

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5259452号
(P5259452)

(45) 発行日 平成25年8月7日(2013.8.7)

(24) 登録日 平成25年5月2日(2013.5.2)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 F 1/56 (2006.01) GO 1 F 1/56
HO 2 K 44/06 (2006.01) HO 2 K 44/06

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-37858 (P2009-37858)
 (22) 出願日 平成21年2月20日(2009.2.20)
 (65) 公開番号 特開2010-25917 (P2010-25917A)
 (43) 公開日 平成22年2月4日(2010.2.4)
 審査請求日 平成24年1月20日(2012.1.20)
 (31) 優先権主張番号 特願2008-160611 (P2008-160611)
 (32) 優先日 平成20年6月19日(2008.6.19)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

特許法第30条第1項適用 平成20年8月21日 社
 団法人日本原子力学会発行の「2008年 秋の大会予
 稿集」に発表

(73) 特許権者 000173809
 一般財団法人電力中央研究所
 東京都千代田区大手町1丁目6番1号
 (74) 代理人 100087468
 弁理士 村瀬 一美
 (72) 発明者 荒関 英夫
 千葉県我孫子市我孫子1646番地 財団
 法人電力中央研究所 地球工学研究所内

審査官 森 雅之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 電磁ポンプ吐出量測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電磁ポンプからの吐出量を測定する方法において、前記電磁ポンプの吐出口近傍に磁気センサを配置して前記導電性流体の流れに伴って前記電磁ポンプの吐出口から押し出される前記電磁ポンプに発生する磁場の磁束密度を測定し、予め求めた前記電磁ポンプの吐出口から押し出される磁場の磁束密度と前記導電性流体の流量との関係から前記電磁ポンプの流量を計測することを特徴とする電磁ポンプ吐出量測定方法。

【請求項2】

前記電磁ポンプは、1つのポンプ容器内に複数の電磁ポンプを並列配置して成るものであり、各電磁ポンプ毎に前記磁気センサを配置して前記導電性流体の流れに伴って各前記電磁ポンプの吐出口から押し出される前記電磁ポンプに発生する磁場の磁束密度を各々計測するものである請求項1記載の電磁ポンプ吐出量測定方法。

【請求項3】

前記磁気センサは前記導電性流体の流れる管路の周りに前記管路の軸心と同心状にコイル軸心が配置されるように円周方向に巻回されている磁束密度測定用コイルである請求項1または2記載の電磁ポンプ吐出量測定方法。

【請求項4】

前記磁気センサは前記導電性流体の流れる管路の周りに配置される磁束密度測定用ピックアップ・コイルである請求項1または2記載の電磁ポンプ吐出量測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電磁ポンプから吐出される導電性流体の吐出量を測定する方法に関する。更に詳述すると、本発明は複数の電磁ポンプが並列配置されて構成される電磁ポンプユニットにおいて各電磁ポンプ毎に電磁ポンプから吐出される導電性流体の吐出量を測定するのに用いて好適な吐出量測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、導電性流体例えば液体金属の流量を計測する方法としては、電磁流量計や超音波流量計が知られている。電磁流量計は、管路の外に、管路の中を流れる導電性流体に磁場をかける磁石を配置すると共に磁場と鎖交する導電性流体の流れに伴って導電性流体中に発生する電流を検出する電極を配置し、導電性流体の流れの方向と直交する方向に印加される磁場とその磁場の方向と流れの方向のいずれにも直交する方向に発生する電場による起電力を測定することにより流量を計測するものである。また、超音波流量計は、超音波の送信器と受信器とを配管に設置し、超音波の伝播速度が流体の流速に関係していることを利用して信号到達までの時間から導電性流体の流速を求め、さらに既知の断面積から流量を算出するものである。

10

【0003】

更に、高速増速炉の主循環配管系においては、スペース的に電磁ポンプと別個の流量計を設置することに制約を受けることから、電磁ポンプの流量を求める手法として、電磁ポンプの巻線の端子電圧と入力電流を測定しその比をとって入力インピーダンスを求め、予め求められた入力インピーダンスと導電性流体の流量との関係から導電性流体の流量に換算して求めることが提案されている（特許文献1）。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第3285894号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

30

しかしながら、電磁流量計は、磁場を生じさせるマグネットを設置する必要があると共に管路の内部で生じる起電力を取り出すための電極を配管に設置する必要がある。また、超音波流量計も、超音波送受信器を設置するために一定の配管の長さが必要とされると共に、配管自体に発信器や受信器を設置するための加工を施す必要がある。このため、一定の設置スペースを必要とすることから、スペース的な制約を受ける場所例えば高速増速炉のような設備でのナトリウム流量の測定には不向きである。特に、電磁ポンプ固有の大容量化に伴う電磁流体力学的不安定特性を回避するために、小容量の複数の電磁ポンプを一つのポンプ容器内に並列配置して電磁ポンプユニットを構成する場合には、各電磁ポンプ毎の流量を測定するために上述の電磁流量計や超音波流量計をポンプ容器内に収めることは難しい。

40

【0006】

また、特許文献1記載の高速増速炉の電磁ポンプから吐出されるナトリウムの流量を測定する方法では、流量に直接関連しない物理量であるインピーダンスの測定を行うので、流量の測定ができないか、あるいは測定の精度が低下する場合が考えられる。即ち、一般に、電圧の変化に伴って流量が変化しても、インピーダンスも同様に変化するとは限らない。しかも、流量とインピーダンスの相関は直線的ではないことから、流量の変化に対してインピーダンスの変化が小さい領域がある。このことは、インピーダンスを求めるだけでは、流量の測定が測定できないか、あるいは測定精度が低下する場合があることを示している。

【0007】

50

さらに、複数の電磁ポンプを並列配置する場合、各電磁ポンプの吐出圧を等しく保つために、各ポンプの電気回路を直列に結線することが通常である。そのため、例えば1台のポンプの流路がルースパーツなどによって閉塞された場合、そのポンプの流量は低下するが、特許文献1の方法では、どのポンプに流路閉塞が起きてインピーダンスが低下したかが特定できない問題がある。

【0008】

本発明は、スペース上の制約が少なく、電磁ポンプの導電性流体の吐出流量を簡単かつ精度良く測定できる電磁ポンプ吐出量測定方法を提供することを目的とする。特に、本発明は複数の電磁ポンプを1つのポンプ容器内に並列配置した電磁ポンプユニットにおいて各電磁ポンプ毎の流量の測定に好適な電磁ポンプ吐出量測定方法を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

かかる目的を解決するため、本発明者等が種々研究・実験した結果、電磁ポンプの吐出口近傍には、吐出口から外に押し出されるように歪んだ磁場即ち漏れ磁場が存在し、この漏れ磁場の磁束密度が導電性流体の流量に応じて増減することを知見するに至った。そして、導電性流体の流量と漏れ磁場の磁束密度との相関関係を利用して電磁ポンプの吐出量・流量の測定が可能であることを知見するに至った。

【0010】

本発明はかかる知見に基づくものであり、電磁ポンプからの吐出量を測定する方法において、電磁ポンプの吐出口近傍に磁気センサを配置して導電性流体の流れに伴って電磁ポンプの吐出口から押し出される電磁ポンプに発生する磁場の磁束密度を測定し、予め求めた電磁ポンプの吐出口から押し出される磁場の磁束密度と導電性流体の流量との関係から電磁ポンプの流量を計測するようにしている。

20

【0011】

ここで、本発明の流量測定方法は、1つのポンプ容器に1つの電磁ポンプを収容した単一の電磁ポンプに適用する場合においても効果的であるが、より好ましくは一つのポンプ容器内に複数の電磁ポンプを並列配置して全体として大流量の電磁ポンプとして構成される電磁ポンプに適用し、各電磁ポンプ毎に磁気センサを配置して導電性流体の流量を測定することである。

30

【0012】

また、請求項3記載の発明は、請求項1または2記載の電磁ポンプ吐出量測定方法において、磁気センサが導電性流体の流れる管路の周りに管路の軸心と同心状にコイル軸心が配置されるように円周方向に巻回されている磁束密度測定用コイルであることが好ましい。

【0013】

更に、請求項4記載の発明は、請求項1または2記載の電磁ポンプ吐出量測定方法において、磁気センサが導電性流体の流れる管路の周りに配置される磁束密度測定用ピックアップ・コイルであることが好ましい。

40

【発明の効果】

【0014】

請求項1記載の電磁ポンプ吐出量測定方法によると、電圧の変化に伴う流量の変化に磁束密度が必ず対応するので、流量の測定は常に可能である。しかも、流量と磁束密度の関係は直線的であるので、良好な測定精度が期待できる。また、電磁ポンプの吐出口近傍に磁気センサを配置するだけの簡単な構造で大きなスペースをとらないため、設置する上でスペース上の制約を受けない。したがって、既存の電磁流量計や超音波流量計に比べてスペース的な制約を受けず、構造が簡略である。

【0015】

さらに、電磁ポンプの吐出口近傍の磁場を測定し、予め求めた磁束密度と流量との相関関係を用いて流量を求めるだけなので、測定系全体が極めて簡素なものとして構成するこ

50

とができる。

【 0 0 1 6 】

また、本発明の電磁ポンプ吐出量測定方法を、一つのポンプ容器内に複数の電磁ポンプを並列配置して全体として大流量の電磁ポンプとして構成される電磁ポンプに適用する場合には、各電磁ポンプ毎の流量を測定できるので、各電磁ポンプ毎に規定量が吐出されているか否か、あるいはどの電磁ポンプにトラブルが起きているのが容易に特定することができる。しかも、電磁ポンプの吐出口近傍に磁気センサを配置するだけの簡単な構造で大きなスペースをとらないため、複数の電磁ポンプを並列配置した大流量の電磁ポンプ、例えば高速増殖炉用の電磁ポンプに適用する場合においても、設置する上でスペース上の制約を受けない。

10

【 0 0 1 7 】

また、請求項 3 記載の方法によると、コイルを導電性流体の管路の周りに巻いて磁束密度を測定するので、構造がシンプルかつコンパクトであると共に設置が簡易にでき、電磁ポンプの周囲に配置するのに好適である。しかも、磁束密度測定用コイルを管路に巻回することで、周方向平均磁場が測定されることから、ポンプの組み立て公差や管路等の熱変形などによって磁場分布が軸対称となっていなくとも、測定値を平均化することにより測定誤差を小さくすることができる。

【 0 0 1 8 】

さらに、請求項 4 記載の方法によると、磁束密度測定用ピックアップ・コイルを使用するので、コイルを管路の周りに適宜間隔を開けて配置するだけで済み、管路の全周に巻くより更に設置スペースが少なく済むという利点がある。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図 1】シングルステータタイプの誘導型電磁ポンプの吐出口付近の環状管路において磁場が液体ナトリウムの流れに押し出される状態を示す概略図で、(A)は低流速の場合、(B)は高流速の場合をそれぞれ示す。

【図 2】本発明の電磁ポンプ吐出量測定方法を実施するための概念図であり、シングルステータタイプの誘導型電磁ポンプの吐出口付近の環状管路の周りに磁束密度測定用コイルを配置した場合を示す。

【図 3】本発明の電磁ポンプ吐出量測定方法を実施するための概念図であり、ダブルステータタイプの誘導型電磁ポンプの吐出口付近の環状管路の周りに磁束密度測定用コイルを配置した場合を示す。

30

【図 4】定格流量 $7 \text{ m}^3 / \text{min}$ のシングルステータタイプの誘導型電磁ポンプを 50 Hz で運転した場合の磁束密度の時間平均値と液体金属ナトリウムの流量との関係を示すグラフである。

【図 5】定格流量 $7 \text{ m}^3 / \text{min}$ のシングルステータタイプの誘導型電磁ポンプを 30 Hz で運転した場合の磁束密度の時間平均値と液体金属ナトリウムの流量との関係を示すグラフである。

【図 6】環状流路のシングルステータタイプの誘導型電磁ポンプの概略構造を示す部分断面斜視図である。

40

【図 7】環状流路のダブルステータタイプの誘導型電磁ポンプの概略構造を示す部分断面斜視図である。

【図 8】複数の電磁ポンプを 1 つのポンプ容器内に並列配置して大流量の電磁ポンプユニットを構成する場合の概念図であり、(A)は平面図、(B)は正面側から見た斜視図である。

【図 9】本発明方法を実施する並列配置の電磁ポンプの概念図である。

【図 10】磁束密度の測定原理を示す図で、(A)は磁束密度の径方向成分 B_r の測定原理、(B)は磁束密度の軸方向成分 B_z の測定原理を示す。

【図 11】ピックアップコイルを用いるときのコイル配置例を示す図で、(A)は径方向成分の磁束密度 B_r を測定する場合、(B)は軸方向成分の磁束密度 B_z を測定する場合

50

を示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、本発明の構成を図面に示す最良の形態に基づいて詳細に説明する。

【0021】

本発明の実施の対象となる電磁ポンプの代表的なものとして、環状流路を有する三相交流誘導型電磁ポンプを図6及び図7に示す。図6の電磁ポンプ1は、三相交流コイル9を外側ダクト3a及び内側ダクト3bの二重管で構成される環状流路(管路)3の外側に巻いたもので、環状流路の中を矢印の示す方向に液体ナトリウムを流すシングルステータタイプの誘導型電磁ポンプである。図7の電磁ポンプ1は、コイル9を環状流路3の内側にも巻いたダブル・ステータの誘導型電磁ポンプである。本発明の電磁ポンプ吐出量測定方法はいずれのタイプの電磁ポンプに対しても適用できるものである。これら電磁ポンプ1は、三相交流コイル9が作る移動磁場によって液体ナトリウム中に流れる誘導電流と移動磁界とで電磁力を液体ナトリウムに作用させることによって、磁場の進行方向と同方向に液体ナトリウムを吐出させるものである。

【0022】

この電磁ポンプ1の吐出口2の付近では、電磁ポンプ内で発生した磁場があたかも導電性流体(以下、液体ナトリウムと言い換える)5の流れに引きずられるように歪む。即ち、誘導型電磁ポンプ1の外側では、磁場は交流磁場であるのにも拘わらず、あたかも直流磁場のように液体金属電磁流体の流れに引きずられるという現象を起こす。このことから、電磁ポンプ1の吐出口2の付近では、液体ナトリウムの流速が大きい程に電磁ポンプ1の外側に磁場4が押し出される漏れ磁場が生ずる(図1(A),(B)参照)ことに本発明者等は着目した。ここで、符号4が示す破線は、電磁ポンプ1の吐出口2の付近で磁力線が液体ナトリウム5の流れにより外側へ押し出される様子を模式的に示したものであり、吐出口2から外に押し出されるように歪んだ磁場即ち漏れ磁場を示す。

【0023】

そこで、例えば図2あるいは図3に示すように、電磁ポンプ1の吐出口2の近傍の管路3の周りに磁気センサ例えば磁場測定用コイル6を巻くことによって、ファラデーの法則を利用して電磁ポンプ1の吐出口2の外に押し出される磁場4の磁束密度の時間変化を測定可能としている。ファラデーの法則によると、磁束密度の時間変化は起電力(電圧)の勾配(厳密に言えば回転)に等しい。ここで、磁束密度の径方向成分を測定する場合には、図10の(A)に示すように、管路3の軸方向に複数の磁場測定用コイル6を配置し、複数の磁場測定用コイル6の各々に生じる起電力(電圧)の周方向成分の軸方向の勾配を測定する。また、磁束密度の軸方向成分を測定する場合には、図10の(B)に示すように、管路3の径方向に複数の磁場測定用コイル6を例えばスパーサ等を介在させて同心円状に配置し、起電力の周方向成分の径方向の勾配を測定する。ファラデーの法則によると、起電力の勾配は磁束密度の時間変化に比例する。このため、起電力の勾配から磁束密度を換算し、この磁束密度と流量でキャリブレーションしても良いが、実際には流量と起電力の勾配でキャリブレーションすれば足りる。また、図2や図3に示すように、誘導型電磁ポンプ1の環状流路3に磁束密度測定用コイル6を巻いた場合、起電力の大きさが磁束密度の大きさに比例することから、起電力の勾配に代えて起電力そのものを測定して流量との相関をとってもよい。さらに言えば、起電力(電圧)を測定する代わりにコイルを流れる電流を測定してもよい。尚、本発明の説明においては、導電性流体の流量と漏れ磁場の磁束密度との関係を利用していることから、物理的な関係は導電性流体の流量の変化が漏れ磁場の磁束密度の変化として現れ、さらにこの磁束密度の変化が起電力の勾配の変化として現れる関係にあるので、流量と磁束密度の関係の方が流量と起電力の勾配の関係に比べて直接的な関係になる。また、ピックアップコイル15を使用する場合には、漏れ磁場を直接測定するので、流量と漏れ磁場4の磁束密度とは直接的な関係になる。そこで、本明細書においては、発明を直感的に理解し易くするため、説明の便宜上、場合によっては起電力の勾配の測定値を磁束密度に換算し、物理的な対応関係がより直接的になってい

る導電性流体の流量と漏れ磁場の磁束密度の時間変化との関係で説明することがある。

【 0 0 2 4 】

ここで、磁束密度測定用コイル 6 は、電磁ポンプ 1 の吐出口 2 付近の液体ナトリウム 5 の流れる管路 3 の周りに、管路 3 の軸心 O と同心状にコイル軸心が配置されるように円周方向に巻回されている。本実施形態の電磁ポンプの場合、管路 3 は環状流路を構成するように二重管（外側ダクトと内側ダクト）で構成されていることから、電磁ポンプがシングル・ステータの場合は、図 2 に示すように管壁表面での磁場の強さが内側ダクト壁の外表面より強く現れる外側ダクト壁の外表面にコイルを巻くことが好ましい。また、誘導型電磁ポンプがダブル・ステータの場合は、外側ダクト壁の表面と内側ダクト壁の表面とでは磁場の強さはほぼ等しいことから、磁束密度測定用コイルは外側ダクト壁の外表面と内側ダクト壁の外表面の少なくともいずれか一方に、場合によっては図 3 に示すように、外側ダクト壁の外表面と内側ダクト壁の外表面の双方に設置することもできる。尚、図中の符号 7 は電磁ポンプ 1 を構成するステーター、8 はコア、9 はコイル、10 はギャップである。

10

【 0 0 2 5 】

また、磁束密度測定用コイル 6 は、起電力の勾配を測定する場合は最少で 2 つが必要であるが、起電力そのものを測定する場合は最少で 1 つあればよい。但し、いずれの場合でもコイルの数が少なければ測定値にばらつきが生ずる可能性があるので、コイルの数を適当に増やして平均値をとることが好ましい。また、コイル 6 の巻き数は、任意であるが、1 から 3 ターン程度で十分である。コイルの数も任意であるが、5 から 10 個で十分である。磁束密度測定用コイル 6 を巻く領域は、電磁ポンプ 1 の吐出口 2 の外であり、かつ液体ナトリウム 5 の流れに伴って電磁ポンプ 1 の吐出口 2 から押し出される磁場 4 が到達する範囲であることが好ましい。そこで、電磁ポンプ 1 の吐出口 2 から 50 mm から 100 mm 程度の範囲内に配置することが好ましい。

20

【 0 0 2 6 】

以上のように配置された磁束密度測定用コイル 6 によって、ナトリウム流量に応じて増減する電磁ポンプ 1 の吐出口 2 の外に押し出される磁場 4 を測定することによって、ナトリウム流量の計測・監視が可能となる。即ち、電磁ポンプ 1 の吐出口 2 の近傍における磁場 4 の磁束密度の変化を測定し、予め求めた電磁ポンプ 1 の吐出口 2 から押し出される磁場 4 の磁束密度と液体ナトリウム 5 の流量との関係（図 4 及び図 5 参照）から電磁ポンプ 1 の流量を求めることができる。ここで、電磁ポンプ 1 から押し出される磁場 4 の磁束密度と液体ナトリウム 5 の流量との相関関係は予め求めておくことができる。例えば、実施例 1 及び 2 で実施したように、試験ループに設置した電磁流量計で液体ナトリウムの流量を実測しながら、そのときの電磁ポンプ 1 から押し出される磁場 4 の磁束密度を測定することにより、相関は簡単に求められる。この電磁ポンプ 1 の吐出口 2 から押し出される磁場 4 の磁束密度と、そのときの液体ナトリウム即ち導電性流体 5 の流量との相関関係は、検量線として求められ、該検量線から定格運転時の実際の電磁ポンプの流量を求めることができる。相関関係は、場合によっては関数で表し、あるいはテーブルにしてメモリに格納し、中央演算処理装置でコイルから検出された誘導電流から求められた磁束密度に基づいて流量を算出することにより、若しくは電磁ポンプが規定の流量を吐出しているか否かの判定を行うことにより、電磁ポンプの運転状況をモニターすることが可能である。

30

40

【 0 0 2 7 】

尚、電磁ポンプの流量は、三相交流コイルの電圧と運転周波数で決まり、また磁束密度はナトリウムの電気伝導率、言い換えれば温度に依存する。したがって、ナトリウム流量と磁束密度との相関関係は、電圧と運転周波数と温度の 3 つのパラメータで決まることから、各要素毎に検量線が求められることとなる。しかしながら、各電磁ポンプが規定流量を吐出しているか否かを検出することは、定格運転時において必要となるため、定格運転条件に対する検量線があれば足りる。そこで、予め定格運転に対する検量線を少なくとも 1 つ求めておけば足りる。

【 0 0 2 8 】

50

本発明の電磁ポンプ吐出量測定方法は、１つのポンプ容器内に１つの電磁ポンプを収容したタイプに適用することもできるが、より好ましくは複数の電磁ポンプを一つのポンプ容器の中に並列配置して全体として大流量のポンプとして使用する電磁ポンプユニットにおいて各電磁ポンプからの吐出量をそれぞれ測定するために適用することである。この場合には、各電磁ポンプ毎に規定量が吐出されているか否かを判断し、さらにはどの電磁ポンプに流路閉塞が起きているのかを容易に特定することができる。例えば、図８及び図９に示すように、アルゴンガス１２が密封された１つのポンプ容器１１内に円周方向に並列配置された複数の電磁ポンプ１ａ，１ｂ，…，１ｆの各々の吐出口２の外に磁束密度測定用コイル６を配置することによって、電磁ポンプ１ａ，１ｂ，…，１ｆ毎に吐出流量を測定することができる。複数の電磁ポンプ１ａ，１ｂ，…，１ｆを囲うポンプ容器１１は、その両端がヘッダ１３，１４に接続されて各電磁ポンプ１ａ，１ｂ，…，１ｆの環状管路３が合流され、１つの流路として循環経路などに組み込まれるようにしている。ここで、並列配置された複数の電磁ポンプ１ａ，１ｂ，…，１ｆの電気回路は、互いに直列に結線することにより、各電磁ポンプ１ａ，１ｂ，…，１ｆの吐出圧を等しく保つよう

【００２９】

なお、上述の形態は本発明の好適な形態の一例ではあるがこれに限定されるものではなく本発明の要旨を逸脱しない範囲において種々変形実施可能である。例えば、磁束密度測定用コイルとしては磁束密度測定用ピックアップ・コイル１５を用いて直接磁束密度Ｂを測定することも可能である。軸方向成分の磁束密度Ｂ_zを測定する場合には、図１１（Ａ）に示すように、導電性流体の流れる管路３の周りに管路３の軸心と平行になるようにピックアップ・コイル１５のコイル軸心が配置されて管路３の周りに設置される。また、径方向成分の磁束密度Ｂ_rを測定する場合には、図１１（Ｂ）に示すように、管路３の軸心と直交するように管路３の径方向にピックアップ・コイル１５のコイル軸心１６が配置されて管路３の周りに設置される。電磁ポンプ１の出口側の外側に発生する漏れ磁場は、径方向成分と軸方向成分から成り、これらの成分は同じオーダーの大きさなので、コイルの軸方向が流れ方向に向ける場合と、流れ方向に直交する方向に向ける場合とで測定磁束量に大きな差はない。したがって、ピックアップコイルはどちらの方向を向いていても構わない。ここで、電磁ポンプ１の吐出口２から押し出される磁束密度Ｂ（Ｂ_r，Ｂ_z）は軸対象であるとは限らない。つまり、磁束密度は周方向に一樣とは限らない。そこで、ピックアップ・コイルは、管路３の周方向に複数配置することが好ましい。

【００３０】

また、電磁ポンプ１の吐出口２から押し出される磁場が交流磁場であることから磁気センサとして磁束密度測定用コイルを使用した例を挙げて説明したが、磁束密度が測定できればコイルに限定されるものではなく、また、該磁気センサの応答速度も高速のものが必要ではないことから、磁気センサとしては、磁気センサーの使用温度の条件を満たせば（導電性流体は高温である場合が多い）、例えば、ホール起電力を利用したもの、磁場による電気抵抗の変化を利用したものでもよい。また、光ファイバーを使用してファラデー効果により光の偏光の影響を利用したものでもよい。

【実施例】

【００３１】

（実施例１）

定格流量が $7\text{ m}^3/\text{min}$ のシングル・ステータの誘導型電磁ポンプを 50 Hz で運転し、比較的高流量域（ $5.7 \sim 7\text{ m}^3/\text{min}$ の範囲）で吐出流量を変えると共にそのときの吐出口２付近の磁束密度を測定し、液体ナトリウム５の流量と電磁ポンプ吐出口２付近の磁束密度との関係を求めた。尚、磁束密度測定用コイル６としては１ターン・コイルを使用し、電磁ポンプ１の吐出口２の側の管路３の外側の管壁（ダクト壁）に、吐出口２から 76 mm の領域にわたって 7.5 mm から 8.5 mm 間隔で１１個配置し、磁束密度を測定した。また、液体ナトリウム５の流量は試験ループに設置した電磁流量計で計測した。

この場合の磁束密度の測定値と電磁流量計で計測した液体ナトリウム５の流量との関係

を図4に示す。図4から明らかなように、液体ナトリウムの吐出流量と磁束密度の相関関係は直線関係になることがわかった。したがって、電磁ポンプ1の吐出口2の付近で管路3の周りに磁束密度測定用コイル6を配置して、管路3内を流れる液体ナトリウム5によって電磁ポンプ1の外に押し出される磁場の磁束密度を測定することにより、前述の相関関係を用いて電磁ポンプ1から吐出される液体ナトリウムの流量を求めることができる。なお、図4に示す磁束密度は、11個の磁束密度測定用コイル6による磁束密度測定値の時間平均値である。1ターン・コイルを11個並べた場合、それぞれのコイルに発生する電流(または電圧)の位相は厳密に言えば各コイル毎に異なるが、磁場を測定する領域の長さが最大で100mm程度であってポールピッチよりも短いので、位相が大きく異なることはない。また、ステータ領域の外側では磁場は減衰するので、直列に繋いだ場合もステータに近いコイルの起電力(又は電流)の影響をより大きく受けることになる。したがって、各コイルで検出された測定値の平均値を求めれば足りる。尚、時間平均を行うスパンは最短で半サイクルで十分であるが、大容量ポンプでも周波数は20Hzくらいなので、実際に測定する際は数サイクルの平均値を時々刻々測定して時間平均をとることとなる。

【0032】

(実施例2)

定格流量が $7\text{ m}^3/\text{min}$ のシングル・ステータの誘導型電磁ポンプを、 30 Hz で運転し、比較的low流量域($3.2 \sim 4.7\text{ m}^3/\text{min}$ の範囲)で吐出流量を変えた場合の液体ナトリウムの流量と電磁ポンプ吐出口付近の磁束密度との関係を求めた。尚、磁束密度測定用コイル6の配置位置、配置間隔、配置本数、コイルの形態などは全て実施例1と同じである。

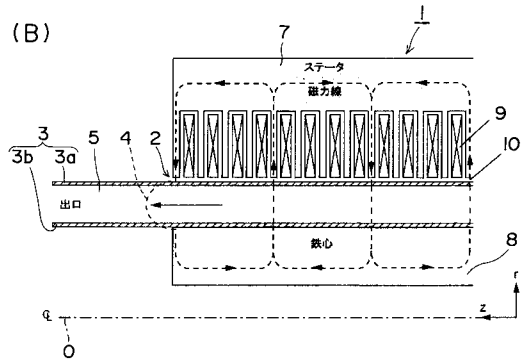
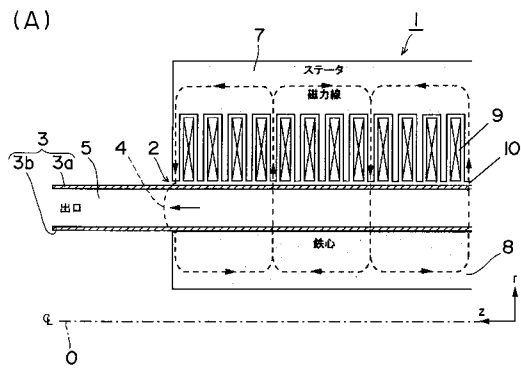
この場合の磁束密度の測定値と電磁流量計で計測した液体ナトリウムの流量との関係を図5に示す。この実験では、液体ナトリウムの流量は定格流量に対して比較的low流量域の範囲とされているが、電磁ポンプの運転周波数を 30 Hz に下げることによって安定な運転を実現するようにしている。このため、磁場の分布も周方向に一様であり、ナトリウム流量と磁束密度との相関に直線性が得られる。つまり、電磁ポンプが安定に運転できる領域であれば、図5に示すように、比較的流量の少ない領域においても、液体ナトリウムの流量と磁束密度の相関関係は直線関係を示す。反面、電磁ポンプの運転が不安定な領域では、磁場の分布が周方向に一様ではなくなり、ナトリウム流量と磁束密度との相関に直線性がなくなる。

【符号の説明】

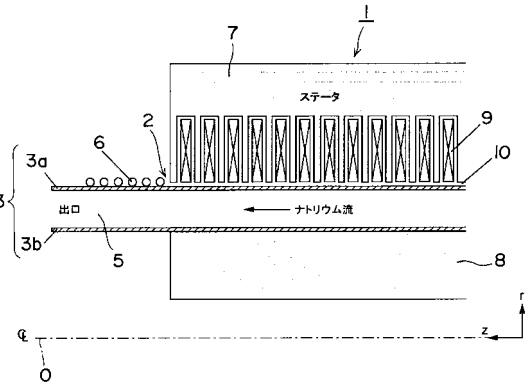
【0033】

- 1 電磁ポンプ
- 2 電磁ポンプの吐出口
- 3 環状流路
- 4 電磁ポンプの吐出口から押し出される磁場(磁力線)
- 5 導電性流体
- 6 磁束密度測定用コイル
- 15 ピックアップコイル

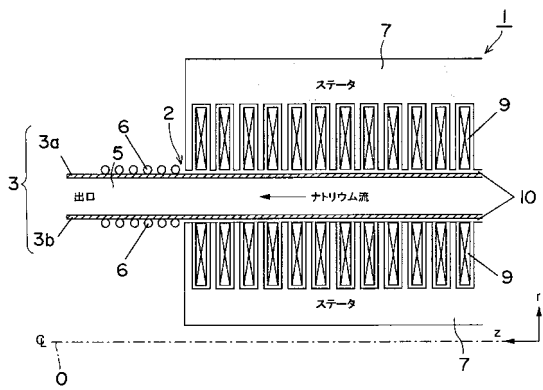
【図 1】



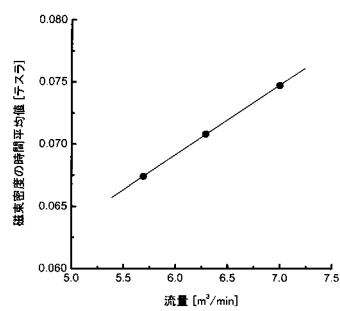
【図 2】



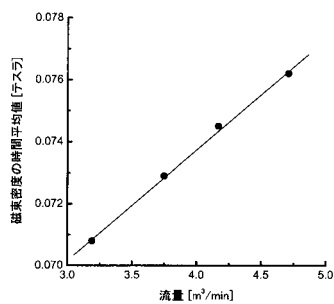
【図 3】



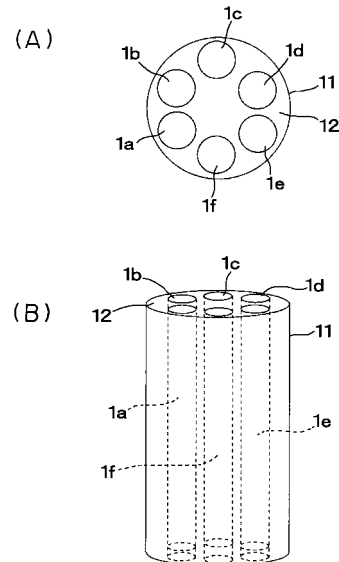
【図 4】



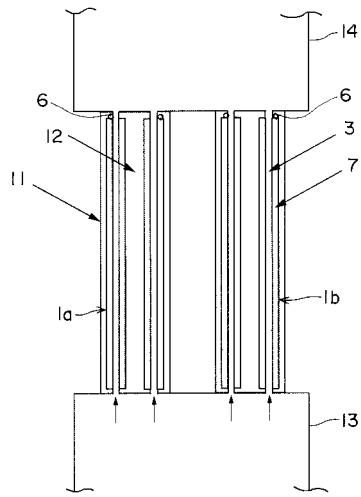
【図 5】



【図 8】

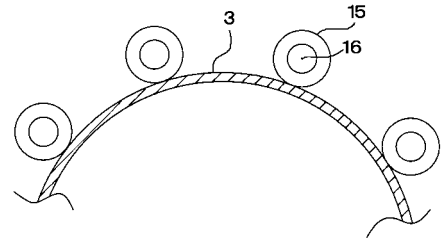


【図 9】

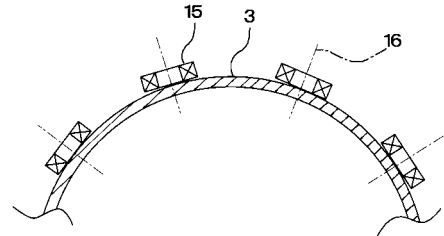


【図 11】

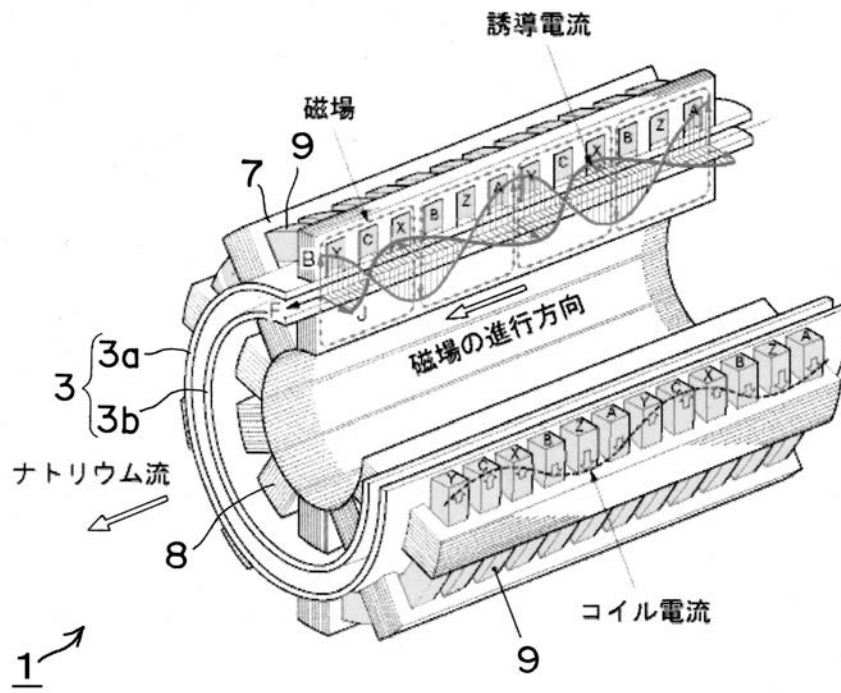
(A)



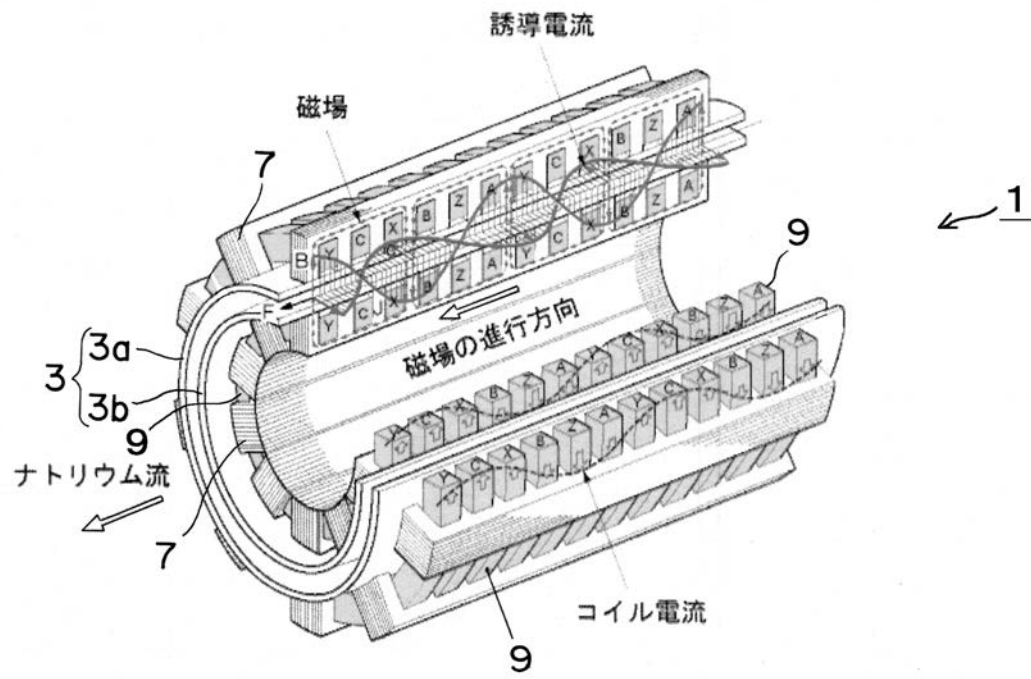
(B)



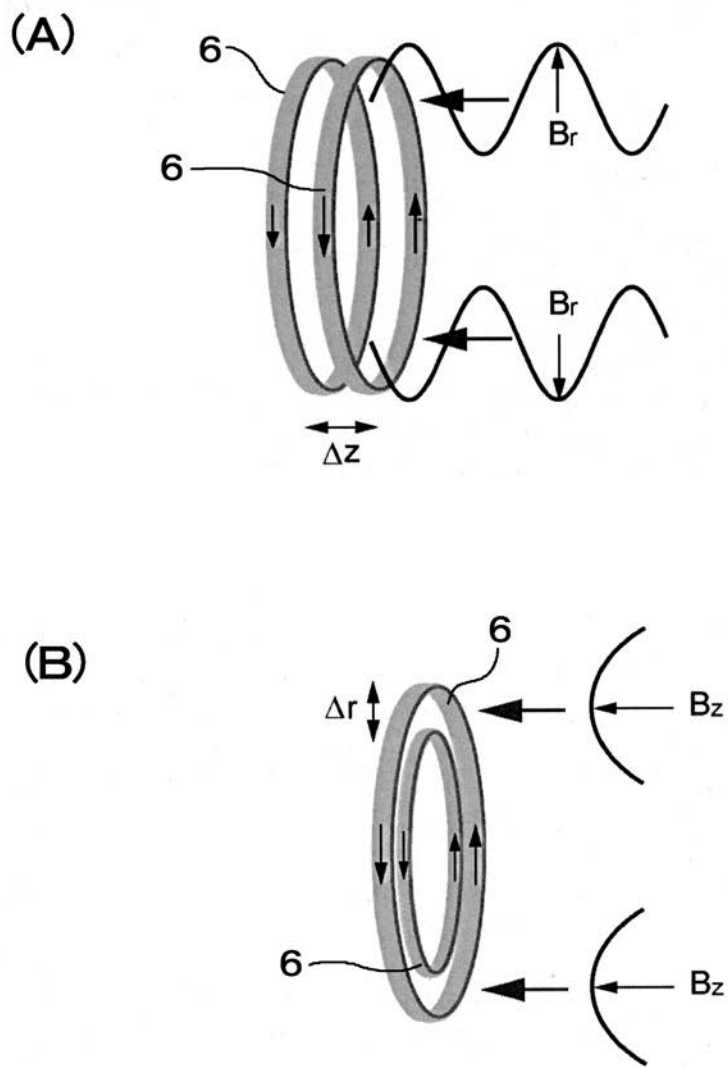
【図 6】



【図 7】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特許第3285894(JP, B2)
特公昭53-27943(JP, B2)
特公平60-49242(JP, B2)
特開平2-214466(JP, A)
特開平7-243886(JP, A)
特許第4359664(JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01F 1/56
H02K 44/06