

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4616640号
(P4616640)

(45) 発行日 平成23年1月19日(2011.1.19)

(24) 登録日 平成22年10月29日(2010.10.29)

(51) Int.Cl.

F I

H O 2 K 55/02 (2006.01)

H O 2 K 55/02 Z A A

請求項の数 5 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2004-378661 (P2004-378661)	(73) 特許権者	000231235 大陽日酸株式会社 東京都品川区小山一丁目3番26号
(22) 出願日	平成16年12月28日(2004.12.28)	(73) 特許権者	000000099 株式会社 I H I 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
(65) 公開番号	特開2006-187136 (P2006-187136A)	(73) 特許権者	504145320 国立大学法人福井大学 福井県福井市文京3丁目9番1号
(43) 公開日	平成18年7月13日(2006.7.13)	(73) 特許権者	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
審査請求日	平成19年12月19日(2007.12.19)	(73) 特許権者	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超電導モータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁極面側が相互に平行に空隙を隔てて対向するロータとステータとのうち、少なくとも一方の電機子コイルもしくは界磁コイルとして、超電導コイルが使用されており、かつその超電導コイルは、外ケースと内ケースとの内外2重壁構造のケースにおける内ケースの内側に収納され、その内ケース内には、超電導コイルを冷却するための冷却媒体が充填されており、さらに外ケースと内ケースとの間の空間が真空断熱層とされた超電導モータにおいて、

前記超電導コイルを収納したケースの外ケース内には、ステータとロータとが対向する方向に沿って伸長されかつ内ケースおよび超電導コイルの内周側を貫通する柱状体が配設されており、その柱状体の両端が外ケースの内面に接して、その柱状体により外ケースの内側への変形を防止するように構成したことを特徴とする、超電導モータ。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超電導モータにおいて、前記柱状体の両端が外ケースの内面に固定されていることを特徴とする、超電導モータ。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の超電導モータにおいて、前記内ケースの内側における柱状体の外周面側の部分に、柱状体を取囲むように真空断熱層が形成されていることを特徴とする、超電導モータ。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の超電導モータにおいて、前記柱状体が中空パイプによって構成されていることを特徴とする、超電導モータ。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の超電導モータにおいて、前記中空パイプの内側に磁性材が配設されていることを特徴とする、超電導モータ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、船舶、鉄道、陸上車輛、航空機等に使用される超電導モータに関するものである。

10

【背景技術】

【0002】

最近に至り、同期機における電機子コイルや界磁コイルとして、超電導コイルを用いた超電導モータが開発され、船舶や鉄道、陸上車輛、航空機等に適用する試みがなされている。

【0003】

従来の超電導モータの一例を図 5 ~ 図 8 に示す。なおこの図 5 ~ 図 8 に示す超電導モータは、ロータ（回転子）とステータ（固定子）との両者に超電導コイルを用いた例として示す。なおまた一般に同期機では、ロータは交流電流を流す電機子としてステータは直流電流を流す界磁とする場合と、逆にロータを界磁としてステータを電機子とする場合とがあるが、図 5 ~ 図 8 では前者の例、すなわちロータの電機子コイルおよびステータの界磁コイルとしてそれぞれ超電導コイルを用いた例を示す。

20

【0004】

図 5 ~ 図 7 において、全体として環状をなすハウジング 1 を貫通するように回転出力軸 3 がベアリング 5 を介して取付けられており、ハウジング 1 内には、回転出力軸 3 の外周上に固定された電機子としてのロータ（回転子）7 と、ハウジング 1 の内面に固定された界磁としてのステータ（固定子）9 とが配設されている。

【0005】

ロータ（電機子）7 は、外ケース 11 A と内ケース 11 B とからなる 2 重壁構造をなす全体として環状のロータケース 11 の内側（内ケース 11 B の内側）に、8 個もしくはその倍数の個数の超電導コイル（電機子コイル）13 を周方向に等間隔に配列した構成とされており、さらに内ケース 11 B 内には、例えば液体窒素等の冷却媒体 15 が充填されている。また外ケース 11 A と内ケース 11 B との間の空間は、真空断熱層 17 とされている。

30

【0006】

一方ステータ（界磁）9 も、ほぼ同様な構成とされている。すなわち、外ケース 19 A と内ケース 19 B とからなる 2 重壁構造をなす全体として環状のステータケース 19 の内側（内ケース 19 B の内側）に、6 個もしくはその倍数の個数の超電導コイル（界磁コイル）21 を周方向に等間隔に配列した構成とされており、さらに内ケース 19 B 内には、例えば液体窒素等の冷却媒体 23 が充填されている。また外ケース 19 A と内ケース 19 B との間の空間は、真空断熱層 25 とされている。

40

【0007】

そして図 8 に詳細に示すように、ロータ 7 における超電導コイル 13 の一方の磁極面（13 A）に対応するロータケース 11 の一方の面（具体的には外ケース 11 A の一方の端面 27）と、ステータ 9 における超電導コイル 21 の一方の磁極面（21 A）に対応するステータケース 19 の一方の面（具体的には外ケース 19 A の一方の端面 29）とが、狭い空隙 G を隔てて相互に平行に対向する構成とされている。

【0008】

以上のような図 5 ~ 図 8 に示される超電導モータにおいて、例えばロータ（電機子）7 の超電導コイル 13 に交流電流を流して、図 5 中の矢印 A で示すような交番磁場を生起さ

50

せ、ステータ（界磁）9の超電導コイル21に直流電流を流して、図5の矢印Bで示すような一定磁場を生起させれば、一般のモータと同様に同期機として、ロータ7に回転力を与えることができる。

【0009】

なお前述のような図5～図8の例では、ロータ7を電機子として交流電流を流し、ステータ9を界磁として直流電流を流しているが、逆にロータ7を界磁として直流電流を流し、ステータ9を電機子として交流電流を流しても良いことはもちろんである。但しその場合は、ロータ7の超電導コイル（界磁コイル）13の数は6個あるいはその倍数とし、ステータ9の超電導コイル（電機子コイル）21の数は8もしくはその倍数とするのが通常である。

10

【0010】

なおまた、以上の例においては、ロータ7とステータ9との両者（電機子コイルおよび界磁コイル）に超電導コイルを用いているが、いずれか一方、例えばロータ7に常磁性コイルを用いて、ステータ9に超電導コイルを用いたり、逆にステータ9に常磁性コイルを用いて、ロータ7に超電導コイルを用いることもある。そしてこのようにロータ7とステータ9のうち、いずれか一方に常磁性コイルを用いる場合は、その側の真空断熱層を省いて、ケースを1重構造とするのが通常である。

【0011】

さらに、ロータ7とステータ9とのうち、電機子の側のコイル（電機子コイル）を超電導コイルで構成して、界磁を永久磁石で構成することもある。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

良く知られているように、一般に超電導マグネットについては、超電導特性を発揮させるために液体窒素等の冷却媒体により超電導コイルを低温に冷却する必要があり、さらに外部からの熱侵入を防止して、超電導コイルの低温状態を維持するため、超電導コイルの外側を真空断熱層により取囲んでおく必要がある。そして図5～図8の超電導モータでも、ロータ7およびステータ9の内ケース11B、19B内に液体窒素等の冷却媒体15、23を充填するとともに、ロータ7の外ケース11Aと内ケース11Bとの間に真空断熱層17を設け、かつステータ9の外ケース19Aと内ケース19Bとの間に真空断熱層25を設けている。したがってロータ7の超電導コイル13の端面（磁極面）13Aと、ステータ9の超電導コイル21の端面（磁極面）21Aとの間には、外ケース11A、19A間の空隙Gのみならず、真空断熱層17、25が介在することになる。

30

【0013】

ところで超電導モータに限らず一般にモータにおいては、十分な回転出力を発生させるためには、相互に対向するロータ側の磁極面とステータ側の磁極面との間の間隔を可及的に小さくすることが望まれる。これを図5～図8に示される超電導モータに即して言えば、ロータ7の超電導コイル13の磁極端面13Aとステータ9の超電導コイル21の磁極端面21Aとの間の距離L（図8参照）を可及的に小さくすることが望まれる。

【0014】

しかるに、すでに述べたようにロータ7側の超電導コイル13の磁極面13Aとステータ9側の超電導コイル21の磁極面21Aとの間には、図8に詳細に示すように、真空断熱層17、25と、外ケース11A、19A、内ケース11B、19Bのそれぞれの壁とが介在しており、そのため磁極面13A、21A間の距離Lをある程度以上薄くすることは困難であった。

40

【0015】

すなわち、磁極面13A、21A間の距離Lは、ロータ側およびステータ側の外ケース11A、19A、内ケース11B、19Bのそれぞれの壁厚 t_1 、 t_2 、 t_3 、 t_4 と、真空断熱層17、25のそれぞれの厚み t_5 、 t_6 と、空隙Gとの総和（ $t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+G$ ）で決定される。そのうち空隙Gはロータ回転時のぶれや誤差等を考慮すれ

50

ば、ある程度以下に小さくすることは困難であり、通常は例えば5 mm程度とされる。また真空断熱層17, 25の厚み t_5 , t_6 も十分な断熱効果を確保する観点から、ある程度以上薄くすることは困難であり、通常は10 mm程度は必要であるとされている。したがって前記距離 L を小さくするためには、外ケース11A, 19A、内ケース11B, 19Bの壁厚 $t_1 \sim t_4$ を薄くすることが考えられる。従来の超電導モータにおける外ケース11A, 19A、内ケース11B, 19Bの壁厚 $t_1 \sim t_4$ は、例えばそれぞれ30 mm程度であって、これらの壁厚の合計の厚みは120 mmにも達し、したがってこれらの壁厚を薄くすることによる距離 L の縮小効果は大きいと考えられる。しかしながら、外ケース11A, 19A、内ケース11B, 19Bのうちでも、特に外ケース11A, 19Aは、その壁厚 t_1 , t_2 を薄くした場合、次のような問題が発生する。

10

【0016】

すなわち、ハウジング1内における外ケース11A, 19Aの外側の空間は大気圧となっている一方、外ケース11A, 19Aの内側、すなわち真空断熱層17, 25の部分は真空となっているため、外ケース11A, 19Aの壁には外側から内側へ向けて大気圧分の差圧が加わり、そのため外ケース11A, 19Aの壁厚を小さくすれば、その剛性が低くなって、図8の鎖線で示すように外ケース11A, 19Aの壁が前述の差圧により内側へ変形してしまうおそれがある。そして外ケース11A, 19Aが極端に内側へ変形すれば、外ケース11A, 19Aの内面が内ケース11B, 19Bの外面に接触してしまい、その結果断熱効果が損なわれてしまう。したがって外ケース11A, 19Aの壁厚 t_1 , t_2 は、実際にはある程度以上薄くすることは困難であった。

20

【0017】

したがって以上から、図5～図8に示すような従来の超電導モータにおいては、ロータ7の超電導コイル13の磁極面13Aとステータ9の超電導コイル21の磁極面21Aとの間の距離 L を小さくするにも限界があり、距離 L を小さくして超電導モータの回転出力を高めるにも限界があったのが実情である。

【0018】

この発明は以上の事情を背景としてなされたもので、超電導コイルを断熱するための真空断熱層の外側の壁、すなわち外ケースの壁を薄くしても大気圧との差圧による外ケースの壁の変形を招かないようにし、これによって外ケースの壁厚を薄くしてロータ、ステータの磁極面間の距離を従来よりも格段に小さくし得るようになし、もって超電導モータとしての回転出力を増大させ得るようにした超電導モータを提供することを目的とするものである。

30

【課題を解決するための手段】**【0019】**

この発明の超電導モータは、基本的には、請求項1で規定したように、磁極面側が相互に平行に空隙を隔てて対向するロータとステータとのうち、少なくとも一方の電機子コイルもしくは界磁コイルとして、超電導コイルが使用されており、かつその超電導コイルは、外ケースと内ケースとの内外2重壁構造のケースにおける内ケースの内側に収納され、その内ケース内には、超電導コイルを冷却するための冷却媒体が充填されており、さらに外ケースと内ケースとの間の空間が真空断熱層とされた超電導モータにおいて、前記超電導コイルを収納したケースの外ケース内には、ステータとロータとが対向する方向に沿って伸長されかつ内ケースおよび超電導コイルの内周側を貫通する柱状体が配設されており、その柱状体の両端が外ケースの内面に接して、その柱状体により外ケースの内側への変形を防止するように構成したことを特徴とするものである。

40

【0020】

また請求項2の発明は、請求項1に記載の超電導モータにおいて、前記柱状体の両端が外ケースの内面に固定されていることを特徴とするものである。

【0021】

さらに請求項3の発明は、請求項1に記載の超電導モータにおいて、前記内ケースの内側における柱状体の外周面側の部分に、柱状体を取囲むように真空断熱層が形成されてい

50

ることを特徴とするものである。

【0022】

さらにまた請求項4の発明は、請求項1に記載の超電導モータにおいて、前記柱状体が中空パイプによって構成されていることを特徴とするものである。

【0023】

またさらに請求項5の発明は、請求項4に記載の超電導モータにおいて、前記中空パイプの内側に磁性材が配設されていることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0024】

この発明の超電導モータにおいては、超電導コイルに対する外部からの熱侵入防止のための真空断熱層の外側の壁、すなわちステータもしくはロータの外ケースの壁の内側への変形が、柱状体によって抑止されるため、大気圧との差圧により外ケースの内面が内ケースの外面に接触してしまうことを有効に防止でき、そのため外ケースの厚みを従来よりも格段に薄くすることができ、その結果ステータとロータとの磁極面間の距離を従来よりも格段に小さくして、モータとしての回転出力を増大させることができる。

【実施例】

【0025】

図1～図3にこの発明の超電導モータの基本的な実施例を示す。なおこの図1～図3の実施例は、図5～図8に示す従来技術と同様に、ロータおよびステータの両者に超電導コイルを用いて、ロータを電機子、ステータを界磁とした例、すなわちロータの電機子コイルとステータの界磁コイルとをそれぞれ超電導コイルで構成した例として示すものである。また図1～図3において、図5～図8に示される従来技術の超電導モータと同一の構成要素については同一の符号を付し、その説明は省略する。

【0026】

図1～図3において、ロータ7の外ケース11A内には、各超電導コイル13の内周側を貫通しかつ内ケース11Bの壁を貫通するように、ロータ7とステータ9とが対向する方向（それぞれの磁極面が対向する方向）に沿って伸張するFRP等からなる柱状体29が、各超電導コイル13に対応して配設されている。そして各柱状体29の両端は、外ケース11Aの内面（平行な2面）に接している。ここで、柱状体29の両端は外ケース11Aの平行な2面の壁の内面側に形成した凹部に係合させるだけでも良いが、通常は接着剤等により固定しておくことが望ましい。さらに内ケース11Bの内側の部分における柱状体29の外周面側には、筒状に真空断熱層31が形成されており、この筒状真空断熱層31は、外ケース11Aと内ケース11Bとの間の真空断熱層17に連通している。なお各筒状真空断熱層31と内ケース11B内の液体窒素等の冷却媒体充填空間との間は、筒状の隔壁33によって隔てられている。

【0027】

またステータ9の側も、同様に柱状体35を設けた構成とされている。すなわち、ステータ9の外ケース19A内には、各超電導コイル21の内周側を貫通しかつ内ケース19Bの壁を貫通するように、ロータ7とステータ9とが対向する方向（それぞれの磁極面が対向する方向）に沿って伸張する柱状体35が、各超電導コイル21に対応して配設されている。そして各柱状体35の両端は、外ケース19Aの内面（平行な2面）に接している。ここで、柱状体35の両端は外ケース19Aの平行な2面の壁の内面側に形成した凹部に係合させるだけでも良いが、通常は接着剤等により固定しておくことが望ましい。さらに内ケース19Bの内側の部分における柱状体35の外周面側には、筒状に真空断熱層37が形成されており、この筒状真空断熱層37は、外ケース19Aと内ケース19Bとの間の真空断熱層25に連通している。なお各筒状真空断熱層37と内ケース19B内の液体窒素等の冷却媒体充填空間との間は、筒状の隔壁39によって隔てられている。

【0028】

以上のような図1～図3に示される超電導モータにおいて、ハウジング1内におけるロータ7の外ケース11Aおよびステータ9の外ケース19Aの外側の空間は、外部の大気

10

20

30

40

50

とベアリング5の部分を通じて連通しているから、その空間には大気圧が加わっている。一方、ロータ7およびステータ9の各外ケース11A, 19Aの内側は真空断熱層17, 25が位置しているから、その内側は真空となっている。したがって外ケース11A, 19Aの壁には、大気圧分の差圧が外側から内側に向かって加わることになる。しかるに、図1~図3の超電導モータにおいては、ロータ7の8個の超電導コイル13のそれぞれに対応する位置に柱状体29が配設され、また同様にステータ9の側の6個の超電導コイル21のそれぞれに対応する位置に柱状体35が配設されており、これらの柱状体29, 35が、その軸線方向(縦方向)の剛性により、ロータ7、ステータ9の外ケース11A, 19Aの平行な2面の間での突っ張りの機能を果たし、前述の大気圧分の差圧により外ケース11A, 19Aが内側に変形してしまうことを防止することができる。したがって外ケース11A, 19Aは、その壁自身の厚みにより前述の大気圧分の差圧による変形を防止する必要がなくなるため、外ケース11A, 19Aの壁厚を従来よりも格段に薄くし、例えば従来は30mm程度の厚みが必要だったのに対し、5mm程度まで薄くすることができる。したがって図5~図8に示す従来技術の場合には磁極面13A, 21Aの間の距離Lが145mm程度は必要であったのに対し、この発明の実施例では95mm程度で足りることになり、約35%も距離Lを短縮することが可能となる。

【0029】

なお図示の例では、内ケース11B, 19B内における各柱状体29, 35の外周側に筒状真空断熱層31, 37が設けられているから、外部からの柱状体29, 35を介しての熱侵入は防止することができる。

【0030】

ここで、各柱状体29, 35としては種々の材料を用いることができ、また中空体、中実体のいずれも使用することができるが、通常はFRP等からなる中空パイプを用いることが望ましい。また各柱状体29, 35として非磁性材の中空パイプを用いる場合、その中空パイプの内側にケイ素鋼等の磁性材を配しても良く、その場合には中空パイプの内側の磁性材が各超電導コイル13, 21に対応する鉄心(コア)の機能を果たすため、より強い磁界を生起させることができる。

【0031】

なおここで、前述の例とは逆に、ロータ7を界磁として6個もしくはその倍数の超電導コイル(界磁コイル)13で構成し、ステータ9を電機子として8個もしくはその倍数の超電導コイル(電機子コイル)21で構成しても良い。

【0032】

さらに、図1~図3に示す例では、ロータ7とステータ9との両者に超電導コイルを用いているが、場合によっては一方のみに超電導コイルを用い、他方には常磁性コイルを用いても良い。例えばステータ9を超電導コイルで構成し、ロータ7を常磁性コイルで構成した例を図4に示す。

【0033】

図4において、ステータ9の構成は図1~図3に示した例と同様であるが、ロータ7のコイルとしては、常電導コイル41を用い、かつケース11を1重の構成とし、図1~図3における真空断熱層17を省いたものとしている。この場合、ロータ7のケース11には大気圧分の差圧が加わらないため、ロータ7側には前述のような柱状体を設ける必要はない。

【0034】

逆にロータ7に超電導コイルを用い、ステータ9のコイルとして常磁性コイルを用いることもでき、その場合の例は特に図示しないが、ロータ7は、図1~図3に示される例と同様に構成し、ステータ9は図4の例におけるロータ7に準じた構成とすれば良い。

【0035】

さらに、図1~図3の例では、ロータ7とステータ9のうち、一方のコイルは交流を流す電機子コイルとし、他方のコイルは直流を流す界磁コイルとしているが、界磁の側にはコイルに代えて永久磁石を用いても良いことはもちろんである。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】この発明の一実施例の超電導モータを示す縦断側面図である。

【図2】図1のII-II線における縦断正面図である。

【図3】図1のIII-III線における縦断正面図である。

【図4】この発明の別の実施例の超電導モータを示す縦断側面図である。

【図5】従来の超電導モータの一例を示す縦断側面図である。

【図6】図5のVI-VI線における縦断正面図である。

【図7】図5のVII-VII線における縦断正面図である。

【図8】図5の部分VIIIIを拡大して示す縦断側面拡大図である。

10

【符号の説明】

【0037】

7 ロータ

9 ステータ

11 ロータケース

11A 外ケース

11B 内ケース

13 超電導コイル

15 冷却媒体

17 真空断熱層

20

19 ステータケース

19A 外ケース

19B 内ケース

21 超電導コイル

23 冷却媒体

25 真空断熱層

29 柱状体

31 真空断熱層

35 柱状体

37 真空断熱層

30

G 空隙

フロントページの続き

(73)特許権者 591083244

富士電機システムズ株式会社
東京都品川区大崎一丁目11番2号

(74)代理人 100077573

弁理士 細井 勇

(74)代理人 100120570

弁理士 中 敦士

(74)代理人 100126413

弁理士 佐藤 太亮

(74)代理人 100123009

弁理士 栗田 由貴子

(74)代理人 100083275

弁理士 豊田 武久

(72)発明者 吉田 茂

東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内

(72)発明者 上森 賢悦

東京都品川区小山一丁目3番26号 大陽日酸株式会社内

(72)発明者 竹田 敏雄

東京都千代田区大手町二丁目2番1号 石川島播磨重工業株式会社内

審査官 安食 泰秀

(56)参考文献 特開昭58-58860(JP,A)

特開2003-158867(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02K 55/02