

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5465249号
(P5465249)

(45) 発行日 平成26年4月9日(2014.4.9)

(24) 登録日 平成26年1月31日(2014.1.31)

(51) Int.Cl. F 1
F 1 6 C 32/04 (2006.01) F 1 6 C 32/04 A

請求項の数 13 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2011-522712 (P2011-522712)	(73) 特許権者	504203572 国立大学法人茨城大学 茨城県水戸市文京二丁目1番1号
(86) (22) 出願日	平成22年7月12日(2010.7.12)	(74) 代理人	100097113 弁理士 堀 城之
(86) 国際出願番号	PCT/JP2010/004512	(74) 代理人	100162363 弁理士 前島 幸彦
(87) 国際公開番号	W02011/007544	(72) 発明者	増澤 徹 茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内
(87) 国際公開日	平成23年1月20日(2011.1.20)	(72) 発明者	佐々木 瑛祐 茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内
審査請求日	平成25年5月24日(2013.5.24)	審査官	河端 賢
(31) 優先権主張番号	特願2009-167937 (P2009-167937)		
(32) 優先日	平成21年7月16日(2009.7.16)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気浮上制御装置およびハイブリッド型磁気軸受け

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

バイアス用永久磁石によって形成されるバイアス磁束と、電磁石によって形成される制御磁束とによって前記電磁石に対する磁気浮上対象物の位置を制御する磁気浮上制御装置であって、

前記バイアス磁束が前記電磁石の電磁石コアを通るように形成されると共に、

前記制御磁束の磁路となるバイパス磁路が前記バイアス用永久磁石と並列に形成されており、

該バイパス磁路が前記バイアス磁束の通過を阻止する方向に磁化されていることを特徴とする磁気浮上制御装置。

【請求項2】

前記バイパス磁路が永久磁石と磁性体とで構成され、前記バイパス磁路の永久磁石によって形成される磁束が前記バイアス磁束として機能することを特徴とする請求項1記載の磁気浮上制御装置。

【請求項3】

前記バイアス用永久磁石および前記バイパス磁路が前記磁気浮上対象物に設けられていることを特徴とする請求項2記載の磁気浮上制御装置。

【請求項4】

前記電磁石を磁極となる2つの突極が前記磁気浮上対象物に対向するように配置させ、前記バイアス用永久磁石を磁極が前記磁気浮上対象物の前記電磁石との対向面と平行に

10

20

なるように配置させ、

前記バイパス磁路の永久磁石を磁極が前記磁気浮上対象物の前記電磁石との対向面と垂直になるように配置させることを特徴とする請求項 3 記載の磁気浮上制御装置。

【請求項 5】

前記バイパス磁路の永久磁石として、2つの永久磁石が前記電磁石の2つの突極に対向してそれぞれ設けられ、2つの永久磁石の磁力は、前記電磁石の2つの突極と前記磁気浮上対象物とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定されていることを特徴とする請求項 4 記載の磁気浮上制御装置。

【請求項 6】

前記バイパス用永久磁石および前記バイパス磁路が前記電磁石に設けられていることを特徴とする請求項 2 記載の磁気浮上制御装置。

10

【請求項 7】

バイパス用永久磁石によって形成されるバイパス磁束と、電磁石によって形成される制御磁束とによって前記電磁石に対する磁気浮上ロータの位置を制御するハイブリッド型磁気軸受けであって、

前記バイパス磁束が前記電磁石の電磁石コアを通るように形成されると共に、

前記制御磁束の磁路となるバイパス磁路が前記バイパス用永久磁石と並列に形成されており、

該バイパス磁路が前記バイパス磁束の通過を阻止する方向に磁化されていることを特徴とするハイブリッド型磁気軸受け。

20

【請求項 8】

前記バイパス磁路が永久磁石と磁性体とで構成され、前記バイパスの永久磁石によって形成される磁束が前記バイパス磁束として機能することを特徴とする請求項 7 記載のハイブリッド型磁気軸受け。

【請求項 9】

径方向に着磁されて円環状に配置されている前記バイパス用永久磁石と、当該バイパス用永久磁石の各磁極を接続する前記バイパス磁路とが前記磁気浮上ロータに設けられ、

前記電磁石は、磁極となる2つの突極が前記磁気浮上ロータに軸方向から対向するように配置され、前記電磁石によって前記磁気浮上ロータの軸方向の位置を制御させることを特徴とする請求項 8 記載のハイブリッド型磁気軸受け。

30

【請求項 10】

前記バイパス磁路の永久磁石として、前記磁気浮上ロータの軸方向に着磁されて円環状に配置されている永久磁石が設けられていることを特徴とする請求項 9 記載のハイブリッド型磁気軸受け。

【請求項 11】

前記バイパス磁路の永久磁石として、2つの永久磁石が前記電磁石の2つの突極に対向してそれぞれ設けられ、2つの永久磁石の磁力は、前記電磁石の2つの突極と前記磁気浮上対象物とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定されていることを特徴とする請求項 10 記載のハイブリッド型磁気軸受け。

【請求項 12】

前記バイパス用永久磁石および前記バイパス磁路が前記電磁石に設けられていることを特徴とする請求項 8 記載のハイブリッド型磁気軸受け。

40

【請求項 13】

軸方向に着磁された円筒状の前記バイパス用永久磁石と、当該バイパス用永久磁石の各磁極を接続する前記バイパス磁路とが前記磁気浮上ロータに設けられ、

前記電磁石は、磁極となる2つの突極が前記磁気浮上ロータに径方向から対向するように配置され、前記電磁石によって前記磁気浮上ロータの径方向の位置を制御させることを特徴とする請求項 8 記載のハイブリッド型磁気軸受け。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【0001】

本発明は、永久磁石と電磁石を併用して浮上対象物の位置を制御する磁気浮上制御装置およびハイブリッド型磁気軸受けに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の永久磁石と電磁石を併用するハイブリッド型磁気軸受けとしては、複数の電磁石と永久磁石の磁気力を制御することにより非接触状態で支持され回転するロータを有するハイブリッド型磁気軸受け（特許文献1）や、人工心臓用の磁気軸受け（特許文献2）が知られており、電磁石により生ずる電磁石磁束に永久磁石により生ずるバイアス磁束を重畳することにより、磁気軸受けの制御に必要な磁束を得ようとする技術は上記により知られている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-120635号公報

【特許文献2】特開2005-121157号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1に記載のハイブリッド型磁気軸受けにおいては、電磁石により生ずる電磁石磁束と、永久磁石により生ずるバイアス磁束とから磁路が3次的に構成されているため、各々の磁束のもれ損失が大きく、効率を高めることが出来ないという問題点がある。また、構造が複雑であり、製作が困難であるという問題点がある。

20

【0005】

磁束のもれ損失を少なくし、またハイブリッド型磁気軸受けの製作を容易とするための解決手段として、磁路を2次的に構成することが考えられる。しかし、磁路を2次的に構成した場合、特許文献2に記載の磁気軸受けのように、電磁石によって形成する磁束と永久磁石により生ずるバイアス磁束が共に同一の永久磁石を通る磁路を形成することとなり、電磁石によって形成する磁束が永久磁石の大きい磁気抵抗により弱められ、磁気軸受けの移動制御に必要な大きな磁束を得ることが困難となる。

30

【0006】

本発明は、かかる点に鑑みて、永久磁石と電磁石とを互いの磁束が重畳する位置に配置しても、電磁石によって形成される制御磁束について、バイアス磁束を発生させるための永久磁石の磁気抵抗の影響を減少させることにより、電磁石により形成される制御磁束の損失を抑制し、磁気浮上対象物の位置制御を行うための大きな磁束を得ることの出来る磁気浮上制御装置およびハイブリッド型磁気軸受け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】

【0007】

本発明は、バイアス用永久磁石によって形成されるバイアス磁束と、電磁石によって形成される制御磁束とによって前記電磁石に対する磁気浮上対象物の位置を制御する磁気浮上制御装置であって、前記バイアス磁束が前記電磁石の電磁石コアを通るように形成されると共に、前記制御磁束の磁路となるバイパス磁路が、前記バイアス用永久磁石と並列に形成されており、該バイパス磁路が前記バイアス磁束の通過を阻止する方向に磁化されていることを特徴とする。

40

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、前記バイパス磁路が永久磁石と磁性体とで構成され、前記バイパス磁路の永久磁石によって形成される磁束が前記バイアス磁束として機能することを特徴とする。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、前記バイアス用永久磁石および前記バイパス磁路が前記磁気浮上対象物に設けられていることを特徴とする。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、前記電磁石を磁極となる2つの突極が前記磁気

50

浮上対象物に対向するように配置させ、前記バイアス用永久磁石を磁極が前記磁気浮上対象物の前記電磁石との対向面と平行になるように配置させ、前記バイパス磁路の永久磁石を磁極が前記磁気浮上対象物の前記電磁石との対向面と垂直になるように配置させることを特徴とする。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、前記バイパス磁路の永久磁石として、2つの永久磁石が前記電磁石の2つの突極に対向してそれぞれ設けられ、2つの永久磁石の磁力は、前記電磁石の2つの突極と前記磁気浮上対象物とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定されていることを特徴とする。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、前記バイアス用永久磁石および前記バイパス磁路が前記電磁石に設けられていることを特徴とする。

10

また、本発明は、バイアス用永久磁石によって形成されるバイアス磁束と、電磁石によって形成される制御磁束とによって前記電磁石に対する磁気浮上ロータの位置を制御するハイブリッド型磁気軸受けであって、前記バイアス磁束が前記電磁石の電磁石コアを通るように形成されると共に、前記制御磁束の磁路となるバイパス磁路が、前記バイアス用永久磁石と並列に形成されており、該バイパス磁路が前記バイアス磁束の通過を阻止する方向に磁化されていることを特徴とする。

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、前記バイパス磁路が永久磁石と磁性体とで構成され、前記バイパスの永久磁石によって形成される磁束が前記バイアス磁束として機能することを特徴とする。

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、径方向に着磁されて円環状に配置されている前記バイアス用永久磁石と、当該バイアス用永久磁石の各磁極を接続する前記バイパス磁路とが前記磁気浮上ロータに設けられ、前記電磁石は、磁極となる2つの突極が前記磁気浮上ロータに軸方向から対向するように配置され、前記電磁石によって前記磁気浮上ロータの軸方向の位置を制御させることを特徴とする。

20

さらに、本発明のハイブリッド磁気軸受けは、前記バイパス磁路の永久磁石として、前記磁気浮上ロータの軸方向に着磁されて円環状に配置されている永久磁石が設けられていることを特徴とする。

さらに、本発明のハイブリッド磁気軸受けは、前記バイパス磁路の永久磁石として、2つの永久磁石が前記電磁石の2つの突極に対向してそれぞれ設けられ、2つの永久磁石の磁力は、前記電磁石の2つの突極と前記磁気浮上対象物とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定されていることを特徴とする。

30

さらに、本発明のハイブリッド磁気軸受けは、前記バイアス用永久磁石および前記バイパス磁路が前記電磁石に設けられていることを特徴とする。

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、軸方向に着磁された円筒状の前記バイアス用永久磁石と、当該バイアス用永久磁石の各磁極を接続する前記バイパス磁路とが前記磁気浮上ロータに設けられ、前記電磁石は、磁極となる2つの突極が前記磁気浮上ロータに径方向から対向するように配置され、前記電磁石によって前記磁気浮上ロータの径方向の位置を制御させることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

40

本発明の磁気浮上制御装置は、上述のように、バイアス磁束が電磁石の電磁石コアを通るように形成されると共に、制御磁束の磁路となるバイパス磁路が、バイアス用永久磁石と並列に形成されており、該バイパス磁路がバイアス磁束の通過を阻止する方向に磁化されているように構成することにより、バイアス用永久磁石と電磁石との互いの磁束が重畳する位置に配置しても、電磁石によって形成される制御磁束がバイパス磁路を通ることになるため、バイアス磁束を発生させるためのバイアス用永久磁石の磁気抵抗の影響を減少させ、電磁石により形成される制御磁束の損失を抑制し、磁気浮上対象物の位置制御を行うための大きな磁束を得ることができる。これにより、バイアス用永久磁石と電磁石とを互いの磁束が重畳する位置に配置することができ、装置を小型化することができる。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、バイパス磁路を永久磁石と磁性体とで構成する

50

ことにより、バイパス磁路の永久磁石によって形成される磁束をバイアス磁束として機能させることができ、磁気吸引力を効率よく向上させることができる。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、バイアス用永久磁石およびバイパス磁路を磁気浮上対象物に設けることにより、制御磁束を形成する電磁石の構成を簡略化することができる、電磁石のメンテナンスを容易に行うことができる。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、電磁石を磁極となる2つの突極が磁気浮上対象物に対向するように配置させ、バイアス用永久磁石を磁極が磁気浮上対象物の電磁石との対向面と平行になるように配置させ、バイパス磁路の永久磁石を磁極が磁気浮上対象物の電磁石との対向面と垂直になるように配置させることにより、バイパス磁路の永久磁石の断面積を確保しやすいため、バイパス磁路の磁気抵抗を効率よく減少させることができ、バイアス用永久磁石を含めた全体の磁気抵抗を減少させることができる。

10

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、バイパス磁路の永久磁石として、2つの永久磁石が電磁石の2つの突極に対向してそれぞれ設けられ、2つの永久磁石の磁力は、電磁石の2つの突極と磁気浮上対象物とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定されるように構成することにより、電磁石の2つの突極において、均等な条件で磁気吸引力を作用させることができる。

さらに、本発明の磁気浮上制御装置は、バイアス用永久磁石およびバイパス磁路を電磁石に設けることにより、磁気浮上対象物の構成を簡略化して軽量化することができるため、浮上制御を容易に行うことができる。

また、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、バイアス磁束が電磁石の電磁石コアを通るように形成されると共に、制御磁束の磁路となるバイパス磁路が、バイアス用永久磁石と並列に形成されており、該バイパス磁路がバイアス磁束の通過を阻止する方向に磁化されているように構成することにより、バイアス用永久磁石と電磁石との互いの磁束が重畳する位置に配置しても、電磁石によって形成される制御磁束がバイパス磁路を通ることになるため、バイアス磁束を発生させるためのバイアス用永久磁石の磁気抵抗の影響を減少させ、電磁石により形成される制御磁束の損失を抑制し、磁気浮上対象物の位置制御を行うための大きな磁束を得ることができる。これにより、バイアス用永久磁石と電磁石とを互いの磁束が重畳する位置に配置することができ、装置を小型化することができる。

20

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、バイパス磁路を永久磁石と磁性体とで構成することにより、バイパス磁路の永久磁石によって形成される磁束をバイアス磁束として機能させることができ、磁気吸引力を効率よく向上させることができる。

30

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、径方向に着磁されて円環状に配置されているバイアス用永久磁石と、当該バイアス用永久磁石の各磁極を接続するバイパス磁路とが磁気浮上ロータに設けられ、電磁石は、磁極となる2つの突極が磁気浮上ロータに軸方向から対向するように配置され、電磁石によって磁気浮上ロータの軸方向の位置を制御させるように構成することにより、電磁石の電磁石コアを通過する磁束が磁気浮上ロータの回転により変化しないので、渦電流損等鉄損を低くすることができると共に、磁気浮上ロータの径方向に電磁石を配置する必要がないため、スリムな装置を実現することができる。

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、バイパス磁路の永久磁石として、磁気浮上ロータの軸方向に着磁されて円環状に配置されている永久磁石を設けることにより、バイパス磁路の永久磁石の断面積を確保しやすいため、バイパス磁路の磁気抵抗を効率よく減少させることができ、バイアス用永久磁石を含めた全体の磁気抵抗を減少させることができる。

40

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、バイパス磁路の永久磁石として、2つの永久磁石が電磁石の2つの突極に対向してそれぞれ設けられ、2つの永久磁石の磁力は、電磁石の2つの突極と磁気浮上対象物とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定されるように構成することにより、電磁石の2つの突極において、均等な条件で磁気吸引力を作用させることができる。

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、バイアス用永久磁石およびバイパス磁

50

路を電磁石に設けることにより、磁気浮上ロータの構成を簡略化して軽量化することができるため、浮上制御を容易に行うことができる。

さらに、本発明のハイブリッド型磁気軸受けは、軸方向に着磁された円筒状のバイアス用永久磁石と、当該バイアス用永久磁石の各磁極を接続するバイパス磁路とが磁気浮上ロータに設けられ、電磁石は、磁極となる2つの突極が磁気浮上ロータに径方向から対向するように配置され、電磁石によって磁気浮上ロータの径方向の位置を制御させるように構成することにより、電磁石の電磁石コアを通過する磁束が磁気浮上ロータの回転により変化しないので、渦電流損等鉄損を低くすることができると共に、磁気浮上ロータの軸方向に電磁石を配置する必要がないため、装置を薄く構成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施の形態に係る磁気浮上制御装置の基本的な構成を示す断面図である。

【図2】本発明の実施の形態の変形例の構成を示す図である。

【図3】本発明の実施の形態の更なる変形例を示す図である。

【図4】本発明の実施の形態の更なる変形例を示す図である。

【図5】図4に示す本発明の実施の形態の応用例を示す図である。

【図6】本発明の第1の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受けの構成を示す図である。

【図7】図6に示す第1の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受けの断面を示す図である。

【図8】本発明の第2の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受けの構成を示す図である。

【図9】本発明の第3の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受けの構成を示す図である。

【図10】図9に示す第3の実施例の断面を示す図である。

【図11】本発明の第4の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受けの構成を示す図である。

【図12】図1に示す磁気浮上制御装置の電磁石から見た磁気等価回路図である。

【図13】図6に示すように電磁石を複数配置したハイブリッド型磁気軸受けにおいて電磁石から見た磁気等価回路図である。

【図14】バイパス磁路の永久磁石の厚さをパラメータとした有限要素法による数値解析に用いた磁気浮上制御装置の形状および寸法を示す図である。

【図15】バイパス磁路の永久磁石の厚さをパラメータとした有限要素法の数値解析結果を示す図である。

【図16】バイパス磁路の永久磁石の厚さをパラメータとした有限要素法の数値解析結果を示す図である。

【図17】バイパス磁路の永久磁石の厚さをパラメータとした有限要素法の数値解析結果を示す図である。

【図18】バイパス磁路の永久磁石の厚さをパラメータとした有限要素法の数値解析結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明を実施するための形態を図に基づいて説明する。

【0011】

図1は本発明の実施の形態である磁気浮上制御装置100の基本的な構成を示す。図1において、20は電磁石コア1に電磁石コイル2を巻回した電磁石である。3、5および8はそれぞれ左側、中央、及び右側に配置された棒状の磁性体、4および7は夫々左側及び右側に配置された棒状の永久磁石、6は中央に配置された棒状の永久磁石である。左側に配置された永久磁石4と右側に配置された永久磁石7が他の磁石手段を構成する。また、電磁石コア1は、磁極となる2つの突極1a、1cを有するコの字形状であり、2つの突極1a、1cは、それぞれ磁性体3、8に対向する位置に配置される。

【0012】

10

20

30

40

50

磁性体 3、5、8、永久磁石 4、7、中央に配置された永久磁石 6 は図示しない磁気浮上対象物上に固定され、自体も磁気浮上対象物 50 となる。永久磁石 6 は、バイアス磁束 10 を形成し、電磁石 20 によって形成される制御磁束 9 とバイアス磁束 10 とで、磁気浮上対象物 50 に対して電磁石 20 に引きつける方向の引力を作用させる。一方、磁気浮上対象物 50 には、図示しない電磁石や永久磁石、又は重力等によって、電磁石 20 から離れる方向（図中下方向）の離力が作用しており、当該離力と制御磁束 9 およびバイアス磁束 10 による引力とをバランスさせることで磁気浮上対象物 50 が浮上する。また、電磁石コイル 2 に流される電流を変化させ、制御磁束 9 の強さを制御することで、磁気浮上対象物を上下（図の Z 軸方向）に移動制御することができ、さらに、磁気浮上対象物 50 に作用する離力が変化した場合でも、制御磁束 9 の強さを制御することで、磁気浮上対象物 50 を同じ位置に制御することが可能になる。15 は空間又は非磁性体部を示す。

10

【0013】

このように、永久磁石 6、他の磁石手段である永久磁石 4、7 および磁性体 3、5、8 を含んで構成された 1 つの磁気浮上対象物 50 は、断面矩形状に一体的に形成され、電磁石 20 に対向配置される。

【0014】

バイアス磁束 10 を形成する永久磁石 6 は、浮上支持対象物 50 の中央に、磁極が電磁石 20 との対向面と平行になるように配置され、図面上で水平配置される永久磁石 6 は左端が N 極に、右端が S 極に着磁されている。磁気浮上対象物 50 の左側に配置される永久磁石 4 は、磁極が電磁石 20 との対向面と垂直になるように、上面が N 極に、下面が S 極に着磁されている。浮上支持対象物の右側に配置される永久磁石 7 も、磁極が電磁石 20 との対向面と垂直になるように、上面が S 極に、下面が N 極に着磁されている。この構成により、永久磁石 4、7 の断面積を確保しやすいため、バイパス磁路 9A の磁気抵抗を効率よく減少させることができ、永久磁石 6 を含めた全体の磁気抵抗を減少させることができる。

20

【0015】

左側の永久磁石 4 の上面の N 極は、永久磁石 6 の図示左端の N 極と、電磁石 20 の突極 1a と対向する磁性体 3 を介して接続され、右側の永久磁石 7 の上面の S 極は、永久磁石 6 の図示右端の S 極と、電磁石 20 の突極 1c と対向する磁性体 8 を介して接続される。また、左側の永久磁石 4 の下面の S 極と右側の永久磁石 7 の下面の N 極は磁性体 5 を介して接続される。

30

【0016】

当該接続構成により、図 1 において実線で示す、永久磁石 6 により発生する永久磁石磁束であるバイアス磁束 10 の磁路が、左側の磁性体 3、電磁石コア 1、右側の磁性体 8 とから構成される。

【0017】

また、磁性体 3、左側の永久磁石 4、磁性体 5、右側の永久磁石 7 および磁性体 8 により、中央に配置される永久磁石 6 と並列に、バイパス磁路 9A が形成される。バイパス磁路 9A の形成に際しては、例えば、同一性能の永久磁石が使用される場合、即ち、透磁率が同じである同一材質で構成した場合、磁束方向における永久磁石 4 および永久磁石 7 の板幅は、永久磁石 6 の中に形成される図において水平方向の板幅に比べてはるかに小さなものとされる。このため、中央に配置される磁気抵抗の大きい永久磁石 6 と比較し、バイパス磁路 9A の磁気抵抗は小さいものとなる。

40

【0018】

このように、バイパス磁路 9A は、永久磁石 4、7 によってバイアス磁束 10 の通過を阻止する方向に磁化されている。即ち、永久磁石 4、7 は、バイパス磁路 9A を磁化させるバイパス磁路用永久磁石として用いられる。永久磁石 4、7 と永久磁石 6 とがそれぞれ接続された磁性体 3、8 において、バイアス磁束 10 を形成する永久磁石 6 の磁極に対して磁束方向で同一極になるように永久磁石 4、7 が配設されることで、バイパス磁路 9A がバイアス磁束 10 の通過を阻止する方向に磁化される。また、永久磁石 4、7 によるバ

50

バイパス磁路 9 A の磁気抵抗が永久磁石による磁気抵抗に比べて小さくなるようにして形成されて配設される。

【 0 0 1 9 】

永久磁石 4、6、7 の着磁方向を全て逆にすると共に、電磁石コイル 2 に流れる電流の向きを反対にすることで制御磁束 9 の向きを逆にしても良く、それにより本実施の形態の効果を何ら損なうものではない。ここでは、本発明の実施の形態の説明に当たって、上記の永久磁石 4、6、7 の着磁方向で説明する。

【 0 0 2 0 】

図 1 に示す破線は、電磁石コイル 2 と電磁石コア 1 からなる電磁石 2 0 により発生する電磁石磁束である制御磁束 9 を示す。制御磁束 9 は、中央に配置された永久磁石 6 が横方向に細長い断面形状のため磁気抵抗が大きいので、永久磁石 6 をほとんど通過しない。ここで、電磁石 2 0 により発生する制御磁束 9 の大部分は、バイパス磁路 9 A を通る構成となる。即ち、左右の永久磁石 4 および 7 は、それら磁極間の長さが永久磁石 6 の磁極間の長さと比較して短くなるように磁性部材 5 と接続されているので、永久磁石 7、磁性体 5、永久磁石 4 で形成されるバイパス磁路 9 A の磁気抵抗が永久磁石 6 の磁気抵抗に比べて小さくなり、制御磁束 9 はバイパス磁路 9 A を通る構成となる。

10

【 0 0 2 1 】

バイパス磁路 9 A は磁気抵抗が小さいため、バイパス磁路 9 A を通過する制御磁束 9 には殆ど損失が生じない。そして、殆ど損失を生じることなくバイパス磁路 9 A を通過する制御磁束 9 は、左側の永久磁石 4 及び磁性体 3 を通過して、永久磁石 6 により形成されるバイパス磁束 1 0 と重畳され、磁気浮上対象物 5 0 の位置を制御する大きな制御磁束を得ることが可能となる。

20

【 0 0 2 2 】

この場合に、上述のように、左側の永久磁石 4 の上面の N 極は磁性体 3 を介して中央の永久磁石 6 の N 極と同極同士が接続され、右側の永久磁石 7 の上面の S 極は磁性体 8 を介して中央の永久磁石 6 の S 極と同極同士が接続され、バイパス磁路 9 A は、バイパス磁束 1 0 の通過を阻止する方向に磁化されている。このため、中央の永久磁石 6 により発生するバイパス磁束 1 0 の浮上支持対象物 5 0 内での短絡が防止され、バイパス磁束 1 0 の損失を防ぐことができる。

【 0 0 2 3 】

さらには、バイパス磁路 9 A を構成する他の磁石手段である永久磁石 7、永久磁石 4 からもバイパス磁束が発生する。即ち、永久磁石 7、永久磁石 4 から発生するバイパス磁束は制御磁束 9 と同じ磁路を通過し、制御磁束 9 に重畳されることになる。なお、電磁石コア 1 の 2 つの突極 1 a、1 c にそれぞれ対向する永久磁石 4、7 の磁力は、電磁石コア 1 の 2 つの突極 1 a、1 c と浮上支持対象物 5 0 の磁性体 3、8 とのそれぞれ間隙の磁束密度が同一になるように設定することで、電磁石 2 0 の 2 つの突極 1 a、1 c において、均等な条件で磁気吸引力を作用させることができる。

30

【 0 0 2 4 】

このように、本実施の形態においては、バイパス磁路 9 A により電磁石磁束 9 の損失が防止され、中央の永久磁石 6 の短絡を防ぐことによりバイパス磁束 1 0 の損失が防止され、他の磁石手段により発生するバイパス磁束が電磁石磁束 9 に重畳され、ハイブリッド型磁気軸受けに発生する総合的な磁束の発生効率を大きくした制御磁束を形成することが可能となる。

40

【 0 0 2 5 】

図 1 に示す実施の形態は図 2 に示す如く変形しても同様の効果が得られる。即ち、図 2 に示す例は、図 1 に示す永久磁石 7 を磁性体 7 に変更したことを示す。バイパス磁路 9 A を磁化させる他の磁石手段である永久磁石として 1 個の永久磁石 4 が用いられる。このように、永久磁石 4 および 7 はいずれか一方でも良い。そして、電磁石 2 0 により発生する制御磁束 9 およびバイパス磁束 1 0 の方向は、永久磁石 4 と永久磁石 6 の同極同士が接する磁性体 3 において同方向になる。

50

【 0 0 2 6 】

また、図 2 に示す実施の形態を、図 3 に示すように変形しても同様の効果が得られる。即ち、図 2 に示す永久磁石 4 は磁性体 4 に変更され、磁性体 5 の一部に永久磁石 1 6 を介在させている。この構成にあっても、永久磁石 1 6 は、磁性体 3、4、5、7、8 で構成されるバイパス磁路 9 A を磁化させる他の磁石手段として機能し、永久磁石 6 によるバイパス磁束 1 0 の通過を阻止する方向にバイパス磁路 9 A を磁化させ、かつ永久磁石 1 6 による磁気抵抗、即ちバイパス磁路 9 A の磁気抵抗が永久磁石 6 の磁気抵抗に比べて小さく形成される。

【 0 0 2 7 】

本発明の実施の形態として、バイパス磁束を発生する永久磁石 6 およびバイパス磁路 9 A を形成する他の磁石手段である永久磁石 4、7 が、浮上支持対象物 5 0 に配設される構成を説明した。しかしながら、本発明の実施の形態は上述の構成に限定されることなく、永久磁石 6 によるバイパス磁束 1 0 が制御磁束 9 に重畳され、制御磁束 9 が永久磁石 6 の磁気抵抗により弱められないようにバイパス磁路 9 A が構成されるのであれば、バイパス磁束 1 0 を発生させる永久磁石 6、バイパス磁路 9 A およびバイパス磁路 9 A を磁化させる他の磁石手段である永久磁石 4、7 は、電磁石コア 1 に配設されていても良い。

【 0 0 2 8 】

例えば、図 4 に示す本発明の実施の形態の変形例にあっては、バイパス磁束 1 0 を発生する永久磁石 6 およびバイパス磁路 9 A が電磁石 2 0 の電磁石コア 1 に備えられる。電磁石 2 0 の電磁石コア 1 は、それぞれ開放端を有する突極 1 a および突極 1 c と、突極 1 a と突極 1 c とを接続する接続部 1 b とからなるコの字状であり、永久磁石 6 は、突極 1 a および突極 1 c の一部と接続部 1 b とをショートカットして突極 1 a と突極 1 c とに架け渡されている。また、永久磁石 6 によってショートカットされた突極 1 a および突極 1 c の一部と接続部 1 b とが永久磁石 6 と並列なバイパス磁路 9 A となり、バイパス磁路 9 A には、他の磁石手段である永久磁石 4、7 が配置されている。同一性能の永久磁石が使用される場合、即ち、透磁率が同じである同一材質で構成した場合、磁束方向における左側の永久磁石 4 と、右側の永久磁石 7 の板幅は、磁束方向における中央の永久磁石 6 の板幅と比較して小さく形成され、永久磁石 4、7 によるバイパス磁路 9 A の磁気抵抗が永久磁石 6 の磁気抵抗に比べて小さくなるように形成されて配設される。

【 0 0 2 9 】

図 4 に示す永久磁石 6 は、突極 1 c と接続された図示右端が S 極に着磁され、突極 1 a と接続された図示左端が N 極に着磁される。左側の永久磁石 4 は、突極 1 a に配置され、永久磁石 6 の N 極に面する下面が N 極に着磁され、上面が S 極に着磁される。右側の永久磁石 7 は、突極 1 c に配置され、永久磁石 6 の S 極に面する下面が S 極に着磁され、上面が N 極に着磁される。

【 0 0 3 0 】

即ち、左側の永久磁石 4 の下面と、永久磁石 6 の左端は、電磁石コア 1 の一部である突極 1 a により接続され、右側の永久磁石 7 の下面と、永久磁石 6 の右端は、電磁石コア 1 の一部である突極 1 c により接続される。また、左側の永久磁石 4 の上面と、右側の永久磁石 7 の上面とは、電磁石コア 1 の一部である接続部 1 b により接続される。

【 0 0 3 1 】

上述の接続構成により、N 極に着磁された永久磁石 6 の左端が突極 1 a を介して同極の左側永久磁石 4 の下面と接続されているため、中央の永久磁石 6 の左端から発生するバイパス磁束 1 0 は電磁石コア 1 内で短絡することなく、図に示す磁路を構成する。

【 0 0 3 2 】

本実施の形態において、電磁石コイル 2 と電磁石コア 1 から構成される電磁石により発生する制御磁束 9 は、バイパス磁束 1 0 の磁束方向と同じ方向に発生するようにされる。

【 0 0 3 3 】

ここで、制御磁束 9 は、バイパス磁路 9 A に比べて永久磁石 6 の磁気抵抗が大きいため、永久磁石 6 内を殆ど通過しない。しかし、左側の永久磁石 4 と、右側の永久磁石 7 は、

10

20

30

40

50

中央の永久磁石 6 と比較し、制御磁束 9 の磁路方向の幅（厚さ）が小さく形成されており、中央の永久磁石 6 よりも永久磁石 4、接続部 1 b および永久磁石 7 を通過する磁路方向の磁気抵抗が小さい。従って、接続部 1 b により接続された左側の永久磁石 4 と、右側の永久磁石 7 とからバイパス磁路 9 A が構成され、制御磁束 9 はより磁気抵抗の小さいバイパス磁路 9 A を通過する。このため、制御磁束 9 が中央の永久磁石 6 の磁気抵抗により弱められることがなく、バイパス磁束 1 0 に重畳され、磁気浮上対象物 5 0 の位置を制御する大きな制御磁束を得ることができる。

【 0 0 3 4 】

このように、本発明の実施の形態にあつては、バイパス磁束 1 0 を発生する永久磁石 6 および制御磁束 9 の磁路となるバイパス磁路 9 A は、電磁石コア 1 に配設されていても良い。この場合、永久磁石 6 およびバイパス磁路 9 A の配置は、図 4 に示す例に限定されるものではなく、例えば図 5 に示すように、永久磁石 6 を電磁石コイル 2 の下側、即ち突極 1 a、1 c の先端側に移動させ、バイパス磁路 9 A に電磁石コイル 2 を配置しても良く、この場合には、永久磁石 6 の磁極と磁気浮上対象物 5 0 とを近付けることができるため、永久磁石 6 によって形成されるバイパス磁束 1 0 の漏れを少なくでき、磁気浮上対象物 5 0 にバイパス磁束 1 0 を効率よく作用させることができる。

【 0 0 3 5 】

また、図 4、図 5 に示す例にあつても、例えば図 2、図 3 に示すように、バイパス磁路 9 A を磁化させる他の磁石手段として、永久磁石 4、7 のいずれか 1 個が備えられる構成であっても良い。

【実施例】

【 0 0 3 6 】

以下、本発明の実施例を図に基づいて説明する。

【実施例 1】

【 0 0 3 7 】

本発明の第 1 の実施例として、2 個の磁気浮上制御装置 1 0 0 が組み込まれた、円板状の磁気浮上ロータに対するハイブリッド型磁気軸受け 2 0 0 を図 6 に示す。磁気浮上対象物 5 0 は、Z 軸方向の中心軸を有する円板状の磁気浮上ロータになっており、図 1 では棒状であった永久磁石 4、6、7、磁性体 3、5、8 は、磁気浮上対象物 5 0 である円板状の磁気浮上ロータが移動制御される方向に有る軸、即ち、本実施例においては磁気浮上ロータの中心軸に対して円環状配置とされ、内部が非磁性体 5 1 で満たされている。図 6 に示すハイブリッド型磁気軸受け 2 0 0 の一方の断面は、磁気浮上対象物 5 0 である磁気浮上ロータが回転しても図 1 に示す磁気浮上制御装置 1 0 0 と同じであり、図 1 の符号は図 6 の符号と対応する。本実施例では図 6 に示すごとく 2 つの磁気浮上制御装置 1 0 0 を使用し、2 つの電磁石 2 0 が磁気浮上対象物 5 0 である磁気浮上ロータに対して軸方向から対向するように配置されている。

【 0 0 3 8 】

図 6 に示す 2 個の磁気浮上制御装置 1 0 0 が組み込まれたハイブリッド型磁気軸受け 2 0 0 の断面を図 7 に示す。各図において同一符号は同一物を示し、電磁石コア 1 と電磁石コイル 2 からなる電磁石 2 0 を有する磁気浮上制御装置 1 0 0 が左右に 2 組配置される。

【 0 0 3 9 】

この場合、永久磁石 6 は円環状となっており、径方向（Z 軸に直交する方向）に着磁されて（例えば、外周側が N、内周側が S）、本例では径方向において円環状の磁性体 3 と 8 ではさみ込まれている。また、永久磁石 4 も円環状となっており、本例では上下方向（Z 軸方向）に着磁（例えば上側が N、下側が S）されており、上下方向（Z 軸方向）において円環状の磁性体 3 と 5 ではさみ込まれている。さらに、永久磁石 7 も円環状となっており、本例では磁性体 8 の下に配設され、上下方向（Z 軸方向）において円環状の磁性体 8 と 5 ではさみ込まれている。この構成により、図 1 に示す例と同様に、磁性体 3、永久磁石 4、磁性体 5、永久磁石 7 および磁性体 8 により、磁気浮上ロータである磁気浮上対象物 5 0 の径方向において、円環状の永久磁石 6 の各磁極を接続する円環状のバイパス磁

10

20

30

40

50

路 9 A が永久磁石 6 と並列に形成されることになる。永久磁石 4 の径方向の厚みは磁性体 3 と等しくとるのが妥当であるがその限りではない。磁性体 5 の径方向厚みは磁性体 3、永久磁石 6、磁性体 8 の径方向厚みを加えた厚みが妥当であるがその限りではない。なお、本実施例 1 では、永久磁石 6、永久磁石 4 および永久磁石 7 の形状を円環状としたが、永久磁石 6、永久磁石 4 および永久磁石 7 が円環状に配置されていれば、形状が円環状に限定されることはない。例えば、円弧状の複数の永久磁石を円環状に配置しても良く、多数の棒磁石を円環状に配置しても良い。

【 0 0 4 0 】

電磁石コイル 2 が電磁石コア 1 に巻かれる位置は図 1 に示す例と変わりはない。図 6 では図 1 の永久磁石 7 は磁性体 8 の下に配設されるが、外部からは隠れて見えていない。このように磁石配列された円板状の磁気浮上対象物 5 0 の一方面に、突極 1 a を磁性体 3 に、突極 1 c を磁性体 8 にそれぞれ対向させるように電磁石 2 0 を配置することにより、磁気浮上対象物 5 0 に対して吸引力を発生させることが可能となり、磁気浮上対象物 5 0 に対してかかる下向きの力、即ち電磁石 2 0 から離れる方向に作用する離力とバランスをとることで、磁気浮上対象物 5 0 を浮上させ、磁気浮上対象物 5 0 の軸方向の位置を制御させることができる。磁気浮上対象物 5 0 に作用する離力としては、磁気浮上対象物 5 0 の下方、即ち電磁石 2 0 が配置されている面の反対側に配置された、磁気浮上対象物 5 0 を回転させる図示しないモータステータによる引力や、磁気浮上対象物 5 0 にかかる重力等が考えられる。なお、本実施例では、2 個の磁気浮上制御装置 1 0 0 が X 軸方向に配置されているため、磁気浮上制御装置 1 0 0 による軸方向の位置制御によって、簡単に Y 軸周りの回転を制御することが可能となるが、磁気浮上制御装置 1 0 0 が 1 個であっても、Y 軸からずれて配置されていれば、Y 軸周りの回転を制御することが可能となる。また、もう 1 対の磁気浮上制御装置 1 0 0 を図中の磁気浮上制御装置 1 0 0 と直交する位置に配置することにより、簡単に X 軸周りの回転も制御可能となるが、磁気浮上制御装置 1 0 0 が 1 個であっても、X 軸からずれて配置されていれば、X 軸周りの回転を制御することが可能となる。さらに、Z 軸方向の位置と X、Y 軸周りの回転を制御する場合、Z 軸方向の位置と X、Y 軸周りの 2 回転度の計測を行い、閉ループ制御をかけるために渦電流センサ等の非接触型位置センサを円板状の磁気浮上対象物 5 0 の上面（又は下面）に最低 3 つ配置することになる。

【 0 0 4 1 】

本実施例では、径方向に着磁されて円環状に配置されている永久磁石 6 と、永久磁石 6 の各磁極を接続する円環状のバイパス磁路 9 A とが磁気浮上ロータである磁気浮上対象物 5 0 に設けられていると共に、電磁石 2 0 の電磁石コア 1 が同心円上に配置され、電磁石 2 0 の電磁石コア 1 を通過する磁束は円板状の磁気浮上対象物 5 0 の回転により変化しないので、渦電流損等鉄損の低いハイブリッド型磁気軸受け 2 0 0 を構成することが可能となる。なお、バイパス磁路 9 A も円環状に配置されている永久磁石 6 のそれぞれに対応して設けられるため、円環状に配置されていれば、形状が必ずしも円環状である必要がない。

【 0 0 4 2 】

本実施例では磁気浮上対象物 5 0 が円板状の磁気浮上ロータである場合について説明した。しかし、磁気浮上対象物 5 0 の形状は円板状の磁気浮上ロータに限定されず、その内部を中空とした円環状の磁気浮上ロータでも良く、このような形態を含むものとして使用する。

【実施例 2】

【 0 0 4 3 】

図 8 に、本発明の第 2 の実施例としての円板状の磁気浮上ロータに対するハイブリッド型磁気軸受け 3 0 0 の構成を示す。

【 0 0 4 4 】

図 6 に示す第 1 の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受け 2 0 0 に、図 8 のように、磁気浮上対象物 5 0 である円板状の磁気浮上ロータの外周面に径方向から対向させて 1 対の

径方向電磁石 30 を配置させ、径方向電磁石 30 の電磁石コア 31 の突極を磁気浮上対象物 50 の外周面に露出した磁性体 3 および磁性体 5 にそれぞれ対向させて配置することで、永久磁石 6、永久磁石 4 で生じた磁束が径方向電磁石 30 の電磁石コア 31 を通る。この状態で電磁石コイル 32 に電流を流せば、電磁石コア 31 と磁気浮上対象物 50 である円環状浮上体外周縁の間隙の磁束の強弱制御が可能となり、磁気浮上対象物 50 である円環状浮上体の径方向、例えば X 軸方向の位置も制御可能となる。

【0045】

径方向の位置を制御するもう 1 対の径方向電磁石 30 を図 8 中の径方向電磁石 30 と直交するように、磁気浮上対象物 50 である円板状浮上体外周縁に対向させて配置することで、磁気浮上対象物 50 の径方向、例えば Y 軸方向の位置も制御可能となる。よって、軸方向の位置を制御する 1 対の電磁石 20 二組、径方向の位置を制御する 1 対の径方向電磁石 30 二組を用いることにより X、Y、Z 軸方向の 3 方向位置と X、Y 軸周りの 2 回転の 5 軸制御が可能となる。さらに、X、Y、Z 軸方向の 3 方向の位置と X、Y 軸周りの回転を制御する場合、X、Y、Z 軸方向の 3 方向位置と X、Y 軸周りの 2 回転度の計測を行い、閉ループ制御をかけるために渦電流センサ等の非接触型位置センサを磁気浮上対象物 50 の上面（又は下面）に最低 3 つ（Z 軸方向位置、X、Y 軸周りの 2 回転度）、径方向外周部に 2 つ（X、Y 軸方向位置）を配置することになる。また、このように構成することにより、ハイブリッド型磁気軸受け 300 の姿勢によって、磁気浮上対象物 50 に様々な方向から重力が作用しても対応可能である。

【0046】

このように構成されたハイブリッド型磁気軸受け 300 は、径方向電磁石 30 の電磁石コア 31 に流れる磁束が円環状浮上体の回転により変化しないので、渦電流損等鉄損の低いハイブリッド型磁気軸受け 300 を構成することが可能となる。

【0047】

また、本実施例における磁気浮上ロータの形状は円板状に限定されず、その内部が中空である円環状の形状でも良く、このような形態を含むものとして使用する。

【0048】

ここで、磁気浮上ロータが円環状である場合には、本実施例における径方向電磁石 30 の配置は図 8 に示す構成に限定されず、例えば電磁石コア 31 と電磁石コイル 32 からなる径方向電磁石 30 を円環中央内部に互いに背中向きに配置して、径方向電磁石 30 の突極が磁性体 8 と 5 に対向するように配置しても同様の効果が得られる。

【実施例 3】

【0049】

図 9 に、本発明の第 3 の実施例として、2 個の磁気浮上制御装置 100 が組み込まれた、円柱状の磁気浮上ロータに対するハイブリッド型磁気軸受け 400 の構成例を示す。また、図 9 に示すハイブリッド型磁気軸受け 400 の断面図を図 10 に示す。各図において同一符号は同一物を示し、電磁石コア 1 と電磁石コイル 2 からなる電磁石 20 が左右に、即ち磁気浮上制御装置 100 を構成する電磁石 20 は、磁気浮上対象物 50 である磁気浮上ロータの側面に対向、即ち磁気浮上ロータに対して径方向から対向して配置され、2 個の電磁石 30 を含むハイブリッド型磁気軸受け 400 の断面図は図 10 のようになる。

【0050】

図 1 では棒状として表した永久磁石 6 を、第 3 の実施例では、図 9 に示すように円筒状にしたものを使う。図 1 では棒状であった永久磁石 4、6、7、磁性体 3、5、8 は、磁気浮上対象物 50 である円柱状の磁気浮上ロータの中心軸に対して円環状配置とされ、内部が非磁性体 51 で満たされている。なお、本例では、内部を非磁性体 51 としたが、内部を非磁性体とする必要はなく、例えば磁性体で構成した場合には、磁性体 5 として機能することになる。永久磁石 6 は図 9 中上下方向、即ち円柱状の磁気浮上ロータの軸方向に着磁され（例えば、上側が N、下側が S）、本例では上下方向（Z 軸方向）において円環状の磁性体 3 と 8 ではさみ込まれている。また、永久磁石 4 も円筒状となっており、本例では径方向に着磁（例えば外周側が N、内周側が S）されており、径方向において円筒状の

磁性体 3 と 5 ではさみ込まれている。さらに、永久磁石 7 も円筒状となっており、本例では磁性体 8 の内側に配設され、径方向において円筒状の磁性体 8 と 5 ではさみ込まれている。この構成により、図 1 に示す例と同様に、磁性体 3、永久磁石 4、磁性体 5、永久磁石 7 および磁性体 8 により、磁気浮上ロータである磁気浮上対象物 50 の軸方向において、円筒状の永久磁石 6 の各磁極を接続する円環状のバイパス磁路 9A が永久磁石 6 と並列に形成されることになる。永久磁石 4 の上下方向の高さは磁性体 3 と等しくとるのが妥当であるがその限りではない。磁性体 5 の上下方向の高さは磁性体 3、永久磁石 6、磁性体 8 の上下方向の高さを加えた高さが妥当であるがその限りではない。電磁石コイルがコアに巻かれる箇所は図 1 に示す例と変わりはない。本図では図 1 の永久磁石 7 は磁性体 8 の内側に配設されるが、外部からは隠れて見えていない。

10

【0051】

このように磁石配列された円柱状の磁気浮上対象物 50 の周面に、突極 1a を磁性体 3 に、突極 1c を磁性体 8 にそれぞれ対向させるように電磁石 20 を配置することにより、磁気浮上対象物 50 に対して径方向に吸引力を発生させることが可能となる。従って、磁気浮上対象物 50 の径方向（左右）である図 9 に示す Y 軸方向に対向して一对の電磁石 20 を配置することにより、磁気浮上対象物 50 に対して浮上体径方向 Y 軸方向にプッシュプル方式で吸引力を発生させることが可能となり、Y 軸方向の位置を制御することができる。また、径方向の位置を制御するもう 1 対の電磁石 20 を図 9 中の電磁石 20 と直交する位置に、即ち X 軸方向に対向させて配置することにより X 軸方向にも吸引力を発生させることができる。このように構成することにより、発生した吸引力で磁気浮上対象物 50 の位置は X 軸、Y 軸、2 次元平面上の任意の点に制御可能となると共に、例えば下方方向に重力がかかっているとしても十分な吸引力を発生可能なので、磁気浮上対象物 50 を径方向に吸引することで浮上させることが可能である。この場合、X、Y 軸方向の位置の計測を行い、閉ループ制御をかけるために渦電流センサ等の非接触型位置センサを円筒状浮上体の外周部に 2 つ配置することになる。

20

【0052】

このハイブリッド型磁気軸受け 400 において、電磁石 20 の電磁石コア 1 を通る磁束は磁気浮上対象物 50 の回転により変化しないので、渦電流損等鉄損の低い磁気軸受を構成することが可能となる。

【0053】

また、本実施例における磁気浮上対象物 50 は円柱状の磁気浮上ロータに限定されるものではなく、その内部が中空の円筒状の磁気浮上ロータであっても良い。

30

【0054】

磁気浮上対象物 50 を円筒状の磁気浮上ロータとした場合には、本実施例における永久磁石と磁性体の配置は図 9 に示す構成に限定されるものではなく、例えば磁性体 5 が円筒の外周面側に、磁性体 3、8、永久磁石 6 が円筒の内周面側に配置されても良い。この場合、電磁石コア 1 と電磁石コイル 2 からなる電磁石 20 を円筒中央内部に互いに背中向きに配置して、突極（電磁石コア 1 の凸状に突き出している部分）が磁性体 3 と磁性体 8 に対向するように配置しても同様の効果が得られる。

【実施例 4】

40

【0055】

図 11 に、本発明の第 4 の実施例としての円柱状の磁気浮上ロータに対するハイブリッド型磁気軸受け 500 の構成例を示す。図 11 において、各図と同一符号は同一物を示し、電磁石コア 1 と電磁石コイル 2 からなる電磁石 20 が左右に、即ち 2 個の電磁石 20 が磁気浮上ロータに対して径方向から対向して配置されている。

【0056】

図 9 に示す第 3 の実施例に係るハイブリッド型磁気軸受け 400 に対して、図 11 に示すように磁気浮上対象物 50 である円柱状の磁気浮上ロータの上面に対向させて 1 対の軸方向電磁石 40 を配置させ、軸方向電磁石 40 の電磁石コア 41 の突極を磁気浮上対象物 50 の上面に露出した磁性体 3 および磁性体 5 にそれぞれ対向させて配置することで、永久

50

磁石 6、他の磁石手段としての永久磁石 4 で生じた二つの磁束が重畳されて電磁石コア 1 を通る。この状態で電磁石コイル 4 2 に電流を流せば、電磁石コア 4 1 と磁気浮上対象物 5 0 である円柱状浮上体上面の間隙の磁束の強弱制御が可能となり、磁気浮上対象物 5 0 である円柱の軸方向 Z 軸方向の位置と、Z 軸方向と直交する、例えば Y 軸周りの回転も制御可能となる。他の 1 対の軸方向電磁石 4 0 を図 1 1 中の軸方向電磁石 4 0 と直交するように、磁気浮上対象物 5 0 である円柱状浮上体上面に対向させて配置することで、磁気浮上対象物 5 0 である円柱状浮上体の Z 軸方向と直交する、例えば X 軸周りの回転も制御可能となる。よって、径方向の位置を制御する 1 対の電磁石 2 0 を二組、軸方向の位置を制御する 1 対の軸方向電磁石 4 0 二組を用いることにより X、Y、Z 軸方向の 3 方向位置と X、Y 軸周りの 2 回転の 5 軸制御が可能となる。さらに、X、Y、Z 軸方向の 3 方向の位置と X、Y 軸周りの回転を制御する場合、X、Y、Z 軸方向の 3 方向位置と X、Y 軸周りの 2 回転度の計測を行い、閉ループ制御をかけるために渦電流センサ等の非接触型位置センサを磁気浮上対象物 5 0 の上面（又は下面）に最低 3 つ（Z 軸方向位置、X、Y 軸周りの 2 回転度）、径方向外周部に 2 つ（X、Y 軸方向位置）を配置することになる。また、このように構成することにより、ハイブリッド型磁気軸受け 3 0 0 の姿勢によって、磁気浮上対象物 5 0 に様々な方向から重力が作用しても下向きの力がかかるが対応可能である。

10

【 0 0 5 7 】

このように構成されたハイブリッド型磁気軸受け 5 0 0 は、電磁石 2 0 の電磁石コア 4 1 に流れる磁束が円柱状浮上体の回転により変化しないので、渦電流損等鉄損の低いハイブリッド型磁気軸受け 5 0 0 を構成することが可能となる。

20

【 0 0 5 8 】

また、本実施例における磁気浮上対象物 5 0 は円柱状の磁気浮上ロータに限定されるものではなく、その内部が中空の円筒状の磁気浮上ロータであっても良い。

【 0 0 5 9 】

磁気浮上対象物 5 0 を円筒状とした場合には、本実施例における永久磁石と磁性体の配置は図 1 1 に示す構成に限定されるものではなく、例えば磁性体 5 が円筒の外周面側に、磁性体 3、8、永久磁石 6 が円筒の内周面側に配置されても良い。この場合、電磁石コア 1 と電磁石コイル 2 からなる電磁石 2 0 を円筒中央内部に互いに背中向きに配置して、突極（電磁石コア 1 の凸状に突き出している部分）が磁性体 3 と磁性体 8 に対向するように配置しても同様の効果が得られる。

30

【 0 0 6 0 】

次に、図 1 に示す磁気浮上制御装置における永久磁石 4 の磁気抵抗と、バイパス磁路 9 A の永久磁石 6、7 の磁気抵抗との関係を、図 1 2 に示す電磁石 2 0 から見た磁気等価回路を用いて検討する。図 1 2 において、 F_{em} は、電磁石 2 0 の起磁力、 e_{m-g} は、回路内エアギャップ（突極 1 a、1 c と磁気浮上対象物 5 0 との間のエアギャップ）中の磁束、 e_{m-1} は、永久磁石 6 を通る磁束、 e_{m-2} は、永久磁石 4、7 を通る磁束、 R_g は、回路内エアギャップの磁気抵抗、 R_1 は、永久磁石 6 の磁気抵抗、 R_2 は、永久磁石 4、7 の磁気抵抗をそれぞれ示している。

【 0 0 6 1 】

図 1 2 に示す磁気等価回路において回路全体の合成抵抗 R_c は、

$$R_c = 2 R_g + [1 / \{ (1 / R_1) + (1 / 2 R_2) \}] \\ = 2 R_g + 2 R_1 R_2 / (R_1 + 2 R_2) \text{ となる。}$$

ここで、永久磁石 4、7 の磁気抵抗を永久磁石 6 の磁気抵抗を基準にして表すことで、 $R_2 = k R_1$ とすると、

$$R_c = 2 R_g + R_1 \cdot 2 k / (2 k + 1)$$

となり、回路全体の合成抵抗 R_c は、 $2 k / (2 k + 1)$

【 0 0 6 2 】

永久磁石 6 の磁気抵抗 R_1 にかかっている $2 k / (2 k + 1)$ は、 k の値が 1 に比べて非常に大きい場合、すなわち永久磁石 6 の磁気抵抗 R_1 に比べて永久磁石 4、7 の磁気抵

40

50

抗 R 2 が極めて大きい場合に 1 となり、そうでない場合は、必ず 1 以下になる。従って、バイパス磁路 9 A を設けることにより、回路全体の磁気抵抗 R c が減少することになり、電磁石 2 0 による発生磁束および発生吸引力を増加させることになる。

【 0 0 6 3 】

なお、図 6 に示すように、円板状の磁気浮上ロータに対して複数の電磁石 2 0 を配置した場合には、電磁石 2 0 で発生する磁束は磁性体 3、8 を通って他の電磁石 2 0 を通るため、3 次元的経路をとることになる。そこで、円板状の磁気浮上ロータに対して 4 個の電磁石 2 0 を配置したハイブリッド型磁気軸受けのモデルにおいて、図 1 3 に示す電磁石 2 0 から見た磁気等価回路を用いて検討する。

【 0 0 6 4 】

図 1 2 に示す磁気等価回路において回路全体の合成抵抗 R c は、

$$R c = 2 R g + [1 / \{ (3 / 2 R g) + (4 / R 1) + (2 / R 2) \}]$$

となる。

ここで、永久磁石 4、7 の磁気抵抗に起因する値である (2 / R 2) は、r 2 = のとき、すなわちバイパス磁路 9 A を設けない場合に「 0 」になり、バイパス磁路 9 A を設け場合には、必ず「 0 」よりも大きな値となることが判り、結果として回路全体の合成抵抗 R c が減少することになる。

【 0 0 6 5 】

このように図 1 2 に示す磁気等価回路を用いた検証では、k の値が小さいほど、すなわち永久磁石 6 の磁気抵抗 R 1 に比べて永久磁石 4、7 の磁気抵抗 R 2 が小さいほど、回路全体の磁気抵抗 R c が減少することが判る。しかしながら、永久磁石 6 の磁気抵抗 R 1 に比べて永久磁石 4、7 の磁気抵抗 R 2 が小さくなりすぎると、電磁石 2 0 による発生磁束および発生吸引力を増加するものの、永久磁石 6 の磁束がバイパス磁路 9 A に漏れてしまい、バイパス磁束が減少してしまうことが想定される。

【 0 0 6 6 】

そこで、円板状の磁気浮上ロータに対して 4 個の電磁石 2 0 を配置したハイブリッド型磁気軸受けのモデルにおいて、バイパス磁路 9 A の永久磁石 4、7 の厚み I を変動させるパラメータとして、有限要素法による数値解析を行い、発生吸引力 (N)、力係数 (N / A : 単位電流当たり発生する吸引力) を検討した。検討に用いた形状および寸法は、図 1 4 に示す通りである。また、解析条件は、メッシュ数を約 2 4 万 (2 3 3 , 3 2 6) とし、永久磁石 4、6、7 としてネオジウム磁石 (保磁力 : 9 6 2 k A / m、残留磁束密度 : 1 . 4 3 T、比透磁率 : 1 . 1 8) を、磁性体 3、5、8 として S U Y - 1 (J I S 規格) をそれぞれ用いた。さらに、電磁石 2 0 の励磁電流を - 1 A、0 A、1 A とし、それぞれにおいて、バイパス磁路 9 A の永久磁石 4、7 の厚み I を 0 . 1 m m、0 . 3 m m、0 . 5 m m、0 . 7 m m、1 . 0 m m、1 . 3 m m、1 . 5 m m、2 . 0 m m、3 . 0 m m、4 . 0 m m に変動させて数値解析を行った。なお、磁気抵抗が永久磁石の断面積に単純に反比例し、厚さに単純に比例すると考えると、永久磁石 4、7 の厚み I = 0 . 1 m m の場合、(バイパス磁路 9 A の磁気抵抗 2 R 2) / (永久磁石 6 の磁気抵抗 R 1) 0 . 0 2 になり、(合成抵抗 R c) / (永久磁石 6 の磁気抵抗 R 1) 0 . 0 2 になる。同様に

厚み I = 0 . 3 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 0 6、R c / R 1 0 . 0 6、
厚み I = 0 . 5 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 1 0、R c / R 1 0 . 0 9、
厚み I = 0 . 7 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 1 4、R c / R 1 0 . 1 3、
厚み I = 1 . 0 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 2 1、R c / R 1 0 . 1 7、
厚み I = 1 . 3 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 2 7、R c / R 1 0 . 2 1、
厚み I = 1 . 5 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 3 1、R c / R 1 0 . 2 4、
厚み I = 2 . 0 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 4 1、R c / R 1 0 . 2 9、
厚み I = 3 . 0 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 6 2、R c / R 1 0 . 3 8、
厚み I = 4 . 0 m m の場合、2 R 2 / R 1 0 . 8 3、R c / R 1 0 . 4 5 となる。

【 0 0 6 7 】

10

20

30

40

50

図15は、バイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIをパラメータとして変動させた場合の電磁石20の励磁電流と磁気吸引力との関係を示すグラフであり、図16は、横軸をバイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIにして図15に示すグラフを書き直したものである。なお、永久磁石4、7の厚みIが0mmの場合は、バイパス磁路9Aを取り除いた永久磁石6のみで解析を行った結果である。

【0068】

図17は、図15のグラフの傾き(力係数(N/A)：単位電流あたり発生可能な力を表す)に対するバイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIの影響を示すグラフであり、図18は、力係数を磁気浮上対象物50の質量で除した加速度係数(N/(A・kg))とバイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIの関係を示すグラフである。なお、加速度係数は、大きいほど「高加速度に耐える」、「高速に動かせる」等の磁気浮上対象物50を磁気浮上させる際の制御性(動特性)の良さを表す。

10

【0069】

図15および図16を参照すると、バイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIが0.3mm以下、すなわち $2R2/R1 < 0.06$ 以下の場合では、永久磁石4、7によって形成される磁束が加わっているにもかかわらず、厚みI=0、すなわちバイパス磁路9Aを取り除いた永久磁石6の場合よりも磁気吸引力が弱くなっていることが判る。また、図17を参照すると、バイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIが0.3mm以下、すなわち $2R2/R1 < 0.06$ 以下の場合では、厚みI=0、すなわちバイパス磁路9Aを取り除いた永久磁石6の場合よりも力係数(N/A)が小さな値となっている。さらに、図18を参照すると、バイパス磁路9Aの永久磁石4、7の厚みIが0.5mm以下、すなわち $2R2/R1 < 0.10$ 以下の場合では、厚みI=0、すなわちバイパス磁路9Aを取り除いた永久磁石6の場合よりも加速度係数(N/(A・kg))が小さな値となっている。これらの現象は、永久磁石6の磁気抵抗R1に比べてバイパス磁路9Aの磁気抵抗2R2が小さすぎ、永久磁石6の磁束の大部分がバイパス磁路9Aに漏れてしまうことに起因すると考えられ、バイパス磁路9Aの磁気抵抗2R2は、永久磁石4、7の厚みI=0.7mmの場合の、 $2R2/R1 > 0.14$ 以上が望ましいことが判る。

20

【0070】

また、図16を参照すると、永久磁石4、7の厚みIを大きくすることにより、磁気吸引力が増加し、本例では、100Nあたりに漸近している。この漸近効果は、バイパス磁路9Aを設けることによる磁気抵抗低下効果に依るものと考えられる。なお、永久磁石4、7の厚みIを大きくすることにより、厚みI=0、すなわちバイパス磁路9Aを取り除いた永久磁石6の場合に比較して磁気吸引力が数倍に増加しているが、これは、磁気抵抗低下効果よりも二次永久磁石によるバイパス磁束増加に起因するものと考えられる。

30

【0071】

さらに、図17を参照すると、永久磁石4、7の厚みIを大きくすることにより、力係数が増加し、本例では、14N/Aに漸近している。この漸近効果も、バイパス磁路9Aを設けることによる磁気抵抗低下効果に依るものと考えられる。

40

【0072】

さらに、図18を参照すると、永久磁石4、7の厚みIを大きくすることにより、磁気浮上対象物50の質量が増加するため、加速度係数は、永久磁石4、7の厚みI=2mmで最大値となっている。

【0073】

以上の結果により、永久磁石6よりも0.14倍以上の磁気抵抗2R2を有するバイパス磁路9Aを永久磁石6と並列に設けることにより、永久磁石6の場合に比べて、磁気吸引力、力係数、加速度係数が向上することが判る。また、制御性能、すなわち加速度係数に関しては、磁気浮上対象物50の質量増加によって、永久磁石4、7の厚みIに最適値(本列の場合には、厚みI=2mm)が存在することが判る。

50

【符号の説明】

【0074】

1、31、41 電磁石コア

1a、1c 突極

1b 接続部

2、32、42 電磁石コイル

3 磁性体

4 永久磁石

5 磁性体

6 永久磁石

7 永久磁石

8 磁性体

9 制御磁束

9A バイパス磁路

10 バイアス磁束

15 空間又は非磁性体部

20 電磁石

30 径方向電磁石

40 軸方向電磁石

50 磁気浮上対象物

51 非磁性体

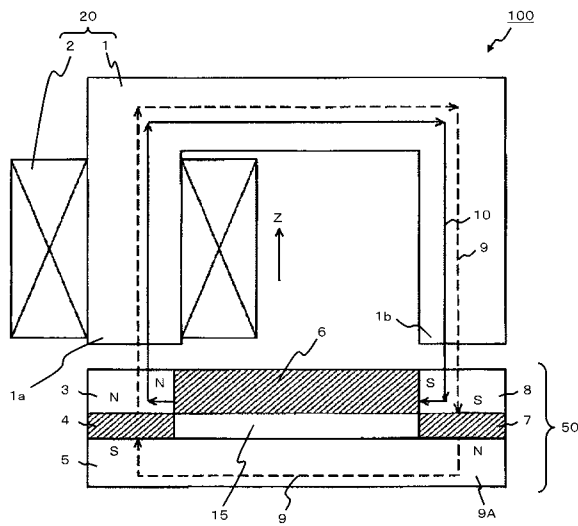
100 磁気浮上制御装置

200、300、400、500 ハイブリッド型磁気軸受け

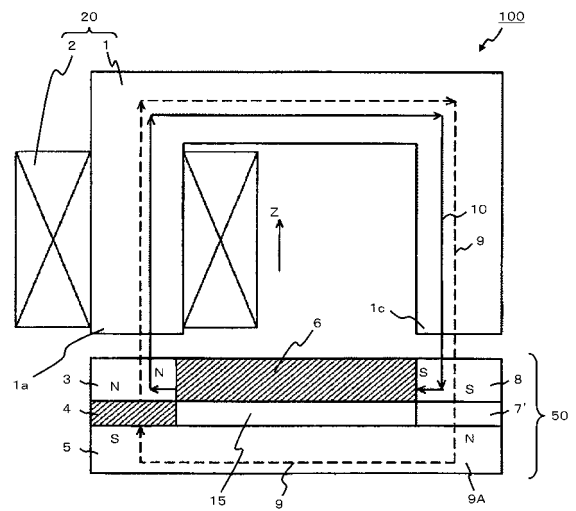
10

20

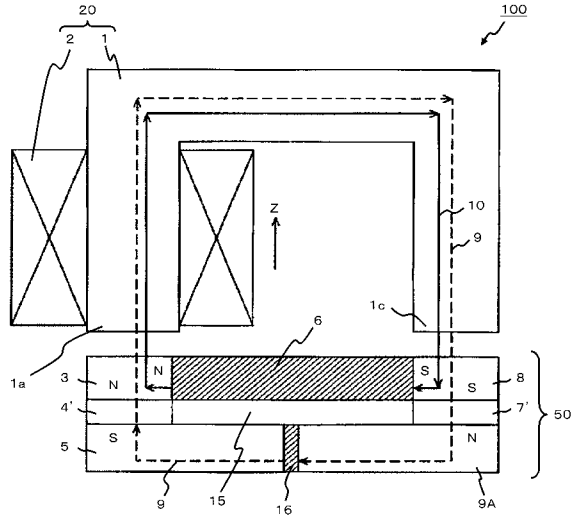
【図1】



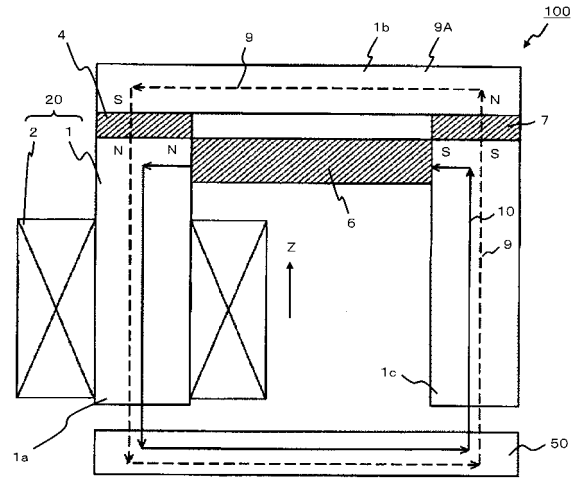
【図2】



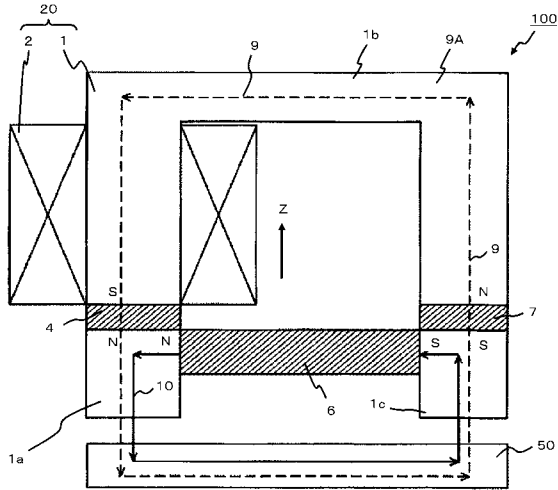
【図3】



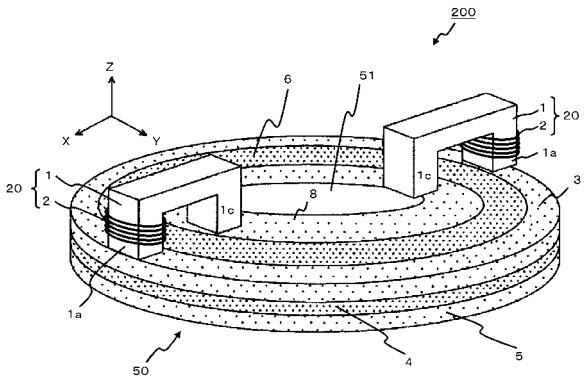
【図4】



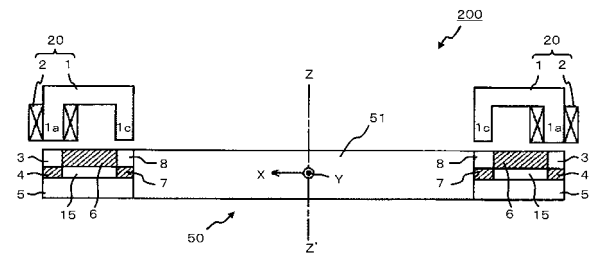
【図5】



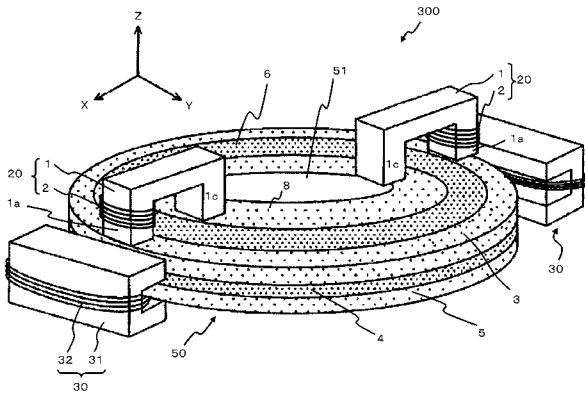
【図6】



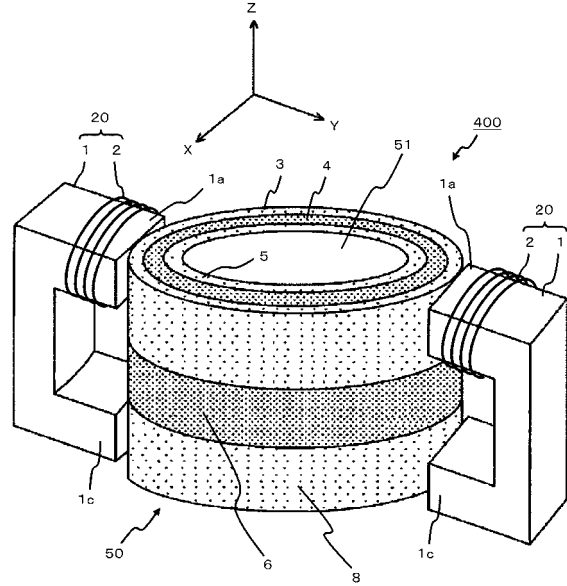
【図7】



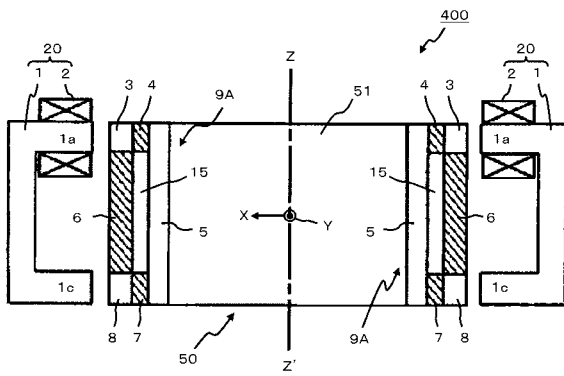
【図8】



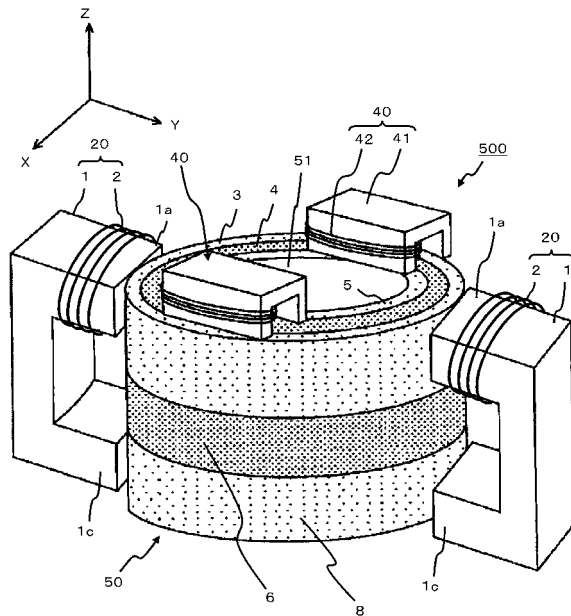
【図9】



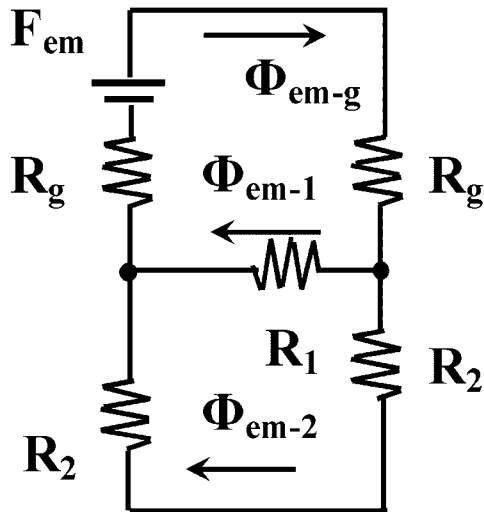
【図10】



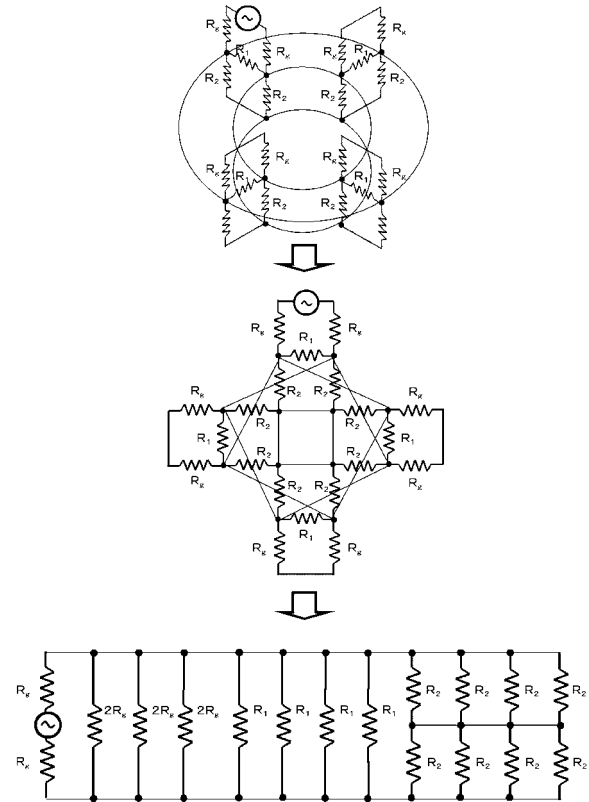
【図11】



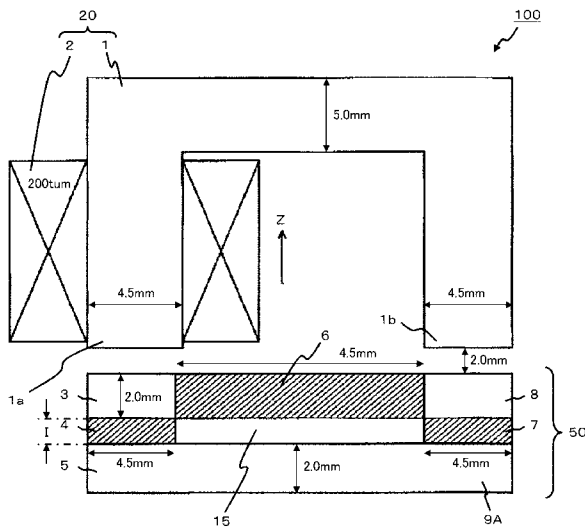
【 図 1 2 】



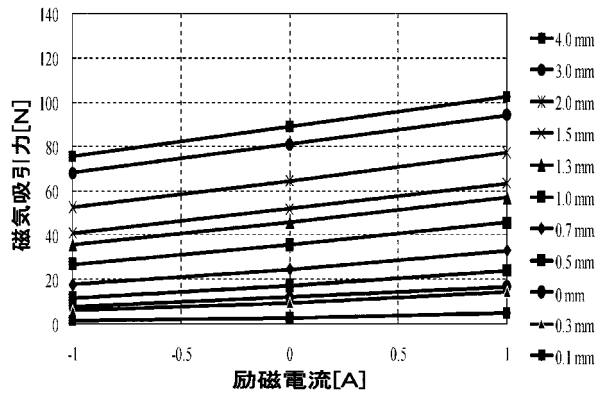
【 図 1 3 】



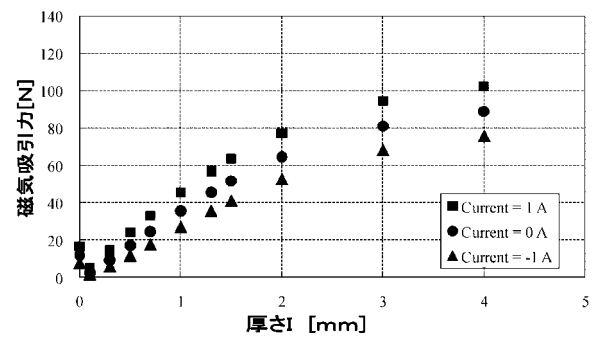
【 図 1 4 】



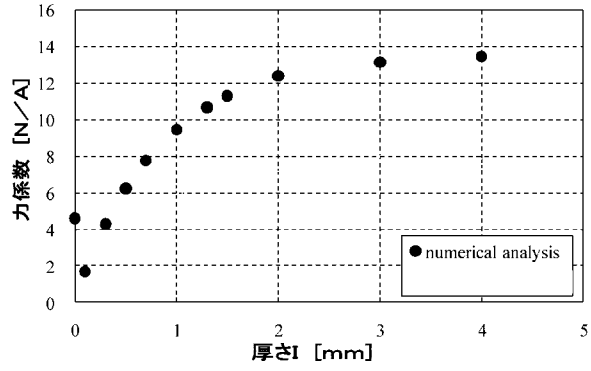
【 図 1 5 】



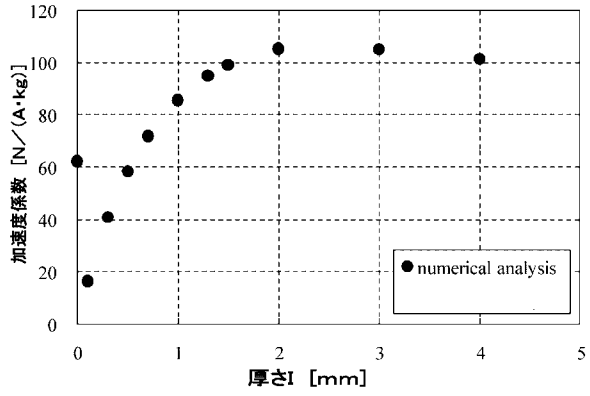
【 図 1 6 】



【 図 17 】



【 図 18 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-120635(JP,A)
特開2005-121157(JP,A)
特開2007-009949(JP,A)
特開2003-087909(JP,A)
特開2003-021140(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F16C 32/04