

機関番号：32612

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656156

研究課題名(和文)MRI用小型永久磁石のための相変化蓄熱材を用いた ± 0.01 温調システムの開発

研究課題名(英文)Development of the 0.01 C temperature system using the phase change thermal storage coolant for the small permanent magnet for MRI

研究代表者

小川 邦康(Ogawa, Kuniyasu)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：50272703

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：小型永久磁石は外部からの熱の流入によって温度が変化し、磁場強度が増減する。永久磁石の磁場を安定させるために、磁石内に相変化蓄熱材を冷媒として循環させることによって磁石温度を安定化させる。本研究では、温調された相変化蓄熱材をネオジウム磁性体周囲に循環させ、磁場安定性の向上を試みた。

本研究では冷媒循環が可能な小型永久磁石を製作した。磁石周囲と勾配磁場コイルに冷媒を循環させて磁石温度を安定化させた。その結果、冷媒を循環させることにより磁場が安定化した。一方、相変化蓄熱材を冷媒に用いた場合は安定化の効果はあまり現れなかった。

研究成果の概要(英文)：In a small permanent magnet, when heat flows in from the magnetic circumference, a magnetic temperature changes and magnetic field intensity changes. Magneto temperature is stabilized by making the magnetic circumference circulate through a phase change thermal storage medium as a coolant. In this research, it tried to raise the stability of a magnetic field by making the circumference of a neodymium magnetic body circulate through the phase change thermal storage medium which controlled temperature. The small permanent magnet which can circulate through a coolant for this purpose was manufactured. The magnet circumference and a gradient field coil were made to circulate through a coolant, and magneto temperature was stabilized. As a result, the magnetic field was stable by circulating a coolant. On the other hand, when a phase change thermal storage medium was used for a coolant, the effect of stabilization seldom appeared.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：MRI 温度制御 周波数安定化

1. 研究開始当初の背景

小型永久磁石を用いたMRI(核磁気共鳴画像)計測技術が適用範囲を広めている。磁場強度0.3 Teslaの対向型永久磁石は50 cm立法、500 kgと小型で安価(500万円)でありながら、直径15 cm程度の試料が挿入できるという超電動磁石にはない使い勝手の良さが特徴としてある。

これに対し、小型永久磁石の欠点は「時間安定性の低さ」にある。ネオジウム磁石温度が1℃変われば、磁場強度は-1000 ppmだけ変わる。小型磁石では質量が小さいために熱容量が小さく、磁場安定性は ± 100 ppm/hour(温度で ± 0.1 /hour)でしかない。これはNMR信号の共鳴周波数に換算すると1 kHz/hourもの変動となる。このため、小型永久磁石の磁場強度を安定させるためには磁石温度を高精度に温調して ± 10 ppm/10 hours(± 0.01 /10 hours)以内とし、長時間の磁場安定性を達成する必要がある。

2. 研究の目的

小型永久磁石は外部からの熱の流入によって温度が変化し、磁場強度が増減する。そこで、永久磁石の磁場安定に、磁石内に相変化蓄熱材を冷媒として循環させ、磁石温度を ± 0.01 ℃以内で安定させるアイデアを導入する。本研究では、 ± 0.01 ℃で高精度に温調された相変化蓄熱材をネオジウム磁性体周囲に循環させ、磁場安定性が ± 10 ppm/10 hour以内の温調システムを開発することを目的とする。また、恒温水を循環させた際の磁場安定も試みる。

3. 研究の方法

ネオジウム磁性体への熱流入は「鉄構造部分」と「勾配磁場コイルの発熱」からである。熱流入を防ぐ方法として、永久磁石の鉄構造部分を断熱し、ネオジウム磁性体の部分に温度が ± 0.01 ℃の範囲内で安定化させた流体を循環させる方法を用いる。この概念図を図1に示した。

これにより磁石温度を高精度に温調することができる。流体温度を ± 0.01 ℃で安定させるための一つの方法としては流体内に相変化蓄熱材を混合させる方法がある。

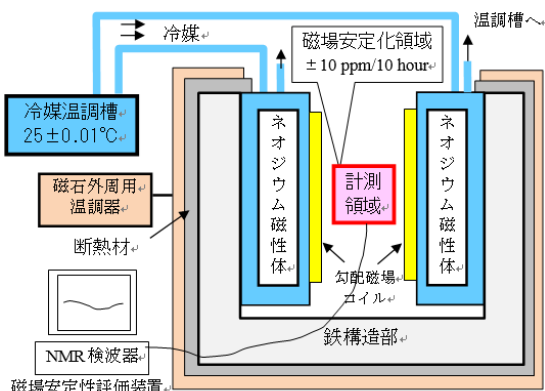


図1 磁石安定化装置の全体図

以下に詳しく説明を記述する。

永久磁石の鉄構造部分の恒温化

磁石周囲の温度は空調機によって恒温化されているが、室温の変動は2~3℃程度である。この変動により永久磁石の鉄構造部分との温度差によって永久磁石の鉄構造部分への熱流入がある。そこで、永久磁石の鉄構造部分には断熱材を周囲に設置し、周囲からの熱流入を低下させる。

また、磁石の周囲に円管を溶接した銅板を設置し、永久磁石の鉄構造部分と同じ温度の 25.5 ± 0.1 ℃の水を循環させる。これにより磁石への熱流入を最小限にする。

ネオジウム磁性体の恒温化

ネオジウム磁性体には鉄構造部分からの熱流入と、勾配磁場コイルからの熱流入がある。そこで、ネオジウム磁性体の周囲に ± 0.01 ℃の範囲内で恒温化した流体を流し、勾配磁場コイルからの熱流入を最小限にする。さらに、流体に相変化蓄熱材を混合させて 25.00 ± 0.01 ℃で高精度温調することを試みる。相変化潜熱を利用することで流体温度は恒温化されて精度温調システムが可能になると期待できる。

4. 研究成果

(1) 冷媒循環用小型永久磁石の製作

小型永久磁石としては、ネオジウム磁性体の周囲に冷却媒体を流せるように工夫した対向型永久磁石を用いる。小型永久磁石の設計には研究協力者である株式会社エム・オール・テクノロジーの協力を得て行い、磁石はNEOMAX エンジニアリング株式会社が製作した。

製作した磁石を図2に示す。磁場強度0.3 Tesla、磁石間ギャップは140mm、計測領域(MRI計測が可能な均一磁場領域)は70 mmである。この磁石には冷媒を循環することができるように工夫されている。この小型永久磁石が慶大小川研究室に設置された。



図2 製作した磁石の概観

(2) 小型永久磁石の温度安定化装置の製作

小型永久磁石の磁場を安定させるために、磁場を形成しているネオジウム磁石の温度

を ± 0.01 で安定させる必要がある。ネオジウム磁性体は磁束を閉じ込めるための鉄構造部に固定されており、磁性体には鉄構造部と勾配磁場コイルから熱が流入する。これらの熱流入によってネオジウム磁性体の温度が変動し、磁場強度が変動する。

磁石温度を安定させるために、第一に鉄構造部からの熱流入を抑制させる必要がある。そこで、磁石周囲に銅板を設置し、その銅板に恒温水を循環させて温調を行った。これにより磁石周囲の温度が変動しても熱流入を最小限に抑えることができる。

循環水の温度を安定させることができるように ± 0.01 の測定精度を持つ白金測温体(チノーの高精度温度計(CAB-F201-2) + 白金測温抵抗体)を導入した。これにより恒温水槽の温度を検出し、ヒーターにより温調を行った。これにより磁石温度は ± 0.1 以内で安定させることができた。

(3) 勾配磁場コイルの除熱装置の製作

もう一つの熱流入源として、静磁場に勾配磁場を印加する勾配磁場コイルがある。勾配磁場コイルは磁性体の近くに設置されており、短時間での熱流入源の主たるものである。

勾配磁場コイルと磁石との間に恒温水を流して勾配磁場コイルからの熱流入を防ぐ。このために冷却に適した勾配磁場コイルを設計した。勾配磁場コイルはNEOMAX エンジニアリング株式会社が製作した。

製作した勾配磁場コイルを図3に示す。GX,GY,GZ コイルで構成され、1 G/cm の勾配磁場を形成することができる。各コイルの抵抗値は 0.5Ω であった。MRI 計測によって最大電流が印加された場合の発熱量はおおよそ50W程度と見積もられる。



図3 製作した勾配磁場コイルの概観

勾配磁場コイルの冷却板として冷媒を流すことができる多数の流路を施したアクリル製の冷却板を製作した。これを勾配磁場と磁石との間に設置した。これにより勾配磁場コイルからの発熱を取り去り、磁石の恒温化を行った。

(4) 狭帯域フィルターによる信号受信

NMR 信号を受信する際に狭帯域のフィルターを用いるとノイズの混入が低下し、信号対雑音比が向上する。そこで、既存の検波器のフィルター帯域を1 kHz ~ 20 kHz に自由に

設定できるように改良した。この結果、MRI 信号の受信時に狭帯域フィルターを1 kHz とすることでSN比が向上した。

(5) 高感度RF検出コイルの製作

本システムの計測領域および共鳴周波数に適合した高感度RF検出コイルが必要となる。そこで、図4に示すRF検出コイルを製作した。RF検出コイルはインダクタンスを4分割し、チップコンデンサーで結合した。コイルのQ値は非常に高く300であった。

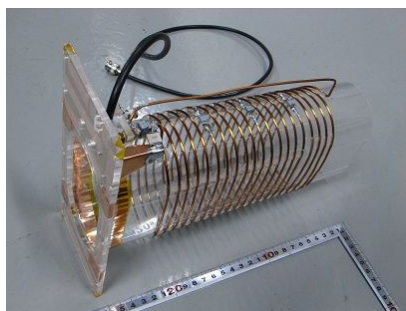


図4 製作したRF検出コイルの概観

製作したRF検出コイルでMRI信号を取得し、狭帯域フィルターを用いてMR画像の取得試験を行った。これより勾配磁場コイルを含む計測システムが適切に稼働していることを確認した。

(6) 周波数安定性の計測

磁石温度の安定性は磁場強度、すなわち、NMR 信号の周波数の変化として現れる。そこで、NMR 信号の周波数を一定時間ごとに取得するシステムを開発し、NMR 信号の周波数を時系列で計測した。

NMR 信号の周波数を取得する試料として硫酸銅水溶液を用いた。ここで、周波数の変動を精度良く検出するために直径10mmの球カプセルに試料を挿入してRF検出コイル内に固定した。周波数はFID信号を取得し、位相を算出することで周波数を0.2 Hzの周波数分解能で計測した。

循環水を流さない場合のNMR信号の周波数変化を計測したところ、10時間で1 kHzの変動があった。勾配磁場コイルを稼働させてMRI計測を行った場合には30分で3 kHzの周波数変動があった。

これに対し、循環水を流した場合には、24時間でNMR信号の周波数を500 Hz程度の変動に抑えることができた。

(7) 相変化物質を混入した冷媒

25 で相変化が生じる蓄熱蓄冷マイクロカプセルを相変化物質として用い、冷媒に混入させた。25 よりも低温で冷媒を冷却した後、25 に加熱して冷媒として循環させた。しかし、冷媒温度の安定性は ± 0.1 程度であり、十分に高いとは言えなかった。この原因として、相変化物質の相変化量を十分に多くすることができず、相変化物質の潜熱が十分に効果を発揮できなかったためであると考えている。

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

なし

6．研究組織

(1)研究代表者

小川邦康(OGAWA, Kuniyasu)

慶應義塾大学・理工学部・准教授

研究者番号：50272703

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし