

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6479782号  
(P6479782)

(45) 発行日 平成31年3月6日 (2019.3.6)

(24) 登録日 平成31年2月15日 (2019.2.15)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

A 6 1 B 5/055 3 8 2

A 6 1 B 5/055 3 7 0

A 6 1 B 5/055 Z D M

請求項の数 14 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2016-520647 (P2016-520647)  
 (86) (22) 出願日 平成26年9月25日 (2014.9.25)  
 (65) 公表番号 特表2016-536045 (P2016-536045A)  
 (43) 公表日 平成28年11月24日 (2016.11.24)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2014/070425  
 (87) 国際公開番号 WO2015/052002  
 (87) 国際公開日 平成27年4月16日 (2015.4.16)  
 審査請求日 平成29年9月22日 (2017.9.22)  
 (31) 優先権主張番号 13187655.9  
 (32) 優先日 平成25年10月8日 (2013.10.8)  
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 590000248  
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ  
 ヴェ  
 KONINKLIJKE PHILIPS  
 N. V.  
 オランダ国 5656 アーエー アイン  
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5  
 High Tech Campus 5,  
 NL-5656 AE Eindhoven  
 (74) 代理人 110001690  
 特許業務法人M&Sパートナーズ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 補正マルチスライス磁気共鳴イメージング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

イメージングゾーン内の被検者から磁気共鳴データを取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は、

- 機械実行可能命令と、前記磁気共鳴データを取得するために前記磁気共鳴イメージングシステムを制御するパルスシーケンスを表すパルスシーケンスデータとを保存するメモリであって、前記パルスシーケンスデータが、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として前記磁気共鳴データを取得するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御する、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と

10

を含み、  
 前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、

・ 前記パルスシーケンスデータを用いて第1の反復周期中に前記磁気共鳴データの第1のスライスグループを取得させ、  
 ・ 前記第1のスライスグループから第1の中心k空間データを抽出させ、  
 ・ 前記第1の中心k空間データを用いて、画像空間における第1の3次元ナビゲータとして第1のナビゲータデータを再構築させ、

前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに繰り返し、

・ 前記パルスシーケンスデータを用いて後続の反復周期中に前記磁気共鳴データの後続スライスグループを取得させ、

20

- ・ 前記後続スライスグループから後続中心 k 空間データを抽出させ、
- ・ 前記後続中心 k 空間データを用いて、前記画像空間における後続 3 次元ナビゲータとして後続ナビゲータデータを再構築させ、
- ・ 前記第 1 のナビゲータデータと前記後続ナビゲータデータとの間の 3 次元変換を行うことによって、前記第 1 のナビゲータデータから前記後続ナビゲータデータへのマッピングを決定させ、及び
- ・ 前記マッピングを用いて前記磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を補正させる、磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 2】

前記磁気共鳴データは、複数のスライスを含み、前記マッピングを用いた前記磁気共鳴データの前記次のスライスグループの前記取得の前記補正は、前記複数のスライスの各々内の前記被検者の面内の剛体の動き及び前記複数のスライス間の面貫通方向の剛体の動きを補正する、請求項 1 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

10

【請求項 3】

前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、前記マッピングを用いてスキャンパラメータ調整を計算させ、前記マッピングを用いた前記磁気共鳴データの前記次のスライスグループの前記取得の前記補正は、少なくとも部分的に、前記スキャンパラメータ調整を用いて前記磁気共鳴データの前記次のスライスグループの前記取得を変更することによって行われる、請求項 1 又は 2 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 4】

20

前記機械実行可能命令の実行は更に、前記プロセッサに、前記マッピングが所定の削除閾値を超える変換を有するか否かを決定させ、剛体変換を用いた前記磁気共鳴データの前記次のスライスグループの前記取得の前記補正は、少なくとも部分的に、前記磁気共鳴データから前記磁気共鳴データの前記後続スライスグループを削除することによって行われる、請求項 1、2 又は 3 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 5】

前記機械実行可能命令の実行は更に、前記プロセッサに、前記マッピングが所定の再取得閾値を超える変換を有するか否かを決定させ、剛体変換を用いた前記磁気共鳴データの前記次のスライスグループの前記取得の前記補正は、少なくとも部分的に、前記磁気共鳴データの前記後続スライスグループを再取得することによって行われる、請求項 1、2 又は 3 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

30

【請求項 6】

前記パルスシーケンスデータは、前記磁気共鳴イメージングシステムに複数のスライス間の間隙無しに前記磁気共鳴データを取得させ、前記機械実行可能命令の実行は更に、前記プロセッサに、前記磁気共鳴データの前記後続スライスグループの位置を反復的に補正することによって、前記磁気共鳴データ及び剛体変換を用いて磁気共鳴画像を再構築させる、請求項 1 乃至 5 の何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】

前記マッピングは、剛体変換、変形可能体変換、関心領域に関する剛体変換、及び周辺領域に関して変形可能体変換を用いた前記関心領域に関する剛体変換の何れか 1 つである、請求項 1 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

40

【請求項 8】

前記磁気共鳴イメージングシステムは、前記磁気共鳴データを取得するための多素子無線周波コイルを含み、前記パルスシーケンスは、パラレルイメージング技術であり、前記機械実行可能命令の実行は更に、前記プロセッサに、

- 前記多素子無線周波コイルのコイル感度のセットを受信させ、
- 前記コイル感度のセットを用いて 第 1 の 3 次元ナビゲータ画像を展開させ、及び
- 前記コイル感度のセットを用いて 後続の 3 次元ナビゲータ画像を展開させる、請求項 1 又は 7 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

【請求項 9】

50

前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、

- 第 1 の面に沿って第 1 の 3 次元ナビゲータ画像をスライスすることによって第 1 の 2 次元画像を計算させ、
- 第 2 の面であって、前記第 2 の面の位置は、前記マッピングを前記第 1 の面に適用することによって決定される、第 2 の面に沿って後続の 3 次元ナビゲータ画像をスライスすることによって後続の 2 次元画像を計算させ、
- 前記第 1 の 2 次元画像と前記後続の 2 次元画像との間の面内変形可能体変換を計算させ、及び
- 変形可能体変換が所定量を超える前記被検者の動きを示す場合には、前記磁気共鳴データの前記後続スライスグループのスライス部分を再取得又は削除させる、請求項 7 又は 8 に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

10

【請求項 10】

前記第 1 のナビゲータデータは、第 1 の k 空間ナビゲータであり、前記後続ナビゲータデータは、後続 k 空間ナビゲータである、請求項 1 乃至 6 の何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】

前記パルスシーケンスデータは、以下の磁気共鳴イメージング技術：PROPELLER、ラジアル高速スピネコー、選択スパイラル高速スピネコー、及び高速フィールドエコーの何れか 1 つを行うためのコマンドを含む、請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載の磁気共鳴イメージングシステム。

20

【請求項 12】

前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、前記マッピングの決定後に、前記第 1 のナビゲータデータを前記後続ナビゲータデータに置き換えさせる、請求項 1 乃至 11 の何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内の被検者から磁気共鳴データを取得するための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って実行する機械実行可能命令を含むコンピュータプログラムであって、前記磁気共鳴イメージングシステムは、パルスシーケンスデータを保存するメモリを含み、前記パルスシーケンスデータは、前記磁気共鳴データを取得するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御する命令を含み、前記パルスシーケンスデータは、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として前記磁気共鳴データを取得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、前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに、

30

- 前記パルスシーケンスデータを用いて第 1 の反復周期中に前記磁気共鳴データの第 1 のスライスグループを取得させ、
- 前記第 1 のスライスグループから第 1 の中心 k 空間データを抽出させ、
- 前記第 1 の中心 k 空間データを用いて、画像空間における第 1 の 3 次元ナビゲータとして第 1 のナビゲータデータを再構築させ、

前記機械実行可能命令の実行は、前記プロセッサに繰り返し、

- 前記パルスシーケンスデータを用いて後続の反復周期中に前記磁気共鳴データの後続スライスグループを取得させ、
- 前記後続スライスグループから後続中心 k 空間データを抽出させ、
- 前記後続中心 k 空間データを用いて、前記画像空間における後続 3 次元ナビゲータとして後続ナビゲータデータを再構築させ、
- 前記第 1 のナビゲータデータと前記後続ナビゲータデータとの間の 3 次元変換を行うことによって、前記第 1 のナビゲータデータから前記後続ナビゲータデータへのマッピングを決定させ、及び
- 前記マッピングを用いて前記磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を補正させる、コンピュータプログラム。

40

【請求項 14】

50

イメージングゾーン内の被検者から磁気共鳴データを取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であって、前記方法は、

- パルスシーケンスデータを用いて第1の反復周期中に前記磁気共鳴データの第1のスライスグループを取得するステップであって、前記パルスシーケンスデータは、前記磁気共鳴データを取得するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御する命令を含み、前記パルスシーケンスデータは、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として前記磁気共鳴データを取得するように前記磁気共鳴イメージングシステムを制御する、ステップと、

- 前記第1のスライスグループから第1の中心k空間データを抽出するステップと、
- 前記第1の中心k空間データを用いて、画像空間における第1の3次元ナビゲータとして第1のナビゲータデータを再構築するステップと

を含み、更に、

- 前記パルスシーケンスデータを用いて後続の反復周期中に前記磁気共鳴データの後続スライスグループを取得するステップと、

- 前記後続スライスグループから後続中心k空間データを抽出するステップと、
- 前記後続中心k空間データを用いて、前記画像空間における後続3次元ナビゲータとして後続ナビゲータデータを再構築するステップと、

- 前記第1のナビゲータデータと前記後続ナビゲータデータとの間の3次元変換を行うことによって、前記第1のナビゲータデータから前記後続ナビゲータデータへのマッピングを決定するステップと、

- 前記マッピングを用いて前記磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を補正するステップと、

を繰り返し行うことを含む、方法。

【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、特にマルチスライス取得中の取得の補正に関する。

【背景技術】

【0002】

患者の体内の画像を生成する手順の一部として、原子の核スピンを整列させるために、大きい静磁場が、磁気共鳴イメージング(MRI: Magnetic Resonance Imaging)スキャナによって使用される。この大きい静磁場は、B0磁場と呼ばれる。

【0003】

MRIスキャン中に、送信器コイルによって生成された無線周波(RF: Radio Frequency)パルスは、局所磁場に対して摂動を生じさせ、及び核スピンのことによって発せられたRF信号は、受信器コイルによって検出される。これらのRF信号は、MRI画像を構築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、送信器及び受信器コイルは、両方の機能を行う単一の送受信器コイルに統合されてもよい。送受信器コイルという用語の使用は、別個の送信器及び受信器コイルが使用されるシステムも指す事が理解される。送信RF磁場は、B1磁場と呼ばれる。

【0004】

MRIスキャナは、スライス又はボリュームの画像を構築する事ができる。スライスとは、1ボクセルの厚さのみの薄いボリュームである。ボクセルは、その範囲に亘ってMRI信号が平均化され、及びMRI画像の解像度を表す小さいボリュームである。ボクセルは、本明細書においてピクセルと呼ばれる場合もある。

【0005】

国際公開第2008/132659A2号は、デバイスがPROPELLERスキームに従って複数のk空間ブレードを取得する磁気共鳴デバイスを開示する。このデバイスは、取得されたMRデータを重み付けするように構成され、重み付け係数は、コントラスト操作のための取得回数、動き補償のための相関測度、及びk空間ブレードの重複領域のジオメトリ

10

20

30

40

50

に基づいて計算される。MRM64(2010)1148-1154のL. Geらによる論文「Free-breathing myocardial perfusion MRI using SW-CG-HYPR and motion correction」は、ラジアルk空間サンプリングを用いたECG誘発マルチスライス勾配エコーシーケンスを開示する。各心周期における3回の飽和回復法準備に続く6つのスライスから、合成画像が再構築される。各心周期からの、k空間の中心から再構築された低解像度画像は、合成画像と比較される。この比較から、画像領域における心臓の平行移動及び回転が検出される。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、独立クレームにおいて、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に関する。実施形態は、従属クレームにおいて提供される。

10

【0007】

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取り得る。更に、本発明の態様は、その上で具体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取り得る。

20

【0008】

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事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がある。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事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：Random Access Memory）、読み取り専用メモリ（ROM：Read Only Memory）、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：Compact Disk）及びデジタル多用途ディスク（DVD：Digital Versatile Disk）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事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体化されたコンピュータ実行可能コードは、限定される事はないが、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。

30

40

【0009】

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有し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、限定される事はないが、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取り得る。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、又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、又は輸送できる任意の

50

コンピュータ可読媒体でもよい。

【0010】

「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、任意の不揮発性コンピュータ可読ストレージ媒体である。一部の実施形態では、コンピュータストレージは、コンピュータメモリであってもよく、又はその逆でもよい。

【0011】

本明細書で使用される「プロセッサ」は、プログラム、機械実行可能命令、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もよい。プロセッサは、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間で分配されたプロセッサの群も指し得る。コンピューティングデバイスという用語は、場合により、各々が1つ又は複数のプロセッサを含むコンピューティングデバイスの群又はネットワークを指すとも解釈されるべきである。コンピュータ実行可能コードは、同じコンピューティングデバイス内に存在し得るか、又は複数のコンピューティングデバイスに分配され得る複数のプロセッサによって実行されてもよい。

【0012】

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機械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、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く、並びに機械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く、及び臨機応変に機械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。

【0013】

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事ができる。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：local area network）若しくは広域ネットワーク（WAN：wide area network）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く、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。

【0014】

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事が理解されるであろう。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事が更に理解される。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／行ためを実施するための手段を生じさせるように機械を作るために、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に提供されてもよい。

【0015】

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／行ため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事ができるコンピュータ可読媒体に保存されてもよい。

【 0 0 1 6 】

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／行ためを実施するためのプロセスを提供するようにコンピュータ実施プロセスを生じさせるために、一連の動作ステップをコンピュータ、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。

【 0 0 1 7 】

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事ができ、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事ができる。ユーザインタフェースは、オペレータからの入力によって受信されることを可能にしてもよく、及びコンピュータからユーザへ出力を提供してもよい。即ち、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又は操作することを可能にし得、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得る。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、ポインティングスティック、グラフィックスタブレット、ジョイスティック、ゲームパッド、ウェブカメラ、ヘッドセット、ギアスティック、ハンドル、ペダル、ワイヤードグローブ、ダンスパッド、リモートコントロール、及び加速度計によるデータの受信は全て、オペレータからの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コンポーネントの例である。

【 0 0 1 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得る。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得る。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、無線ローカルエリアネットワーク接続、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。

【 0 0 1 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：Cathode ray tube）、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（VF：Vacuum fluorescent）ディスプレイ、発光ダイオード（LED：Light-emitting display

10

20

30

40

50

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：Electroluminescent display）、プラズマディスプレイパネル（PDP：Plasma display panel）、液晶ディスプレイ（LCD：Liquid crystal display）、有機発光ダイオードディスプレイ（OLED：Organic light-emitting diode display）、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。

#### 【0020】

磁気共鳴（MR：Magnetic Resonance）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無線周波信号の記録された測定として定義される。磁気共鳴データは、医療画像データの一例である。磁気共鳴イメージング（MRI）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築された2次元又は3次元可視化として定義される。この可視化は、コンピュータを使用して行う事ができる。

10

#### 【0021】

ある態様では、本発明は、イメージングゾーン内の被検者から磁気共鳴データを取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、機械実行可能命令を保存するため及びパルスシーケンスも保存するためのメモリを含む。パルスシーケンスは、パルスシーケンスデータの形式で保存されてもよい。本明細書で使用するパルスシーケンスデータは、パルスシーケンスを記述し、及びプロセッサがパルスシーケンスによって指定された方法を用いて磁気共鳴データを取得することを可能にするデータを包含する。パルスシーケンスは、磁気共鳴データを取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命令を含む。パルスシーケンスは、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として磁気共鳴データを取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。本明細書で使用するパルスシーケンスは、命令、又は磁気共鳴イメージングシステムによるデータ若しくは磁気共鳴データの取得を制御するための命令に変換する事ができるデータ構造を含む。パルスシーケンスは、磁気共鳴イメージングシステムが磁気共鳴データを取得する方法を制御する。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含む。

20

#### 【0022】

機械実行可能命令の実行は、プロセッサに、パルスシーケンスを用いて第1の反復周期中に磁気共鳴データの第1のスライスグループを取得させる。完成時の磁気共鳴データは、複数のスライスから成る。本明細書で使用するスライスグループは、磁気共鳴データの1つ又は複数のスライスを包含する。命令の実行は更に、プロセッサに、第1のスライスグループから第1の中心k空間データを抽出させる。磁気共鳴データは、k空間で取得される。命令の実行は更に、プロセッサに、第1の中心k空間データを用いて第1のナビゲータデータを再構築させる。

30

#### 【0023】

本明細書で使用するナビゲータデータは、被検者の位置又は被検者の位置の変化のモニタリングを可能にするデータである。ナビゲータデータは、例えば、k空間内のデータでもよい。これは、実空間における被検者の動きが、同様にk空間内の動きを生じさせるからである。第1のナビゲータデータはまた、中心k空間データを取り、及び第1の中心k空間データから画像を再構築することによって構築され得る。この場合、第1のナビゲータデータは、1つ若しくは複数の画像、又は第1の中心k空間データから再構築された3Dモデルとなり得る。命令の実行は、プロセッサに、パルスシーケンスを用いて後続の反復周期中に磁気共鳴データの後続スライスグループを繰り返し取得させる。

40

#### 【0024】

命令の実行は更に、プロセッサに、後続スライスグループから後続中心k空間データを繰り返し抽出させる。命令の実行は更に、プロセッサに、第1のナビゲータデータと後続ナビゲータデータとの間の変換を行うことによって、第1のナビゲータデータから後続ナビゲータデータへのマッピングを繰り返し決定させる。本明細書で使用するマッピングは、ある座標セットから別の座標セットへの変換セットの数学的記述を包含する。剛体変

50



換の場合、マッピングは、平行移動及び／又は回転となり得る。マッピングは、あるボリュームが別のボリュームへと変換される変形可能マッピングも指し得る。

【 0 0 2 5 】

マッピングが計算される方法は、どのような種類のナビゲータデータ、即ち第 1 のナビゲータ及び後続ナビゲータデータであるかによって決まる。例えば、それらが共に  $k$  空間データである場合、計算は、マッピングを決定するために行われる。第 1 のナビゲータデータ及び後続ナビゲータデータが画像又は 3 D モデルである場合、マッピングを決定するために変換又は変形可能体変換モデルが使用され得る。マッピングは、第 1 のナビゲータデータを再構築するためのデータが作成された時と、後続ナビゲータデータが作成された時との間に、被検者がどの程度動いたかの度合いである。命令の実行は更に、プロセッサに、マッピングを用いて磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を補正させる。マッピングは、被検者が取得中にどの程度動いたかの度合いである。被検者がどのように動いたかのこの知識は、磁気共鳴データの取得を前もって補正するために使用する事ができる。例えば、被検者の動き又は位置の変化を補正するために、パルスシーケンスで使

10

【 0 0 2 6 】

一部の例では、マッピングは、剛体変換でもよい。

【 0 0 2 7 】

別の実施形態では、磁気共鳴データは、複数のスライスを含む。マッピングを用いた磁気共鳴データの次のスライスグループの取得の補正は、複数のスライスの各々内の被検者の面内の剛体の動き及び複数のスライス間の面貫通方向の剛体の動きを補正する。複数のスライスは、一般的に平行面として取得される。第 1 の及び後続ナビゲータデータが中心  $k$  空間データから再構築されるため、取得されるデータに多少の重複がある。全く同じ  $k$  空間点はサンプリングされない事があり得るが、中心領域からサンプリングされた  $k$  空間データ点は、しかしながら互いに関連している。この冗長性は、面貫通方向の剛体の動きの補正を可能にする。

20

【 0 0 2 8 】

別の実施形態では、命令の実行は更に、プロセッサに、マッピングを用いてスキャンパラメータ調整を計算させる。マッピングを用いた磁気共鳴データの次のスライスグループの取得の補正は、少なくとも部分的に、スキャンパラメータ調整を用いて磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を変更することによって行われる。スキャンパラメータ調整は、例えば、次のスライスグループの空間における僅かに異なる位置を指定してもよい。被検者は外的又は内的に動くため、この実施形態は、被検者の動きを補正するために次のスライスグループの位置の補正を可能にし得る。

30

【 0 0 2 9 】

別の実施形態では、命令の実行は更に、プロセッサに、マッピングが所定の削除閾値を超える変換を有するか否かを決定させる。剛体変換又はマッピングを用いた磁気共鳴データの次のスライスグループの取得の補正は、少なくとも部分的に、磁気共鳴データから磁気共鳴データの後続スライスグループを削除することによって行われる。この実施形態では、被検者が所定量を超えて動く場合、磁気共鳴イメージングシステムは、マッピングを用いて、そこから次の又は後続スライスが取得される位置を補正することによって補償する事ができる。

40

【 0 0 3 0 】

マッピングは、幾つかの形式を取る事ができ、例えば、剛体が存在すると仮定された場合、マッピングは、平行移動及び／又は回転を含み得る。変形可能体の場合、これは、やはり平行移動及び回転となり得るが、被検者の変形（即ち、剪断及び／又は拡大縮小）も含み得る。

【 0 0 3 1 】

別の実施形態では、命令の実行は更に、プロセッサに、マッピングが所定の再取得閾値を超える変換を有するか否かを決定させる。剛体変換を用いた磁気共鳴データの次のスラ

50

イスグループの取得の補正は、少なくとも部分的に、磁気共鳴データの後続スライスグループを再取得することによって行われる。この実施形態では、マッピングが、ある特定のスライス又はスライスグループの取得中に、被検者が所定の再取得閾値を超えて動いたことを示す場合、その特定のスライス又はスライスグループが再取得される。

#### 【 0 0 3 2 】

別の実施形態では、パルスシーケンスは、磁気共鳴イメージングシステムに複数のスライス間の間隙無しに磁気共鳴データを取得させるようにする事ができる。本明細書で使用するスライスは、そこから磁気共鳴データが取得される空間内の3次元ボリュームを示す。スライスは、通常、スラブ状である。スライスは、それらが互いに隣接する及び接するように取得されてもよく、又はそれらは、それらが被検者の少数の平面を通るだけであるように取得されてもよい。この実施形態では、スラブは、それらが互いに隣接するように取得される。

10

#### 【 0 0 3 3 】

この実施形態は、連続した磁気共鳴データが存在するため、有利である。このため、被検者が動いている又は動いた後に取得された磁気共鳴データは、依然有用となり得る。例えば、特定のk空間点のk空間内の位置を補正する事ができる。命令の実行は更に、プロセッサに、磁気共鳴データの後続スライスグループの位置を反復的に補正することによって、磁気共鳴データ及び剛体変換を用いて磁気共鳴画像を再構築させる。そのようにして、この実施形態では、スライスグループの空間内の実際の位置が補正される。これは、マッピングを用いて、点がシフトされなければならない量を推定することによって反復的に

20

#### 【 0 0 3 4 】

別の実施形態では、第1のナビゲータデータは、画像空間における第1の3次元ナビゲータデータである。後続ナビゲータデータは、画像空間における後続3次元ナビゲータデータである。両ナビゲータの中心k空間は、どちらの場合も、3次元ナビゲータへと再構築されている。この実施形態は、マッピングを計算するために標準的な画像処理技術を使用する事ができるため、有益となり得る。好ましくは、3次元変換は、第1のナビゲータデータと後続ナビゲータデータとの間で行われる。3次元情報は、ナビゲータから入手可能であるため、面貫通方向及び面内補正の両方が前もって行われる。

30

#### 【 0 0 3 5 】

別の実施形態では、マッピングは、以下：剛体変換、変形可能体変換、関心領域に関する剛体変換、周辺領域に関して変形可能体変換を用いた関心領域に関する剛体変換の何れか1つである。これらの全ては、既知の画像処理技術を用いて行う事ができる。ナビゲータデータを関心領域に縮小する事は、関心領域が中心に置かれるか、又は被検者の特定の若しくは解剖学的ランドマーク上に位置付けられる事ができるため、有益となり得る。これは、異なる時間に取得されたスライスグループを、被検者の生体構造の特定の部分とより近くアライメントさせる結果をもたらす事ができる。

40

#### 【 0 0 3 6 】

別の実施形態では、磁気共鳴イメージングシステムは、磁気共鳴データを取得するための多素子無線周波コイルを含む。パルスシーケンスは、パラレルイメージング技術である。命令の実行は更に、プロセッサに、多素子無線周波コイルのコイル感度のセットを受信させる。これは、以前に測定されたコイル感度のセットでもよい、又はそれらは、幾つかの基準測定を行うことによって受信されてもよい。命令の実行は更に、プロセッサに、コイル感度のセットを用いて第1の3次元ナビゲータ画像を展開させる。命令の実行は更に、プロセッサに、コイル感度のセットを用いて後続の3次元ナビゲータ画像を展開させる。多素子無線周波コイルの異なるアンテナ素子から取得された磁気共鳴データでは、より正確なk空間データを構築する事ができる。

50

## 【 0 0 3 7 】

別の実施形態では、第 1 の中心 k 空間データ及び後続中心 k 空間データは、ナイキストサンプリング基準が満たされるように選択される。

## 【 0 0 3 8 】

別の実施形態では、命令の実行は更に、プロセッサに、第 1 の面に沿って第 1 の 3 次元ナビゲータ画像をスライスすることによって第 1 の 2 次元画像を計算させる。命令の実行は更に、プロセッサに、第 2 の面に沿って後続の 3 次元ナビゲータ画像をスライスすることによって後続の 2 次元画像を計算させる。第 2 の面の位置は、剛体変換を第 1 の面に適用することによって決定される。命令の実行は更に、プロセッサに、第 1 の 2 次元画像と後続の 2 次元画像との間の面内変形可能体変換を計算させる。

10

## 【 0 0 3 9 】

命令の実行は更に、プロセッサに、変形可能体変換が所定量を超える被検者の動きを示す場合には、磁気共鳴データの後続スライスグループのスライス部分を再取得又は削除させる。この実施形態では、面内の動きに関して、特定のスライスを分析する事ができる。両方の 3 次元ナビゲータは、同じ位置でスライスされる。これは、マッピングを第 1 の面に適用することによって保証される。剛体変換が 2 つの 3 次元ナビゲータ間で決定され、及び後に 2 次元画像が両者間で比較されて、被検者内の変形可能平行移動を検出する。これは、様々な状況において有用となり得る。あるケースでは、被検者の生体構造の剛性部分が剛体変換に使用されてもよく、及び後に被検者内の軟組織の動きは、3 次元ナビゲータの異なるスライス又は部分間に面内変形可能体変換を加えることによって分析する事が

20

## 【 0 0 4 0 】

別の実施形態では、第 1 のナビゲータデータは、第 1 の k 空間ナビゲータである。第 2 のナビゲータデータは、第 2 の k 空間ナビゲータである。場合によっては、マッピングを決定するために k 空間データを直接使用する事が有用となり得る。

## 【 0 0 4 1 】

別の実施形態では、パルスシーケンスは、以下の磁気共鳴イメージング技術：PROPELLE R、ラジアル高速スピンエコー、選択スパイラル高速スピンエコー、及び高速フィールドエコーの何れか 1 つを行うためのコマンドを含む。これらは、次のスライスグループの取得を補正するためにマッピングを決定する事から恩恵を受け得る磁気共鳴イメージング技術の例である。

30

## 【 0 0 4 2 】

別の実施形態では、命令の実行は、プロセッサに、マッピングの決定後に、第 1 のナビゲータデータを後続ナビゲータデータに置き換えさせる。即ち、参照用に取得されたナビゲータデータを常に見る代わりに、第 1 のナビゲータデータと第 2 のナビゲータデータとの間のマッピングが、連続して取得されるスライスグループからのデータを比較することによって行われる。このようにして取得されたマッピングは、様々な方法で使用する事ができる。例えば、動きは、隣接する連続して取得されたスライスグループにトラッキングされるだけでもよく、マッピングは、場合によっては、累積的に決定されてもよく、例えば、それが剛体変換である場合、変換は、累積マッピングを決定するために一緒にされて

40

## 【 0 0 4 3 】

別の態様では、本発明は、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って実行する機械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。磁気共鳴イメージングシステムは、イメージングゾーン内の被検者から磁気共鳴データを取得するように動作可能である。磁気共鳴イメージングシステムは、パルスシーケンスを保存するためのメモリを含む。パルスシーケンスは、磁気共鳴データを取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命令を含む。パルスシーケンスは、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として磁気共鳴データを取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。

50

## 【 0 0 4 4 】

命令の実行は更に、プロセッサに、パルスシーケンスを用いて第1の反復周期中に磁気共鳴データの第1のスライスグループを取得させる。磁気共鳴データは、データが異なるスライスに亘って取得されたデータに分割されるように、マルチスライス取得として行われる。2つ以上のスライスが、ある特定の時に取得され得る。本明細書で使用されるスライスグループは、1つ又は同時に取得される複数のスライスを包含する。命令の実行は更に、プロセッサに、第1のスライスグループから第1の中心k空間データを抽出させる。命令の実行は更に、プロセッサに、第1の中心k空間データを用いて第1のナビゲータデータを再構築させる。命令の実行は、プロセッサに、パルスシーケンスを用いて後続の反復周期中に磁気共鳴データの後続スライスグループを繰り返し取得させる。

10

## 【 0 0 4 5 】

命令の実行は更に、プロセッサに、後続スライスグループから後続中心k空間データを繰り返し抽出させる。命令の実行は更に、プロセッサに、後続中心k空間データを用いて後続ナビゲータデータを繰り返し再構築させる。命令の実行は更に、プロセッサに、第1のナビゲータデータと後続ナビゲータデータとの間の変換を行うことによって、第1のナビゲータデータから後続ナビゲータデータへのマッピングを繰り返し決定させる。命令の実行は更に、プロセッサに、マッピングを用いて磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を繰り返し補正させる。

## 【 0 0 4 6 】

別の態様では、本発明は、イメージングゾーン内の被検者から磁気共鳴データを取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。この方法は、パルスシーケンスを用いて第1の反復周期中に磁気共鳴データの第1のスライスグループを取得するステップであって、パルスシーケンスは、磁気共鳴データを取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命令を含む、ステップを含む。パルスシーケンスは、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として磁気共鳴データを取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。この方法は更に、第1のスライスグループから第1の中心k空間データを抽出するステップを含む。

20

## 【 0 0 4 7 】

この方法は更に、第1の中心k空間データを用いて第1のナビゲータデータを再構築するステップを含む。この方法は更に、パルスシーケンスを用いて後続の反復周期中に磁気共鳴データの後続スライスグループを繰り返し取得するステップを含む。この方法は更に、後続スライスグループから後続中心k空間データを繰り返し抽出することを含む。この方法は更に、後続中心k空間データを用いて後続ナビゲータデータを繰り返し再構築することを含む。この方法は更に、第1のナビゲータデータと後続ナビゲータデータとの間の変換を行うことによって、第1のナビゲータデータから後続ナビゲータデータへのマッピングを繰り返し決定することを含む。この方法は更に、マッピングを用いて磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を繰り返し補正することを含む。

30

## 【 0 0 4 8 】

本発明の上記実施形態の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てもよい事が理解される。

40

## 【 0 0 4 9 】

以下では、本発明の好適な実施形態が、単なる例として、図面を参照して説明される。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 5 0 】

【図1】磁気共鳴イメージングシステムの一例を示す。

【図2】方法の一例を示すフローチャートを示す。

【図3】磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を補正する方法の一例を示す図を示す。

【図4】k空間データと画像との関係を示す。

【発明を実施するための形態】

50

## 【 0 0 5 1 】

これらの図面における同様に番号付けされた要素は、同等の要素であるか、又は同じ機能を行う。既に説明された要素は、機能が同等であれば、後の図面において必ずしも説明されない。

## 【 0 0 5 2 】

図 1 は、磁気共鳴イメージングシステム 1 0 0 の一例を示す。磁気共鳴イメージングシステム 1 0 0 は、磁石 1 0 4 を含む。磁石 1 0 4 は、それを貫通するボア 1 0 6 を有した超伝導円筒型磁石 1 0 4 である。異なる種類の磁石の使用も可能であり、例えば、分割円筒磁石及び所謂開放磁石の両方を使用する事も可能である。分割円筒磁石は、クライオスタットが 2 つの部分に分割されて、磁石の等平面へのアクセスを可能にする点を除いて、標準的な円筒磁石に類似し、このような磁石は、例えば荷電粒子ビーム療法と共に使用され得る。開放磁石は、2 つの磁石部分を有し、被検者を受容するのに十分な大きさの空間を間に有して一方が他方の上にあり、2 つの部分の領域の配置は、ヘルムホルツコイルのものと類似する。被検者が閉じ込められる度合いが低いことから、開放磁石が普及している。円筒磁石のクライオスタットの内部には、超伝導コイルの群が存在する。円筒磁石 1 0 4 のボア 1 0 6 内部には、磁気共鳴イメージングを行うのに十分な程、磁場が強い及び均一であるイメージングゾーン 1 0 8 が存在する。

10

## 【 0 0 5 3 】

磁石のボア 1 0 6 内部には、磁気共鳴データの取得のために使用されて、磁石 1 0 4 のイメージングゾーン 1 0 8 内で磁気スピンを空間的に符号化する磁場勾配コイル 1 1 0 の組も存在する。磁場勾配コイル 1 1 0 は、磁場勾配コイル電源 1 1 2 に接続される。磁場勾配コイル 1 1 0 は、代表的である事が意図されたものである。一般的に、磁場勾配コイル 1 1 0 は、3 つの直交する空間方向に空間的に符号化を行うための 3 つの別々のコイル組を含む。磁場勾配コイル電源は、電流を磁場勾配コイルに供給する。磁場勾配コイル 1 1 0 に供給される電流は、時間の関数として制御され、及び傾斜がつけられてもよい、又はパルス出力されてもよい。

20

## 【 0 0 5 4 】

イメージングゾーン 1 0 8 に隣接するのは、イメージングゾーン 1 0 8 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 1 0 8 内のスピンから無線伝送を受信するための無線周波コイル 1 1 4 である。無線周波アンテナは、複数のコイル素子を含んでもよい。無線周波アンテナは、チャンネル又はアンテナとも呼ばれ得る。無線周波コイル 1 1 4 は、無線周波送受信器 1 1 6 に接続される。無線周波コイル 1 1 4 及び無線周波送受信器 1 1 6 は、別個の送信及び受信コイル並びに別個の送信器及び受信器によって置き換えられてもよい。無線周波コイル 1 1 4 及び無線周波送受信器 1 1 6 は、代表的なものである事が理解される。無線周波コイル 1 1 4 は、専用送信アンテナ及び専用受信アンテナも表すように意図される。同様に、送受信器 1 1 6 は、別個の送信器及び複数の受信器も表し得る。無線周波コイル 1 1 4 は、複数の受信 / 送信素子も有していてもよく、及び無線周波送受信器 1 1 6 は、複数の受信 / 送信チャンネルを有してもよい。

30

## 【 0 0 5 5 】

磁場勾配コイル電源 1 1 2 及び送受信器 1 1 6 は、コンピュータシステム 1 2 6 のハードウェアインタフェース 1 2 8 に接続される。コンピュータシステム 1 2 6 は、プロセッサ 1 3 0 を更に含む。プロセッサ 1 3 0 は、ハードウェアインタフェース 1 2 8、ユーザインタフェース 1 3 2、コンピュータストレージ 1 3 4、及びコンピュータメモリ 1 3 6 に接続される。

40

## 【 0 0 5 6 】

コンピュータストレージ 1 3 4 は、パルスシーケンス 1 4 0 を保存して又は含んで示されている。パルスシーケンスは、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得として磁気共鳴データを取得するように磁気共鳴イメージングシステム 1 0 0 を制御するためにプロセッサ 1 3 0 が使用する事ができる信号又はコマンドを提供するように動作可能である。コンピュータストレージ 1 3 4 は更に、パルスシーケンス 1 4 0 を用いて取得さ

50

れた磁気共鳴データの第1のスライスグループ142を含んで示されている。コンピュータストレージ134は更に、磁気共鳴データの第1のスライスグループ142から抽出された幾つかの第1の中心k空間データ144を保存して示されている。コンピュータストレージ134は更に、第1の中心k空間データ144から再構築された又は作られた第1のナビゲータデータ146を含んで示されている。

【0057】

コンピュータストレージ134は更に、磁気共鳴データの後続スライスグループ148を含んで示されている。後続スライスグループ148は、パルスシーケンス140を使用して取得されたものである。コンピュータストレージ134は、磁気共鳴データの後続スライスグループ148から抽出された後続中心k空間データ150を含んで示されている。コンピュータストレージ134は更に、後続中心k空間データ150から再構築された又は作られた後続ナビゲータデータ152を含んで示されている。

【0058】

コンピュータストレージ134は更に、マッピング154を含んで示されている。マッピングは、第1のナビゲータデータを後続ナビゲータデータ152上に平行移動させる数学的平行移動である。コンピュータストレージ134は更に、スキャンパラメータ調整156を含んで示されている。スキャンパラメータ調整は、磁気共鳴データの次のスライスグループの補正された取得を可能にする、パルスシーケンス140に対する小さい調整又は変更である。コンピュータストレージ134は更に、パルスシーケンス140を用いて取得された完全磁気共鳴データ158を含んで示されている。コンピュータストレージ134は更に、完全磁気共鳴データ158から再構築された磁気共鳴画像160を含んで示されている。

【0059】

コンピュータメモリ136は、制御モジュール162を含んで示されている。制御モジュール162は、プロセッサ130が磁気共鳴イメージングシステム100を制御することを可能にするコンピュータ実行可能コードを含む。制御モジュール162は、パルスシーケンス140を使用して磁気共鳴データ142、148、158を取得するといったことをプロセッサ130が行うことを可能にする基本コードを含む。コンピュータメモリ136は更に、画像再構築モジュール164を含んで示されている。画像再構築モジュール164は、プロセッサ130が完全磁気共鳴データ158から磁気共鳴画像160を再構築するといったことを行うことを可能にする。画像再構築モジュール164は、ナビゲータが画像空間内にある場合に、プロセッサ130が中心k空間データ144、150をナビゲータデータ146、152へと再構築できるようにしてもよい。

【0060】

コンピュータメモリ136は更に、任意選択的な画像処理モジュール166を有する画像として示される。2つのナビゲータデータ146、152が画像空間内にあるか、又は画像である場合、画像処理モジュール166は、標準的な画像処理技術を適用してマッピング154を計算するために使用する事ができる。コンピュータメモリ136は、画像処理モジュール166の代替手段を含んで示されている。k空間処理モジュール168は、第1のナビゲータデータ146及び後続ナビゲータデータ152が共にk空間内にある場合に、プロセッサ130がそれらを比較することを可能にするコードを含む。それらがk空間内にある場合、k空間処理モジュール168は、k空間における回転及び平行移動の決定といったことを行う事ができてよい。これは、この場合マッピング154の計算のために、k空間処理モジュール168がプロセッサ130によって使用されることを可能にする。

【0061】

図2は、図1に示された磁気共鳴イメージングシステム100を動作させる方法の一例を示すフローチャートを示す。まずステップ200において、磁気共鳴データの第1のスライスグループ142が、パルスシーケンス140を用いて第1の反復周期中に取得される。次にステップ202において、第1の中心k空間データ144が、第1のスライスグ

10

20

30

40

50

ループから抽出される。次にステップ204において、第1のナビゲータデータ146が、第1の中心k空間データを用いて再構築される。次にステップ206において、磁気共鳴データの後続スライスグループ148が、パルスシーケンスを用いて後続の反復周期中に取得される。次にステップ208において、後続中心k空間データ150が、後続スライスグループから抽出される。次にステップ210において、後続ナビゲータデータ152が、後続中心k空間データを用いて再構築される。

#### 【0062】

次にステップ212において、第1のナビゲータデータ146と後続ナビゲータデータ152との間の変換を行うことによって、第1のナビゲータデータ146から後続ナビゲータデータ152へのマッピング154が決定される。次にステップ214において、磁気共鳴データの次のスライスグループの取得がマッピングを用いて補正される。ステップ206、208、210、212、214が繰り返し行われることを理解する事ができる。この場合、次のスライスグループは、基本的に別の後続スライスグループ148である。このプロセスは、完全磁気共鳴データ158が取得されるまで、磁気共鳴イメージングの取得中に繰り返されてもよい。

#### 【0063】

動きアーチファクトを低減するために、マルチスライスイメージングの多くのナビゲータに基づく概念が提案されてきた（Fナビゲーション、Oナビゲーション、自動ナビゲーション等）。それらは、面内の剛体の動きの補償を可能にするが、面貫通方向の動きを同様に定量的に補正することに問題がある。特にPROPELLER、ラジアル及び選択されたスパイラルTSE又はTFEイメージングに使用する事ができ、並びに追加のナビゲータを取得する事なく、面内の動きに加えて面貫通方向の動きの補正を可能にするマルチスライスイメージングのデータ処理技術が説明される；即ち、この方法を用いて、完全3D剛体予想動き補正が可能である。更に、この概念を、セグメント化デカルトサンプリングスキームに対して、このタイプの取得にも自己ナビゲーションを可能にする更なる努力と共に適用する事も提案されている。この新しい方法への鍵は、1つのマルチスライスインタリーブ内で取得されたイメージングデータが、（粗くサンプリングされた）3Dボリュームを表す、又はこれを表すために処理する事ができるという見解である。従って、取得中の動きは、2つの後続のマルチスライスショットインターバルの相関データから定量化する事ができる。この動き情報は、スキュンジオメトリを補正し、及び/又は動き中に取得されたデータを拒否することによって、アーチファクトを減少させるために使用する事ができる。

#### 【0064】

MRイメージングは、データ取得中の動きに敏感である。動きに起因する画像アーチファクトを減少させるために、過去に様々なMRデータ取得及び画像再構築方法が開発されてきた。これらの技術の1つは、PROPELLERイメージングである。PROPELLERイメージングは、それが広範囲の適用性を有するため、特に成功した動き補償方法と見なす事ができる。

#### 【0065】

PROPELLERイメージングは、画像データが所謂「ブレード」のセットで取得される2Dイメージング技術である。1つのブレードは、k空間の中心を覆うk空間内の等間隔の平行線の小さいセットから成る。1つのスライスの画像は、異なるブレードがk空間の外側領域の異なる部分を覆うように互いに回転される幾つかのブレードのデータから再構築される。k空間の中心部分は、各ブレードによってサンプリングされる。

#### 【0066】

中心k空間のこのオーバーサンプリングは、各ブレードのデータから低解像度画像を再構築する事及び異なるブレードの画像間の登録を行うことによって、面内動き補償を可能にする。登録から得られた動き情報は、動き補償された画像を計算するために再構築において使用する事ができ、又はそれはスキュンジオメトリを補正するために使用する事ができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 7 】

この概念は、上記のpropellerケースの場合のように面内動き推定に使用する事ができる、適切にサンプリングされたデータのサブセットから低解像度画像を再構築することを可能にする、中心  $k$  空間のオーバーサンプリングを行うラジアル及び / 又はスパイラルサンプリングの特殊な形態にも適用され得る自動ナビゲーションとして知られている。

## 【 0 0 6 8 】

現在、PROPELLERにおける動き補償は、面内の動きの補償に限定されている。面貫通方向の動きは、低解像度画像データ情報を相関させることによって質的に対処する事ができるだけである。これは、潜在的に破損したブレードデータの潜在的識別は可能にするが、不明な定量的動き情報により、それらの実際の補正は不可能である。その結果、面貫通方向の動きは、PROPELLERイメージングが使用された場合でも、依然画像アーチファクトを引き起こし得る。開示されるのは、完全 3 D 剛体動き補正を可能にし、向上した画質をもたらす新しい処理方法である。この概念は、他のサンプリングスキームにも同様に展開する事ができる。

## 【 0 0 6 9 】

この方法の背後にある主なアイデアは、一般的な T F E 又は T S E の M R イメージング実験において、シーケンスの 1 周期 ( = 1 反復間隔 ) 中に幾つかのスライスのデータが取得されるという認識に基づく。

## 【 0 0 7 0 】

1 周期中に収集された全データの集合体は、一種の低解像度 3 D 画像の再構築を可能にする。これは、正に、各ブレード周期の中心データに関して再構築する事ができる低解像度画像をスライス方向にスタックする事ができるPropellerマルチスライスイメージングにおいて可能である。この画像スタックは、この周期中に凍結された動き状態を表すボリュームを形成する。

## 【 0 0 7 1 】

このマルチスライスボリュームは、スライスが複数のスキャンパッケージに亘って分布される場合に、スライス方向に間隙を有し得る。それでも、後続 T R の相関ボリュームが、全 3 D 次元における剛体動きパラメータの決定を可能にする。

## 【 0 0 7 2 】

図 3 は、複数の反復周期に亘って行われるマルチスライス取得を行う際に、磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を補正する方法の一例を示す図を示す。この例は、3 つのパートに分けられる。パート 3 0 0 では、画像は、磁気共鳴データ取得 3 0 0 を表す。次のパート 3 0 2 は、登録 3 0 2 又はマッピングの計算である。最後にステップ 3 0 4 において、スキランジオメトリが、パート 3 0 2 において計算された登録を用いて更新される。セクション 3 0 0 は、マルチスライス取得 3 0 6 を表す。各ブレード 3 0 8 のデータから、低解像度自動ナビゲータ画像 3 1 0 が、低解像度マルチスライスデータセットを形成するスライス毎に再構築される。これは、ステップ 3 0 2 において、データセット 1 4 6 及びデータセット 1 5 2 として表される。それは、第 1 のナビゲータデータ 1 4 6 及び後続ナビゲータデータ 1 5 2 と呼ばれる場合もある。これらのナビゲータデータセットは、 $k$  空間内に存在してもよい、又は中心  $k$  空間領域から再構築された画像でもよい。データセット 1 4 6 からデータセット 1 5 2 へのマッピングが計算される。これは、次にステップ 3 0 4 において、スキランジオメトリを更新するために使用される。

## 【 0 0 7 3 】

この基本的アプローチは、他のセグメント化マルチスライスサンプリングスキームにおける動きの推定にも適用する事ができる。例えば、マルチスライ斯拉ジアルイメージングにおいて、ラジアルイメージングでは中心  $k$  空間がオーバーサンプリングされて、ある周期中にスライス毎にサンプリングされた各インタリーブから低解像度画像を再構築することを可能にするため ( 図示は以下の図 4 を参照 ) 、Propellerで説明された同じアプローチを使用する事ができる。インタリーブスパイラルマルチスライスイメージングに対して、このようなアプローチが考えられる。可変密度のデカルトサンプリングが使用される



場合、この場合もやはり、 $k$ 空間の中心部分を再グリッドする事ができ、及び低解像度画像を再構築する事ができ、上記と同じアプローチが面貫通方向の動きを定量化することを可能にする。

#### 【0074】

図4は、 $k$ 空間と画像との間の関係を示す。ブロック400は、磁気共鳴データの完全データセットを表す。この完全データセット400は、次に、完全磁気共鳴画像402へと再構築する事ができる。ブロック404は、単一のpropellerブレード404を表す。これは、低解像度画像406へと再構築する事ができる。この単一のpropellerブレード404の代替手段として、 $k$ 空間において傾斜角度を有する単一のpropellerブレード408が使用されてもよい。単一のpropellerブレード404に対する別の代替手段として、単一ラジアルインタリーブ410を使用してもよい。単一ラジアルインタリーブ410は、低解像度画像の再構築を促進する事もできる。ブロック412は、コイル感度を画像の不足等の先験的情報と組み合わせた、低解像度フレーム又は画像414の再構築を可能にするデータサブセットである単一デカルトインタリーブを示す。416と表示されたブロックは、被検者の周囲に配置されたコイル素子416の位置を表す。ブロック404、408、及び410において、表示された中心 $k$ 空間領域418が存在する。中心 $k$ 空間領域418は、第1のナビゲータデータ及び後続ナビゲータデータを構築するために使用する事ができる。

#### 【0075】

均一な密度のスパイラルサンプリングが用いられる場合、個々のインタリーブデータは、各インタリーブにおいてより小さいFOVが符号化されるため、ターゲットFOVに関してナイキストの定理に違反し得る。これは、セグメント化デカルトイメージングにも当てはまる。アンダーサンプリングの影響により、それらのデータから正確な完全FOV情報を導き出す事は難しい。この問題を解決する1つの方法は、パラレルイメージングを用いて、コイル感度情報を使用して画像を展開する事である。これは、スライス毎に個々に行われて、上記のような更なる評価に必要とされる3D低解像度ボリュームを形成する事ができる。しかしながら、このアプローチは、 $k$ 空間の中心におけるサンプリング密度が受信コイルジオメトリによってサポートされる最大減少係数以上である場合にのみ、完全にエイリアシングを除去する事ができる。即ち、これは、シーケンスの各インタリーブにおいて収集される必要があるデータ量に関する一定の制限である。

#### 【0076】

別のパラレルイメージングの任意選択肢は、非常に局所的な受信コイルを使用する事、及びそれらの制限された局所FOVにおける局所コイル毎に、2つの連続して取得されたインタリーブを比較する剛体動きパラメータを推定する事である。このようにして、局所コイル毎にも、「高解像度画像」を再構築する事が可能で、これらは、SNR問題に対処するために平滑化され得、及びコイル特定3Dスタックに連結され得る。

#### 【0077】

更なる任意選択肢は、低解像度画像の(反復)再構築における追加の制約として、画像希薄特性(部分空間CSにおける圧縮率、SENSE参照データのような前のデータとの正則化等)を使用する事である。基礎となるアルゴリズムは、対応する低解像度イメージングを可能な限り速く再構築できるように調整される必要がある(図示は図3を参照)。

#### 【0078】

この場合もやはり、これらの画像のスタックは、低解像度3Dボリュームを形成し、及び対応する動きパラメータを推定するために使用する事ができる。このように、提案されたアプローチは、動き推定のために、3次元にスタックされた、アンダーサンプリングされたインタリーブを用いて、インタリーブマルチスライスデカルトイメージングに適用する事もできる。

#### 【0079】

動き情報又はマッピングは、2つの異なる方法で使用されることにより、動きアーチファクトを減少させる事ができる：

1. ) 同スライスの2つの2D低解像度画像の相関は、動き期間の始まり及び終わりの決定を可能にする。この動き検出の時間分解能は、一般的に数百ミリ秒のショット継続時間によって与えられる。検出された動き期間内に収集された全データは、拒否及び再取得されるべきである。

2. ) 2つの3Dボリュームの相関は、3Dの動きの定量化を可能にする。推定された動きパラメータは、再取得を行う又はデータ取得を継続する前にそれぞれ、スキャンジオメトリを補正するために使用されるべきである。動き定量化の時間分解能は、全スライスのデータが必要とされるため、通常数秒である1TRの継続時間によって与えられる。

【0080】

3次元画像又はナビゲータを使用する事の代替手段として、次のスライスグループの取得を補正するために、k空間自体が使用されてマッピングを決定する事もできる。その目的は、画像空間における3D剛体変換のパラメータを推定する事である。どのようにこの変換をk空間に平行移動させるかはよく知られている：画像空間における回転は、k空間においても回転であり、画像空間における平行移動は、k空間において線形位相勾配である。このことから、3Dk空間データから剛体変換を推定する事は簡単であるという結果になる： $r(k)$ 及び $g(k)$ は、それに関して変換が計算されるべき2つのナビゲータのk空間データとする。回転角及び軸 $u$ は、2つのナビゲータの大きさの相関を最大限にすることによって決定する事ができる：

【数1】

$$(\hat{u}, \hat{\alpha}) = \max_{u \in S^2, \alpha \in [-\pi, \pi]} \int d^3k (||r(k)|| - \bar{r})(||g(R_{u,\alpha}(k))|| - \bar{g})$$

式中、

【数2】

$$\bar{r} \text{ 及び } \bar{g}$$

は、大きさの平均値である。

【0081】

平行移動 $t$ 又はマッピングは、例えば、(回転補正された)第2のナビゲータの位相を基準にマッピングする線形位相関数を見つけることによって推定する事ができる。

【数3】

$$\hat{t} = \min_{t \in R^3} \int d^3k ||r(k) - g(R_{\hat{u}, \hat{\alpha}}(k)) \exp(2\pi i t \cdot k)||$$

【0082】

上記の計算は全て、3Dk空間データを必要とする。それらを適用する事ができるためには、3Dk空間データセットは、スライスグループの2Dk空間データセットから構築される必要がある。これは、3つのステップで行われる：

1. ) 2Dk空間データのグループが、2D画像のグループに変換される。
2. ) 2D画像が全て、グループの各スライスの既知の位置に従って、単一の3Dボリュームに一体化される。
3. ) 3Dフーリエ変換を適用することによって、3Dk空間がボリュームから計算される。

【0083】

最後のステップは、グループのスライスが間隙無しに物体全体を覆う場合に、物体の正確な3Dk空間を生じさせる。定義により、k空間は、画像空間のフーリエ変換であるた

め。

【 0 0 8 4 】

グループがより少数のスライスから成る場合、最後のステップは、正確な 3 D k 空間の近似を提供するだけである。正確には、ステップ 3 の結果は、どのスライスがグループに属するかを表現する、サンプリングパターンのフーリエ変換を用いた 3 D k 空間のコンボリューションである。これは、正確な 3 D k 空間の近似にすぎないが、それは、それでもやはり、スライスサンプリングパターンの F T に基づいた動き変換の推定に十分となり得る。例えば、スライスのグループが 1 つおきのスライスから成る場合、サンプリングパターンの F T は、k 空間のサイズの半分によって分離された 2 つの鋭いピークを有する。この関数を用いたコンボリューションは、k 空間中心の周囲で信号分布を歪めない、及び動き変換の良好な推定を依然可能にする。

10

【 0 0 8 5 】

3 D k 空間データの計算の上記の説明から、3 D ボリュームの計算は中間ステップにすぎないため、計算量が画像に基づいた動き推定の場合よりも多いように思われる。

【 0 0 8 6 】

しかしながら、k 空間における計算が、計算時間に対して有利となり得る状況がある：イメージングスライスが矩形スタック（全スライスが平行、同じ大きさ及び等間隔である）を形成する場合、上記の 3 つのステップは、フーリエ変換の分離特性により、大幅に単純化する事ができる。この場合、ステップ 1 における画像再構築は、ステップ 3 の面内 F T によって丁度反転される。即ち、これらの計算を実際に行う必要がない。行われる必要のある唯一の動作は、面内 k 空間点毎のスライス方向における 1 D フーリエ変換である（ステップ 3 の 3 D の F T の第 3 の成分）。

20

【 0 0 8 7 】

イメージングスライスが、この特定のジオメトリにある場合（これは非常によくある事である）、3 D k 空間の計算は、3 D ナビゲータボリュームの計算よりも速く行う事ができる。

【 0 0 8 8 】

図面及び上記の説明において本発明を詳細に図示及び説明したが、そのような図示及び説明は、限定的なものではなく、説明のためのもの又は例示的なものであると見なされるべきものであり、本発明は、開示された実施形態に限定されない。

30

【 0 0 8 9 】

開示された実施形態に対する他の変形形態は、図面、開示内容、及び添付の特許請求の範囲の研究から、請求項に係る発明の実施において、当業者によって理解され得、及びもたらされ得る。クレームにおいて、「含む (comprising)」という用語は、他の要素又はステップを排除しない、及び不定冠詞「1つの (a)」又は「1つの (an)」は、複数を排除しない。単一のプロセッサ又は他のユニットが、クレームに記載された幾つかの項目の機能を果たしてもよい。特定の手段が互いに異なる従属クレームに記載されているという事実だけでは、これらの手段の組み合わせを有利に使用できないことを意味しない。コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に又はその一部として提供される光ストレージ媒体又は半導体媒体等の適切な媒体に保存 / 配布されてもよいが、インターネット又は他の有線若しくは無線通信システムを介して等、他の形態で配布されてもよい。クレームにおける何れの参照符号も範囲を限定するものと解釈されるものではない。

40

【 符号の説明 】

【 0 0 9 0 】

- 1 0 0 磁気共鳴イメージングシステム
- 1 0 4 磁石
- 1 0 6 磁石のボア
- 1 0 8 イメージングゾーン
- 1 1 0 磁場勾配コイル
- 1 1 2 磁場勾配コイル電源

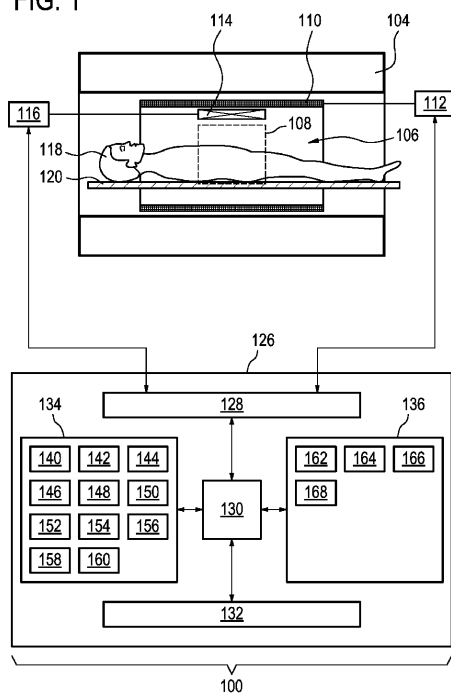
50

1 1 4	無線周波コイル	
1 1 6	送受信器	
1 1 8	被検者	
1 2 0	被検者支持体	
1 2 6	コンピュータシステム	
1 2 8	ハードウェアインタフェース	
1 3 0	プロセッサ	
1 3 2	ユーザインタフェース	
1 3 4	コンピュータストレージ	
1 3 6	コンピュータメモリ	10
1 4 0	パルスシーケンス	
1 4 2	磁気共鳴データの第 1 のスライスグループ	
1 4 4	第 1 の中心 k 空間データ	
1 4 6	第 1 のナビゲータデータ	
1 4 8	磁気共鳴データの後続スライスグループ	
1 5 0	後続中心 k 空間データ	
1 5 2	後続ナビゲータデータ	
1 5 4	マッピング	
1 5 6	スキャンパラメータ調整	
1 5 8	完全磁気共鳴データ	20
1 6 0	磁気共鳴画像	
1 6 2	制御モジュール	
1 6 4	画像再構築モジュール	
1 6 6	画像処理モジュール	
1 6 8	k 空間処理モジュール	
2 0 0	パルスシーケンスを用いて、磁気共鳴データの第 1 のスライスグループを第 1 の反復周期中に取得する	
2 0 2	第 1 の中心 k 空間データを第 1 のスライスグループから抽出する	
2 0 4	第 1 の中心 k 空間データを用いて、第 1 のナビゲータデータを再構築する	
2 0 6	パルスシーケンスを用いて、磁気共鳴データの後続スライスグループを後続の反復周期中に繰り返し取得する	30
2 0 8	後続中心 k 空間データを後続スライスグループから繰り返し抽出する	
2 1 0	後続中心 k 空間データを用いて、後続ナビゲータデータを繰り返し再構築する	
2 1 2	第 1 のナビゲータデータと後続ナビゲータデータとの間の変換を行うことによって、第 1 のナビゲータデータから後続ナビゲータデータへのマッピングを繰り返し決定する	
2 1 4	剛体変換を用いて、磁気共鳴データの次のスライスグループの取得を繰り返し補正する	
3 0 0	磁気共鳴データ取得	
3 0 2	登録又はマッピングの計算	40
3 0 4	スキャンジオメトリの更新	
3 0 6	マルチスライス取得	
3 0 8	最大解像度	
3 1 0	低解像度 (中心 k 空間データ)	
4 0 0	完全 k 空間	
4 0 2	画像	
4 0 4	propeller ブレード	
4 0 6	画像	
4 0 8	propeller ブレード	
4 1 0	単一ラジアルインタリーブ	50

- 4 1 2 単一デカルトインタリーブ  
4 1 4 画像  
4 1 6 コイル素子

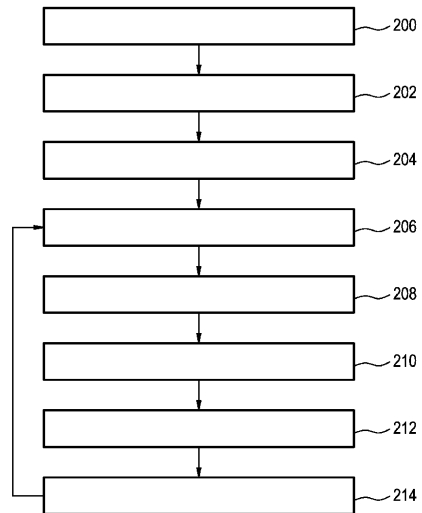
【図 1】

FIG. 1



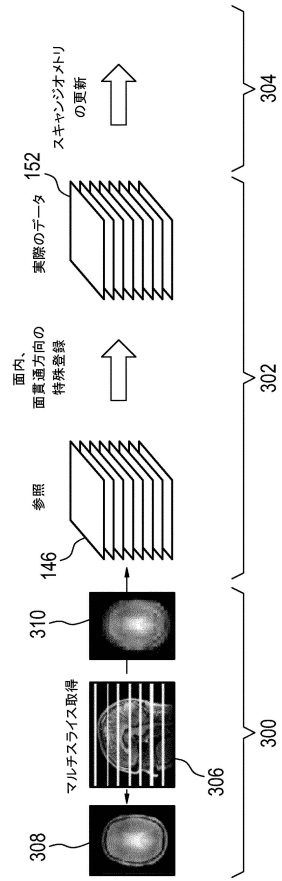
【図 2】

FIG. 2



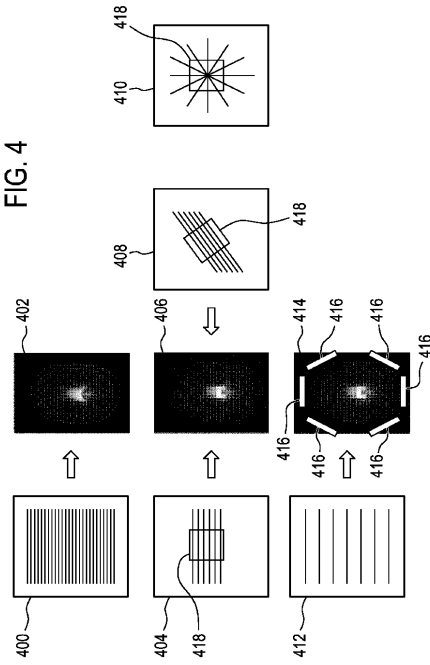
【図 3】

図 3



【図 4】

FIG. 4



## フロントページの続き

- (72)発明者 ニールセン ティム  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5
- (72)発明者 ボルネート ペーター  
オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス 5

審査官 亀澤 智博

- (56)参考文献 国際公開第2013/144791(WO, A1)  
国際公開第2012/043311(WO, A1)  
特開2001-190522(JP, A)  
特開平06-189936(JP, A)  
特開2006-304818(JP, A)  
国際公開第2006/077715(WO, A1)  
米国特許出願公開第2012/0243756(US, A1)  
米国特許出願公開第2013/0187649(US, A1)  
特開2010-042245(JP, A)  
Lan Ge, Aya Kino, Mark Griswold, James C. Carr, Debiao Li, Free-Breathing Myocardial Perfusion MRI Using SW-CG-HYPR and Motion Correction, Magnetic Resonance in Medicine, 2010年 6月17日, 64, 1148-1154

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
A61B 5/055