

(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
2015年1月15日(15.01.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/005109 A1

- (51) 国際特許分類:
A61B 5/055 (2006.01) H01F 7/20 (2006.01)
G01R 33/387 (2006.01) H01F 41/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/066737
- (22) 国際出願日: 2014年6月24日(24.06.2014)
- (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 2013-143669 2013年7月9日(09.07.2013) JP
- (71) 出願人: 株式会社 日立メディコ(HITACHI MEDICAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1010021 東京都千代田区外神田四丁目14番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 阿部 充志(ABE Mitsushi); 〒1008280 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 磯野 道造(ISONO Michizo); 〒1020093 東京都千代田区平河町2丁目7番4号 砂防会館別館 磯野国際特許商標事務所内 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, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, 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, 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

[続葉有]

(54) Title: SHIMMING ASSISTANCE UNIT, SHIMMING ASSISTANCE METHOD, MRI APPARATUS AND MAGNET APPARATUS

(54) 発明の名称: 磁場調整支援装置、磁場調整支援方法、MRI装置および磁石装置

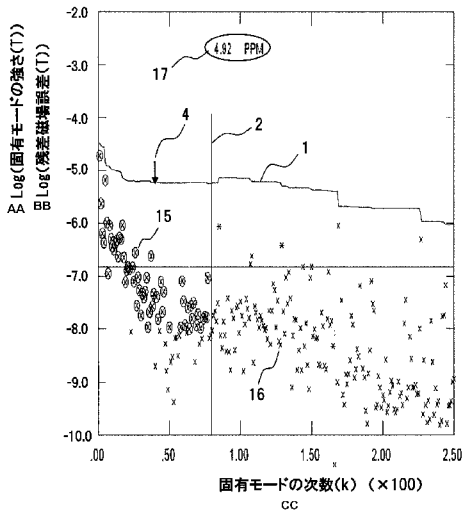
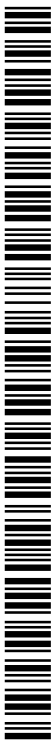


FIG. 1:
AA Log(eigenmode strength (T))
BB Log(residual magnetic field error (T))
CC Eigenmode order (k)(x100)

(57) Abstract: The shimming work assistance unit performs singular value decomposition of a response matrix, which represents the relationship between an error magnetic field distribution and an adjusted magnetic moment placement distribution. From the multiple eigenmodes obtained, the eigenmodes are selected and added one by one in order from the eigenmode with the highest eigenvalue, and the residual magnetic field error, which represents the fluctuation range of the difference between the magnetic field distribution, generated by the placement of the shimming magnetic moments corresponding to said eigenmode, and the error magnetic field distribution, is displayed on a display unit as a function of eigenmode order (line graph (1)).

(57) 要約: 磁場調整作業支援装置は、誤差磁場分布と調整磁気モーメントの配置分布との関係を表す応答行列を特異値分解し、得られた複数の固有モードから、その特異値が大きい順に固有モードを1つずつ追加、選択し、その固有モードに対応する調整磁気モーメントの配置によって生成される磁場分布と前記誤差磁場分布との差の変動幅を表す残差磁場誤差を、固有モードの次数の関数グラフ(折れ線グラフ(1))として表示装置に表示する。



WO 2015/005109 A1

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:

— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：

磁場調整支援装置、磁場調整支援方法、MR I 装置および磁石装置

技術分野

[0001] 本発明は、精密な磁場分布調整を必要とする磁石装置の磁場調整支援装置および磁場調整支援方法、ならびに、その磁場調整支援装置を内蔵した核磁気共鳴断層撮像装置（以下、MR I (Magnetic Resonance Imaging) 装置という）および磁石装置に関する。

背景技術

[0002] MR I 装置の磁石（マグネット）には、多くは超伝導磁石が用いられるが、永久磁石や常電導磁石が用いられる場合もある。このMR I 装置で用いられる磁石が発生する静磁場に要求される精度は、磁場強度の100万分の1程度の変動が問題にされる精度である。

[0003] MR I 装置で用いられる磁場は、大別して次の3種類がある。

（1）時間的にも空間的にも一定な磁場で、通常0.1から数テスラ以上の強度を有し、撮像を行う空間（通常直径で30～40cmの球もしくは楕円体の空間）内での変動量が数ppm程度であるような磁場。

（2）1秒程度以下の時定数で変化して、空間的に傾斜した磁場。

（3）核磁気共鳴に対応した周波数（数MHz以上）の高周波の電磁波による磁場。

[0004] このうち（1）の磁場には、時間的に一定で、かつ空間的には人体の断層撮影を行う領域の空間で極めて高精度の均一性が要求される。高精度とは、例えば40cm直径の撮像空間FOV (Field of View) で±1.5ppmといた100万分の1のオーダの精度が要求される。このように極めて高精度な均一性が要求される磁場分布は、磁石を製作・励磁の後にその磁場分布を精度よく調整することにより実現される。一般に、製作誤差による誤差磁場は、均一磁場に要求される許容誤差磁場に比べて1000倍以上大きい。

これは、磁石製作後の磁石据え付け時に行われる磁場調整（シミングという）では、誤差磁場を数100ppmから数ppmへ低減させる必要があることを意味する。従って、磁場調整には極めて高度な磁場調整技術が要求される。

[0005] 従来、このような磁場調整には、鉄片など受動的に磁化される磁性体片、永久磁石片、電流ループなど、磁気モーメントを有するもの（以下、簡単のため、本明細書では、磁気モーメントと総称する）が用いられる。すなわち、磁場調整では、これらの磁気モーメントを磁場使用領域の周囲に配置し、磁気モーメントの大きさや配置位置などを調整することにより、磁場使用領域に要求される磁場分布を実現する。なお、MRI装置では、磁場使用領域とは、診断のための撮像空間FOVをいい、磁場調整では、その中が均一な磁場分布に調整される。

[0006] 一般に、磁場調整のための磁気モーメントは、計測された誤差磁場分布 B_{er} を打ち消すように配置される。ここで、誤差磁場分布 B_{er} は、各磁場計測箇所における計測磁場と目標磁場分布との差分量を要素に持つベクトルである。このとき、磁場計測箇所は、数100点に及び、また、磁気モーメントの配置箇所は、数100点から数10000点もしくはそれ以上に及ぶ。従って、磁場調整のための磁気モーメントの配置の計算は大規模な計算となる。

[0007] 例えば、特許文献1には、磁気モーメントを配置する計算方法として、打ち切り特異値分解法（以下、TSVD (Truncated Singular Value Decomposition) 法という）を用いる方法が示されている。

[0008] TSVD法によれば、磁場調整用に配置する磁気モーメント M によって被計測磁場領域に生成される磁場分布 B_{com} が、

$$B_{com} = A \cdot M \quad (1)$$

と表されると考え、磁場分布 B_{com} が誤差磁場分布 B_{er} にほぼ一致するように、磁場調整用に配置する磁気モーメント M を決める。

なお、以下、本明細書では、磁場調整用に配置する磁気モーメントを、単に、調整磁気モーメントという。

[0009] ここで、調整磁気モーメントMは、各配置位置における磁気モーメントの大きさを要素に持つベクトルであり、その要素の数は、数100ないし数1000もしくはそれ以上に及ぶ。また、磁場分布B_{com}は、調整磁気モーメントMにより各磁場計測点に生成される磁場強度を要素に持つベクトルである。また、応答行列Aは、調整磁気モーメントMとして各位置に配置された磁気モーメントの大きさとそれが生成する各磁場計測点における磁場強度との関係を表す行列であり、(磁場計測点数) × (磁気モーメント配置位置数)の要素を有する。

[0010] さらに、特許文献1によれば、

$$-Ber \doteq A \cdot M \quad (2)$$

となるような調整磁気モーメントMを求めるために、

$$M = -A^* \cdot Ber \quad (3)$$

として、一般化逆行列A^{*}を打ち切り特異値分解法(以下、TSVD(Truncated Singular Value Decomposition)法という)で求め、調整磁気モーメントMを、

$$M = \sum (-v_j \cdot C_j / \lambda_j) \quad (4)$$

として求めている。

[0011] ここで、式(4)における加算(Σ)の計算は、特異値分解(SVD:Singular Value Decomposition)で求められた固有モードについて行われる。固有モードは、調整磁気モーメントMの基底v_jと磁場分布B_{com}の基底u_jと間の関係を表し、各固有モードは、単位磁気モーメント(ノルムが1)の配置当たりの磁場の強さを表す特異値λ_jを有する。また、固有モードの強さC_jは、磁場の強さと同じ単位を有し、固有磁場分布と誤差磁場分布Berの内積として求められる。

[0012] さらに、式(4)での加算(Σ計算)で、その加算の対象とする固有モードを選択する基準値として、固有モードの強さC_jおよび固有モードの次数が用いられる。なお、固有モードの次数とは、各固有モードの特異値λ_jを大きい順番に並べたとき、その順番を表す数をいう。

[0013] すなわち、式（４）での加算（ Σ 計算）で用いられる固有モードとしては、固有モードの強さ C_j が最終的に許容される誤差磁場よりも十分に小さく、かつ、固有モードの次数が、ある上限値以下であるものが選択される。このとき、磁場調整の作業者は、式（４）での加算（ Σ ）に用いられる固有モード、すなわち、調整磁気モーメント M の計算の対象とする固有モードの次数の上限値（以下、固有モード加算時の次数の上限値という）を、固有モードの強さ C_j と許容される磁場誤差の強さとを適宜比較することにより決定していた。

[0014] 図6（a）、（b）は、特許文献1に示されている、調整磁気モーメントの配置を求める加算に用いる固有モードを選択するときに表示装置に表示されるグラフの例であり、図6（a）は、磁場調整前のグラフ、図6（b）は、磁場調整後のグラフである。ここで、グラフの縦軸は、固有モード強さの対数值、横軸は固有モードの次数である。また、グラフの中の1つの×印16は、1つの固有モードを表し、丸で囲った×印15は、式（４）の加算に用いた固有モードを表している。そして、図中に示されている横線3は、加算に用いる固有モードの強さ C_j の下限値を表した線で、これより上にある固有モードが加算の候補となる。また、縦線2は、加算に使用する固有モード加算時の次数の上限値（言い換えれば、特異値 λ_j の下限値）を表している。

[0015] そこで、横線3（固有モード強さ C_j の下限値）および縦線2（特異値 λ_j の下限値）により選択された固有モード（丸で囲った×印15が表す固有モード）について、式（４）を計算し、調整磁気モーメント M を求めれば、式（１）により、調整磁気モーメント M によって補正される磁場 B_{com} を計算することができる。

[0016] そして、従来は、補正後にも残る残差磁場分布 B_{res} を

$$B_{res} = B_{er} - B_{com} \quad (5)$$

により推定し、残差磁場分布 B_{res} の変動量の大きさから、横線3および縦線2の2つの線で選択される固有モードの妥当性、すなわち、式（４）の加算条件の妥当性を確認していた。

[0017] そこで、図6(a)では、残差磁場分布 B_{res} の変動量の大きさ表す指標として、残差磁場分布 B_{res} の要素の最大値と最小値の差（以下、P P (Peak to Peak) 値という）を被計測磁場領域における平均磁場強度や目標磁場強度などで除算して求めた値のppm値（100万分の1の値）が到達均一度17としてグラフの上部に表示されている。

[0018] そこで、磁場調整の作業者は、この表示された到達均一度17を予め定められた目標精度と比較して大きい場合には、固有モード加算時の次数の上限値を大きくし、式(4)の加算で用いる固有モードを増加させることにより、調整磁気モーメント M を再度調整して、到達均一度17の向上を図る。

[0019] このような磁場調整方法は、いわば、図6のグラフを用いて、適切な目標磁場強度や縦線2、横線3などを設定する作業ともいえる。従って、その磁場調整作業は、やや試行錯誤的にならざるを得ないが、その調整作業を繰り返すことにより、図6(b)のように確実に良好な磁場分布に調整（シミング）することができる。なお、図6(a)に示されている到達均一度17は、磁場調整前の予測値であり、図6(b)に示されている到達均一度17aは、磁場調整後の計測磁場から得られる値である。

先行技術文献

特許文献

[0020] 特許文献1：特許4902787号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0021] 本発明の課題は、従来の特許文献1に基づく磁場調整方法では一部の作業が試行錯誤的となっていた点を改善することにある。そこで、従来の磁場調整の作業を分析すると、その作業は、次の4つの工程で構成される。

(1) 磁場分布を計測。

(2) 目標磁場分布 B_{tg} と計測磁場分布の差である誤差磁場分布 B_{er} を計算、誤差磁場分布 B_{er} が所定の磁場強度より小さければシミング終了。

(3) 式(4)により調整磁気モーメント M を計算。

(4) 計算した調整磁気モーメント M に従って、鉄片、磁性体片、電流ループなど磁気モーメントとなるハードウェアを実際に配置。

ここで、目標磁場分布 B_{tg} は、各計測点での目標磁場強度を要素に持つベクトルである。MRIの場合には、目標磁場分布 B_{tg} の要素として同一の数値が並ぶ。

[0022] 磁場調整(シミング)作業は、以上の(1)から(4)の工程を、計測磁場分布が目標の均一度となるまで繰り返し行う作業である。本発明は、これらの工程のうち、(3)の工程に関わる。そこで、(2)の工程の後半から(3)の工程をさらに詳細な工程に分解すると、次のようになる。

[0023] (2-後半) 計算した誤差磁場分布 B_{er} の各計測位置における磁場強度を表示装置に表示し、その磁場強度が大きければ、磁場調整(シミング)を繰り返す。

(3-a) 誤差磁場分布 B_{er} を固有モードに分解し、各固有モードについて、特異値 λ_j および固有モードの強さ C_j を計算。

(3-b) 固有モード選択の条件を設定。

(3-c) 到達均一度 17 の表示から、固有モードの選択条件の妥当性を判断。

(3-d) 到達均一度 17 が妥当でなければ、(3-b)から(3-d)を繰り返し、到達均一度 17 が妥当ならば、調整磁気モーメント M の各配置位置における大きさを、鉄片磁性体片、永久磁石、電流ループの大きさなどに換算し、表示装置に表示。

[0024] ここで、固有モード選択の条件とは、目標磁場分布 B_{tg} 、固有モードの強さ C_j の下限値(図6での横線3に相当)、固有モード加算時の次数の上限値(図6での縦線2に相当)である。このうち、固有モードの強さ C_j の下限値は、非常に小さな値にしておくことで、とくに選択の問題は生じないが、他の2つは十分な検討が必要である。

[0025] ちなみに、特許文献1の記載によれば、固有モード加算時の次数の上限値

を決定する場合、作業者は、図6(a)のグラフに表示された固有モードの×印16の分布を見て決定する。しかしながら、固有モード選択の条件が決定される前の段階では、図6(a)のグラフには、固有モードを表す×印は表示されていても、到達均一度17は表示されていない。到達均一度17が表示されるのは、固有モード選択の条件、すなわち、目標磁場分布 B_{tg} 、固有モードの強さ C_j の下限値および固有モード加算時の次数の上限値が決定され、さらに、式(4)などが計算された後になる。

[0026] 従って、目標磁場分布 B_{tg} および固有モードの強さ C_j の下限値が決定され、その後、固有モード加算時の次数の上限値を定める場合であっても、作業者は、一旦、その次数の上限値を決定して、到達均一度17の表示を見た後でなければ、決定した次数の上限値の妥当性を判断することができない。また、一旦、決定した次数の上限値が適切でなかった場合には、次に決定する次数の上限値をどのように定めればよいかは、到達均一度17の表示からは容易には分からない。従って、作業者は、固有モード加算時の次数の上限値を決定し、その結果表示される到達均一度17により、その決定した次数の上限値が妥当であったか否かという判断を、何度か、試行錯誤的に繰り返さざるを得ない。

[0027] 本発明は、作業者が磁場調整をする場合、固有モード加算時の次数の上限値を素早くかつ適切に決定できるようにし、磁場調整の作業の効率化を図ることが可能な磁場調整支援装置、磁場調整支援方法およびMRI装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0028] 本発明に係る磁場調整支援装置は、計測された計測磁場分布または起磁力の仮配置に基づき計算された磁場分布と、目標磁場分布と、の差である誤差磁場分布を計算する手段と、前記誤差磁場分布とその誤差磁場分布を打ち消すための磁場を生成する調整磁気モーメントの配置分布との関係を表す応答行列を特異値分解して、複数の固有モードそれぞれの特異値および磁場の強さを計算する手段と、前記複数の固有モードから前記特異値が大きい順番に

前記固有モードを1つずつ選択しながら、その選択した固有モードを前記調整磁気モーメントの計算の対象に追加し、前記調整磁気モーメントの計算の対象となった固有モードの磁場の強さにより生成される磁場分布と前記誤差磁場分布との差を残差磁場分布として計算する手段と、前記計算された残差磁場分布の変動幅を表す残差磁場誤差を、前記特異値が大きい順番の数である固有モードの次数の関数値として計算する手段と、前記計算された残差磁場誤差を前記固有モードの次数の関数グラフとして表示装置に表示する手段と、を備えることを特徴とする。

発明の効果

[0029] 本発明によれば、作業者が磁場調整をする場合、調整磁気モーメントの計算で対象とする固有モードの次数の上限値を素早くかつ適切に決定できるようになり、磁場調整の作業の効率化を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0030] [図1]残差磁場誤差 $E_r(k)$ を固有モードの次数 k の関数として表示装置に表示した例を示した図。

[図2]残差磁場誤差 $E_r(k)$ を固有モードの次数 k の関数として表示装置に表示した別の例を示した図。

[図3]目標磁場分布 B_{tg} を変化させたときの残差磁場誤差 $E_r(k)$ の変化を表示装置に表示した例を示した図。

[図4]磁場調整支援装置を磁場調整作業に適用した場合の磁場調整作業全体の処理の流れの例を示した図。

[図5]磁場調整支援装置を磁場設計作業に適用した場合の磁場設計作業全体の処理の流れの例を示した図。

[図6]特許文献1に示されている、調整磁気モーメントの配置を求める加算に用いる固有モードを選択するときに表示装置に表示されるグラフの例であり、(a)は、磁場調整前のグラフ、(b)は、磁場調整後のグラフである。

発明を実施するための形態

[0031] 以下、本発明の実施形態について、図面を参照して詳細に説明するが、こ

ここでは、まず、残差磁場分布 B_{res} の計算方法について説明しておく。

[0032] 本実施形態における計算方法の基本部分は、特許文献1に記載された方法に基づく。従って、前記したTSVD法についての説明および式(1)～式(5)についての説明は、本実施形態にもそのまま適用される。

[0033] そこで、本実施形態では、まず、式(1)～式(5)を解くことにより、残差磁場分布 B_{res} を計算するための式(6)を得る。

$$\begin{aligned} B_{res} &= B_{er} - A \cdot M \\ &= B_{er} - A \cdot \{ \sum (-v_j \cdot C_j / \lambda_j) \} \end{aligned} \quad (6)$$

[0034] この式は、磁場調整(シミング)を1回実施すれば、誤差磁場分布 B_{er} が式(6)で表される残差磁場分布 B_{res} に改善されることを意味している。

そこで、本実施形態では、残差磁場分布 B_{res} を、式(6)における固有モード加算時の次数の上限値 N の関数として捉え、式(6)における固有モードの加算(\sum の計算)を次数 k ($N = k$) まで実施した場合の残差磁場分布 B_{res} を、 $B_{res}(k)$ と表す。

[0035] さらに、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ の要素の最大値と最小値の差(PP値)を求め、これを残差磁場誤差 $E_r(k)$ と表す。

なお、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ の要素の2乗平均平方根(rms: root mean square)を残差磁場誤差 $E_r(k)$ としてもよいが、本実施形態では、残差磁場誤差 $E_r(k)$ は、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ の要素の最大値と最小値の差(PP値)であるとする。

[0036] ここで、目標磁場分布 B_{tg} および固有モードの強さ C_j の下限値は、すでに与えられているものとする。前記したように、固有モードの強さ C_j としては、非常に小さい値を設定することで、とくに問題は生じない。

[0037] 従来、残差磁場誤差 $E_r(k)$ を計算する場合、式(6)の計算では、次数が上限値 k までの固有モードについて加算(\sum の計算)を行って、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ を求めた後、残差磁場誤差 $E_r(k)$ を求めていた。

[0038] 本実施形態では、 $N = k - 1$ に対する残差磁場分布 $B_{res}(k - 1)$ が得られている場合には、 $N = k$ に対する残差磁場分布 $B_{res}(k)$ は、

$$B_{res}(k) = B_{res}(k-1) - u_k \cdot C_k \quad (7)$$

により計算することができる。

ここで、 u_k は、次数 k の固有モードに対応する磁場分布の基底である。また、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ の初期値である $B_{res}(0)$ は、磁場調整前に各磁場計測点で計測された磁場強度と目標磁場強度との差分量などとして得ることができる。

[0039] すなわち、式(7)によれば、次数 k を1から1つずつカウントアップさせるごとに、すでに計算済みの残差磁場分布 $B_{res}(k-1)$ に、次数 k の固有モードの磁場成分である $(-u_k \cdot C_k)$ を加算するだけで、次数 k に対する残差磁場分布 $B_{res}(k)$ を計算することができる。

[0040] また、式(7)は、特異値 λ_j が大きい順番に固有モードを1つずつ選択しながら、その選択した固有モードを、式(4)の調整磁気モーメント M の計算の対象に追加し、調整磁気モーメント M の計算の対象になった固有モードの(磁場の)強さ C_j により生成される磁場分布に基づき、残差磁場分布 B_{res} を計算することを意味する。

[0041] 従って、本実施形態では、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ を素早く短時間に計算することが可能になる。その結果として、 $k=1, 2, 3, \dots$ に対する残差磁場誤差 $E_r(k)$ も素早く短時間で計算することが可能になる。

[0042] 以上のように、TSVD法には、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ への寄与が固有モードごとに分かるという大きな利点がある。さらに、低次数の固有モード(特異値 λ_j が大きい固有モード)から順に選択して式(7)を計算することは、単位磁気モーメント当たりの磁場強度(特異値 λ_j)が大きな成分から順に利用していることになる。その結果、調整磁気モーメント M として実際に配置される鉄片や磁性体片などのハードウェア量を少なくすることが可能となる。

[0043] ところで、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ を計算するのに、TSVD法以外の計算方法を用いることも可能である。式(1)における応答行列 A は、一般には、非正則行列である。そのため、ここまででの説明では、TSVD法によ

り一般化逆行列 A^* を求めていたが、Tihonov正則化法を用いる方法もある。

[0044] 詳細な説明は省略するが、Tihonov正則化法によれば、式(1)から

$$A^T \cdot \text{Ber} = (A^T \cdot A + \alpha^2 \cdot L^T \cdot L) \cdot M \quad (8)$$

を得ることができる。

ここで、 A^T は、応答行列 A の転置行列であり、 α は、正則化パラメータと呼ばれる。また、行列 L は、任意性のある行列であり、標準的には、対角要素がすべて“1”、非対角要素がすべて“0”である単位行列 I_n が選択される。

[0045] 単位行列 I_n は、正方行列で、その大きさは、調整磁気モーメント M の成分の数が n であるとき、 n 行 \times n 列である。一方、応答行列 A は、誤差磁場分布 Ber の成分の数が m であるとき、 m 行 \times n 列である。従って、式(8)における $(A^T \cdot A + \alpha^2 \cdot L^T \cdot L)$ は、 n 行 \times n 列の正則行列となり、逆行列を得ることができる。

よって、式(8)から、次の式(9)が得られる。

$$M = (A^T \cdot A + \alpha^2 \cdot L^T \cdot L)^{-1} \cdot A^T \cdot \text{Ber} \quad (9)$$

[0046] 式(9)は、調整磁気モーメント M が正則化パラメータ α の関数であることを表している。また、式(1)および式(5)によれば、残差磁場分布 B_{res} は、調整磁気モーメント M から求められるので、残差磁場分布 B_{res} も正則化パラメータ α の関数となる。

よって、

$$B_{res}(\alpha) = \text{Ber} - A \cdot M(\alpha) \quad (10)$$

という式を得ることができ、さらに、残差磁場分布 $B_{res}(\alpha)$ の要素の PP 値から、残差磁場誤差 $E_r(\alpha)$ を得ることができる。

[0047] ここで、正則化パラメータ α と特異値 λ_j の関係を式(4)に基づき考える。TSVD法では、固有モードの強さ C_j の重みは、選択された固有モードに対して全て1.0であったが、Tihonov正則化法の場合、その重みは、 $\lambda_j^2 / (\lambda_j^2 + \alpha^2)$ となる。従って、Tihonov正則化法では、固有モードの算出や選択は陽には (explicitly) 行われませんが、式(4)における加算は、おおよ

そ $\lambda_j^2 > \alpha^2$ の固有モードについて行われることになる。つまり、両者は、お
おむね同等の調整磁気モーメント M を与える。

[0048] 本実施形態では、以上に説明した残差磁場分布 B_{res} や残差磁場誤差 E_r の
計算を、コンピュータなどで構成される磁場調整支援装置により実行する。
すなわち、磁場調整支援装置は、式(1)～式(9)の計算処理を実行し、
TSVD法の特異値分解による固有モードを求め、調整磁気モーメント M 計
算時の固有モード加算の次数の上限値 N に依存する残差磁場分布 $B_{res}(N)$
や残差磁場誤差 $E_r(N)$ を計算することができる。同様に、Tihonov正則化
法を用いて正則化パラメータ α に依存する残差磁場誤差 $E_r(\alpha)$ を計算する
ことができる。

[0049] なお、磁気モーメントの計算モデルとしては、特許文献1に示されている
ように、三角要素の節点に定義された電流ポテンシャルが用いられることが
多い。節点に置いた電流ポテンシャルは、その節点を周回する電流値と同じ
と考えることも出来るので、節点に磁気双極子を配置する計算方法で、行列
 A を計算することも可能である。従って、節点に磁気双極子を配置する計算
方法は、電流ポテンシャルを配置する計算方法と比べとくに差異があるわけ
ではない。つまり、磁気双極子を配置する場合も、これまでの議論と同様に
、正則化パラメータもしくは固有モード次数の関数を用いることにより、配
置する調整磁気モーメントや均一度の計算ができる。

[0050] また、本実施形態では、磁場調整支援装置は、液晶表示装置やプリント装
置など計算処理結果の内容を表示する表示装置を有する。そして、磁場調整
支援装置は、計算処理結果として得られる残差磁場誤差 $E_r(k)$ または E_r
(α)を、固有モードの次数 k (この場合の次数 k は、固有モード加算時の
次数の上限値 N)または正則化パラメータ α に依存する関数のグラフとして
表示装置に表示する。

[0051] 以下、図面を参照して詳しく説明するが、こうして表示される残差磁場誤
差 $E_r(k)$ または $E_r(\alpha)$ を表すグラフは、被計測磁場領域に生成される
磁場分布 B_{com} または起磁力配置によって生成される磁場分布の到達均一度を

表すグラフに他ならない。さらに、目標磁場分布 B_{tg} を変えて、同様の数本のグラフを表示することもできる。これらの表示により、磁場調整の作業員や磁場設計者は、均一磁場分布を実現するための磁場調整の条件を容易に把握できるようになる。

[0052] 図1は、残差磁場誤差 $E_r(k)$ を固有モードの次数 k の関数として表示装置に表示した例を示した図である。ただし、この場合の次数 k は、固有モード加算時の次数の上限値 N を意味する。また、図1において、横軸は、固有モードの次数 k を表し、縦軸は、残差磁場誤差の対数を表す。そして、図中に示された折れ線グラフ1は、式(7)で固有モードが1つずつ追加されるごとに計算される残差磁場分布 $B_{res}(k)$ の要素の PP 値として得られる残差磁場誤差 $E_r(k)$ を表している。

[0053] さらに、図1には、図6(a), (b)の場合と同様に、各固有モードにおける固有モードの強さ C_j が×印16で示されている。また、縦線2により固有モード加算時の次数の上限値 N が指定されたとき、式(4)の加算(Σ の計算)で用いられた固有モードの強さ C_j が、丸で囲った×印15で示されている。なお、この場合、図1のグラフの縦軸は、固有モードの強さの対数を表す。

[0054] 例えば、磁場分布 B_{com} の均一度の目標値を $10 \mu T$ (10^{-5} テスラ)以下とし、表示装置に折れ線グラフ1が表示されたことを想定する。そのとき、磁場調整の作業員は、その折れ線グラフ1から、固有モード加算時の次数の上限値 N が矢印4の辺り、すなわち、固有モードの次数が $k=30$ 程度で、均一度の目標値の達成が可能であることを容易に把握することができる。

[0055] 続いて、さらに良好な磁場の均一度を実現することを考える。通常は、固有モード加算時の次数の上限値 N (次数 k) を大きくするほど、磁場分布 B_{com} の均一度は向上するといえるが、均一度の向上が常に保証されているわけではない。すなわち、折れ線グラフ1を表す残差磁場誤差 $E_r(k)$ は、次数 k の単調な減少関数ではない。

[0056] ちなみに、図1の例の場合、次数 k が80辺りまでは残差磁場誤差 $E_r(k)$

) の値は、おおむね単調に減少しているが、次数 k が 80 を超えた辺りで、残差磁場誤差 $E_r(k)$ の値が増加している。このことは、固有モードの加算を次数 k が 80 よりも大きくすると、かえって磁場分布 B_{com} の均一度が悪化することが分かる。

[0057] さらにいえば、次数 k が 30 の場合と 80 の場合とでは、残差磁場誤差 $E_r(k)$ の値が減少しているとはいえ、その減少の量はわずかでしかない。次数 k を増加させること、すなわち、固有モード加算時の次数の上限値 N を増加させることは、調整磁気モーメント M のハードウェア量を増加させることになる。従って、このような場合には、ハードウェア量の増加を十分に検討した上で、固有モードの加算の上限値 N (次数 k) を決定する必要がある。

[0058] なお、図 1 を用いて、磁場調整の作業者が縦線 2 により、固有モード加算時の次数の上限値 N を設定した場合には、図 6 (a), (b) の場合と同様に、到達均一度 17 を計算し、それを折れ線グラフ 1 の表示に併せて表示してもよい。

[0059] 以上のように、本実施形態では、固有モードの次数 k と磁場分布 B_{com} の均一度を表す残差磁場誤差 $E_r(k)$ との関係が折れ線グラフ 1 で示されているため、磁場調整の作業者は、固有モード加算時の次数の上限値 N を素早くかつ適切に決定することができる。言い換えれば、固有モード加算時の次数の上限値 N の妥当性を素早くかつ適切に判断することができるようになる。

[0060] 図 2 は、残差磁場誤差 $E_r(k)$ を固有モードの次数 k の関数として表示装置に表示した別の例を示した図である。前記したように、多くの場合、固有モード加算時の次数の上限値 N 、すなわち、次数 k を大きくすると、磁場分布 B_{com} の均一度を表す残差磁場誤差 $E_r(k)$ は小さくなるので、磁場の均一度は向上する。

[0061] 図 2 に折れ線グラフ 1 a として示されているように、残差磁場誤差 $E_r(k)$ すなわち磁場分布 B_{com} の均一度は、しばしば、特定の固有モードを加えることにより、大きく改善されることがある。図 2 の例では、矢印 4 a で示す次数 $k = 45$ 辺りの固有モードを加えたところで磁場分布 B_{com} の均一度が大

きく向上している（残差磁場誤差 $E_r(k)$ が小さくなっている）。

[0062] 従って、このような場合には、固有モード加算時の次数の上限値 N としては、残差磁場誤差 $E_r(k)$ が大きく減少した直後の次数 k を選択する好ましいことが分かる。従って、本実施形態で、残差磁場誤差 $E_r(k)$ が表すグラフを表示装置に表示するようにしたことで、磁場調整の作業者は、固有モード加算時の次数の上限値 N を素早くかつ適切に把握することができ、かつ、その妥当性を素早くかつ適切に判断することが可能になる。

[0063] なお、図1および図2では、磁場分布 B_{com} の到達均一度を表す折れ線グラフ1, 1aとして、TSVD法でいう固有モードの次数 k の関数で表された $E_r(k)$ が表示されているが、Tihonov正則化法を用いた場合には、正則化パラメータ α の関数で表された $E_r(\alpha)$ が表示される。

[0064] なお、本明細書では、説明を省略したが、式(4)で求めた調整磁気モーメント M から鉄片量、磁石量または電流ループなどの物量（ハードウェア量）への換算は、特許文献1などに記載された方法と同様にして行うことができる。

[0065] ところで、磁場調整（シミング）が全体として良好であるか否かの判定には、磁場の到達均一度だけでなく、磁場調整に必要な鉄片などの物量も考慮する必要がある。もし、過大な物量が必要となる場合には、固有モードの選択などを再検討する。そして、どのような選択を行っても、過大な物量が必要と計算された場合には、磁石の設計もしくは製作の不良と判断する。

[0066] 以上、図1や図2に示したように、残差磁場誤差 E_r を固有モードの次数 k または正則化パラメータ α の関数として表示装置に表示する機能は、(a) 製作完了時の品質管理、(b) コイルや磁性体配置の設計時における、起磁力配置の設計の妥当性、配置再検討の要否の判断、などに利用することができる。

[0067] なお、磁石の設計で応用する場合には、設計時の起磁力配置（コイルや磁性体の配置）を仮定し、その配置での磁場を計算し、必要な磁気モーメントの配置を求める。このような場合でも、計算上は同じ磁場調整であり、本実

施形態と同様の計算方法も用いることができる。そして得られた残差磁場分布 B_{res} の均一性が不十分であったり、必要な磁気モーメントの物量が多くなったりした場合には、コイルや鉄などの磁気モーメントの配置を変更し、磁場調整に必要な磁気モーメントを最小化していく。

[0068] 図3は、目標磁場分布 B_{tg} を変化させたときの残差磁場誤差 $E_r(k)$ の変化を表示装置に表示した例を示した図である。ここで、グラフの横軸は、図1の場合と同様に、固有モードの次数 k を表し、縦軸は、残差磁場誤差の対数を表す。

[0069] 図3に示された折れ線グラフ5a, 5b, 5cは、次数 k の関数グラフとして残差磁場誤差 $E_r(k)$ を表したものであり、このうち、折れ線グラフ5b, 5cは、目標磁場を当初の目標磁場分布 B_{tg} から、+1ガウスまたは-1ガウス変化させたときの残差磁場誤差 $E_r(k)$ を表したものである。なお、当初の目標磁場分布 B_{tg} の強度は、数T（テラ）オーダであるとし、1ガウス = 10^{-4} Tである。

[0070] また、図3に示された折れ線グラフ5aからは、縦線2の位置で目標磁場分布 B_{tg} に対する残差磁場誤差 $E_r(k)$ が最小になっていることが容易に分かる。従って、縦線2の位置に対応する次数 k を固有モード加算時の次数の上限値 N に設定すると、残差磁場分布 B_{res} の最も良好な均一度を得ることが容易に分かる。さらに、折れ線グラフ5aと折れ線グラフ5b, 5cとを比較することにより、目標磁場分布 B_{tg} を+1ガウスまたは-1ガウス変化させたとしても、残差磁場誤差 $E_r(k)$ の改善は期待できないことが容易にわかる。

[0071] 従って、図3のように、目標磁場分布 B_{tg} をわずかに変化させたときの残差磁場誤差 $E_r(k)$ を表す折れ線グラフ5a, 5b, 5cを表示したことにより、磁場調整の作業者は、適切な固有モード加算時の次数の上限値 N を容易に知ることができるとともに、予め設定した目標磁場分布 B_{tg} の妥当性の良否を判断することができるようになる。

[0072] さらに、磁場調整時に必要となる調整磁気モーメント M の物量に目安とな

る量として、調整磁気モーメント M の要素の総和を磁気モーメント総和値として計算する。そして、その対数値を、図3の中に追加して表示したものが折れ線グラフ6a, 6b, 6cである。調整磁気モーメント M の物量に対応する量を折れ線グラフ6a, 6b, 6cとして示したことにより、磁場調整の作業者は、調整磁気モーメント M の物量の妥当性についても適切な判断をすることが可能になる。

[0073] なお、図3のグラフの横軸は、固有モードの次数 k を表すものとしているが、Tihonov正則化法でいう正則化パラメータ α であってもよい。

[0074] 図4は、磁場調整支援装置を磁場調整作業に適用した場合の磁場調整作業全体の処理の流れの例を示した図である。なお、図4において、点線400で囲まれた部分の処理は、磁場調整支援装置によって実行される。

[0075] 図4に示すように、磁場調整の作業者は、磁石装置の磁場調整を開始すると、磁場計測装置を用いて、磁石装置によって被計測磁場領域に生成される磁場分布を計測する（ステップS11）。次に、磁場調整支援装置は、磁場計測装置から計測磁場分布を取得し、予め設定された目標磁場との差である誤差磁場分布 B_{er} を計算する（ステップS12）。ここで、誤差磁場分布 B_{er} は、磁場測定点の数と同数の要素（成分）を持つベクトルである。

[0076] 次に、磁場調整支援装置は、誤差磁場分布 B_{er} の変動幅を表す指標として、例えば、誤差磁場分布 B_{er} の各要素の最大値と最小値の差（PP値）を求め、そのPP値により誤差磁場分布 B_{er} の均一度を判定する（ステップS13）。そして、そのPP値が予め定めておいたPP値よりも小さい場合には、生成された磁場分布が目標磁場分布とほとんど同じであることを意味するので、前記生成された磁場の均一度が良好と判定し（ステップS13でYes）、磁場調整作業を終了する。一方、PP値が予め定めておいたPP値以上であった場合には、前記生成された磁場の均一度が不良と判定し（ステップS13でNo）、ステップS14以降の処理に移行する。

[0077] そこで、磁場調整支援装置は、式(2)を満たす応答行列 A を求め、さらに、その応答行列 A の一般化逆行列 A^* を求めるために、特異値分解計算を行

う（ステップS14）。なお、この特異値分解計算は、作業時間短縮のために、作業開始前にあらかじめ計算しておいてもよい。そして、その特異値分解計算の結果として、各固有モードについての特異値 λ_i および固有モードの（磁場の）強さ C_i を得る。

[0078] 次に、磁場調整支援装置は、特異値 λ_i および固有モード強さ C_i を用い、さらに、次数 k を1から1つずつカウントアップしながら、式（4）および式（5）に従い残差磁場分布 $B_{res}(k)$ を計算する（ステップS15）。なお、このときの次数 k は、式（4）で加算（ Σ 計算）に用いる固有モードの次数の上限値 N を意味する。ただし、本実施形態では、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ は、式（7）を用いて計算する。

[0079] 次に、磁場調整支援装置は、残差磁場分布 $B_{res}(k)$ の要素のPP値を、残差磁場誤差 $E_r(k)$ として計算する（ステップS16）。残差磁場誤差 $E_r(k)$ は、残差磁場分布 B_{er} の変動幅を表す指標であり、ここでは、固有モードの次数 k に依存する値として計算される。

[0080] 次に、磁場調整支援装置は、固有モードの次数 k に依存する残差磁場誤差 $E_r(k)$ が表すグラフを表示装置に表示する（ステップS17）。なお、残差磁場誤差 $E_r(k)$ の表示例は、図1および図2に折れ線グラフ1, 1aとして示されている。

[0081] 次に、作業者が表示装置に表示された残差磁場誤差 $E_r(k)$ が表すグラフを見て、作業者が適切と判断する固有モードの選択条件（本実施形態では、固有モードの次数）を入力する。しこで、磁場調整支援装置は、その入力される固有モードの選択条件を取得する（ステップS18）。次に、磁場調整支援装置は、取得した固有モードの選択条件、つまり、固有モードの次数に基づき、式（4）を用いて調整磁気モーメント M を計算する（ステップS19）。

[0082] 次に、磁場調整支援装置は、計算された調整磁気モーメント M を、配置する鉄片、磁性体、電流ループなど大きさや配置位置など、個々の磁気モーメントの配置情報を表示装置に表示する（ステップS20）。

- [0083] そこで、磁場調整の作業者は、表示装置に表示された個々の磁気モーメントの配置情報に基づいて、調整磁気モーメント M が現実に配置可能であるか否かを判断し、配置可能と判断した場合には（ステップS 2 1でY e s）、調整用の鉄片、磁性体、電流ループなどの個々の磁気モーメントを実際に配置する（ステップS 2 2）。
- [0084] そして、ステップS 1 1へ戻って、作業者は、再度、調整磁気モーメント配置後の磁石装置によって生成される磁場分布を計測する（ステップS 1 1）。さらに、磁場調整支援装置によって誤差磁場分布 B_{er} を計算し（ステップS 1 2）、その誤差磁場分布 B_{er} の変動幅（P P 値）が予め定めておいたP P 値よりも小さい場合、つまり、前記生成された磁場分布の均一度が良好であった場合には（ステップS 1 3でY e s）、磁場調整を終了する。
- [0085] 一方、ステップS 2 1で、表示された調整磁気モーメントが、例えば、大きすぎて現実には配置できるものではないと判断された場合には（ステップS 2 1でN o）、磁場調整の作業者は、さらに固有モードの選択条件の変更などによる調整が可能か否かを判断する（ステップS 2 3）。そして、その調整が可能と判断された場合には（ステップS 2 3でY e s）、ステップS 1 8へ戻り、磁場調整支援装置によるステップS 1 8以下の処理を繰り返し実行する。
- [0086] また、ステップS 2 3で、選択条件の変更などによる調整も不可能と判断された場合には（ステップS 2 3でN o）、磁石装置の不調とみなし、磁石装置実機の修理・調整をする（ステップS 2 4）。
- [0087] 以上に説明した磁場調整作業によれば、作業者は、ステップS 1 7で表示される残差磁場誤差 $E_r(k)$ が表す折れ線グラフ1, 1 a（図1、図2参照）を見ながら、固有モードの選択条件を入力することが可能になる。そのため、作業者は、磁場分布の均一度を向上させるのに適切な固有モードを素早くかつ適切に選択することが可能になる。その結果、作業者は、固有モードの選択を何回も繰り返して磁場調整をすることなく、磁場分布の均一度を向上させることが可能になるので、磁場調整作業の所要時間を短縮することが

できる。

[0088] 図5は、磁場調整支援装置を磁場設計作業に適用した場合の磁場設計作業全体の処理の流れの例を示した図である。なお、図5において、点線401で囲まれた部分の処理は、磁場調整支援装置によって実行される。

[0089] 図5に示すように、磁場設計者は、磁石装置による磁場の設計を開始すると、まず、磁石装置における起磁力の仮配置を設計する（ステップS10）。次に、磁場調整支援装置は、その起磁力の仮配置に基づき、磁石装置によって所定の被計測磁場領域に生成される磁場分布を計算する（ステップS11a）。次に、磁場調整支援装置は、その計算した磁場分布と予め設定された目標磁場との差である誤差磁場分布Berを計算する（ステップS12）。

[0090] 次に、磁場調整支援装置は、誤差磁場分布Berの変動幅を表す指標として、例えば、誤差磁場分布Berの各要素の最大値と最小値の差（PP値）を求め、そのPP値により誤差磁場分布Berの均一度を判定する（ステップS13）。そして、そのPP値が予め定めておいたPP値よりも小さい場合には、磁石装置により生成される磁場分布が目標磁場分布とほとんど同じであることを意味するので、前記生成された磁場の均一度が良好と判定し（ステップS13でYes）、そのときの起磁力の仮配置を最終的に設計された起磁力配置として磁場設計作業を終了する。

[0091] 一方、PP値が予め定めておいたPP値以上であった場合には、前記生成された磁場の均一度が不良と判定し（ステップS13でNo）、ステップS14以降の処理に移行する。なお、ステップS14以降ステップS20までの処理は、図4に示した磁場調整支援装置の処理と同じなので、説明を省略する。なお、ステップS14の特異値分解計算は、あらかじめ計算しておいてもよく、また、ステップS10の起磁力仮配置設計以降なら、その仮配置の情報を用いて何時計算してもよい。

[0092] 次に、磁場設計者は、表示装置に表示された個々の磁気モーメントの配置情報に基づいて、調整磁気モーメントMが現実に配置可能であるか否かを判断し、配置可能と判断した場合には（ステップS21でYes）、当初の仮

配置の起磁力配置を変更する（ステップS 2 2 a）。そして、磁場調整支援装置は、ステップS 1 1 aへ戻って、変更後の起磁力配置に基づき、再度、磁場分布計算する（ステップS 1 1 a）。

[0093] 一方、ステップS 2 1で、表示された調整磁気モーメントが、例えば、大きすぎて現実には配置できるものではないと判断された場合には（ステップS 2 1でN o）、磁場設計者は、さらに固有モードの選択条件の変更などによる調整が可能か否かを判断する（ステップS 2 3）。そして、その結果、調整可能と判断された場合には（ステップS 2 3でY e s）、ステップS 1 8へ戻り、磁場調整支援装置によるステップS 1 8以下の処理を繰り返し実行する。

[0094] また、ステップS 2 3で、固有モードの選択条件の変更などによる調整も不可能と判断された場合には（ステップS 2 3でN o）、起磁力の仮配置の設計不良と判断し、起磁力の仮配置を再検討する（ステップS 2 4 a）。

[0095] 以上に説明した磁場設計作業によれば、磁場設計者は、ステップS 1 7で表示される残差磁場誤差 $E_r(k)$ が表す折れ線グラフ1, 1 a（図1、図2参照）を見ながら、固有モードの選択条件を入力することが可能になる。そのため、磁場設計者は、磁場分布の均一度を向上させるのに適切な固有モードを素早くかつ適切に選択することが可能になる。その結果、磁場設計者は、固有モードの選択を何回も繰り返して磁場調整をすることなく、磁場分布の均一度を向上させることが可能になるので、磁場設計作業の所要時間を短縮することができる。

[0096] ところで、図4および図5で説明した磁場調整支援装置が実行する処理は、コンピュータなどを備えた磁石装置の制御装置、あるいは、MRI装置の制御装置に内蔵させることができる。そうすることにより、磁石装置やMRI装置における磁場調整作業や磁場設計作業の効率化を図ることができる。

[0097] 以上、本実施形態は、医療診断用のMRI装置や物理研究用装置など、コイルや鉄などの磁性体を配置して高精度の磁場を発生する磁石装置において、所望の磁場強度の分布に磁場を調整または設計するのに適用される。

[0098] とくにMRI装置などのように被計測磁場領域に生成された極めて高精度に均一化された磁場の調整または設計に好適である。その調整作業は、鉄片などの磁気モーメントを配置することで誤差磁場を補正し、磁場強度を均一化するものであり、シミングと呼ばれている。本実施形態に係る磁場調整支援装置は、そのシミングの作業において、作業者が磁気モーメント配置計算の条件決定をするのを効果的に支援する。

[0099] なお、本発明は、以上に説明した実施形態に限定されるものでなく、さらに様々な変形例が含まれる。例えば、前記の実施形態は、本発明を分かりやすく説明するために、詳細に説明したものであり、必ずしも説明したすべての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施形態の構成の一部を他の実施形態の構成の一部で置き換えることが可能であり、さらに、ある実施形態の構成に他の実施形態の構成の一部または全部を加えることも可能である。

符号の説明

- [0100]
- | | |
|------------------|---------------------------|
| 1, 1 a | 折れ線グラフ (残差磁場誤差) |
| 2 | 縦線 (特異値 λ_j の下限値) |
| 3 | 横線 (固有モードの強さ C_j の下限値) |
| 5 a, 5 b, 5 c | 折れ線グラフ (残差磁場誤差) |
| 6 a, 6 b, 6 c | 折れ線グラフ (磁気モーメント総和) |
| 17, 17 a | 到達均一度 |
| λ_j | 固有モード j の特異値 |
| C_j | 固有モード j の強さ |
| A | 応答行列 |
| A^* | 応答行列 A の一般化逆行列 |
| A^T | 応答行列 A の転置行列 |
| B _{er} | 誤差磁場分布 |
| B _{res} | 残差磁場分布 |
| B _{tg} | 目標磁場分布 |

E_r	残差磁場誤差
k	固有モードの次数
M	調整磁気モーメント
N	固有モード加算の上限値

請求の範囲

[請求項1]

計測された計測磁場分布または起磁力の仮配置に基づき計算された磁場分布と、目標磁場分布と、の差である誤差磁場分布を計算する手段と、

前記誤差磁場分布とその誤差磁場分布を打ち消すための磁場を生成する調整磁気モーメントの配置分布との関係を表す応答行列を特異値分解して、複数の固有モードそれぞれの特異値および磁場の強さを計算する手段と、

前記複数の固有モードから前記特異値が大きい順番に前記固有モードを1つずつ選択しながら、その選択した固有モードを前記調整磁気モーメントの計算の対象に追加し、前記調整磁気モーメントの計算の対象となった固有モードの磁場の強さにより生成される磁場分布と前記誤差磁場分布との差を残差磁場分布として計算する手段と、

前記計算された残差磁場分布の変動幅を表す残差磁場誤差を、前記特異値が大きい順番の数である固有モードの次数の関数値として計算する手段と、

前記計算された残差磁場誤差を前記固有モードの次数の関数グラフとして表示装置に表示する手段と、

を備えること

を特徴とする磁場調整支援装置。

[請求項2]

前記調整磁気モーメントの計算の対象となった固有モードに対応して配置される調整磁気モーメントの総和を、前記配置される調整磁気モーメントの物量を表す指標として算出し、前記算出した指標を前記固有モードの次数の関数グラフとして表示装置に表示する手段を、さらに、備えること

を特徴とする請求項1に記載の磁場調整支援装置。

[請求項3]

計測された計測磁場分布または起磁力の仮配置に基づき計算された磁場分布と、目標磁場分布と、の差である誤差磁場分布を計算するス

テップと、

前記誤差磁場分布とその誤差磁場分布を打ち消すための磁場を生成する調整磁気モーメントの配置分布との関係を表す応答行列を特異値分解して、複数の固有モードそれぞれの特異値および磁場の強さを計算するステップと、

前記複数の固有モードから前記特異値が大きい順番に前記固有モードを1つずつ選択しながら、その選択した固有モードを前記調整磁気モーメントの計算の対象に追加し、前記調整磁気モーメントの計算の対象となった固有モードの磁場の強さにより生成される磁場分布と前記誤差磁場分布との差を残差磁場分布として計算するステップと、

前記計算された残差磁場分布の変動幅を表す残差磁場誤差を、前記特異値が大きい順番の数である固有モードの次数の関数値として計算するステップと、

前記計算された残差磁場誤差を前記固有モードの次数の関数グラフとして表示装置に表示するステップと、

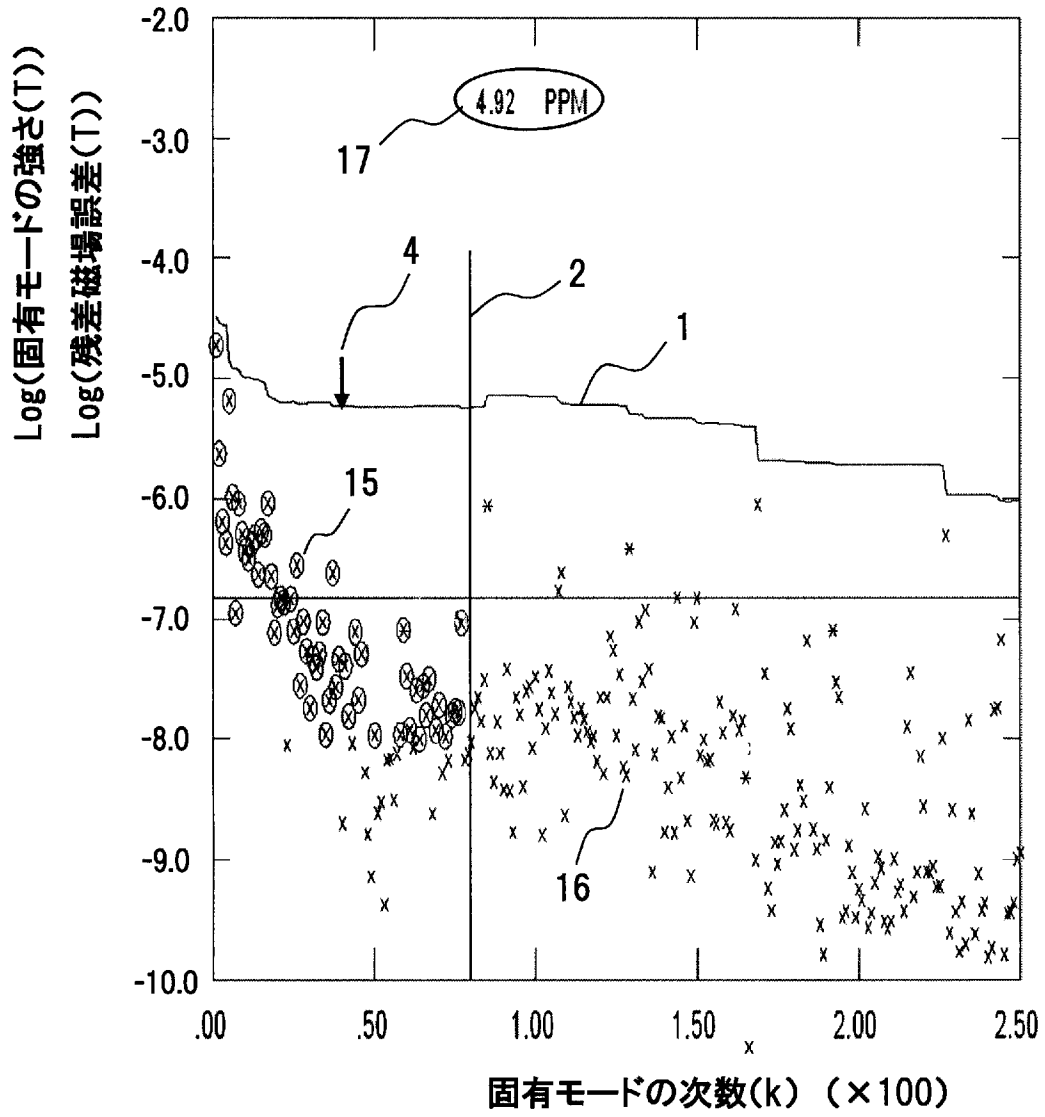
をコンピュータに実行させること
を特徴とする磁場調整支援方法。

[請求項4] 前記調整磁気モーメントの計算の対象となった固有モードに対応して配置される調整磁気モーメントの総和を、前記配置される調整磁気モーメントの物量を表す指標として算出し、前記算出した指標を前記固有モードの次数の関数グラフとして表示装置に表示するステップを、さらに、コンピュータに実行させること
を特徴とする請求項3に記載の磁場調整支援方法。

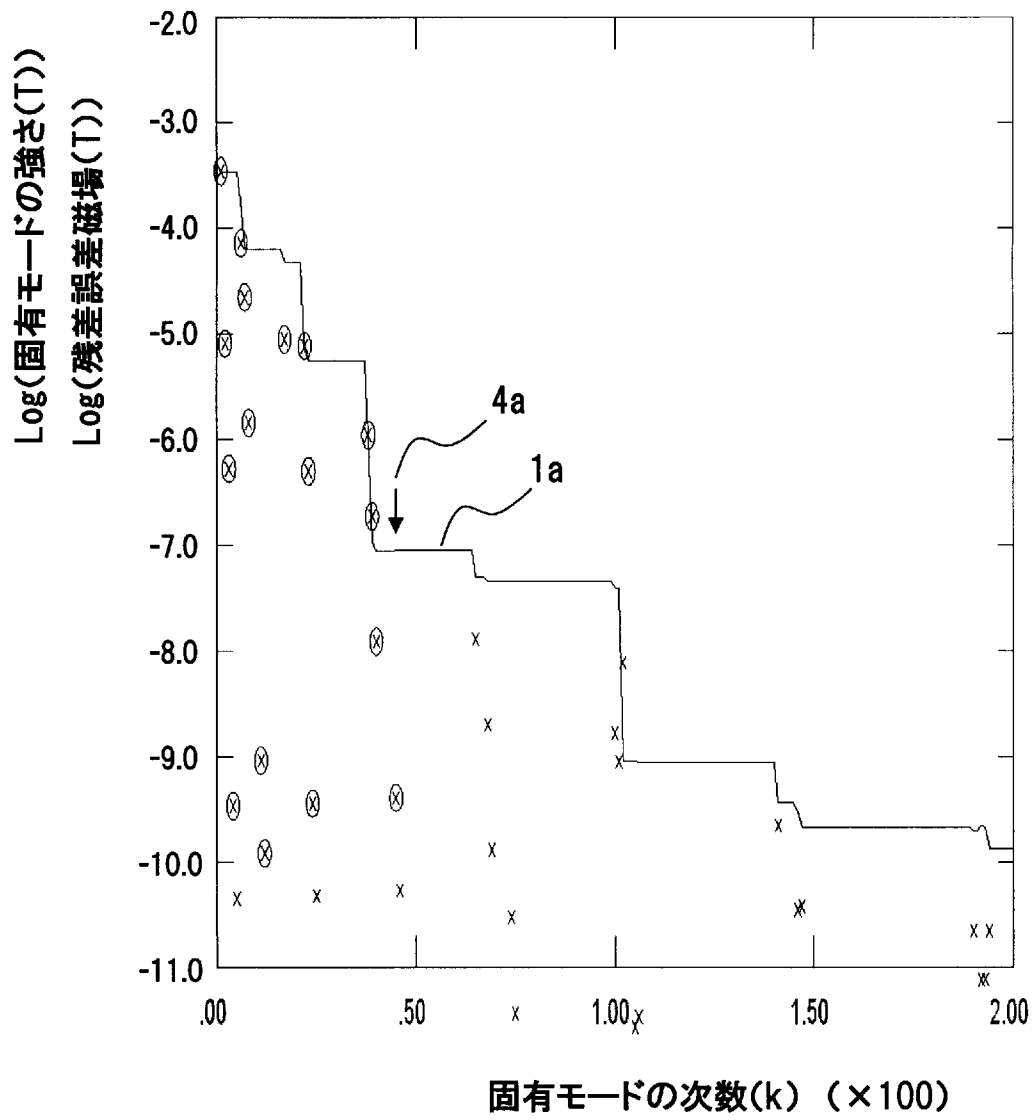
[請求項5] 請求項1または請求項2に記載の磁場調整支援装置を内蔵することを特徴とするMRI装置。

[請求項6] 請求項1または請求項2に記載の磁場調整支援装置を内蔵することを特徴とする磁石装置。

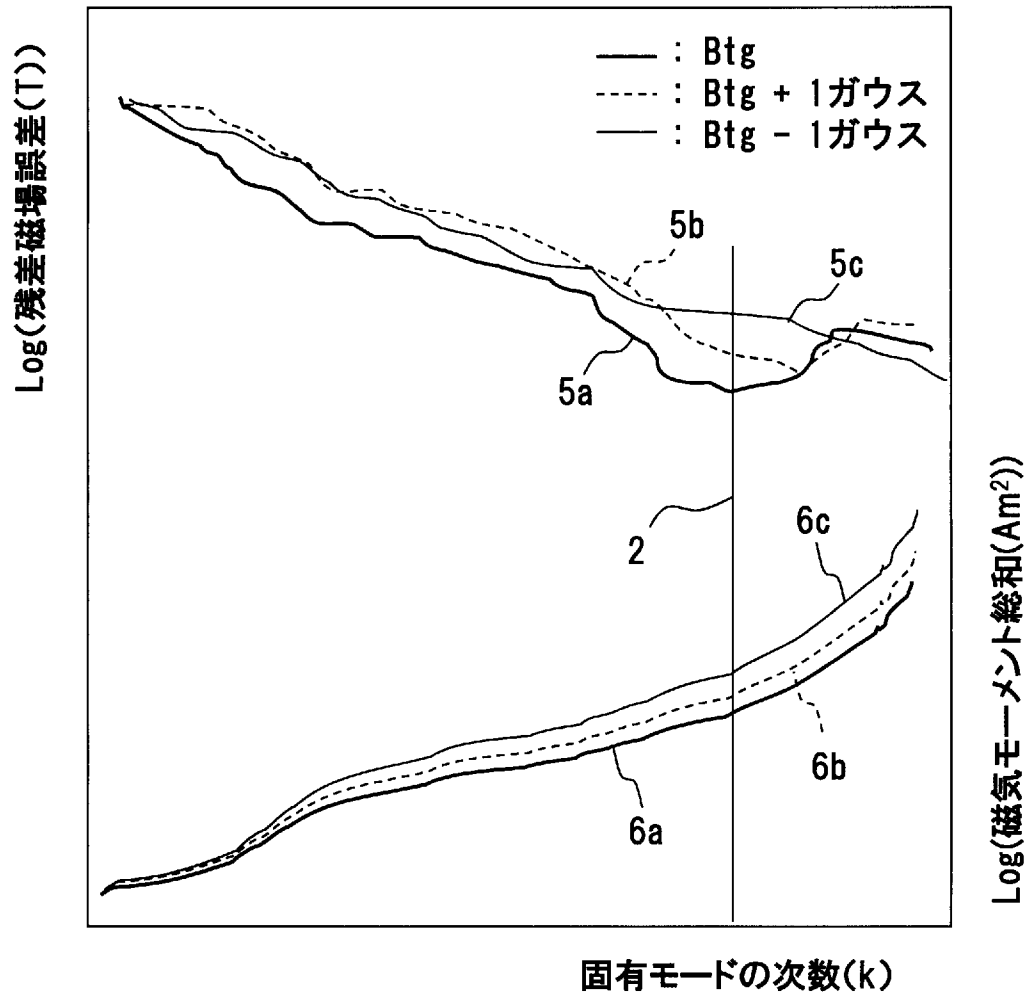
[図1]



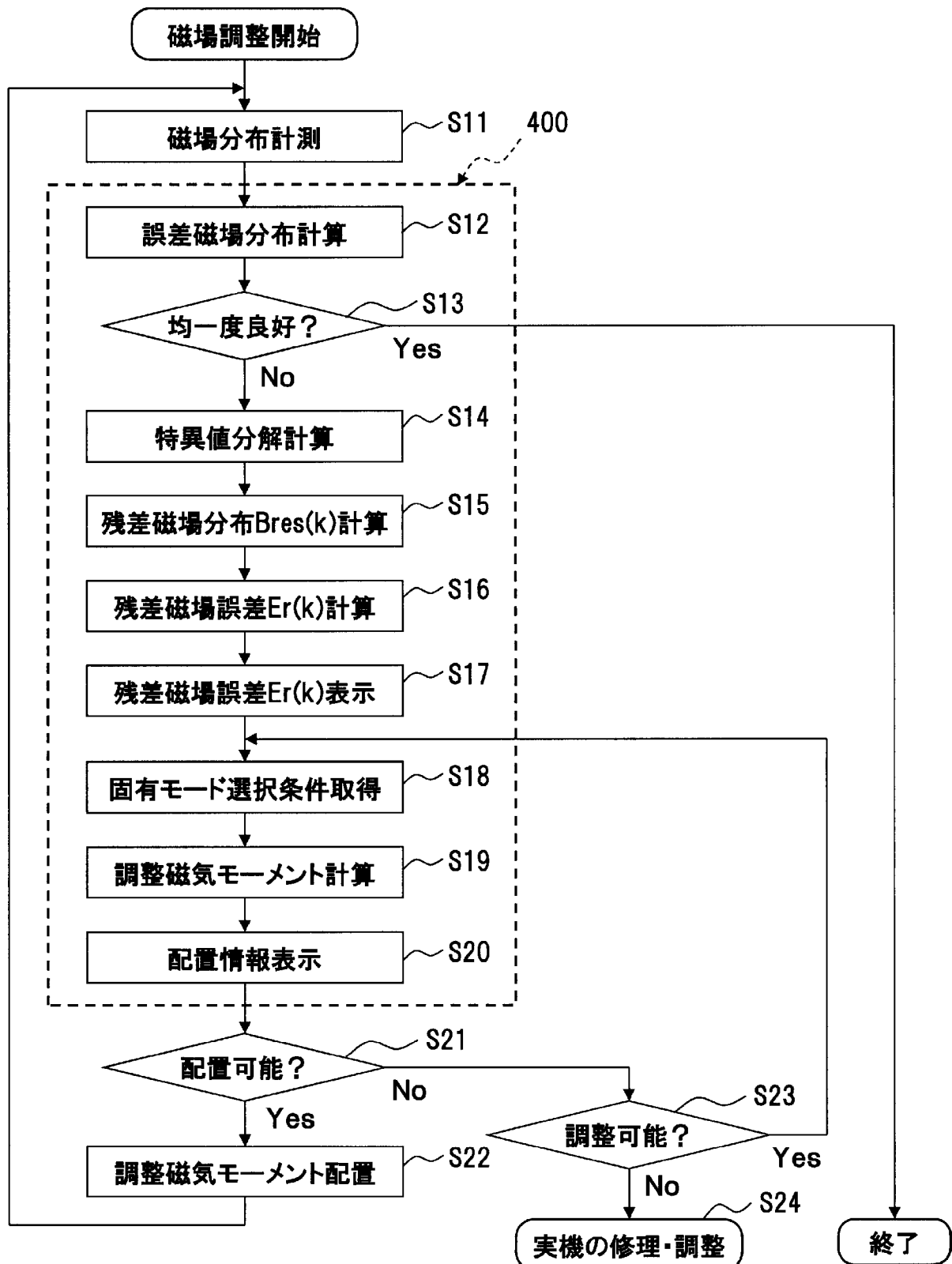
[図2]



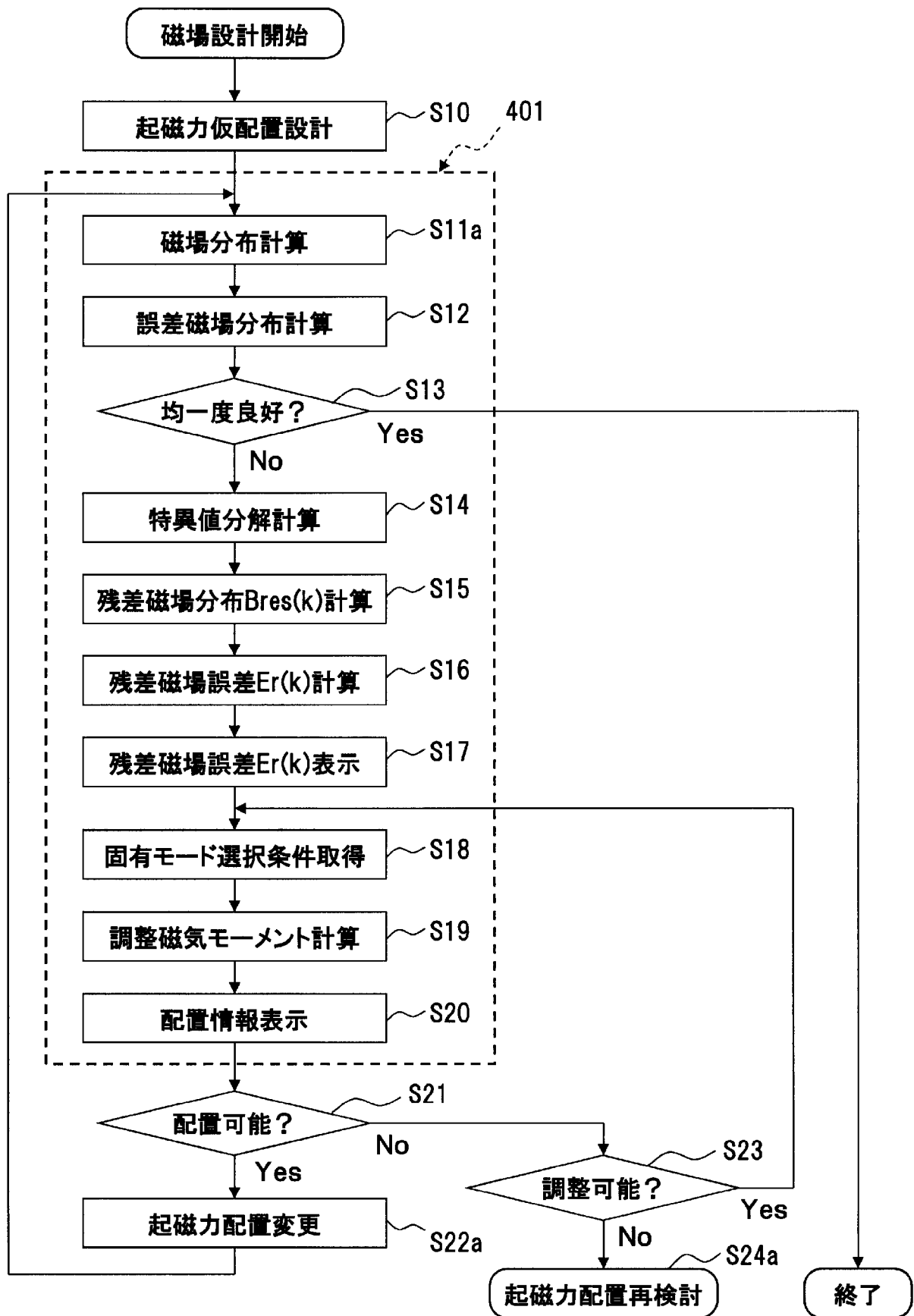
[図3]



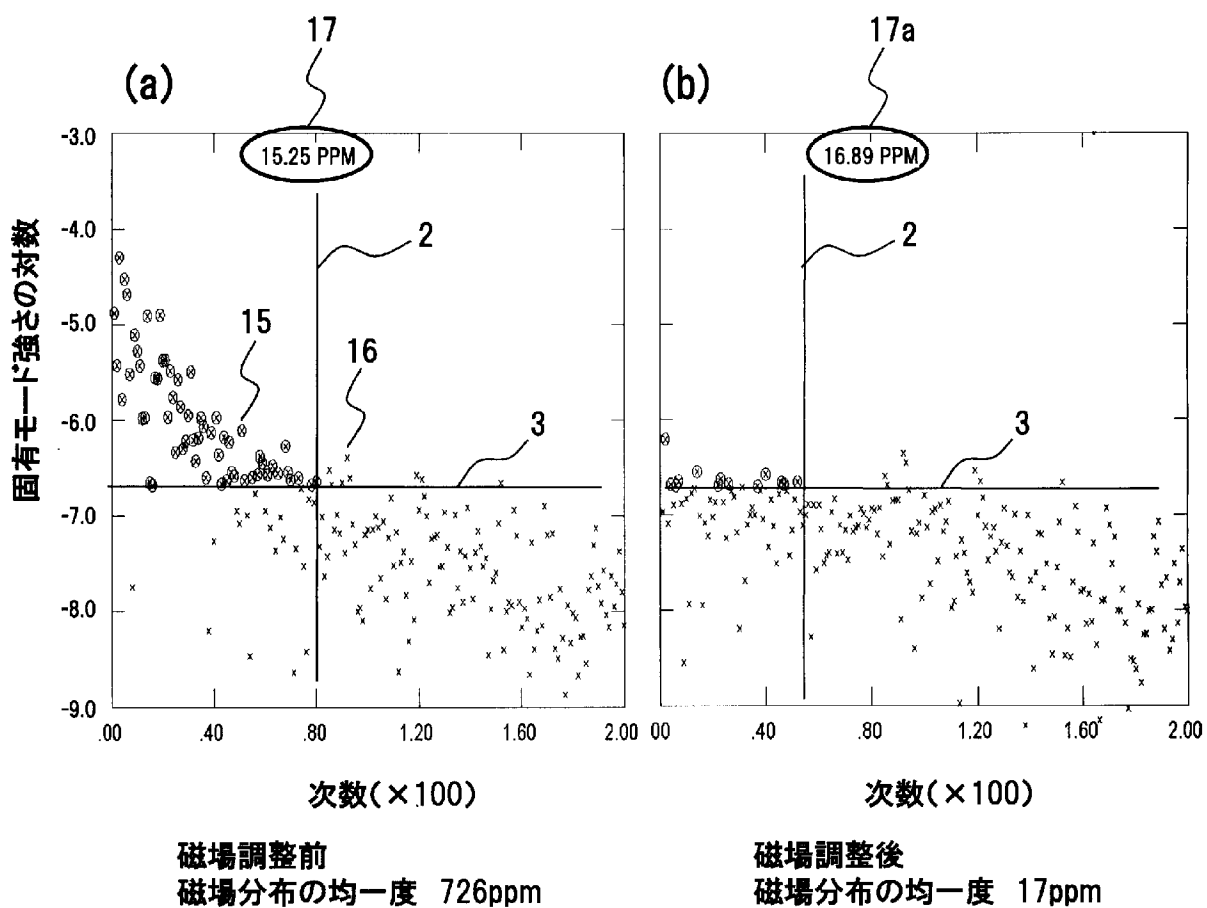
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2014/066737

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
A61B5/055(2006.01)i, G01R33/387(2006.01)i, H01F7/20(2006.01)i, H01F41/00(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)
A61B5/055, G01R33/387, H01F7/20, H01F41/00

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	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
Thomson Innovation, ALL=(singular adj value) AND ALL=(value adj decomposition) AND ALL=(eigen adj mode) AND ALL=(magnetic adj field)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-110065 A (Hitachi, Ltd.), 09 June 2011 (09.06.2011), entire text; fig. 1 to 18 & US 2012/0268119 A1 & WO 2011/065357 A1 & CN 102665542 A	1-6
A	JP 2013-59488 A (Hitachi Medical Corp.), 04 April 2013 (04.04.2013), entire text; fig. 1 to 10 (Family: none)	1-6
A	JP 2012-101105 A (Hitachi, Ltd.), 31 May 2012 (31.05.2012), entire text; fig. 1 to 13 & US 2011/0089943 A1 & WO 2009/136643 A1 & CN 102046083 A	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 22 September, 2014 (22.09.14)	Date of mailing of the international search report 07 October, 2014 (07.10.14)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

<p>A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. A61B5/055(2006.01)i, G01R33/387(2006.01)i, H01F7/20(2006.01)i, H01F41/00(2006.01)i</p>											
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))</p> <p>Int.Cl. A61B5/055, G01R33/387, H01F7/20, H01F41/00</p>											
<p>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</p> <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>1971-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2014年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2014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	1971-2014年	日本国実用新案登録公報	1996-2014年	日本国登録実用新案公報	1994-2014年	
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2014年										
日本国実用新案登録公報	1996-2014年										
日本国登録実用新案公報	1994-2014年										
<p>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)</p> <p>Thomson Innovation、ALL=(singular adj value) AND ALL=(value adj decomposition) AND ALL=(eigen adj mode) AND ALL=(magnetic adj field)</p>											
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 2011-110065 A (株式会社日立製作所) 2011.06.09, 全文, 第1-18図 & US 2012/0268119 A1 & WO 2011/065357 A1 & CN 102665542 A</td> <td>1-6</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2013-59488 A (株式会社日立メディコ) 2013.04.04, 全文, 第1-10図 (ファミリーなし)</td> <td>1-6</td> </tr> </tbody> </table>			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 2011-110065 A (株式会社日立製作所) 2011.06.09, 全文, 第1-18図 & US 2012/0268119 A1 & WO 2011/065357 A1 & CN 102665542 A	1-6	A	JP 2013-59488 A (株式会社日立メディコ) 2013.04.04, 全文, 第1-10図 (ファミリーなし)	1-6
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 2011-110065 A (株式会社日立製作所) 2011.06.09, 全文, 第1-18図 & US 2012/0268119 A1 & WO 2011/065357 A1 & CN 102665542 A	1-6									
A	JP 2013-59488 A (株式会社日立メディコ) 2013.04.04, 全文, 第1-10図 (ファミリーなし)	1-6									
<p><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。</p>											
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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)</p> <p>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「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</p> <p>「&」同一パテントファミリー文献</p>											
<p>国際調査を完了した日</p> <p>22.09.2014</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>07.10.2014</p>										
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁 (ISA/J P)</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官 (権限のある職員)</p> <p>安田 明夫</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3292</p>	<table border="1"> <tr> <td>2Q</td> <td>9309</td> </tr> </table>	2Q	9309							
2Q	9309										

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 2012-101105 A (株式会社日立製作所) 2012. 05. 31, 全文, 第 1-13 図 & US 2011/0089943 A1 & WO 2009/136643 A1 & CN 102046083 A	1 - 6