

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6566483号
(P6566483)

(45) 発行日 令和1年8月28日(2019.8.28)

(24) 登録日 令和1年8月9日(2019.8.9)

(51) Int. Cl. F I
 HO 2 K 55/02 (2006.01) HO 2 K 55/02
 HO 2 K 15/03 (2006.01) HO 2 K 15/03 H

請求項の数 13 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2016-510432 (P2016-510432)	(73) 特許権者	504196300 国立大学法人東京海洋大学 東京都港区港南4丁目5番7号
(86) (22) 出願日	平成27年3月25日(2015.3.25)	(74) 代理人	100091982 弁理士 永井 浩之
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/059155	(74) 代理人	100091487 弁理士 中村 行孝
(87) 国際公開番号	W02015/147068	(74) 代理人	100082991 弁理士 佐藤 泰和
(87) 国際公開日	平成27年10月1日(2015.10.1)	(74) 代理人	100105153 弁理士 朝倉 悟
審査請求日	平成30年3月6日(2018.3.6)	(74) 代理人	100164688 弁理士 金川 良樹
(31) 優先権主張番号	特願2014-69925 (P2014-69925)		
(32) 優先日	平成26年3月28日(2014.3.28)		
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ラジアルギャップ型超電導同期機、着磁装置、及び着磁方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

断面円形状の固定子の内側に回転子を回転可能に支承するようにし、前記回転子の外周側に超電導体を配置したラジアルギャップ型超電導同期機において、

前記回転子は、回転シャフトに固定された回転子本体と、当該回転子本体の外周部に設けられた凸状の磁極を有し、

前記磁極の先端部は、前記超電導体を有し、

前記超電導体は、前記回転子の回転軸方向に見て、前記磁極中央部側が端部側に比して前記固定子に近接して配置され、

前記超電導体の前記回転子の回転軸側には、強磁性体が配置されていることを特徴とするラジアルギャップ型超電導同期機。

10

【請求項 2】

前記超電導体は、前記磁極の先端部において複数配置されており、

複数の前記超電導体は、前記回転子の回転軸方向に見て、前記磁極中央部に近い超電導体が他の超電導体よりも前記固定子に近接して配置されるように、ひな段状に配置されている

ことを特徴とする請求項 1 に記載のラジアルギャップ型超電導同期機。

【請求項 3】

前記超電導体は、前記回転子の径方向の外側から見て矩形である

ことを特徴とする請求項 1 に記載のラジアルギャップ型超電導同期機。

20

【請求項 4】

前記超電導体は、前記磁極の先端部において複数配置されており、
 複数の前記超電導体は、前記磁極の先端部において、前記回転子の周方向に並んで配置されると共に前記回転子の回転軸方向に並んで配置されている
 ことを特徴とする請求項 1 に記載のラジアルギャップ型超電導同期機。

【請求項 5】

頂壁部と、前記頂壁部の外周部から垂下する周壁部と、前記周壁部の内側において前記頂壁部の内面から垂下するコア部と、を有する強磁性体からなるハウジングと、

前記コア部の周囲に巻き回されると共に、前記頂壁部及び前記周壁部によって覆われる状態で、前記ハウジング内に收容されるコイルと、

前記コイルに電流を供給する電流供給部と、を備え、

前記周壁部は、前記頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放し、前記周壁部の前記頂壁部からの高さは、前記コア部の前記頂壁部からの高さよりも大きくなっており、

前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記周壁部の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間が形成され、

前記被着磁物が前記配置空間内において前記コア部と直接的に対向するように、前記被着磁物が前記周壁部の開放部分から挿入されて配置され、磁束を前記コア部から前記被着磁物に直接的に向けるようになっている

ことを特徴とする着磁装置。

【請求項 6】

前記周壁部は、その先端部から前記コア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、

前記底壁部は、前記コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、前記コア部と重ならない位置まで延びており、

前記配置空間は、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されている

ことを特徴とする請求項 5 に記載の着磁装置。

【請求項 7】

断面円形状の固定子の内側に回転子を回転可能に支承するようにし、前記回転子の外周側に超電導体を配置したラジアルギャップ型超電導同期機の着磁方法において、

前記回転子が、回転シャフトに固定された回転子本体と、当該回転子本体の外周部に設けられた凸状の磁極を有し、前記磁極の先端部が、前記超電導体を有し、前記超電導体が、前記回転子の回転軸方向に見て、前記磁極中央部側が端部側に比して前記固定子に近接して配置され、前記超電導体の前記回転子の回転軸側には強磁性体が配置されている、前記ラジアルギャップ型超電導同期機を、準備する工程と、

前記超電導体の前記回転子の径方向の外側に、着磁装置を配置する工程と、

前記着磁装置からの磁束線を前記超電導体に向けて着磁を行う工程と、を有することを特徴とする着磁方法。

【請求項 8】

前記着磁装置は、頂壁部と、前記頂壁部の外周部から垂下する周壁部と、前記周壁部の内側において前記頂壁部の内面から垂下するコア部と、を有する強磁性体からなるハウジングと、前記コア部の周囲に巻き回されると共に、前記頂壁部及び前記周壁部によって覆われる状態で、前記ハウジング内に收容されるコイルと、前記コイルに電流を供給する電流供給部と、を備え、前記周壁部は、前記頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放し、前記周壁部の前記頂壁部からの高さは、前記コア部の前記頂壁部からの高さよりも大きくなっており、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記周壁部の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間が形成されている、着磁装置であり、

前記着磁装置を配置する工程においては、

前記着磁装置の前記配置空間内に前記ラジアルギャップ型超電導同期機の前記超電導体が位置するように、前記着磁装置が配置される

10

20

30

40

50

ことを特徴とする請求項 7 に記載の着磁方法。

【請求項 9】

前記着磁装置において、前記周壁部は、その先端部から前記コア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、前記底壁部は、前記コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、前記コア部と重ならない位置まで延びており、前記配置空間は、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されており、

前記着磁装置を配置する工程においては、

前記着磁装置の前記配置空間内において前記超電導体が前記底壁部よりも前記コア部側に位置するように、前記着磁装置が配置される

10

ことを特徴とする請求項 8 に記載の着磁方法。

【請求項 10】

断面円形状の固定子の内側に回転子を回転可能に支承するようにし、前記回転子の外周側に超電導体を配置したラジアルギャップ型超電導同期機の着磁方法において、

頂壁部と、前記頂壁部の外周部から垂下する周壁部と、前記周壁部の内側において前記頂壁部の内面から垂下するコア部と、を有する強磁性体からなるハウジングと、前記コア部の周囲に巻き回されると共に、前記頂壁部及び前記周壁部によって覆われる状態で、前記ハウジング内に収容されるコイルと、前記コイルに電流を供給する電流供給部と、を備え、前記周壁部は、前記頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放し、前記周壁部の前記頂壁部からの高さは、前記コア部の前記頂壁部からの高さよりも大きくなっており、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記周壁部の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間が形成され、前記被着磁物が前記配置空間内において前記コア部と直接的に対向するように、前記被着磁物が前記周壁部の開放部分から挿入されて配置され、磁束を前記コア部から前記被着磁物に直接的に向けるようになっている、着磁装置を、準備する工程と、

20

前記着磁装置の前記配置空間内に前記ラジアルギャップ型超電導同期機の前記超電導体が位置し、且つ前記着磁装置の前記コア部の先端部を前記超電導体に向けた状態で、前記超電導体の前記回転子の径方向の外側に、前記着磁装置を配置する工程と、

前記着磁装置からの磁束線を前記超電導体に向けて着磁を行う工程と、を有することを特徴とする着磁方法。

30

【請求項 11】

前記着磁装置において、前記周壁部は、その先端部から前記コア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、前記底壁部は、前記コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、前記コア部と重ならない位置まで延びており、前記配置空間は、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されており、

前記着磁装置を配置する工程においては、

前記着磁装置の前記配置空間内において前記超電導体が前記底壁部よりも前記コア部側に位置するように、前記着磁装置が配置される

ことを特徴とする請求項 10 に記載の着磁方法。

40

【請求項 12】

前記着磁を行う工程においては、

前記超電導体の温度が超電導転移温度よりも高い温度となる状況下で、前記超電導体に対する静磁場の印加を開始し、磁束密度が所定の目標値に到達された後、その目標値が保持されながら、前記超電導体の温度が前記超電導転移温度よりも低い所定の温度まで降下され、その後、前記着磁装置により印加された磁場が解消される

ことを特徴とする請求項 7 に記載の着磁方法。

【請求項 13】

前記着磁を行う工程においては、

前記超電導体の温度が超電導転移温度よりも高い温度となる状況下で、前記超電導体に

50

対する静磁場の印加を開始し、磁束密度が所定の目標値に到達された後、その目標値が保持されながら、前記超電導体の温度が前記超電導転移温度よりも低い所定の温度まで降下され、その後、前記着磁装置により印加された磁場が解消されることを特徴とする請求項10に記載の着磁方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ラジアルギャップ型超電導同期機、着磁装置、及び着磁方法に関する。詳しくは、実用性を確保しつつ、被着磁物における捕捉磁束を効果的に増加させるための技術に関する。

10

【背景技術】

【0002】

界磁または電機子に超電導材料が用いられる超電導同期機は、高効率に高出力が得られる等の理由から従来から注目されており、種々の研究及び提案がなされている。超電導同期機は、超電導材料が用いられていない一般的な同期機と同様に、ラジアルギャップ型とアキシアルギャップ型とに大別される。例えば特許文献1（特許第5162654号公報）には、ラジアルギャップ型の超電導同期機（以下、ラジアルギャップ型超電導同期機）が開示されており、例えば本発明者らによる特許文献2（特開2004-235625号公報）には、アキシアルギャップ型の超電導同期機（以下、アキシアルギャップ型超電導同期機）が開示されている。

20

【0003】

特許文献1に係るラジアルギャップ型超電導同期機は回転界磁型の同期機であって、回転子の界磁部分が永久磁石から構成され、電機子である固定子に設けられた電機子コイルが超電導材料からなる超電導コイルから構成されている。

【0004】

このラジアルギャップ型超電導同期機では、超電導コイルが一般的な同期機で用いられる銅等のコイルに比べて大きい電流を流すことができるため、超電導コイルを電磁石として機能させて大きな磁場を発生させることにより、高効率に高出力が得られる。

【0005】

一方、特許文献2に係るアキシアルギャップ型超電導同期機は、回転子と固定子とが、前記回転子の回転軸方向に交互に並んで配置された同期機（図示の例では、固定子、回転子、及び固定子が、この順で配置されている）であり、回転子の界磁部分がバルク超電導体から構成されている。

30

【0006】

超電導体の結晶の塊であるバルク超電導体は、その母体である超電導体が超電導転移（遷移）を示す温度、すなわち臨界温度以下で、超電導体内部に磁場（磁束）を導入することにより、バルク超電導体内のピン止め点に磁束線を捕捉して永久磁石よりも高磁束密度の磁石として機能させることができる。このため、当該同期機では、バルク超電導体に磁束線を捕捉することによって高磁束密度の界磁部分が得られ、高効率に高出力が得られる。しかも、バルク超電導体は超電導コイルと同等の大きさであれば、超電導コイルよりも強い磁場を保持し易い。このため、当該同期機は、超電導コイルを用いた同期機よりも小型化に有利であり、また、界磁部分に対する電流供給のための接続用配線が不要であるため機器構造の簡素化、熱侵入量の削減等機器システムの高効率化の点でも有利である。

40

【0007】

また、この特許文献2に係るアキシアルギャップ型超電導同期機の他の有利な点としては、電機子である固定子に設けられた電機子コイルがバルク超電導体に対する着磁コイル（着磁装置）としても機能するようになっていた点が挙げられる。すなわち、着磁装置が同期機に一体化されていることで、バルク超電導体に対する着磁を適時行うことができるため、利便性に優れている。

【0008】

50

この特許文献2に係るアキシアルギャップ型超電導同期機では、着磁装置の一体化に際して着磁装置が大型となって実用性が損なわれることを抑制するために、電機子コイルによる着磁にパルス着磁が採用されている。超電導体への着磁には、パルス着磁と静磁場着磁とがある。パルス着磁は、超電導臨界温度よりも低温にバルク超電導体を保持し、瞬間的に強い磁場を印加することにより、磁束をバルク超電導体内に導入し、ピン止め効果によりバルク超電導体に磁束を捕捉させて、バルク超電導体を高磁束密度の磁石として機能させる。静磁場着磁では、超電導臨界温度よりも高い温度にバルク超電導体を保持し、定常磁場（静磁場）を印加することにより磁束をバルク超電導体内に導入した後、温度を超電導臨界温度よりも低温に降下保持させて、ピン止め効果によりバルク超電導体に磁束を捕捉させて、バルク超電導体を高磁束密度の磁石として機能させる。一般的に静磁場着磁の方がパルス着磁よりもバルク超電導体等の被着磁物に多くの磁束線を捕捉させることができる。しかしながら、静磁場着磁においては必要な定常高磁場を生成させるためには被着磁物の寸法に応じたコイルを作製して大電流を流す必要があり、また長時間印加して着磁を行うため、超電導コイルを用いた大規模な装置が必要となる。この理由から、特許文献2に係るアキシアルギャップ型超電導同期機では、電機子コイルによる着磁にパルス着磁を採用することによって、着磁コイルが小型・一体化されることで、実用性が確保されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

20

【特許文献1】特許第5162654号公報

【特許文献2】特開2004-235625号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

ところで、近時、船舶の推進装置や再生可能エネルギーを利用した発電機等に好適に対応し得る大出力（超高出力）の超電導同期機の実用化が望まれており、これに対応する手法の1つに界磁部分の磁束密度を向上させることが考えられる。しかしながら、特許文献2に開示されたアキシアルギャップ型超電導同期機では、高磁束密度を捕捉できるバルク超電導体を用いられているものの、パルス着磁が採用されているため、バルク超電導体に捕捉できる磁束密度に限界がある。一方で、当該同期機において静磁場着磁の採用を試みる場合には、前述のように超電導コイルを用いた大規模な着磁装置が必要となり、同期機全体が大型化するため、実用性を考慮すると必ずしも良好ではない。具体的には、通常、静磁場着磁では、被着磁物の周囲を囲うようにコイルが配置される。特許文献2の同期機において、回転子に設けられたバルク超電導体を囲うようにコイルを配置すると、回転子が過剰に大型化されたり配線が複雑化したりして、実用性が損なわれてしまう。

30

【0011】

本発明者は、このような観点から、静磁場着磁を採用しながらも実用性を確保しつつ、超電導同期機の界磁部分に多くの捕捉磁束を確保することについて鋭意研究を重ねた。そして、超電導同期機の界磁部分の構造ないし着磁装置の構造を工夫することによって、実用性を確保しつつ効果的に被着磁物における捕捉磁束を増加させることができることを知見して本発明に至った。

40

【0012】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、実用性を確保しつつ、被着磁物における捕捉磁束を効果的に増加させることができるラジアルギャップ型超電導同期機、着磁装置、及び着磁方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明に係るラジアルギャップ型超電導同期機は、断面円形状の固定子の内側に回転子を回転可能に支承するようにし、前記回転子の外周

50

側に超電導体を配置したラジアルギャップ型超電導同期機において、

前記回転子は、回転シャフトに固定された回転子本体と、当該回転子本体の外周部に設けられた凸状の磁極を有し、

前記磁極の先端部は、前記超電導体を有し、

前記超電導体は、前記回転子の回転軸方向に見て、前記磁極中央部側が端部側に比して前記固定子に近接して配置され、

前記超電導体の前記回転子の回転軸側には、強磁性体が配置されていることを特徴とする。

【0014】

前記ラジアルギャップ型超電導同期機において、

前記超電導体は、前記磁極の先端部において複数配置されており、

複数の前記超電導体は、前記回転子の回転軸方向に見て、前記磁極中央部に近い超電導体が他の超電導体よりも前記固定子に近接して配置されるように、ひな段状に配置されていることが好ましい。

【0015】

また、前記ラジアルギャップ型超電導同期機において、

前記超電導体は、前記回転子の径方向の外側から見て矩形であることが好ましい。

【0016】

また、前記ラジアルギャップ型超電導同期機において、

前記超電導体は、前記磁極の先端部において複数配置されており、

複数の前記超電導体は、前記磁極の先端部において、前記回転子の周方向に並んで配置されると共に前記回転子の回転軸方向に並んで配置されていることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係る着磁装置は、

頂壁部と、前記頂壁部の外周部から垂下する周壁部と、前記周壁部の内側において前記頂壁部の内面から垂下するコア部と、を有する強磁性体からなるハウジングと、

前記コア部の周囲に巻き回されると共に、前記頂壁部及び前記周壁部によって覆われる状態で、前記ハウジング内に收容されるコイルと、

前記コイルに電流を供給する電流供給部と、を備え、

前記周壁部は、前記頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放し、前記周壁部の前記頂壁部からの高さは、前記コア部の前記頂壁部からの高さよりも大きくなっており、

前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記周壁部の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間が形成されていることを特徴とする。

【0018】

前記着磁装置において、

前記周壁部は、その先端部から前記コア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、

前記底壁部は、前記コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、前記コア部と重ならない位置まで延びており、

前記配置空間は、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されていることが好ましい。

【0019】

また、本発明に係る着磁方法は、

断面円形状の固定子の内側に回転子を回転可能に支承するようにし、前記回転子の外周側に超電導体を配置したラジアルギャップ型超電導同期機の着磁方法において、

前記回転子が、回転シャフトに固定された回転子本体と、当該回転子本体の外周部に設けられた凸状の磁極を有し、前記磁極の先端部が、前記超電導体を有し、前記超電導体が、前記回転子の回転軸方向に見て、前記磁極中央部側が端部側に比して前記固定子に近接して配置され、前記超電導体の前記回転子の回転軸側には強磁性体が配置されている、前記ラジアルギャップ型超電導同期機を、準備する工程と、

10

20

30

40

50

前記超電導体の前記回転子の径方向の外側に、着磁装置を配置する工程と、
前記着磁装置からの磁束線を前記超電導体に向けて着磁を行う工程と、を有することを特徴とする。

【0020】

前記着磁装置は、頂壁部と、前記頂壁部の外周部から垂下する周壁部と、前記周壁部の内側において前記頂壁部の内面から垂下するコア部と、を有する強磁性体からなるハウジングと、前記コア部の周囲に巻き回されると共に、前記頂壁部及び前記周壁部によって覆われる状態で、前記ハウジング内に収容されるコイルと、前記コイルに電流を供給する電流供給部と、を備え、前記周壁部は、前記頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放し、前記周壁部の前記頂壁部からの高さは、前記コア部の前記頂壁部からの高さよりも大きくな
10

っており、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記周壁部の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間が形成されている、着磁装置であり、
前記着磁装置を配置する工程においては、

前記着磁装置の前記配置空間内に前記ラジアルギャップ型超電導同期機の前記超電導体が位置するように、前記着磁装置が配置されることが好ましい。

【0021】

また、本発明に係る着磁方法は、

断面円形状の固定子の内側に回転子を回転可能に支承するようにし、前記回転子の外周側に超電導体を配置したラジアルギャップ型超電導同期機の着磁方法において、

頂壁部と、前記頂壁部の外周部から垂下する周壁部と、前記周壁部の内側において前記頂壁部の内面から垂下するコア部と、を有する強磁性体からなるハウジングと、前記コア部の周囲に巻き回されると共に、前記頂壁部及び前記周壁部によって覆われる状態で、前記ハウジング内に収容されるコイルと、前記コイルに電流を供給する電流供給部と、を備え、前記周壁部は、前記頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放し、前記周壁部の前記頂壁部からの高さは、前記コア部の前記頂壁部からの高さよりも大きくなっており、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記周壁部の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間が形成されている、着磁装置を、準備する工程と、
20

前記着磁装置の前記配置空間内に前記ラジアルギャップ型超電導同期機の前記超電導体が位置し、且つ前記着磁装置の前記コア部の先端部を前記超電導体に向けた状態で、前記超電導体の前記回転子の径方向の外側に、前記着磁装置を配置する工程と、
30

前記着磁装置からの磁束線を前記超電導体に向けて着磁を行う工程と、を有することを特徴とする。

【0022】

また、前記着磁装置において、前記周壁部は、その先端部から前記コア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、前記底壁部は、前記コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、前記コア部と重ならない位置まで延びており、前記配置空間は、前記コア部の先端部に対向する領域であって、前記底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されており、

前記着磁装置を配置する工程においては、

前記着磁装置の前記配置空間内において前記超電導体が前記底壁部よりも前記コア部側に位置するように、前記着磁装置が配置されることが好ましい。
40

【0023】

また、前記着磁を行う工程においては、

前記超電導体の温度が超電導転移温度よりも高い温度となる状況下で、前記超電導体に対する静磁場の印加を開始し、磁束密度が所定の目標値に到達された後、その目標値が保持されながら、前記超電導体の温度が前記超電導転移温度よりも低い所定の温度まで降下され、その後、前記着磁装置により印加された磁場が解消されてもよい。

【発明の効果】

【0024】

本発明に係るラジアルギャップ型超電導同期機よれば、回転子の外周側に配置された超
50

電導体に、回転子の径方向の外側から着磁装置によって着磁が行われる場合に、着磁装置からの多数の磁束線が、超電導体を通り、当該超電導体の回転子の回転軸側に配置された強磁性体に導かれる。これにより、磁束線を集約させて超電導体に通わせることができる。このため、例えば、超電導体から回転子の径方向の外側に着磁装置のコイルが離れて配置されて当該コイルが超電導体を囲うように大きく形成されなくても、超電導体に対する着磁が高効率に行われる。これにより、大型の着磁装置によって着磁が行われなくて超電導体における十分な捕捉磁束を確保できるため、結果的に、実用性を確保しつつ、超電導体における捕捉磁束を効果的に増加させることができる。その結果、同期機のトルク及び出力を向上させることが可能となる。

【0025】

また、本発明に係るラジアルギャップ型超電導同期機において超電導体は、回転子の回転軸方向に見て、磁極中央部側が端部側に比して固定子に近接して配置されることにより、超電導体が固定子の円弧状の内面に沿うように配置され、超電導体と固定子との間のギャップを抑制することができる。これにより、超電導体から固定子に向けて効率的に磁場を作用させることができる。

【0026】

また、本発明に係るラジアルギャップ型超電導同期機においては、着磁装置によって超電導体に着磁が行われた場合に、着磁後の超電導体はその磁力によって着磁装置の磁性体部分に向けて移動しようとする一方で、超電導体の回転軸側にある強磁性体に向けても移動しようとする。これにより、超電導体が着磁装置に向けて移動することが抑制されること

【0027】

また、超電導体が、磁極の先端部において複数配置されており、複数の超電導体が、回転子の回転軸方向に見て、磁極中央部に近い超電導体以外の超電導体よりも前記固定子に近接して配置されるように、ひな段状に配置されている場合には、磁極中央部に近い超電導体を、固定子に容易に近接させることができる。

【0028】

また、超電導体が回転子の径方向の外側から見て矩形である場合には、超電導体に効率良く磁束線を捕捉させることができ、超電導体における総磁束量を増加させて同期機のトルク及び出力を向上させることができる。

【0029】

また、複数の超電導体が、磁極の先端部において、回転子の周方向に並んで配置されると共に回転子の回転軸方向に並んで配置されている場合には、磁束の捕捉領域が容易に広く確保されることによって、磁束の捕捉領域における総磁束量を増加させて同期機のトルク及び出力を向上させることができる。

【0030】

また、本発明に係る着磁装置によれば、強磁性体からなるハウジングの頂壁部及び周壁部によってコイルが覆われ、周壁部が、頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放していることで、コア部の一端部（先端部） 周壁部 頂壁部 コア部の他端部（基端部）の順で貫流する磁気回路、または、コア部の他端部（基端部） 頂壁部 周壁部 コア部の一端部（先端部）の順で貫流する磁気回路が形成される。そして、周壁部の頂壁部からの高さが、コア部の頂壁部からの高さよりも大きくなっていることで、コア部の一端部（先端部）から周壁部に至る、または、周壁部からコア部の一端部（先端部）に至る磁気回路中の磁束線が、周壁部の内側にある配置空間内において集約（集中した状態と）される。これにより、配置空間におけるコア部の一端部延長線上での磁束密度を効果的に確保することができる。

これにより、配置空間におけるコア部の一端部延長線上において高密度の磁束を被着磁物に通わせることができることで、被着磁物から着磁装置のコイルが離れて配置されて被着磁物を囲うようにコイルが大きく形成されなくても、被着磁物に対する着磁が高効率に行われる。これにより、大型にしなくても被着磁物における十分な捕捉磁束を確保でき

10

20

30

40

50

るため、結果的に、実用性を確保しつつ、被着磁物における捕捉磁束を効果的に増加させることができる。

【0031】

また、本発明に係る着磁装置によれば、コイルが被着磁物から離れていても被着磁物に十分な捕捉磁束を確保できるため、被着磁物に対して十分な捕捉磁束を確保できる配置自由度が向上し、この点からも実用性を確保することができる。例えば被着磁物が多数極の回転子の磁極である場合に、着磁装置が着磁対象の磁極に近接して配置された際であっても、着磁装置は隣の磁極に干渉すること等が抑制されるので、複数並ぶ各磁極それぞれにおいて十分な捕捉磁束を確保できる。

【0032】

また、周壁部が、その先端部からコア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、底壁部が、コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、コア部と重ならない位置まで延びており、配置空間が、コア部の先端部に対向する領域であって、底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されている場合には、磁束線が、コア部の一端部（先端部）から底壁部に、または、底壁部からコア部の一端部（先端部）に至ることによって、配置空間におけるコア部の一端部延長線上に一層集約（集中した状態と）される。これにより、配置空間におけるコア部の一端部延長線上での磁束密度を一層効果的に確保することができる。被着磁物に対する着磁の効率を一層向上させることができる。

【0033】

また、超電導体の回転子の回転軸側に強磁性体が配置されている前記ラジアルギャップ型超電導同期機を準備して着磁を行う本発明に係る着磁方法によれば、回転子の外周側に配置された超電導体に、回転子の径方向の外側から着磁装置によって着磁が行われる場合に、着磁装置からの多数の磁束線が、超電導体を通過して、当該超電導体の回転子の回転軸側に配置された強磁性体に導かれる。これにより、磁束線を集約させて超電導体に通過させることができる。このため、例えば、超電導体から回転子の径方向の外側に着磁装置のコイルが離れて配置されて当該コイルが超電導体を囲うように大きく形成されなくても、超電導体に対する着磁が高効率に行われる。これにより、大型の着磁装置によって着磁が行われなくて超電導体における十分な捕捉磁束を確保できるため、結果的に、実用性を確保しつつ、超電導体における捕捉磁束を効果的に増加させることができる。その結果、同期機のトルク及び出力を向上させることが可能となる。

【0034】

また、強磁性体からなるハウジングに收容されるコイルを備える前記着磁装置を準備して着磁を行う本発明に係る着磁方法によれば、強磁性体からなるハウジングの頂壁部及び周壁部によってコイルが覆われ、周壁部が、頂壁部側とは反対側の方向に向けて開放していることで、コア部の一端部（先端部） 周壁部 頂壁部 コア部の他端部（基端部）の順で貫流する磁気回路、または、コア部の他端部（基端部） 頂壁部 周壁部 コア部の一端部（先端部）の順で貫流する磁気回路が形成される。そして、周壁部の頂壁部からの高さが、コア部の頂壁部からの高さよりも大きくなっていることで、コア部の一端部（先端部）から周壁部に至る、または、周壁部からコア部の一端部（先端部）に至る磁気回路中の磁束線が、周壁部の内側にある配置空間内において集約（集中した状態と）される。

これにより、配置空間におけるコア部の一端部延長線上での磁束密度を効果的に確保することができる。

これにより、配置空間におけるコア部の一端部延長線上において高密度の磁束を被着磁物に通過させることができることで、被着磁物から着磁装置のコイルが離れて配置されて被着磁物を囲うようにコイルが大きく形成されなくても、被着磁物に対する着磁が高効率に行われる。これにより、大型にしなくても被着磁物における十分な捕捉磁束を確保できるため、結果的に、実用性を確保しつつ、被着磁物における捕捉磁束を効果的に増加させることができる。

【0035】

また、強磁性体からなるハウジングに收容されるコイルを備える前記着磁装置が用いら

10

20

30

40

50

れる場合、着磁装置は、コイルが被着磁物である超電導体から離れていても超電導体に十分な捕捉磁束を確保できるため、超電導体に対して十分な捕捉磁束を確保できる配置自由度が向上し、この点からも実用性を確保することができる。具体的には、被着磁物が多数極の回転子の磁極である場合に、着磁装置が着磁対象の磁極に近接して配置された際であっても、着磁装置は隣の磁極に干渉すること等が抑制されるので、複数並ぶ各磁極それぞれにおいて十分な捕捉磁束を確保できる。

【0036】

また、超電導体の回転子の回転軸側に強磁性体が配置されている前記ラジアルギャップ型超電導同期機に対して、強磁性体からなるハウジングに收容されるコイルを備える前記着磁装置により着磁を行う場合には、一層効果的に、超電導体に対する着磁が高効率に行われる。

10

【0037】

また、前記着磁装置において、周壁部が、その先端部からコア部側に向けて延びる、強磁性体からなる底壁部を有し、底壁部が、コア部が垂下する方向に沿って見た場合に、コア部と重ならない位置まで延びており、配置空間が、コア部の先端部に対向する領域であって、底壁部の内周縁の内側に位置する領域に形成されている場合、着磁装置の配置空間内において超電導体が底壁部よりもコア部側に位置するように、着磁装置が配置されることが好ましい。この場合、超電導体に対して高密度の磁束を効果的に着磁することができる。

【図面の簡単な説明】

20

【0038】

【図1】本発明の実施の形態によるラジアルギャップ型超電導同期機の半断面側面図である。

【図2】図1に示すラジアルギャップ型超電導同期機を、回転軸方向に沿って見た図である。

【図3】図2のIII-III線に沿う断面図である。

【図4】図3のIV-IV線に沿う断面図である。

【図5】図1に示すラジアルギャップ型超電導同期機の磁極に設けられる複数のバルク超電導体の斜視図である。

【図6】図1に示すラジアルギャップ型超電導同期機に設けられる強磁性体の斜視図である。

30

【図7】本発明の実施の形態による着磁装置の斜視図であり、当該着磁装置の一部を断面で示した図である。

【図8】図7に示す着磁装置を示す図であり、(A)は着磁装置の縦断面図であり、(B)は着磁装置によって発生された磁束線の一部を示した図である。

【図9】図7に示す着磁装置の着磁時の磁束線が効果的に集約されていることを説明するグラフを示した図である。

【図10】図1に示すラジアルギャップ型超電導同期機に対して、図7に示す着磁装置により着磁を行う様子を説明する図である。

【図11】図10に示す着磁時における、バルク超電導体に対する温度制御と磁場の印加のタイミングの一例を説明するグラフを示した図である。

40

【図12】図10に示す着磁時の磁束線の一部を説明する図である。

【図13】本発明の実施例によるラジアルギャップ型超電導同期機の性能と、比較例1~3による従来の同期機の各性能と、をまとめた表を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0039】

以下に、添付の図面を参照して、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

【0040】

(ラジアルギャップ型超電導同期機)

本発明の実施の形態によるラジアルギャップ型超電導同期機1について先ず説明する。

50

図1は、ラジアルギャップ型超電導同期機1の半断面側面図である。

【0041】

図1に示すように、ラジアルギャップ型超電導同期機1は、図1において二点鎖線で示される断面円形状の固定子10と、固定子10の内側に回転可能に支承された回転子20と、を備えている。

【0042】

ラジアルギャップ型超電導同期機1は回転界磁型の同期機であり、固定子10には、図示省略する電機子コイルが設けられ、界磁側となる回転子20には、磁極21が設けられている。回転子20は、図中C1で示す回転軸上に延びる回転シャフト2に固定され、回転シャフト2と共に回転軸C1を軸中心として回転可能となっている。なお、以下では、回転軸C1に沿う方向を回転軸C1方向と呼び、回転軸C1に直交する方向を径方向と呼び、回転軸C1回りの方向を周方向と呼ぶものとする。

【0043】

図2は、ラジアルギャップ型超電導同期機1を回転軸C1方向に沿って見た図である。図1及び図2に示すように、回転子20は、回転シャフト2に固定されて径方向に延びる一对の円板部22A及びこれら円板部22Aの外周縁間を接続する円筒状の胴部22Bを有する回転子本体22と、回転子本体22における胴部22Bの外周部に固定された4つの凸状の磁極21と、回転子本体22及び磁極21を外側から気密に覆う両端が閉じられた略円筒状の真空カバー3と、を備えている。

【0044】

詳しくは、回転子本体22の胴部22Bの外周部には、断面が矩形棒状で径方向の外側に張り出す磁極固定部22Cが周方向に等間隔をあけて4つ形成されており、各磁極21はそれぞれ、各磁極固定部22Cの先端部に固定されている。なお、本実施の形態の回転子本体22は、非磁性のステンレス鋼から主に形成されている。

【0045】

また、回転子本体22及び真空カバー3はそれぞれ、回転シャフト2に一体に固定されており、回転子本体22及び真空カバー3は、回転シャフト2と共に回転軸C1を軸中心として回転可能となっている。

【0046】

真空カバー3は、回転子本体22及び磁極21との間に真空断熱層を形成することによって、回転子20を外側から断熱するために設けられている。本実施の形態の真空カバー3は、非磁性のステンレス鋼から主に形成されるが、アルミニウム合金等から形成されてもよい。また、真空カバー3は、各磁極21を覆うべく、その外周部に磁極21を覆う凸状の張り出し部を有している。

【0047】

図3は、図2のIII-III線に沿う断面図であり、図4は、図3のIV-IV線に沿う断面図である。図3及び図4に示すように、本実施の形態の磁極21は、回転子本体22における磁極固定部22Cに固定された矩形板状の冷却ベース部材23と、冷却ベース部材23の径方向の外側に配置され磁極21における先端部側に位置する、複数のバルク超電導体30からなるバルク集合体24と、バルク集合体24の径方向の外側に配置されて冷却ベース部材23との間にバルク集合体24を挟み込んで固定するバルク固定部材25と、を有している。

【0048】

本実施の形態の冷却ベース部材23は、OFHC(Oxygen free high conductivity copper)から形成されている。図4に示すように、冷却ベース部材23の径方向の外側の面には、バルク集合体24の各バルク電導体30が設置される設置面23Aが形成されている。設置面23Aは、回転軸C1方向に見て、中央側(磁極21の中央側)に位置する中央部23Cと、中央部23Cの両側に位置する側部23Sと、を有しており、中央部23Cは、側部23Sよりも径方向の外側(固定子10側)に張り出している。また、図3に示すように、中央部23C及び側部23Sは、回転軸C1方向に平坦に延びている。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 9 】

一方、図 4 に示すように、冷却ベース部材 2 3 の径方向の外側の面には、径方向の内側に突出する接続部 2 3 B が形成されている。接続部 2 3 B にはそれぞれ、銅材料等からなる伝熱部材 4 が接続されている。図 1 及び図 2 に示すように、伝熱部材 4 は、接続部 2 3 B から径方向の内側に延びて、回転シャフト 2 における回転子 2 0 内で覆われる部位に設置された熱交換器 5 に接続されている。

【 0 0 5 0 】

熱交換器 5 の内部には、回転シャフト 2 の内部を通過したネオン等の冷媒が供給されるようになっており、バルク集合体 2 4 の熱は冷却ベース部材 2 3 から伝熱部材 4 を介して熱交換器 5 に伝達されて、熱交換器 5 によって吸熱されるようになっている。これにより、冷却ベース部材 2 3 に設置されたバルク集合体 2 4 の各バルク超電導体 3 0 を、低温（超電導転移温度以下）に維持することが可能となっている。

10

【 0 0 5 1 】

図 5 は、バルク集合体 2 4 を構成する複数のバルク超電導体 3 0 の斜視図である。図 3 乃至図 5 に示すように、本実施の形態では、バルク集合体 2 4 の複数のバルク超電導体 3 0 はそれぞれ、径方向の外側から見て、矩形に形成されており、かつその径方向での断面も矩形に形成されている。バルク超電導体 3 0 には、所謂高温バルク超電導体である G d B C O (G d B a 2 C u 3 O 7 - z) が用いられている。

【 0 0 5 2 】

本実施の形態においてバルク超電導体 3 0 は、冷却ベース部材 2 3 の設置面 2 3 A 上に 3 行 5 列で 1 5 個配置されている。すなわち、図 3 乃至図 5 に示すように、回転軸 C 1 方向に見た場合に、当該回転軸 C 1 の周方向に 3 つ並ぶように、冷却ベース部材 2 3 の設置面 2 3 A における中央部 2 3 C 及び側部 2 3 S にそれぞれ 1 つのバルク超電導体 3 0 が配置されている。また、側面視において、中央部 2 3 C 及び 2 つの側部 2 3 S それぞれに、バルク超電導体 3 0 が回転軸 C 1 方向に 5 つ並ぶように配置されている。また、隣接するバルク超電導体 3 0 は、互いに接する状態で配置されており、複数のバルク超電導体 3 0 は高密度に集約されている。

20

【 0 0 5 3 】

このようにバルク超電導体 3 0 が配置されたバルク集合体 2 4 は、本実施の形態において、その輪郭が回転軸 C 1 方向に長い長方形状となっている。

30

【 0 0 5 4 】

また、図 4 に示すように、本実施の形態では、設置面 2 3 A において中央部 2 3 C が側部 2 3 S よりも径方向の外側（固定子 1 0 側）に張り出していることで、回転軸 C 1 方向に見て、バルク超電導体 3 0 がひな段状に配置されている。これにより、回転軸 C 1 方向に見て、磁極 2 1 中央部に近いバルク超電導体 3 0 が他のバルク超電導体 3 0 よりも固定子 1 0 に近接して配置されている。

【 0 0 5 5 】

一方、図 3 に示すように、バルク固定部材 2 5 は、当該磁極固定部 2 2 C に固定されて、冷却ベース部材 2 3 との間にバルク集合体 2 4 を挟み込み、バルク集合体 2 4 の各バルク超電導体 3 0 を保持している。本実施の形態のバルク固定部材 2 5 は、非磁性体から形成されている。

40

【 0 0 5 6 】

本実施の形態では、以上のように構成された磁極 2 1（バルク集合体 2 4）の回転軸 C 1 側に、強磁性体 2 8 が配置されている。図 3 及び図 4 に示すように、強磁性体 2 8 は、磁極 2 1 の冷却ベース部材 2 3 に近接した状態で配置されている。

【 0 0 5 7 】

本実施の形態の磁性体 2 8 は、鉄を主成分とする強磁性体の金属材料から形成されている。図 6 は、磁性体 2 8 の斜視図である。図 6 に示すように、強磁性体 2 8 は矩形板状に形成されており、前記の伝熱部材 4 を通過させるための貫通穴 2 8 A が形成されている。

【 0 0 5 8 】

50

図3及び図4に示すように、強磁性体28は、貫通穴28Aに伝熱部材4が挿入された状態で冷却ベース部材23に近接して配置され、磁極固定部22Cに固定されている。また、強磁性体28は、径方向に沿って見た場合に、バルク集合体24よりも大きい寸法を有しており、バルク集合体24の全域を内側から覆うように配置されている。

【0059】

以上に記載したラジアルギャップ型超電導同期機1は、バルク集合体24の各バルク超電導体30に後述の着磁装置100によって着磁が行われる。この際に、前記の強磁性体28は、着磁装置100からの磁束線を、バルク集合体24を通過するように導くことができ、且つ、バルク集合体24に対する着磁後にバルク集合体24を所期の設置位置に安定して維持させること等ができる。このことについての詳細は、後述するものとする。

10

【0060】

(着磁装置)

次に、本実施の形態による着磁装置100について説明する。当該着磁装置100は、上述したラジアルギャップ型超電導同期機1のバルク集合体24の各バルク超電導体30に対する着磁の際に用いられる。図7は、着磁装置100の斜視図であり、図8(A)は着磁装置100の縦断面図であり、図8(B)は着磁装置100によって発生された磁束線の一部を示した図である。

【0061】

図7及び図8(A)に示すように、本実施の形態の着磁装置100は、頂壁部101Tと、頂壁部101Tの外周部から垂下する周壁部101Sと、周壁部101Sの内側において頂壁部101Tの内面から垂下するコア部101Cと、を有する強磁性体からなるハウジング101を備えている。具体的に、ハウジング101は、鉄を主成分とする強磁性体の金属材料から形成されている。また、コア部101Cは、断面視で対向する周壁部101Sの間の中間の領域に位置している。また、周壁部101Sは、頂壁部101T側とは反対側の方向に向けて開放している。

20

【0062】

ハウジング101内には、コア部101Cの周囲に巻き回されると共に頂壁部101T及び周壁部101Sによって覆われる状態で、超電導コイル(以下、単にコイルと呼ぶ)102が収容されている。コイル102は、超電導材料(本実施の形態では、Bi2233(Bi2Sr2Ca2Cu3O10+))から形成されており、ハウジング101の外部に引き出された接続線103を介して電流供給部104に接続されている。電流供給部104からコイル102に電流が供給されることで、コイル102から磁場が発生するようになっている。

30

【0063】

ハウジング101の輪郭は略長形状に形成されており、コア部101Cは、ハウジング101の長手方向に沿って延びる長尺の形状に形成されている。コア部101Cの長手方向の長さは、図3を参照し、前述のラジアルギャップ型超電導同期機1のバルク集合体24の回転軸C1方向における長さと同等となっている。

【0064】

また、コア部101Cの周囲に巻き回されるコイル102の輪郭も略長形状に形成されている。コイル102は、導線が略長形状に多層状に巻き回されることで形成されている。

40

【0065】

ハウジング101について詳述すると、図8(A)に示すように、周壁部101Sの頂壁部101Tからの高さは、コア部101Cの頂壁部101Tからの高さよりも大きくなっている。また、本実施の形態では、周壁部101Sが、その先端部からコア部101C側に向けて延びる底壁部101Eを一体に有している。本実施の形態では、底壁部101Eが周壁部101Sに一体に形成されているため、底壁部101Eも強磁性体である。

【0066】

本実施の形態では、底壁部101Eは、コア部101Cが垂下(突出)する方向に沿っ

50

て見た場合に、コア部 101C と重ならない位置まで延びている。そして、コア部 101C の先端部に当該コア部 101C が垂下（突出）する方向で対向する領域であって、底壁部 101E の内周縁の内側に位置する領域に、被着磁物の配置空間 D が形成されている。なお、具体的に、本実施の形態では、被着磁物がラジアルギャップ超電導同期機 1 の磁極 21 のバルク集合体 24 であるため、底壁部 101E は、磁極 21 がその内周縁の内側に挿入され、バルク集合体 24 が配置空間 D 内に位置することが可能となるように開放して形成されている。

【0067】

以上に記載した着磁装置 100 では、強磁性体からなるハウジング 101 の頂壁部 101T 及び周壁部 101S によってコイル 102 が覆われ、周壁部 101S が、頂壁部 101T 側とは反対側の方向に向けて開放していることで、例えば、コア部 101C の一端部（先端部） 底壁部 101E 周壁部 101S 頂壁部 101T コア部 101C の他端部（基端部）の順で貫流する磁気回路が形成される。そして、周壁部 101S の頂壁部 101T からの高さが、コア部 101C の頂壁部 101T からの高さよりも大きくなっていることで、図示のように、コア部 101C の一端部（先端部）から周壁部 101S（底壁部 101E）に至る磁気回路中の磁束線 W が、周壁部 101S 及び底壁部 101E の内側にある配置空間 D 内において集約（集中した状態と）される。これにより、配置空間 D におけるコア部 101C の一端部延長線上での磁束密度を効果的に確保することができる。これにより、配置空間 D におけるコア部 101C の一端部延長線上において高密度の磁束を被着磁物に通過させることができることで、被着磁物に対する着磁が高効率に行われる。

【0068】

図 9 は、着磁装置 100 の着磁時の磁束線が効果的に集約されている、すなわち着磁装置 100 が被着磁装置に対して発生させる総磁束が効果的に確保されていることを説明するグラフを示している。当該グラフでは、着磁装置 100 におけるハウジング 101 に相当する部位が強磁性体ではないアルミニウム合金で形成された着磁装置（比較対象装置）が発生させる磁場の総磁束と、着磁装置 100 が発生させる磁場の総磁束とを比較した結果が示されている。なお、総磁束は、配置空間 D 全域での磁束の総量のことである。

【0069】

図 9 から明らかのように、着磁装置 100 により発生された磁場の総磁束は、比較対象装置により発生された磁場の総磁束を大きく上回り、具体的に、このグラフでは、比較対象装置に比べて着磁装置 100 の総磁束が 27% 程度増加されている。

【0070】

（着磁方法）

次に、前述したラジアルギャップ型超電導同期機 1 に対して前述した着磁装置 100 により着磁を行う着磁方法について説明する。図 10 は、着磁の様子を説明する図である。

【0071】

着磁装置 100 により着磁を行う際には、まず、ラジアルギャップ型超電導同期機 1 の回転子 20 が固定子 10 の外側に取り出される。その後、図 10 に示すように、着磁装置 100 の配置空間 D 内に、回転子 20 の磁極 21 が挿入され、磁極 21 のバルク集合体 24 が配置空間 D 内においてコア部 101C に近接して対向するように、着磁装置 100 が磁極 21 の径方向の外側に配置される。より詳しくは、本実施の形態では、バルク集合体 24 が、配置空間 D 内においてハウジング 101 の底壁部 101E の内面よりもコア部 101C 側に位置し、且つ、ラジアルギャップ型超電導同期機 1 の強磁性体 28 が、底壁部 101E の外面よりもコア部 101C 側に位置するように、着磁装置 100 が配置される。なお、図示の例では、着磁装置 100 が下降されることにより、配置空間 D 内に回転子 20 の磁極 21 が挿入されている。また、真空カバー 3 のうちの磁極 21 を覆う張り出し部も配置空間 D 内に配置されている。

【0072】

続いて、電流供給部 104（図 7 参照）からコイル 102 に電流が供給されることで、

10

20

30

40

50

コイル 102 から磁場が発生される。そして、本実施の形態では、着磁装置 100 の磁束線を、コア部 101C の先端部からラジアルギャップ超電導同期機 1 のバルク集合体 24 に向けることにより、着磁が行われる。本実施の形態では、コイル 102 に継続的に電流が供給されることにより静磁場着磁による着磁が行われる。

【0073】

図 11 は、本実施の形態による着磁時のバルク超電導体に対する温度制御と磁場の印加のタイミングの一例を説明するグラフを示した図である。図 11 のグラフでは、横軸に時間が示され、縦軸にはバルク超電導体 30 の温度 (K) 及び印加する磁場の磁束密度 (T) が示されている。ライン L1 は、バルク超電導体 30 の温度の状態を示し、ライン L2 は、コイル 102 に電流を供給することで生じる磁場の磁束密度の状態を示している。また、 T_c は、超電導転移温度を示している。

10

【0074】

図 11 に示すように、本実施の形態では、バルク超電導体 30 の温度が超電導転移温度 T_c よりも高い温度となるように制御された状況下で、バルク超電導体 30 に対する静磁場 (定常磁場) の印加が開始される。そして、静磁場の磁束密度が所定の目標値に到達された後、その目標値が保持されながら、バルク超電導体 30 の温度が降下されて、超電導転移温度 T_c よりも低い所定の温度 (図示の例では 50 K) に到達される。この際、バルク超電導体 30 は超電導転移温度 T_c から超電導状態となり、その内部に磁束線が通過する状態となる。そして、図 11 のグラフでは、バルク超電導体 30 が超電導遷移温度 T_c よりも低い所定の温度に到達されるまでの所定時間 (図示の例では、60 分程度) だけ磁場が印加される。このようにバルク超電導体 30 が十分に低温に冷却されるまでの時間、磁場が印加され続けることで、バルク超電導体 30 に多くの磁束線が捕捉される。

20

【0075】

そして、上述のように着磁装置 100 により磁場が発生されると、図 12 に示すように、コア部 101C の一端部 (先端部) 底壁部 101E 周壁部 101S 頂壁部 101T コア部 101C の他端部 (基端部) の順で貫流する磁気回路が形成される。そして、周壁部 101S の頂壁部 101T からの高さが、コア部 101C の頂壁部 101T からの高さよりも大きくなっていることで、図示のように、コア部 101C の一端部 (先端部) から周壁部 101S (底壁部 101E) に至る磁気回路中の磁束線 W が、周壁部 101S 及び底壁部 101E の内側にある配置空間 D 内において集約される。これにより、配置空間 D におけるコア部 101C の一端部延長線上での磁束密度を効果的に確保することができる。しかも、本実施の形態では、ラジアルギャップ型超電導同期機 1 において強磁性体 28 が設けられているため、図 12 に示すように、着磁装置 100 からの磁束線がバルク集合体 24 を通過して強磁性体 28 に至るように導かれる。より詳しくは、本実施の形態では、強磁性体 28 が底壁部 101E の外面よりもコア部 101C 側に位置しているため、着磁装置 100 のハウジングと強磁性体 28 とで略矩形状の磁気回路が形成され、この磁気回路における直線部分にバルク集合体 24 が位置するため、磁束線がバルク集合体 24 を効率的に通過する。これにより、効率的に着磁が行われる。

30

【0076】

そして、前述のように、所定時間だけ磁場が印加された後、図 11 に示すように、コイル 102 への電流の供給が停止されて、すなわち、コイル 102 の印加電流が 0 とされて、磁場が解消される。その後は、回転子 20 が回転されて、回転子 20 の次の着磁対象の磁極 21 が、着磁装置 100 の配置空間 D 内に配置され、着磁が行われる。

40

【0077】

以上に記載した本実施の形態によれば、強磁性体からなるハウジング 101 の頂壁部 101T 及び周壁部 101S によってコイル 102 が覆われ、周壁部 101S が、頂壁部 101T 側とは反対側の方向に向けて開放していることで、コア部 101C の一端部 (先端部) 底壁部 101E 周壁部 101S 頂壁部 101T コア部 101C の他端部 (基端部) の順で貫流する磁気回路が形成される。そして、周壁部 101S の頂壁部 101T からの高さが、コア部 101C の頂壁部 101T からの高さよりも大きくなっていること

50

で、コア部101Cの一端部(先端部)から周壁部101S(底壁部101E)に至る磁気回路中の磁束線Wが、周壁部101S及び底壁部101Eの内側にある配置空間D内において集約(集中した状態と)される。これにより、配置空間Dにおけるコア部101Cの一端部延長線上での磁束密度を効果的に確保することができる。これにより、配置空間Dにおけるコア部101Cの一端部延長線上において高密度の磁束が被着磁物を通過することができる。

【0078】

しかも、本実施の形態では、周壁部101Sが、その先端部からコア部101C側に向けて伸びる、強磁性体からなる底壁部101Eを有し、底壁部101Eが、コア部101Cが垂下する方向に沿って見た場合に、コア部101Cと重ならない位置まで伸びており、配置空間Dが、コア部101Cの先端部に対向する領域であって、底壁部101Eの内周縁の内側に位置する領域に形成されている。これにより、磁束線Wが、コア部101Cの一端部(先端部)から底壁部101Eに至ることによって、配置空間Dにおけるコア部101Cの一端部延長線上に一層集約(集中した状態と)される。これにより、被着磁物に対する着磁の効率を一層向上させている。

10

【0079】

さらに、ラジアルギャップ型超電導同期機1においては、強磁性体28が設けられていることによって、着磁装置100からの多数の磁束線Wがバルク超電導体30からなるバルク集合体24を通過して強磁性体28に至るように導かれる。これにより、磁束線を集約させてバルク超電導体30からなるバルク集合体24に通過させることができる。

20

【0080】

以上により、バルク超電導体30からなるバルク集合体24から着磁装置100のコイル102が離れて配置されてバルク集合体24を囲うようにコイル102が大きく形成されなくても、バルク集合体24に対する着磁が高効率に行われる。このことにより、大型の着磁装置100によって着磁が行われなくてもバルク集合体24における十分な捕捉磁束を確保できるため、結果的に、本実施の形態によれば、実用性を確保しつつ、バルク超電導体30からなるバルク集合体24における捕捉磁束を効果的に増加させることができる。その結果、同期機のトルク及び出力を向上させることが可能となる。

【0081】

また、本実施の形態の着磁装置100は、コイル102がバルク集合体24から離れていてもバルク集合体24に十分な捕捉磁束を確保できるため、バルク集合体24に対して十分な捕捉磁束を確保できる配置自由度が向上し、この点からも実用性を確保することができる。具体的には、本実施の形態のように回転子20が多数極の回転子である場合に、着磁装置100が着磁対象の磁極21のバルク集合体24に近接して配置された際であっても、着磁装置100は隣の磁極に干渉すること等が抑制されるので、複数並ぶ各磁極それぞれにおいて十分な捕捉磁束を確保できる。

30

【0082】

また、本実施の形態のラジアルギャップ型超電導同期機1においては、バルク集合体24が、回転子20の回転軸C1方向に見て、その磁極21中央部側がその端部側に比して固定子10に近接して配置されている。このことによって、バルク集合体24が固定子10の円弧状の内面に沿うように配置され、バルク集合体24と固定子10との間のギャップを抑制することができる。これにより、バルク集合体24から固定子10に向けて効率的に磁場を作用させることもできる。

40

【0083】

また、本実施の形態のラジアルギャップ型超電導同期機1においては、着磁装置100によってバルク集合体24に着磁が行われた場合に、着磁後のバルク集合体24はその磁力によって着磁装置100を構成する強磁性体からなるハウジング101に向けて移動しようとする一方で、バルク集合体24の回転軸C1側にある強磁性体28に向けても移動しようとする。これにより、バルク集合体24が着磁装置100に向けて移動することが抑制されることで、バルク集合体24を所期の設置位置に保持することもできる。

50

【0084】

(実施例)

次に、本発明の実施例によるラジアルギャップ型超電導同期機1について説明する。図13は、本発明の実施例によるラジアルギャップ型超電導同期機1の性能と、比較例1～3による従来の超電導同期機の各性能と、をまとめた表を示す図である。

【0085】

図13においては、実施例及び比較例1～3の同期機の「型式」と、性能の一例を示す「回転数」、「トルク」及び「出力」と、界磁または電機子に用いられる「超電導材料」と、超電導材料を低温に維持するための「冷媒」または「冷却方式」と、磁極における「捕捉磁束密度」と、が示されている。

10

【0086】

実施例によるラジアルギャップ型超電導同期機1は、前述の実施の形態で説明したように着磁装置100によって着磁を行うことで、各磁極21のバルク集合体24に磁束線を捕捉させたものである。実施例1では、バルク超電導体30にGdBCOが用いられ、冷媒に、ネオンが用いられている。そして、実施例のラジアルギャップ型超電導同期機1においては、捕捉磁束が一例として5.0テスラ(T)という極めて高い磁束密度が得られ、回転数が190rpmの際に1508Nmという極めて高いトルクが得られることが試算されている。そして、この回転数の際の出力が30kWと試算されている。

【0087】

比較例1は、リラクタンس型超電導同期機(ラジアルギャップ型)であり、界磁極にYBCO(YBa2Cu3O7-z)高温超電導バルクが用いられ、冷媒に、液体窒素が用いられたものである。その性能の一例には、3000rpmの際に、127Nmのトルクが得られ、この際の出力が40kWであることが示されている。実施例と比較例1とを比較すると、実施例においては、低回転域で、比較例1に比較して極めて大きなトルクが得られるため、比較例1よりも、迅速に大きな出力が得られることが分かる。

20

【0088】

比較例2は、ラジアルギャップ型超電導同期機であり、界磁極にYBCO高温超電導バルクが用いられ、冷却に、直接伝導冷却が用いられたものである。その性能の一例には、600rpmの際に、24Nmのトルクが得られ、この際の出力が1.5kWであることが示されている。実施例と比較例2とを比較すると、実施例においては、低回転域で、比較例2に比較して極めて大きなトルクが得られるため、比較例2よりも、迅速にはるかに大きな出力が得られることが分かる。

30

【0089】

比較例3は、アキシシャルギャップ型超電導同期機であり、界磁に超電導材料のGdBCOが用いられ、その捕捉磁束密度は、0.8～0.9Tであり、冷媒に、液体窒素が用いられたものである。その性能の一例には、720rpmの際に、212Nmのトルクが得られ、この際の出力が16kWであることが示されている。実施例と比較例3とを比較すると、比較例3においては、比較的low回転で高トルクが得られるものの、実施例には及ばない。このため、実施例では、比較例3よりも迅速にはるかに大きな出力が得られることが分かる。なお、比較例3では、バルク超電導体はパルス着磁により着磁されている。

40

【0090】

以上、本発明の実施の形態及び実施例を説明したが、本発明は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、上記の実施の形態において種々の変更等がなされるものも含む。例えば、実施の形態のラジアルギャップ型超電導同期機1では、バルク集合体24が15個のバルク超電導体30から構成される例を説明したが、バルク超電導体30の数は他の態様であってもよいし、1つのバルク超電導体が磁極部21に設けられてもよい。また、バルク超電導体30の材料はGdBCOに限定されるものではない。

【0091】

また、実施の形態のラジアルギャップ型超電導同期機1では、磁極21が4つである例を説明したが、この数も他の態様であってもよい。

50

【 0 0 9 2 】

また、実施の形態のラジアルギャップ型超電導同期機 1 では、その固定子 1 0 が、断面円形状で軸方向に比較的長尺な円筒状に形成されているが、軸方向に比較的短い円環状に形成されていてもよい。回転子 2 0 が比較的大型になる場合には、固定子 1 0 は円環状に形成されていることが好ましい。

【 0 0 9 3 】

また、回転子 2 0 や真空カバー 3 を形成する材料は、実施の形態で説明したもの以外の材料でもよいことは言うまでもない。また、実施の形態のバルク超伝導体 3 0 は、回転子 2 0 の径方向の外側から見て矩形のものを説明したが、円形状のもの等であってもよい。

【 0 0 9 4 】

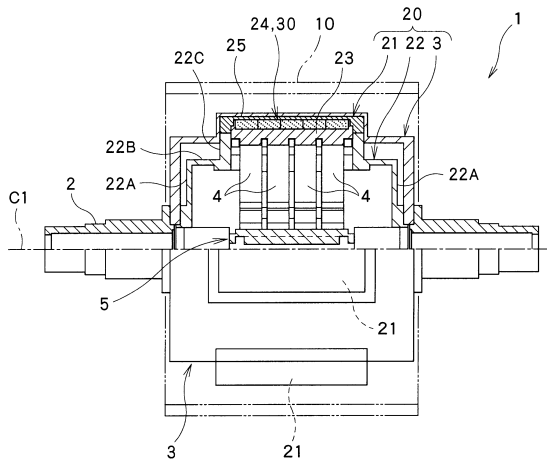
また、本実施の形態では、ラジアルギャップ型超電導同期機 1 においてバルク超伝導体 3 0 が設けられたが、超電導線材が設けられてもよい。また、着磁装置 1 0 0 に設けられた底壁部 1 0 1 E は、ハウジング 1 0 0 において設けられなくても構わないが、底壁部 1 0 1 E が設けられる場合には着磁の効率が向上する。

【 符号の説明 】

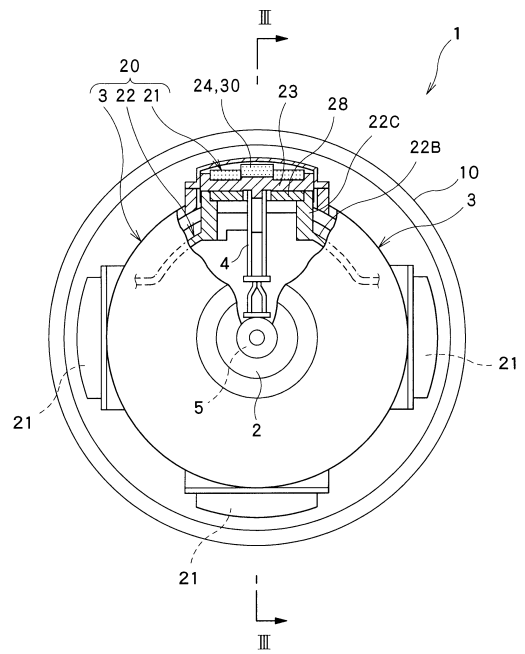
【 0 0 9 5 】

- | | | |
|---------|-----------------|----|
| 1 | ラジアルギャップ型超電導同期機 | |
| 2 | 回転シャフト | |
| 3 | 真空カバー | |
| 4 | 伝熱部材 | 20 |
| 5 | 熱交換器 | |
| 1 0 | 固定子 | |
| 2 0 | 回転子 | |
| 2 1 | 磁極 | |
| 2 2 | 回転子本体 | |
| 2 2 A | 円板部 | |
| 2 2 B | 胴部 | |
| 2 2 C | 磁極固定部 | |
| 2 3 | 冷却ベース部材 | |
| 2 3 A | 設置面 | 30 |
| 2 3 B | 接続部 | |
| 2 3 C | 中央部 | |
| 2 3 S | 側部 | |
| 2 4 | バルク集合体 | |
| 2 5 | バルク固定部材 | |
| 2 8 | 強磁性体 | |
| 3 0 | バルク超伝導体 | |
| 1 0 0 | 着磁装置 | |
| 1 0 1 | ハウジング | |
| 1 0 1 T | 頂壁部 | 40 |
| 1 0 1 S | 周壁部 | |
| 1 0 1 C | コア部 | |
| 1 0 1 E | 底壁部 | |
| 1 0 2 | コイル | |
| 1 0 3 | 接続線 | |
| 1 0 4 | 電流供給部 | |

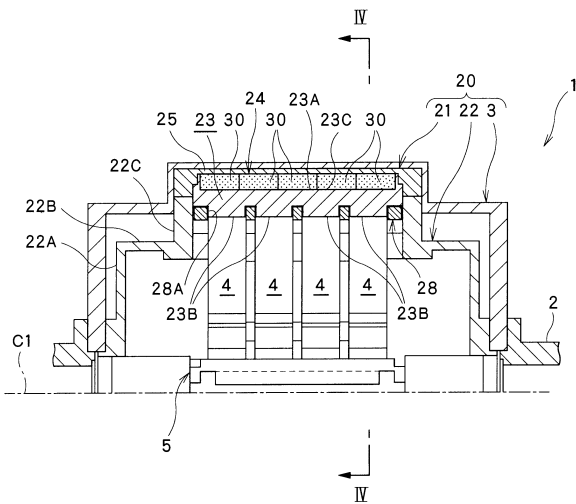
【図 1】



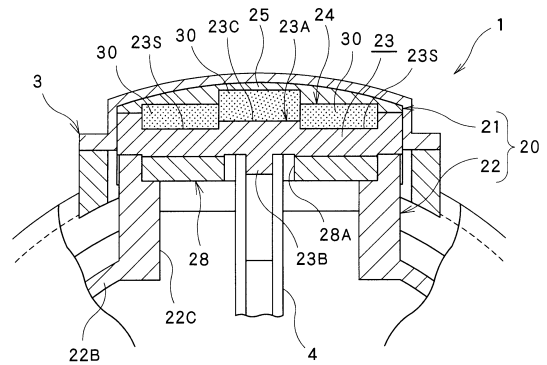
【図 2】



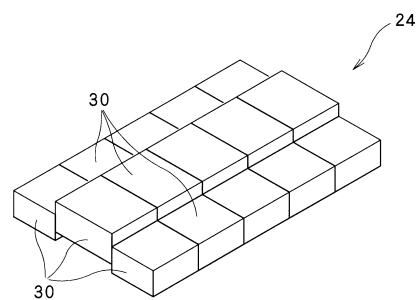
【図 3】



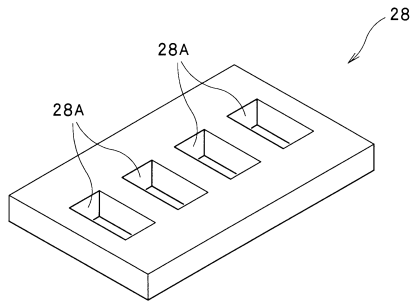
【図 4】



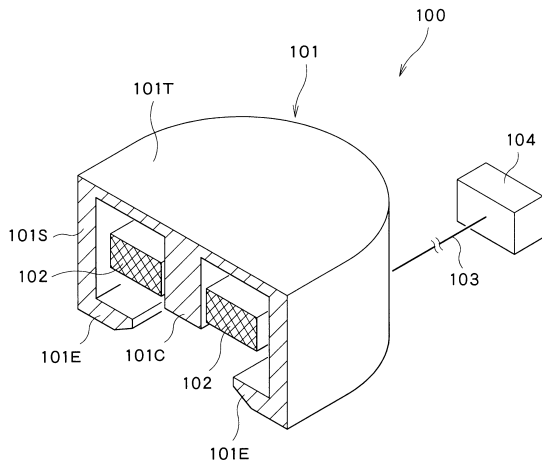
【図 5】



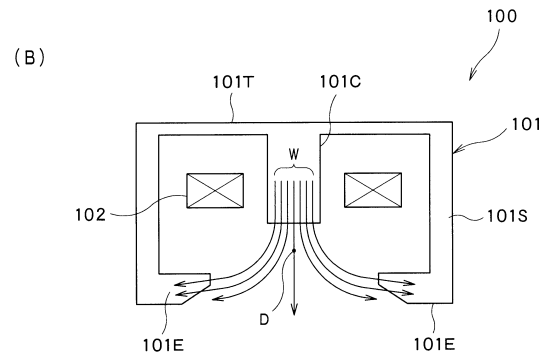
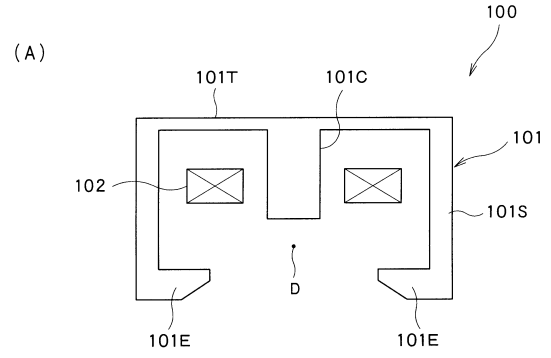
【図6】



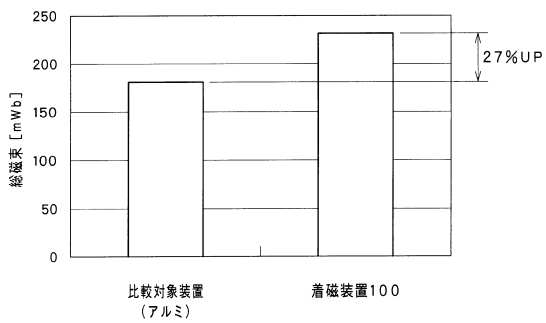
【図7】



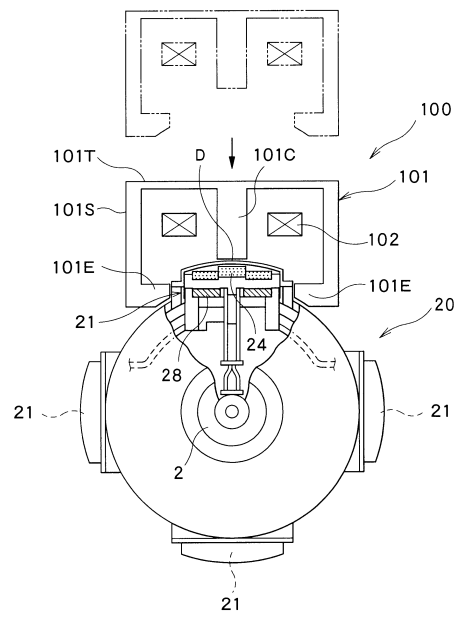
【図8】



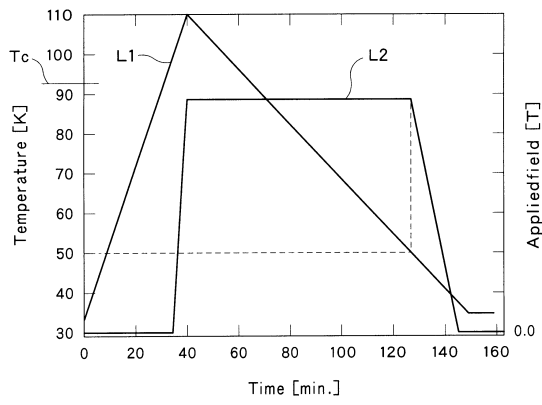
【図9】



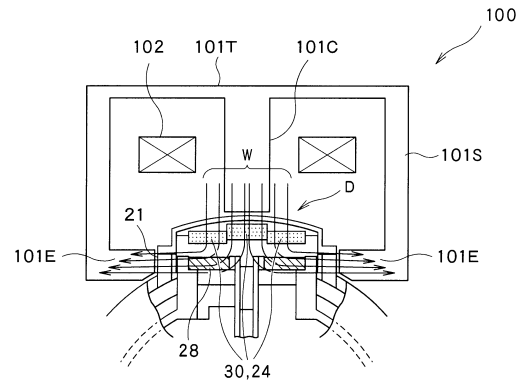
【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】

実施例	型式	回転数 (rpm)	トルク (Nm)	出力 (kW)	超電導材料	冷媒または冷却方式	捕捉磁気密度 (T)
比較例1	ラジアルギャップ型超電導同期機	190	1508	30	GdBCO	ネオン	5
比較例2	リラクタンスタイプ超電導同期機 (ラジアルギャップ)	3000	127	40	YBCO	液体窒素	-
比較例3	ラジアルギャップ型超電導同期機	600	24	15	YBCO	直接伝導冷却	-
実施例	7キシャルギャップ型超電導同期機	720	212	16	GdBCO	液体窒素	0.8-0.9

フロントページの続き

- (72)発明者 和 泉 充
東京都江東区越中島2 - 1 - 6 国立大学法人東京海洋大学内
- (72)発明者 三 木 基 寛
東京都江東区越中島2 - 1 - 6 国立大学法人東京海洋大学内

審査官 三澤 哲也

- (56)参考文献 特開2003 - 332128 (JP, A)
特開平05 - 219717 (JP, A)
特開2008 - 034692 (JP, A)
特開2014 - 057396 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|------|-------|
| H02K | 55/02 |
| H02K | 15/03 |