

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-335986

(P2004-335986A)

(43) 公開日 平成16年11月25日(2004.11.25)

(51) Int. Cl.⁷

H01F 6/00

F I

H01F 7/22 ZAAZ

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 1 書面 (全 4 頁)

(21) 出願番号 特願2003-161396 (P2003-161396)

(22) 出願日 平成15年5月1日 (2003.5.1)

(71) 出願人 391012707

高エネルギー加速器研究機構長
茨城県つくば市大穂1番地1

(74) 代理人 100072051

弁理士 杉村 興作

(72) 発明者 和気 正芳

茨城県つくば市千現一丁目14-15

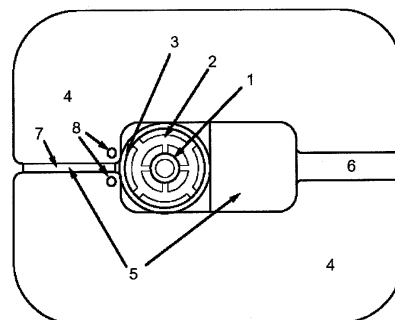
(54) 【発明の名称】 電磁力を打ち消した超伝導磁石

(57) 【要約】

【課題】本発明は一般用途に使える1開口のみの電磁石においても電磁力が働かない構造を持ち、簡単な構造で熱侵入が少なく、鉄の磁化を生かし、力学的に安定であり、また構造上ビームによる超伝導破壊(クエンチ)が起こらない超伝導磁石を提供するものである

【解決手段】導体を一方の開口部近くに持ってくることでこの開口部磁極間隔を他方の開口部よりもかなり小さくし、起磁力を有効にビーム開口部にもちいた電磁力が導体に働かない設計が出来る。電流が変わると鉄の透磁率が変化し、バランスが崩れる現象は、ダミー開口部の磁極に穴を開けることやダミー磁極の幅を広げることで抑制できる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一本の電流路の周囲を磁性体で囲んで磁路を形成し、磁性体に切れ目を作って開口に磁場を発生させる電磁石において、大小 2 ヶ所の開口を非対称に作り、電流路を小さな開口近く配置し、磁極に穴をあけることで、広範囲に電磁力が打ち消されていることを特徴とする超伝導磁石

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は粒子線装置で用いる超伝導磁石に関するものである。

10

【0002】

【従来の技術】

粒子線を扱うには電磁石が必須であり、銅導体に電流を流し、鉄に起磁力を与えるのが普通である。このような常伝導磁石は電力損失が大きく、運転費用が多くなる。超伝導磁石では電力損失が発生しないが、製作費が高い。通常の超伝導磁石は鉄が効果的に利用できず電流による起磁力が主体となっているため巻線が多く、構造が複雑となることが製作費用をさらに多大としている。

【0003】

鉄の起磁力を用い、且つ超伝導である磁石（スーパーフェリック磁石）は、巨大な電磁力の発生が実用化の障害となる。電磁力を支える強固な構造を持った場合、断熱のため鉄と導体の距離が大きくなり、鉄の寄与は少なくなってしまう。鉄ごと冷やす場合は鉄を有効に利用できるが、冷凍が大掛かりで熱侵入も大きい。いずれにせよ、鉄の飽和磁場である 2 T 以下の低磁場では割に合わないものになってしまう。

20

【0004】

しかし、図 1 に示すように開口を 2 つにして左右対称な形にして中心に電流路 1 を設けると電磁力が相殺されるので、二開口の特殊な磁石（衝突器磁石）では、導体を軽微な支持 2 で、真空パイプ 3 の中に支えて冷やし、熱侵入が少なく、非常に安価で製作できる超伝導磁石が実現されることが <http://www.vlhc.org/aac/foster.pdf> 等で公表されている。

【0004】

しかし、このような同じ開口 6 を二つ持った磁石は、通常の使用に対しては一開口分の起磁力が無駄となり、非効率である。また、2 つに分かれた磁性体 4 の連結構造 5 が十分になく、力学的な安定性に欠ける。さらにビームの強度が高い場合には超伝導体が遮蔽されておらず、ビームによる超伝導破壊（クエンチ）が起こる危険も十分回避されていない。

30

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

通常の磁石は 1 つの開口部を利用するだけであるから、他方の開口部を小さくして励磁効率を高めることが望ましいが、それでは対称性が崩れ、電磁力が発生してしまう。本発明は対称性を持たないにもかかわらず電磁力が働かない構造を持ち、軽微な保持で熱侵入が少ない、鉄の磁化を生かして励磁効率の良い、超伝導磁石を提供するものである。この構造は十分な支えを持ち、力学的に安定であり、また構造上ビームによる超伝導破壊（クエンチ）が起こらないものである必要がある。

40

【0006】

【課題を解決するための手段】

導体に電磁力を与えるのは磁性体開口部 6 からの漏れ磁場であるが、導体 1 の両側に開口部があれば両方の漏れ磁場でバランスを取り電磁力を相殺することができる。漏れ磁場は開口部の磁極間隔が大きいほど多い。また電磁力は導体 1 が開口部に近づくほど大きくなる。このことを利用すれば、この開口部は必ずしも対称でなくとも良く、導体を一方の開口部（ダミー開口部）7 近くに持つことでこの開口部 7 磁極間隔は他方の開口部（ビーム開口部）6 磁極間隔よりもかなり小さくすることが出来る。ダミー開口部 7 磁極間

50

隔が小さければ起磁力は有効にビーム開口部 6 にあてられ、励磁効率が良くなる。

【0007】

非対称な配置の場合、高磁場で鉄の透磁率が変化し、バランスが崩れることが問題であり、このままでは鉄の透磁率変化しない領域に使用範囲が限定されてしまう。しかし、ダミー開口部 7 の磁極の幅を大きくすれば飽和の始まりは遅くなるが漏れ磁場が減り電磁力は弱くなる。ダミー開口部 7 の磁極に穴 8 や切り欠きを作ると部分的な飽和が起こり、低磁場領域での電磁力を増やすことができる。これらの特性を組み合わせることで飽和を制御した上で上記ダミー開口部 7 の磁極間隔の調整を行えば、1.7 T 位までの全励磁過程で電磁力を打ち消すことができる。この調整は鉄の磁化曲線の非線形性があるので、単純に与えられないが、有限要素法によるシミュレーションを繰り返して決定できる。

10

【0008】

ダミー開口部 7 及び、導体 1 をダミー開口部 7 に近づけることにより出来た中央部の空間に非磁性構造物 5 を置けば 2 つに分かれた磁性体を 2 箇所が強固に固定することができ、かつこの構造物 5 が超伝導体をビームから遮蔽し、ビームによる超伝導破壊（クエンチ）を防ぐことになる。

【0009】

【実施例】

有限要素計算により設計を実施した例を、達成された磁力線の分布と共に図 3 に示す。この磁石は一本の超伝導ケーブルの周りに鉄を配置し片側に幅 14 cm 高さ 4 cm のビームを通す開口部 6、反対側に電磁力を打ち消すための幅 20 cm のダミー開口部 7 を配置する。超伝導ケーブル 1 はダミー開口部 7 に寄せて置き、ダミー開口部 7 と中央部に非磁性のステンレス鋼の構造部材 5 を置き全体として強固な構造になっている。

20

【0010】

ダミー開口部 7 の磁極には直径 5 mm の穴 8 を開けて飽和を調整してある。超伝導ケーブル 1 は内部を流れる液体ヘリウムで冷やされるが、断熱のため真空パイプ 3 に収められ、断熱材で覆われている。真空パイプ 3 中での超伝導ケーブルの保持は電磁力が働かないので簡便に作られ、熱進入は極めて小さく、1 W/m 以下になる。超伝導ケーブル 1 に流れる電流により鉄に起磁力が与えられビーム開口部 6 に粒子線を曲げるための磁場を発生させる。開口部 6 の磁極は、ビームに収束作用を与えるため傾きを付けてある。

【0011】

この漏れ磁場で通常超伝導ケーブル 1 に巨大な電磁力がかかるのであるが、ダミー開口部 7 からの逆方向の漏れ磁場を丁度相殺する大きさにしてこれを打ち消す。有限要素数値計算の結果、実例では磁極間隔は 26.3 mm になった。

30

【0012】

図 4 は導体にかかる電磁力と必要な電流をビーム開口部 6 の中心磁場の関数として描いたもので、1.6 T が 107.1 kA の電流で発生できており、1.6 T までの全領域で電磁力が 100 N/m 以下となっていることが示されている。電磁力打ち消しの範囲は 1.7 T くらいまで広がっている。

【0013】

【発明の効果】

本発明により、利用開口が 1 つの電磁石においても、電磁力を無くした設計の超伝導磁石が実現した。そのため、極めて簡単な構造で高性能の超伝導電磁石が製作出来、製作費用、冷却運転費用共に従来の超伝導磁石にくらべはるかに安くなった。

40

【0014】

この発明により、従来 2 T 以下の磁場ではあまり使われなかった超伝導磁石の省電力効果を低磁場でも役立てることができる。

【0015】

この構造は力学的に安定であり、磁場は磁極形状によって決まるので、均一磁場を保つことも、磁極の傾で収束作用を持たせることも自由に行うことができ、磁場精度の実現は容易となる。

50

【 0 0 1 6 】

【 図面の簡単な説明 】

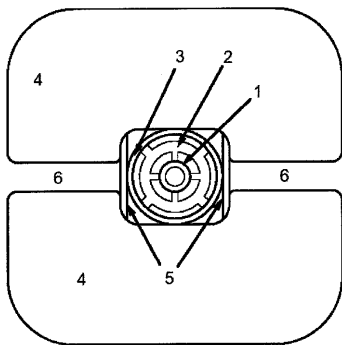
【 図 1 】 従来技術による 2 開口を使う磁石の断面図である

【 図 2 】 本発明による 1 開口を使う磁石の断面図である。

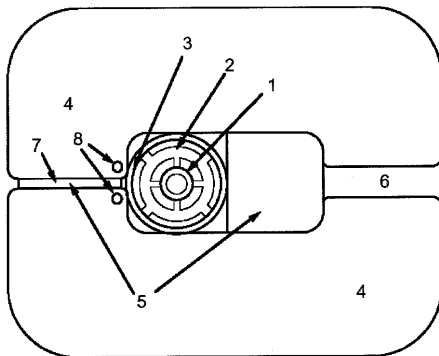
【 図 3 】 実施例において実現された磁場の磁力線図である。

【 図 4 】 電流と電磁力を磁場の関数として示したグラフである。

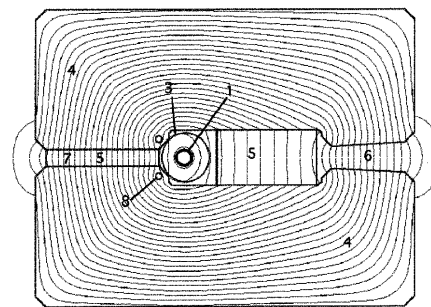
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

