902）があるとする。まず始めに設定照射スポットに応じて各機器の調整が行われる。スライス面の変更は、ビームのエネルギーを変えることでなされる。エネルギーが高いほど深い側（図1の場合は、スライス面901a）にビームが届き、エネルギーが低いほど浅い側（図1の場合は、スライス面901c）に移動する。ビームのエネルギー変更はビーム加速装置20で加速するビームのエネルギーを低減させることで行う方法や、ビーム加速装置20で加速したビームに対しビーム輸送装置30またはビーム照射装置40で適当なフィルターを掛けることで行ってもよい。

[0040] 荷電粒子ビームのエネルギー選択に応じて、ビーム輸送装置30を構成する電磁石の励磁量も調節される。これにより、患者の患部90に到達する荷電粒子ビームの必要な強度が確保される。

[0041] そして、ビーム照射装置40における走査電磁石401の励磁電流が調節され、所定のエネルギーの荷電粒子ビームが照射点（たとえば照射点902a）に正しく入射するよう設定される。

[0042] 以上のようにして、各構成装置が調節された後、照射制御装置60の制御を受けて、ビーム発生装置10から荷電粒子ビーム104が射出される。

[0043] ビーム発生装置10から射出された荷電粒子ビーム104は、ビーム加速装置20による加速を受けた後、ビーム輸送装置30に案内される。このビーム輸送装置30では、荷電粒子ビーム104は例えばビーム偏向装置（図示せず）により形成される磁場に入射して運動量に応じて軌道を偏向することによって安定的にビーム照射装置40に案内される。ビーム照射装置40では、荷電粒子ビーム104cが走査電磁石401により形成される磁場に入射して水平方向および垂直方向の軌道が調節され、各スライス面上の照射

点(照射スライス901aの例では、設定された照射点902a)に向かって進み、照射点902aの治療照射が行われる。

[0044] このとき、照射制御装置60により、位置モニタ403の出力信号に基づいて軌道調節された荷電粒子ビーム104cが照射点902aに正しく入射しているか否かが監視される。

[0045] この照射点902aに対する荷電粒子ビームの照射は、線量計回路405から線量満了信号が出力されるまで継続して行われる。線量満了信号が出力され照射制御装置60に入力されたときは、次の照射点(例えば照射点902b)の照射に移行する。すなわち、照射制御装置60により照射パターンデータが参照され、次の照射点902bに荷電粒子ビームが入射するように走査電磁石401の励磁電流が調節され、再び照射制御装置60に線量満了信号が入力されるまで、照射点902bに対し荷電粒子ビームの照射が継続して行われる。このような操作が順次繰り返されることで、照射スライス901aに設定された全ての照射点902に対する照射が行われる。

[0046] 照射スライス901aの照射が完了したときは、次の照射スライス901bの照射に移行する。すなわち、照射制御装置60により照射パターンデータが参照され、照射スライス901bの位置で荷電粒子ビームが停止するようにビーム加速装置20の調節が行われ、この照射スライス901bの各照射点(図示省略)に荷電粒子ビームが入射するようにビーム照射装置40の調節が行われる。このような操作が順次繰り返されていき、最浅の照射スライス901cの照射へと移行する。

[0047] 次に、本実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1の作用を説明する。

[0048] 様々な部位および大きさの異なる癌部に照射するため、照射野は広く確保することが望ましい。照射野を大きくする方式は大きく分けて二通りある。一つは、直列配置された2組の走査電磁石の位置と、荷電粒子ビームが照射される患者の位置とを大きく離す方式、もう一つは2組の走査電磁石の出力する磁場強度を上げるか、または軸長を延長する方式である。

[0049] 広い照射野を確保するために、直列に配置された2組の走査電磁石と患者

の位置とを大きく離れた場合、荷電粒子ビーム照射装置の設置に必要な空間が大きくなってしまい、これらの装置を収納する建屋等が大きくなる。一方、走査電磁石が出力する磁場強度を上げるか軸長を延長した場合、ビーム進行方向下流の走査電磁石による磁場発生効率が低下し、十分な照射野を確保することができなくなってしまう。

[0050] そこで本発明者は、ビーム照射装置40として、並列に配置された一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bを用いることにより、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

[0051] (第2実施形態)

第2実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図6を参照して説明する。図6は第2実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石401Aを示す図である。この第2実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図1に示す第1実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、走査電磁石401を図6に示す走査電磁石401Aに置き換えた構成を有している。

[0052] この走査電磁石401Aは、図2に示す走査電磁石401を3段、荷電粒子ビーム104cの進行に対して直列に配置した構成を有している。すなわち、走査電磁石401Aは、荷電粒子ビーム104cの進行に対して並列に配置された一对の垂直走査電磁石401a<sub>1</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>1</sub>と、これらの走査電磁石401a<sub>1</sub>および401b<sub>1</sub>の後段に設けられかつ並列に配置された一对の垂直走査電磁石401a<sub>2</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>2</sub>と、これらの走査電磁石401a<sub>2</sub>および401b<sub>2</sub>の後段に設けられかつ並列に配置された一对の垂直走査電磁石401a<sub>3</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>3</sub>と、を備えている。

[0053] そして、後段の走査電磁石の口径は前段の走査電磁石の口径よりも大きい

。すなわち、 一对の垂直走査電磁石401a<sub>2</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>2</sub>の口径は、一对の垂直走査電磁石401a<sub>1</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>1</sub>の口径よりも大きく、一对の垂直走査電磁石401a<sub>3</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>3</sub>の口径は、一对の垂直走査電磁石401a<sub>2</sub>および一对の水平走査電磁石401b<sub>2</sub>の口径よりも大きい。

[0054] 図2に示す走査電磁石を複数段直列に配置し、かつ後段の走査電磁石の口径は前段の走査電磁石の口径よりも大きいように構成することにより、第1実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

[0055] (第3実施形態)

第3実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図7を参照して説明する。図7は第3実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石401Bを示す図である。この第3実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図1に示す第1実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、走査電磁石401を図7に示す走査電磁石401Bに置き換えた構成を有している。

[0056] この走査電磁石401Bは、並列に配置された一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bを備えている。一对の垂直走査電磁石401aおよび一对の水平走査電磁石401bは、荷電粒子ビーム104cの入射側から出射側に向かうにつれて口径が広がる形状を有している。なお、図7では、口径の広がる形状はビームの偏向に応じた形状であって楽器のラッパのそれと同じとなっているが、口径は、荷電粒子ビーム104cの入射側から出射側に向かうにつれて線形的に増加する形状であってもよい。

[0057] この第3実施形態における垂直走査電磁石401aの上側のコイル部401a1を図8に示す。この垂直走査電磁石401aは、荷電粒子ビーム10

4 c の入射側から出射側に向かうにつれて口径が増加する中空形状を有する構造体 4 0 1 a 3 を備えている。上側のコイル部 4 0 1 a 1 は、構造体 4 0 3 a 3 の上側の表面に設けられている。

[0058] 上側のコイル部 4 0 1 a 1 は、構造体 4 0 3 a 3 の上側の表面に設けられたコイル 4 0 1 a 1<sub>1</sub> と、このコイル 4 0 1 a 1<sub>1</sub> の外側に設けられたコイル 4 0 1 a 1<sub>2</sub> と、このコイル 4 0 1 a 1<sub>2</sub> の外側に設けられたコイル 4 0 1 a 1<sub>3</sub> とを備えている。

[0059] なお、図 3 ( a ) 乃至図 3 ( c ) に示した場合と同様に、垂直走査電磁石 4 0 1 a は、構造体 4 0 1 a 3 の下側の表面に設けられた下側のコイル部 ( 図示せず ) を備えており。この下側のコイル部も上側のコイル部 4 0 1 a 1 と同様に、複数のコイルを有し、これらのコイルは構造体の下側の表面に設けられる。なお、図 8 では、コイルは一对の側面にそれぞれ 3 個設けられていたが、1 個、2 個、または 4 個以上設けてもよい。

[0060] そして、図 4 ( a ) 乃至 4 ( c ) に示した場合と同様に、垂直走査電磁石 4 0 1 a の外側または内側に、水平走査電磁石のコイル部が設けられる。

[0061] このように構成された第 3 実施形態も第 1 実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

[0062] ( 第 4 実施形態 )

第 4 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図 9 を参照して説明する。図 9 は第 4 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石 4 0 1 C を示す図である。この第 4 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図 1 に示す第 1 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置 1 において、走査電磁石 4 0 1 を図 9 に示す走査電磁石 4 0 1 C に置き換えた構成を有している。

[0063] この走査電磁石 4 0 1 C は、第 1 走査電磁石部 4 0 1 C<sub>1</sub> と、この第 1 走査電磁石部 4 0 1 C<sub>1</sub> の後段に設けられた第 2 走査電磁石部 4 0 1 C<sub>2</sub> と、を備

えている。第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>は、この第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>に入射する荷電粒子ビーム104cに対して並列に配置された、一对の垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>および一对の水平走査電磁石410b<sub>1</sub>を備え、口径が入射側から出射側まで実質的に一定であるかまたは線形に増大する構造である。すなわち、第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>においては、口径が入射側から出射側に向かうにつれて変化率が実質的に0であるかまたは正の一定値であるように変化する構造を有している。ここで、口径の変化率とは、入射側から出射側に向かって距離 $\Delta z$ 移動したときに口径が $\Delta D$ 増大する場合に、比 $\Delta D / \Delta z$ を意味する。

[0064] 第2走査電磁石部401C<sub>2</sub>は、並列に配置された、一对の垂直走査電磁石410a<sub>2</sub>および一对の水平走査電磁石410b<sub>2</sub>を備え、口径が入射側から出射側に向かうにつれて第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>と異なる変化率で線形に増大するように構成されている。なお、第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>の出射側の口径と第2走査電磁石部401C<sub>2</sub>の入射側の口径は実質的に等しい。

[0065] この第4実施形態における垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>および垂直走査電磁石410a<sub>2</sub>に関する構造体410a<sub>3</sub>およびこの構造体410a<sub>3</sub>の上側の表面に設けられた第1コイル部410a<sub>1</sub>の一具体例を図10に示す。構造体410a<sub>3</sub>は、第1部分410a<sub>3</sub><sub>1</sub>と、この第1部分410a<sub>3</sub><sub>1</sub>に接続する第2部分410a<sub>3</sub><sub>2</sub>とを備えている。第1コイル部410a<sub>1</sub>は、垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>および垂直走査電磁石410a<sub>2</sub>を一体のコイルで形成した構成を有している。

[0066] この第1コイル部410a<sub>1</sub>は、構造体410a<sub>3</sub>の上側の表面に設けられたコイル410a<sub>1</sub><sub>1</sub>と、このコイル410a<sub>1</sub><sub>1</sub>の外側に設けられたコイル410a<sub>1</sub><sub>2</sub>と、このコイル410a<sub>1</sub><sub>2</sub>の外側に設けられたコイル410a<sub>1</sub><sub>3</sub>と、を備えている。なお、第1実施形態と同様に、各コイル410a<sub>1</sub><sub>1</sub>、410a<sub>1</sub><sub>2</sub>、410a<sub>1</sub><sub>3</sub>は、それぞれ絶縁材で被覆されている。各コイル410a<sub>1</sub><sub>1</sub>、410a<sub>1</sub><sub>2</sub>、410a<sub>1</sub><sub>3</sub>に、図1に示す電磁石電源402aを用いて励磁電流を流すことにより、垂直方向に磁場を発生する。なお、



図10では、コイルは構造体の上側の表面に3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。

[0067] 第1部分410a3<sub>1</sub>は、図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態における構造体401a3と同様に、中空形状を有している。第2部分410a3<sub>2</sub>は、口径が入射側から出射側に向かうに連れて線形に増加するチューブ形状を有している。第1部分410a3<sub>1</sub>の出射側の口径は第2部分410a3<sub>2</sub>の入射側の口径と実質的に等しい。コイル410a1<sub>1</sub>、410a1<sub>2</sub>、410a1<sub>3</sub>は、第1部分410a3<sub>1</sub>および第2部分410a3<sub>2</sub>に渡って形成される。

[0068] なお、垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>および垂直走査電磁石410a<sub>2</sub>のそれぞれの対となる第2コイル部(図示せず)は、図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410a3<sub>1</sub>および第2部分410a3<sub>2</sub>の下側の表面に設けられる。この第2コイル部も、図10に示す第1コイル部410a1と同様に、3つのコイルから構成される。図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第2コイル部の各コイルは、第1コイル部410a1の各コイル410a1<sub>1</sub>、410a1<sub>2</sub>、410a1<sub>3</sub>と同じサイズでかつ第1部分410a3<sub>1</sub>および第2部分410a3<sub>2</sub>の中心軸に対して、第1コイル部410a1の各コイル410a1<sub>1</sub>、410a1<sub>2</sub>、410a1<sub>3</sub>と対称の位置に形成される。

[0069] また、第4実施形態における水平走査電磁石410b<sub>1</sub>および水平走査電磁石410b<sub>2</sub>は、図11に示すように、構造体410b3と、この構造体410b3の一方の側面に設けられた第1コイル部410b1と、他方の側面に設けられた第2コイル部(図示せず)と、を有している。

[0070] 構造体410b3は、垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>および垂直走査電磁石410a<sub>2</sub>の外側に設けられ、第1部分410b1<sub>1</sub>と、この第1部分410b1<sub>1</sub>に接続する第2部分410b1<sub>2</sub>とを備えている。第1部分410a3<sub>1</sub>は、図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態における構造体401a3と同様に、中空形状を有している。第2部分410a3<sub>2</sub>は、口径が入射

側から出射側に向かうに連れて線形に増加するチューブ形状を有している。  
第1部分410a3<sub>1</sub>の出射側の口径は第2部分410a3<sub>2</sub>の入射側の口径と実質的に等しい。なお、水平走査電磁石410b<sub>1</sub>、410b<sub>2</sub>は、垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>、410a<sub>2</sub>の内側に設けてもよい。

[0071] 第1コイル部410b1は、構造体410b3の一方の側面に設けられたコイル410b1<sub>1</sub>と、このコイル410b1<sub>1</sub>の外側に設けられたコイル410b1<sub>2</sub>と、このコイル410b1<sub>2</sub>の外側に設けられたコイル410b1<sub>3</sub>と、を備えている。コイル410b1<sub>1</sub>、410b1<sub>2</sub>、410b1<sub>3</sub>は、第1部分410b3<sub>1</sub>および第2部分410b3<sub>2</sub>に渡って形成される。なお、第1実施形態と同様に、各コイル410b1<sub>1</sub>、410b1<sub>2</sub>、410b1<sub>3</sub>は、それぞれ絶縁材で被覆されている。各コイル410b1<sub>1</sub>、410b1<sub>2</sub>、410b1<sub>3</sub>に、図1に示す電磁石電源402bを用いて励磁電流を流すことにより、水平方向に磁場を発生する。なお、図11では、コイルは構造体の一方の側面にそれぞれ3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。

[0072] 水平走査電磁石410b<sub>1</sub>および水平走査電磁石410b<sub>2</sub>の対となる第2コイル部（図示せず）は、図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分410b3<sub>1</sub>および第2部分410b3<sub>2</sub>の他方の側面に設けられる。この第2コイル部も、図11に示す第1コイル部410b1と同様に、3つのコイルから構成される。図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第2コイル部の各コイルは、第1コイル部410b1の各コイル410b1<sub>1</sub>、410b1<sub>2</sub>、410b1<sub>3</sub>と実質的に同じサイズでかつ第1部分410b3<sub>1</sub>および第2部分410b3<sub>2</sub>の中心軸に対して、第1コイル部410b1の各コイル410b1<sub>1</sub>、410b1<sub>2</sub>、410b1<sub>3</sub>と対称の位置に形成される。

[0073] 図9に示す第4実施形態のように、走査電磁石401Cは、荷電粒子ビーム104cに対して並列に配置された一对の垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>および一对の水平走査電磁石410b<sub>1</sub>と、これらの走査電磁石410a<sub>1</sub>および4

410b<sub>1</sub>の後段に設けられかつ並列に配置された一対の垂直走査電磁石410a<sub>2</sub>および一対の水平走査電磁石410b<sub>2</sub>と、を備え、これらの走査電磁石410a<sub>2</sub>および410b<sub>2</sub>は口径が入射側から出射側に向かうにつれて線形に増大するように構成されているので、第1実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

なお、第4実施形態では、走査電磁石401Cは、第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>と、この第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>の後段に設けられた第2走査電磁石部401C<sub>2</sub>と、からなる2段構造を有していたが、3段以上の構造を有していてもよい。例えば、第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>と、この第1走査電磁石部401C<sub>1</sub>の後段に設けられた第2走査電磁石部401C<sub>2</sub>と、この第2走査電磁石部401C<sub>2</sub>の後段に設けられた第3走査電磁石と、からなる3段構造を有し、第3走査電磁石においては、入射側から出射側に向かうにつれて口径が前段の走査電磁石と異なる変化率で線形に増大する構造を有している。また、このような3段以上の構造は、後述する第5乃至第8実施形態においても適用することができる。

[0074] (第5実施形態)

第5実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図12および図13を参照して説明する。この第5実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、第5実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、図9に示す垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>、410a<sub>2</sub>のコイルをそれぞれの垂直走査電磁石に対応して設け、水平走査電磁石410b<sub>1</sub>、410b<sub>2</sub>のコイルをそれぞれの水平走査電磁石に対応して設けた構成を有している。

[0075] 図12は、第5実施形態の垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>、410a<sub>2</sub>それぞれの、構造体410a<sub>3</sub>の上側の表面に設けられた第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>、411a<sub>1</sub><sub>2</sub>を示す図である。第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>は、第1部分410

$a_{3_1}$ の上側の表面に設けられ、コイル $4_{11}a_{1_{11}}$ と、このコイル $4_{11}a_{1_{11}}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}a_{1_{12}}$ と、このコイル $4_{11}a_{1_{12}}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}a_{1_{13}}$ と、を備えている。第1コイル部 $4_{11}a_{1_2}$ は、第2部分 $4_{10}a_{3_2}$ の上側の表面に設けられ、コイル $4_{11}a_{1_{21}}$ と、このコイル $4_{11}a_{1_{21}}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}a_{1_{22}}$ と、このコイル $4_{11}a_{1_{22}}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}a_{1_{23}}$ と、を備えている。すなわち、第5実施形態の第1コイル部 $4_{11}a_{1_1}$ 、 $4_{11}a_{1_2}$ は、図10に示す第1コイル部 $4_{10}a_1$ を2つに分割した構成を有している。図12では、コイルは構造体の上側の表面にそれぞれ3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。

[0076] なお、これらの第1コイル部 $4_{11}a_{1_1}$ 、 $4_{11}a_{1_2}$ のそれぞれと対になる第2コイル部（図示せず）はそれぞれ、図3（a）、3（b）、3（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分 $4_{10}a_{3_1}$ および第2部分 $4_{10}a_{3_2}$ の下側の表面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図12に示す第1コイル部 $4_{11}a_{1_1}$ 、 $4_{11}a_{1_2}$ と同様に、3つのコイルから構成される。図3（a）、3（b）、3（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分 $4_{10}a_{3_1}$ の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 $4_{11}a_{1_1}$ の各コイル $4_{11}a_{1_{11}}$ 、 $4_{11}a_{1_{12}}$ 、 $4_{11}a_{1_{13}}$ と同じサイズでかつ第1部分 $4_{10}a_{3_1}$ の中心軸に対して、第1コイル部 $4_{11}a_{1_1}$ の各コイル $4_{11}a_{1_{11}}$ 、 $4_{11}a_{1_{12}}$ 、 $4_{11}a_{1_{13}}$ と対称の位置に形成される。また、第2部分 $4_{10}a_{3_2}$ の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 $4_{11}a_{1_2}$ の各コイル $4_{11}a_{1_{21}}$ 、 $4_{11}a_{1_{22}}$ 、 $4_{11}a_{1_{23}}$ と同じサイズでかつ第2部分 $4_{10}a_{3_2}$ の中心軸に対して、第1コイル部 $4_{11}a_{1_2}$ の各コイル $4_{11}a_{1_{21}}$ 、 $4_{11}a_{1_{22}}$ 、 $4_{11}a_{1_{23}}$ と対称の位置に形成される。

[0077] 図13は、第5実施形態の水平走査電磁石 $4_{10}b_1$ 、 $4_{10}b_2$ それぞれの、構造体 $4_{10}b_3$ の一方の側面に設けられた第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ 、 $4_{11}b_{1_2}$ を示す図である。第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ は、第1部分 $4_{10}$

$b_{3_1}$ の一方の側面に設けられ、コイル $4_{11}b_{1_1}$ と、このコイル $4_{11}b_{1_1}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}b_{1_2}$ と、このコイル $4_{11}b_{1_2}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}b_{1_3}$ と、を備えている。第1コイル部 $4_{11}b_{1_2}$ は、第2部分 $4_{10}b_2$ の一方の側面に設けられ、コイル $4_{11}b_{1_2}$ と、このコイル $4_{11}b_{1_2}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}b_{1_2_2}$ と、このコイル $4_{11}b_{1_2_2}$ の外側に設けられたコイル $4_{11}b_{1_2_3}$ と、を備えている。すなわち、第5実施形態の第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ 、 $4_{11}b_{1_2}$ は、図11に示す第1コイル部 $4_{10}b_1$ を2つに分割した構成を有している。図13では、コイルは構造体の一方の側面にそれぞれ3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。

[0078] なお、これらの第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ 、 $4_{11}b_{1_2}$ のそれぞれと対になる第2コイル部（図示せず）はそれぞれ、図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分 $4_{10}b_{3_1}$ および第2部分 $4_{10}b_{3_2}$ の他方の側面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図13に示す第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ 、 $4_{11}b_{1_2}$ と同様に、3つのコイルから構成される。図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分 $4_{10}b_{3_1}$ の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ の各コイル $4_{11}b_{1_1_1}$ 、 $4_{11}b_{1_1_2}$ 、 $4_{11}b_{1_1_3}$ と同じサイズでかつ第1部分 $4_{10}b_{3_1}$ の中心軸に対して、第1コイル部 $4_{11}b_{1_1}$ の各コイル $4_{11}b_{1_1_1}$ 、 $4_{11}b_{1_1_2}$ 、 $4_{11}b_{1_1_3}$ と対称の位置に形成される。また、第2部分 $4_{10}b_{3_2}$ の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 $4_{11}b_{1_2}$ の各コイル $4_{11}b_{1_2_1}$ 、 $4_{11}b_{1_2_2}$ 、 $4_{11}b_{1_2_3}$ と同じサイズでかつ第2部分 $4_{10}b_{3_2}$ の中心軸に対して、第1コイル部 $4_{11}b_{1_2}$ の各コイル $4_{11}b_{1_2_1}$ 、 $4_{11}b_{1_2_2}$ 、 $4_{11}b_{1_2_3}$ と対称の位置に形成される。

[0079] このように構成された第5実施形態においては、一对の垂直走査電磁石 $4_{10}a_1$ と、一对の垂直走査電磁石 $4_{10}a_2$ の励磁電流の強さを変えることが可能となるとともに、一对の水平走査電磁石 $4_{10}b_1$ と、一对の水平走査

電磁石 410b<sub>2</sub> の励磁電流の強さを変えることが可能となる。これにより、口径が入射側から出射側に向かって線形に増大する一対の垂直走査電磁石 410a<sub>2</sub> および一対の水平走査電磁石 410b<sub>2</sub> によって形成される磁場の強さを第 4 実施形態に比べて調整することができる。なお、この場合、一対の垂直走査電磁石 410a<sub>1</sub> に励磁電流を供給する第 1 電磁石電源と、一対の垂直走査電磁石 410a<sub>2</sub> に励磁電流を供給する第 2 電磁石電源を用意することが好ましく、一対の水平走査電磁石 410b<sub>1</sub> に励磁電流を供給する第 3 電磁石電源と、一対の水平走査電磁石 410b<sub>2</sub> に励磁電流を供給する第 4 電磁石電源を用意することが好ましい。

[0080] この第 5 実施形態も第 4 実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

[0081] (第 6 実施形態)

第 6 実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図 14 および図 15 を参照して説明する。この第 6 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、第 5 実施形態の荷電粒子ビーム照射装置 1 において、一対の垂直走査電磁石 410a<sub>2</sub> および一対の水平走査電磁石 410b<sub>2</sub> の構成するコイルの巻き線数を、一対の垂直走査電磁石 410a<sub>1</sub> および一対の水平走査電磁石 410b<sub>1</sub> の構成するコイルの巻き線数よりも多くした構造を有している。

[0082] 図 14 は、第 6 実施形態の垂直走査電磁石 410a<sub>1</sub>、410a<sub>2</sub> それぞれの、構造体 410a<sub>3</sub> の上側の表面に設けられた第 1 コイル部 411a<sub>11</sub>、411a<sub>12</sub> を示す図である。第 1 コイル部 411a<sub>11</sub> は、第 1 部分 410a<sub>31</sub> の上側の表面に設けられ、コイル 411a<sub>111</sub> と、このコイル 411a<sub>111</sub> の外側に設けられたコイル 411a<sub>112</sub> と、このコイル 411a<sub>112</sub> の外側に設けられたコイル 411a<sub>113</sub> と、を備えている。第 1 コイル部 411a<sub>12</sub> は、第 2 部分 410a<sub>32</sub> の上側の表面に設けられ、コイル 411a

1<sub>21</sub>と、このコイル4 1 1 a 1<sub>21</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 a 1<sub>22</sub>と、このコイル4 1 1 a 1<sub>22</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 a 1<sub>23</sub>と、このコイル4 1 1 a 1<sub>23</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 a 1<sub>24</sub>と、このコイル4 1 1 a 1<sub>24</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 a 1<sub>25</sub>と、を備えている。図14では、第1コイル部4 1 1 a 1<sub>1</sub>は第1部分4 1 0 a 3<sub>1</sub>の上側の表面に3個のコイルが設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。また、第1コイル部4 1 1 a 1<sub>2</sub>は第2部分4 1 0 a 3<sub>2</sub>の上側の表面に5のコイルが個設けられていたが、第1コイル部4 1 1 a 1<sub>1</sub>よりも多くのコイルを設ければよい。

[0083] これらの第1コイル部4 1 1 a 1<sub>1</sub>、4 1 1 a 1<sub>2</sub>のそれぞれと対になる第2コイル部（図示せず）はそれぞれ、図3（a）、3（b）、3（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分4 1 0 a 3<sub>1</sub>および第2部分4 1 0 a 3<sub>2</sub>の下側の表面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図14に示す第1コイル部4 1 1 a 1<sub>1</sub>および第1コイル部4 1 1 a 1<sub>2</sub>と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図3（a）、3（b）、3（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分4 1 0 a 3<sub>1</sub>の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部4 1 1 a 1<sub>1</sub>の各コイル4 1 1 a 1<sub>11</sub>、4 1 1 a 1<sub>12</sub>、4 1 1 a 1<sub>13</sub>と同じサイズでかつ第1部分4 1 0 a 3<sub>1</sub>の中心軸に対して、第1コイル部4 1 1 a 1<sub>1</sub>の各コイル4 1 1 a 1<sub>11</sub>、4 1 1 a 1<sub>12</sub>、4 1 1 a 1<sub>13</sub>と対称の位置に形成される。また、第2部分4 1 0 a 3<sub>2</sub>の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部4 1 1 a 1<sub>2</sub>の各コイル4 1 1 a 1<sub>21</sub>、4 1 1 a 1<sub>22</sub>、4 1 1 a 1<sub>23</sub>、4 1 1 a 1<sub>24</sub>、4 1 1 a 1<sub>25</sub>と、同じサイズでかつ第2部分4 1 0 a 3<sub>2</sub>の中心軸に対して、第1コイル部4 1 1 a 2の各コイル4 1 1 a 1<sub>21</sub>、4 1 1 a 1<sub>22</sub>、4 1 1 a 1<sub>23</sub>、4 1 1 a 1<sub>24</sub>、4 1 1 a 1<sub>25</sub>と対称の位置に形成される。

[0084] 図15は、第6実施形態の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>1</sub>、4 1 0 b<sub>2</sub>それぞれの、構造体4 1 0 b<sub>3</sub>の一方の側面に設けられた第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>、4 1 1 b 1<sub>2</sub>を示す図である。第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>は、第1部分4 1 0

b 3<sub>1</sub>の一方の側面に設けられ、コイル4 1 1 b 1<sub>11</sub>と、このコイル4 1 1 b 1<sub>11</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 b 1<sub>12</sub>と、このコイル4 1 1 b 1<sub>12</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 b 1<sub>13</sub>と、を備えている。第1コイル部4 1 1 b 1<sub>2</sub>は、第2部分4 1 0 b 3<sub>2</sub>の一方の側面に設けられ、コイル4 1 1 b 1<sub>21</sub>と、このコイル4 1 1 b 1<sub>21</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 b 1<sub>22</sub>と、このコイル4 1 1 b 1<sub>22</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 b 1<sub>23</sub>と、このコイル4 1 1 b 1<sub>23</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 b 1<sub>24</sub>と、このコイル4 1 1 b 1<sub>24</sub>の外側に設けられたコイル4 1 1 b 1<sub>24</sub>と、を備えている。図15では、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>は第1部分4 1 0 b 3<sub>1</sub>の一方の側面に3個設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。また、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>2</sub>は第2部分4 1 0 b 3<sub>2</sub>の一方の側面に5個のコイルが設けられていたが、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>よりも多くのコイルを設ければよい。

[0085] なお、これらの第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>、4 1 1 b 1<sub>2</sub>のそれぞれと対になる第2コイル部（図示せず）はそれぞれ、図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分4 1 0 b 3<sub>1</sub>および第2部分4 1 0 b 3<sub>2</sub>の他方の側面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図15に示す第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>および第1コイル部4 1 1 b 1<sub>2</sub>と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図3（a）、3（b）、3（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分4 1 0 a 3<sub>1</sub>の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>の各コイル4 1 1 b 1<sub>11</sub>、4 1 1 b 1<sub>12</sub>、4 1 1 b 1<sub>13</sub>と同じサイズでかつ第1部分4 1 0 b 3<sub>1</sub>の中心軸に対して、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>1</sub>の各コイル4 1 1 b 1<sub>11</sub>、4 1 1 b 1<sub>12</sub>、4 1 1 b 1<sub>13</sub>と対称の位置に形成される。また、第2部分4 1 0 b 3<sub>2</sub>の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>2</sub>の各コイル4 1 1 b 1<sub>21</sub>、4 1 1 b 1<sub>22</sub>、4 1 1 b 1<sub>23</sub>、4 1 1 b 1<sub>24</sub>、4 1 1 b 1<sub>25</sub>と同じサイズでかつ第2部分4 1 0 b 3<sub>2</sub>の中心軸に対して、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>2</sub>の各コイル4 1 1 b 1<sub>21</sub>、4 1 1 b 1<sub>22</sub>



、 $411b1_{23}$ 、 $411b1_{24}$ 、 $411b1_{25}$ と対称の位置に形成される。

[0086] このように構成された第6実施形態においては、一对の垂直走査電磁石 $410a_1$ と、一对の垂直走査電磁石 $410a_2$ では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の垂直走査電磁石 $410a_1$ と一对の垂直走査電磁石 $410a_2$ に同じ励磁電流を流しても、一对の垂直走査電磁石 $410a_2$ によって形成される磁場を一对の垂直走査電磁石 $410a_1$ によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の垂直走査電磁石 $410a_1$ と一对の垂直走査電磁石 $410a_2$ に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

[0087] また、一对の水平走査電磁石 $410b_1$ と、一对の水平走査電磁石 $410b_2$ では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の水平走査電磁石 $410b_1$ と一对の水平走査電磁石 $410b_2$ に同じ励磁電流を流しても、一对の水平走査電磁石 $410b_2$ によって形成される磁場を一对の水平走査電磁石 $410b_1$ によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の水平走査電磁石 $410b_1$ と一对の水平走査電磁石 $410b_2$ に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

[0088] この第6実施形態も第5実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

[0089] (第7実施形態)

第7実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図16および図17を参照して説明する。この第7実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、第4実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、一对の垂直走査電磁石 $410a_2$ および一对の水平走査電磁石 $410b_2$ の構成するコイルの巻き線数を、一对の垂直走査電磁石 $410a_1$ および一对の水平走査電磁石 $410b_1$ の構成するコイルの巻き線数よりも多くした構造を有している。

[0090] 図16は、第7実施形態の垂直走査電磁石410a<sub>1</sub>、410a<sub>2</sub>それぞれの、構造体410a<sub>3</sub>の上側の表面に設けられた第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>、411a<sub>1</sub><sub>2</sub>を示す図である。第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>2</sub>は、第2部分410a<sub>3</sub><sub>2</sub>の上側の表面に設けられ、コイル411a<sub>1</sub><sub>1</sub>と、このコイル411a<sub>1</sub><sub>1</sub>の外側に設けられたコイル411a<sub>1</sub><sub>2</sub>と、このコイル411a<sub>1</sub><sub>2</sub>の外側に設けられたコイル411a<sub>1</sub><sub>3</sub>と、このコイル411a<sub>1</sub><sub>3</sub>の外側に設けられたコイル411a<sub>1</sub><sub>4</sub>と、このコイル411a<sub>1</sub><sub>4</sub>の外側に設けられたコイル411a<sub>1</sub><sub>5</sub>と、を備えている。なお、コイル411a<sub>1</sub><sub>3</sub>、コイル411a<sub>1</sub><sub>4</sub>、およびコイル411a<sub>1</sub><sub>5</sub>は、第1部分410a<sub>3</sub><sub>1</sub>の上側の表面に延在し、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>を構成する。図16では、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>は3個のコイルが設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。また、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>2</sub>は5個のコイルが設けられていたが、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>よりも多くのコイルを設ければよい。

[0091] これらの第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>、411a<sub>1</sub><sub>2</sub>のそれぞれと対になる第2コイル部（図示せず）はそれぞれ、図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410a<sub>3</sub><sub>1</sub>および第2部分410a<sub>3</sub><sub>2</sub>の下側の表面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図16に示す第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>および第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>2</sub>と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図3(a)、3(b)、3(c)に示す第1実施形態と同様に、第1部分410a<sub>3</sub><sub>1</sub>の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>の各コイル411a<sub>1</sub><sub>3</sub>、411a<sub>1</sub><sub>4</sub>、411a<sub>1</sub><sub>5</sub>と同じサイズでかつ第1部分410a<sub>3</sub><sub>1</sub>の中心軸に対して、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>1</sub>の各コイル411a<sub>1</sub><sub>3</sub>、411a<sub>1</sub><sub>4</sub>、411a<sub>1</sub><sub>5</sub>と対称の位置に形成される。また、第2部分410a<sub>3</sub><sub>2</sub>の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>2</sub>の各コイル411a<sub>1</sub><sub>1</sub>、411a<sub>1</sub><sub>2</sub>、411a<sub>1</sub><sub>3</sub>、411a<sub>1</sub><sub>4</sub>、411a<sub>1</sub><sub>5</sub>と、同じサイズでかつ第2部分410a<sub>3</sub><sub>2</sub>の中心軸に対して、第1コイル部411a<sub>1</sub><sub>2</sub>の各コイル411a<sub>1</sub><sub>1</sub>、411a<sub>1</sub><sub>2</sub>、411a<sub>1</sub><sub>3</sub>

、 $411a1_4$ 、 $411a1_5$ と対称の位置に形成される。

[0092] 図17は、第6実施形態の水平走査電磁石 $410b_1$ 、 $410b_2$ それぞれの、構造体 $410b_3$ の一方の側面に設けられた第1コイル部 $411b1_1$ 、 $411b1_2$ を示す図である。第1コイル部 $411b1_2$ は、第2部分 $410b3_2$ の一方の側面に設けられ、コイル $411b1_{11}$ と、このコイル $411b1_{11}$ の外側に設けられたコイル $411b1_{12}$ と、このコイル $411b1_{12}$ の外側に設けられたコイル $411b1_{13}$ と、このコイル $411b1_{13}$ の外側に設けられたコイル $411b1_{14}$ と、このコイル $411b1_{14}$ の外側に設けられたコイル $411b1_{15}$ と、を備えている。なお、コイル $411b1_{13}$ 、コイル $411b1_{14}$ 、およびコイル $411a1_{15}$ は、第1部分 $410b3_1$ の上側の表面に延在し、第1コイル部 $411b1_1$ を構成する。図17では、第1コイル部 $411b1_1$ は3個のコイルが設けられていたが、1個、2個、または4個以上設けてもよい。また、第1コイル部 $411b1_2$ は5個のコイルが設けられていたが、第1コイル部 $411b1_1$ よりも多くのコイルを設ければよい。

[0093] これらの第1コイル部 $411b1_1$ 、 $411b1_2$ のそれぞれと対になる第2コイル部（図示せず）はそれぞれ、図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分 $410b3_1$ および第2部分 $410b3_2$ の他方の側面に設けられる。この第2コイル部もそれぞれ、図16に示す第1コイル部 $411b1_1$ および第1コイル部 $411b1_2$ と同様にそれぞれ、3つおよび5つのコイルから構成される。図4（a）、4（b）、4（c）に示す第1実施形態と同様に、第1部分 $410b3_1$ の他方の側面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 $411b1_1$ の各コイル $411b1_3$ 、 $411b1_4$ 、 $411b1_5$ と同じサイズでかつ第1部分 $410b3_1$ の中心軸に対して、第1コイル部 $411b1_1$ の各コイル $411b1_3$ 、 $411b1_4$ 、 $411b1_5$ と対称の位置に形成される。また、第2部分 $410b3_2$ の下側の表面に形成された第2コイル部の各コイルは、第1コイル部 $411b1_2$ の各コイル $411b1_1$ 、 $411b1_2$ 、 $411b1_3$ 、 $411b1_4$ 、 $4$

1 1 b 1<sub>5</sub>と、同じサイズでかつ第2部分4 1 0 a 3<sub>2</sub>の中心軸に対して、第1コイル部4 1 1 b 1<sub>2</sub>の各コイル4 1 1 b 1<sub>1</sub>、4 1 1 b 1<sub>2</sub>、4 1 1 b 1<sub>3</sub>、4 1 1 b 1<sub>4</sub>、4 1 1 b 1<sub>5</sub>と対称の位置に形成される。

[0094] このように構成された第7実施形態においては、一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>1</sub>と、一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>2</sub>では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>1</sub>と一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>2</sub>に同じ励磁電流を流しても、一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>2</sub>によって形成される磁場を一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>1</sub>によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>1</sub>と一对の垂直走査電磁石4 1 0 a<sub>2</sub>に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

[0095] また、一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>1</sub>と、一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>2</sub>では、コイルの巻き線数を変えたので、一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>1</sub>と一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>2</sub>に同じ励磁電流を流しても、一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>2</sub>によって形成される磁場を一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>1</sub>によって形成される磁場よりも強くすることができる。すなわち、一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>1</sub>と一对の水平走査電磁石4 1 0 b<sub>2</sub>に対して同じ電磁石電源を用いて励磁電流を供給することができる。

[0096] この第7実施形態も第4実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。

[0097] (第8実施形態)

第8実施形態による荷電粒子ビーム照射装置について図18を参照して説明する。図18は第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置に用いられる走査電磁石4 0 1 Dを示す図である。この第8実施形態の荷電粒子ビーム照射装置は、図1に示す第1実施形態の荷電粒子ビーム照射装置1において、走査

電磁石401を図9に示す走査電磁石401Dに置き換えた構成を有している。

[0098] この第8実施形態の走査電磁石401Dは、第4乃至第7実施形態のいずれかの走査電磁石において、水平走査電磁石410b<sub>1</sub>、410b<sub>2</sub>の外側にヨーク401cを設けた構成を有している。なお、水平走査電磁石の口径が垂直走査電磁石の口径よりも小さい場合は、ヨーク401cは垂直走査電磁石の外側に設けられる。図18は、第4実施形態の水平走査電磁石410b<sub>1</sub>、410b<sub>2</sub>の外側にヨーク420を設けた場合の断面図である。

[0099] 本実施形態においては、ヨーク420は、内部の口径が、水平走査電磁石410b<sub>1</sub>、410b<sub>2</sub>の外形に沿った形状を有している。すなわち、水平走査電磁石410b<sub>1</sub>に対応する部分の口径は実質的に一定であるかまたは線形に増大する構造であり、水平走査電磁石410b<sub>2</sub>に対応する部分の口径は水平走査電磁石410b<sub>1</sub>と異なる変化率で線形に増加する。また、ヨーク420の外径は実質的に一定である。このため、荷電粒子104cが出射される出射側では、入射側に比べてヨーク420の肉厚は薄くなっている。

[0100] 本実施形態の走査電磁石401Dの上面図および断面図を図19および図20に示す。この図19は、ヨーク420の一部を切断した上面図である。ヨーク420は、垂直走査電磁石のコイル部410a1と長手方向の長さはほぼ同じ長さを有している。なお、図20において、符号104cは荷電粒子ビームを示す。

[0101] ヨーク420は少なくとも2つ以上に分割される。一般的にはY方向またはX方向に2分割される。図20では、矢印で示すようにY方向に2分割される。ヨーク420の内周面の加工およびコイル組立が容易となる構造をしている。ヨーク420の内周面はコイル部410a1の外周面と接触するか近接する大きさであり、鉄などの磁性体で構成されることで磁場の強度を増大すると共に、漏れ磁場を低減している。

[0102] 本実施形態の走査電磁石401Dは交流で駆動するため、ヨーク420は、電磁鋼板などの薄い鉄板を長手方向に複数枚積層し樹脂で接着した構成を

有している。これによりヨーク420の発熱や渦電流による誤差磁場を低減することができる。

[0103] また、ヨーク420においては、上記の通りヨーク420の内周面はコイル部410a1の外周面と接触するか近接する大きさである。しかし、ヨーク420の外周面は外径一定としている。このような形状をヨーク420が有することで、口径が小さく磁場強度が強い位置ではヨーク420は肉厚に、口径が大きく磁場強度が弱い位置ではヨーク420は肉薄になり、ヨーク420の磁場強度を高める効果を効率的に得ると共に製作性の良いヨークを得ることができる。

[0104] 第8実施形態も第4実施形態と同様に、荷電粒子ビーム照射装置が荷電粒子ビームの進行方向に長くなることを抑制することができるとともに、口径の増加を必要最小限に抑えることができる。これにより、大型化を抑制することが可能になるとともに、十分な照射野を確保することのできる荷電粒子ビーム照射装置を提供することができる。更に、ヨーク420を設けたことにより、外部に磁場が漏れるのを抑制することができる。

[0105] 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る。これらの実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、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ものである。

## 請求の範囲

- [請求項1] 荷電粒子ビームが入射する第1方向に実質的に直交する第2方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第1走査電磁石部と、  
前記第1方向および前記第2方向に実質的に直交する第3方向に前記荷電粒子ビームを偏向する第2走査電磁石部と、  
を備え、前記第1および第2走査電磁石部は、前記第1方向に対して並列に配置される荷電粒子ビーム照射装置。
- [請求項2] 前記第1走査電磁石部は、中空形状の第1構造体と、前記第1構造体の前記第2方向において対向する第1および第2面にそれぞれ設けられた第1および第2コイルと、を備え、  
前記第2走査電磁石部は、前記第1構造体および前記第1コイルならびに前記第2コイルを覆う中空形状の第2構造体と、前記第2構造体の前記第3方向において対向する第3および第4面にそれぞれ設けられた第3および第4コイルと、を備えている請求項1記載の荷電粒子ビーム照射装置。
- [請求項3] 前記第1走査電磁石部は、前記第1方向に沿って配列された複数段の第1走査電磁石を有し、  
前記第2走査電磁石部は、前記第1方向に沿って配列され、前記複数段の第1走査電磁石に対応して設けられた複数段の第2走査電磁石を有し、  
各第1走査電磁石は対応する第2走査電磁石と共に前記第1方向に並列に配置され、  
前記第1走査電磁石および前記第2走査電磁石は、前段よりも後段の口径が大きい、請求項1記載の荷電粒子ビーム照射装置。
- [請求項4] 各第1走査電磁石は、中空形状の第1構造体と、前記第1構造体の前記第2方向において対向する第1および第2面にそれぞれ設けられた第1および第2コイルと、を備え、  
各第2走査電磁石は、前記第1構造体および前記第1コイルならび

に前記第2コイルを覆う中空形状の第2構造体と、前記第2構造体の前記第3方向において対向する第3および第4面にそれぞれ設けられた第3および第4コイルと、を備えている請求項3記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項5] 前記第1および第2走査電磁石部は、前記第1方向に沿って前記荷電粒子ビームの入射側から口径が連続的に大きくなるように構成されている請求項1記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項6] 前記第1走査電磁石部は、前記第1方向に沿って前記荷電粒子ビームの入射側から口径が連続的に大きくなる中空形状の第1構造体と、前記第1構造体の前記第2方向において対向する第1および第2面にそれぞれ設けられた第1および第2コイルと、を備え、

前記第2走査電磁石部は、前記第1構造体および前記第1コイルならびに前記第2コイルを覆い、前記第1方向に沿って前記荷電粒子ビームの入射側から口径が連続的に大きくなる中空形状の第2構造体と、前記第2構造体の前記第3方向において対向する第3および第4面にそれぞれ設けられた第3および第4コイルと、を備えている請求項5記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項7] 前記第1走査電磁石部および前記第2走査電磁石部の外側に設けられた中空形状のヨークを更に備えた請求項1記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項8] 前記第1走査電磁石部は、前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで実質的に一定であるかまたは線形に増大する口径を有する第1走査電磁石と、前記第1走査電磁石の後段に配置され前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで線形に増大する口径を有する第2走査電磁石と、を備え前記第1走査電磁石の出射側の口径と前記第2走査電磁石の入射側の口径が実質的に同じであり、

前記第2走査電磁石部は、前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで実質的に一定であるかまたは線形に増大する口径を有する第3走



査電磁石と、前記第3走査電磁石の後段に配置され前記荷電粒子ビームの入射側から出射側まで線形に増大する口径を有する第4走査電磁石と、を備え前記第3走査電磁石の出射側の口径と前記第4走査電磁石の入射側の口径が実質的に同じである請求項1記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項9]

前記第1および第2走査電磁石は、中空形状の第1構造体と、前記第1構造体の前記第2方向において対向する第1および第2面のうちの前記第1面に設けられた第1コイル部と、前記第2面に設けられたおよび第2コイル部と、を備え、

前記第3および第4走査電磁石は、前記第1構造体および前記第1コイル部および第2コイル部を覆う中空形状の第2構造体と、前記第2構造体の前記第3方向において対向する第3および第4面のうちの前記第3面に設けられた第3コイル部と、前記第4面に設けられた第4コイル部と、を備え、

前記第1構造体は、入射側の口径が出射側の口径と実質的に同一であるかまたは線形に増大する第1部分と、前記第1部分に接続しかつ口径が出射側に向かって線形に増大する第2部分と、を有し、

前記第2構造体は、入射側の口径が出射側の口径と実質的に同一であるかまたは線形に増大する第3部分と、前記第3部分に接続しかつ口径が出射側に向かって線形に増大する第4部分と、を有している請求項8記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項10]

前記第1コイル部は前記第1構造体の前記第1部分および第2部分に渡って設けられた第1コイルを有し、

前記第2コイル部は前記第1構造体の前記第1部分および第2部分に渡って設けられた第2コイルを有し、

前記第3コイル部は前記第2構造体の前記第3部分および第4部分に渡って設けられた第3コイルを有し、

前記第4コイル部は前記第2構造体の前記第3部分および第4部分

に渡って設けられた第4コイルを有する請求項9記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項11] 前記第1コイルは、前記第2部分に設けられた部分の巻き線数が前記第1部分に設けられた部分の巻き線数よりも多く、

前記第2コイルは、前記第2部分に設けられた部分の巻き線数が前記第1部分に設けられた部分の巻き線数よりも多く、

前記第3コイルは、前記第4部分に設けられた部分の巻き線数が前記第3部分に設けられた部分の巻き線数よりも多く、

前記第4コイルは、前記第4部分に設けられた部分の巻き線数が前記第3部分に設けられた部分の巻き線数よりも多い請求項9記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項12] 前記第1コイル部は、前記第1構造体の前記第1部分に設けられた第1コイルと、前記第2部分に設けられた第2コイルと、を有し、

前記第2コイル部は、前記第1構造体の前記第1部分に設けられた第3コイルと、前記第2部分に設けられた第4コイルと、を有し、

前記第3コイル部は、前記第2構造体の前記第3部分に設けられた第5コイルと、前記第4部分に設けられた第6コイルと、を有し、

前記第4コイル部は、前記第2構造体の前記第3部分に設けられた第7コイルと、前記第4部分に設けられた第8コイルと、を有する請求項9記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項13] 前記第2コイルは前記第1コイルよりも巻き線数が多く、前記第4コイルは前記第3コイルよりも巻き線数が多く、前記第6コイルは前記第5コイルよりも巻き線数が多く、前記第8コイルは前記第7コイルよりも巻き線数が多い請求項12記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項14] 前記第1走査電磁石部および前記第2走査電磁石部の外側に設けられた中空形状のヨークを更に備えた請求項8記載の荷電粒子ビーム照射装置。

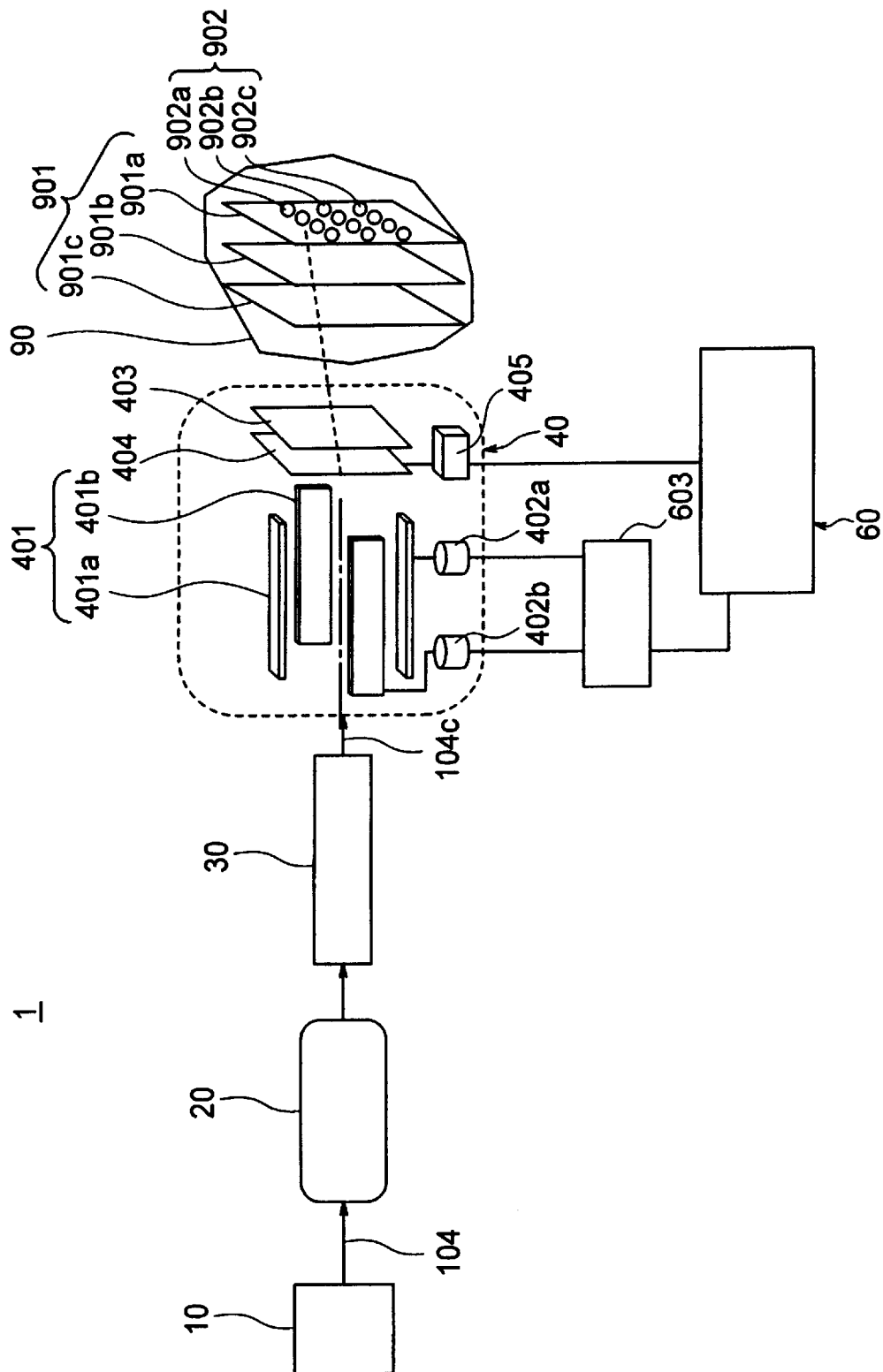
[請求項15] 前記ヨークは、前記第1走査電磁石部および前記第2走査電磁石部

のうちの口径大きな方の電磁石部の外形に沿って形状の口径を有する請求項 1 4 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

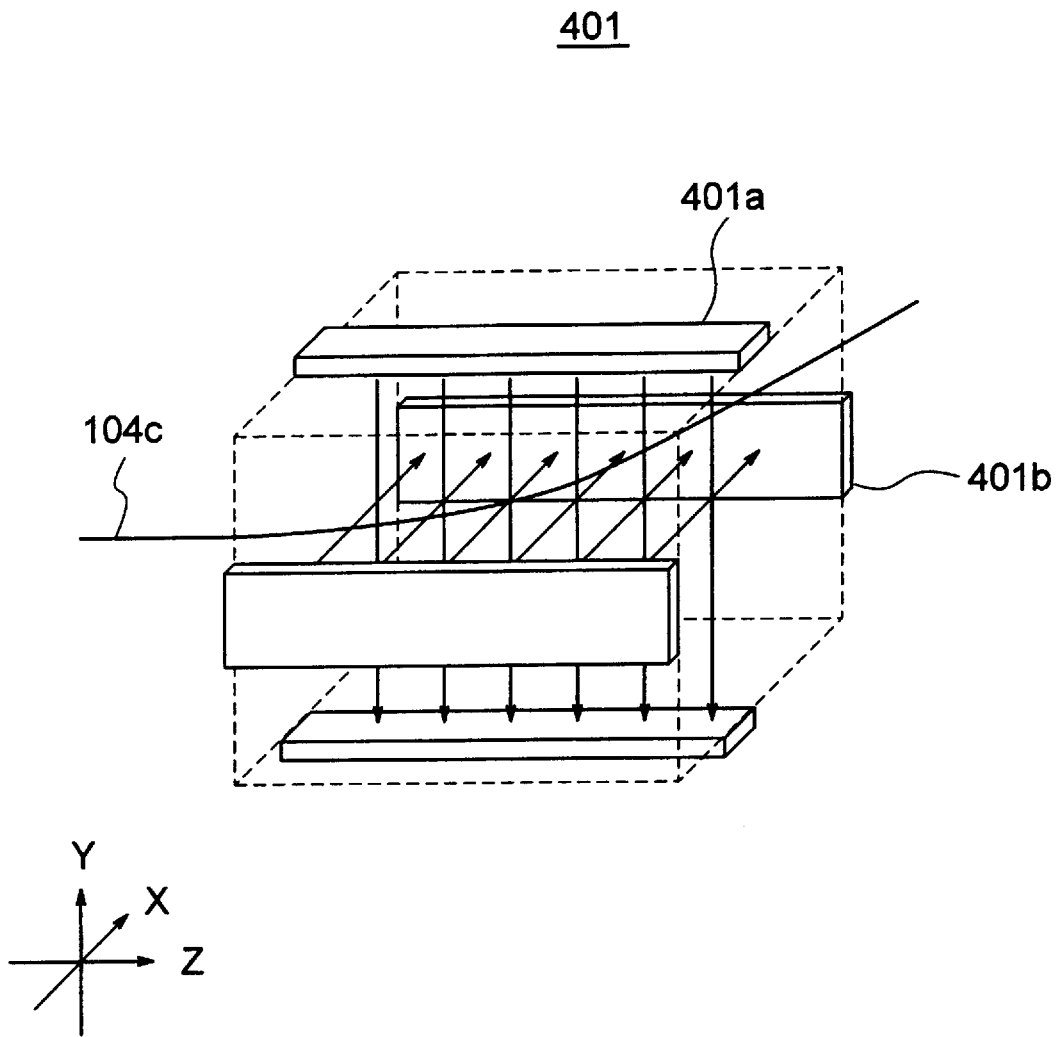
[請求項16] 前記ヨークは、前記荷電粒子ビームの出射側における厚さが、前記荷電粒子ビームの入射側における厚さよりも薄い請求項 1 4 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

[請求項17] 前記ヨークは、前記第 1 方向に沿って鉄板が積層された構造を有している請求項 1 4 記載の荷電粒子ビーム照射装置。

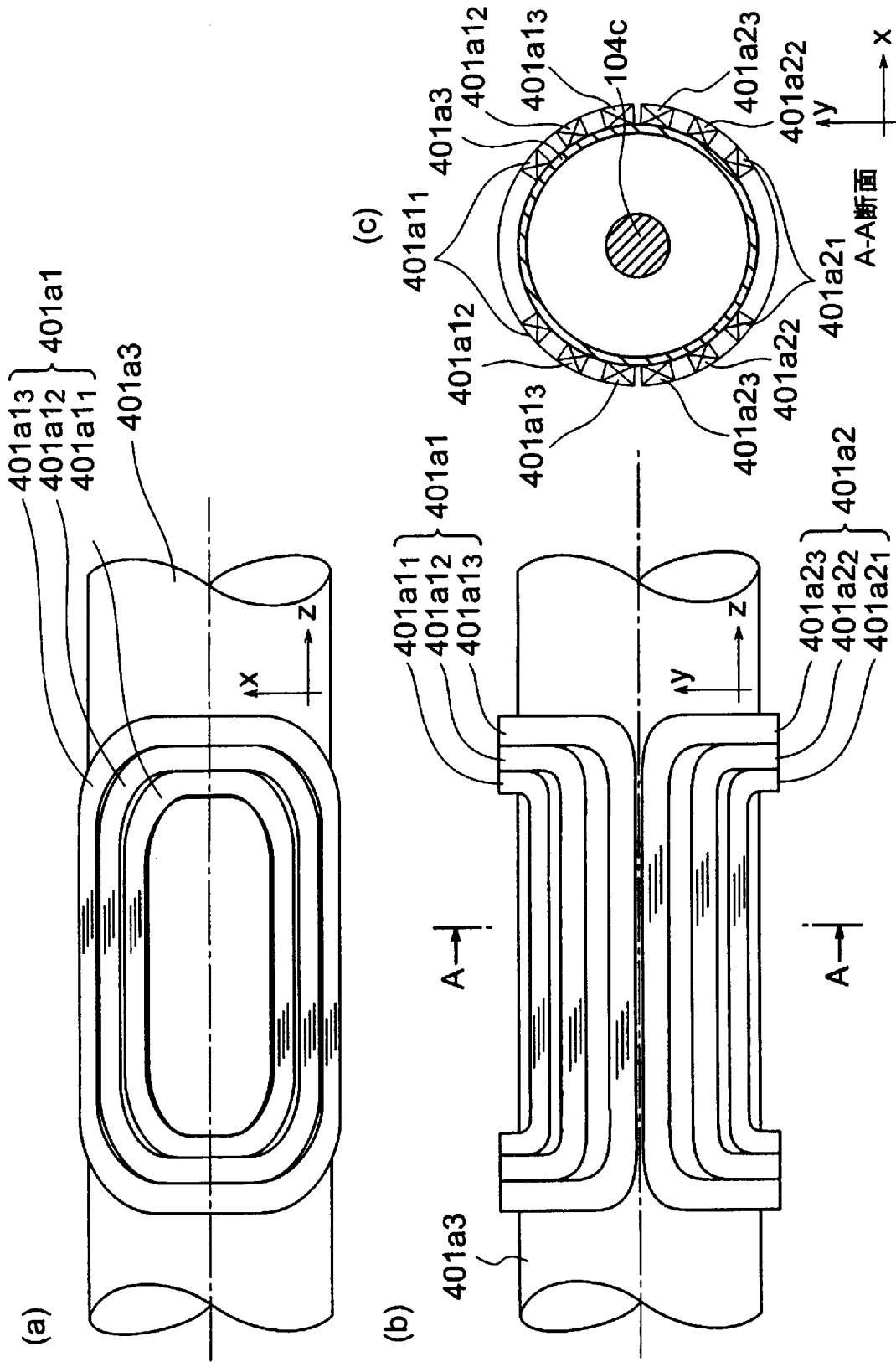
[図1]



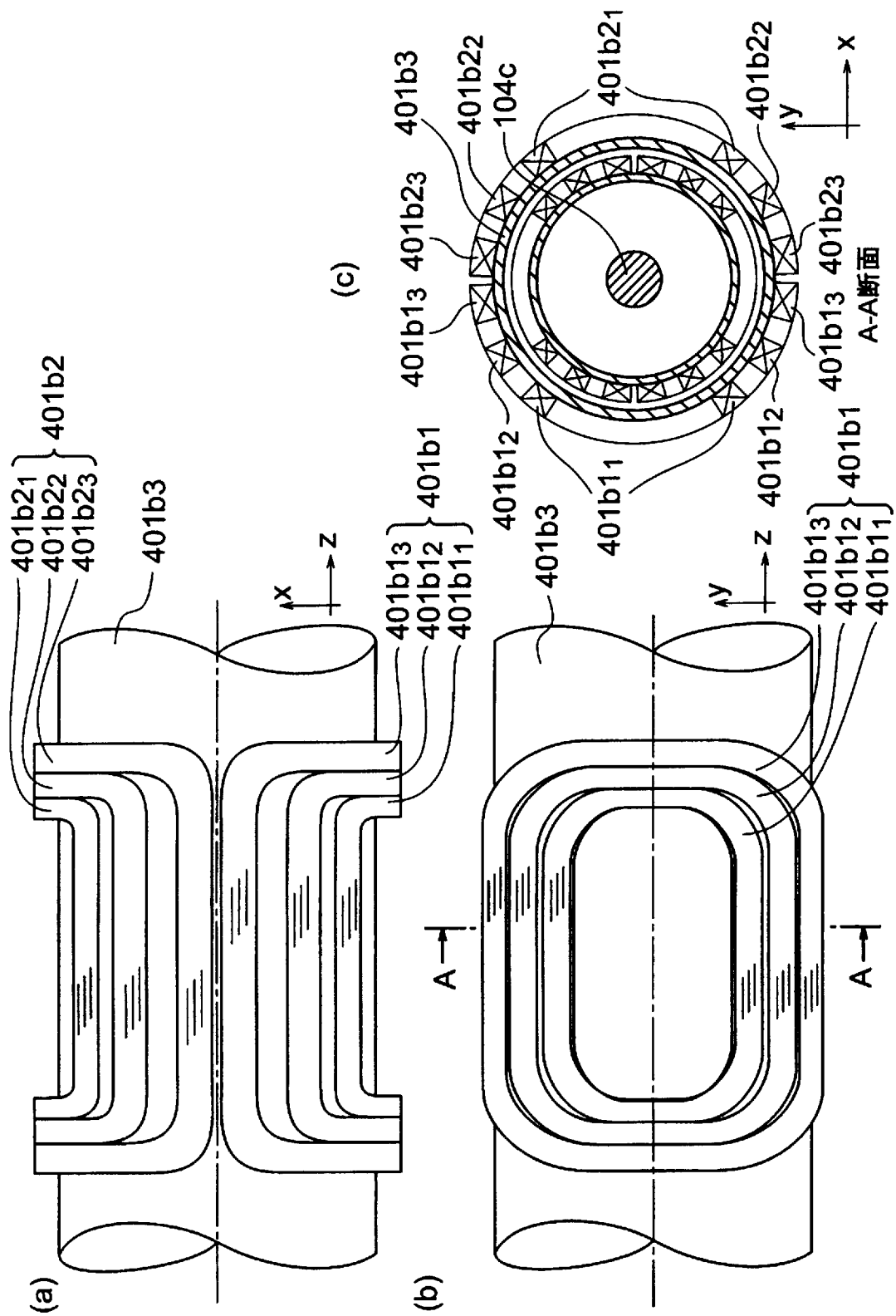
[図2]



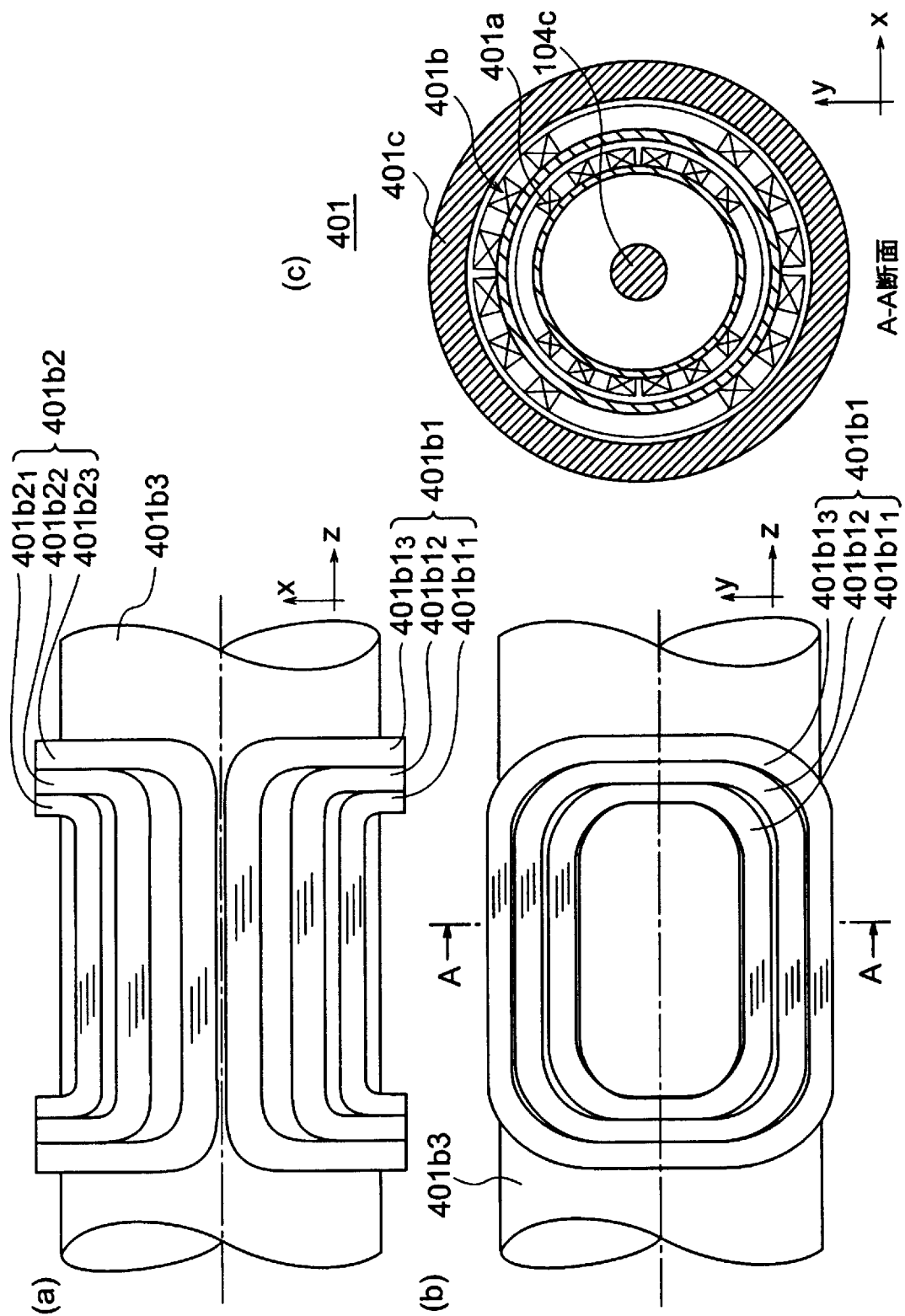
[図3]



[図4]

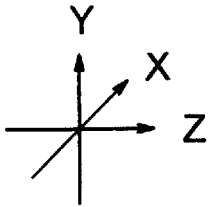
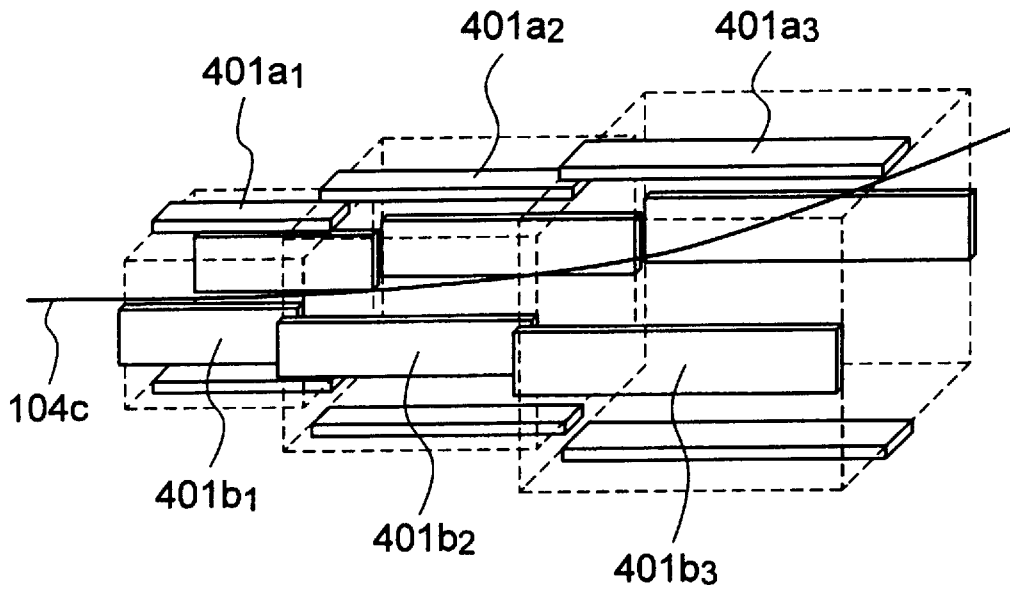


[図5]

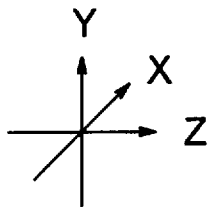
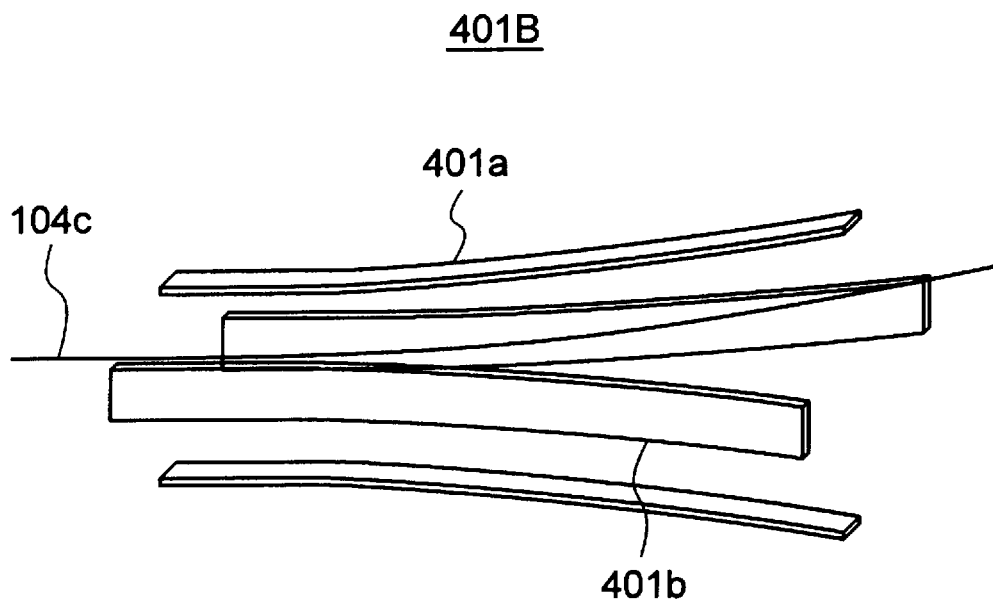




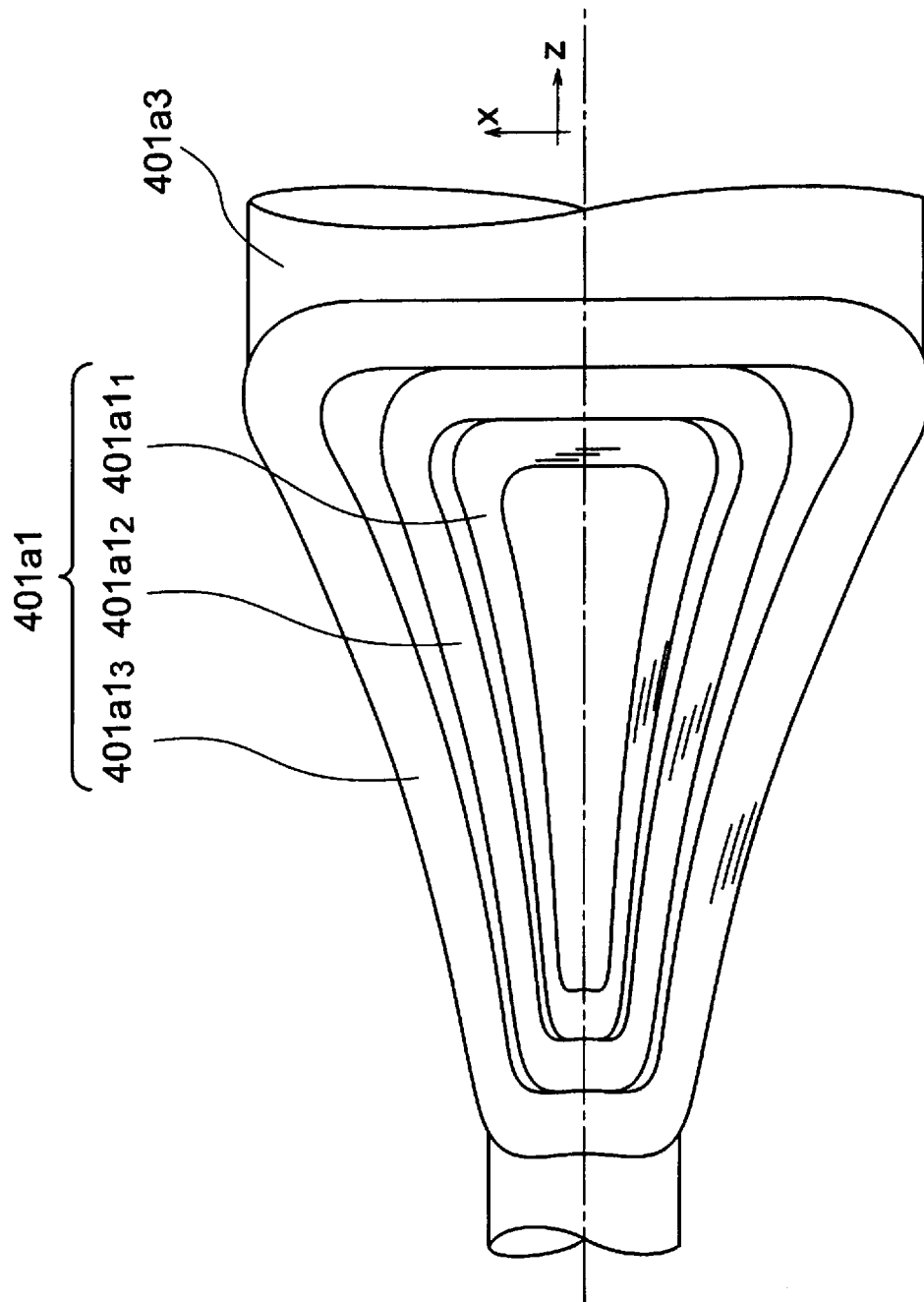
[図6]

401A

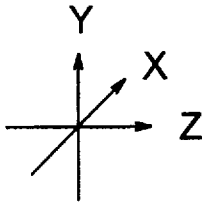
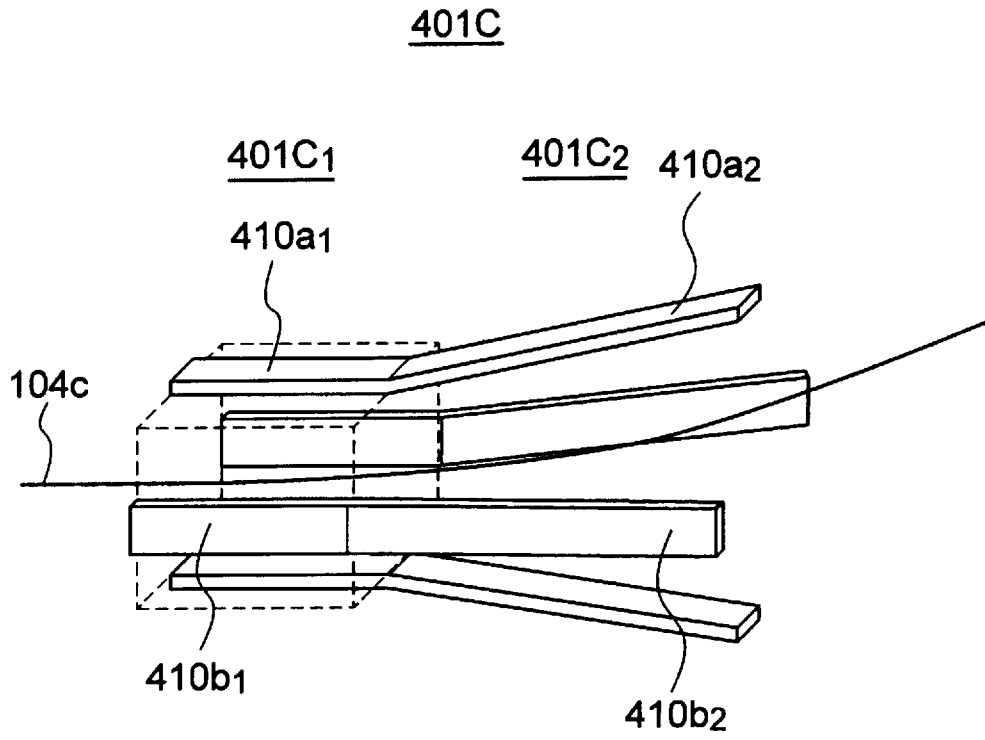
[図7]



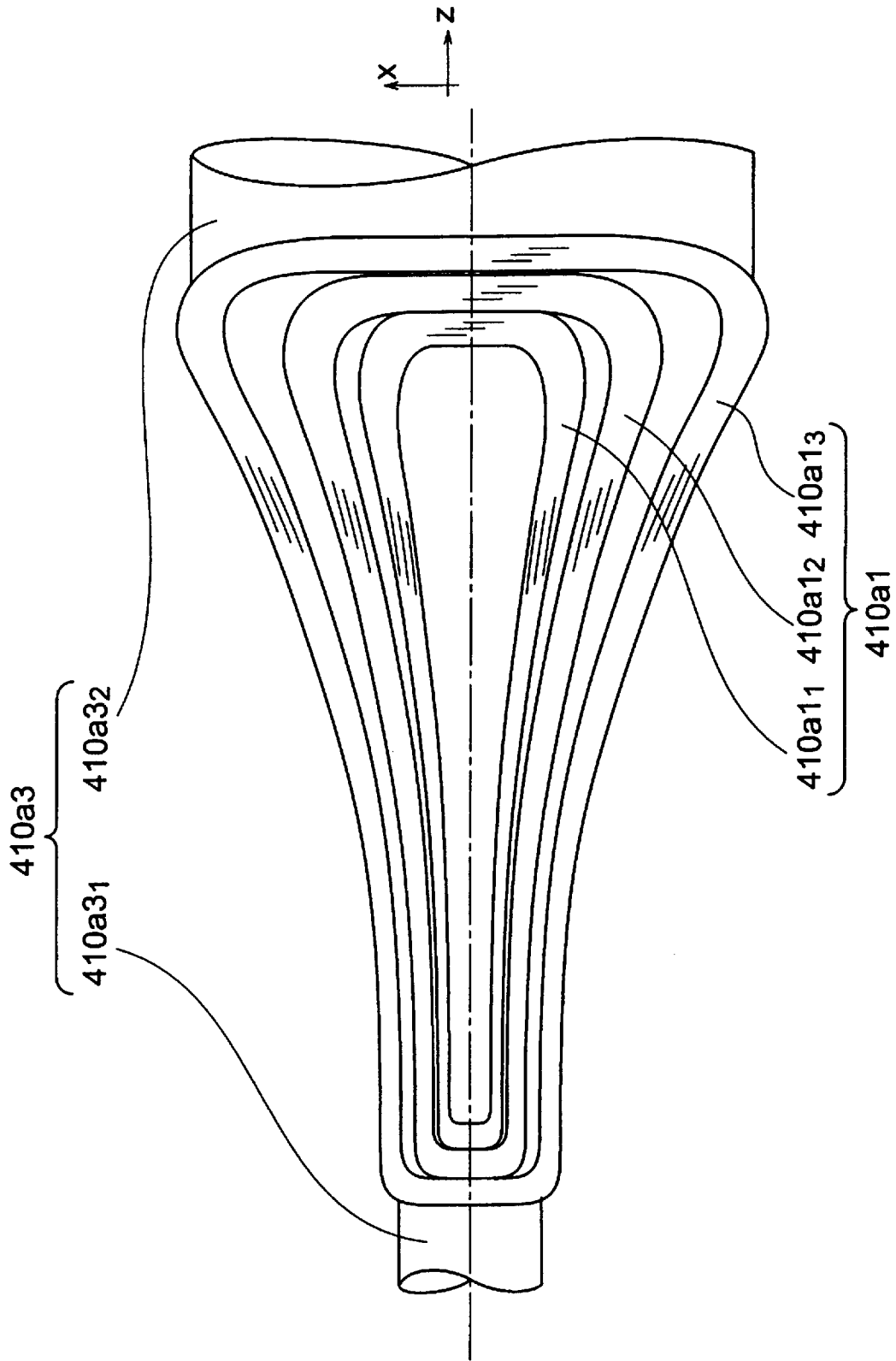
[図8]



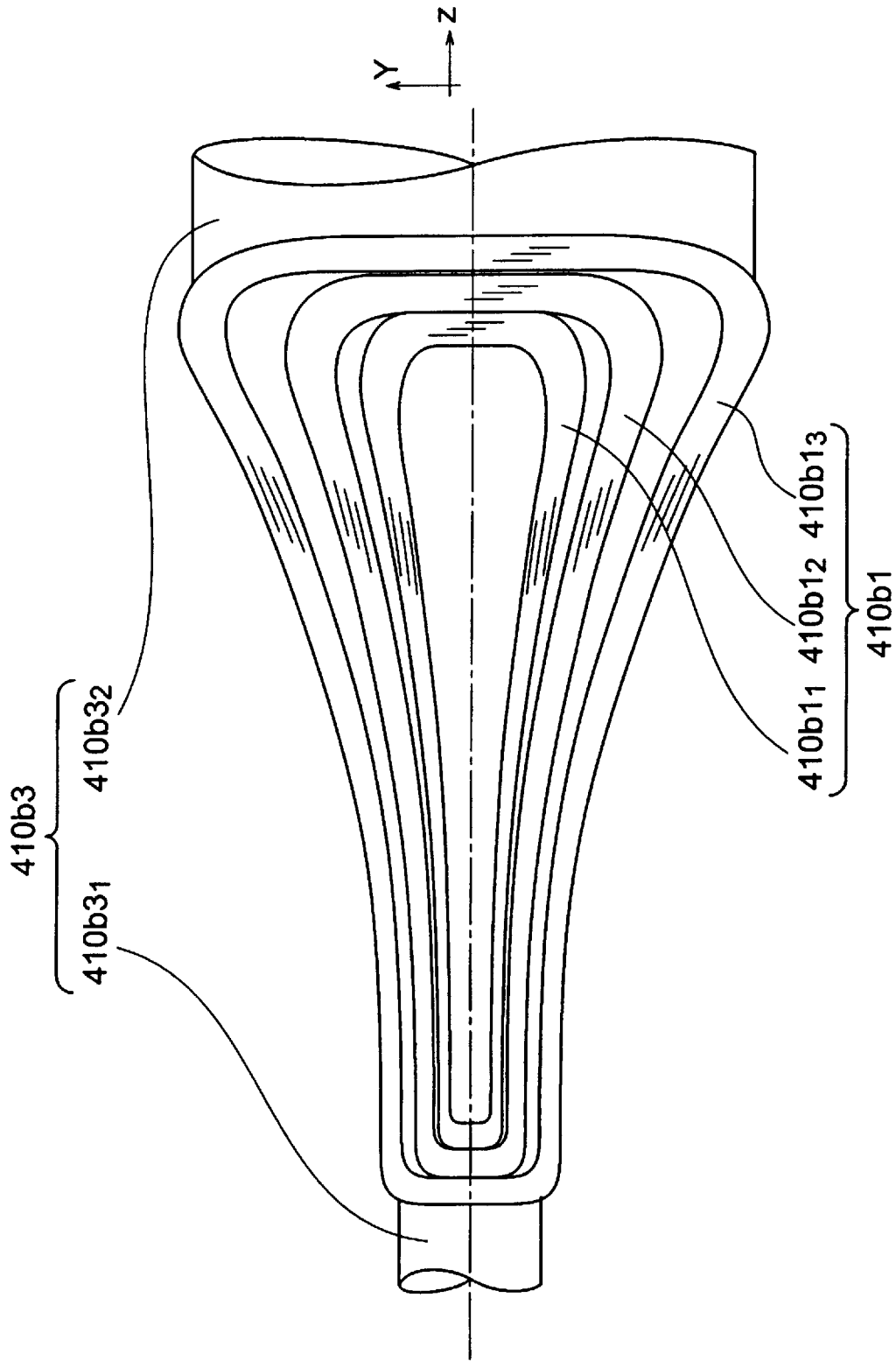
[図9]



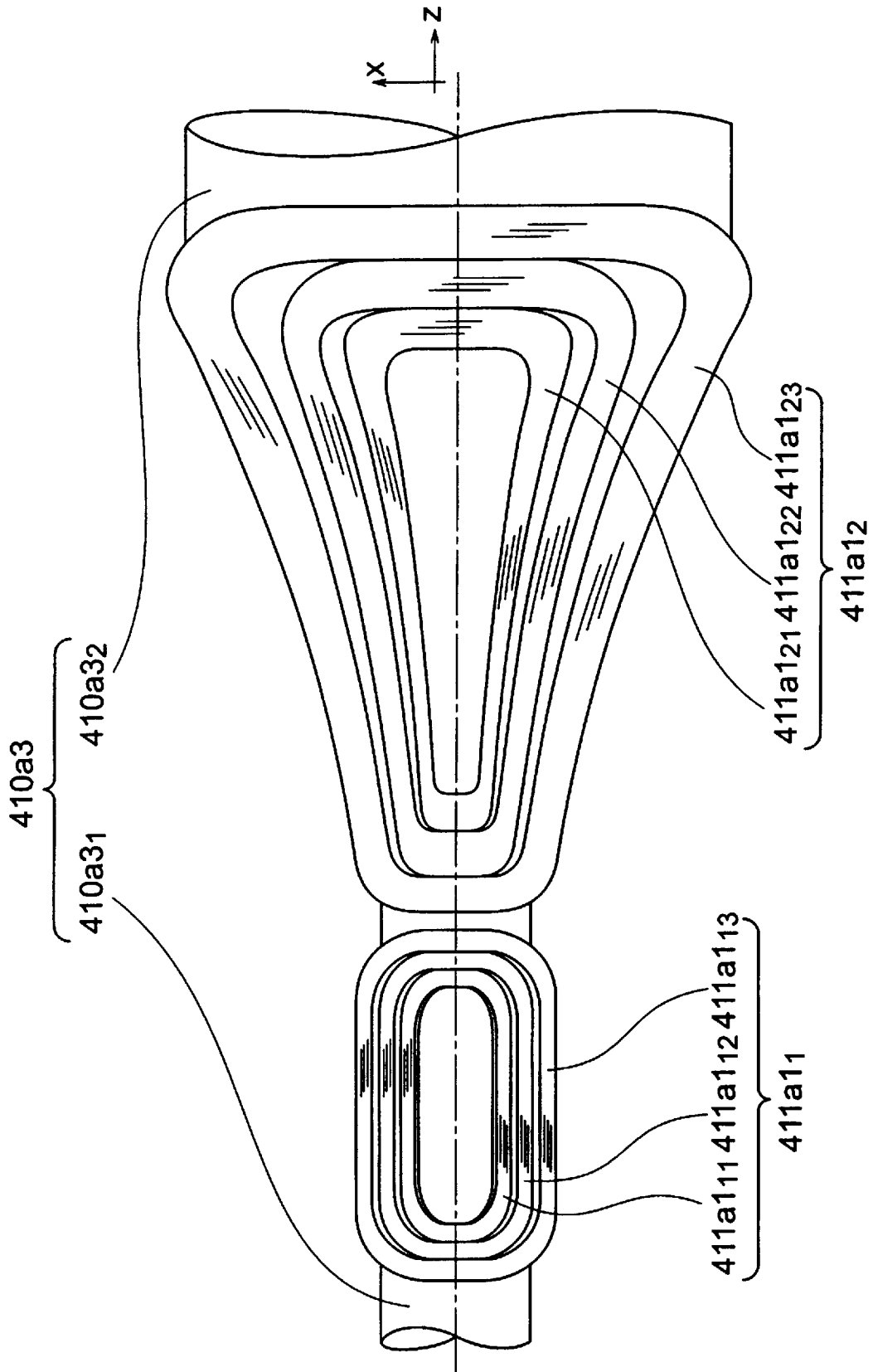
[図10]



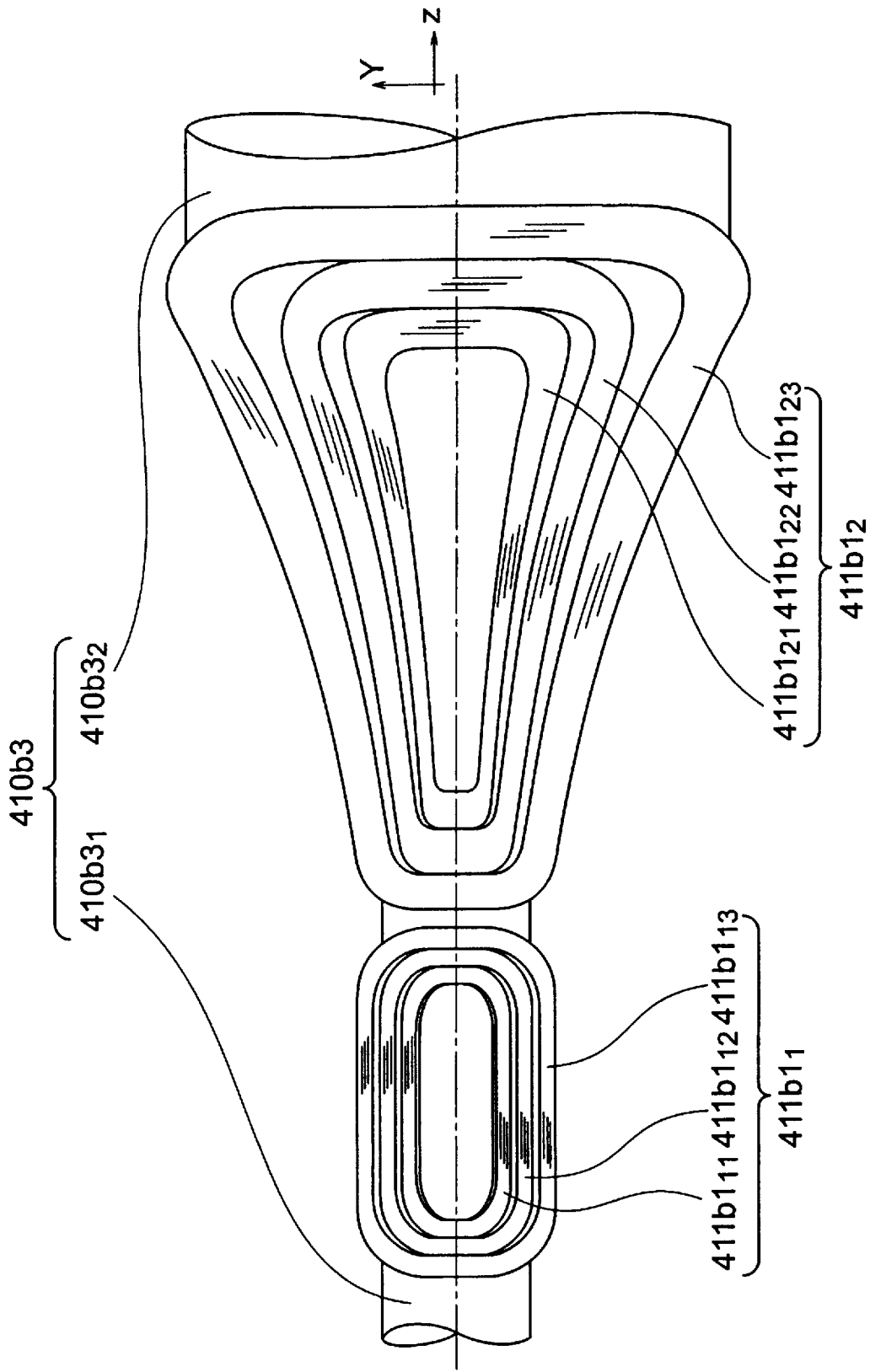
[図11]



[図12]

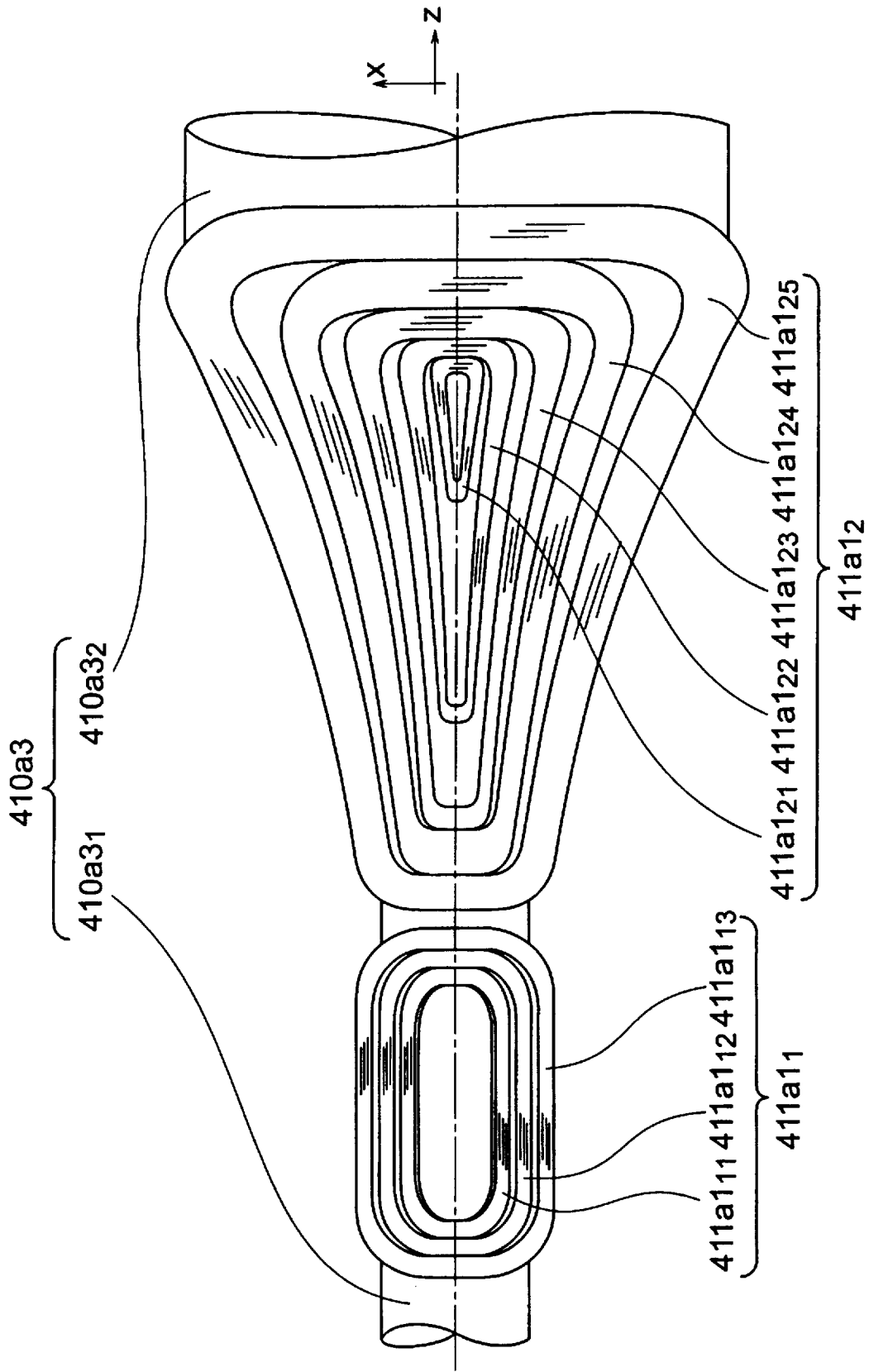


[図13]

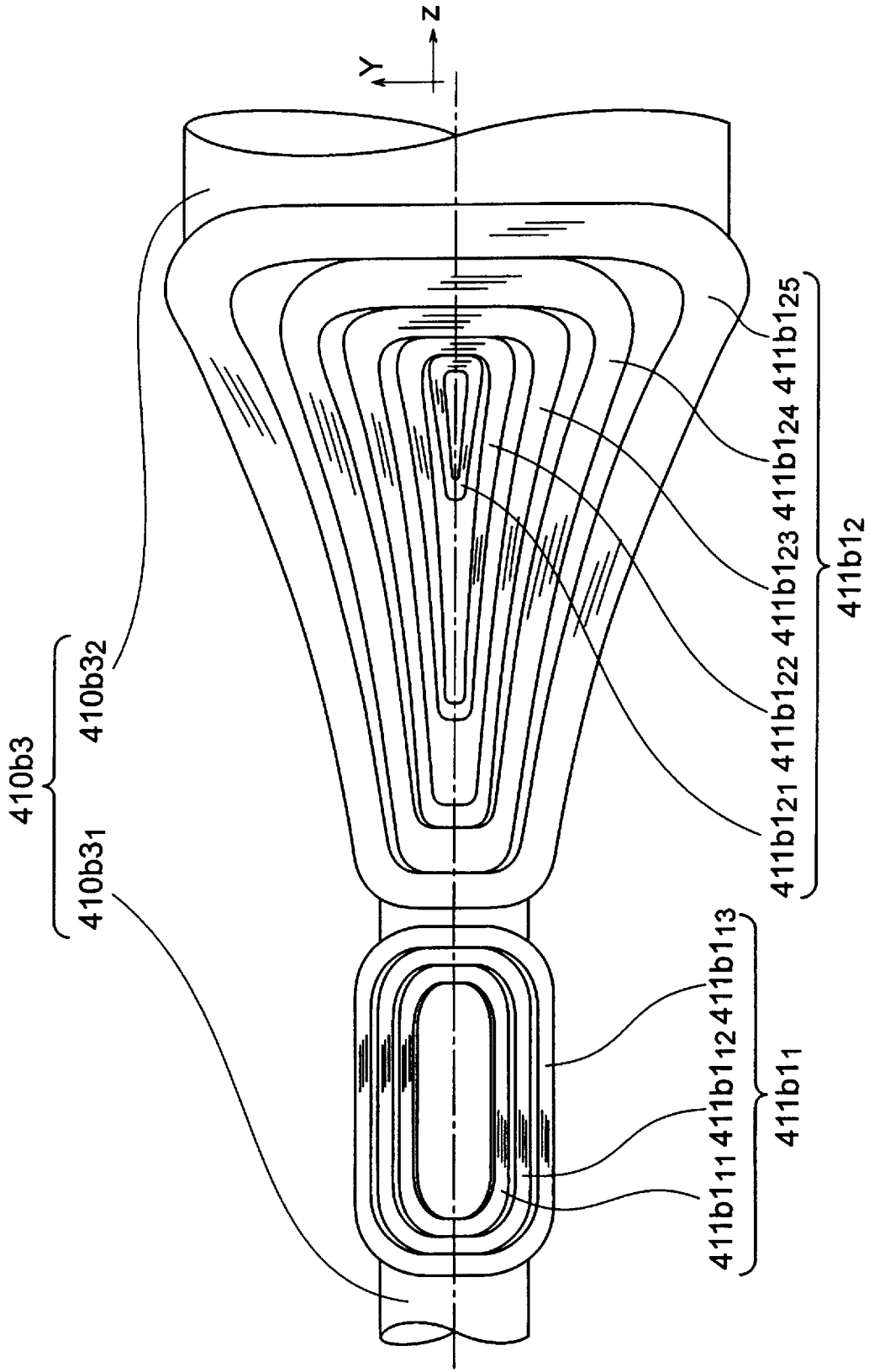




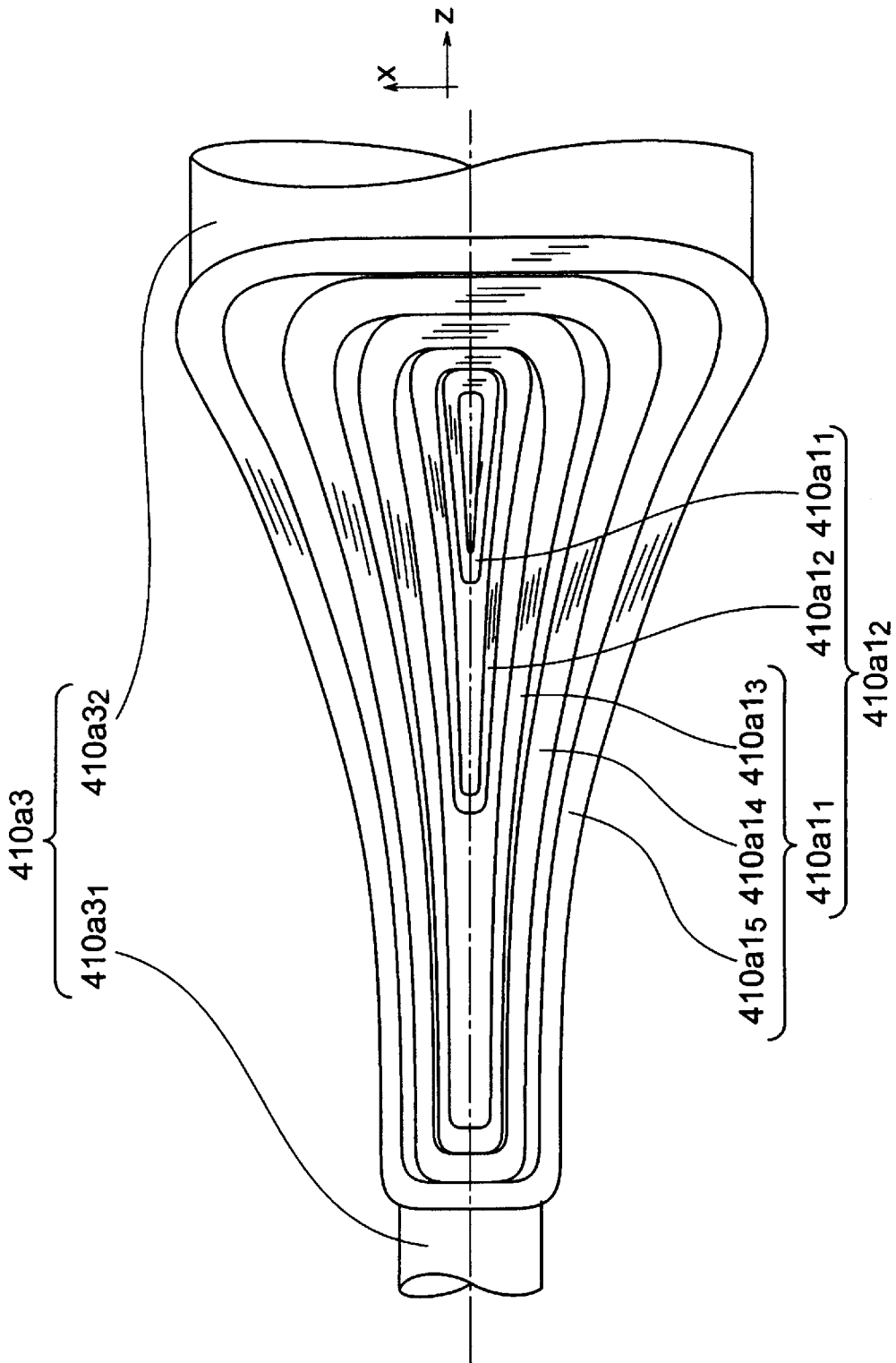
[図14]



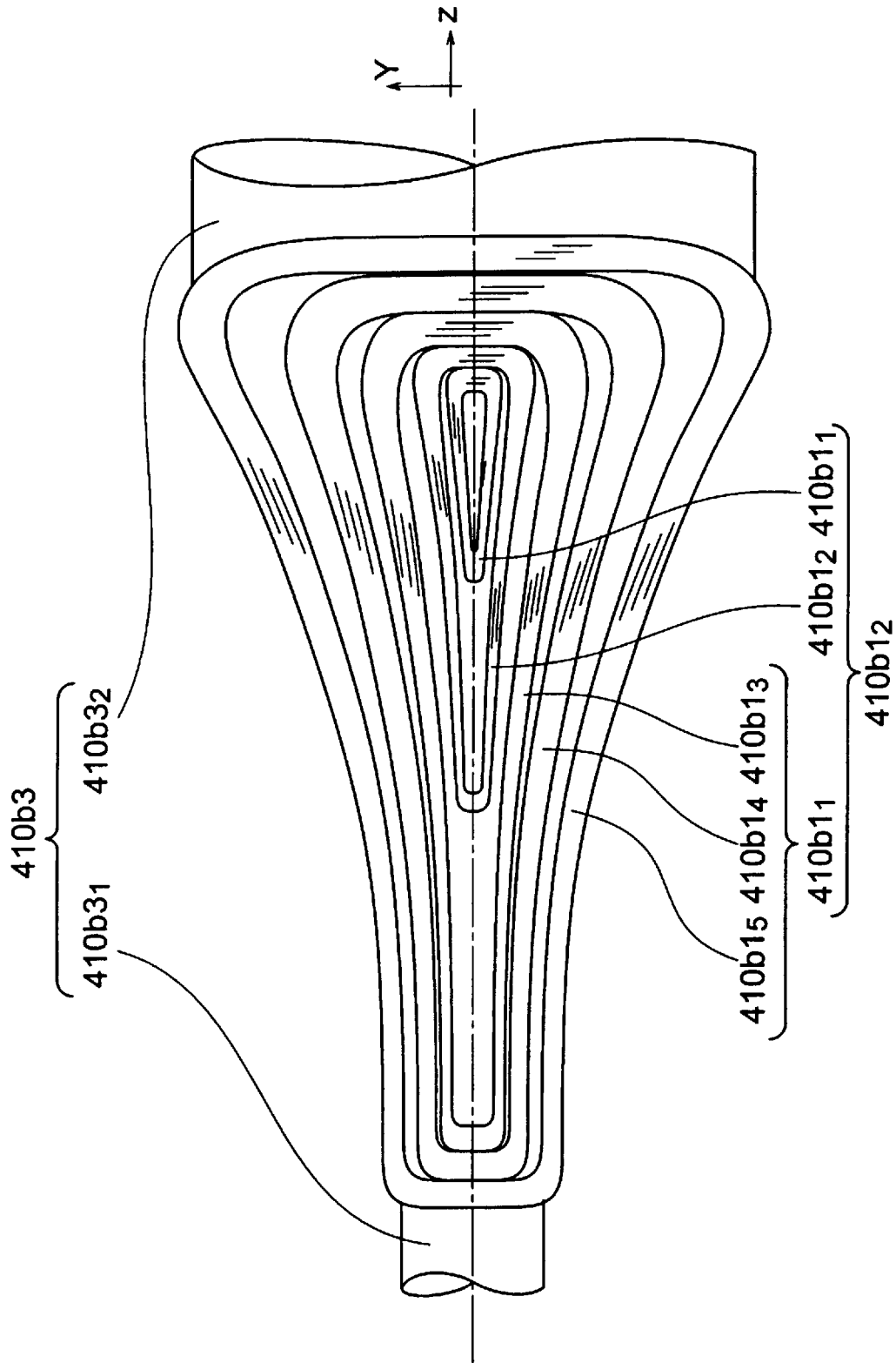
[図15]



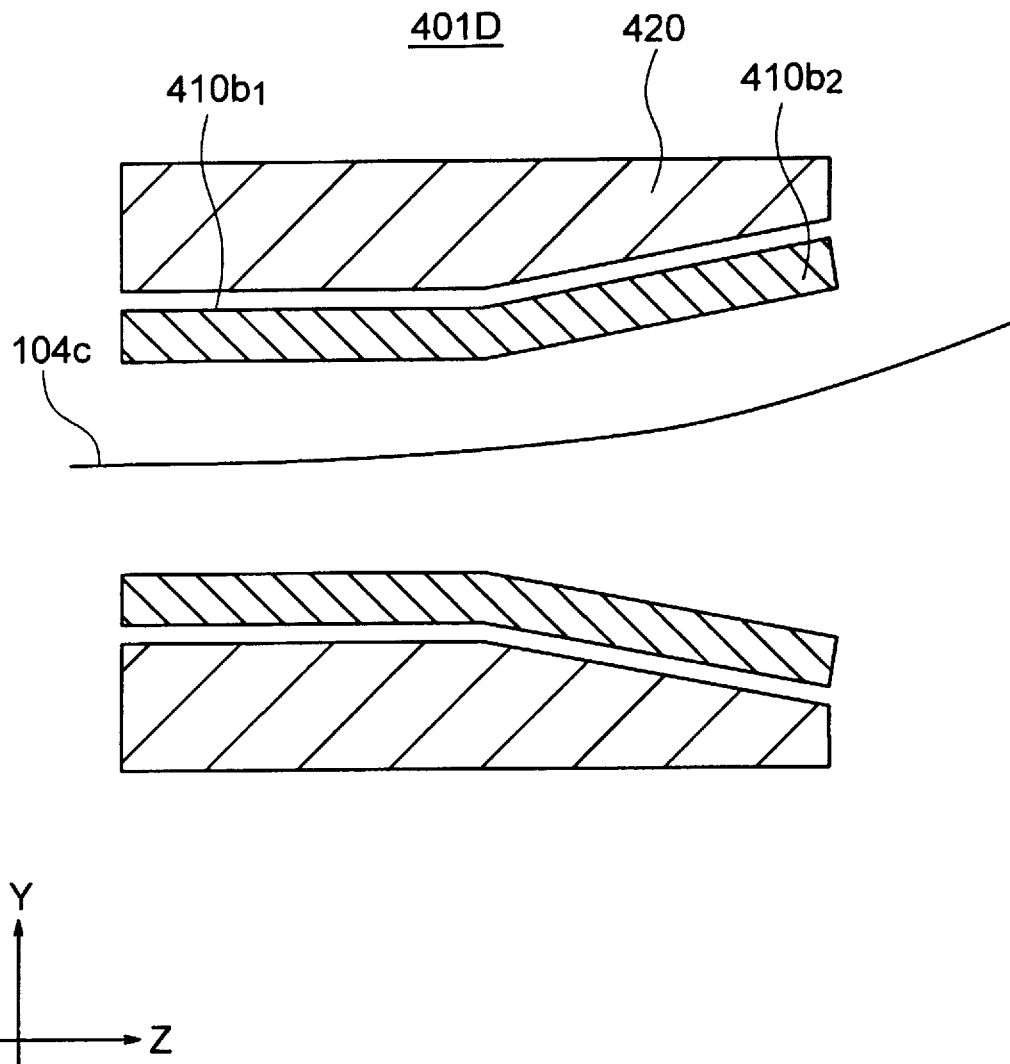
[図16]



[図17]

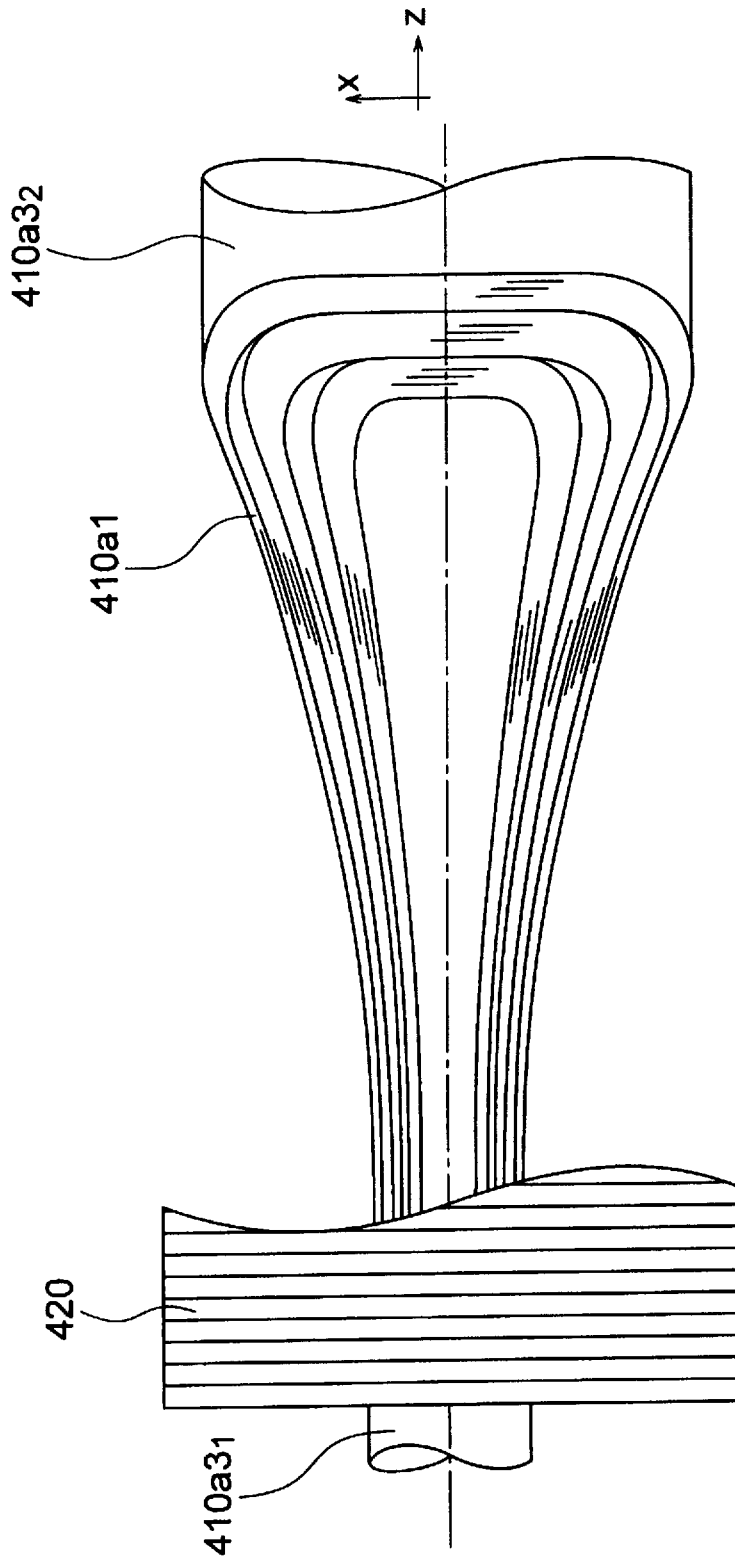


[図18]

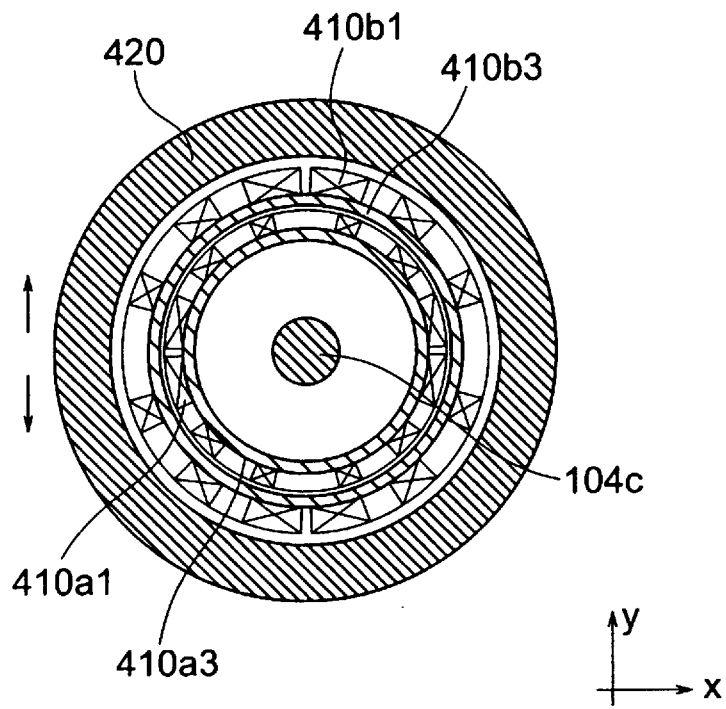


[ 19]

401D



[図20]



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

PCT/JP2015/077711

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER A61N5/10(2006.01) i</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>														
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) A61N5/10</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched                  Jitsuyo Shinan Koho                      1922-1996      Jitsuyo Shinan Toroku Koho      1996-2015                  Kokai Jitsuyo Shinan Koho              1971-2015      Toroku Jitsuyo Shinan Koho      1994-2015</p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)</p>														
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">X</td> <td>JP 2007-260222 A (Osaka University), 11 October 2007 (11.10.2007), paragraphs [0021] to [0039]; fig. 1 to 8 (Family: none)</td> <td align="center">1, 2, 7</td> </tr> <tr> <td align="center">X</td> <td>JP 05-264797 A (Hitachi, Ltd.), 12 October 1993 (12.10.1993), paragraph [0009]; fig. 4 (Family: none)</td> <td align="center">1, 2</td> </tr> <tr> <td align="center">X</td> <td>US 2009/0101832 A1 (Dirk DIEHL), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0033] to [0045]; fig. 4 to 6 &amp; DE 102007050035 A</td> <td align="center">1, 2</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X	JP 2007-260222 A (Osaka University), 11 October 2007 (11.10.2007), paragraphs [0021] to [0039]; fig. 1 to 8 (Family: none)	1, 2, 7	X	JP 05-264797 A (Hitachi, Ltd.), 12 October 1993 (12.10.1993), paragraph [0009]; fig. 4 (Family: none)	1, 2	X	US 2009/0101832 A1 (Dirk DIEHL), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0033] to [0045]; fig. 4 to 6 & DE 102007050035 A	1, 2
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.												
X	JP 2007-260222 A (Osaka University), 11 October 2007 (11.10.2007), paragraphs [0021] to [0039]; fig. 1 to 8 (Family: none)	1, 2, 7												
X	JP 05-264797 A (Hitachi, Ltd.), 12 October 1993 (12.10.1993), paragraph [0009]; fig. 4 (Family: none)	1, 2												
X	US 2009/0101832 A1 (Dirk DIEHL), 23 April 2009 (23.04.2009), paragraphs [0033] to [0045]; fig. 4 to 6 & DE 102007050035 A	1, 2												
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.      <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>														
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>										
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&amp;” document member of the same patent family</p>													
<p>Date of the actual completion of the international search 15 December 2015 (15.12.15)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 28 December 2015 (28.12.15)</p>												
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan</p>		<p>Authorized officer</p> <p>Telephone No.</p>												



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/077711

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	WO 2015/045017 A1 (Hitachi, Ltd.), 02 April 2015 (02.04.2015), paragraphs [0021] to [0024]; fig. 1, 2 (Family: none)	1, 2, 7
A	JP 2013-096949 A (Hitachi, Ltd.), 20 May 2013 (20.05.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-17
A	JP 2011-072717 A (Inter-University Research Institute Corporation High Energy Accelerator Research Organization), 14 April 2011 (14.04.2011), entire text; all drawings (Family: none)	1-17
A	US 2013/0043403 A1 (PYRAMID TECHNICAL CONSULTANTS, INC.), 21 February 2013 (21.02.2013), entire text; all drawings (Family: none)	1-17

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. A61N5/10(2006.01)i		
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）） Int.Cl. 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 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015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 2007-260222 A (国立大学法人大阪大学) 2007.10.11, 段落 [0021] - [0039], 図1-8 (ファミリーなし)	1, 2, 7
X	JP 05-264797 A (株式会社日立製作所) 1993.10.12, 段落 [0009], 図4 (ファミリーなし)	1, 2
X	US 2009/0101832 A1 (Dirk DIEHL) 2009.04.23, 段落 [0033] - [0045], 図4-6 & DE 102007050035 A	1, 2
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「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 「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） 「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日の後に公表された文献 「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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「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 「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 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 15.12.2015	国際調査報告の発送日 28.12.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 井上 哲男 電話番号 03-3581-1101 内線 3386	31 8918

C (続き) . 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
P, X	WO 2015/045017 A1 (株式会社日立製作所) 2015.04.02, 段落 [0021] - [0024], 図1, 2 (ファミリーなし)	1, 2, 7
A	JP 2013-096949 A (株式会社日立製作所) 2013.05.20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	JP 2011-072717 A (大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構) 2011.04.14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	US 2013/0043403 A1 (PYRAMID TECHNICAL CONSULTANTS, INC.,) 2013.02.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17