

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3546092号  
(P3546092)

(45) 発行日 平成16年7月21日(2004.7.21)

(24) 登録日 平成16年4月16日(2004.4.16)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

FO4D 15/00

FO4D 15/00

F

A61M 1/10

A61M 1/10

500

FO4D 13/02

FO4D 13/02

A

請求項の数 8 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願平7-77876	(73) 特許権者	000102692
(22) 出願日	平成7年4月3日(1995.4.3)		NTN株式会社
(65) 公開番号	特開平8-270595		大阪府大阪市西区京町堀1丁目3番17号
(43) 公開日	平成8年10月15日(1996.10.15)	(74) 代理人	100064746
審査請求日	平成13年12月18日(2001.12.18)		弁理士 深見 久郎
前置審査		(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100083703
			弁理士 仲村 義平
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊
		(74) 代理人	100098316
			弁理士 野田 久登
		(74) 代理人	100109162
			弁理士 酒井 将行

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気浮上型ポンプ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

インペラを磁気軸受によって支持し、磁気カップリングにより隔壁を介して速度制御が可能なモータによって駆動される磁気浮上型ポンプにおいて、モータの複数の回転数ごとにモータ駆動電流とポンプ流量の流量相関関係を予め求めておき、

前記流量相関関係に基づいて、現在のモータの回転数とモータ駆動電流とからポンプ流量を求め、予め設定されている設定流量と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速するためのフィードバック制御して流量制御する制御手段、および前記磁気軸受によるインペラの外乱応答により得られる血液粘度によって得られるポンプ流量を補正する補正手段を備えた磁気浮上型ポンプ。

10

【請求項2】

インペラを磁気軸受によって支持し、磁気カップリングにより隔壁を介して速度制御が可能なモータによって駆動される磁気浮上型ポンプにおいて、モータの複数の回転数ごとにモータ駆動電流とポンプ吐出圧力の圧力相関関係を予め求めておき、

前記圧力相関関係に基づいて、現在のモータの回転数とモータ駆動電流とからポンプ吐出圧力を求め、予め設定されている設定圧力と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速するためのフィードバック制御して圧力制御する制御手段、および前記磁気軸受によるインペラの外乱応答により得られる血液粘度によって得られるポンプ

20

吐出圧力を補正する補正手段を備えた磁気浮上型ポンプ。

【請求項3】

インペラを磁気軸受によって支持し、磁気カップリングにより隔壁を介して速度制御が可能なモータによって駆動される磁気浮上型ポンプにおいて、

モータの複数の回転数ごとにモータ駆動電流とポンプ流量の流量相関関係を予め求めるとともに、モータの複数の回転数ごとに前記ポンプ流量とポンプ吐出圧力の流量・圧力相関関係を予め求めておき、

前記流量相関関係に基づいて、現在のモータの回転数とモータ駆動電流とからポンプ流量を求め、つぎに前記流量・圧力相関関係に基づいて、現在のモータの回転数と前記ポンプ流量とからポンプ吐出圧力を求め、予め設定されている設定圧力と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速するためのフィードバック制御して圧力制御する制御手段、および

前記磁気軸受によるインペラの外乱応答により得られる血液粘度によって得られるポンプ流量またはポンプ吐出圧力を補正する補正手段を備えた磁気浮上型ポンプ。

【請求項4】

インペラを磁気軸受によって支持し、磁気カップリングにより隔壁を介して速度制御が可能なモータによって駆動される磁気浮上型ポンプにおいて、

モータの複数の回転数ごとにモータ駆動電流とポンプ吐出圧力の圧力相関関係を予め求めるとともに、モータの複数の回転数ごとに前記ポンプ吐出圧力とポンプ流量の流量・圧力相関関係を予め求めておき、

前記圧力相関関係に基づいて、現在のモータの回転数とモータ駆動電流とからポンプ吐出圧力を求め、つぎに前記流量・圧力相関関係に基づいて、現在のモータの回転数と前記ポンプ吐出圧力とからポンプ流量を求め、予め設定されている設定流量と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速するためのフィードバック制御して流量制御する制御手段、および

前記磁気軸受によるインペラの外乱応答により得られる血液粘度によって得られるポンプ流量またはポンプ吐出圧力を補正する補正手段を備えた磁気浮上型ポンプ。

【請求項5】

前記粘度を測定するために周期的に外乱を与えることを特徴とする、請求項1から請求項4のいずれかに記載の磁気浮上型ポンプ。

【請求項6】

前記外乱の周波数は前記インペラの支持剛性が最も小さい周波数域に選ばれることを特徴とする、請求項1から請求項5のいずれかに記載の磁気浮上型ポンプ。

【請求項7】

前記粘度を測定するためにバンドパスフィルタに外乱周波数のみを通過させて変位を検出することを特徴とする、請求項1から請求項6のいずれかに記載の磁気浮上型ポンプ。

【請求項8】

前記粘度を測定するために、回転数による補正を加えることを特徴とする、請求項1から請求項7のいずれかに記載の磁気浮上型ポンプ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

この発明は磁気浮上型ポンプに関し、特に、血液ポンプのような医療機器に用いられ、インペラを駆動するモータ電流とモータ回転数とからポンプ流量を求めるような磁気浮上型ポンプに関する。

【0002】

【従来の技術】

血液ポンプに限らず、ポンプの動作状態を常に監視し、装置を最適条件で運転する場合がある。ポンプの動作状態を示すものとして、駆動モータ入力（電流，電圧），ポンプ入口圧力，出口出力，ポンプ流量がある。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 3 】

図 1 0 および図 1 1 はこれらの検出装置をポンプ回路に挿入した状態を示す図である。図 1 0 において、ポンプ 7 1 を駆動するモータに印加される電圧、流れる電流および回転数は比較的容易に検出できるが、圧力を検出するためにはポンプ 7 1 の入口側と出口側に差圧計 7 2 を接続し、流量を検出するためにポンプ 7 1 の出口側に流量計 7 3 を接続する必要がある。

## 【 0 0 0 4 】

## 【 発明が解決しようとする課題 】

ところが、上述の差圧計 7 2 や流量計 7 3 などの測定装置は高価であるとともに、人工心臓としての血液ポンプに用いた場合、図 1 1 に示すような回路の接続部が増加し、ここで凝血が発生する可能性が増大する。しかし、血液の回路には微小な隙間や流れのよどみ、渦を極力避ける必要がある。

## 【 0 0 0 5 】

それゆえに、この発明の主たる目的は、圧力計や流量計を用いることなく、ポンプの動作状態を求めることができ、血液ポンプへ適用した場合、流量の供給部分を少なくでき、凝血の発生を防止できるような磁気浮上型ポンプを提供することである。

## 【 0 0 0 6 】

## 【 課題を解決するための手段 】

この発明に係る磁気浮上ポンプは、インペラを磁気軸受によって支持し、磁気カップリングにより隔壁を介して速度制御が可能なモータによって駆動される磁気浮上型ポンプにおいて、モータの複数の回転数ごとに、モータ駆動電流、ポンプ流量、ポンプ吐出圧力の相関関係を予め求めておき、求められた相関関係に基づいて、現在のモータの回転数とモータ駆動電流とからポンプ流量またはポンプ吐出圧力を求め、予め設定されている設定流量または設定圧力と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速する制御手段と、磁気軸受によるインペラの外乱応答により得られる血液粘度によって得られるポンプ流量またはポンプ吐出圧力を補正する補正手段を備えて構成される。

## 【 0 0 0 8 】

好ましくは、粘度を測定するために周期的に外乱を与える。

また好ましくは、外乱の周波数はインペラの支持剛性が最も小さい周波数域に選ばれる。

## 【 0 0 0 9 】

また好ましくは、粘度を測定するためにバンドパスフィルタに外乱周波数のみを通過させて変位を検出する。

## 【 0 0 1 0 】

また好ましくは、粘度を測定するために、回転数による補正を加える。

## 【 0 0 1 1 】

## 【 作用 】

この発明に係る磁気浮上型ポンプでは、モータの複数の回転数ごとに、モータ駆動電流、ポンプ流量、ポンプ吐出圧力の相関関係を予め求めておき、求められた相関関係に基づいて、現在のモータの回転数とモータ駆動電流とからポンプ流量またはポンプ吐出圧力を求め、予め設定されている設定流量または設定圧力と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速する制御手段と、磁気軸受によるインペラの外乱応答により得られる血液粘度によって得られるポンプ流量またはポンプ吐出圧力を補正する補正手段とが設けられる。したがって、従来のように圧力計や流量計を用いることなく、流量制御または圧力制御することができ、しかも流路の接続部分を少なくできるので、血液ポンプへ適用した場合であっても凝血の発生を防止できる。また、血液粘度によってポンプ流量またはポンプ吐出圧力を補正するので、流量制御または圧力制御を精度良く行なうことができる。

## 【 0 0 1 2 】

## 【 実施例 】

図 1 はこの発明の一実施例の磁気浮上型ポンプの断面図および制御回路を示す図である。

図 1 において、磁気浮上型ポンプ 1 はモータ部 1 0 とポンプ部 2 0 と磁気軸受部 3 0 とか

10

20

30

40

50

ら構成される。ポンプ部 20 のケーシング 21 内にはインペラ 22 が設けられる。ケーシング 21 は非磁性部材からなり、インペラ 22 は非制御式磁気軸受を構成する永久磁石 24 を有する非磁性部材 25 と、制御式磁気軸受のロータに相当する軟鉄部材 26 とを含む。永久磁石 24 はインペラ 22 の円周方向に分割されていて、互いに隣接する磁石が互いに反対方向に着磁されている。

#### 【0013】

インペラ 22 の永久磁石 24 を有する側に対向するようにして、ケーシング 21 外部には軸 11 に軸支されたロータ 12 が設けられる。ロータ 12 はモータ 13 によって駆動されて回転する。ロータ 12 にはインペラ 22 の永久磁石 24 に対向しかつ吸引力が作用するようにインペラ 22 側と同数の永久磁石 14 が設けられている。一方、インペラ 22 の軟鉄部材 26 を有する側に対向するようにして、ケーシング 21 において永久磁石 24 と 14 の吸引力に打勝ってインペラ 22 をケーシング 21 の中心に保持するように電磁石 31 と図示しない位置センサとが磁気軸受部 30 に設けられている。

10

#### 【0014】

上述のごとく構成された磁気浮上型ポンプにおいて、ロータ 12 に埋込まれている永久磁石 14 はインペラ 22 の駆動や半径方向を支持し、インペラ 22 に設けられている永久磁石 24 との間の軸方向の吸引力を生じさせる。この吸引力と釣合うように電磁石 31 のコイルに電流が流され、インペラ 22 が浮上する。そして、ロータ 12 がモータ 13 の駆動力によって回転すると、永久磁石 14 と 24 とが磁気カップリングを構成し、インペラ 22 が回転して、液体は注入口から図示しない吐出口に送り込まれる。インペラ 22 はケーシング 21 によってロータ 12 から隔離されておりかつ電磁石 31 からの汚染を受けることがないので、磁気浮上型ポンプ 1 から吐出された血液はクリーンな状態を保持する。

20

#### 【0015】

制御回路 40 は、CPU 41 と回転数制御回路 42 と磁気軸受制御回路 43 とを含む。回転数制御回路 42 は CPU 回路 41 からの指定を受け、モータ 13 の回転数を制御し、磁気軸受制御回路 43 は図示しない位置センサの信号をもとに電磁石 31 を制御する。さらに、制御部 40 には、回転数を表示する表示器 51 と流量を表示する表示器 52 と圧力を表示する表示器 53 とが設けられる。

#### 【0016】

図 2 は磁気浮上型ポンプの吐出流量とモータの駆動電流との関係を回転数を変えて測定した結果を示す図であり、図 3 は各回転数ごとのポンプ吐出流量 - 圧力特性を示す図である。

30

#### 【0017】

図 2 は、磁気浮上型ポンプの特性は、ケーシング 21 とインペラ 22 との隙間や、流体の粘度により変化するが、予めポンプごとに検定しておけば、図 2 に示すようにモータ駆動電流と回転数とから吐出流量を容易に得ることができ、また図 3 の特性から流量と回転数とから吐出圧を求めることができる。

#### 【0018】

次に、図 1 ~ 図 3 を参照して、この発明の一実施例の具体的な動作について説明する。制御回路 40 の回転数制御回路 42 によってモータ 13 に一定の電流が供給されて、インペラ 22 がたとえば 2200 rpm の一定回転数で回転中の場合、図 2 に示す特性から回転数とモータ駆動電流とから流量を求めることができ、また、求めた回転数とポンプ流量とから図 3 の特性によって吐出圧を求めることができる。この場合、回転数制御回路 42 は CPU 回路 41 からの指令に基づいて、モータ 13 の回転数がたとえば 2200 rpm となるようにモータ 13 を駆動する。そして、CPU 回路 41 は回転数を表示器 51 に表示し、流量を表示器 52 に表示し、吐出圧を表示器 53 に表示する。また、一定流量が吐出されるように制御されるためには、現在の回転数とモータ駆動電流とからポンプ流量を求め、予め設定されている設定流量と比較し、少なければ回転数を増加し、逆であれば減速するためのフィードバック制御を行なう。また、一定吐出圧運転においては、設定圧に対してフィードバック制御を行なえばよい。

40

50

## 【 0 0 1 9 】

したがって、この実施例によれば、圧力計流量計を用いることなく、ポンプの動作状態を求めることができるため、安価な磁気浮上型ポンプシステムを構成できる。また、この実施例の磁気浮上型ポンプシステムを人工心臓の血液ポンプに適用した場合、流路の接続部分を少なくでき、凝血の発生を防止できる。

## 【 0 0 2 0 】

図4は一定回転数でのモータ駆動電流と流量との関係を粘度を変えて測定した特性を示す図である。前述の図1に示した実施例では、モータ13の駆動電流と回転数とから流量を演算するようにしたが、図4に示すように、たとえば回転数が2000rpmで一定回転していても、血液粘度 $\mu = 1, 2, 3, 4$ によって一定の流量を得るための駆動電流が異なり、血液粘度の変化が誤差になってしまうおそれがある。

10

## 【 0 0 2 1 】

そこで、以下に血液の粘度に応じて流量と圧力を補正する実施例について説明する。

## 【 0 0 2 2 】

図5はこの発明の他の実施例のブロック線図である。この実施例に用いられる磁気浮上型ポンプは、図1に示したように、 $Z, x, y$ の3軸の制御ループを有しており、それぞれの制御軸は図5に示すブロック線図で表わすことができる。図5において、PID回路81はインペラ22を安定に浮上させるための補償回路である。PID回路81の出力に一定周波数で一定振幅の信号を加算すると、インペラ22には一定の周期的な外乱が作用する。図5において、 $Cs84$ は流体から作用する粘度による力である。つまり、流体粘度 $C$ に変化が生ずると、インペラ22に生ずる外乱による変位も変化することになり、インペラ変位により粘度を求めることができる。この方法は3つの制御軸のいずれに適用しても効果がある。なお、図5において、 $K_{VF}82$ は、PID回路81の出力電圧をコイル電流、すなわち電磁吸引力( $F$ )に変換する定数を意味しており、 $1 / (M_s^2 - K)$ は、電磁軸受の制御対象を表わす位置関数である。

20

## 【 0 0 2 3 】

図6はこの発明の他の実施例のブロック図である。図6において、制御回路60は、モータ制御回路61と磁気軸受制御装置62とCPU63とバンドパスフィルタ64と外乱信号発生装置65とスイッチ66とを含む。モータ制御装置61からCPU63に対して、モータの駆動電流と回転数信号とが与えられる。CPU63は回転数信号と駆動電流値とに基づいて、図2に示した特性から流量を計算する。磁気軸受制御装置62からインペラの変位量が取出され、バンドパスフィルタ64を介してCPU63に与えられる。バンドパスフィルタ64は外乱周波数と同じ周波数のインペラ変位を取出してCPU63に与える。また、外乱信号発生装置65から外乱信号が発生され、スイッチ66を介して磁気軸受制御装置62に外乱が与えられる。スイッチ66はCPU63からの外乱制御信号に応じてオンオフされる。

30

## 【 0 0 2 4 】

図7は一定の粘度の下で得られるモータ駆動電流とポンプ流量との関係を示す図であり、図8はインペラに $\sin$ 波状で一定振幅の外乱( $Fd$ )を与えたときのインペラに生ずる変位( $z$ )と粘度との関係を外乱周波数を変えて測定した結果を示す図であり、図9は70Hzの外乱を加えた場合のインペラの変位をインペラ回転数を変えて測定した結果を示す図である。

40

## 【 0 0 2 5 】

図4に示すように、一定の粘度の下で得られるモータ電流とポンプ流量の関係はほぼ直線関係にあり、CPU63はモータ制御装置61から与えられる回転数とモータ電流値とから流量を計算する。

## 【 0 0 2 6 】

一方、図8に示すように、インペラに $\sin$ 波状で一定振幅の外乱 $Fd$ を与えたときのインペラに生ずる変位 $z$ が低周波および高周波に対しては $z / Fd$ より粘度を求めることが難しいが、インペラ支持剛性が最も小さくなる70Hz程度の周波数(制御系の設定で変

50

化する)に対しては良い感度が得られているのがわかる。つまり、磁気軸受を用いて流体の粘度が求められることがわかる。CPU63は図7の特性を求めたときの粘度を標準粘度とし、上述の方法で求められた動作中の粘度との差により図7のデータを修正することにより、流量の検出精度が向上する。しかし、外乱信号発生装置65から磁気軸受制御装置62に対して外乱を常に与えることは血球の破損(溶血)を増すことになるため、周期的に行なうのが望ましい。このため、CPU63はスイッチ66をオンオフする。また、バンドパスフィルタ64は磁気軸受制御装置62から出力されるインペラ変位のうち、外乱周波数と同じ周波数のインペラ変位を取出してCPU63に与える。また、図9に示すように、インペラの回転により粘度が大きく現われる傾向があるため、補正精度を向上するためには、回転数を考慮する必要がある。

10

【0027】

上述のごとく、この実施例によれば、粘度による補正ができるため、流量の検出精度が向上する。

【0028】

【発明の効果】

以上のように、この発明によれば、圧力計や流量計を用いることなく、ポンプの動作状態を求めることができるため、磁気浮上型ポンプシステムを低コストで実現できる。しかも、血液ポンプへ適用した場合、流路の接続部分を少なくでき、凝血の発生を防止することができる。さらに、粘度による補正ができるため、制御精度が向上する。

【図面の簡単な説明】

20

【図1】この発明の一実施例の磁気浮上型ポンプの断面図および制御回路を示す図である。

【図2】磁気浮上型ポンプの吐出流量とモータの駆動電流との関係を回転数を変えて測定した結果を示す図である。

【図3】各回転数ごとのポンプ吐出流量 - 圧力特性を示す図である。

【図4】一定回転数でのモータ電流と流量の関係を粘度を変えて測定した特性を示す図である。

【図5】この発明の他の実施例のブロック線図である。

【図6】この発明の他の実施例を示すブロック図である。

【図7】一定の粘度の下で得られるモータ駆動電流とポンプ流量との関係を示す図である

30

【図8】インペラにsin波状で一定振幅の外乱を与えたときのインペラに生ずる変位と粘度の関係を外乱周波数を変えて測定した結果を示す図である。

【図9】70Hzの外乱を加えた場合のインペラの変位をインペラ回転数を変えて測定した結果を示す図である。

【図10】従来の血液ポンプシステムを示す図である。

【図11】従来のポンプシステムにおいて凝血が発生する状態を示す図である。

【符号の説明】

1 磁気浮上型ポンプ

10 モータ部

40

11 軸

12 ロータ

13 モータ

14 永久磁石

20 ポンプ部

21 ケーシング

22 インペラ

24 永久磁石

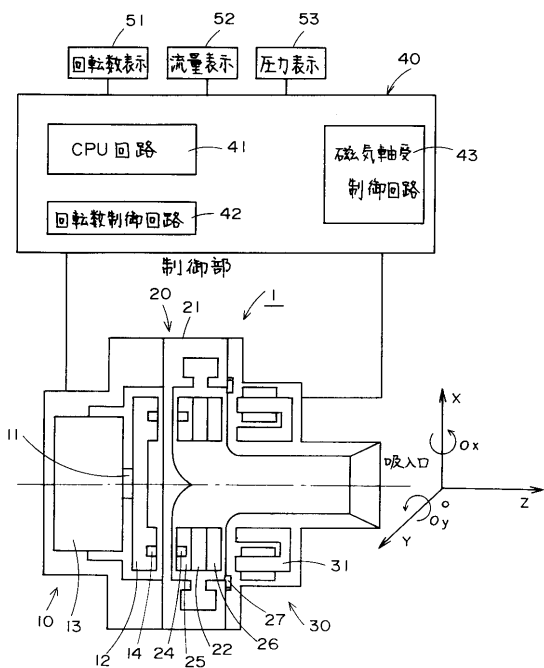
30 磁気軸受部

31 永久磁石

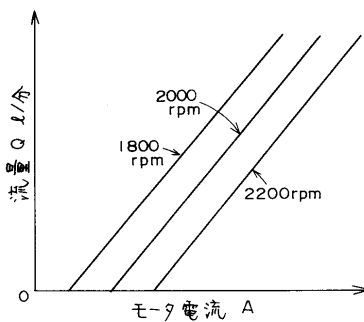
50

- 4 0 制御部
- 4 1 CPU回路
- 4 2 回転数制御回路
- 4 3 磁気軸受制御回路
- 5 1, 5 2, 5 3 表示器
- 6 1 モータ制御装置
- 6 2 磁気軸受制御装置
- 6 3 CPU
- 6 4 バンドパスフィルタ
- 6 5 外乱信号発生装置
- 6 6 スイッチ

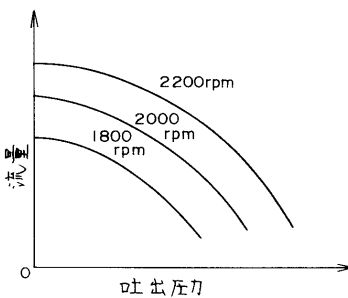
【図1】



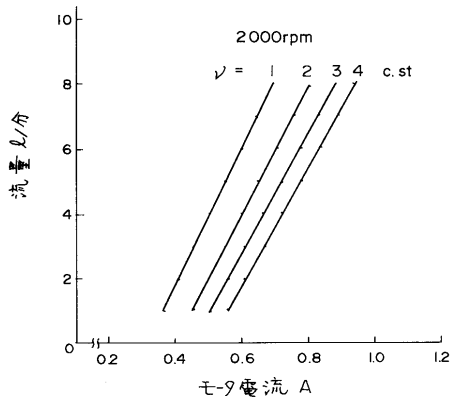
【図2】



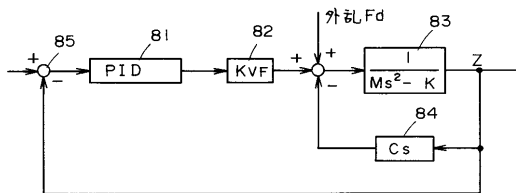
【図3】



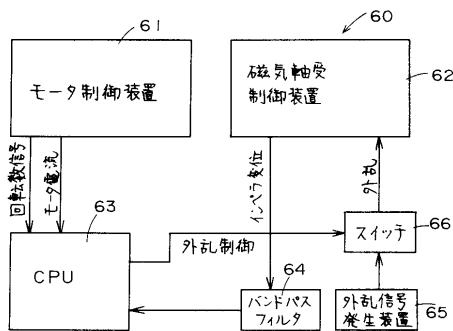
【図4】



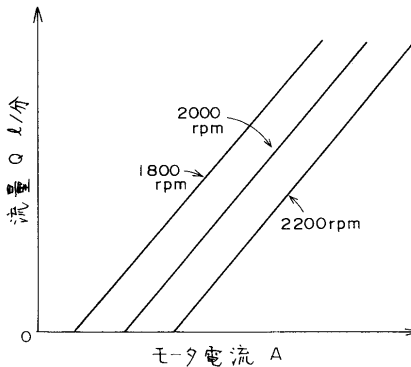
【図5】



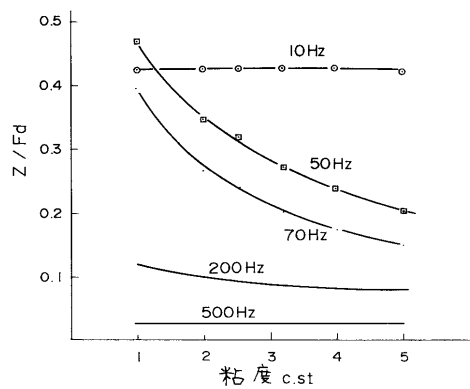
【図6】



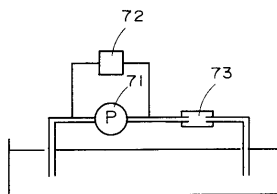
【図7】



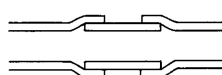
【図8】



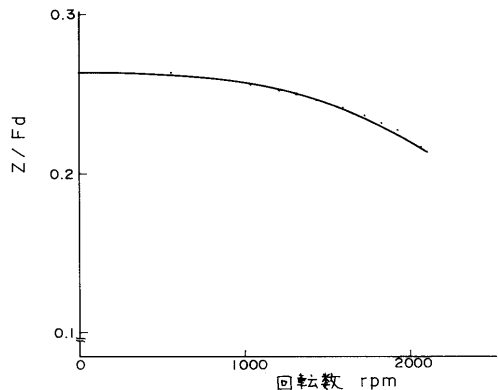
【図10】



【図11】



【図9】





---

フロントページの続き

- (74)代理人 100111936  
弁理士 渡辺 征一
- (72)発明者 中関 嗣人  
静岡県磐田市城之崎2 - 1 1 - 5
- (72)発明者 伊藤 浩義  
静岡県磐田市東貝塚1 3 4 2 - 2
- (72)発明者 赤松 映明  
京都市上京区中立売室町 室町スカイハイツ2 0 8

審査官 中野 宏和

- (56)参考文献 実開平06 - 053790 (JP, U)  
特開昭60 - 211508 (JP, A)  
特開平02 - 163494 (JP, A)  
特開昭62 - 103497 (JP, A)  
特開昭49 - 020701 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)

F04D 15/00  
A61M 1/10 500  
F04D 13/02