

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7143313号

(P7143313)

(45)発行日 令和4年9月28日(2022.9.28)

(24)登録日 令和4年9月16日(2022.9.16)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 5/055(2006.01)

A 6 1 B 5/055 3 7 6

A 6 1 B 5/055 3 1 1

請求項の数 14 (全24頁)

(21)出願番号	特願2019-543895(P2019-543895)	(73)特許権者	590000248
(86)(22)出願日	平成30年2月9日(2018.2.9)		コーニンクレッカ フィリップス エヌ
(65)公表番号	特表2020-507410(P2020-507410		ヴェ
	A)		Koninklijke Philips
(43)公表日	令和2年3月12日(2020.3.12)		N.V.
(86)国際出願番号	PCT/EP2018/053237		オランダ国 5 6 5 6 アーヘー アイン
(87)国際公開番号	WO2018/149737		ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2
(87)国際公開日	平成30年8月23日(2018.8.23)		High Tech Campus 5 2 ,
審査請求日	令和3年2月4日(2021.2.4)		5 6 5 6 AG Eindhoven , N
(31)優先権主張番号	17156616.9		etherlands
(32)優先日	平成29年2月17日(2017.2.17)	(74)代理人	110001690
(33)優先権主張国・地域又は機関	欧州特許庁(EP)		特許業務法人M & Sパートナーズ
		(72)発明者	ドゥエインダム アドリクス ヨセフ
			ウィリブロードゥス
			オランダ国 5 6 5 6 アーエー アイン
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 双極読み取り勾配に対する位相誤差補正

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

イメージングゾーンから予備的磁気共鳴データを獲得するための磁気共鳴イメージングシステムであって、

前記磁気共鳴イメージングシステムが、

マシン実行可能命令と準備パルスシーケンスコマンドとを記憶するためのメモリであって、前記準備パルスシーケンスコマンドが、第1のデータ部分及び第2のデータ部分として前記予備的磁気共鳴データを獲得し、前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記第1のデータ部分の獲得中に第1の双極読み取り勾配を生成するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御し、前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記第2のデータ部分の獲得中に第2の双極読み取り勾配を生成するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御し、前記第1の双極読み取り勾配が、前記第2の双極読み取り勾配に対して逆極性をもつ、メモリと、

前記磁気共鳴イメージングシステムを制御するためのプロセッサであって、前記マシン実行可能命令の実行が、前記プロセッサに、

前記第1のデータ部分と前記第2のデータ部分とを獲得するように前記準備パルスシーケンスコマンドを使用して前記磁気共鳴イメージングシステムを制御することと、

前記第1のデータ部分と前記第2のデータ部分とを使用して画像空間におけるデータ部分における位相誤差を表す測定された正規化位相補正量を計算することと、

モデル化された位相補正を前記測定された正規化位相補正量にフィッティングすること

10

20

であって、前記モデル化された位相補正が、所定の空間依存した位相誤差関数のフェーザーである、フィッティングすることと、

を行わせる、プロセッサと、

を備える、磁気共鳴イメージングシステムにおいて、

前記マシン実行可能命令の実行が、前記プロセッサに、

前記第 1 のデータ部分を使用して、測定された第 1 の位相画像データを再構成することと、

前記第 2 のデータ部分を使用して、測定された第 2 の位相画像データを再構成することと、

を行わせ、

前記測定された第 1 の位相画像データが、補正された第 1 の位相画像データに、測定された前記位相誤差を乗じたものに等しく、前記測定された第 2 の位相画像データが、補正された第 2 の位相画像データに、測定された前記位相誤差の複素共役を乗じたものに等しく、前記測定された正規化位相補正量が、前記測定された第 1 の位相画像データ、及び、前記測定された第 2 の位相画像データ、及び、前記フィッティングによりもたらされる位相補正から計算される、

磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 2】

前記磁気共鳴イメージングシステムが、前記予備的磁気共鳴データを受信するための複数のチャンネルを備える複数チャンネル RF システムを備え、前記測定された正規化位相補正量が、前記複数のチャンネルの各々の平均から計算される、

請求項 1 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 3】

前記マシン実行可能命令の実行が、更に、前記プロセッサに、

前記第 1 のデータ部分を使用して第 1 の位相画像を再構成することと、

前記第 2 のデータ部分を使用して第 2 の位相画像を再構成することと、

を行わせ、

前記測定された正規化位相補正量が、前記第 1 の位相画像と前記第 2 の位相画像とを使用して計算される、

請求項 1 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 4】

前記磁気共鳴イメージングシステムが、複数の受信チャンネルを使用して前記磁気共鳴イメージングシステムを受信するための複数のチャンネルを備える複数チャンネル RF システムを備え、前記マシン実行可能命令の実行が、更に、前記プロセッサに、

前記複数のチャンネルの各々に対して前記第 1 のデータ部分を使用して第 1 の位相画像を再構成することと、

前記複数のチャンネルの各々に対して前記第 2 のデータ部分を使用して第 2 の位相画像を再構成することと、

前記複数のチャンネルの各々に対して前記第 1 の位相画像と前記第 2 の位相画像とを使用してチャンネル正規化位相補正量を計算することと、

を行わせ、

前記測定された正規化位相補正量が、前記複数のチャンネルの各々に対して前記チャンネル正規化位相補正量形態の平均を使用して計算される、

請求項 1 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 5】

前記メモリが、イメージング磁気共鳴コマンドを更に含み、イメージングパルスシーケンスコマンドが、Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルに従ってイメージング磁気共鳴データを獲得し、前記マシン実行可能命令の実行が、更に、前記プロセッサに、前記イメージングパルスシーケンスコマンドを使用してイメージング磁気共鳴データを獲得させ、前記マシン実行可能命令の実行が、更に、前記プロセッサに、前記イメージング磁気共鳴データを使用して前記 Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルに従って少なくとも

10

20

30

40

50

も水画像と脂肪画像とを再構成させ、前記水画像と前記脂肪画像とを再構成することが、位相誤差関数を使用して前記位相補正を計算することを有する、

請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 6】

前記メモリが、イメージング磁気共鳴コマンドを更に含み、イメージングパルスシーケンスコマンドが、エコープラナーイメージング磁気共鳴イメージングプロトコル又は拡散重み付けイメージング磁気共鳴イメージングプロトコルに従ってイメージング磁気共鳴データを獲得し、前記マシン実行可能命令の実行が、更に、前記プロセッサに、前記イメージング磁気共鳴データを使用して磁気共鳴画像を再構成させ、前記磁気共鳴画像を再構成することが、位相誤差関数を使用して位相補正を計算することを有する、

10

請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 7】

前記双極読み取り勾配が、複数回にわたる読み取り勾配の第 1 の極性部分と読み取り勾配の第 2 の極性部分とを含むパルス列を含み、前記位相誤差関数が、前記パルス列にわたる平均として計算される、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 8】

前記位相誤差関数が実数値であり、前記位相誤差関数が連続している、

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 9】

20

前記位相誤差関数が、連続した一次導関数をもつ、

請求項 8 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 10】

前記位相誤差関数が、多項式関数である、

請求項 1 から請求項 9 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 11】

前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記磁気共鳴イメージングシステムに読み取り方向における前記双極読み取り勾配を生成させ、前記位相誤差関数が、少なくとも前記読み取り方向の関数として計算される、

請求項 1 から請求項 10 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

30

【請求項 12】

前記位相誤差関数が、多次元関数である、

請求項 1 から請求項 11 のいずれか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 13】

イメージングゾーンから予備的磁気共鳴データを獲得するために磁気共鳴イメージングシステムを動作させる方法であって、

前記方法が、

前記予備的磁気共鳴データの第 1 のデータ部分と前記予備的磁気共鳴データの第 2 のデータ部分とを獲得するように準備パルスシーケンスコマンドを使用して前記磁気共鳴イメージングシステムを制御するステップであって、前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記第 1 のデータ部分の獲得中に第 1 の双極読み取り勾配を生成するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御し、前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記第 1 のデータ部分の獲得中に第 2 の双極読み取り勾配を生成するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御し、前記第 1 の双極読み取り勾配が、前記第 2 の双極読み取り勾配に対して逆極性をもつ、制御するステップと、

40

前記第 1 のデータ部分と前記第 2 のデータ部分とを使用して画像空間における測定された正規化位相補正量を計算するステップと、

モデル化された正規化位相補正量を測定された位相誤差にフィッティングするステップであって、前記モデル化された正規化位相補正量が、複素数値に位相誤差関数を乗じたものの指数関数であり、前記位相誤差関数が、空間依存する、フィッティングするステップ

50

と、を有する、
方法。

【請求項 14】

イメージングゾーンから予備的磁気共鳴データを獲得するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するプロセッサによる実行のためのマシン実行可能命令を含むコンピュータプログラムであって、前記マシン実行可能命令の実行が、プロセッサに、

前記予備的磁気共鳴データの第1のデータ部分と前記予備的磁気共鳴データの第2のデータ部分とを獲得するように準備パルスシーケンスコマンドを使用して前記磁気共鳴イメージングシステムを制御することであって、前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記第1のデータ部分の獲得中に第1の双極読み取り勾配を生成するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御し、前記準備パルスシーケンスコマンドが、前記第2のデータ部分の獲得中に第2の双極読み取り勾配を生成するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御し、前記第1の双極読み取り勾配が、前記第2の双極読み取り勾配に対して逆極性をもつ、制御することと、

10

前記第1のデータ部分と前記第2のデータ部分とを使用して画像空間における測定された正規化位相補正量を計算することと、

モデル化された位相補正を測定された位相誤差にフィッティングすることであって、前記モデル化された位相補正が、複素数値に位相誤差関数を乗じたものの指数関数であり、前記位相誤差関数が、空間依存する、フィッティングすることと、

を行わせる、

20

コンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気共鳴イメージングに関し、特に、磁気共鳴イメージングにおける位相誤差補正に関する。

【背景技術】

【0002】

患者の体内における画像を生成するための工程の一部として原子の核スピンを整列させるために、磁気共鳴イメージング(MRI)スキャナにより大きな静磁場が使用される。この大きな静磁場は、 B_0 場と呼ばれる。

30

【0003】

MRIスキャン中、送信機コイルにより生成されたRF数(RF)パルスが局所磁場に摂動をもたらし、核スピンの放射されたRF信号が受信機コイルにより検出される。これらのRF信号は、MRI画像を構成するために使用される。これらのコイルは、アンテナとも呼ばれ得る。更に、送信機コイルと受信機コイルとは、更に両方の機能を実施する単一のトランシーバコイルに統合され得る。トランシーバコイルという用語の使用は、別々の送信機コイルと受信機コイルとが使用されるシステムも表すことが理解される。送信されたRF場は、 B_1 場と呼ばれる。

【0004】

40

MRIスキャナは、スライス又はボリュームの画像を構成することができる。スライスは、1ボクセル厚みの薄いボリュームである。ボクセルは小さなボリュームであり、この小さなボリュームにわたってMRI信号が平均化され、ボクセルはMRI画像の分解能を表す。ボクセルは、本明細書においてピクセルとも呼ばれる。

【0005】

磁気共鳴イメージングの Dixon 法は、独立した水画像と脂質(脂肪)画像とを生成するための技術群を含む。様々な Dixon 技術、例えば、これらに限定されないが、2ポイント Dixon 法、3ポイント Dixon 法、4ポイント Dixon 法、及び6ポイント Dixon 法が集合的に本明細書において Dixon 技術又は方法と呼ばれる。水画像及び脂肪画像の再構成は、位相ラッピングを防ぐために位相誤差の正確な判定に依存す

50

る。

【 0 0 0 6 】

Yuらの学術論文「Phase and Amplitude Correction for Multi-Echo Water-Fat Separation With Bipolar Acquisitions」、J. of Magnetic resonance imaging 31:1264~1271(2010年)は、双極勾配を使用して獲得された予備的磁気共鳴データを使用して二次元位相誤差を計算する方法を開示している。

【発明の概要】

【 0 0 0 7 】

本発明は、独立請求項において、磁気共鳴イメージングシステム、コンピュータプログラムプロダクト、及び方法を提供する。実施形態が従属請求項において与えられる。

【 0 0 0 8 】

磁気共鳴イメージングを実施するとき、誘導された渦電流、及び、磁気共鳴イメージングシステムにおける他の不完全さに起因して導入された位相誤差が存在する。単極性の勾配が使用される場合、これらの位相誤差は、オフセット又は線形オフセットを生じさせる傾向がある。しかし、双極勾配が使用される場合位相誤差は、勾配の極性にも依存し、もはやオフセットではない位相誤差をもたらす。幾つかの場合において、位相誤差は、2倍になる。これは、位相が2ラジアン関数としてそれ自体を繰り返すので、扱い難いものであり得る。Dixon磁気共鳴イメージングプロトコルなどのイメージング技術を実施するとき、位相に間違いを生じることが、水領域又は脂肪領域が不適切に特定されることをもたらし得、脂肪/水スワップと一般的に呼ばれる画像アーティファクトを生じさせる。

【 0 0 0 9 】

本発明は、渦電流及び磁場の一様性の不完全さに起因したものである位相誤差に対する磁気共鳴信号の補正に関する。特に、本発明の補正は、位相誤差が単純な位相オフセットではない双極勾配読み取りに適用される。補正は、モデル化された位相補正にフィッティングされた測定された位相誤差から取得される。本発明の補正は、双極勾配読み取り結果を使用したDixon水・脂肪分離技術に適用される。本発明は、予備的MRデータを使用することを有する。これらの予備的MRデータは、位相補正を取得するように機能する。すなわち、本発明は、例えば、後から獲得されたMR画像データにおける渦電流効果を補正する位相補正を利用可能にする。典型的には、測定された予備的データは、低値位相エンコーディングのゼロにおいて、例えば、 $k_y = k_z = 0$ において、又は、 $k_y < k_{y, \max}$ 、 $k_z < k_{z, \max}$ となるように小さな値の k_y 、 k_z において獲得され、ここで、最大値 $k_{y, \max}$ 及び $k_{z, \max}$ はユーザにより設定されるか、又は、事前設定値である。予備的MRデータは、双極勾配ローブの逆極性の双極読み取り結果を生成する準備パルスシーケンスにより獲得される。正及び負極性勾配ローブに対する測定された予備的データは、それぞれ、

【数1】

$$p_c^{\pm}(x) = p_c(x)e^{\pm i\varphi(x)}$$

を満たし、ここで、通常のように、虚数 i は、 -1 の平方根であり、 (x) は、渦電流効果及び磁場の非一様性に起因して空間依存した位相誤差であり、したがって、正規化位相補正量は、

【数2】

$$y(x) = \frac{p_{2,corr}(x)}{|p_{2,corr}(x)|}$$

と表され、ここで、 $p_{2,corr}(x)$ は、正及び負勾配読み取りローブからのデータ間の、及び、単純な形態における位相誤差に関係した相関であり、すなわち、次のとおりとなる。

【数 3】

10

$$p_{2,corr}(x) \equiv \frac{p_x^-(x)p_x^+(x)^*}{|p_x^+(x)|} = p_c(x)e^{-2i\phi(x)}$$

したがって、正規化位相補正量が実際に位相誤差の 2 倍のフェーザーであるという点で、正規化位相補正量 $y(x)$ が位相誤差を表し、すなわち、 $y(x) = e^{-2i\phi(x)}$ である。正規化位相補正量 $y(x)$ は、測定されたデータから取得され、所定の位相誤差関数 $(a; x)$ にフィッティングされ、ここで、ベクトル a は、所定の位相誤差関数を特徴付ける調節可能パラメータ a_1, \dots, a_N を含む。したがって、位相誤差が最小化問題から推定され、

20

【数 4】

$$\tilde{a} = \min_a \left[\sum_i |y(x_i) - e^{-2i\phi(a; x_i)}|^2 \right]$$

であり、ここで、空間位置の集合に対して加算が行われる。これは、位相誤差の空間的に低速で変動する成分に対してフィルタ処理することを達成し、位相ラップ誤差がフィルタ処理で除去される。最小化は、また、二次形式とは異なる尺度を使用して行われてよい。

30

【0 0 1 0】

更に、多チャネル RF 受信機システムにおいて、全てのチャネルに対して、測定された位相誤差が（理想的には）等しい。したがって、位相誤差量の信号対ノイズ比 $y(x)$ は、チャネルにわたって平均化することにより改善される。

【0 0 1 1】

所定の位相誤差関数が N 次多項式である実用的な実施態様では、次式のとおりである。

【数 5】

40

$$\Phi(a; x) = \sum_{k=0}^N a_k x^k$$

【0 0 1 2】

したがって、逆の極性を使用したそれぞれの双極読み取り結果からの、第 1 のデータ部分及び第 2 のデータ部分を含む予備的磁気共鳴データから、所定の位相誤差関数に対する

50

最適なパラメータが計算される。次に、これが、Dixon型水・脂肪分離をとまなう、MR画像データの後続の獲得における位相補正のために使用される位相誤差の推定を演算するために使用される。パラメータ的に規定された所定の位相誤差関数は、位相誤差に対するモデルを表す。

【0013】

位相誤差関数は、獲得されたデータの位相値の全(> 2)位相範囲にわたってデータに滑らかにフィッティングした(パラメータ的に規定された)関数である。パラメータ的に規定された位相誤差関数の(任意選択的な)更なる態様は、 C^n の微分可能性($n > 2$)、 N 次(> 2)多項式、又は、ゴニオメトリック関数の重ね合わせである。

【0014】

本発明は、誤った位相ラッピングの影響をより受けにくい形態で水・脂肪分離に成功することを可能にする。したがって、本発明は、例えば、張り出した胸壁における、例えば、張り出した脂肪スラブ、左右の読み取り方向を使用した腹における、及び、足と頭とを結ぶ読み取り方向を使用した頭頸領域における冠状スキャンといった困難な状況であっても、誤った水・脂肪スワップを防ぐことを達成する。

【0015】

実施形態は、モデル化された位相誤差関数に測定された正規化位相補正量をフィッティングすることにより位相誤差を計算する改善された方法を提供する。モデル化された位相補正は、位相誤差関数のフェーザーとして表される。フィッティングプロセスにおいて、モデル化された位相補正が正規化位相補正量に、すなわち測定された位相誤差にフィットするように、位相誤差関数の値が修正される。位相誤差関数は指数関数に含まれるので、適切な位相が自動的に選択される。Dixonイメージングを実施するとき、それは、脂肪/水スワップを自動的に低減又は除去する。例えば、本発明は、誤った位相ラッピングの影響をより受けにくい形態で水・脂肪分離に成功することを可能にする。したがって、本発明は、例えば、張り出した胸壁における、例えば、張り出した脂肪スラブ、左右の読み取り方向を使用した腹における、及び、足と頭とを結ぶ読み取り方向を使用した頭頸領域における冠状スキャンといった困難な状況であっても誤った水・脂肪スワップを防ぐことを達成する。

【0016】

一態様において、本発明は、像形成ゾーンから予備的磁気共鳴データを獲得するための磁気共鳴イメージングシステムを提供する。磁気共鳴イメージングシステムは、マシン実行可能命令及びパルスシーケンスコマンドを記憶するためのメモリを備える。パルスシーケンスコマンドは、本明細書において使用されるとき、磁気共鳴データを獲得するために磁気共鳴イメージングシステムの動作及び機能を制御するために使用されるコマンド又はコマンドに変換されるデータを包含する。準備パルスシーケンスコマンドは、パルスシーケンスコマンドである。イメージングパルスシーケンスコマンドは、パルスシーケンスコマンドである。「準備」及び「イメージング」は、パルスシーケンスコマンドの異なるグループを区別するために使用される標識である。

【0017】

準備パルスシーケンスコマンドは、予備的磁気共鳴データの獲得中に2つの双極読み取り勾配を生成するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。第1の双極読み取り勾配は、予備的磁気共鳴データの第1のデータ部分の読み取り中に使用され、第2の双極読み取り勾配は、予備的磁気共鳴データの第2のデータ部分の読み取り中に使用される。多くの場合、第1の双極読み取り勾配と第2の双極読み取り勾配とは、同等であるが、逆の値又は極性をもつ。

【0018】

磁気共鳴イメージングシステムは、磁気共鳴イメージングシステムを制御するためのプロセッサを更に備える。マシン実行可能命令の実行は、プロセッサに第1のデータ部分と第2のデータ部分とを獲得するために準備パルスシーケンスコマンドを使用して磁気共鳴イメージングシステムを制御させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに

10

20

30

40

50

、第1のデータ部分と第2のデータ部分とを使用して画像空間における測定された位相誤差を計算させる。画像空間には、空間依存した位相誤差が存在する。逆の勾配極性に対して、位相誤差は、逆の値をもつ。したがって、第1のデータ部分と第2のデータ部分とから生成された画像から、測定された位相誤差が計算される。

【0019】

マシン実行可能命令の実行は、プロセッサに、モデル位相誤差関数を測定された位相誤差にフィッティングさせる。フィッティング工程において、モデル位相誤差関数のフェーザーが、正規化位相補正量にフィッティングされる。位相誤差関数は、空間依存する。

【0020】

この実施形態は、位相誤差を正しく計算する自動的かつ効果的な手法を提供するという利点をもつ。通常、どの位相領域に画像が存在するかを特定するために、かなり複雑なアルゴリズムが使用される。指数関数に複素数値を乗じたものの関数として位相誤差を含むことにより、位相におけるこの差が、フィッティングプロセス中に自動的に計算される。

10

【0021】

上述の実施形態は、3ポイントDixon法に関係して詳細に説明される。2つの双極シーケンスから取得されたこれらのデータ(第1のデータ部分及び第2のデータ部分)は、
- 第1のデータ部分($p + (\text{エコー} = 1)$)、 $p - (\text{エコー} = 2)$ 、及び $p + (\text{エコー} = 3)$ という3つのエコー(+及び-符号が勾配の方向を示す)を使用した双極シーケンス)と、

- 第2のデータ部分($p - (\text{エコー} = 1)$)、 $p + (\text{エコー} = 2)$ 、及び $p - (\text{エコー} = 3)$ という3つのエコーを使用した双極シーケンス)と、
を含む。この第2の部分における極性が第1のデータ部分とは逆であることに留意されたい。

20

【0022】

したがって、各エコーに対して独立して、例えば、エコー2の場合、第1のデータ部分からの $p - (\text{エコー} = 2)$ 及び第2のデータ部分からの $p + (\text{エコー} = 2)$ というように、+及び-信号を使用して、説明される技術を使用して位相誤差が導出される。

【0023】

なお、典型的には、これらのデータは、 $k_y = k_z = 0$ に対して測定されるのみであり、位相補正は、 x (読み取り方向)のみの関数である。

30

【0024】

通常の(診断)データの獲得中、この場合、 $p + (\text{エコー} = 1)$ 、 $p - (\text{エコー} = 2)$ 、及び $p + (\text{エコー} = 3)$ という3つのエコーに対して1つの双極読み取り勾配のみである。これらのエコーの各々は、それらの「独自の」補正信号を使用して補正される。これは、全ての k_y 及び k_z 値に対して繰り返される。

【0025】

別の一実施形態において、マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、第1のデータ部分を使用して、測定された第1の位相画像データを再構成すること、及び、第2のデータ部分を使用して、測定された第2の位相画像データを再構成することを行わせる。測定された第1の位相画像データ及び測定された第2の位相画像データは、二次元位置又は三次元位置の関数として位相を記述する空間依存した位相又はデータの画像である。測定された第1の位相画像データは、補正された第1の位相画像データに、測定された位相誤差のフェーザーを乗じたものに等しい。測定された第2の位相画像データは、補正された第2の位相画像データに、測定された位相誤差の複素共役のフェーザーを乗じたものに等しい。測定された正規化位相補正量は、測定された位相誤差に対して、測定された第1の位相画像データ及び測定された第2の位相画像データを解くことにより計算される。この実施形態は、それが測定された第1の位相画像データ及び測定された第2の位相画像データから、測定された位相誤差補正を特定する手段を提供するので有益である。

40

【0026】

測定された位相誤差のために解くことは、幾つかの異なる手法により行われてよい。一

50

例において、測定された位相誤差は、測定された第 1 の位相画像データの複素共役に測定された第 2 の位相画像データを乗じたものを、測定された第 1 の位相画像又は測定された第 2 の位相画像の大きさにより除算することにより計算され、したがって、正規化位相補正量を形成する。

【 0 0 2 7 】

測定された位相誤差を計算する別の手段は、測定された第 1 の位相画像及び測定された第 2 の位相画像データの位相の大きさの幾何平均をとることである。

【 0 0 2 8 】

別の一実施形態において、磁気共鳴イメージングシステムは、予備的磁気共鳴データを受信するための複数のチャネルを備える複数チャネル RF システムを備える。測定された位相誤差は、複数のチャネルの各々の平均から計算される。この実施形態において、位相画像又はデータが、各チャネルに対して補正され、これらは、次に、空間依存した個々のチャネルの各々に対して位相誤差関数について解くために使用される。次に、これが特定された後、空間依存した位相誤差が、複数のチャネルの全てにわたって平均化される。この実施形態は、それが、測定された MR データから、測定された位相誤差を正確に計算する手段を提供するので有益である。

【 0 0 2 9 】

別の一実施形態において、マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、第 1 のデータ部分を使用して第 1 の位相画像を再構成させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、第 2 のデータ部分を使用して第 2 の位相画像を再構成させる。測定された正規化位相補正量は、第 1 の位相画像と第 2 の位相画像とを使用して計算される。

【 0 0 3 0 】

別の一実施形態において、磁気共鳴イメージングシステムは、複数の受信チャネルを使用して磁気共鳴イメージングシステムを受信するための複数のチャネルを備える複数チャネル RF システムを備える。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、複数のチャネルの各々に対して第 1 のデータ部分を使用して第 1 の位相画像を再構成させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、複数のチャネルの各々に対して第 2 のデータ部分を使用して第 2 の位相画像を再構成させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、複数のチャネルの各々に対して第 1 の位相画像と第 2 の位相画像とを使用してチャネル正規化位相補正量を計算させる。測定された正規化位相補正量は、複数のチャネルの各々からのチャネル正規化位相補正量の平均を使用して計算される。この実施形態は、様々な受信チャネルの全てにわたってそれを平均化することにより、より正確に、及び、より高い信号対ノイズ比で、測定された正規化位相補正量を計算する手段を提供するので有益である。

【 0 0 3 1 】

別の一実施形態において、メモリは、イメージング磁気共鳴コマンドを更に含む。イメージングパルスシーケンスコマンドは、 Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルに従ってイメージング磁気共鳴データを獲得するように更に構成される。Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルは、イメージング磁気共鳴データを獲得するために双極勾配を使用する。Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルにおいて、磁気共鳴データは、主に水から来る画像の部分から主に脂肪から来る画像の部分とを分離するために、様々な位相において獲得される。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、予備的磁気共鳴データを使用して Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルに従って少なくとも水画像と脂肪画像とを計算させる。水画像及び脂肪画像の計算は、位相誤差関数を使用して位相補正を計算することを有する。様々な Dixon 法を実施するとき、領域を脂肪又は水として適切に特定するために位相補正の適切な計算が重要なので、この実施形態は非常に有益である。これが不正確に行われた場合、水画像及び / 又は脂肪画像中に導入される非常にひどいアーティファクトが存在し得る。上記の実施形態として説明される所定のパラメータ的に規定された位相誤差関数に対するフィッティングプロセスとしての位相誤差の補正が、このようなアーティファクトが Dixon 画像内に形成される機会を無くすか、又

10

20

30

40

50

は、減らす。

【 0 0 3 2 】

別の一実施形態において、メモリは、イメージング磁気共鳴コマンドを更に含む。イメージングパルスシーケンスコマンドが、エコープラナーイメージング磁気共鳴プロトコルに従ってイメージング磁気共鳴データを獲得するために更に構成される。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、イメージング磁気共鳴データを使用して磁気共鳴画像を再構成させる。磁気共鳴画像を再構成することは、位相誤差関数を使用して位相補正を計算することを有する。

【 0 0 3 3 】

別の一実施形態において、メモリが、イメージング磁気共鳴コマンドを更に含む。パルスシーケンスコマンドは、拡散重み付けイメージング磁気共鳴プロトコルに従ってイメージング磁気共鳴データを獲得するために更に構成される。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、イメージング磁気共鳴データを使用して磁気共鳴画像を再構成させる。磁気共鳴画像を再構成することは、位相誤差関数を使用して位相補正を計算することを有する。

【 0 0 3 4 】

拡散重み付けイメージングプロトコルにおいて、スピンの動く前にスピンの位置をエンコードするために双極勾配が使用される。これは、例えば、対象者を通した流体の流れ又は拡散をイメージングするために使用される。この実施形態は、拡散重み付けイメージングを実施する改善された手法を提供する。

【 0 0 3 5 】

様々な種類の磁気共鳴イメージングデータが、予備的磁気共鳴データの獲得のものに等しい双極勾配読み取り結果を使用して獲得される。次に、予備的磁気共鳴データからフィッティング工程により導出された位相補正は、磁気共鳴イメージングデータの位相補正のために直接使用される。異なる双極勾配読み取り強度又は異なる勾配パルスレートが準備パルスシーケンスにおいて、及び、イメージング磁気共鳴データの獲得において使用される場合、予備的磁気共鳴データからフィッティング工程により取得された位相補正は、イメージング磁気共鳴データに適用するために変換される必要がある。この変換は、双極読み出しの（勾配強度及びパルスレートを含む）波形態様を含む位相誤差のスケール特性に基づく。代替的に、変換は、これらの波形態様に位相補正が依存する手法の別の校正に基づいてよい。

【 0 0 3 6 】

別の一実施形態において、双極読み取り勾配は、複数回にわたる第1の極性部分と第2の極性部分とを含むパルス列を含む。位相誤差関数は、パルス列にわたる平均として計算される。この実施形態は、それがモデル位相誤差関数のより正確な特定を提供するので有益である。

【 0 0 3 7 】

別の一実施形態において、位相誤差関数は実数値であり、位相誤差関数は連続している。これは、それが、位相誤差関数を効果的にフィッティングする手段を提供するので、有益である。

【 0 0 3 8 】

別の一実施形態において、位相誤差関数は、連続した一次導関数をもつ。

【 0 0 3 9 】

別の一実施形態において、位相誤差関数は、多項式関数である。多項式関数の使用は、非常に有用であることが実験において証明されている。多項式関数は、フィッティングプロセス中に修正される必要がある値を限られた数としながら、正しい位相誤差をモデル化することにおいて効果的な働きをする。それは、モデル位相誤差関数を効果的に計算する正確かつ演算的に効果的な手段を提供する。

【 0 0 4 0 】

別の一実施形態において、準備パルスシーケンスコマンドは、磁気共鳴イメージングシ

10

20

30

40

50

ステムに、読み取り方向における双極読み取り勾配を生成させるように構成される。位相誤差関数は、少なくとも読み取り方向の関数として計算される。

【0041】

別の一実施形態において、位相誤差関数は、多次元関数である。位相誤差は、渦電流、及び、読み取り方向におけるものとは限らないものである他の効果に起因する。したがって、1次元より大きな次元の関数として位相誤差関数を計算することが有益である。

【0042】

別の一態様において、本発明は、イメージングゾーンから予備的磁気共鳴データを獲得するための磁気共鳴イメージングシステムを動作させる方法を提供する。本方法は、予備的磁気共鳴データの第1のデータ部分及び第2のデータ部分を獲得するために、準備パルスシーケンスコマンドを使用して磁気共鳴イメージングシステムを制御することを有する。準備パルスシーケンスコマンドは、第1のデータ部分の獲得中に第1の双極読み取り勾配を生成するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。準備パルスシーケンスコマンドは、第2のデータ部分の獲得中に第2の双極読み取り勾配を生成するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。第1の双極読み取り勾配は、第2の双極読み取り勾配に対して逆極性をもつ。

10

【0043】

本方法は、第1のデータ部分と第2のデータ部分とを使用して画像空間における、測定された正規化位相補正量を計算することを更に有する。本方法は、モデル位相補正項を測定された位相誤差にフィッティングすることを更に有する。モデル位相補正は、位相誤差関数のフェーザーである。位相誤差関数は空間依存する。位相誤差関数は、所定のパラメータ的に規定された関数であり、パラメータに対するその関数の最適値は、測定されたMRデータにおいて位相誤差にフィッティングすることにより取得される。

20

【0044】

別の一態様において、本発明は、イメージングゾーンから予備的磁気共鳴データを獲得するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成されたプロセッサによる実行のためのマシン実行可能命令を含むコンピュータプログラムプロダクトを提供する。マシン実行可能命令の実行は、予備的磁気共鳴データの第1のデータ部分と予備的磁気共鳴データの第2のデータ部分とを獲得するように、プロセッサに、準備パルスシーケンスコマンドを使用して磁気共鳴イメージングシステムを制御させる。準備パルスシーケンスコマンドは、第1のデータ部分の獲得中に第1の双極読み取り勾配を生成するように、磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。準備パルスシーケンスコマンドは、第2のデータ部分の獲得中に第2の双極読み取り勾配を生成するように、磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。第1の双極読み取り勾配は、第2の双極読み取り勾配に対して逆極性をもつ。

30

【0045】

マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、第1のデータ部分と第2のデータ部分とを使用して画像空間における測定された正規化位相補正量を計算させる。マシン実行可能命令の実行は、更に、プロセッサに、モデル位相誤差関数を測定された位相誤差にフィッティングさせる。モデル位相補正は、位相誤差関数のフェーザーである。位相誤差関数は、空間依存する。位相誤差関数は所定のパラメータ的に規定された関数であり、パラメータに対するその関数の最適値は、測定されたMRデータにおいて位相誤差にフィッティングすることにより取得される。

40

【0046】

本発明の上述の実施形態のうちの1つ又は複数は、組み合わせられた実施形態が相互排他的でない限り、組み合わせられることを理解されたい。

【0047】

当業者には理解されるように、本発明の態様は、装置、方法又はコンピュータプログラムプロダクトとして具体化され得る。従って、本発明の態様は、全面的にハードウェア実施形態、全面的にソフトウェア実施形態（ファームウェア、常駐ソフトウェア、マイクロ

50

コード等を含む)又は本明細書において全て一般的に「回路」、「モジュール」若しくは「システム」と称され得るソフトウェア及びハードウェア態様を組み合わせた実施形態の形態をとり得る。更に、本発明の態様は、コンピュータ可読媒体上で具現化されたコンピュータ実行可能コードを有する1つ又は複数のコンピュータ可読媒体において具体化されたコンピュータプログラムプロダクトの形態をとり得る。

【0048】

1つ又は複数のコンピュータ可読媒体の任意の組み合わせが利用されてもよい。コンピュータ可読媒体は、コンピュータ可読信号媒体又はコンピュータ可読ストレージ媒体でもよい。本明細書で使用される「コンピュータ可読ストレージ媒体」は、コンピューティングデバイスのプロセッサによって実行可能な命令を保存することができる任意の有形ストレージ媒体を包含する。コンピュータ可読ストレージ媒体は、コンピュータ可読非一時的ストレージ媒体と称される場合もある。コンピュータ可読ストレージ媒体はまた、有形コンピュータ可読媒体と称される場合もある。一部の実施形態では、コンピュータ可読ストレージ媒体はまた、コンピューティングデバイスのプロセッサによってアクセスされることが可能なデータを保存可能であってもよい。コンピュータ可読ストレージ媒体の例は、フロッピー(登録商標)ディスク、磁気ハードディスクドライブ、半導体ハードディスク、フラッシュメモリ、USBサムドライブ、ランダムアクセスメモリ(RAM)、読み取り専用メモリ(ROM)、光ディスク、磁気光学ディスク、及びプロセッサのレジスタファイルを含むが、これらに限定されない。光ディスクの例は、例えば、CD-ROM、CD-RW、CD-R、DVD-ROM、DVD-RW、又はDVD-Rディスクといったコンパクトディスク(CD)及びデジタル多用途ディスク(DVD)を含む。コンピュータ可読ストレージ媒体という用語は、ネットワーク又は通信リンクを介してコンピュータデバイスによってアクセスされることが可能な様々な種類の記録媒体も指す。例えば、データは、モデムによって、インターネットによって、又はローカルエリアネットワークによって読み出されてもよい。コンピュータ可読媒体上で具現化されたコンピュータ実行可能コードは、限定されることはないが、無線、有線、光ファイバケーブル、RF等を含む任意の適切な媒体、又は上記の任意の適切な組み合わせを用いて送信されてもよい。

【0049】

コンピュータ可読信号媒体は、例えばベースバンドにおいて又は搬送波の一部として内部で具体化されたコンピュータ実行可能コードを備えた伝搬データ信号を含んでもよい。このような伝搬信号は、限定されることはないが電磁気、光学的、又はそれらの任意の適切な組み合わせを含む様々な形態の何れかをとり得る。コンピュータ可読信号媒体は、コンピュータ可読ストレージ媒体ではない及び命令実行システム、装置、若しくはデバイスによって又はそれと関連して使用するためのプログラムを通信、伝搬、若しくは輸送できる任意のコンピュータ可読媒体でもよい。

【0050】

「コンピュータメモリ」又は「メモリ」は、コンピュータ可読ストレージ媒体の一例である。コンピュータメモリは、プロセッサに直接アクセス可能な任意のメモリである。「コンピュータストレージ」又は「ストレージ」は、コンピュータ可読ストレージ媒体の更なる一例である。コンピュータストレージは、任意の揮発性又は不揮発性コンピュータ可読ストレージ媒体である。

【0051】

本明細書で使用される「プロセッサ」は、プログラム、マシン実行可能命令、又はコンピュータ実行可能コードを実行可能な電子コンポーネントを包含する。「プロセッサ」を含むコンピューティングデバイスへの言及は、場合により、2つ以上のプロセッサ又は処理コアを含むと解釈されるべきである。プロセッサは、例えば、マルチコアプロセッサである。プロセッサは、また、単一のコンピュータシステム内の、又は複数のコンピュータシステムの中へ分配されたプロセッサの集合体も指す。コンピュータデバイスとの用語は、各々が一つ又は複数のプロセッサを有するコンピュータデバイスの集合体又はネットワークを指してもよいと理解されるべきである。コンピュータ実行可能コードは、同一のコ

10

20

30

40

50

ンピュータデバイス内の、又は複数のコンピュータデバイス間に分配された複数のプロセッサによって実行される。

【0052】

コンピュータ実行可能コードは、本発明の態様をプロセッサに行わせるマシン実行可能命令又はプログラムを含んでもよい。本発明の態様に関する動作を実施するためのコンピュータ実行可能コードは、Java（登録商標）、Smalltalk（登録商標）、又はC++等のオブジェクト指向プログラミング言語及びCプログラミング言語又は類似のプログラミング言語等の従来の手続きプログラミング言語を含む1つ又は複数のプログラミング言語の任意の組み合わせで書かれてもよい及びマシン実行可能命令にコンパイルされてもよい。場合によっては、コンピュータ実行可能コードは、高水準言語の形態又は事前コンパイル形態でもよい及び臨機応変にマシン実行可能命令を生成するインタプリタと共に使用されてもよい。

10

【0053】

コンピュータ実行可能コードは、完全にユーザのコンピュータ上で、部分的にユーザのコンピュータ上で、スタンドアローンソフトウェアパッケージとして、部分的にユーザのコンピュータ上で及び部分的にリモートコンピュータ上で、又は完全にリモートコンピュータ若しくはサーバ上で実行することができる。後者の場合、リモートコンピュータは、ローカルエリアネットワーク（LAN）若しくは広域ネットワーク（WAN）を含む任意の種類のネットワークを通してユーザのコンピュータに接続されてもよい、又はこの接続は外部コンピュータに対して（例えば、インターネットサービスプロバイダを使用したインターネットを通して）行われてもよい。

20

【0054】

本発明の態様は、本発明の実施形態による方法、装置（システム）及びコンピュータプログラムプロダクトのフローチャート、図及び／又はブロック図を参照して説明される。フローチャート、図、及び／又はブロック図の各ブロック又は複数のブロックの一部は、適用できる場合、コンピュータ実行可能コードの形態のコンピュータプログラム命令によって実施され得ることが理解されよう。相互排他的でなければ、異なるフローチャート、図、及び／又はブロック図におけるブロックの組み合わせが組み合わせられてもよいことが更に理解される。これらのコンピュータプログラム命令は、コンピュータ又は他のプログラム可能データ処理装置のプロセッサを介して実行する命令がフローチャート及び／又はブロック図の1つ又は複数のブロックにおいて指定された機能／行為を実施するための手段を生じさせるようにマシンを作るために、汎用コンピュータ、特定用途コンピュータ、又は他のプログラム可能データ処理装置のプロセッサへと提供されてもよい。

30

【0055】

これらのコンピュータプログラム命令はまた、コンピュータ可読媒体に保存された命令がフローチャート及び／又はブロック図の1つ又は複数のブロックにおいて指定された機能／行為を実施する命令を含む製品を作るように、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置、又は他のデバイスにある特定の方法で機能するように命令することができるコンピュータ可読媒体に保存されてもよい。

【0056】

40

コンピュータプログラム命令はまた、コンピュータ又は他のプログラム可能装置上で実行する命令がフローチャート及び／又はブロック図の1つ又は複数のブロックにおいて指定された機能／行為を実施するためのプロセスを提供するように、一連の動作ステップがコンピュータ、他のプログラム可能装置又は他のデバイス上で行われるようにすることにより、コンピュータ実施プロセスを生じさせるために、コンピュータ、他のプログラム可能データ処理装置、又は他のデバイス上にロードされてもよい。

【0057】

本明細書で使用される「ユーザインタフェース」は、ユーザ又はオペレータがコンピュータ又はコンピュータシステムとインタラクトすることを可能にするインタフェースである。「ユーザインタフェース」は、「ヒューマンインタフェースデバイス」と称される場

50

合もある。ユーザインタフェースは、情報若しくはデータをオペレータに提供することができる及び／又は情報若しくはデータをオペレータから受信することができる。ユーザインタフェースは、オペレータからの入力コンピュータによって受信されることを可能にしてもよい及びコンピュータからユーザへ出力を提供してもよい。つまり、ユーザインタフェースはオペレータがコンピュータを制御する又は操作することを可能にしてもよい、及びインタフェースはコンピュータがオペレータの制御又は操作の結果を示すことを可能にしてもよい。ディスプレイ又はグラフィカルユーザインタフェース上のデータ又は情報の表示は、情報をオペレータに提供する一例である。キーボード、マウス、トラックボール、タッチパッド、指示棒、グラフィックタブレット、ジョイスティック、ウェブコム、ヘッドセット、ペダル、有線グローブ、リモコン、及び加速度計を介したデータの受信は、オペレータから情報又はデータの受信を可能にするユーザインタフェース要素の全例である。

10

【 0 0 5 8 】

本明細書で使用される「ハードウェアインタフェース」は、コンピュータシステムのプロセッサが外部コンピューティングデバイス及び／又は装置とインタラクトする及び／又はそれを制御することを可能にするインタフェースを包含する。ハードウェアインタフェースは、プロセッサが外部コンピューティングデバイス及び／又は装置へ制御信号又は命令を送ることを可能にしてもよい。ハードウェアインタフェースはまた、プロセッサが外部コンピューティングデバイス及び／又は装置とデータを交換することを可能にしてもよい。ハードウェアインタフェースの例は、ユニバーサルシリアルバス、IEEE 1394ポート、パラレルポート、IEEE 1284ポート、シリアルポート、RS-232ポート、IEEE 488ポート、ブルートゥース（登録商標）接続、無線LAN接続、TCP/IP接続、イーサネット（登録商標）接続、制御電圧インタフェース、MIDIインタフェース、アナログ入力インタフェース、及びデジタル入力インタフェースを含むが、これらに限定されない。

20

【 0 0 5 9 】

本明細書で使用される「ディスプレイ」又は「ディスプレイデバイス」は、画像又はデータを表示するために構成された出力デバイス又はユーザインタフェースを包含する。ディスプレイは、視覚、音声、及び／又は触覚データを出力してもよい。ディスプレイの例は、コンピュータモニタ、テレビスクリーン、タッチスクリーン、触覚電子ディスプレイ、点字スクリーン、陰極線管（CRT）、蓄積管、双安定ディスプレイ、電子ペーパー、ベクターディスプレイ、平面パネルディスプレイ、真空蛍光ディスプレイ（VF）、発光ダイオード（LED）ディスプレイ、エレクトロルミネッセントディスプレイ（ELD）、プラズマディスプレイパネル（PDP）、液晶ディスプレイ（LCD）、有機発光ダイオードディスプレイ（OLED）、プロジェクタ、及びヘッドマウントディスプレイを含むが、これらに限定されない。

30

【 0 0 6 0 】

磁気共鳴（MR）データは、本明細書においては、磁気共鳴イメージングスキャン中に磁気共鳴装置のアンテナによって原子スピンにより発せられたRF数信号の記録された測定結果として定義される。予備的磁気共鳴データは、医療イメージングデータの一例である。磁気共鳴（MR）画像は、本明細書においては、磁気共鳴イメージングデータ内に含まれる解剖学的データの再構成された2次元又は3次元視覚化として定義される。

40

【図面の簡単な説明】**【 0 0 6 1 】**

以下において、本発明の好適な実施形態が、単なる例として次の図面を参照して説明される。

【図1】磁気共鳴イメージングシステムの一例を示す図である。

【図2】図1の磁気共鳴イメージングシステムを動作させる方法を示すフロー図である。

【図3】位置に対する位相の幾つかのプロットを示す図である。

【図4】磁気共鳴画像の一例を示す図である。

50

【図 5】磁気共鳴画像の更なる例を示す図である。

【図 6】磁気共鳴画像の更なる例を示す図である。

【図 7】一例に従って計算された位相誤差関数を示すプロットを示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0062】

図において似通った参照番号を付された要素は、等価な要素であるか、同じ機能を実行するかの何れかである。先に考察された要素は、機能が等価である場合は、後の図においては必ずしも考察されない。

【0063】

図 1 は、磁石 104 を含む磁気共鳴イメージングシステム 100 の一例を示す。磁石 104 は、磁石 104 を通る穴 106 を含む超伝導円筒型磁石である。異なる種類の磁石の使用も可能であり、例えば、分割された円筒磁石といわゆるオープンマグネットとの両方を使用することも可能である。分割された円筒磁石は、標準的な円筒磁石と同様である。クライオスタットが磁石のアイソ面へのアクセスを可能にするために 2 つのセクションに分割されていることを除いて、このような磁石は、例えば、荷電粒子ビーム療法と組み合わせられて使用される。オープンマグネットは、2 つの磁石セクションを含み、間に対象者を収容するために十分な大きさの空間を設けた状態で、一方が他方の上方にあり、2 つのセクションエリアの配置はヘルムホルツコイルの配置と同様である。対象者が比較的閉じ込められないので、オープンマグネットが一般的である。円筒磁石のクライオスタットの内側に、超伝導コイルの集合体が存在する。円筒磁石 104 のボア 106 内に、磁気共鳴イメージングを実施するために磁場が十分に強くて様なイメージングゾーン 108 が存在する。関心領域 109 は、イメージングゾーン 108 内に示される。対象者 118 の少なくとも一部がイメージングゾーン 108 及び関心領域 109 内にあるように、対象者 118 が対象者支持体 120 により支持されることが示される。

【0064】

磁石のボア 106 内には、磁石 104 のイメージングゾーン 108 内で磁気スピンを空間的に符号化するために、予備的磁気共鳴データの取得のために使用される磁場勾配コイル 110 のセットもある。磁場勾配コイル 110 は、磁場勾配コイル電源 112 に接続される。磁場勾配コイル 110 は代表的なものであることが意図される。一般的に、磁場勾配コイル 110 は、3 つの直交空間方向で空間的に符号化するためのコイルの 3 つの別個のセットを含む。磁場勾配電源は、電流を磁場勾配コイルに供給する。磁場勾配コイル 110 に供給される電流は、時間の関数として制御され、ランプされるか又はパルス化される。

【0065】

イメージングゾーン 108 に隣接するのは、イメージングゾーン 108 内の磁気スピンの配向を操作するため及び同じくイメージングゾーン 108 内のスピンから無線伝送を受信するための RF 数コイル 114 である。RF 数アンテナは、複数のコイル素子を含む。RF 数アンテナは、チャネル又はアンテナとも呼ばれる。RF 数コイル 114 は、RF 数トランシーバ 116 に接続される。RF 数コイル 114 及び RF 数トランシーバ 116 は、別個の送信及び受信コイル並びに別個の送信機及び受信機と置き換えられる。RF 数コイル 114 及び RF 数トランシーバ 116 は代表的なものであることを理解されたい。RF コイル 114 は、更に、専用送信アンテナと専用受信アンテナとを表すことが意図される。同様にトランシーバ 116 は、独立した送信機及び受信機を更に表す。RF コイル 114 は、複数の受信 / 送信要素を更に含み、RF トランシーバ 116 は、複数の受信 / 送信チャネルを含む。例えば、SENSE などのパラレルイメージング技術が実施される場合、RF コイル 114 は、複数のコイル要素を含む。

【0066】

トランシーバ 116 及び勾配コントローラ 112 は、コンピュータシステム 126 のハードウェアインタフェース 128 に接続されるものとして示される。コンピュータシステムは更に、ハードウェアシステム 128 と通信しているプロセッサ 130 と、メモリ 13

10

20

30

40

50

4と、ユーザインタフェース132とを備える。メモリ134は、プロセッサ130によってアクセス可能であるメモリの任意の組み合わせである。これは、フラッシュRAM、ハードドライブ、又は他のストレージデバイスなど、メインメモリ、キャッシュメモリ、更には不揮発性メモリなどのようなものを含む。幾つかの例では、メモリ130は、非一時的コンピュータ可読媒体であると見なされる。

【0067】

メモリ134は、プロセッサ130が磁気共鳴システム100の動作及び機能を制御するためにコマンドを送信及び受信することを可能にするマシン実行可能命令140を含むものとして示される。コンピュータメモリ134は、準備パルスシーケンスコマンド142を含むものとして更に示される。準備パルスシーケンスコマンドは、予備的磁気共鳴データを獲得するように磁気共鳴イメージングシステム100を制御するためのコマンドを生成するために使用されるコマンド、データ、又はメタデータである。記憶ストレージ134は、準備パルスシーケンスコマンド142を使用することにより獲得された予備的磁気共鳴データを作る第1のデータ部分144と第2のデータ部分146とを含むものとして更に示される。準備パルスシーケンスコマンド142は、第1のデータ部分144の獲得中に第1の双極読み取り勾配を生成するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。準備パルスシーケンスコマンド142は、第2のデータ部分144の獲得中に第2の双極読み取り勾配を生成するように磁気共鳴イメージングシステムを制御するように構成される。第1の双極読み取り勾配は、第2の双極読み取り勾配に対して逆極性をもつ。

【0068】

メモリ134は、第1のデータ部分144から再構成された、測定された第1の位相画像データ148を含むものとして示される。メモリ134は、第2のデータ部分146から再構成された、測定された第2の位相画像データ150を含むものとして更に示される。メモリ134は、位相画像データ148及び150におけるデータを使用して計算された、測定された正規化位相補正量152を含むものとして更に示される。メモリ134は、モデル位相誤差関数154を含むものとして更に示される。モデル位相補正154は、位相誤差関数のフェーザー156にフィッティングすることにより計算されたものである。位相誤差関数が、メモリ134に記憶されていることが更に示される。

【0069】

図2は、図1の磁気共鳴イメージングシステム100を動作させる方法を示すフロー図を示す。まず、ステップ200において、磁気共鳴イメージングシステム100が準備パルスシーケンスコマンド142を使用して制御される。準備パルスシーケンスコマンドは、第1のデータ部分144と第2のデータ部分146とを獲得するように磁気共鳴イメージングシステム100を制御するために使用される。次に、ステップ202において、測定された正規化位相補正量152が、測定された第1の位相画像データ148と測定された第2の位相画像データ150とを使用して計算される。最後に、ステップ204において、モデル位相補正154が測定された正規化位相補正量152にフィッティングされる。フィッティングプロセスの過程で位相誤差関数156が生成される。

【0070】

Dixon法は、水と脂肪との分離及び脂肪比率の特定に関して重要性を高めている。FFE法とTSE法との両方が使用されており、本技術は、様々な解剖学的構造のために使用される。

【0071】

Dixonスキャンでは、読み取り方向に沿った渦電流に関係した位相が不正確に補償されることに起因して、交番勾配を使用したシーケンスに対してアーティファクトが発生する。誤差は、位相ラップを含む急速な位相の変動を含むノイズのあるデータの不完全な処理により発生する。これらのアーティファクトは、低減又は除去されなければならない。

【0072】

上述のアーティファクトは、現在、 $k_y = k_z = 0$ に対して獲得された準備位相データ

10

20

30

40

50

を使用した方法により解決される（ x 軸におけるボリュームの投影）。データは、空間平滑化及び位相アンラッピングアルゴリズムを含む処理をされる。この組み合わせは、急速な位相の変動をとまなう場合に失敗する。

【0073】

本発明を理解するために、もう少し詳細な背景が以下に記載される。すなわち、Dixon処理では、処理シーケンス全体の中で最初に、いわゆる1D位相補正が適用される。位相補正を導出するために使用される準備位相データは、逆の勾配極性を使用して測定された2つのデータベクトルからなる。これは、各エコーに対して行われる。

【0074】

位相補正の目的は、勾配チェーンに起因した位相誤差の空間的に滑らかな成分を除去することである。データの1Dモデルは、次のとおりである。

【数6】

$$\begin{aligned} p_c^+(x) &= p_c(x) e^{j\phi(x)} \\ p_c^-(x) &= p_c(x) e^{-j\phi(x)}, \end{aligned} \quad (0.1)$$

10

20

ここで、 $\phi(x)$ は、空間依存した位相誤差を表す。負の勾配の場合、これは、正の勾配の場合に対する符号とは逆になると仮定される。下付きの c は、チャンネルを表す。上付きの $+$ / $-$ は、正又は負の読み取り勾配を表す。したがって、ダブル位相補正項が、次式により取得され得る。

【数7】

$$\langle p_{2corr}(x) \rangle = \sum_c \frac{p_c^-(x) p_c^{+*}(x)}{|p_c^+(x)|} \quad (0.2)$$

30

【0075】

本モデルによると、位相推定は、各チャンネルに対して同じでなければならない。空間的変動及びノイズに起因して、全てのチャンネルにわたって平均化することにより、推定がより高口バストになる。 p_{2corr} は、位相補正項 $p_{corr}(x) = -\phi(x)$ の2倍を含むことに留意されたい。 $p_{corr}(x)$ 自体を導出するために、位相を2で除算することが必要とされる。従来のアルゴリズムは、位相アンラッピングアルゴリズムを適用する。それは、更に、まず線形位相成分を除去し、アンラッピングを行う前に空間平滑化を適用する。しかし、これは、データのSNRが十分に良好であり、位相の空間的変動が十分に滑らかな場合にのみ機能する。これらの推定は、維持されるとは限らない。以下、図3から図6において一例が示される。

40

【0076】

図3は、4つのプロットを示す。4つのプロットは、位相302に対する位置300のプロットである。プロット304は、式0.2を使用して計算されるダブル位相補正のプロットを示す。次のプロット306は、線形位相成分の推定除去が実施された後のプロット304を示す。プロット308は、空間平滑化後の位相データを示す。プロット310は、位相アンラッピング310後の位相を示す。位相アンラッピングがおそらく不適切に実施されたこと、及び、多くのラインアーティファクト312が存在することが、この図

50

において見られ得る。処理された位相における明確な遷移又はラインアーティファクト 312 が、以下で図 4 及び図 5 に示されるように見苦しいラインアーティファクト（及び、幾つかの水・脂肪スワップ）を発生させる。

【0077】

図 4、図 5、及び図 6 は、Dixon 磁気共鳴イメージングプロトコルからの幾つかの画像を示す。図 4 は、標準的な処理方法が適用された場合の水画像を示す。ライン及び水・脂肪スワップが見られ得る。符号 400 の付いた領域は、位相が適切に計算されていない場所であり、異常に明るい領域が存在する。図 5 は、1D 位相補正工程において線形位相除去及び空間平滑化が省略されるように、それが処理された後の図 4 を示す。図 6 は、図 4 及び図 5 におけるデータと同じデータを使用して計算された水画像を示す。この場合、本工程の後に、位相誤差関数が三次多項式である一例に従ったものが行われている。多数の水及び脂肪スワップ領域 400 が図 6 に存在しないことが理解され得る。図 6 における位相誤差関数は、適切に計算されている。

【0078】

例は、例えば、位相ラップ、及び、他の不正確な位相に関係したアーティファクトを防ぎながら、同じ生のエコー位相データから導出された 3 次多項式により説明される滑らかな位相曲線を推定するアルゴリズムを含む。アルゴリズムは、合成フェーザー関数を測定されたフェーザー関数にフィッティングすることにより行われる。フェーザー式を使用することが、位相ラップを本来的にカバーする。明示的な位相アンラッピングは必要とされない。空間的に滑らかな関数を使用して位相を広げることが、入力データの滑らかな補正を確実なものとする。

【0079】

一例をどのように構築及び使用するかに関する説明：

位相は、読み取り方向 x の多項式関数として、次のようにモデル化される。

$$(x) = a_n x^n + \dots + a_2 x^2 + a_1 x + a_0 \quad (0.3)$$

【0080】

対応する合成フェーザー関数は、次のとおりである。

$$z(x) = e^{j(x)} \quad (0.4)$$

【0081】

多項式係数 a は、 $p_{2corr}(x)$ から導出された測定されたフェーザー関数 $y(x)$ に、フェーザー関数 z をフィッティングすることにより決定される（式（0.2）を参照されたい）。

【数 8】

$$y(x) = \frac{p_{2corr}(x)}{|p_{2corr}(x)|} \quad (0.5)$$

【0082】

したがって、係数は、最小化問題の解を通して算出される。

【数 9】

$$\mathbf{a} = \arg \min_{\mathbf{a}} \left(\sum_i |y(x_i) - e^{j\phi(x_i)}|^2 \right) \quad (0.6)$$

10

20

30

40

50

【 0 0 8 3 】

ここで、 \mathbf{a} は係数 a_i を含むベクトルである。他の例において、多項式関数に対する任意の所望の次数が選択され得る。典型的には、それは、比較的小さく、例えば 3 である。もちろんパラメータの小集合により説明される任意の他の適切な滑らかな関数が選択され得る。

【 0 0 8 4 】

原理的に、大域的最適化問題は、目的関数における極小値を避けるために最小化問題を解決するために使用されなければならない。実用目的において、局所最適化アルゴリズムは、極小値を避けるように手段がとられるときにも使用され得る。このような手段は、例えば、最適化問題を繰り返し解くことからなり得、この場合において、位相がまず視野の限られた（中心）部分においてフィッティングされ、視野全体をカバーするように後続の最小化において視野が徐々に広げられる。更に、モデル化関数の柔軟性（多項式の次数）は、徐々に高められ得る。

10

【 0 0 8 5 】

更なる改良例は、信頼できない位相情報を与えるサンプルに、より小さな重みを与えるように、問題（0.6）において振幅重み付けを使用することである。更に、最小二乗問題が解かれる必要があるとは限らない。別の適切な指数が、同様に使用され得る。したがって、本問題は、次式のように再公式化される。

【数 1 0】

$$\mathbf{a} = \arg \min_{\mathbf{a}} \left(b(x_i) \sum_i |y(x_i) - e^{j\phi(x_i)}|^p \right) \quad (0.7)$$

20

【 0 0 8 6 】

ここで、 $b(x)$ は振幅関数であり、 p は指数である。

【 0 0 8 7 】

上記のデータ集合に対応した一例が、以下で図 7 に示される。この例は、エコー 2 に対するものである。エコー 1 は、同じアルゴリズムを使用して処理される。フィッティングされた位相が位相補正のために使用される場合、Dixon 処理が、図 6 の左下部分における水画像をもたらす。ラインアーティファクトは、全て消えている。対応する B_0 マップ（図示されない）は、かなり滑らかである。

30

【 0 0 8 8 】

図 7 は、位相 302 に対する位置のプロットを示す。図 7 において、一例に従って計算された位相誤差関数 156 のプロットが、従来の位相誤差関数 700 と比較される。例えばこれは、Dixon 磁気共鳴イメージング工程において計算され得る。位相誤差関数 156 は、モデル位相誤差関数 154 を、図 3 におけるプロット 304 に対応した測定された正規化位相補正量 152 にフィッティングすることにより得られたものである。曲線 700 は、紛れもない位相アンラッピング工程を通して取得された位相誤差である。この場合、それが正しいと考えられ、曲線 156 はそれに非常に正確に沿っている。端部におけるずれは、位相補正データが信頼できない低振幅エリアに対応する。

40

【 0 0 8 9 】

例は、2 つのデータ集合が位相に関して互いに比較される、及び位相差の半分が要求される任意の同様の問題にも適用され得る。一例は、EPI 位相補正である。

【 0 0 9 0 】

本発明は、図面及び前述の記載において詳細に図示及び説明されたが、このような図示及び記載は、説明的又は例示的であって限定するものではないと見なされるべきである。すなわち本発明は、開示された実施形態に限定されるものではない。

【 0 0 9 1 】

開示された実施形態のその他の変形が、図面、本開示及び添付の請求項の検討から、請

50

求項に係る発明を実施する当業者によって理解されて実現され得る。請求項において、「含む、備える」という単語は、他の要素又はステップを除外するものではなく、単数形は、複数を除外するものではない。単一のプロセッサ又は他のユニットが請求項に記載された幾つかのアイテムの機能を果たす。特定の手段が相互に異なる従属請求項に列挙されているという単なる事実は、これらの手段の組み合わせが有利に用いられないことを示すものではない。コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に若しくは他のハードウェアの一部として供給される光記憶媒体又はソリッドステート媒体等の適当な媒体に保存／分配されてもよいが、インターネット又は他の有線若しくは無線の電気通信システムを介して等の他の形式で分配されてもよい。請求項における任意の参照符号は、本発明の範囲を限定するものと解釈されるべきではない。

10

【符号の説明】

【0092】

- 100 磁気共鳴イメージングシステム
- 104 磁石
- 106 磁石のボア
- 108 イメージングゾーン
- 109 関心領域
- 110 磁場勾配コイル
- 112 磁場勾配コイル電源
- 114 RFコイル
- 116 トランシーバ
- 118 対象者
- 120 対象者支持体
- 126 コンピュータシステム
- 128 ハードウェアインタフェース
- 130 プロセッサ
- 132 ユーザインタフェース
- 134 コンピュータメモリ
- 140 マシン実行可能命令
- 142 パルスシーケンスコマンド
- 144 第1のデータ部分
- 146 第2のデータ部分
- 148 測定された第1の位相画像データ
- 150 測定された第2の位相画像データ
- 152 測定された位相誤差
- 154 モデル化された位相誤差関数
- 156 位相誤差関数
- 200 第1のデータ部分と第2のデータ部分とを獲得するように準備パルスシーケンスコマンドを使用して磁気共鳴イメージングシステムを制御する
- 202 第1のデータ部分と第2のデータ部分とを使用して画像空間における測定された正規化位相補正量を計算する
- 204 モデル化された位相補正を測定された位相補正項にフィッティングする。モデル化された位相補正は、複素数値に位相誤差関数を乗じたものの指数関数である。位相誤差関数は空間依存する。
- 300 位置
- 302 位相
- 304 ダブル位相補正項のプロット
- 306 線形位相成分の推定及び除去後の位相
- 308 空間平滑化後の位相データ
- 310 位相アンラッピング後の位相

20

30

40

50

3 1 2 ラインアーティファクト
4 0 0 水／脂肪スワップ領域
7 0 0 従来の位相誤差関数

【図面】

【図 1】

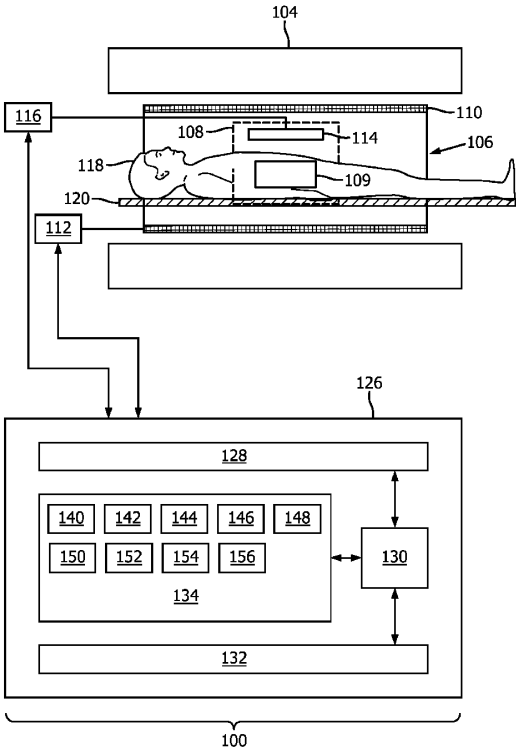


FIG. 1

【図 2】

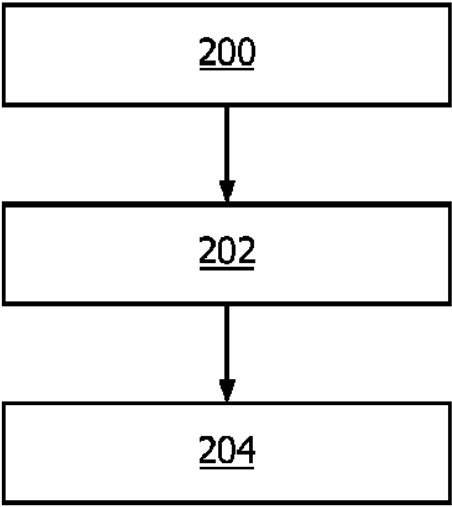


FIG. 2

10

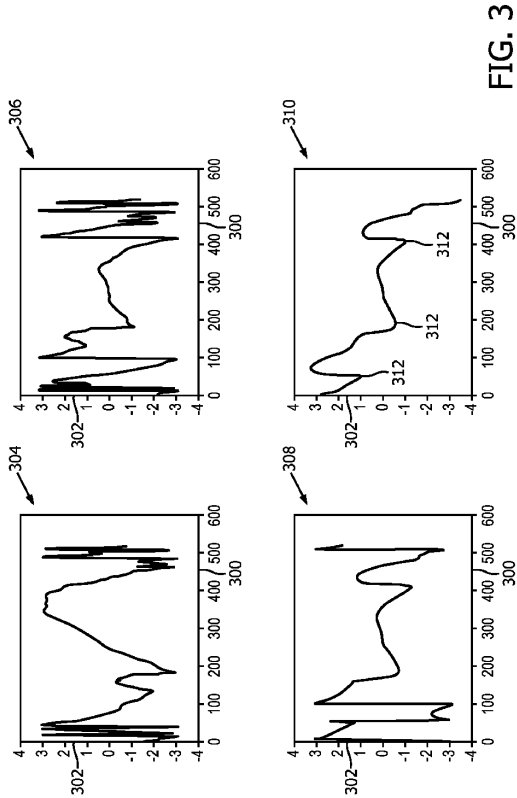
20

30

40

50

【図 3】



【図 4】

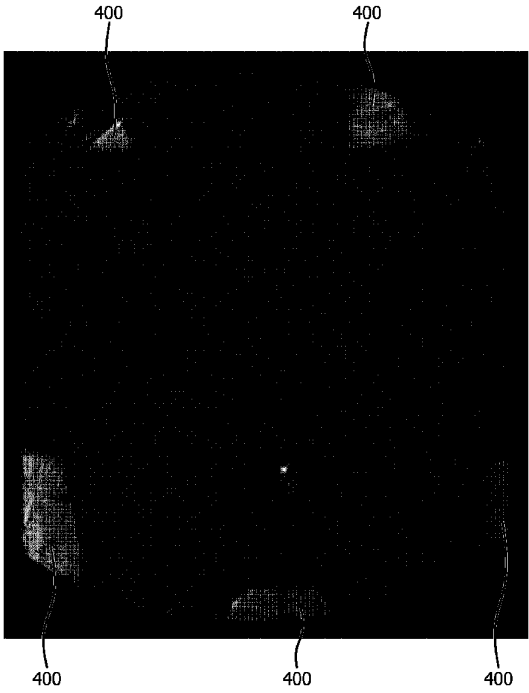


FIG. 4

【図 5】

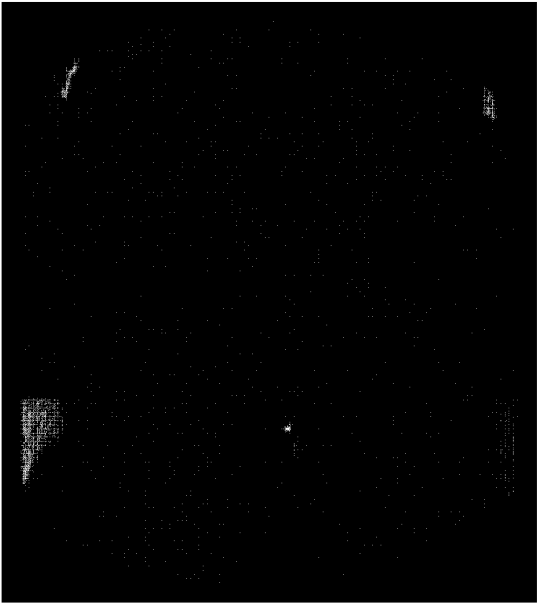


FIG. 5

【図 6】

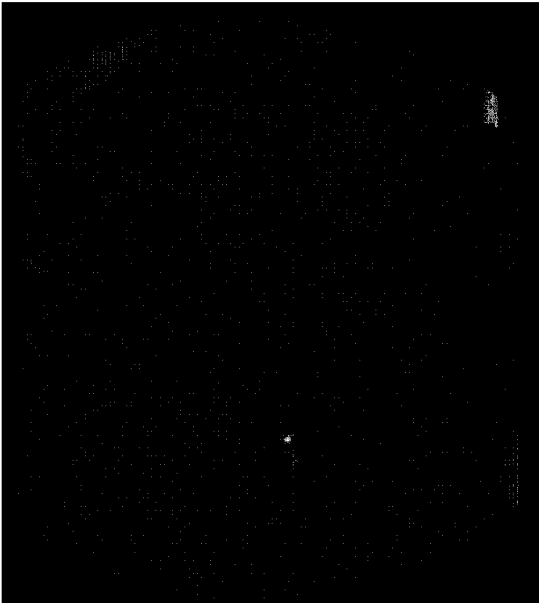


FIG. 6

10

20

30

40

50

【 図 7 】

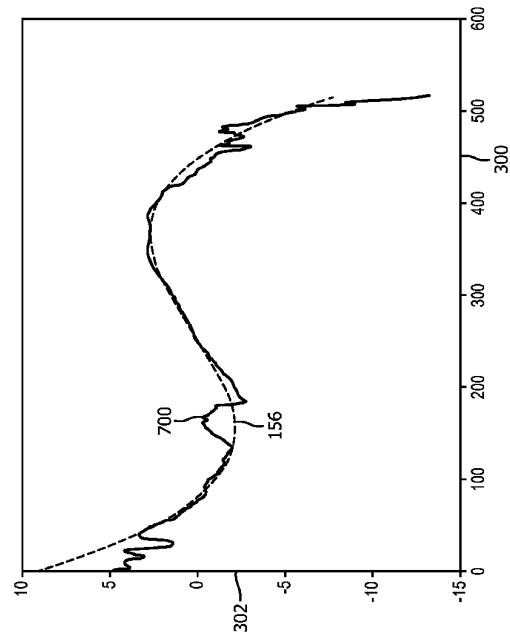


FIG. 7

10

20

30

40

50

フロントページの続き

ドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 亀澤 智博

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2010/0244822 (US, A1)
特表2014-511750 (JP, A)
特開2014-158535 (JP, A)
国際公開第2016/207035 (WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
A61B 5/055
G01N 24/00 - 24/14
G01R 33/20 - 33/64