

(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2010-4646

(P2010-4646A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02K 55/02 (2006.01)	H02K 55/02 Z A A	4 M 1 1 4
H01F 6/06 (2006.01)	H01F 5/08 F	5 H 6 5 5
H01L 39/04 (2006.01)	H01L 39/04	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2008-160706 (P2008-160706)
 (22) 出願日 平成20年6月19日 (2008.6.19)

(71) 出願人 000231235
 大陽日酸株式会社
 東京都品川区小山一丁目3番26号
 (71) 出願人 000000099
 株式会社 I H I
 東京都江東区豊洲三丁目1番1号
 (74) 代理人 100077573
 弁理士 細井 勇
 (74) 代理人 100120570
 弁理士 中 敦士
 (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

最終頁に続く

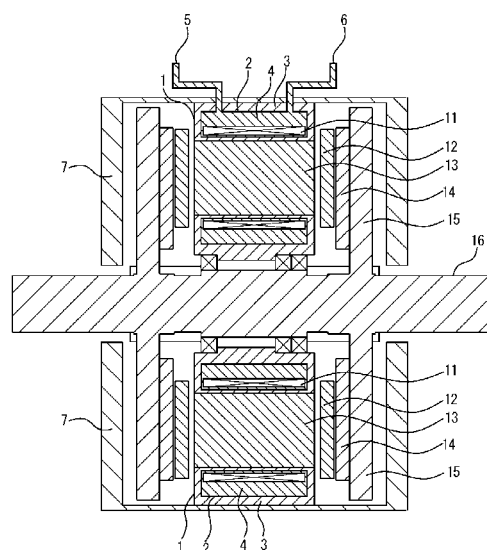
(54) 【発明の名称】 超電導回転機器

(57) 【要約】

【課題】回転子軸方向における鉄芯の長さを内槽に収納されている超電導コイルの軸方向の幅に近づけて、漏れ磁場を少なくすることが可能な超電導回転機器を提供する。

【解決手段】磁極面側が相互に平行に空隙を隔てて対向する回転子と固定子のうち、少なくとも固定子側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに配設されており、かつ該超電導コイルが外槽と、外形の全体形状が円筒形状の容器である内槽との内外2重壁構造槽の内槽内に収納されていて、該内槽内には超電導コイルを冷却するために外槽壁と内槽壁に配設された冷却媒体配管用貫通継手を介して循環される冷却媒体が収容されており、更に外槽と内槽との間の空間が真空断熱層とされた超電導回転機器であって、該内槽の胴部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手が配設されていることを特徴とする超電導回転機器。

【選択図】図2



【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回転子と固定子のうち、少なくとも固定子側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに配設されており、かつ該超電導コイルが外槽と、外形の全体形状が円筒形状の容器である内槽との内外 2 重壁構造槽の内槽内に収納されている、

該内槽内には超電導コイルを冷却するために外槽壁と内槽壁に配設された冷却媒体配管用貫通継手を介して循環される冷却媒体が収容されており、更に外槽と内槽との間の空間が真空断熱層とされた超電導回転機器であって、

該内槽の胴部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手が配設されていることを特徴とする超電導回転機器。

10

【請求項 2】

前記内槽が繊維強化プラスチックにより成形された内槽であることを特徴とする請求項 1 に記載の超電導回転機器。

【請求項 3】

前記内槽の胴部の少なくとも一部に平面部を設けて、該平面部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手を配設することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の超電導回転機器。

【請求項 4】

前記内槽の胴部の少なくとも一部に設けられた平面部が、該内槽を成形する際に内槽の壁と一体的に成形された平面部であることを特徴とする請求項 3 に記載の超電導回転機器。

20

【請求項 5】

前記内槽の胴部の少なくとも一部に設けられた平面部が、FRP製の座を接着することにより設けられ平面部であることを特徴とする請求項 3 に記載の超電導回転機器。

【請求項 6】

前記超電導回転機器が回転子側に界磁として永久磁石が固定され、固定子側に電機子として超電導コイルが配設されているアキシアル型超電導モータであることを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれか 1 項に記載の超電導回転機器。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、船舶、鉄道、陸上車輛、航空機等に使用される、超電導モータ、発電機等の一部を構成する超電導コイルがFRP製クライオスタット内に収納されている超電導（超伝導といわれることもある。）回転機器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、交流電源を用いる同期機で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。このような超電導体を収納する、外槽と内槽からなり、該外槽と内槽間が真空断熱層とされたFRP製クライオスタットの成形法は特許文献 1～3 等に開示されている。また、FRP製クライオスタットの壁部には、冷却媒体用配管と電流導入端子用の貫通継手を配設する必要がある、このような貫通継手等はクライオスタットに貫通する金属製部材を設け、該部材に貫通継手等を接合して固着されていたが、冷却と昇温時の熱応力等の各種応力により、真空断熱層の真空漏れを引き起こす箇所となっていた。

40

出願人らは、FRP製クライオスタットに金属製部材を固着し、該部材に貫通継手等を接合する場合に真空断熱層の真空漏れを防止する方法について検討を行い、その改良発明は、既に下記特許文献 4 に開示している。

【0003】

通常、超電導モータの例として、例えば同期機において、(i) 界磁に超電導コイル、

50

電機子に常電導コイルを用いる場合、(ii)電機子に超電導コイル、界磁に永久磁石を用いる場合、(iii)電機子、界磁ともに超電導コイルを用いる場合等が考えられる。

出願人らは、先に出願した特許文献5で、電機子と界磁の両者に超電導コイルを用いた超電導モータにおいて、その内ケース(以下、内槽という。)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(以下、外槽という。)と内槽との間の空間が真空断熱層とされ、前記超電導コイルを収納したケースの外槽内には、固定子と回転子とが対向する方向に沿って伸長されかつ内槽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槽の内面に接して、その柱状体により外槽の内側への変形を防止する構成を提案した。このような構成とすることにより、真空断熱層の外側の壁、すなわち外槽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、これによって外槽の壁厚を薄くして回転子、固定子の磁極面間の距離を従来よりも小さくすることができ、その結果、超電導モータとしての回転出力(トルク)を増加させ得ることを可能にした。

10

【0004】

特許文献6には、回転子側に超電導コイルを取り付けた超電導モータの冷却構造として、回転子に貫通させて固定された回転軸の外面に溝が凹設され、冷却手段の冷媒流通管を前記溝内部に挿入配置していることを特徴とする超電導モータが開示されている。

特許文献7には、永久磁石を含む回転子と、電機子巻線を含む固定子とがアキシャル方向に対向する回転界磁型のアキシャルギャップ型モータとして、回転子の軸線方向に固定子を所要の空隙をあけて対向配置し、前記回転子と前記固定子のいずれか一方に複数の界磁体を軸線回りに配置していると共に、いずれか他方に複数の電機子コイルを軸線回りに配置し、前記界磁体と前記電機子コイルの少なくとも一方を超電導材で形成し、磁束方向を軸線方向に向けて配置していることを特徴とする超電導モータが開示されている。

20

【0005】

【特許文献1】特開昭61-210603号公報

【特許文献2】特開2007-035835号公報

【特許文献3】特開2007-210325号公報

【特許文献4】特開2007-214546号公報

【特許文献5】特開2006-187136号公報

【特許文献6】特開2006-187051号公報

【特許文献7】特開2006-204085号公報

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

船舶、鉄道、陸上車輛、航空機に使用される超電導モータ等の超電導回転機器の超電導コイルが収納されるクライオスタットの内槽は、通常その外形形状が円筒形状(具体例としては、蓮根を中心軸と垂直方向に切り取った形状)をした容器であり、該容器の胴部は曲面形状であるので、従来、全ての金属製貫通継手は超電導モータ等の回転軸が垂直方向の場合には、上部蓋部又は下部の底板部、又は該回転軸が水平方向の場合には円筒形状の平面部である左右側面部(以下、超電導モータ等の回転軸が垂直の場合の該上部蓋部又は下部の底板部と、該回転軸が水平の場合の該左右側面部を併せて「円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部」という。)に配設され、外槽と内槽間の真空断熱層の真空漏れを防止して安定的な運転を可能としていた。

40

また、超電導回転機器の外槽胴部に金属製貫通継手が設けられている場合においても、外槽と内槽間の真空断熱層領域内において冷却媒体用配管及び電流導入コードを内槽外面部近傍に沿わせて、内槽の円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手が配設されていた。

【0007】

例えば、特許文献6には、回転子に超電導コイルを取り付けた超電導モータの冷却構造であって、回転子に貫通させて固定された回転軸の外面に溝が凹設され、該溝に挿入した

50

冷媒循環パイプに冷媒を流通させて、該冷媒により超電導コイルを冷却する、超電導モータの冷却構造が開示されている。また、特許文献 7 には、貫通継手が両側面に配設された構造が開示されている。

上記特許文献 6、7 のいずれにおいても金属製貫通継手を内槽の胴部に配設することは開示されていない。

【0008】

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、相互に対向する回転子側の磁極面と固定子側の磁極面との間の間隔（該間隔は、内槽と外槽の壁厚、真空断熱層、及び空隙よりなる）を可及的に小さくすることが望ましい。

また、従来技術において金属製貫通継手は、上述したように「円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部」の F R P 製平板部に設けられていたが、特に貫通継手を「円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部」のいずれかの一箇所に集めることにより、他方の真空断熱槽の厚みを極小化する構造が考慮されていた。

特許文献 5 には、回転子側の磁極面と固定子側の磁極面との間の間隔を小さくするために、内槽と外槽の壁厚を小さくし、それにより剛性が低下して外槽が内槽側に変形して、内槽の外面に接触して断熱効果が損なわれるのを防止するために、超電導コイルを収納したケースの外槽（外ケース）内には、固定子と回転子とが対向する方向に沿って伸長されかつ内槽（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を配設することが開示されている。

【0009】

しかし、貫通継手を配置している側では、これらの継手を介して冷却媒体流入、流出用配管や電流導入端子（電流リード線）が接続されているので、該側における、内槽壁と対向する外槽壁との間の真空断熱層に冷却媒体流入、流出用配管や電流導入端子が付設される結果、真空断熱層が大きな厚み（例えば 50 mm 程度）となる問題が残されていた。例えば、特許文献 5 においては、柱状体は超電導コイルの内周側を貫通して外槽の両内面に接しているので磁束線を形成する柱状体内側に収納された鉄芯は、超電導コイルよりも軸線方向の長さがより長くなるという問題点があった。

特許文献 5 に開示された上記構造を適用した超電導回転機の断面の概念図を図 1 に示す。図 1 に示すように、回転子を界磁として固定子を電機子とする同期機において、超電導コイルと鉄芯は十分に近接しているものの、鉄芯の長さは、円筒容器の回転子軸方向の真空断熱層の厚みが大きいことに起因して、固定子である超電導コイルの回転軸方向の幅に比べて長くなり、鉄芯の長さが長くなれば磁気抵抗が大きくなり、漏れ磁束が増えて回転出力の向上が図れないという問題点があった。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明は以上の事情を背景としてなされたもので、外槽と、全体として円筒形状の容器である内槽からなる内外 2 重壁構造槽の内槽の内側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに収納されている、超電導回転機器において、該内槽の円筒形状の胴部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手を配設することにより、内槽両側面の平板部とそれぞれ対向する外槽との間の真空断熱層の厚みを小さくして超電導コイルと永久磁石とを近接させると共に、回転子軸方向における鉄芯の長さを超電導コイルの軸方向の幅に近づけることが可能となり、その結果、磁路が有効に形成されて回転出力を向上できることを見出し、本発明を完成させた。

【0011】

すなわち、本発明は、以下の（１）ないし（６）の記載を要旨とする発明である。

（１）磁極面側が相互に平行に空隙を隔てて対向する回転子と固定子のうち、少なくとも固定子側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに配設されており、かつ該超電導コイルが外槽と、外形の全体形状が円筒形状の容器である内槽との内外 2 重壁構造槽の内槽内

10

20

30

40

50

に収納されていて、該内槽内には超電導コイルを冷却するために外槽壁と内槽壁に配設された冷却媒体配管用貫通継手を介して循環される冷却媒体が収容されており、更に外槽と内槽との間の空間が真空断熱層とされた超電導回転機器であって、該内槽の胴部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手が配設されていることを特徴とする超電導回転機器（以下、第１の態様ということがある）。

（２）前記内槽が繊維強化プラスチックにより成形された内槽であることを特徴とする前記（１）に記載の超電導回転機器（以下、第２の態様ということがある）。

（３）前記内槽の胴部の少なくとも一部に平面部を設けて、該平面部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手を配設することを特徴とする前記（１）又は（２）に記載の超電導回転機器（以下、第３の態様ということがある）。

（４）前記内槽の胴部の少なくとも一部に設けられた平面部が、該内槽を成形する際に内槽の壁と一体的に成形された平面部であることを特徴とする前記（３）に記載の超電導回転機器（以下、第４の態様ということがある）。

（５）前記内槽の胴部の少なくとも一部に設けられた平面部が、ＦＲＰ製の座を接着することにより設けられ平面部であることを特徴とする前記（３）に記載の超電導回転機器（以下、第５の態様ということがある）。

（６）前記超電導回転機器が回転子側に界磁として永久磁石が固定され、固定子側に電機子として超電導コイルが配設されているアキシアル型超電導モータであることを特徴とする前記（１）ないし（６）のいずれかに記載の超電導回転機器（以下、第６の態様ということがある）。

【発明の効果】

【００１２】

上記第１の態様に記載の「超電導回転機器」は、超電導コイルが収納されている内槽の胴部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用の貫通継手が配設されており、これまで「円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部」に配設していた冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用の貫通継手を該円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部に配設する必要がないので、該部（前記上部蓋部もしくは下部底板部、又は側面部）における内槽と外槽間の真空断熱層の厚みを小さくすることができ、それにより、超電導回転モータ等における該モータの電機子コイルである中空円筒形状の超電導コイル軸方向の幅（ドライブシャフトの回転軸方向の幅）に、界磁である両面の永久磁石間に配設されていて該超電導コイルの中空部内で磁路を形成する鉄芯長さを近づけることが可能になり、その結果、磁束漏れが抑制可能になり磁路がより有効に形成されて回転出力を更に向上することができる。

【００１３】

上記第２の態様に記載の「超電導回転機器」における内槽は、繊維強化プラスチックにより成形されているので、金属材料を使用した場合に生ずる磁性の変動に伴い、その内部に渦電流が発生して磁場に歪を生じる等の不都合を回避することができる。

上記第３の態様に記載の「超電導回転機器」は、超電導コイルが収納されている外形の形状が全体として円筒形状（具体的には、図３、４に示すように、蓮根を中心軸と垂直方向に切り取った形状である、以下、「外形が円筒形状」ということがある。）の内槽の胴部の少なくとも一部に平面部が設けられているので、該平面部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用の貫通継手を配設することにより、真空漏れを有効に防ぐことが可能となる。

上記第４の態様に記載の「超電導回転機器」における内槽の胴部の少なくとも一部に設けられた平面部は、該内槽を成形する際に内槽の胴部と一体的に形成された平面部であるので、該平面部を形成するための接続部、接着部分等を設ける必要がなく、真空漏れをより減少でき、熱応力等の各種応力の影響が減少されるのでより長期間の安定運転が可能となる。

【００１４】

上記第５の態様に記載の「超電導回転機器」における内槽の胴部の少なくとも一部に設

10

20

30

40

50

けられた平面部は、FRP製の座を接着することにより設けられる平面部であるので、該平面部の形成場所の選定が比較的容易で、かつ胴部曲面に平面部を断続的に、後加工で形成することができる。

上記第6の態様に記載の「超電導回転機器」は回転子側に界磁として永久磁石が固定され、固定子側に電機子として超電導コイルが配設されているアキシャル型超電導モータであるので、超電導回転モータ等における該モータの電機子コイルである中空円筒形状の超電導コイルの回転軸方向の幅に、界磁である両面の永久磁石間に配設されていて該超電導コイルの中空部内で磁路を形成する鉄芯長さを近づけることが可能になり、その結果磁路がより有効に形成されて回転出力を向上することが可能になる。

【発明を実施するための最良の形態】

10

【0015】

本発明の「超電導回転機器」は、磁極面側が相互に平行に空隙を隔てて対向する回転子と固定子のうち、少なくとも固定子側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに配設されており、かつ該超電導コイルが外槽と、外形の全体形状が円筒形状の容器である内槽との内外2重壁構造槽の内槽内に収納されていて、該内槽内には超電導コイルを冷却するために外槽壁と内槽壁に配設された冷却媒体配管用貫通継手を介して循環される冷却媒体が収容されており、更に外槽と内槽との間の空間が真空断熱層とされた超電導回転機器であって、該内槽の胴部の少なくとも一部に平面部を設けて、該平面部に冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用貫通継手が配設されていることを特徴とする。

20

【0016】

以下、本発明の超電導回転機器について説明する。

本発明の超電導回転機器は、磁極面側が相互に平行に空隙を隔てて対向する回転子と固定子のうち、少なくとも固定子側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに配設されており、かつ該超電導コイルが外槽と、全体として円筒形状の容器である内槽との内外2重壁構造槽の内槽内に収納されていて、該内槽内には超電導コイルを冷却するために外槽壁と内槽壁に配設された冷却媒体配管用貫通継手を介して循環される冷却媒体が収容されており、更に外槽と内槽との間の空間が真空断熱層とされた超電導回転機器に適用が可能であり、超電導モータに限定されず、超電導発電機にも適用が可能である。

【0017】

又、例えば、超電導モータにおいては、少なくとも固定子側に電機子として超電導コイルが鉄芯の周りに配設されており、かつ該超電導コイルが全体として円筒形状の容器である内槽内に収納されている構造であれば回転子側が永久磁石又は超電導コイルのいずれの場合でも適用が可能である。従来、回転子（界磁）を超電導コイルで製作し、固定子（電機子）を銅コイルで製作するのが一般的であったが、本発明の超電導回転機器では固定子（電機子）に超電導コイルを用い、回転子（界磁）に永久磁石を用いるアキシャル型にも適用することが可能である。以下に、本発明の超電導回転機器の一例として、図2～5を用いて説明する。

30

尚、図2～5は本発明の例示であり、本発明はこれらの図に示す超電導回転機器に何ら限定されるものではない。

【0018】

40

〔1〕本発明の超電導回転機器の構造例

本発明の超電導回転機器の構造例として、図2に交流電源を用いる同期機における固定子側には鉄芯13の周りに電機子コイルとして超電導コイル11が配設され、回転子には界磁として永久磁石12が固定されているアキシャル型超電導モータの断面概念図を示す。

図2において、磁極面側が回転子側の界磁である永久磁石12と固定子側の電機子コイルである超電導コイル11が相互に平行に空隙を隔てて対向している。

外槽1と内槽2とからなる内外2重壁構造槽の内槽の内側に該超電導コイル11が収納されていて、その内槽2内には超電導コイル11を冷却するために外槽壁と内槽壁に配設された冷却媒体配管用貫通継手を介して循環される冷却媒体4が収容されており、更に外

50

槽 1 と内槽 2 の間に真空断熱層 3 が設けられている。尚、冷却媒体としては、液体ヘリウム、液体窒素等が使用可能であるが液体窒素の使用が好ましい。また、回転子側には、ドライブシャフト 16 にメインヨーク 15 とサブヨーク 14 を介して永久磁石 12 が固定されている。

【0019】

〔2〕本発明の超電導回転機器の内槽と外槽

超電導コイルが収納される内槽は、液体窒素等の冷却媒体により電導コイルを冷却すると共に、磁束の中心部に位置し、かつ外槽との間の空間部に真空断熱層を形成している。従って、該内槽は、必要な機械的強度と断熱性を維持することにより、冷却媒体のガス漏れと液漏れを防止し、更に、電機子である超電導コイルからの磁束が界磁である永久磁石又は超電導コイルに到達する途中で漏れるのを極力防止できる構造にする必要がある。

また外槽は、その内部に内槽と鉄芯が配設されており、内槽と同様に上記真空断熱層の形成、及び電機子から界磁に到達する磁束が途中で漏れるのを極力防止する構造とする必要がある。

従って、内槽及び／又は外槽が金属材料で形成されていると、磁性の変動に伴い、その内部に渦電流等が発生して磁場に歪を生じるおそれがあるので、繊維強化プラスチック（FRP）で形成されることが望ましい。

【0020】

このような繊維強化プラスチック（FRP）として、ガラス繊維強化プラスチック、ポロン繊維強化プラスチック、及びアラミド繊維強化プラスチックから選択された少なくとも 1 種の繊維強化プラスチックを使用することが好ましく、実用性の点からガラス繊維強化プラスチックが好ましい。尚、炭素繊維強化プラスチックにより内槽を形成することは可能であるが導電性を有しているので、上記不都合を生ずるおそれがある。

FRP製のクライオスタットを成形する場合には、金属の場合と異なり溶接が不可能であるために、例えば、クライオスタットの本体となる有底筒状の容器本体部と、該容器本体部の上部開口に被着される板状蓋部材とを組み合わせ、これらを接着して製作することができる（例えば、特許文献 1 参照）。

【0021】

また、型枠外筒、型枠内筒、型枠側板を組み立てて内槽枠体を作製し、この内槽枠体の表面全体に FRP プリプレグを積層し、このプリプレグを硬化させて FRP 製クライオスタットを製造することができる（例えば、特許文献 2 参照）。これらの型枠部材は、ガラス繊維などの補強繊維のクロスあるいはマットに、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂などの熱硬化性樹脂を含浸し、硬化させて得られた筒状もしくは板状の成型物である。FRP プリプレグの一体成形によって、また、高い内圧や熱応力が加わっても、液漏れ、ガス漏れを防止でき、また、高い内圧や熱応力が加わっても、液漏れ、ガス漏れを防止できる。

【0022】

更に、上記該容器本体部と該容器本体部の上部開口に被着される板状蓋部材に相当する FRP 製部材をそれぞれ接合部近傍外面にテーパ面を設けて、両 FRP 製部材の端面を内外に重合させる重合片を形成し、各 FRP 製部材の重合片を重合し、接合した両 FRP 製部材のテーパ面にプリプレグを貼り付けて積層し、積層したプリプレグを脱気して硬化させる FRP 製クライオスタットを製造することができる（例えば、特許文献 3 参照）。さらに、気体不透過性フィルムを間挿したものでは、クライオスタットとしたときに内槽から真空断熱層への気体の移行が抑えられ、真空断熱槽の断熱性能の低下が防止できる。

【0023】

〔3〕内槽の胴部の一部に平面部の設置と、該平面部に貫通継手の配設

内槽 2 の胴部の一部に平面部を設置し、該平面部に貫通継手を配設する例を図 3、及び図 4 を用いて説明する。図 3（A）及び図 4（A）はそれぞれ内槽の平面図であり、図 3（B）及び図 4（B）はこれらの斜視図である。

内槽 2 は、図 3 (B) 及び図 4 (B) に示すように、全体として外形が円筒形状の容器であり、その円筒形状の中心軸を中心としてドライブシャフト配設部 2 7 が設けられ、及び複数の中空円筒形状の各超電導コイル 1 1 の中心軸を中心として鉄芯配設部 2 8 が設けられている。

従来の内槽において「円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部」に配設された冷却媒体配管用の貫通継手と電流導入端子用の貫通継手を、本発明において内槽の胴部に配設する方法として、以下の (a) ~ (c) に例示するが、本発明における平面部の形成方法はこれらの例示に限定されるものではない。尚、胴部曲面の曲率半径が十分に大きい場合には、特に平面部を設けずに貫通継手を配設することが可能な場合がある。

10

【 0 0 2 4 】

(a) 内槽の型枠の胴部に予め平面部を設けておいて、該型枠の上にプリプレグを積層後、硬化させて、内槽 2 の胴部の一部に平面部 2 5 を胴部と一体的に成形する (図 3 参照)

。

(b) 内槽 2 の胴部の曲面の一部に、後加工により、F R P 製の座 (ノズル台) を接着して平面部 2 9 を設ける (図 4 参照) 。

(c) 内槽の型枠を使用してプリプレグを積層させて硬化させる際に、平面部を設ける胴部に予めプリプレグを大目に貼りつけておき、硬化後に後加工として切削加工により平面部を設ける (図示せず) 。

20

【 0 0 2 5 】

F R P 製内槽 2 は、液体窒素等で冷却される部分であり大きな温度変化を受けるので、上述したように内槽 2 への貫通継手の配設は真空漏れを防止するために十分な配慮が必要であるが、一方、外槽 1 は内槽 2 と異なり液体窒素で直接冷却されることはないので、外槽 1 に配設する貫通継手部の真空漏れ防止は比較的容易であり、内槽 2 の平面部に配設された貫通継手部から配管、配線をそれぞれ経由して外槽 1 の胴部に配設された貫通継手に接続することが可能である。

【 0 0 2 6 】

(1) 内槽の胴部の一部に平面部の設置

通常、外槽 1 と内槽 2 は、共に F R P 製であり、図 3 に示す平面部 2 5 は、成形時に胴部の少なくとも一部を平面部 2 5 を形成するように成形することができる。この場合、内槽の機械的強度、貫通継手の配設等を考慮すると、内槽 2 の当該平面部 2 5 は外表面部と内表面部が互いに平行面を形成するように成形することが望ましく、また、該平面部は内槽の外表面部が図 3 (A) 及び (B) に示すように円筒形状の軸方向に平面形状が形成されるように成形することが望ましい。

30

また、図 4 に示すように従来成形されていた F R P 製円筒形状の胴部の一部に F R P 製の座を接着することにより、平面部 2 9 を設けることができる。この場合、該座における内槽と当接する面の形状は、接着強度を高めるためには、内槽胴部外表面の曲面と同じ曲率半径の曲面を形成することが望ましい。また、座に使用する材料は、内槽 2 に使用する材料と同様のものを使用すると両材料間における線膨張率の差を少なくすることが可能になり、更に接着の際に両接着面における接着剤の濡れと接着強度を向上する上でも好ましい。

40

尚、接着に使用する接着剤は使用する F R P の材料に適合する接着剤をエポキシ系用接着剤、ウレタン系用接着剤、不飽和ポリエステル系用接着剤等から選択して使用することができる。

本発明の超電導回転機器を長期間、安定的に運転することを考慮すると、接着剤を用いずに胴部の一部に胴部と一体的に平面部を成形する前記 (a) に示す態様は熱応力等の各種応力への対応性、接着剤の劣化等を考慮すると真空漏れをより効果的に防止することが可能である。

【 0 0 2 7 】

(2) 該平面部に貫通継手の配設

50

上記したようなFRP製クライオスタットの壁面に、冷却媒体用の配管や電流導入端子用等の金属製継手を貫通状態で取り付け際には、FRP製部材に形成した雌ネジ孔に金属製継手の雄ネジ部を接着剤を介して螺着することが一般的である（例えば、特許文献4参照）。

内槽2への貫通継手の配設方法として、例えば冷却媒体配管用貫通継手は、特許文献4の図5～8に示されているように、金属製継手を鍔付き雄ねじ部材の継手挿入孔に挿入して固着し、金属製継手を固着した鍔付き雄ねじ部材をFRP製容器壁面に形成した雌ネジ孔に接着剤を介して螺着し、雌ネジ孔から突出した鍔付き雄ねじ部材の雄ねじ部に鍔付き雌ねじ部材を螺着し、両部材の鍔部で容器壁を挟着した状態とし、次いで、鍔部と容器壁面とを覆うようにプリプレグを貼り付けて積層した後、プリプレグを脱気して硬化させることにより固定される。

【0028】

また、特許文献3に示されているように、貫通継手を配設するための通孔やネジ孔等の貫通孔を形成した後適宜な手段で固着することができる。具体的には、例えば冷却媒体配管用貫通継手は、内槽2の挿入孔に挿入して仮組した状態で接着剤により接着して固定することが可能であり、電流導入端子用貫通継手は、内槽2の挿入孔に挿入して接着剤により接着して固着するか、又は内槽2内に埋め込まれる該貫通継手部分を雄ネジ形状にした部材を用いて雄ネジ孔に螺着させて固着するか、更に接着剤を併用する方法等が挙げられる。

【0029】

円筒形状内槽2の両側面平板部の真空断熱層に、冷却媒体配管用貫通継手や電流導入端子用の貫通継手が配設されない場合には、真空断熱層を従来の50mmから5mm程度にまで薄くすることが可能になる。

一方、胴部の真空断熱層は多少厚みが増加するが、その厚みは鉄芯13の長さに影響しない程度であるので、超電導モータの回転出力を低下させることにはならない。

図2～4に示す、超電導モータにおいて、例えば固定子の電機子の超電導コイルに交流電流を流して、図5中の矢印で示すような交番磁場を生起させれば、界磁の永久磁石との相互作用により一般のモータと同様に同期機として、回転子であるドライブシャフト16に回転力を与えることができる。

【0030】

〔4〕本発明の超電導回転機器の具体例

本発明の超電導回転機器であるアキシャル型超電導モータの内槽の具体例を図2、図3(A)、(B)、及び図4(A)、(B)を用いて説明する。

図2に示す超電導モータは、交流電源を用いる同期機における固定子側に図3と図4に示すように電機子コイルとして超電導コイル11が6個配設され、該固定子の両面に回転子が配設され、該回転子には界磁として永久磁石12がそれぞれ8個ずつ合計16個固定されている（図示していない）アキシャル型超電導モータであり、ケース7内に収納されている。

【0031】

図3(A)及び図4(A)は、アキシャル型超電導モータの内槽の平面図であり、図3(B)及び図4(B)は、該内槽の斜視図である。図3(A)と(B)においては、全体として円筒形状の内槽2の胴部には、軸方向に6箇所の平面部25が設けられている。該平面部25には、冷却媒体の流入口5と流出口6配管用の貫通継手、並びに電流導入端子(U相21、V相22、W相23、及び中性線24)用の貫通継手が布設されている。図3、及び図4に示すような構造を採用することにより、内外槽の両側面の真空断熱層を5mm程度まで狭めることが可能となる。

その結果、前記アキシャル型超電導モータが該モータの電機子コイルである中空円筒形状の超電導コイル11の軸方向の幅(Lcという)と界磁である両面の永久磁石間に配設されていて該超電導コイルの中空部内で磁路を形成する鉄芯13の長さ(Lsという)の比(Ls/Lc)を1.0超で1.3以下とすることが可能であり、このような範囲は超

10

20

30

40

50

電導コイル 11 から永久磁石に到達する磁束が途中で漏れるのを効果的に抑制する点で好ましい。

【0032】

〔5〕本発明の超電導回転機器の特徴

本発明の超電導回転機器の特徴を図 5、及び図 6 を用いて説明する。

図 5 によれば、モータの性能（出力）は永久磁石 12 を通過する超電導コイル 11 により形成される磁束の大きさで決定される。従って、永久磁石に到達する磁束が、途中で漏れることを防ぐ必要がある。この磁束漏れを防ぐ最も有効な手段は、鉄芯 13 と超電導コイル 11 の距離を縮めること及び鉄芯 13 の長さに対応する超電導コイル 11 の軸方向の幅に近づけることである。このような構造とすることにより、図 5 における破線箇所（8 箇所のうち 1 箇所を A 部として示す）に示すように永久磁石上の磁束密度を高くすることができる。

10

【0033】

一方、図 6 に示すように、従来技術である冷却冷媒流出入口 5、6、及び電流導入端子 21～24 を該円筒形状の上部蓋部もしくは下部底板部又は平面部である側面部の真空断熱層部に配設すると、超電導コイルと電磁鋼板は十分に近接しているものの、鉄芯の長さは、内槽側面平板部の真空断熱層の厚みにより、超電導コイルの軸方向の幅に比べて長くなる。その結果、磁束漏れにより鉄芯上の磁束密度は図 6 における破線箇所（8 箇所のうち 1 箇所を B 部として示す）に示すように相対的に低くなる。

尚、通常、磁束線に垂直な面積 S (m^2) の平面を通過する磁束線の数 Φ は、 $\Phi = BS$ で表される。（ここで、 B は、磁束密度であり、 $B = \mu H$ (μ は透磁率で、 H は磁場の強さ (A/m) で示される。)

20

【0034】

超電導コイルに電流を流すことで磁束が発生する。その磁束は電機子鉄芯を通り、鉄芯端面（エアギャップ）に電磁力を発生させる。この電磁力の強さはコイルの巻数と電流の積に比例し、トルクはこの電磁力と鎖交磁束数（鎖交磁束数とは、「永久磁石が作る磁束のうち鉄芯を通るもの、巻線型の場合界磁巻き線が作る磁束のうち電機子鉄芯を通るもの」をいう）に比例する。一方、鉄芯の長さが長くなれば、磁気抵抗が大きくなり、漏れ磁束が増えることは知られている。定性的には、漏れ磁束が増加すると、鎖交磁束数が減少しトルクが低下してしまう。

30

従って、本発明において、鉄芯の長さを超電導コイルの軸方向の幅に近づけることにより、即ち、コイルの巻かれていない鉄芯の部分を少なくすることで、漏れ磁束を防いで鎖交磁束数の減少を防ぐことにより、トルクを向上させることができる。

【0035】

本発明の超電導回転機器で使用可能な冷却媒体としては、特に限定されるものではないが、液体窒素の使用が可能であるので真空断熱構造を簡素化することが可能である。超電導は、電気抵抗をゼロにすることができるため、エネルギー効率を上げることができ、その結果空気中への無駄な熱の放出を防ぐことができる。

また、超電導は従来よりも 200 倍以上の電流を流すことができるので、装置の小型化、軽量化が可能となり、船舶用電機推進装置用モータ、鉄道用モータ、その他種々の用途に使用が可能である。

40

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図 1】従来技術である、超電導回転機の断面概念図である。

【図 2】本発明の超電導回転機器の一例の断面概念図である。

【図 3】本発明の超電導回転機器に配設される内槽の一例の平面図（A）及び斜視図（B）である。

【図 4】本発明の超電導回転機器に配設される内槽の他の例の平面図（A）及び斜視図（B）である。

【図 5】本発明の超電導回転機器の例である超電導モータの断面概念図に磁束線を示した

50

図である。

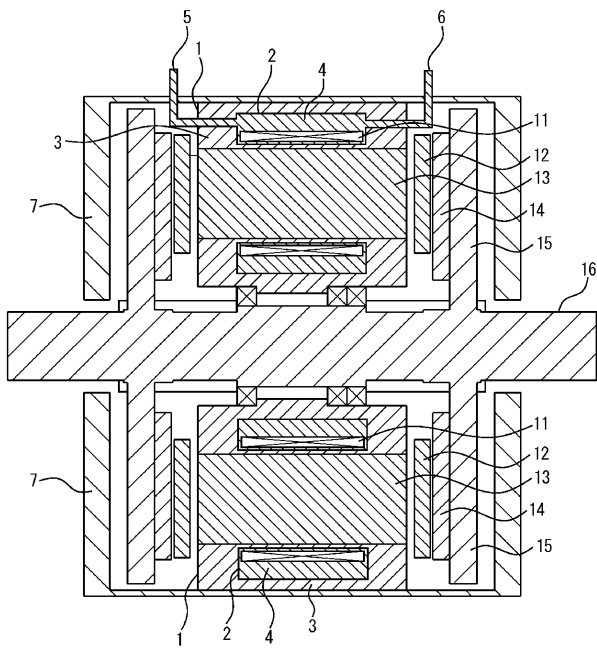
【図 6】従来技術である、超電導モータの断面概念図に磁束線を示した図である。

【符号の説明】

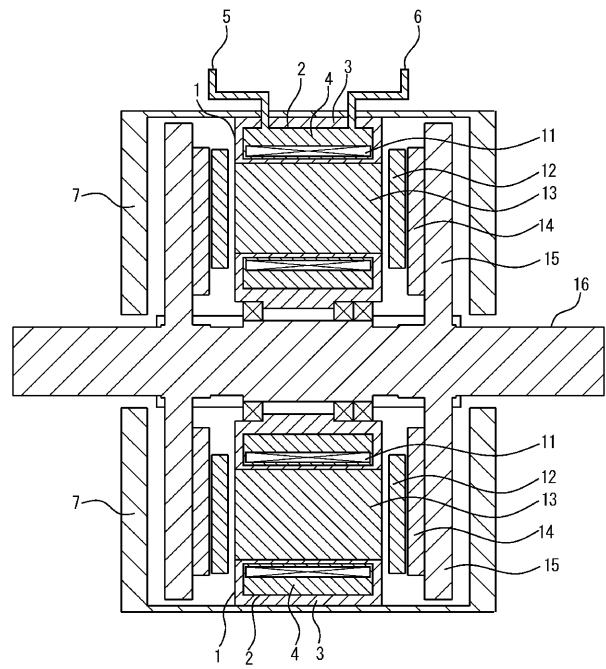
【 0 0 3 7 】

- | | | |
|-----|---------------------------|----|
| 1 | 外槽 | |
| 2 | 内槽 | |
| 3 | 真空断熱層 | |
| 4 | 冷却媒体 | |
| 5 | 冷却媒体流入口 | |
| 6 | 冷却媒体流出口 | 10 |
| 1 1 | 超電導コイル | |
| 1 2 | 永久磁石 | |
| 1 3 | 鉄芯 | |
| 1 4 | サブヨーク | |
| 1 5 | メインヨーク | |
| 1 6 | ドライブシャフト | |
| 2 1 | U 相 | |
| 2 2 | V 相 | |
| 2 3 | W 相 | |
| 2 4 | 中性線 | 20 |
| 2 5 | 平面部 | |
| 2 6 | 冷却媒体配管用貫通継手及び電流導入端子用の貫通継手 | |
| 2 7 | ドライブシャフト配設部 | |
| 2 8 | 鉄芯配設部 | |
| 2 9 | 座部 | |
| 3 1 | 磁束線 | |

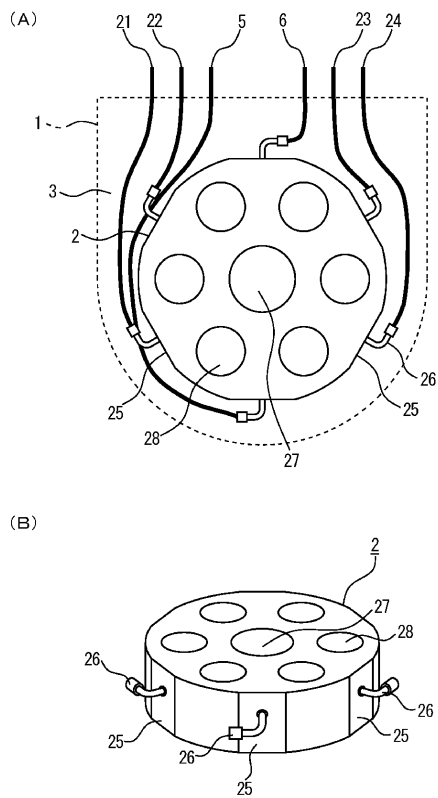
【図 1】



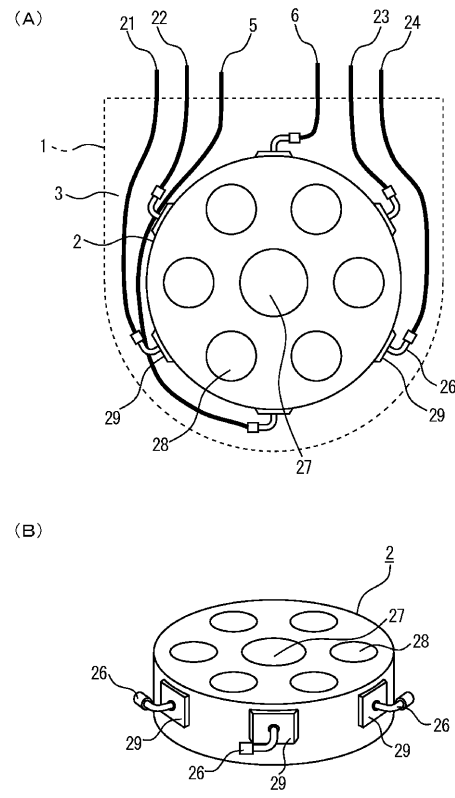
【図 2】



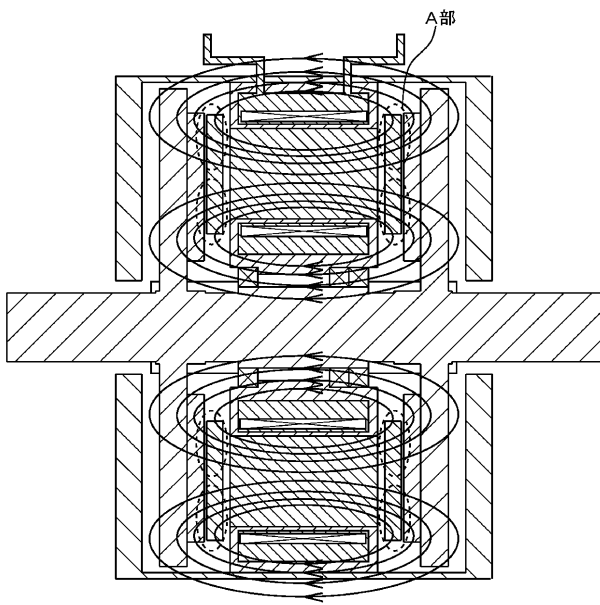
【図 3】



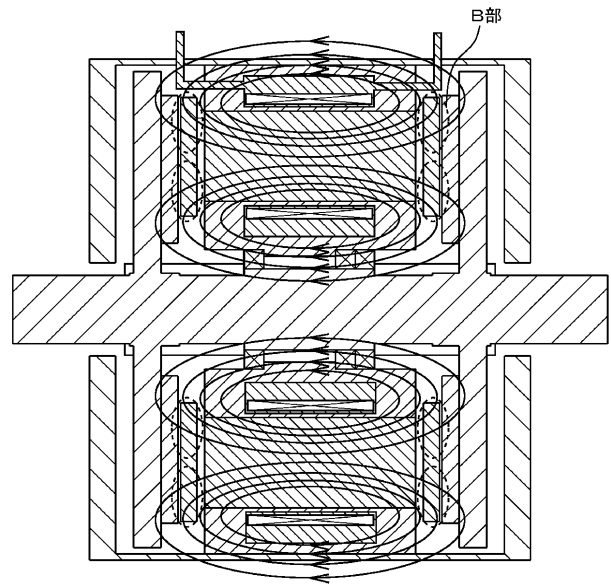
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 外川 裕之

東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社I H I 内

(72)発明者 大田 友哉

東京都江東区豊洲三丁目1番1号 株式会社I H I 内

Fターム(参考) 4M114 AA03 AA20 AA24 AA25 AA28 BB08 CC03 CC16 CC18 DA02
DA07 DA26 DA53 DA54 DA55
5H655 BB02 BB04 BB09 BB12 CC14 CC18 CC20 DD02 DD40 EE25
HH19