

(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 6 月 2 日(02.06.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/084218 A1

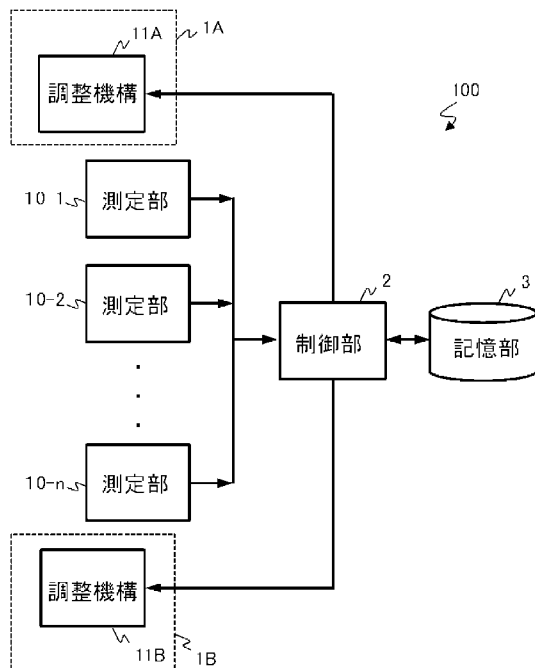
- (51) 国際特許分類:
G21K 5/04 (2006.01) *H05H 7/04* (2006.01)
A61N 5/10 (2006.01) *H05H 7/10* (2006.01)
H01F 7/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/081515
- (22) 国際出願日: 2014 年 11 月 28 日(28.11.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 三菱電機株式会社(MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大谷 利宏(OTANI Toshihiro); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 岩田 高明(IWATA Takaaki); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目 7 番 3 号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 大岩 増雄, 外(OIWA Masuo et al.); 〒6610033 兵庫県尼崎市南武庫之荘 3 丁目 3 番 8 号 Hyogo (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, JP, 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, 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.
- (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),

[続葉有]

(54) Title: PARTICLE BEAM IRRADIATION EQUIPMENT

(54) 発明の名称: 粒子線照射設備

図1



2 Control unit
3 Storage unit
10-1, 10-2, 10-n Measuring unit
11A, 11B Adjustment mechanism

(57) Abstract: Disclosed is particle beam irradiation equipment 100 wherein, a control unit 2 stores the positional information of electromagnets 1 (1A, 1B) in a storage unit 3 as positional information of reference positions, said positional information of electromagnets having been acquired by means of cameras 10 (10-1, 10-2 and so on to 10-n) when first alignment is performed, and on the basis of the positional information of the reference positions stored in the storage unit 3, a displacement quantity is acquired from the positional information of the electromagnets 1 (1A, 1B), said positional information of the electromagnets having been acquired by means of the cameras 10 (10-1, 10-2, and so on to 10-n) when re-alignment is performed.

(57) 要約: 粒子線照射設備 100 では、制御部 2 は、最初のアライメント時に、カメラ 10 (10-1、10-2、・・・、10-n) により取得した電磁石 1 (1A、1B) の位置情報を基準位置の位置情報として記憶部 3 に記憶させ、記憶部 3 に記憶する基準位置の位置情報に基づいて、再アライメント時にカメラ 10 (10-1、10-2、・・・、10-n) により取得した電磁石 1 (1A、1B) の位置情報から変位量を取得する。

WO 2016/084218 A1



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 粒子線照射設備

技術分野

[0001] この発明は、粒子線照射装置に用いられる電磁石を精度よく位置および姿勢等を制御することのできる粒子線照射設備に関するものである。

背景技術

[0002] 従来の粒子線照射装置は、シンクロトロン等の加速器と治療室が同一平面上に存在することが一般的である。近年、粒子線照射装置の大型化に伴い、外気温の季節変動や地盤沈下等の地殻変動による建屋の変形によりアライメントが狂い、照射ビームが所定の性能を満たさなくなるため、その対処として粒子線照射装置の使用においては季節ごとに運転パラメータを変更したり、定期的に電磁石等の位置および姿勢等の再調整を実施する必要性が生じていた。粒子線照射装置の据え付け時に、アライメントする方法としては、予め建屋内もしくは装置上の基準点となる設定位置とのズレ量を算出してアライメントをすることが開示されている（例えば、特許文献1および特許文献2参照）。一方で、病院などに隣接した狭隘な土地に粒子線照射施設を建設する場合に、加速器と治療室を上下の関係に配置する構造等が採用される傾向にある（例えば、特許文献3参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0003] 特許文献1：特開2006-344466号公報（段落0024、図2）
特許文献2：特開2006-302818号公報（段落0025、図2）
特許文献3：特開2011-182987号公報（段落0032、図1）

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 加速器と治療室を上下関係に配置した場合には、建物の構造が複雑になり、季節間の温度変化などに起因する建物の変形が大きくなるという問題があ

った。特に、治療室の上部に加速器またはビーム輸送系装置を配置した場合、装置を設置したフロアが地盤改良もしくは杭打ちにより強化した建物基礎部から離れ、装置を設置したフロアの下部に治療室等の空間が存在するため、よりその変形が顕著であるという問題があった。また、ビーム輸送系装置においては、ビームの輸送を制御する電磁石が異なるフロアにそれぞれ設置されるため、電磁石の相対的な位置および姿勢を精度よく制御することが困難であるという問題があった。

[0005] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、粒子線照射装置の加速器等と治療室が同一平面上に存在する場合だけでなく、上下の關係に配置された場合であっても、高精度なビーム照射が可能となる粒子線照射設備を提供することを目的としている。

課題を解決するための手段

[0006] この発明の粒子線照射設備は、高エネルギービーム照射系ラインの上流側に設けられた第1の電磁石と、高エネルギービーム照射系ラインの下流側に設けられた第2の電磁石と、第1の電磁石と第2の電磁石との位置情報を取得する位置情報取得手段と、最初のアライメント時の第1の電磁石と第2の電磁石の位置情報を基準位置情報として予め記憶する記憶部と、第1の電磁石および第2の電磁石の位置および姿勢を調整する調整機構と、記憶部に記憶する基準位置情報に基づいて、再アライメント時に位置情報取得手段により取得した第1の電磁石と第2の電磁石の位置情報から、最初のアライメント時から再アライメント時までの第1の電磁石および第2の電磁石の位置および姿勢の変位量を算出し、変位量に応じて調整機構により第1の電磁石および第2の電磁石の位置および姿勢を調整制御する制御部とを備えたものである。

発明の効果

[0007] この発明によれば、高エネルギービーム照射系ラインの上流側に設けられた第1の電磁石と下流側に設けられた第2の電磁石との基準位置情報を予め記憶部に記憶しておき、再アライメント時に、記憶部に記憶する基準位置情

報に基づいて第１の電磁石および第２の電磁石の位置および姿勢を調整することで、外気温の季節変動や地殻変動等により建屋の変形した場合でも、容易に電磁石の位置および姿勢等を調整することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]この発明の実施の形態１における粒子線照射設備の構成を示すブロック図である。

[図2]この発明の実施の形態１における粒子線照射設備の外観を示す斜視図である。

[図3]この発明の実施の形態１における粒子線照射設備による調整方法を説明する図である。

[図4]この発明の実施の形態１における粒子線照射設備による位置情報の取得を説明する図である。

[図5]この発明の実施の形態１における粒子線照射設備による位置および姿勢の制御方法を説明するフロー図である。

[図6]この発明の実施の形態２における粒子線照射設備の構成を示すブロック図である。

[図7]この発明の実施の形態２における粒子線照射設備の外観を示す斜視図である。

[図8]この発明の実施の形態３における粒子線照射設備の構成を示すブロック図である。

[図9]この発明の実施の形態３における粒子線照射設備の外観を示す斜視図である。

発明を実施するための形態

[0009] 実施の形態１．

図１は、この発明の実施の形態１における粒子線照射設備１００の構成を示すブロック図である。図２は、粒子線照射設備１００を備えた粒子線照射装置用の電磁石１Ａの外観図である。

[0010] 図１および図２に示すように、粒子線照射設備１００は、電磁石１（１Ａ

、１Ｂ）の位置および姿勢等の位置情報を取得する位置情報取得手段である測定部としての複数のカメラ１０（１０－１、１０－２、・・・、１０－ n [n は整数]）、粒子線照射装置の据え付け時の電磁石１（１Ａ、１Ｂ）の位置情報を基準位置として記憶する記憶部３、カメラ１０で測定した電磁石１（１Ａ、１Ｂ）の測定位置と記憶部３に記憶する電磁石１（１Ａ、１Ｂ）の基準位置を取得し制御情報を出力する制御部２、制御部２からの制御情報により電磁石１の位置および姿勢を調整する調整機構としてのアクチュエータ１１（１１Ａ、１１Ｂ）から構成される。

[0011] カメラ１０には、２つの離れた位置にある第１の電磁石１Ａおよび第２の電磁石１Ｂの相対的な位置および姿勢を計測するために、ステレオカメラを用いる。ただし、加速器と照射室とが建屋の異なる階層にあるような粒子線照射装置の場合、高エネルギービーム照射系（High-Energy Beam Transport、以下ＨＥＢＴ）系と称す）ライン中の２か所の主要な電磁石１Ａと電磁石１Ｂは、１つのカメラ１０の視野に収まりきらない。このため、カメラ１０を用いる計測には工夫が必要である。

[0012] この発明の実施の形態１では、上述のカメラ視野の問題を解決するため、以下の方法を用いた。ＨＥＢＴ系ラインの上流側にある主要な電磁石１Ａと、ＨＥＢＴ系ラインの下流側にある別の主要な電磁石１Ｂとを計測することとする。１台のカメラ１０－１によって電磁石１Ａ上に設けられたターゲット１２Ａ（１２Ａ－１、１２Ａ－２、１２Ａ－３、１２Ａ－４）の位置を測定する。次に、別のカメラ１０－２によって電磁石１Ｂ上に設けられたターゲット１２Ｂ（１２Ｂ－１、１２Ｂ－２、１２Ｂ－３、１２Ｂ－４）の位置を測定する。ただし、このままでは電磁石１Ａの位置および姿勢はカメラ１０－１が有する座標系（ x ， y ， z ）上で表現され、電磁石１Ｂの位置および姿勢はカメラ１０－２が有する座標系（ X ， Y ， Z ）上で表現されたに過ぎない。電磁石１Ａと電磁石１Ｂとの相対的な位置および姿勢の関係はわからない。

[0013] そこで、図３に示すように、カメラ１０－Ａとカメラ１０－Ｂ２との視野

に重複部分が存在し、その重複部分内の異なった位置に少なくとも4つ（2次元ならば3つ）からなる座標変換用ターゲット12M（12M-a、12M-b、12M-c、12M-d）を置くことができれば、4つのターゲット12M（12M-a、12M-b、12M-c、12M-d）についてのカメラ10-A上の座標の情報と、カメラ10-B上の座標の情報とから、カメラ10-A上の座標系からカメラ10-B上の座標系への座標変換式を求めることができる。

[0014] 具体的には、以下のとおりである。

カメラ10-A上の座標系（x，y，z）からカメラ10-B上の座標系（X，Y，Z）への座標変換式は、次式の構造を有する。

[数1]

数1

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

座標変換式（1）を確定するには、12個の未知パラメータ T_{11} 、 $\dots$ 、 T_{33} 、 O_1 、 $\dots$ 、 O_3 を求める必要がある。

[0015] 座標変換用ターゲット12M（12M-a、12M-b、12M-c、12M-d）のそれぞれについて数式1を用いれば、4つの式からなる連立方程式を解く問題に帰着される。その4つの式を、行列表現を使って1つにまとめれば、以下のように表現できる。

[数2]

数2

$$\begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{q}_1 & \mathbf{q}_2 & \mathbf{q}_3 & \mathbf{q}_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{T} & \mathbf{O} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \mathbf{p}_3 & \mathbf{p}_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

$$\therefore \begin{bmatrix} \mathbf{T} & \mathbf{O} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{q}_1 & \mathbf{q}_2 & \mathbf{q}_3 & \mathbf{q}_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \mathbf{p}_3 & \mathbf{p}_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1}$$

[0016] また、測定誤差等を考慮し、4つ以上のターゲットを用いて座標変換を求める場合は、最小二乗法により求めることが考えられる。

[数3]

数3

$$\begin{bmatrix} \mathbf{T} & \mathbf{O} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{q}_1 & \mathbf{q}_2 & \dots & \mathbf{q}_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \dots & \mathbf{p}_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T \left(\begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \dots & \mathbf{p}_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathbf{p}_1 & \mathbf{p}_2 & \dots & \mathbf{p}_n \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \hline 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^T \right)^{-1} \quad \dots (3)$$

ただし、上付きのTは、転置行列であることを示す。

[0017] カメラ10-Aとカメラ10-Bとの視野に重複部分が存在しない場合は、図4に示すように、複数のカメラを別途用意し、カメラ10-1からカメラ10-nまで少しずつ視野の重複部分が存在するように数珠つなぎにすることが考えられる。隣り合うカメラの視野が重複する位置にそれぞれ4つのターゲットからなる座標変換用ターゲット12M-1、12M-2、・・・、12M-(n-1)を置いて測定し、それぞれのカメラの座標系の座標変換から、最終的にはカメラ10-1上の座標系(x1, y1, z1)からカメラ10-n上の座標系(xn, yn, zn)への座標変換式を求めることができる。

[0018] このように、複数のカメラ10(10-1、10-2、・・・、10-n

）を用いて座標系を合わせることで、H E B T系ラインの上流側にある主要な電磁石 1 A と、H E B T系ラインの下流側にある別の主要な電磁石 1 B とが建屋の異なる階層にあるような場合でも、電磁石 1 A と電磁石 1 B との相対的な位置および姿勢等を計測することができる。

[0019] 記憶部 3 は、ハードディスク、リムーバブルディスク、メモリなどの記憶媒体によって構成され、粒子線照射装置の据え付け時（最初のアライメント時）に、カメラ 1 0 により測定した電磁石 1 の位置および姿勢等の位置情報を基準位置として記憶する。

[0020] 制御部 2 は、最初のアライメント時の電磁石 1 （1 A、1 B）の位置および姿勢等の位置情報をカメラ 1 0 により取得し、記憶部 3 に基準位置として記憶させる。また、制御部 2 は、再アライメント時の電磁石 1 （1 A、1 B）の位置および姿勢等の位置情報をカメラ 1 0 により取得し、記憶部 3 から取り出した基準位置としての電磁石 1 の位置情報と比較して、建物の変形等に伴う変位量等を計算し、算出された変位量等の制御情報に応じてアクチュエータ 1 1 を制御し電磁石 1 の位置および姿勢を調整する。制御部 2 は、汎用的なコンピュータシステム等（例えばパーソナルコンピュータ）で実現することができる。

[0021] アクチュエータ 1 1 は、電磁石 1 の架台 1 4 （1 4 A - 1、1 4 A - 2、1 4 B - 1、1 4 B - 2）に搭載される。図 2 に示すように、アクチュエータ 1 1 A （1 1 B）は、垂直方向（1 1 A （B）- 1、1 1 A （B）- 2、1 1 A （B）- 3）および水平方向（1 1 A （B）- 4、1 1 A （B）- 5）2 方向の合計 3 方向（6 自由度）分搭載される。アクチュエータ 1 1 （1 1 A、1 1 B）は、制御部 2 からの制御情報に従い駆動する。

[0022] 次に、この発明の実施の形態 1 における粒子線照射設備 1 0 0 の動作について図 5 を用いて説明する。図 5 は、粒子線照射設備 1 0 0 の動作を示すフロー図である。

[0023] 図 5 に示すように、まず最初のアライメント時に、粒子線照射設備 1 0 0 の制御部 2 は、カメラ 1 0 （1 0 - 1、1 0 - 2、・・・、1 0 - n）によ

り、電磁石 1 (1 A、1 B) 上にある 4 つのターゲット 1 2 A-1、1 2 A-2、1 2 A-3、1 2 A-4 の位置を測定する。得られた位置座標のデータから、電磁石 1 (1 A、1 B) の位置および姿勢等を算出し、最初のアライメント時の位置情報を取得する (ステップ S 5 1)。

[0024] 続いて、ステップ S 5 1 で取得した電磁石 1 (1 A、1 B) の最初のアライメント時の位置情報を、制御部 2 は、電磁石 1 (1 A、1 B) の基準位置の位置情報として記憶部 3 に記憶させる (ステップ S 5 2)。このとき、上流側にある主要な電磁石 1 A と下流側にある電磁石 1 B が離れた位置にある場合でも、複数のカメラ 1 0-1、1 0-2、 $\dots$ 、1 0-n を用いることにより、隣り合うカメラの視野が重複する位置に座標変換用ターゲット 1 2 M-1、1 2 M-2、 $\dots$ 、1 2 M-(n-1) を置いて測定し、電磁石 1 A および電磁石 1 B の座標軸を合わせた位置情報とすることで、相対的な基準位置としての位置情報となる。

[0025] そして、外気温の季節変動や地殻変動等による建屋の変形により、再度、アライメントをする場合、制御部 2 は、カメラ 1 0 (1 0-1、1 0-2、 $\dots$ 、1 0-n) により、電磁石 1 (1 A、1 B) 上にある 4 つのターゲット 1 2 A-1、1 2 A-2、1 2 A-3、1 2 A-4 の位置を再度測定する。得られた位置座標のデータから、電磁石 1 (1 A、1 B) の位置および姿勢等を算出し、再アライメント時の位置情報を取得する (ステップ S 5 3)。

[0026] 次いで、ステップ S 5 3 で電磁石 1 (1 A、1 B) の再アライメント時の位置情報を取得すると、制御部 2 は、記憶部 3 から基準位置の位置情報を取り出し、電磁石 1 (1 A、1 B) の再アライメント時の位置情報と基準位置の位置情報とを比較して変位量を算出する (ステップ S 5 4)。このとき、電磁石 1 A と電磁石 1 B が離れた位置にある場合でも、最初のアライメント時の場合と同様に、複数のカメラ 1 0-1、1 0-2、 $\dots$ 、1 0-n を用いることにより、隣り合うカメラの視野が重複する位置に置いてある座標変換用ターゲット 1 2 M-1、1 2 M-2、 $\dots$ 、1 2 M-(n-1) を

測定し、電磁石 1 A および電磁石 1 B の座標軸を合わせた相対的な位置情報とすることで、電磁石 1 A と電磁石 1 B の相対的な位置関係として基準位置と比較するため、高精度に変位量を得ることができる。

[0027] 最後に、得られた電磁石 1 (1 A、1 B) の変位量に基づき、制御部 2 は、電磁石 1 (1 A、1 B) の垂直方向のアクチュエータ (11 A-1、11 A-2、11 A-3、11 B-1、11 B-2、11 B-3) および水平方向のアクチュエータ (11 A-4、11 A-5、11 B-4、11 B-5) のそれぞれに駆動量等の制御情報を出力して駆動を指示し、電磁石 1 (1 A、1 B) の位置および姿勢等を調整する。

[0028] 以上のように、この発明の実施の形態 1 における粒子線照射設備 100 では、制御部 2 は、最初のアライメント時に、カメラ 10 (10-1、10-2、・・・、10-n) により取得した電磁石 1 (1 A、1 B) の位置情報を基準位置の位置情報として記憶部 3 に記憶させ、記憶部 3 に記憶する基準位置の位置情報に基づいて、再アライメント時にカメラ 10 (10-1、10-2、・・・、10-n) により取得した電磁石 1 (1 A、1 B) の位置情報から変位量を取得するようにしたので、外気温の季節変動や地殻変動等により建屋の変形した場合でも、容易に電磁石の位置および姿勢等を調整することができる。

[0029] また、複数のカメラ 10 (10-1、10-2、・・・、10-n) を用いて相対的な位置情報を取得するようにしたので、H E B T 系ライン中の上流側にある主要な電磁石と下流側にある電磁石が離れた位置、例えば、建屋の異なる階層にあるような場合でも、電磁石の相対的な位置および姿勢等を一定に保った状態で精度よく調整することができ、高精度なビーム照射が実現可能となる。

[0030] 実施の形態 2.

実施の形態 1 では、再アライメント時の位置情報をカメラ 10 により取得する場合について示したが、実施の形態 2 では、シミュレーションにより取得する場合について示す。

[0031] 図6は、この発明の実施の形態2における粒子線照射設備200の構成を示すブロック図である。図7は、粒子線照射設備200を備えた粒子線照射装置用の電磁石の外観図である。

[0032] 図6および図7に示すように、粒子線照射設備200は、実施の形態1における測定部であるカメラ10（（10-1、10-2、・・・、10-n））の代わりに、解析部である変形シミュレータ4を備える。変形シミュレータ4は、例えば、建屋及び装置等をすべてモデル化した有限要素解析により変形シミュレーションを実施する。制御部2は、最初のアライメント時に、測定した電磁石1（1A、1B）の位置および姿勢等の位置情報を記憶部3に予め記憶させておき、再アライメント時に変形シミュレータ4により建屋及び装置等の変形量を算出し、記憶部3に記憶する基準位置としての位置情報に基づき、電磁石1（1A、1B）の再アライメント時の位置情報を取得する。

[0033] このように、変形シミュレータ4により、再アライメント時の建屋及び装置等の全体の変形量を算出し位置情報を取得することで、HEBT系ラインの上流側にある主要な電磁石1Aと、HEBT系ラインの下流側にある別の主要な電磁石1Bとが建屋の異なる階層にあるような場合でも、電磁石1Aと電磁石1Bとの相対的な位置および姿勢等を容易に把握でき、電磁石1Aと電磁石1Bの相対的な位置関係として基準位置と比較するため、高精度に変位量を得ることができる。

[0034] 粒子線照射設備200のその他の構成および動作については、図1および図5に示す実施の形態1の粒子線照射設備100の構成および動作と同様であり、同一の部分には同一の符号を付して、その説明を省略する。

[0035] 以上のように、この発明の実施の形態2における粒子線照射設備200では、制御部2は、最初のアライメント時に、測定した電磁石1（1A、1B）の位置および姿勢等の位置情報を記憶部3に予め記憶させ、記憶部3に記憶する基準位置としての位置情報に基づき、再アライメント時に変形シミュレータ4により取得した電磁石1（1A、1B）の位置情報から変位量を取

得するようにしたので、外気温の季節変動や地殻変動等により建屋の変形した場合でも、容易に電磁石の位置および姿勢等を調整することができる。

[0036] また、変形シミュレータ 4 を用いて建屋及び装置等の全体の変形量を算出するようにしたので、H E B T 系ライン中の上流側にある主要な電磁石と下流側にある電磁石が離れた位置、例えば、建屋の異なる階層にあるような場合でも、電磁石の相対的な位置および姿勢等を一定に保った状態で精度よく調整することができ、高精度なビーム照射が実現可能となる。

[0037] なお、この実施の形態 2 においては、再アライメント時に、変形シミュレータ 4 により電磁石 1 (1 A、1 B) の再アライメント時の位置情報を取得するようにしたが、これに限るものではない。最初のアライメント時に、記憶部 3 に記憶する基準位置である位置情報に基づき、電磁石 1 (1 A、1 B) の変位量を予測することで、再アライメントが必要となる時期を把握することもでき、予め再アライメントの計画を立てることも可能となる。

[0038] 実施の形態 3.

実施の形態 1 では、再アライメント時の位置情報をカメラ 1 0 により取得する場合について示したが、実施の形態 3 では、GPS 受信機により取得する場合について示す。

[0039] 図 8 は、この発明の実施の形態 3 における粒子線照射設備 3 0 0 の構成を示すブロック図である。図 9 は、粒子線照射設備 3 0 0 を備えた粒子線照射装置用の電磁石 1 A の外観図である。

[0040] 図 8 および図 9 に示すように、粒子線照射設備 2 0 0 は、実施の形態 1 における測定部であるカメラ 1 0 (1 0 - 1、1 0 - 2、...、1 0 - n) の代わりに、受信部である GPS 受信機 5 を備える。また、実施の形態 1 におけるターゲット 1 2 (1 2 A、1 2 B) の代わりに、送信部である GPS 送信機 1 3 (1 3 A、1 3 B) を備える。GPS 送信機 1 3 (1 3 A、1 3 B) は、電磁石 1 (1 A、1 B) の上にそれぞれ 3 点ずつ設けられ、それぞれ複数の GPS 衛星 5 0 からの位置等を観測して自分の位置を決定し位置情報を送信する。送信された GPS 送信機 1 3 (1 3 A、1 3 B) からの位置

情報は、建物内の原点（例えば、シンクロトロンの中心点）に設置されたGPS受信機5で受信する。各3点のGPS送信機13（13A、13B）から発信された位置情報を受信することによって各3点のGPS送信機13（13A、13B）をもつ電磁石1（1A、1B）からみたGPS受信機5の位置が決まる。GPS受信機5の位置を原点として逆算すれば、GPS受信機5を基準としたときの電磁石1Aと電磁石1Bとの相対的な位置および姿勢等を求めることができる。

[0041] 制御部2は、最初のアライメント時にGPS送信機13（13A、13B）から送信される位置情報をGPS受信機5により受信し、GPS受信機5の位置を原点として電磁石1（1A、1B）の位置および姿勢等を算出することで、最初のアライメント時の位置情報を取得する。また、再アライメント時も、同様に、GPS送信機13（13A、13B）から送信される位置情報をGPS受信機5により受信し、GPS受信機5の位置を原点として電磁石1（1A、1B）の位置および姿勢等を算出することで、再アライメント時の位置情報を取得する。

[0042] このように、GPS送信機13（13A、13B）から送信される位置情報から、GPS受信機5の位置を原点として電磁石1（1A、1B）の位置情報を取得することで、HEBT系ラインの上流側にある主要な電磁石1Aと、HEBT系ラインの下流側にある別の主要な電磁石1Bとが建屋の異なる階層にあるような場合でも、電磁石1Aと電磁石1Bとの相対的な位置および姿勢等を容易に把握できる。

[0043] 粒子線照射設備300のその他の構成および動作については、図1および図5に示す実施の形態1の粒子線照射設備100の構成および動作と同様であり、同一の部分には同一の符号を付して、その説明を省略する。

[0044] 以上のように、この発明の実施の形態3における粒子線照射設備300では、制御部2は、最初のアライメント時に、GPS送信機13（13A、13B）から送信される位置情報から、GPS受信機5の位置を原点として取得した電磁石1（1A、1B）の位置情報を基準位置の位置情報として記憶

部 3 に記憶させ、記憶部 3 に記憶する基準位置の位置情報に基づいて、再アライメント時に GPS 送信機 13 (13 A、13 B) から送信される位置情報から、GPS 受信機 5 の位置を原点として取得した電磁石 1 (1 A、1 B) の位置情報から変位量を取得するようにしたので、外気温の季節変動や地殻変動等により建屋の変形した場合でも、容易に電磁石の位置および姿勢等を調整することができる。

[0045] また、GPS 受信機 5 を用いて GPS 受信機 5 の位置を原点として各電磁石 1 (1 A、1 B) の位置情報を取得するようにしたので、HEBT 系ライン中の上流側にある主要な電磁石と下流側にある電磁石が離れた位置、例えば、建屋の異なる階層にあるような場合でも、電磁石の相対的な位置および姿勢等を一定に保った状態で精度よく調整することができ、高精度なビーム照射が実現可能となる。

[0046] なお、上記実施の形態 1 ～ 3 においては、電磁石 1 A と電磁石 1 B の両方の位置および姿勢等を調整するように説明したが、これに限るものではない。電磁石 1 A と電磁石 1 B との相対的な位置および姿勢が保たれるように、いずれか一方を調整することでも高精度なビーム照射の実現が可能となる。電磁石のアライメントは、建屋の異なる階層にあるような場合、地面に近い側の電磁石を動かさずに建屋の伸縮の影響を受けやすい上方の階の電磁石のみを相対位置が変わらないように調整するのが一般的である。

[0047] また、この発明は、発明の範囲内において、各実施の形態を自由に組み合わせたり、各実施の形態を適宜、変形、省略することが可能である。

符号の説明

[0048] 1、1 A、1 B 電磁石、2 制御部、3 記憶部、4 解析部、5 GPS 受信機、10、10-1、10-2、・・・、10-n カメラ、11、11 A、11 A-1、11 A-2、11 A-3、11 A-4、11 A-5、11 B、11 B-1、11 B-2、11 B-3、11 B-4、11 B-5 アクチュエータ、12、12 A、12 A-1、12 A-2、12 A-3、12 A-4、12 B、12 B-1、12 B-2、12 B-3、12 B-4

ターゲット、13、13A、13A-1、13A-2、13A-3、13B
、13B-1、13B-2、13B-3 GPS送信機、100、200、
300 粒子線照射設備。

請求の範囲

- [請求項1] 高エネルギービーム照射系ラインの上流側に設けられた第1の電磁石と、
 前記高エネルギービーム照射系ラインの下流側に設けられた第2の電磁石と、
 前記第1の電磁石と前記第2の電磁石との位置情報を取得する位置情報取得手段と、
 最初のアライメント時の前記第1の電磁石と前記第2の電磁石の位置情報を基準位置情報として予め記憶する記憶部と、
 前記第1の電磁石および前記第2の電磁石の位置および姿勢を調整する調整機構と、
 前記記憶部に記憶する基準位置情報に基づいて、再アライメント時に前記位置情報取得手段により取得した前記第1の電磁石と前記第2の電磁石の位置情報から、最初のアライメント時から再アライメント時までの前記第1の電磁石および前記第2の電磁石の位置および姿勢の変位量を算出し、前記変位量に応じて前記調整機構により前記第1の電磁石および前記第2の電磁石の位置および姿勢を調整制御する制御部と
 を備えた粒子線照射設備。
- [請求項2] 前記制御部は、前記第1の電磁石または前記第2の電磁石のいずれか一方の位置および姿勢を調整することで、前記第1の電磁石と前記第2の電磁石との相対的な位置および姿勢を制御することを特徴とする請求項1に記載の粒子線照射設備。
- [請求項3] 前記位置情報取得手段は、複数のステレオカメラからなり、前記ステレオカメラは、隣り合うステレオカメラの視野角が重なるように並べられ、前記視野角に配置された少なくとも4つのターゲットの位置座標に基づき、前記隣り合うステレオカメラの位置座標を変換して座標系を一致させて、前記第1の電磁石と前記第2の電磁石との位置情

報を取得することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の粒子線照射設備。

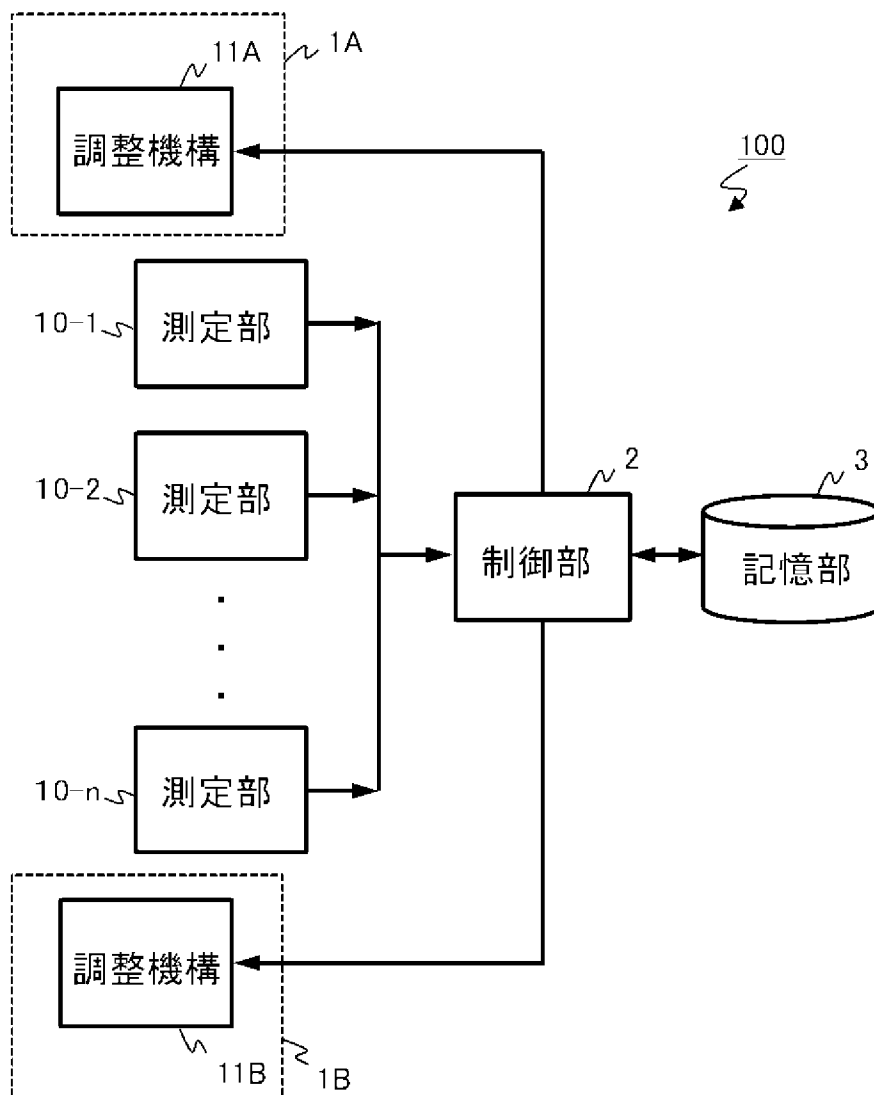
[請求項4] 前記位置情報取得手段は、変形シミュレータからなり、前記変形シミュレータを用いて記第 1 の電磁石および前記第 2 の電磁石の位置情報を計算により取得することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の粒子線照射設備。

[請求項5] 前記位置情報取得手段は、GPS 送信機と GPS 受信機からなり、前記 GPS 送信機は前記第 1 の電磁石および前記第 2 の電磁石にそれぞれ少なくとも 3 つ配置され、前記 GPS 受信機は、1 つのみ配置され、前記 GPS 送信機から送信された前記第 1 の電磁石および前記第 2 の電磁石の位置情報を取得し、前記制御部は、前記 GPS 受信機により受信した位置情報から前記 GPS 受信機の位置を基準として前記第 1 の電磁石および前記第 2 の電磁石の位置および姿勢の変位量を算出することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の粒子線照射設備。

[請求項6] 前記第 1 の電磁石および前記第 2 の電磁石は、それぞれ建屋の異なる階層に設置されていることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の粒子線照射設備。

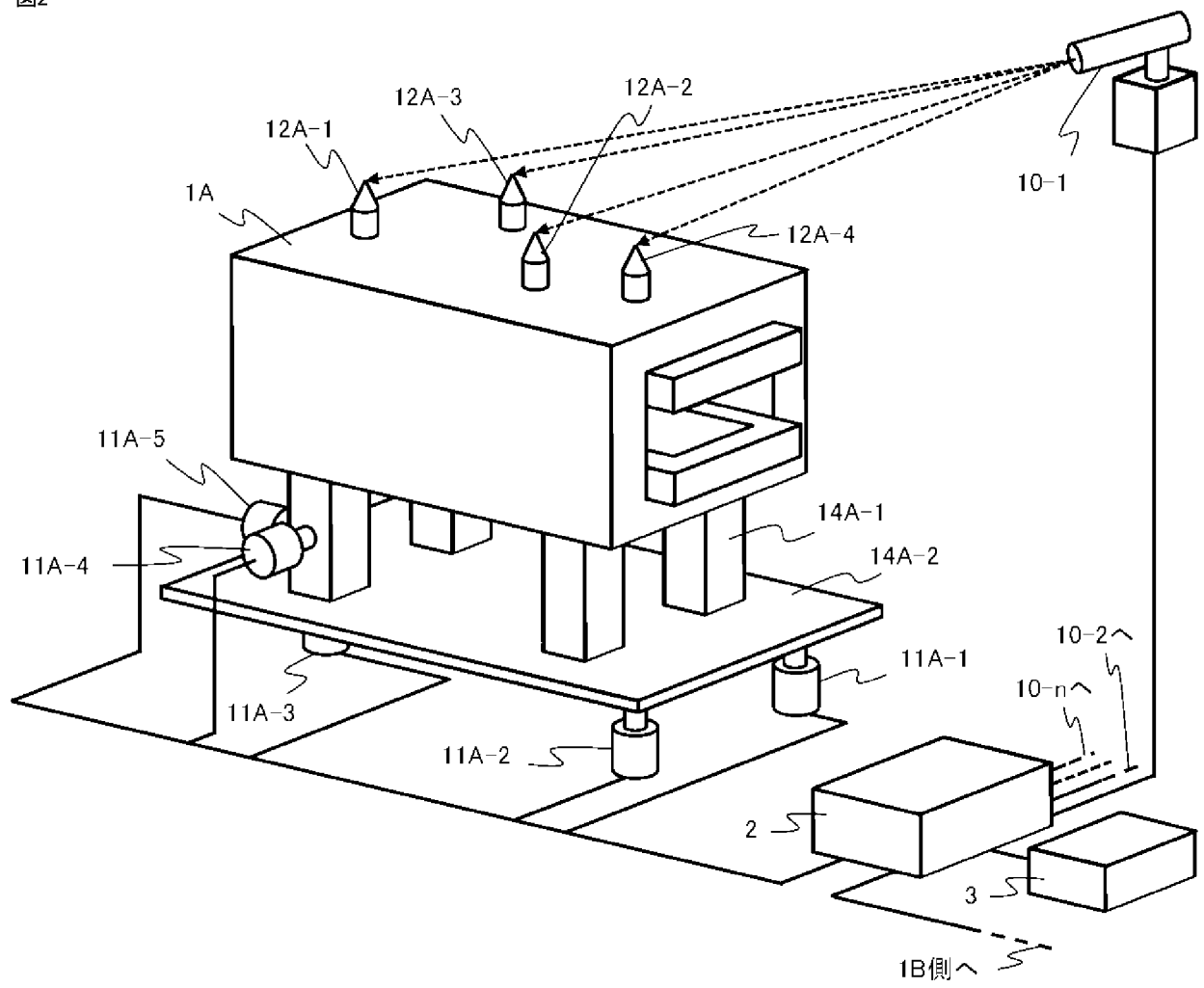
[図1]

図1



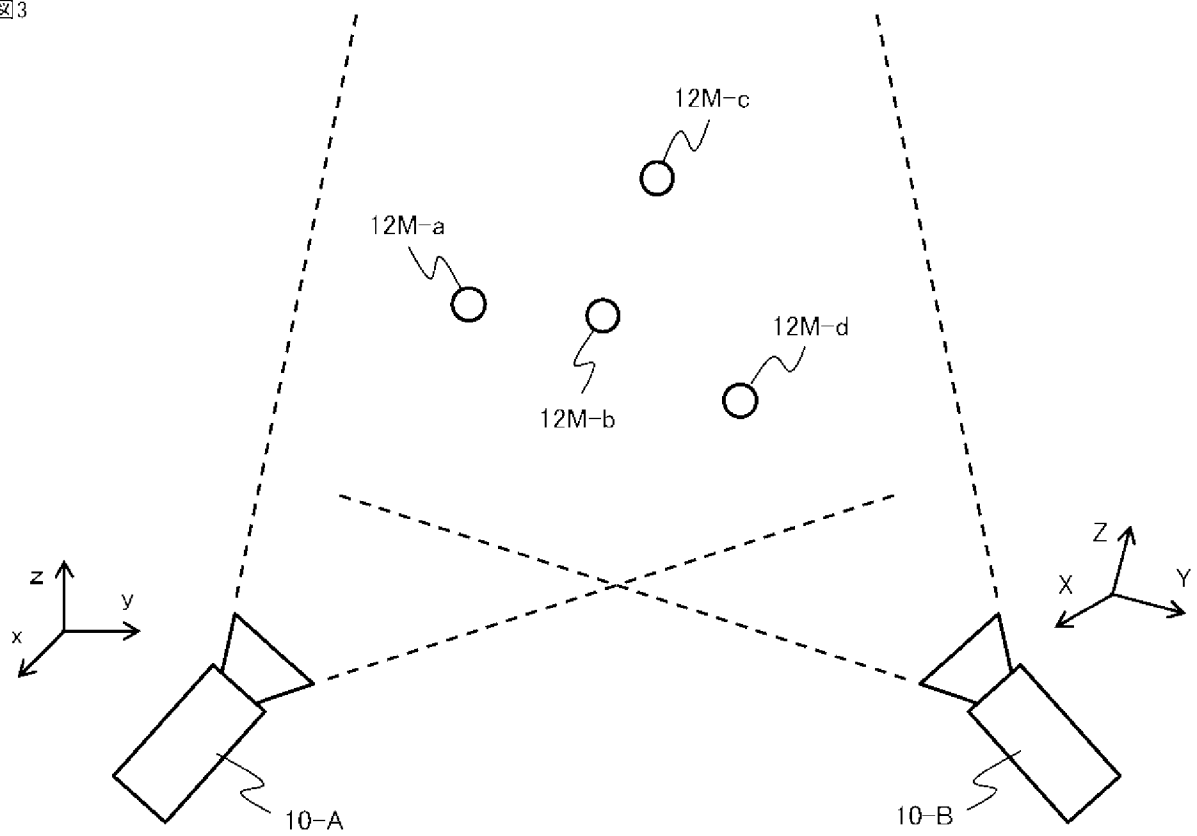
[図2]

図2



[図3]

図3



[図4]

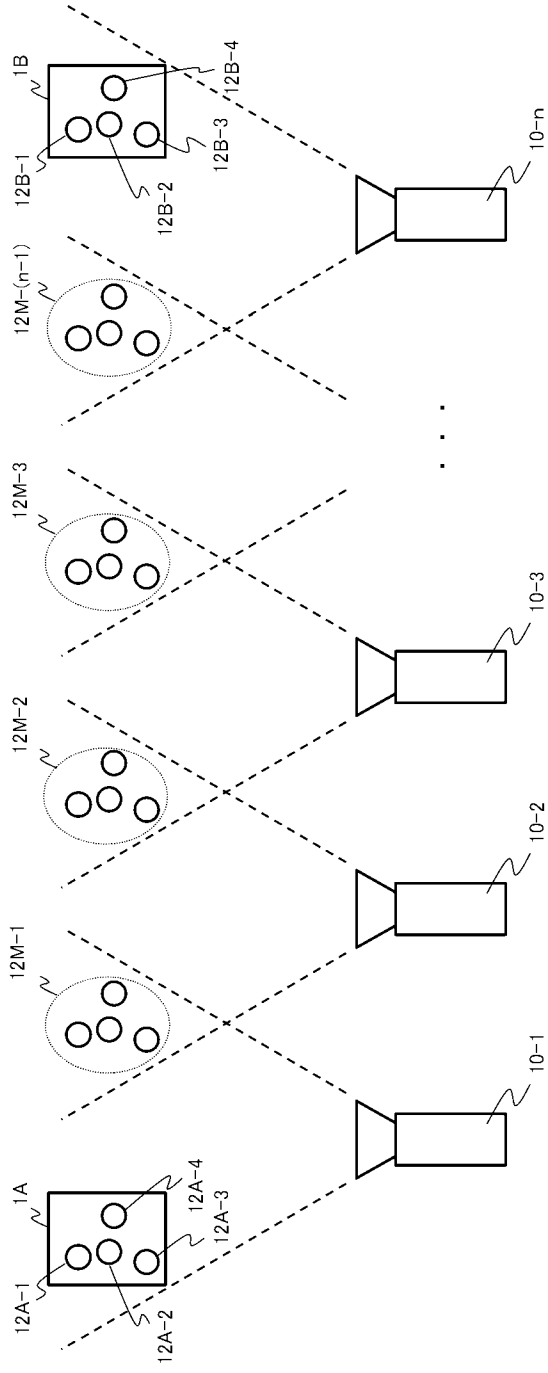
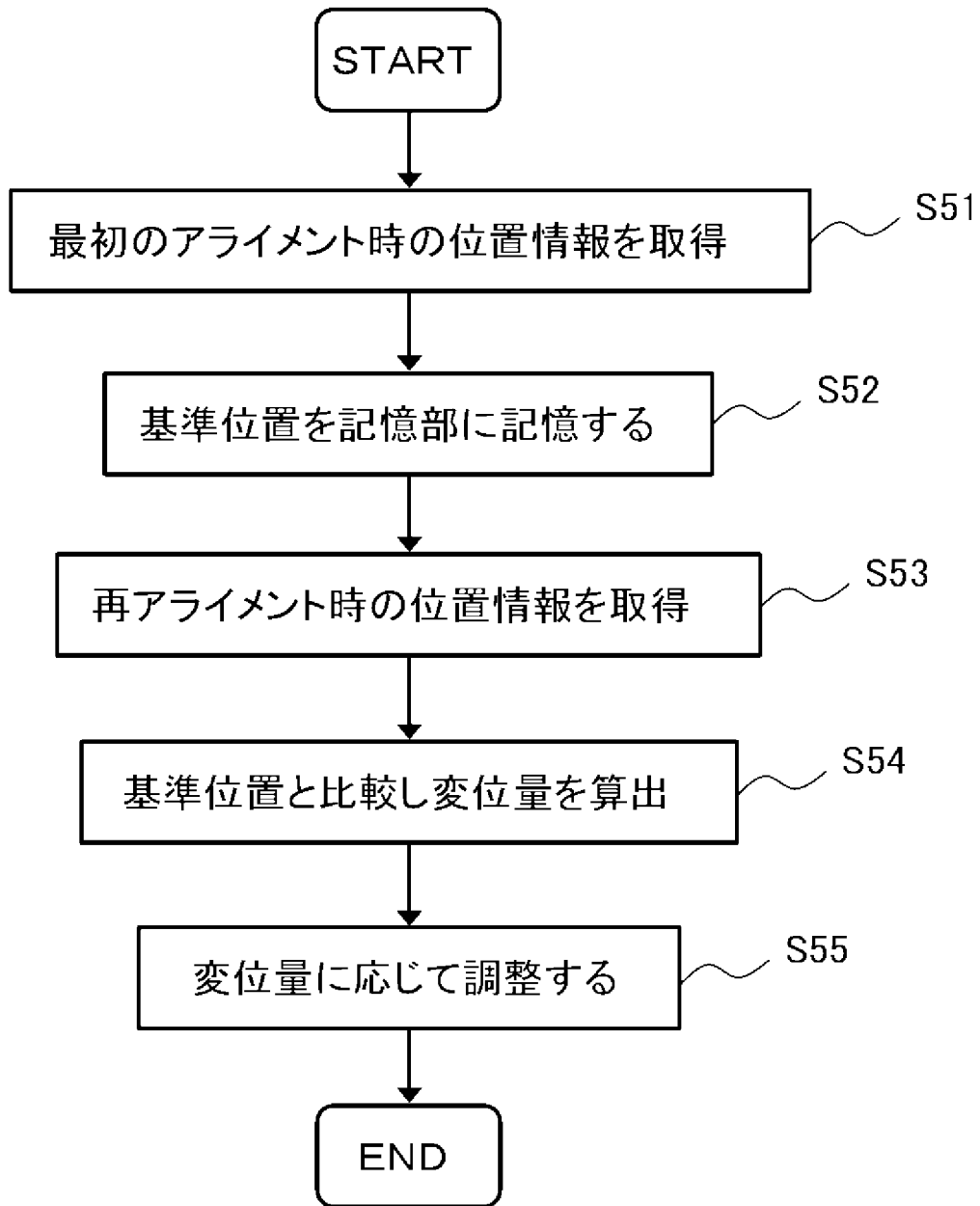


図4

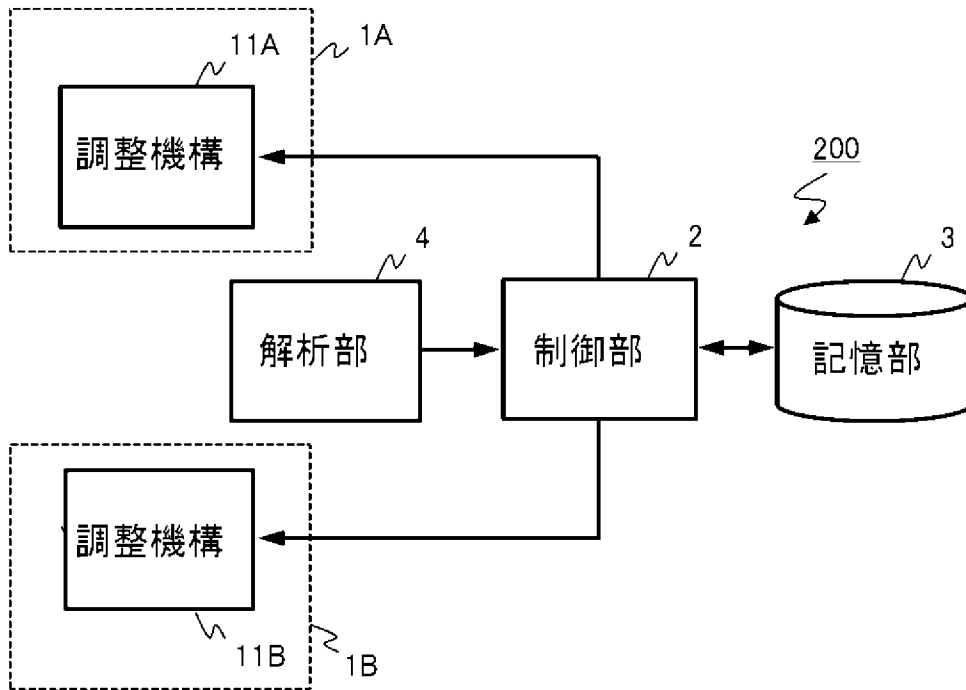
[図5]

図5



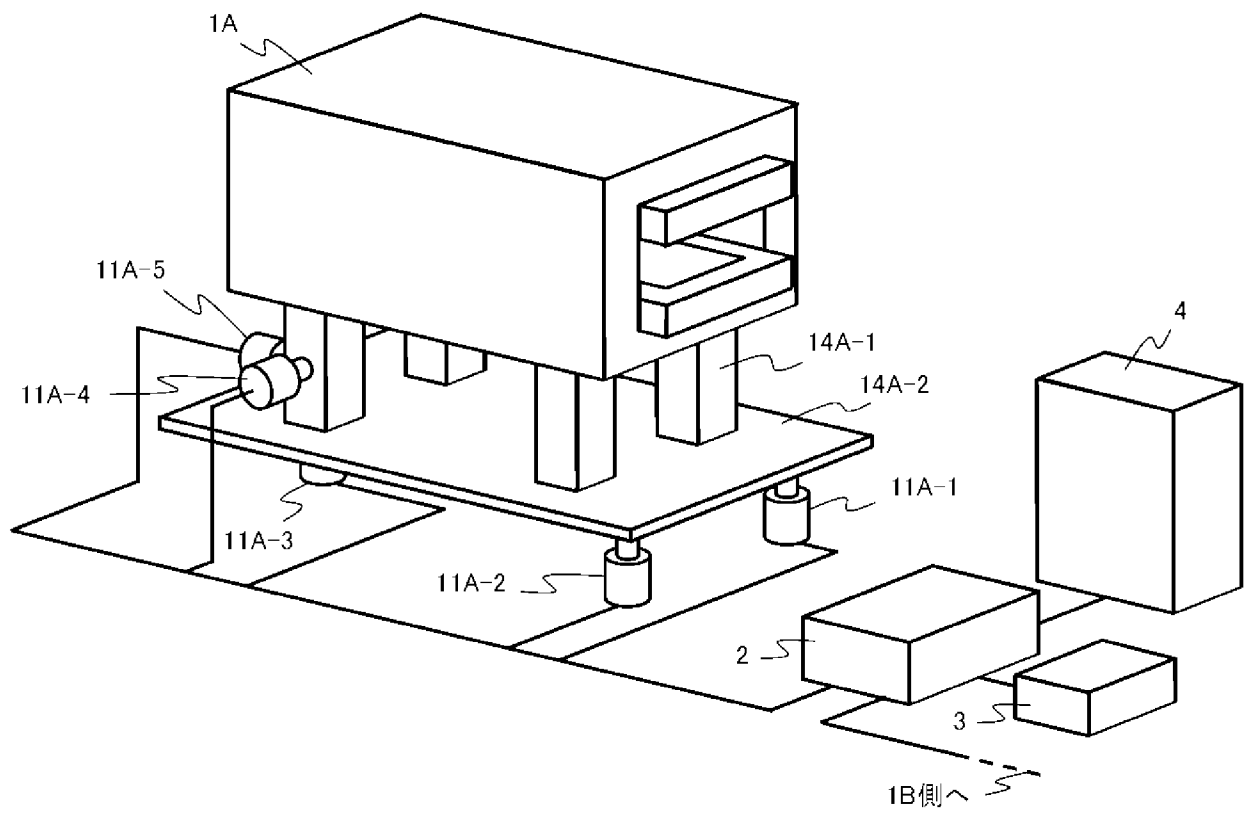
[図6]

図6



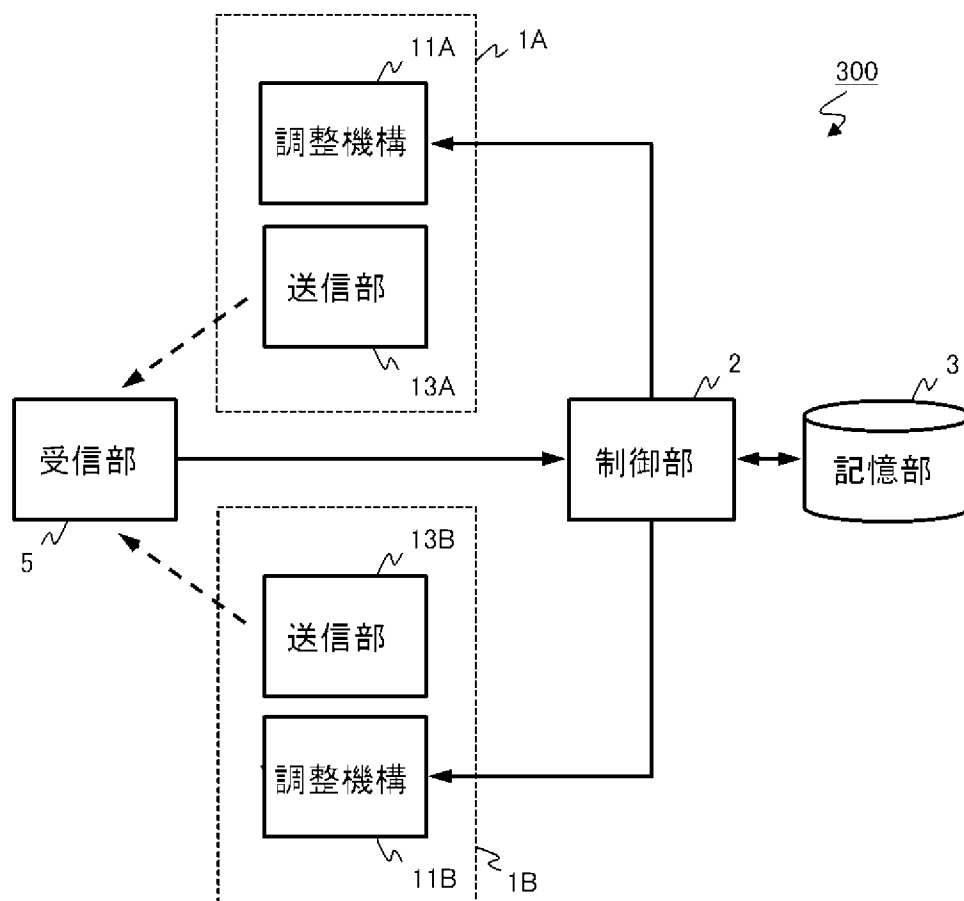
[図7]

図7



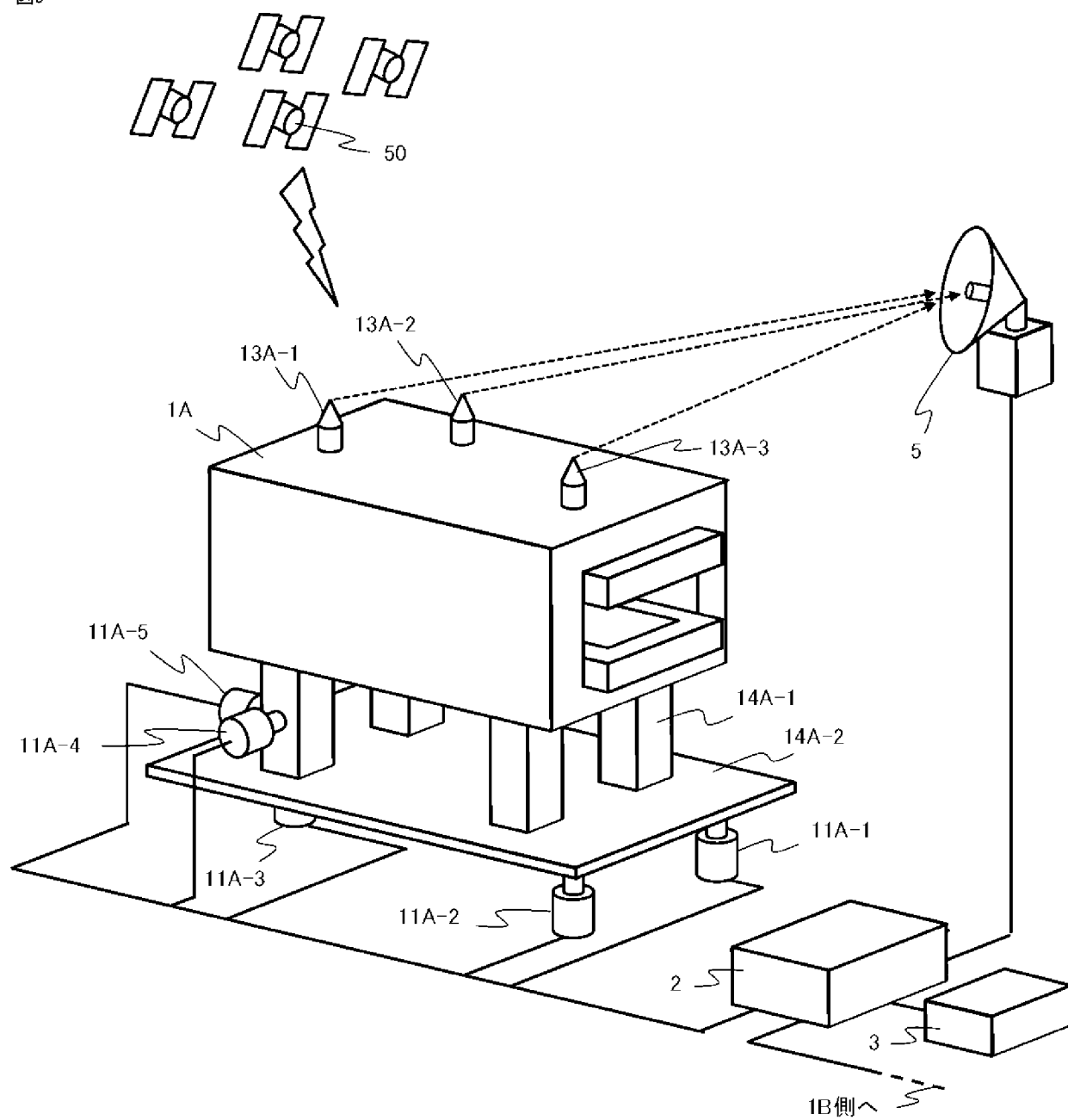
[図8]

図8



【図9】

图9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/081515

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21K5/04(2006.01)i, A61N5/10(2006.01)i, H01F7/20(2006.01)i, H05H7/04(2006.01)i, H05H7/10(2006.01)i

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)

G21K5/04, A61N5/10, H01F7/20, H05H7/04, H05H7/10

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

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

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2007-149405 A (Hitachi Plant Technologies, Ltd.), 14 June 2007 (14.06.2007), entire text; all drawings & US 2007/0273464 A1	1-6
A	JP 2006-344466 A (Hitachi Plant Technologies, Ltd.), 21 December 2006 (21.12.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 2006-302818 A (Hitachi Plant Technologies, Ltd.), 02 November 2006 (02.11.2006), entire text; all drawings (Family: none)	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

"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
23 February 2015 (23.02.15)

Date of mailing of the international search report
03 March 2015 (03.03.15)

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

International application No.

PCT/JP2014/081515

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 6-310300 A (Kawasaki Heavy Industries, Ltd.), 04 November 1994 (04.11.1994), paragraphs [0021] to [0052]; fig. 1 to 9 (Family: none)	1-6
A	JP 6-163197 A (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.), 10 June 1994 (10.06.1994), paragraphs [0005] to [0020]; fig. 1 to 7 (Family: none)	1-6
A	JP 2009-217938 A (Hitachi, Ltd.), 24 September 2009 (24.09.2009), entire text; all drawings (Family: none)	1-6
A	JP 11-137699 A (Hitachi Medical Corp.), 25 May 1999 (25.05.1999), paragraphs [0012] to [0019]; fig. 1 to 4 (Family: none)	1-6
A	Sakuo MATSUI, "Technique for Magnet Alignment of the SPring-8 Storage Ring", Hoshako, 1996, vol.9, no.2, pages 60 to 71	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G21K5/04(2006.01)i, A61N5/10(2006.01)i, H01F7/20(2006.01)i, H05H7/04(2006.01)i, H05H7/10(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（I P C））

Int.Cl. G21K5/04, A61N5/10, H01F7/20, H05H7/04, H05H7/10

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 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）

JSTPlus(JDreamIII)

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 2007-149405 A（株式会社日立プラントテクノロジー） 2007.06.14, 全文および全図 & US 2007/0273464 A1	1 - 6
A	JP 2006-344466 A（株式会社日立プラントテクノロジー） 2006.12.21, 全文および全図 （ファミリーなし）	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。

* 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

の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

2 3 . 0 2 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 3 . 0 3 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

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）

藤本 加代子

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 3

2 I

4 4 5 8

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
A	JP 2006-302818 A (株式会社日立プラントテクノロジー) 2006. 11. 02, 全文および全図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 6-310300 A (川崎重工業株式会社) 1994. 11. 04, 第【0021】 - 【0052】段落および第1 - 9図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 6-163197 A (石川島播磨重工業株式会社) 1994. 06. 10, 第【0005】 - 【0020】段落および第1 - 7図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 2009-217938 A (株式会社日立製作所) 2009. 09. 24, 全文および全図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 11-137699 A (株式会社日立メディコ) 1999. 05. 25, 第【0012】 - 【0019】段落および第1 - 4図 (ファミリーなし)	1 - 6
A	松井佐久夫, アライメントのノウハウ, 放射光, 1996, Vol. 9, No. 2, pp. 60-71	1 - 6