

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5419476号
(P5419476)

(45) 発行日 平成26年2月19日 (2014. 2. 19)

(24) 登録日 平成25年11月29日 (2013. 11. 29)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

G O 1 R 33/36 (2006.01)

G O 1 R 33/48 (2006.01)

A 6 1 B 5/05 3 5 1

A 6 1 B 5/05 3 7 0

G O 1 N 24/04 5 3 O Y

G O 1 N 24/08 5 2 O Y

請求項の数 15 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-5952 (P2009-5952)
 (22) 出願日 平成21年1月14日 (2009. 1. 14)
 (65) 公開番号 特開2009-165834 (P2009-165834A)
 (43) 公開日 平成21年7月30日 (2009. 7. 30)
 審査請求日 平成23年11月11日 (2011. 11. 11)
 (31) 優先権主張番号 102008004256.0
 (32) 優先日 平成20年1月14日 (2008. 1. 14)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(73) 特許権者 390039413
 シーメンス アクチエンゲゼルシャフト
 Siemens Aktiengesellschaft
 ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュンヘン
 ヴィッテルスバッハープラッツ 2
 Wittelsbacherplatz
 2, D-80333 Muenchen,
 Germany
 (74) 代理人 100061815
 弁理士 矢野 敏雄
 (74) 代理人 100099483
 弁理士 久野 琢也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気共鳴装置、及び、当該磁気共鳴装置の送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステム用の制御方法、及び、当該磁気共鳴装置の送信アレイのコイル及びグラジエントマグネット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気共鳴装置の送信アレイ (4) のコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) 用の制御方法において、

磁気共鳴装置の制御装置 (7) により、送信アレイ (4) の全てのコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) を、各々の励起パルス (P') に応じて制御し、

前記送信アレイ (4) の前記コイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) の制御に基づいて、各々の前記励起パルス (P') に応じて、前記磁気共鳴装置の励起容積部 (2) 内に、不均一性の第 1 の実際値 (I2) を有する磁場を形成し、

前記制御装置 (7) により、各々の前記励起パルス (P') を、各々のスタートパルス (P) 及び前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内の不均一性の最大許容値 (I*) を用いて求め、

前記各々のスタートパルス (P) は、全時間期間 (T') を有しており、前記制御装置 (7) により、前記送信アレイ (4) のコイル (6) 及び前記グラジエントマグネットシステム (3) が、各々の前記スタートパルス (P) に応じて制御される場合に、前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内に、前記不均一性の最大許容値 (I*) よりも小さな不均一性の第 2 の実際値 (I1) を有する磁場を形成し、

前記制御装置 (7) により、全スタートパルス (P) に対して、統一的に、中間位置 (Z) を求め、前記中間位置 (Z) を求めることにより、前記スタートパルス (P) を、各々の第 1 のパルス部分 (P1) 及び該第 1 のパルス部分に対して相補的な各々の第 2 のパ

10

20

ルス部分 (P 2) に分割し、

各々の前記第 1 のパルス部分 (P 1) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の低エネルギー部分に対応させ、及び、各々の前記第 2 のパルス部分 (P 2) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の高エネルギー部分に対応させ、

前記制御装置 (7) により、前記第 2 のパルス部分 (P 2) を、統一的に、時間的に伸張し、当該伸張に対応して前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P 2) の振幅 (A) を圧縮し、

各々の、時間的に伸張し、且つ、前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P 2) に関しては前記振幅 (A) を圧縮した前記第 2 のパルス部分 (P 2) を、各々の前記励起パルス (P ') に対応させ、

前記制御装置 (7) により、前記不均一性の第 1 の実際値 (I 2) が、前記不均一性の最大許容値 (I *) よりも小さくなるように前記中間位置 (Z) を決めることを特徴とする制御方法。

【請求項 2】

制御装置 (7) により、各々の第 2 のパルス部分 (P 2) を時間的に非直線状に伸張する請求項 1 記載の制御方法。

【請求項 3】

制御装置 (7) により、各々の第 2 のパルス部分 (P 2) を、各々の第 2 のパルス部分 (P 2) のエネルギーが大きければ大きい程、局所的に時間的に強く伸張する請求項 2 記載の制御方法。

【請求項 4】

制御装置 (7) により、各々の第 2 のパルス部分 (P 2) を時間的に全時間期間 (T ') で伸張する請求項 1 ~ 3 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 5】

スタートパルス (P) の全体を、周波数空間内で、2 次元又は 3 次元の螺旋軌道 (スパイラルトラジェクトリー) と一致させる請求項 1 から 4 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 6】

螺旋軌道 (スパイラルトラジェクトリー) を周波数空間内で外側から内側に形成する請求項 5 記載の制御方法。

【請求項 7】

スタートパルス (P) の各々第 1 のパルス部分 (P 1) を、時間的に、前記スタートパルス (P) の各々第 2 のパルス部分 (P 2) の前にする請求項 1 から 6 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 8】

不均一性の最大許容値 (I *) を制御装置 (7) に設定する請求項 1 から 7 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 9】

不均一性の最大許容値 (I *) を 5 % より大きくする請求項 1 から 8 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 10】

第 2 の不均一値 (I 1) を 0 . 5 % の下側にする請求項 1 から 9 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 11】

不均一性の最大許容値 (I *) と第 2 の不均一値 (I 1) との比を 10 : 1 とする請求項 1 から 10 迄の何れか 1 記載の制御方法。

【請求項 12】

磁気共鳴装置の送信アレイ (4) のコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) を制御するために、

磁気共鳴装置の制御装置 (7) のコンピュータに、

送信アレイ (4) の全てのコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) を

10

20

30

40

50

、各々の励起パルス (P') に応じて制御するステップと、

前記送信アレイ (4) の前記コイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) の制御に基づいて、各々の前記励起パルス (P') に応じて、前記磁気共鳴装置の励起容積部 (2) 内に、不均一性の第 1 の実際値 (I_2) を有する磁場を形成するステップと、

各々の前記励起パルス (P') を、各々のスタートパルス (P) 及び前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内の不均一性の最大許容値 (I^*) を用いて求めるステップと、

前記各々のスタートパルス (P) は、全時間期間 (T') を有しており、前記送信アレイ (4) のコイル (6) 及び前記グラジエントマグネットシステム (3) が、各々の前記スタートパルス (P) に応じて制御される場合に、前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内に、前記不均一性の最大許容値 (I^*) よりも小さな不均一性の第 2 の実際値 (I_1) を有する磁場を形成するステップと、

10

全スタートパルス (P) に対して、統一的に、中間位置 (Z) を求め、前記中間位置 (Z) を求めることにより、前記スタートパルス (P) を、各々の第 1 のパルス部分 (P_1) 及び該第 1 のパルス部分に対して相補的な各々の第 2 のパルス部分 (P_2) に分割するステップと、

各々の前記第 1 のパルス部分 (P_1) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の低エネルギー部分に対応させ、及び、各々の前記第 2 のパルス部分 (P_2) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の高エネルギー部分に対応させるステップと、

前記第 2 のパルス (P_2) を、統一的に、時間的に伸張し、当該伸張に対応して前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P_2) の振幅 (A) を圧縮するステップと、

20

各々の、時間的に伸張し、且つ、前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P_2) に関しては圧縮した前記第 2 のパルス部分 (P_2) を、各々の前記励起パルス (P') に対応させるステップと、

前記不均一性の第 1 の実際値 (I_2) が、前記不均一性の最大許容値 (I^*) よりも小さくなるように前記中間位置 (Z) を決めるステップと
を実行させる

コンピュータプログラム。

【請求項 13】

磁気共鳴装置の送信アレイ (4) のコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) を制御するために、

30

磁気共鳴装置の制御装置 (7) のコンピュータに、

送信アレイ (4) の全てのコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) を、各々の励起パルス (P') に応じて制御するステップと、

前記送信アレイ (4) の前記コイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) の制御に基づいて、各々の前記励起パルス (P') に応じて、前記磁気共鳴装置の励起容積部 (2) 内に、不均一性の第 1 の実際値 (I_2) を有する磁場を形成するステップと、

各々の前記励起パルス (P') を、各々のスタートパルス (P) 及び前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内の不均一性の最大許容値 (I^*) を用いて求めるステップと、

前記各々のスタートパルス (P) は、全時間期間 (T') を有しており、前記送信アレイ (4) のコイル (6) 及び前記グラジエントマグネットシステム (3) が、各々の前記スタートパルス (P) に応じて制御される場合に、前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内に、前記不均一性の最大許容値 (I^*) よりも小さな不均一性の第 2 の実際値 (I_1) を有する磁場を形成するステップと、

40

全スタートパルス (P) に対して、統一的に、中間位置 (Z) を求め、前記中間位置 (Z) を求めることにより、前記スタートパルス (P) を、各々の第 1 のパルス部分 (P_1) 及び該第 1 のパルス部分に対して相補的な各々の第 2 のパルス部分 (P_2) に分割するステップと、

各々の前記第 1 のパルス部分 (P_1) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の低エネルギー部分に対応させ、及び、各々の前記第 2 のパルス部分 (P_2) を、各々の前記ス

50

タートパルス (P) の各々の高エネルギー部分に対応させるステップと、

前記第 2 のパルス (P 2) を、統一的に、時間的に伸張し、当該伸張に対応して前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P 2) の振幅 (A) を圧縮するステップと、

各々の、時間的に伸張し、且つ、前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P 2) に関しては前記振幅 (A) を圧縮した前記第 2 のパルス部分 (P 2) を、
各々の前記励起パルス (P ') に対応させるステップと、

前記不均一性の第 1 の実際値 (I 2) が、前記不均一性の最大許容値 (I *) よりも小さくなるように前記中間位置 (Z) を決めるステップと
を実行させる

コンピュータプログラムを記憶したデータ担体。

【請求項 1 4】

制御装置は、自身のコンピュータに、

送信アレイ (4) の全てのコイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) を、
各々の励起パルス (P ') に応じて制御するステップと、

前記送信アレイ (4) の前記コイル (6) 及びグラジエントマグネットシステム (3) の制御に基づいて、各々の前記励起パルス (P ') に応じて、前記磁気共鳴装置の励起容積部 (2) 内に、不均一性の第 1 の実際値 (I 2) を有する磁場を形成するステップと、

各々の前記励起パルス (P ') を、各々のスタートパルス (P) 及び前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内の不均一性の最大許容値 (I *) を用いて求めるステップと、

前記各々のスタートパルス (P) は、全時間期間 (T ') を有しており、前記送信アレイ (4) のコイル (6) 及び前記グラジエントマグネットシステム (3) が、各々の前記スタートパルス (P) に応じて制御される場合に、前記磁気共鳴装置の前記励起容積部 (2) 内に、前記不均一性の最大許容値 (I *) よりも小さな不均一性の第 2 の実際値 (I 1) を有する磁場を形成するステップと、

全スタートパルス (P) に対して、統一的に、中間位置 (Z) を求め、前記中間位置 (Z) を求めることにより、前記スタートパルス (P) を、各々の第 1 のパルス部分 (P 1) 及び該第 1 のパルス部分に対して相補的な各々の第 2 のパルス部分 (P 2) に分割するステップと、

各々の前記第 1 のパルス部分 (P 1) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の低エネルギー部分に対応させ、及び、各々の前記第 2 のパルス部分 (P 2) を、各々の前記スタートパルス (P) の各々の高エネルギー部分に対応させるステップと、

前記第 2 のパルス (P 2) を、統一的に、時間的に伸張し、当該伸張に対応して前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P 2) の振幅 (A) を圧縮するステップと、

各々の、時間的に伸張し、且つ、前記コイル (6) について求められた前記第 2 のパルス部分 (P 2) に関しては前記振幅 (A) を圧縮した前記第 2 のパルス部分 (P 2) を、
各々の前記励起パルス (P ') に対応させるステップと、

前記不均一性の第 1 の実際値 (I 2) が、前記不均一性の最大許容値 (I *) よりも小さくなるように前記中間位置 (Z) を決めるステップと
を実行させる

コンピュータプログラム (9) を記憶したメモリ装置 (8) を有しており、

前記制御装置の作動中、前記コンピュータプログラム (9) は、前記メモリ装置 (8) から読出可能であり、前記制御装置によって実行可能であることを特徴とする磁気共鳴装置の制御装置。

【請求項 1 5】

磁気共鳴装置において、

磁気共鳴装置は、基底マグネット (1)、グラジエントマグネットシステム (3)、多数の送信コイル (6) を備えた送信アレイ (4) 及び制御装置 (7) を有しており、

前記制御装置 (7) は、自身のコンピュータに、

10

20

30

40

50

前記送信アレイ(4)の全ての送信コイル(6)及び前記グラジエントマグネットシステム(3)を、各々の励起パルス(P')に応じて制御するステップと、

前記送信アレイ(4)の前記コイル(6)及びグラジエントマグネットシステム(3)の制御に基づいて、各々の前記励起パルス(P')に応じて、前記磁気共鳴装置の励起容積部(2)内に、不均一性の第1の実値(I2)を有する磁場を形成するステップと、

各々の前記励起パルス(P')を、各々のスタートパルス(P)及び前記磁気共鳴装置の前記励起容積部(2)内の不均一性の最大許容値(I*)を用いて求めるステップと、

前記各々のスタートパルス(P)は、全時間期間(T')を有しており、前記送信アレイ(4)のコイル(6)及び前記グラジエントマグネットシステム(3)が、各々の前記スタートパルス(P)に応じて制御される場合に、前記磁気共鳴装置の前記励起容積部(2)内に、前記不均一性の最大許容値(I*)よりも小さな不均一性の第2の実値(I1)を有する磁場を形成するステップと、

全スタートパルス(P)に対して、統一的に、中間位置(Z)を求め、前記中間位置(Z)を求めることにより、前記スタートパルス(P)を、各々の第1のパルス部分(P1)及び該第1のパルス部分に対して相補的な各々の第2のパルス部分(P2)に分割するステップと、

各々の前記第1のパルス部分(P1)を、各々の前記スタートパルス(P)の各々の低エネルギー部分に対応させ、及び、各々の前記第2のパルス部分(P2)を、各々の前記スタートパルス(P)の各々の高エネルギー部分に対応させるステップと、

前記第2のパルス(P2)を、統一的に、時間的に伸張し、当該伸張に対応して前記コイル(6)について求められた前記第2のパルス部分(P2)の振幅(A)を圧縮するステップと、

各々の、時間的に伸張し、且つ、前記コイル(6)について求められた前記第2のパルス部分(P2)に関しては前記振幅(A)を圧縮した前記第2のパルス部分(P2)を、各々の前記励起パルス(P')に対応させるステップと、

前記不均一性の第1の実値(I2)が、前記不均一性の最大許容値(I*)よりも小さくなるように前記中間位置(Z)を決めるステップと
を実行させる

コンピュータプログラム(9)を記憶したメモリ装置(8)を有しており、

前記制御装置の作動中、前記コンピュータプログラム(9)は、前記メモリ装置(8)から読出可能であり、前記制御装置によって実行可能であることを特徴とする磁気共鳴装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気共鳴装置の送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステム用の制御方法、磁気共鳴装置の送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステム用の制御方法、コイルアレイのSAR最適化制御用の制御方法に関する。

- その際、磁気共鳴装置の制御装置は、送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステムを、各々の励起コイルに応じて制御する。

- 送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステムの制御に基づいて、各々の励起パルスに応じて、磁気共鳴装置の励起容積部内に、不均一性の第1の実値を有する磁場が形成される。

【0002】

本発明は、更に、磁気共鳴装置の制御装置によって直接実行可能であり、且つ、該実行を、制御装置によって、当該制御装置がそのような制御方法を実行するようにした機械コードを有するコンピュータプログラムに関する。また、本発明は、データ担体上に記憶された、そのようなコンピュータプログラムを有するデータ担体にも関する。

【0003】

更に、本発明は、磁気共鳴装置の制御装置に関しており、その際、制御装置は、そのよ

10

20

30

40

50

うなコンピュータプログラムが記憶されているメモリを有しており、その際、制御装置の作動中、コンピュータプログラムは、メモリから呼出可能であり、制御装置によって実行可能である。

【 0 0 0 4 】

最後に、本発明は、磁気共鳴装置に関し、

- その際、磁気共鳴装置は、基底マグネット、グラジエントマグネットシステム、多数の送信コイルを備えた送信アレイ及び制御装置を有しており、
- 送信コイルは、制御装置によって制御可能であり、該制御により、送信コイルを用いて、磁気共鳴装置の励起容積部内に磁場が形成され、
- 制御装置は、上述のように構成されている。

10

【背景技術】

【 0 0 0 5 】

そのような対象は周知である。

【 0 0 0 6 】

約 3 T より大きな基底磁場強度を有する磁気共鳴装置では、患者の体内に著しく大きな渦電流が誘起される。その結果、被検対象の全体をカバーするようなコイル (Ganzkoerper spule) の本来均一な磁場分布は、患者の体内で多少不均一となる。個別の場合、この不均一度により、所定の体領域内の高い信頼度の画像形成の際に問題が生じることがある。

【 0 0 0 7 】

20

通常の磁気共鳴装置では、達成可能な磁場分布は、アンテナの制御によって固定して設定されている。

【 0 0 0 8 】

所望の均一磁化 (= スピンの偏向) は、所謂 2 D 又は 3 D 励起パルスによって行うことができ、その際、高周波パルス形式及びグラジエントパルス形式が同時に変調される。変調は、各患者での高周波磁場分布の検知から求める必要がある。この方法は、実際に用いられている。しかし、非常に長い送信パルス (例えば、 1 0 m s より大きな) が生じる。

【 0 0 0 9 】

多チャンネル送信システムを使用することによって、受信時の他チャンネルシステムを用いる場合と同様に、送信時に周波数空間をサブサンプリングすることができる。この場合、エラーのある情報が、各コイルの種々異なる磁場プロファイルから得られることがある。このやり方は、当業者には、コンセプト「 T X - S E N S E 」として知られている。

30

【 0 0 1 0 】

従来知られていた 2 D 又は 3 D 励起パルスを、「加速」することができる。それにより、励起パルスの期間を、例えば、 1 m s ~ 4 m s に短縮することができ、その結果、この励起パルスでの問題は、 S A R (= specific absorption rate : 単位質量の組織に単位時間に吸収されるエネルギー量) 及び所要送信電力が、加速しない T X - S E N S E パルス用の通常の 1 チャンネルの送信システムに較べて数倍高く (典型的には、約 2 0 ~ 3 0 の係数である) 、更に、 S A R 及び所要電力が、そのようなパルスのために、ほぼ加速度の 2 乗で上昇する点にある。

40

【 0 0 1 1 】

例えば、 I S M R M 2 0 0 7 、 6 7 3 ~ 6 7 4 ページに公表されている専門論文から、 S A R を低減することができる第 1 の手掛かりが知られている。しかし、 S A R は、常にまだ明らかに、 1 チャンネル (モノラル) の解決手段の S A R 以上である。

【 0 0 1 2 】

更に、関連している従来技術は、例えば、刊行物 "An Image Domain Approach for the Design of RF Pulses in Transmit SENSE"、W. A. Grissom 他著、International Society of Magnetic Resonance in Medicine 13 (2005)、 1 9 ページ、専門論文 "Parallel Excitation with an Array of Transmit Coils"、Yudong Zhu 著、Magnetic Resonance in Med

50

icince, Band 51 (2004)、775～784ページ、専門論文"Parallel Excitation: Making SENSE of High-Field Body MRI"、Yudong Zhu 著、及び、US 2005/134267 A1に公開されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0013】

【特許文献1】US 2005/134267 A1

【非特許文献】

【0014】

【非特許文献1】ISMRM 2007、673～674ページ

10

【非特許文献2】刊行物"An Image Domain Approach for the Design of RF Pulses in Transmit SENSE"、W. A. Grissom他著、International Society of Magnetic Resonance in Medicine 13 (2005)、19ページ

【非特許文献3】専門論文"Parallel Excitation with an Array of Transmit Coils"、Yudong Zhu著、Magnetic Resonance in Medicine, Band 51 (2004)、775～784ページ

【非特許文献4】専門論文"Parallel Excitation: Making SENSE of High-Field Body MRI"、Yudong Zhu 著

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

20

【0015】

本発明の課題は、SARを明らかに低減することができ、且つ、それにも拘わらず、良好な画像の質を達成することができる、磁気共鳴装置の送信アレイの各コイル用の制御方法、並びに、これと対応する対象（コンピュータプログラム、データ担体、制御装置及び磁気共鳴装置）を提供することにある。

【0016】

これに対応して、本発明の課題は、装置技術により相応のコンピュータプログラムによって、制御装置によって当該コンピュータプログラムを実行することによって、そのような制御方法が実施されるようにして解決される。データ担体上に、そのようなコンピュータプログラムが記憶されている。

30

【課題を解決するための手段】

【0017】

この課題は、請求項1記載の各要件を有する磁気共鳴装置の送信アレイの各コイル用の制御方法によって解決される。

【0018】

つまり、磁気共鳴装置の制御装置により、送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステムを、各々の励起コイルに応じて制御し、送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステムの制御に基づいて、各々の励起パルスに応じて、磁気共鳴装置の励起容積部内に、不均一性の第1の実値を有する磁場を形成し、制御装置により、各々の励起パルスを、各々のスタートパルス及び磁気共鳴装置の励起容積部内の不均一性の最大許容値を用いて求め、各々のスタートパルスは、全時間期間を有しており、制御装置により、送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステムを、各々のスタートパルスに応じて制御し、磁気共鳴装置の励起容積部内に、不均一性の最大許容値よりも小さな不均一性の第2の実値を有する磁場を形成し、制御装置により、各々のスタートパルスの中間位置を求め、中間位置を求めることにより、各々のスタートパルスを、各々の第1のパルス部分及び該第1のパルス部分に対して相補的な各々の第2のパルス部分に分割し、各々の第1のパルス部分を、各々のスタートパルスの各々の低エネルギー部分に対応させ、及び、各々の第2のパルス部分を、各々のスタートパルスの各々の高エネルギー部分に対応させ、制御装置により、各々の第2のパルス部分を、時間的に伸張し、当該伸張に対応して振幅を圧縮し、各々の時間的に伸張し、且つ、振幅を圧縮した第2のパルス部分を、各

40

50

々の励起パルスに対応させ、制御装置により、不均一性の第1の実値が、不均一性の最大許容値よりもかろうじて小さいように中間位置を決めることにより解決される。

【0019】

本発明によると、制御装置は、各々のスタートパルスと、磁気共鳴装置の励起容積部内の不均一性の最大許容値を用いて、各々の励起パルスを求めるように構成されている。各々のスタートパルスは、全時間期間を有している。制御装置が、送信アレイ及びグラジエントマグネットシステムの各コイルを、各々のスタートパルスに相応して制御する場合、磁気共鳴装置の励起容積部内に磁場が形成され、この磁場は、不均一性の最大許容値よりも小さな不均一性の第2の実値を有している。制御装置は、各々のスタートパルスの中間位置を求め、中間位置を求めることにより、各々のスタートパルスを、各々の第1のパルス部分及び該第1のパルス部分に対して相補的な各々の第2のパルス部分に分割する。各々の第1のパルス部分は、各々のスタートパルスの各々の低エネルギー部分に対応し、各々の第2のパルス部分は、各々のスタートパルスの各々の高エネルギー部分に対応している。制御装置は、各々の第2のパルス部分を時間的に伸張し、これと対応して、各々の第2のパルス部分の振幅を圧縮する。時間的に伸張され、且つ、振幅を圧縮される各々の第2のパルス部分は、各々の励起パルスに対応する。制御装置は、不均一性の第1の値が不均一性の最大許容値よりもかろうじて未だ小さいように中間位置を特定する。

10

【0020】

制御装置には、当該制御装置のメモリ内に、そのようなコンピュータプログラムが記憶される。磁気共鳴装置は、そのような制御装置を有している。

20

【発明の効果】

【0021】

本発明のやり方によると、慣用の解決手段と較べると、達成可能な磁化均一度を明らかに改善することができる。それにも拘わらず、比較的短い励起パルス P' を形成することができる。必要なピーク最終電力及びこれに対応したSAR (specific absorption rate) の大きさを示す数値)は、励起容積部2内に同時に均一な磁化を印加した際の相応の値が、通常の励起の際に達成可能な値の近傍内で生じる限りで低減される。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】磁気共鳴装置の構成の略図

30

【図2】送信アレイのコイルの略図

【図3】フローチャート

【図4】送信アレイのコイル用のスタートパルスの振幅経過の例を示す図

【図5】図4のスタートパルスと協働するための各グラジエントコイルの制御信号を示す図

【図6】図4のスタートパルスと協働するための各グラジエントコイルの制御信号を示す図

【図7】図4のスタートパルスと協働するための各グラジエントコイルの制御信号を示す図

【図8】図4に示したコイルと同じコイル用の第2のパルス部分の振幅経過の例を示す図

40

【図9】図8の第2のパルス部分と協働するための各グラジエントコイルの各制御信号を示す図

【図10】図8の第2のパルス部分と協働するための各グラジエントコイルの各制御信号を示す図

【図11】図8の第2のパルス部分と協働するための各グラジエントコイルの各制御信号を示す図

【図12】時間変換の例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0023】

そのような第2のパルス部分を、時間的に統一して伸張し、これに対応して統一して振

50

幅を圧縮することができる。しかし、有利には、制御装置は、各々の第2のパルス部分を時間的に非直線的に伸張するとよい。それにより、SARを更に低減することができる。この際、制御装置は、各々の第2のパルス部分のエネルギーが局所的に高くなればなる程、各々の第2のパルス部分を、時間的に一層強く伸張する。このやり方により、SARを特に強く低減することができる。

【0024】

時間的伸張の程度は、必要に応じて特定することができる。目下のところ、有利には、制御装置は、各々の第2のパルス部分を全時間期間で伸張するとよい。

【0025】

スタートパルスの全体は、例えば、周波数空間内で2次元又は3次元の螺旋軌道（スパイラルトラジェクトリー）に対応するとよい。有利には、この際、螺旋軌道（スパイラルトラジェクトリー）を周波数空間内で外側から内側に形成するとよい。

10

【0026】

一般的に、各々のスタートパルスの各々の第1のパルス部分は、各々のスタートパルスの各々の第2のパルス部分の時間的に前に位置している。しかし、例外的に逆でもよい。

【0027】

不均一性の最大許容値を固定して設けるとよい。しかし、有利には、不均一性の最大許容値は、制御装置に設定される。

【0028】

不均一性の最大許容値は、5%よりも大きくするとよい。特に、不均一性の最大許容値は、5%～10%にするとよい。

20

【0029】

第2の不均一値は、有利には、0.5%より下、殊に約0.25%である。

【0030】

不均一性の最大許容値と第2の不均一値との比は、比較的大きくするとよい。特に、不均一性の最大許容値と第2の不均一値との比を、10:1にするとよい。

【実施例】

【0031】

本発明の他の効果および詳細について、以下、図示の実施例を用いて説明する。

【0032】

30

本発明の原理を説明する際に：

図1は、磁気共鳴装置の構成を略示し、

図2は、送信アレイのコイルを略示し、

図3はフローチャートを示し、

図4は、送信アレイのコイル用のスタートパルスの振幅経過の例を示し、

図5～7は、図4のスタートパルスと協働するための各グラジエントコイルの制御信号を様々示し、

図8は、図4に示したコイルと同じコイル用の第2のパルス部分の振幅経過の例を示し、

図9～11は、図8の第2のパルス部分と協働するための各グラジエントコイルの各制御信号を様々示し、

40

図12は、時間変換の例を示す。

【0033】

図1によると、磁気共鳴装置は、基底マグネット1を有している。基底マグネット1を用いて、励起容積部2内に時間的に静的で、位置的に均一な基底磁場が形成される。

【0034】

磁気共鳴装置は、更に、グラジエントマグネットシステム3を有している。グラジエントマグネットシステム3を用いて、励起容積部2内に、直交座標系の2つの軸方向にグラジエント磁場が形成可能である。

【0035】

50

更に、磁気共鳴装置は、高周波システム 4 を有している。高周波システム 4 を用いて、励起容積部 2 に、位置的にほぼ均一な高周波励起フィールド（高周波フィールド）を印加することができ、その結果、励起容積部 2 内に設けられた被検対象 5（人間 5 であることが屢々である）が磁気共鳴するように励起される。

【 0 0 3 6 】

高周波システム 4 は、被検対象の全体をカバーするようなコイル（Ganzkoerperspule）つまり全体コイルとして構成するとよい。しかし、本発明の範囲内で、高周波システム 4 は、図 2 のように、多数の送信コイル 6 を有する送信アレイとして構成されている。送信コイル 6 は、各個別に（einzeln）（＝個々に（＝individuell））制御可能である。

【 0 0 3 7 】

磁気共鳴装置は、更に、制御装置 7 を有している。制御装置 7 は、グラジエントマグネットシステム 3 及び高周波システム 4 の各送信コイル 6 を制御する。

【 0 0 3 8 】

一般に、制御装置 7 は、ソフトウェアプログラミング可能な制御部として構成されている。制御装置 7 は、従って、コンピュータプログラム 9 が記憶されているメモリ装置 8 を有している。コンピュータプログラム 9 は、この場合、予め制御装置 7 の製造時にメモリ装置 8 内に記憶しておくといよい。択一的に、コンピュータプログラム 9 を、図 1 に図示していないコンピュータとの接続（例えば、インターネットへのコネクション）を介してメモリ装置 8 内に記憶することができる。コンピュータプログラム 9 をデータ担体 10 上に記憶し、このデータ担体 10 を相応のインターフェースを介して制御装置 7 に接続し、その結果、コンピュータプログラム 9 をデータ担体 10 から読み出し、且つ、メモリ装置 8 内に記憶することができる、更に別の手段がある。単に例として、データ担体 10 は、ここでは、図 1 に CD-ROM として図示されている。データ担体 10 は、しかし、別の構成、例えば、USB メモリスティック又はメモリカードとして構成してもよい。

【 0 0 3 9 】

コンピュータプログラム 9 は、メモリ装置 8 内に、場合によっては、データ担体 10 上にも、電子的な、専ら機械読み出し可能なフォームで記憶されている。コンピュータプログラム 9 は、制御装置 7 によって直接実行可能である機械コード 11 を有している。コンピュータプログラム 9 は、制御装置 7 の作動中、メモリ装置 8 から呼び出され、制御装置 7 によって実行される。コンピュータプログラム 9 の、制御装置 7 による実行は、制御装置 7 が、図 3 を用いて以下詳細に説明する制御方法を実行するようにして行われる。予め、ここでは、制御装置 7 による制御方法の実行に基づいて、少なくとも送信コイル 6 が制御される点を指摘しておく。多くの場合、付加的にグラジエントマグネットシステム 3 が制御される。

【 0 0 4 0 】

図 3 によると、制御装置 7 は、ステップ S 1 で、先ず、所望の検査タイプ T を受け取る。

【 0 0 4 1 】

更に、制御装置 7 は、ステップ S 2 で、不均一性の最大許容値 I^* を受け取る。

【 0 0 4 2 】

不均一性の最大許容値 I^* は、この際、例えば、式

$$I^* = (A_{\max} - A_{\min}) / A_{\min} \quad (1)$$

によって定義される。

【 0 0 4 3 】

A_{\max} 及び A_{\min} は、この際、励起容積部 2 に励起パルス P' を印加した際に、全パルス期間後任意の時点で生起する励起容積部 2 内の磁場の最大乃至最小振幅 A である。択一的に、不均一性の最大許容値 I^* を、同値の形式で、例えば、磁場の平均値によって除算された磁場の標準偏差によって定義してもよい。

【 0 0 4 4 】

ステップ S 2 は、任意でしかなく、従って、図 3 には、破線で示されている。択一的に

、不均一性の最大許容値 I^* の明示的な設定のために、不均一性の最大許容値 I^* を制御装置 7 に固定して設定してもよく、又は、制御装置 7 によって、（ステップ S 1 で設定した検査タイプ T の）別の周辺条件に基づいて自動的に求めてもよい。しかし、不均一性の最大許容値 I^* の特定の形式とは無関係に、不均一性の最大許容値 I^* の値は、一般に、5 % ~ 10 % である。殊に、不均一性の最大許容値 I^* の値は、従って、5 % よりも大きくするとよい。

【0045】

ステップ S 3 では、制御装置 7 は、各送信コイル 6 の各々に対して、各々 1 つのスタートパルス P 並びにグラジエントマグネットシステム 3 用の適切な制御を求める。この際、スタートパルス P 及び制御は、所望の検査タイプ T を用いて求められる。スタートパルス P は、磁場の振幅及び位相と一緒に位置及び時間で定義する。図 4 ~ 図 7 は、

- 各送信コイル 6 の 1 つのスタートパルス P の、時間 t の関数としての振幅 A （図 4）、
- x 及び y グラジエント磁場の、時間 t の関数としての経過（図 5 及び図 6）、並びに、
- それによって得られるスタートパルス P の、周波数空間内でのグラジエントの軌道乃至トラジェクトリー（Gradiententrajektorie）を示す。

【0046】

高周波パルス P の位相関係については一緒に図示されていない。高周波パルス P の位相関係は、同様にステップ S 3 で求められる。相応のやり方は、当業者には周知である。

【0047】

図 4 ~ 7 からは、殊に、スタートパルス P の全体が、周波数空間内でのグラジエントマグネットシステム 3 の制御により、2 次元又は 3 次元の螺旋軌道（スパイラルトラジェクトリー）に相応することが分かる。グラジエント場の時間経過に基づいて、この際、螺旋軌道（スパイラルトラジェクトリー）は、周波数空間内で外側から内側に向かって経過する。スタートパルス P の全時間期間 T' は、ミリ秒領域内、図 4 ~ 6 によると、例えば、2 . 8 ms である。

【0048】

スタートパルス P 及び制御を用いて、送信コイル 6 及びグラジエントマグネットシステム 3 用の直接相応する制御信号 S 、 S' を求めることができ、その結果、制御装置 7 は、送信コイル 6 及びグラジエントマグネットシステム 3 を、各々のスタートパルス P に相応して制御する。このやり方によると、励起容積部 2 内に生じる磁場は、比較的小さな不均一性の実際値 I_1 を有する。この小さな不均一性の実際値 I_1 は、不均一性の最大許容値 I^* よりも小さい。殊に、不均一性の最大許容値 I^* と、小さな不均一性の実際値 I_1 との比は、一般的に、10 : 1 より大きな値である。例えば、小さな不均一性の実際値 I_1 は、0 . 5 % より小さく、例えば、約 0 . 25 % にすることができる。

【0049】

しかし、本発明の範囲内では、制御信号 S 、 S' は、スタートパルス P を用いて求められる。その代わり、制御装置 7 は、ステップ S 4 で、各々のスタートパルス P の中間位置 Z を求める。この際、中間位置 Z は、全てのスタートパルス P にとって統一的である。このやり方により、制御装置 7 は、ステップ S 5 で、各々のスタートパルス P を第 1 のパルス部分 P 1 及び第 2 のパルス部分 P 2 に分割し、即ち、中間位置 Z の時間的に前に位置している第 1 のパルス部分 P 1 及び中間位置 Z の時間的に後に位置している第 2 のパルス部分 P 2 に分割する。図 4 ~ 7 によると、中間位置 Z は、例えば、値 2 . 5 ms のところである。この位置は、しかし、単に例示したに過ぎない。同様のやり方は、グラジエントマグネットシステム 3 の制御用に適している。

【0050】

図 4 から分かるように、第 1 のパルス部分 P 1 は、各々のスタートパルス P の低エネルギー部分に対応しており、第 2 のパルス部分 P 2 は、各々のスタートパルス P の高エネルギー部分に対応している。更に、各々のスタートパルス P の第 1 のパルス部分 P 1 は、各々のスタートパルス P の第 2 のパルス部分 P 2 の時間的に前に位置していることが分かる。

【0051】

第 1 のパルス部分 P 1 は、本発明のやり方の範囲内では無関係である。従って、第 1 のパルス部分 P 1 は、更に用いられない。単に、第 2 のパルス部分 P 2 だけが用いられる。従って、ステップ S 6 では、制御装置 7 は、第 2 のパルス部分 P 2 を選択する。第 2 のパルス部分 P 2 は、図 8 ~ 11 では、全スタートパルス P と同様に、各送信アンテナ 6 の 1 つの振幅 A 並びに x 及び y グラジエントで、時間 t の関数として図示されており、並びに、グラジエントの軌道（トラジェクトリー）で周波数空間内に図示されている。

【 0 0 5 2 】

従って、ステップ S 7 では、制御装置 7 は、第 2 のパルス部分 P 2 を時間的に伸張する。これにより、制御装置 7 は、第 2 のパルス部分 P 2 の振幅 A を圧縮する。時間的な伸張、及び、これと対応する振幅 A の圧縮は、この際、全ての第 2 のパルス部分 P 2 に対して統一した時間ベースに関して、且つ、統一的なやり方で行われる。グラジエントマグネットシステム 3 の制御では、時間的にはアナログで伸張されるが、振幅は圧縮されない。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 7 によると、全時間期間 T で、時間的に伸張される。これは、有利ではあるが、必須ではない。

【 0 0 5 4 】

ステップ S 8 で、制御装置 7 は、送信アレイ 4 のコイル 6 及びグラジエントマグネットシステム 3 を、当該制御装置 7 の、各々時間的に伸張され、且つ、振幅 A を圧縮された第 2 のパルス部分 P 2 に相応して制御する。従って、時間的に伸張し、且つ、前記振幅 A を圧縮した第 2 のパルス部分 P 2 は、各々の励起パルス P ' に対応する。制御装置 7 による各送信コイル 6 の制御は、この際、各送信コイル 6 に対して個別に行われる。

【 0 0 5 5 】

送信アレイ 4 の各コイル 6 及びグラジエントマグネットシステム 3 の、各々の励起コイル P ' に相応した制御に基づいて、励起容積部 2 内に実際の不均一性の実値 I 2 が達成される。実際の不均一性の実値 I 2 は、スタートパルス P と共に言及した上述の小さな不均一性の実値 I 1 よりも大きい。実際の不均一性の実値 I 2 の値は、中間位置 Z の位置に依存している。中間位置 Z は、制御装置 7 によって、実際の不均一性の実値 I 2 が不均一性の最大許容値 I * よりも辛うじて未だ小さいように特定される。

【 0 0 5 6 】

従って、本発明のやり方により、制御装置 7 は、各々の励起コイル P ' を、各々のスタートパルス P 及び励起容積部 2 内の不均一性の最大許容値 I * を用いて求めるように達成される。

【 0 0 5 7 】

最も簡単な場合、制御装置 7 は、ステップ S 7 の範囲内で、時間 t 内で第 2 のパルス部分 P 2 をリニアに伸張し、これと相応して、第 2 のパルス部分 P 2 の振幅 A をリニアに圧縮する。つまり、伸張係数 k での時間的な伸張及び係数 k での圧縮が行われ、その際、係数 k は、（上述の数値の例によると）、

$$k = 2.8 \text{ ms} / (2.8 \text{ ms} - 2.5 \text{ ms}) = 2.8 / 0.3 = 9.33$$

(2)

で求められる。

【 0 0 5 8 】

しかし、有利には、制御装置 7 は、ステップ S 7 の範囲内で、各々の第 2 のパルス部分 P 2 を時間的に非直線状に伸張する。この際、制御装置 7 は、各々の第 2 のパルス部分 P 2 のエネルギーが局所的に高くなればなる程、各々の第 2 のパルス部分 P 2 を、時間的に一層強く伸張する。この際、整理しておく、「局所」という用語は、各々の第 2 のパルス部分 P 2 内部の所定の時点に関係するということを指摘しておく。励起パルス P ' の送信のための送信パルス 6 の振幅 A ' は、この場合、関係式

$$A'(t') = A(t'(t)) / dt' / dt \quad (3)$$

を用いて得られる。

【 0 0 5 9 】

図 12 は、それに相応する可能な、時間の非直線変換を示す。

【 0 0 6 0 】

コイルアレイの S A R 最適化制御用の制御方法 磁気共鳴装置の制御装置 7 は、送信アレイ 4 のコイル 6 を制御し、磁気共鳴装置のグラジエントマグネットシステム 3 は、励起パルス P' に相応する。それにより、磁気共鳴装置の励起容積部 2 内に、第 1 の不均一性 I_2 を有する磁場が形成される。制御装置 7 は、各々の励起パルス P' を、スタートパルス P 及び磁気共鳴装置の励起容積体 2 内の不均一性の最大許容値 I^* を用いて求める。スタートパルスは、全時間期間 T' を有している。制御装置 7 が、送信アレイ 4 及びグラジエントマグネットシステム 3 の各コイル 6 を、スタートパルス P に相応して制御する場合、磁気共鳴装置の励起容積体 2 内に磁場が形成され、この磁場は、不均一性の最大許容値 I^* よりも小さな不均一性の第 2 の実際値 I_1 を有している。制御装置 7 は、スタートパルス P の中間位置 Z を求め、中間位置 Z を求めることにより、スタートパルス P を、各々の第 1 のパルス部分 P_1 及び該第 1 のパルス部分に対して相補的な各々の第 2 のパルス部分 P_2 に分割する。第 1 のパルス部分 P_1 は、スタートパルス P の低エネルギー部分と対応し、第 2 のパルス部分 P_2 は、スタートパルス P の高エネルギー部分と対応する。制御装置 7 は、第 2 のパルス部分 P_2 を、時間的に伸張し、当該伸張に対応して振幅 A を圧縮する。時間的に伸張され、且つ、振幅 A を圧縮される第 2 のパルス部分 P_2 は、励起パルス P' に対応する。制御装置 7 は、不均一性の第 1 の値が不均一性の最大許容値よりもかろうじて未だ小さいように中間位置を特定する。

【 0 0 6 1 】

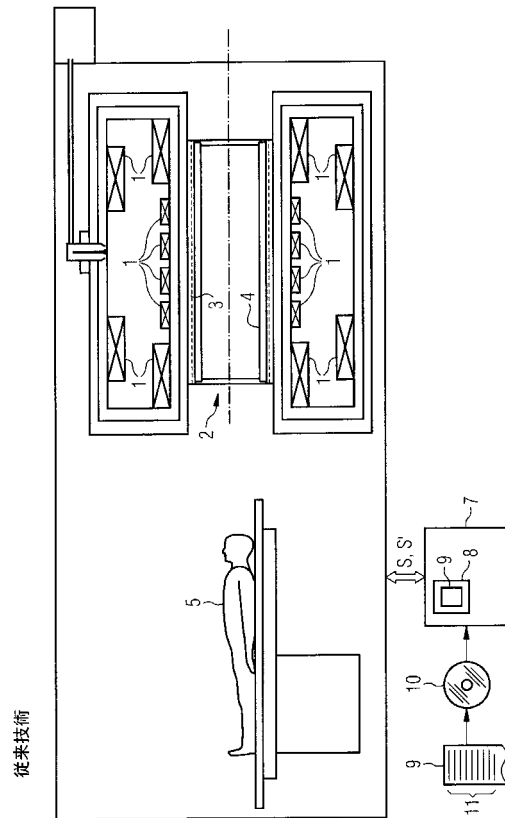
上述の説明は、専ら本発明の説明に役立つ。これに対して、本発明の保護範囲は、特許請求の範囲に記載されている。

【符号の説明】

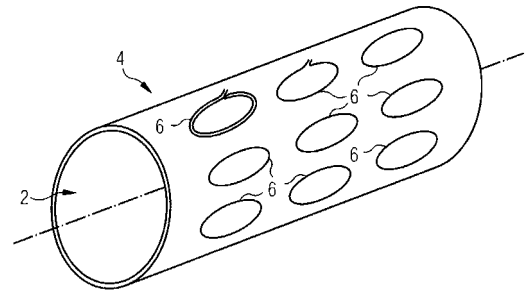
【 0 0 6 2 】

- 1 基底マグネット
- 2 励起容積部
- 3 グラジエントマグネットシステム
- 4 高周波システム
- 5 被検対象
- 6 送信コイル
- 7 制御装置
- 8 メモリ装置
- 9 コンピュータプログラム
- 10 データ担体

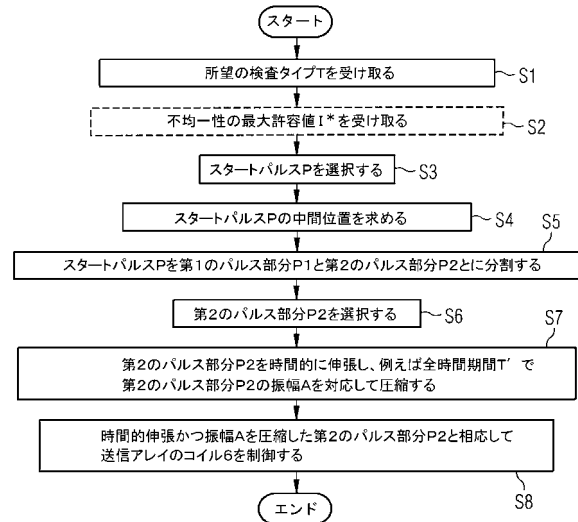
【図 1】



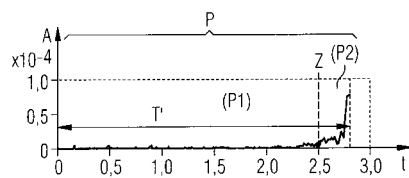
【図 2】



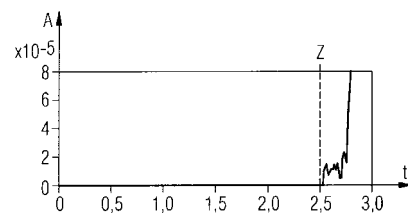
【図 3】



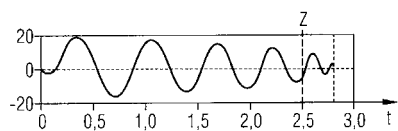
【図 4】



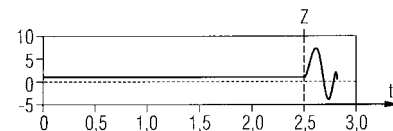
【図 8】



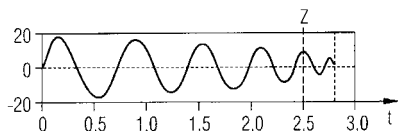
【図 5】



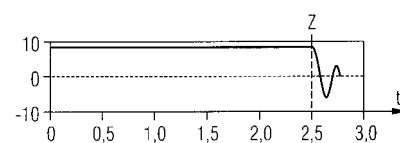
【図 9】



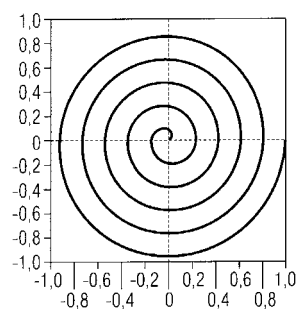
【図 6】



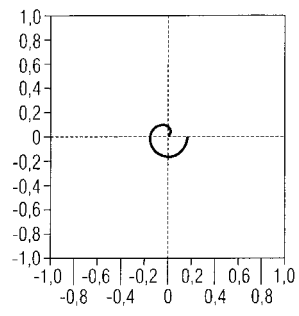
【図 10】



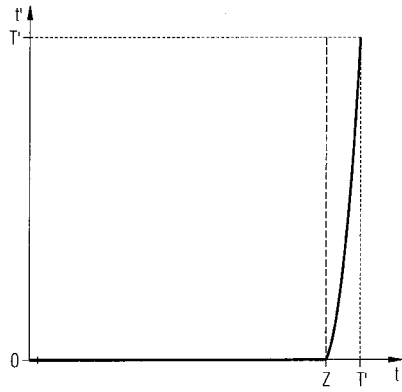
【図 7】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

- (74)代理人 100112793
弁理士 高橋 佳大
- (74)代理人 100128679
弁理士 星 公弘
- (74)代理人 100135633
弁理士 二宮 浩康
- (74)代理人 100114890
弁理士 アインゼル・フェリックス＝ラインハルト
- (72)発明者 ディルク ディール
ドイツ連邦共和国 エアランゲン ベルリーナー プラッツ 3
- (72)発明者 ユルゲン ニストラ
ドイツ連邦共和国 エアランゲン マイゼンヴェーク 40
- (72)発明者 ヴォルフガング レンツ
ドイツ連邦共和国 エアランゲン コンラート・ツーゼ・シュトラッセ 23
- (72)発明者 マルクス フェスター
ドイツ連邦共和国 ニュルンベルク ハンス・ファラダ・シュトラッセ 59
- (72)発明者 ゼバスティアン ヴォルフ
ドイツ連邦共和国 アーデルスドルフ ウルメンヴェーク 6

審査官 伊藤 幸仙

- (56)参考文献 特開2008-284361(JP, A)
特開2009-106493(JP, A)
米国特許第7847550(US, B2)
独国特許出願公開第102008004256(DE, A1)
X.Wu, C.Akgun, J.T.Vaughan, K.Ugurbil, & P-F.Van de Moortele, "SAR Reduction in Transmit SENSE Using Adapted Excitation k-Space Trajectories", Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 15 (2007), 米国, International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Inc., 2007年 5月19日, p673
I.Graesslin, S.Biederer, F.Schweser, K-H.Zimmermann, U.Katscher, & P.Bornert, "SAR Reduction for Parallel Transmission using VERSE and k-space Filtering", Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 15 (2007), 米国, International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Inc., 2007年 5月19日, p674
D.Xu, K.F.King, & Z-P.Liang, "Variable Slew Rate Spiral Design for Local SAR Reduction in 2D RF Pulse Design", Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 15 (2007), 米国, International Society for Magnetic Resonance in Medicine, Inc., 2007年 5月19日, p1712

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/055
PubMed

- (54)【発明の名称】磁気共鳴装置、及び、当該磁気共鳴装置の送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステム用の制御方法、及び、当該磁気共鳴装置の送信アレイのコイル及びグラジエントマグネットシステム用のコンピュータプログラム