

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第3721382号  
(P3721382)**

(45) 発行日 平成17年11月30日(2005.11.30)

(24) 登録日 平成17年9月22日(2005.9.22)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

**A 6 1 B 5/055**  
**G O 1 R 33/28**  
**G O 1 R 33/3815**

A 6 1 B 5/05 3 6 0  
G O 1 N 24/02 Z  
G O 1 N 24/06 5 1 0 D

請求項の数 2 (全 8 頁)

<p>(21) 出願番号 特願平10-361015 (22) 出願日 平成10年12月18日(1998.12.18) (65) 公開番号 特開2000-175883(P2000-175883A) (43) 公開日 平成12年6月27日(2000.6.27)     審査請求日 平成14年7月31日(2002.7.31)</p>	<p>(73) 特許権者 301021533     独立行政法人産業技術総合研究所     東京都千代田区霞が関1-3-1 (74) 復代理人 100092495     弁理士 蛭川 昌信 (73) 特許権者 501145295     独立行政法人食品総合研究所     茨城県つくば市観音台2丁目1番地12 (73) 特許権者 501273886     独立行政法人国立環境研究所     茨城県つくば市小野川16-2 (73) 特許権者 000004271     日本電子株式会社     東京都昭島市武蔵野3丁目1番2号</p>
--	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超伝導磁石を用いた超小型MRI装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

冷凍装置で熱伝導により冷却される無冷媒型超伝導磁石ユニット及び制御用パソコンからなる磁石モジュールと、磁石モジュールに高周波信号を送信するとともに、冷凍装置の振動に同期してNMR信号を検出し、データ処理する制御用パソコンを備えた分光器モジュールと、分光器モジュールで検出した信号をデータ処理して画像化する制御用パソコンを備えたイメージプロセッサモジュールと、各モジュールの制御用パソコンを結合するネットワーク回線とからなる超伝導磁石を用いた超小型MRI装置。

【請求項2】

前記磁石モジュールの制御用パソコンで分光器モジュールで検出した信号を取り込み、磁石ユニットの制御を行うことを特徴とする請求項1記載の超伝導磁石を用いた超小型MRI装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はMRI(Magnetic Resonance Imaging)装置に係り、特に、小動物の脳などの組織・器官の機能の動的解析、サイズが小さい医学・病理学組織標本の検査、各種保存組織の検査、食品素材・産業資材の評価、食品・穀物の品質評価、血流・流動原料のモニタ等に好適な超小型軽量移動型マイクロMRIに関するものである。

【0002】

10

## 【従来の技術】

M R I 装置は医学の診断や研究に用いられる大型の N M R ( Nuclear Magnetic Resonance ) イメージング装置である。M R I は一般には組織に含まれる水または油のプロトン ( 水素原子 ) を検出して、その分布をマッピングするので、水または油の分布及び状態を通して組織・器官の形態、損傷、異常及び疾病を観察することができる。装置は高度に完成されていて光学的な手法では不可能な立体イメージの非破壊的な観測が可能である。

## 【 0 0 0 3 】

しかし、従来の装置は、人体を対象として設計されているので本来的にサイズが大きく、また、イメージ分解能は粗く、小さな試料を扱うためには特殊な付属検出器の作成が必要 ( 認可を含む ) である。その上、高磁場を確保するために超伝導磁石が用いられ、磁石を冷却するために液化 H e ガスを使用しているため、巨大な液化 H e ガス用及び予備冷却の液化 N<sub>2</sub> ガス用タンクを備えている。液化 H e ガス中で発熱体である磁石を稼働させるので、時として噴出事故を起こし、その主要原因である振動を極端に嫌う。M R I が大きな特殊空調をした測定室に設置される原因の一つは、磁石の加熱と振動に対する対策である。また、液化 H e ガスはかなりの早さで減少する。その補充のメンテナンスは大変な労力と熟練を必要とする。さらに、強い漏洩磁場に対処して測定室中に立入り禁止区域を設定しなければならない。この漏洩磁場の問題についてはアクティブシールド型の磁石の開発が進められている。

10

## 【 0 0 0 4 】

一方、これに対して小動物研究用の M R I 装置も開発されている。この装置も前記磁石の点において巨大である。また、空調を完備し、強い漏洩磁場に対処するために磁気遮蔽した特殊な測定室に設置されている。また、漏洩磁場に対する立入り禁止区域や液化 H e ガスのメンテナンスが人体用と同様に必要である。

20

## 【 0 0 0 5 】

本装置の分解能は人体用より大分密であるが、それでも平面分解能で 1 m m × 1 m m 程度で小動物の組成の細胞レベルの変化を捉えようとする ( 1 0 0 μ m × 1 0 0 μ m ) ためにはかなり粗い。サイズの小さな試料に対しては人体用と同様に特殊な検出器の作成が必要である。現在、サイズの小さい試料を扱うためには高分解能 N M R 装置に取り付けるための N M R イメージング ( M R I と同様 ) 付属装置が開発されている。この場合も本体が高分解能 N M R 装置であるために、超伝導磁石を用いていて巨大である。立入り禁止区域を設けた特殊測定室に設置して、振動を極端に嫌い、液化 H e ガスのメンテナンスが必要であることも前の二つの装置と同様である。

30

この付属装置は小さなサイズの試料を扱うための専用装置であり、分解能は優秀である。5 0 μ m × 5 0 μ m の分解能を確保し得る装置は珍しくないが、取り扱いには前二機種に比べても複雑であり、熟練を要し、また、測定ユーティリティパッケージの不備が目立つ。

## 【 0 0 0 6 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

本発明は、従来の M R I 装置、及び高分解能 N M R 付属マイクロ M R I 装置の諸欠点である、

- A ) 装置全体が巨大である、
  - B ) 振動を嫌うので試料にアクセスできない、
  - C ) 液化 H e ガス補充のメンテナンスが必要である、
  - D ) 強い漏洩磁場に対処した立入り禁止区域及び磁気遮蔽を必要とする、
  - E ) 設置のために耐震施設 ( 管理室または管理区域 ) を必要とする、
  - F ) 磁場のダウンが不可能 ( 励磁すると電源を取り外し、熱の出入りが無い ) であり、したがって、装置の移動が不可能である、
  - H ) 高性能コンピューターを必要とする、
- を解決することを目的とする。

40

## 【 0 0 0 7 】

## 【 課題を解決するための手段 】

50

本発明は、冷凍装置で熱伝導により冷却される無冷媒型超伝導磁石ユニット及び制御用パソコンからなる磁石モジュールと、磁石モジュールに高周波信号を送信するとともに、冷凍装置の振動に同期してNMR信号を検出し、データ処理する制御用パソコンを備えた分光器モジュールと、分光器モジュールで検出した信号をデータ処理して画像化する制御用パソコンを備えたイメージプロセッサモジュールと、各モジュールの制御用パソコンを結合するネットワーク回線とからなることを特徴とする。

また、本発明は、前記磁石モジュールの制御用パソコンで分光器モジュールで検出した信号を取り込み、磁石ユニットの制御を行うことを特徴とする。

【0008】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

図1は本発明の超小型移動型マイクロMRI装置の概念図である。

基本構成部位である磁石、分光器及びイメージプロセッサをそれぞれ一台ずつのパソコンと結合し、各々独立した部位のみでも稼働し得る磁石モジュール10、分光器モジュール30、イメージプロセッサモジュール50として、各パソコン同士をサーバを通して高速イーサネットケーブル100MHzで結んで専用のコントロールプログラムで制御し、装置自体を小さなネットワークシステム(統一的マイクロMRIシステム)とすることで装置の超小型化を達成している。なお、静磁場は分光器から独立した無冷媒小型超伝導磁石によって供給する。

【0009】

次に、各モジュールについて説明する。

図2は磁石モジュールを説明する図である。

磁石モジュール10は、無冷媒型超小型超伝導磁石11、シム12a及びシム検出器12bからなるシム装置12、マグネットコントローラ14、シムコントローラ15、分光器モジュールのシグナルモニタ(後述する)からデータを取り込み、超伝導磁石を制御するパソコン16からなっている。

【0010】

無冷媒型超小型超伝導磁石11は、高温超伝導材料を使用し、図示しない小型冷凍機で熱伝導によって超伝導領域まで冷やされ、磁石内には冷媒を用いない構成であり、そのため磁場のダウンが可能な構成となっている。ただし、磁石が小型冷凍機の振動を受けるため、信号検出は、冷凍機の振動(50Hzまたは60Hz)に同期させて行い、振動の影響を無くすようにする。また、超伝導磁石の磁石中央部(イメージングゾーン)の磁場の均一性( $< 10 \text{ ppm}$ )を確保するため、マグネットコントローラ14で超伝導コイルを制御し、シムコントローラ15でシム装置12を制御する。制御用パソコン16により、シム12a内に配置したシム検出器12bで検出した不均一磁場、分光器モジュールのシグナルモニタから得た検出信号を取り込んでシム調整し、磁場の均一性を確保する。

超小型超伝導磁石11は高磁場でありながら無冷媒型であるため、超小型、耐震性、メンテナンスフリー、磁場ダウンが可能であり、図3に示すように、制御用パソコン16とともにカート17などに積んで自由に移動させることが可能である。

【0011】

図4は分光器モジュールを説明する図である。

分光器モジュール30は、超小型超伝導磁石11内に配置され、磁場勾配コイルと検出コイルを含み、アクティブシールドされているプローブ31と、分光器32と、制御用パソコン33とからなっている。分光器32は、大きく分けるとプローブ31に信号を送信する部分と、プローブ31からの信号を受信してデータ処理する部分とからなっている。プローブ31に信号を送信する部分は、磁場勾配発生装置34及び磁場勾配を制御するコントローラ35、プローブにrf(高周波)信号を加えるrf発振器36、プローブに加えるパルスシーケンスを発生するパルスプログラマー37を備えている。

NMR検出信号を受信して処理する部分は、受信器38、受信した信号をデジタル信号に変換するADコンバータ39、受信データを蓄積するフレームメモリ40を備え、前述し

10

20

30

40

50

たように、冷凍機の振動の影響を除くため振動に同期してプローブからの信号をサンプリングして取り込むようにする。さらにF T (フーリエ変換) 用予備プロセッサ4 1、シグナルモニタ4 2、画像構築手段4 3を備え、制御用パソコン3 3で制御されてメモリ4 0からデータを出力し、また、プロセッサ4 1でフーリエ変換処理して画像構築手段4 3で画像化を行い、さらにシグナルモニタ4 2のデータを磁石モジュールに送信する。

なお、信号を送信する部分、受信する部分の機能の一部は必要に応じて制御用パソコン3 3が行うように構成するようにしてもよい。

#### 【0012】

図5はイメージプロセッサモジュールを説明する図である。

イメージプロセッサモジュールは大容量メモリ5 1、データ処理装置であるパソコン5 2からなっており、分光器で検出された信号、または外部より読み込んだ信号、F T後のイメージデータを大容量メモリ5 1に取り込み、このデータを基にパソコン5 2でMRIイメージを再構成し、データベース5 3を構築することも含めて各種の画像解析を行う。パソコン5 2は、シグナルモニタ、データプロセッサ(F T)、画像構築、画像解析の機能を有して必要な処理を行い、データベース化を図るとともに、必要に応じてネットワークにデータを転送する。

#### 【0013】

図6は本発明を環境制御検出器として適用した例を説明する図である。

この例は、環境変化に対する小動物の脳のファンクションイメージングを行うものであり、磁石6 1内に生きたままの小動物を入れ、検出コイル6 2でNMR信号を検出するものであり、ガスコントローラ6 3、光コントローラ6 4、サーモコントローラ6 5を用いてガス圧、温度、光を自由に变化させて小動物の脳の反応を検出し、イメージングデータはデータベース化して他のパソコンや他機種のコピュータへ転送して解析することが可能である。

#### 【0014】

図7は本発明の装置の特徴を説明する図である。

本発明の装置は、超小型で場所を選ばず、耐振動性で測定部へのアクセスが可能であり、図示するように、会話型で試料(検体)へのオペレーションが可能であり、分解能10~50 $\mu$ mの三次元(3D)高速イメージングが可能であり、これを図8により説明する。図8は落下するファントム(模擬検体)の連続イメージングを説明する図である。

図8(a)は従来的高速法であるFLASH法、図8(b)は会話型的高速イメージング処理法であるEPI(Echo Planner Imaging)法により撮影したファントムの落下の様子を示している。図8(a)では落下するファントムの1コマの半分の時間320msで、4コマ分の撮影ができてることが分かる。本発明の分光器モジュールは単独で移動可能であるため、他のMRI装置を使用することができ、その静磁場中においてファントムを落下させて撮像することができるからである。ただしその場合、検出器の磁場強度への同調を必要とする。測定したデータは、本発明におけるイメージプロセッサモジュール上でも再作像が可能である。

#### 【0015】

##### 【発明の効果】

以上のように本発明は、A)超小型である、B)耐振性であり測定部へのアクセスが可能であり、測定中の試料への操作と処理が可能である、C)超伝導磁石は無冷媒でメンテナンスフリーである、D)小型であり漏洩磁場のシールドは比較的容易である、E)設置場所を選ばない、F)磁場のダウンが可能であり、その結果装置の移動が可能である、G)パソコンの使用は超小型化に有効である、H)磁石、分光器及びイメージプロセッサ各モジュール間のネットワーク化はパソコンの能力の劣性を補い、測定中におけるシグナルモニターやシグナルまたはイメージを基にした磁石制御や測定プログラムの改変を会話型で行うことが可能である、I)パソコンの使用は磁石制御、パルスプログラマーの基板など電子部品のサイズとコストを著しく削減し、オペレーションシステム(OS)のバージョンアップにかかるコストを不要とするなどの効果が達成できる。

## 【 0 0 1 6 】

また、本発明は、装置が複数のパソコン（それぞれ入力と出力装置を備える）のネットワークとして構成されるため、場所を選ばない、測定部へのアクセスが可能、会話型で試料へのオペレーションが可能、測定続行中のシグナルモニターや特定画像の構築、新規JOBのセットアップ等をサーバエミュレータ系によって行うことが可能である。

## 【 0 0 1 7 】

また、測定対象（検体）の動的な動きをリアルタイム（時間分解能  $100\ \mu\text{s}$ 、テレビジョンより少し遅いが連続映像に支障はない）で非破壊的に観測することが可能であり、この技術を利用して組織・器官における細胞レベルの生体情報を非破壊的に連続的にイメージングすることができ、生体情報学を大いに推進し、新しい方向を開発し、得るものと考  
10  
えられる。その結果、高分解能三次元イメージを必要とする医学、生理学組織標本検査、組織保存モニター、農産物評価、及び食品・工業分野の原料素材及び資材評価、医学・生理学における血流モニタ、及び工業分野における素材中の液体の長さのモニタ、小動物の脳や他の組織への外部刺激（光や薬剤）に対するダイナミックファンクションを評価する研究分野等への活用が期待できる。

## 【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の超小型移動型マイクロMRI装置の概念図である。

【 図 2 】 磁石モジュールを説明する図である。

【 図 3 】 耐震性移動型超小型伝導マグネットを説明する図である。

【 図 4 】 分光器モジュールを説明する図である。  
20

【 図 5 】 イメージプロセッサモジュールを説明する図である。

【 図 6 】 本発明を環境制御検出器として適用した例を説明する図である。

【 図 7 】 本発明の装置の特徴を説明する図である。

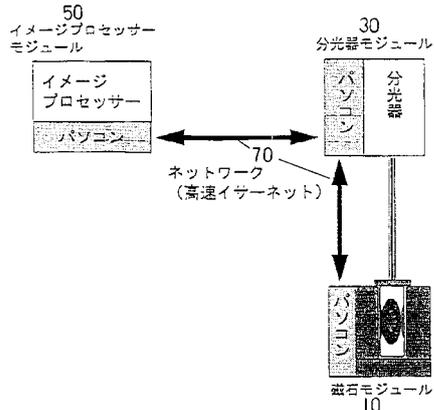
【 図 8 】 落下するファントムの連続イメージングを説明する図である。

## 【 符号の説明 】

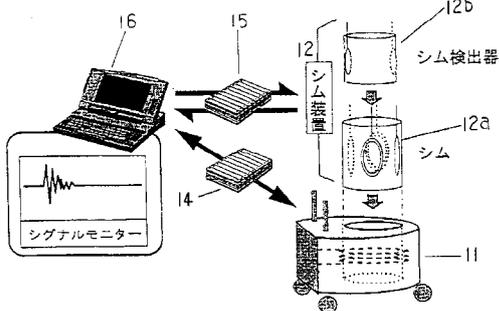
10 ... 磁石モジュール、30 ... 分光器モジュール、50 ... イメージプロセッサモジュール

。

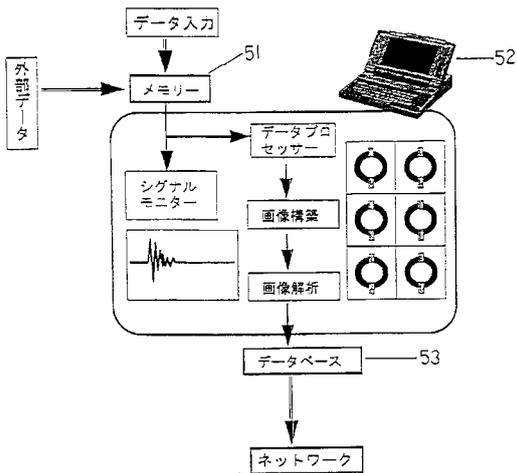
【 図 1 】



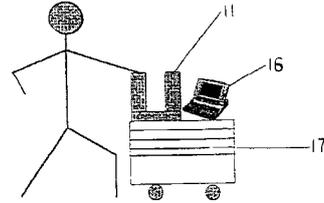
【 図 2 】



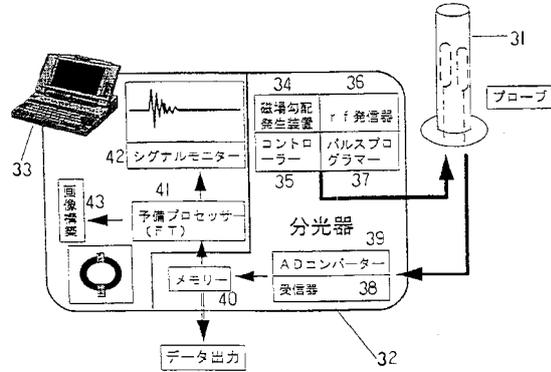
【 図 5 】



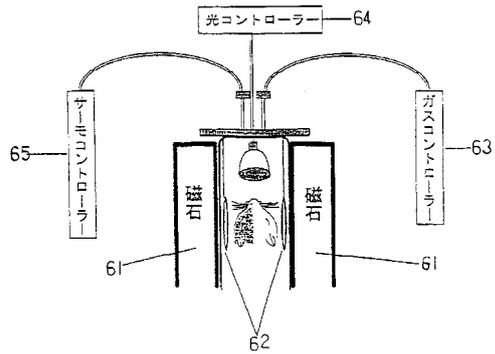
【 図 3 】



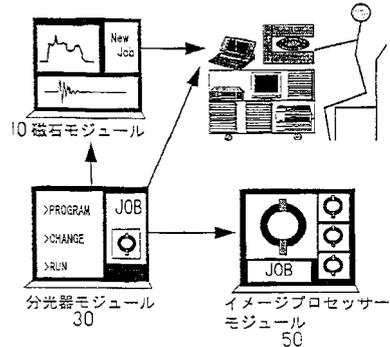
【 図 4 】



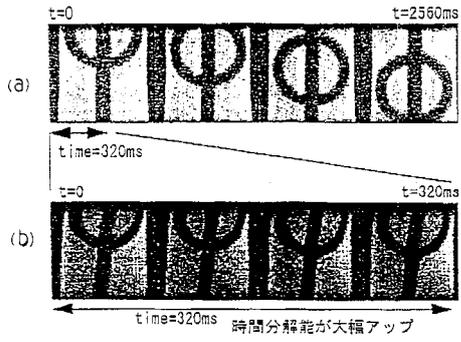
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



## フロントページの続き

- (74)代理人 100092495  
弁理士 蛭川 昌信
- (72)発明者 石田信昭  
茨城県北相馬郡守谷町御所ヶ丘5丁目25番108
- (72)発明者 山崎 恵  
茨城県つくば市赤塚602番70
- (72)発明者 早水紀久子  
茨城県つくば市東1丁目1番  
工業技術院物質工学工業技術研究所内
- (72)発明者 三森文行  
茨城県つくば市並木4丁目802-202
- (72)発明者 巨瀬勝美  
千葉県柏市松葉町6丁目39番15
- (72)発明者 今成 司  
東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号  
日本電子株式会社内
- (72)発明者 津野久幸  
東京都昭島市武蔵野三丁目1番2号  
日本電子株式会社内

審査官 神谷 直慈

- (56)参考文献 特開平10-256027(JP,A)  
実開平03-027210(JP,U)  
特開平10-282200(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)  
A61B 5/055  
G01N 24/00 - 24/14  
G01R 33/20 - 33/64