(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4899444号
(P4899444)

(45)発行日　平成24年3月21日(2012.3.21)　(24)登録日　平成24年1月13日(2012.1.13)

(51)Int.Cl.		F I		
G01L 5/00	(2006.01)	G01L	5/00	K
F16C 19/52	(2006.01)	F16C	19/52	
F16C 19/18	(2006.01)	F16C	19/18	
F16C 33/58	(2006.01)	F16C	33/58	
B60B 35/02	(2006.01)	B60B	35/02	Z

請求項の数 5　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願2005-336969 (P2005-336969)
(22)出願日　平成17年11月22日 (2005.11.22)
(65)公開番号　特開2006-177933 (P2006-177933A)
(43)公開日　平成18年7月6日 (2006.7.6)
審査請求日　平成20年10月20日 (2008.10.20)
(31)優先権主張番号　特願2004-338586 (P2004-338586)
(32)優先日　平成16年11月24日 (2004.11.24)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000001247
株式会社ジェイテクト
大阪府大阪市中央区南船場３丁目５番８号
(74)代理人　100083149
弁理士　日比　紀彦
(74)代理人　100060874
弁理士　岸本　瑛之助
(74)代理人　100079038
弁理士　渡邊　彰
(74)代理人　100069338
弁理士　清末　康子
(72)発明者　楼　黎明
大阪市中央区南船場三丁目５番８号　光洋精工株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】センサ装置およびセンサ付き転がり軸受装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

互いに接触する可動体および固定体からなり外部荷重に応じて両者間の接触面積が変化する被検知部と、固定体に取り付けられ被検知部の接触面積を検知する接触面積検知センサと、外部荷重と接触面積との相関関係を利用してセンサ出力から外部荷重を求める処理手段とを備えており、可動体は、転がり軸受の転動体であり、固定体は、転がり軸受の固定輪であり、処理手段は、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式を蓄える理論式蓄積部と、センサ出力と接触面積との関係を示す実験式を蓄える実験式蓄積部と、センサ出力から実験式を使って接触面積を求める接触面積演算部と、この接触面積から理論式を使って転動体荷重を求める転動体荷重演算部とを有していることを特徴とするセンサ装置。

【請求項２】

処理手段は、転動体荷重演算部で得られた転動体荷重を使用して３方向分力を演算する３方向分力演算部をさらに有していることを特徴とする請求項１のセンサ装置。

【請求項３】

固定輪および転動体を有する転がり軸受と、転がり軸受の固定輪に取り付けられて固定輪と転動体との接触面積を検知する接触面積検知センサと、センサ出力から外部荷重を求める処理手段とを備えており、処理手段は、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式を蓄える理論式蓄積部と、センサ出力と接触面積との関係を示す実験式を蓄える実験式蓄積部と、センサ出力から実験式を使って接触面積を求める接触面積演算部と、この接触面積から理論式を使って転動体荷重を求める転動体荷重演算部とを有していることを特徴と

するセンサ付き転がり軸受装置。
【請求項４】
処理手段は、転動体荷重演算部で得られた転動体荷重を使用して３方向分力を演算する３方向分力演算部をさらに有していることを特徴とする請求項３のセンサ付き転がり軸受装置。
【請求項５】
請求項４のセンサ付き転がり軸受装置において３方向分力を演算する方法であって、
接触面積検知センサから転がり軸受の転動体と軌道溝との接触面に超音波を出射するステップと、
接触面積演算部において、実験式蓄積部に蓄積されている出力と接触面積との関係を使用して、転動体と軌道溝との接触面からの超音波の出力を接触面積に換算するステップと、
転動体荷重演算部において、理論式蓄積部に蓄積されている荷重と接触面積との関係を使用して、接触面積演算部で得られた接触面積を転動体荷重に換算するステップと、
３方向分力演算部において、転動体荷重演算部で得られた転動体荷重を使用して３方向分力を演算するステップとを包含するセンサ付き転がり軸受装置における３方向分力演算方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この発明は、転がり軸受と一体化されて転がり軸受の各種情報を検出するのに好適なセンサ装置およびセンサ付き転がり軸受装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
自動車においては、その制御を行うために種々の情報が必要であることから、車体側に固定される固定側軌道部材、車輪が取り付けられる回転側軌道部材、および両部材の間に配置された二列の転動体を有するハブユニット（転がり軸受）に、センサ装置を設けることが提案されている。たとえば、特許文献１には、固定側軌道部材に磁気インピーダンスセンサを設けるとともに、回転側軌道部材に、同センサに対向する環状の着磁部を設けることにより、接地荷重を精度よく求めることが開示されている。
【特許文献１】特開２００４－４５３７０号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００３】
上記特許文献１のセンサ付き転がり軸受装置によると、磁気インピーダンスセンサによる検知が、被検知部の材料、形状、加工精度などの影響を受けるため、転がり軸受の材料の選択に制約があったり、着磁部の加工や別部材の追加が被検知部に必要となるという問題があった。
【０００４】
この発明の目的は、被検知部の材料選択に制約が少なく、被検知部への追加の加工が必要でないセンサ装置およびこのようなセンサ装置を備えたセンサ付き転がり軸受装置を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
この発明によるセンサ装置は、互いに接触する可動体および固定体からなり外部荷重に応じて両者間の接触面積が変化する被検知部と、固定体に取り付けられ被検知部の接触面積を検知する接触面積検知センサと、外部荷重と接触面積との相関関係を利用してセンサ出力から外部荷重を求める処理手段とを備えており、可動体は、転がり軸受の転動体であり、固定体は、転がり軸受の固定輪であり、処理手段は、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式を蓄える理論式蓄積部と、センサ出力と接触面積との関係を示す実験式を蓄

える実験式蓄積部と、センサ出力から実験式を使って接触面積を求める接触面積演算部と、この接触面積から理論式を使って転動体荷重を求める転動体荷重演算部とを有していることを特徴とするものである。

【０００６】

ここで、接触面積としては、「真実接触面積」、すなわち、微視的に見て表面に凹凸があるもの同士が接触した場合に、その凸部同士の「接触面積」を使用することが好ましい。

【０００７】

可動体と固定体の接触面積は、接触面に直角の方向の荷重が増加したときに増加し、接触面に直角の方向の荷重が減少したときに減少することから、この接触面積を検知することにより被検知部にかかる荷重を検出することができる。したがって、真実接触面積と転動体荷重との関係は比例関係となる。可動体は、接触面積の変化を反映しやすい形状である球状、円柱状、棒状、針状、円錐状、樽状、またはその他の形状とされていることが好ましい。可動体および固定体の材料は、通常、金属とされるが、固体であればよい。

【０００８】

可動体および固定体が金属の場合、接触面積の増減によって被検知部の電気抵抗したがって被検知部を含む回路に流れる電流が変化するので、各種の電気抵抗測定器または電流センサが接触面積検知センサとして使用できる。また、超音波センサで検知されるエコーは、接触面積の変化によって変化するので、超音波センサを接触面積検知センサとして使用することもできる。超音波センサによると、非検出部が金属でない場合でも接触面積の変化を求めることかできる。いずれにしろ、被検知部の材料選択の制約を少なくし、しかも、被検知部への追加の加工を行わないで、被検知部に作用する荷重を検出することができる。

【０００９】

可動体は、転がり軸受の転動体であり、固定体は、転がり軸受の固定輪とされることがある。これにより、軸受に作用する荷重を検出することができるセンサ付き転がり軸受装置が得られる。このようなセンサ付き転がり軸受装置は、固定輪が車体側、回転輪が車輪側に取り付けられるようになされて、センサ付きハブユニットとして使用されることがある。

【００１０】

転がり軸受としては、深みぞ玉軸受、アンギュラ玉軸受、ころ軸受、ニードル軸受、スラスト軸受などのいずれの転がり軸受でも使用可能であり、また、単列のものだけでなく、複列のものにも適用できる。軸受の材料は、軸受鋼のような磁性材料であってももちろんよいが、非磁性の金属であっても、セラミックスであってもよい。

【００１１】

転がり軸受に作用する荷重が変化すると、この荷重変化によって固定輪と転動体との接触面積が変化する。接触面積と軸受に作用する荷重との関係は、理論的に求めることができるので、接触面積とセンサ出力との関係を予め実験的に求めておくことにより、センサ出力から転がり軸受に作用する荷重を求めることができる。こうして、被検知部（固定輪と転動体との接触面）への加工を施すことなく転がり軸受に作用する荷重を求めることができる。

【００１２】

この場合に、処理手段は、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式を蓄える理論式蓄積部と、センサ出力と接触面積との関係を示す実験式を蓄える実験式蓄積部と、センサ出力から実験式を使って接触面積を求める接触面積演算部と、この接触面積から理論式を使って転動体荷重を求める転動体荷重演算部とを有していることが好ましい。また、接触面積検知センサは、接触面積の変化を超音波のエコーで測定する超音波センサであることが好ましい。超音波センサは、通常のもの（単振動子の超音波センサ）でももちろんよいが、超音波センサは、所定ピッチで並ぶ複数の振動子を内部に有している（多振動子の超音波センサ）ことがある。

【００１３】
超音波センサは、転がり軸受の固定輪に取り付けられることがあり、固定輪がハウジング等に支持されている場合には、超音波センサをこのハウジング等に保持させて固定輪とハウジング等との接触面を臨ますようにしてもよい。
【００１４】
転がり軸受では、転動体荷重と接触面積との関係を容易にかつ精度よく得ることができ、接触面積の変化を超音波センサで求めた場合、センサの出力と接触面積との関係を容易にかつ精度よく得ることができる。また、超音波センサによる接触面積の検知は、可動体および固定体が金属である場合に限られない点で優れている。
【００１５】
接触面積検知センサは、たとえば、転がり軸受の頂部、底部、前部および後部の計４カ所に設けられ、これら４つのデータから転がり軸受に作用する荷重の３方向分力（上下方向荷重、前後方向荷重および左右方向荷重）が求められる。なお、センサは、等分配でかつ上記配置以外の４カ所に設けるようにしてもよい。３方向分力を求める場合、接触面積検知センサは、頂部および底部のいずれか一方を省略して、３つとしてもよいし、円周上の任意の位置に等配分で３つ配置してもよい。また、円周上の任意の位置に等配分で５つ以上配置してもよく、接触面積検知センサの配置は、必ずしも等配でなくてもよい。荷重の絶対値だけを求める場合には、接触面積検知センサは１つであってもよく、接触面積検知センサの数は、必要とする荷重（モーメントを含む）の数に応じて適宜変更される。
【００１６】
この発明によるセンサ付き転がり軸受装置は、固定輪および転動体を有する転がり軸受と、転がり軸受の固定輪に取り付けられて固定輪と転動体との接触面積を検知する接触面積検知センサと、センサ出力から外部荷重を求める処理手段とを備えており、処理手段は、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式を蓄える理論式蓄積部と、センサ出力と接触面積との関係を示す実験式を蓄える実験式蓄積部と、センサ出力から実験式を使って接触面積を求める接触面積演算部と、この接触面積から理論式を使って転動体荷重を求める転動体荷重演算部とを有していることを特徴とするものである。
【００１７】
接触面積検知センサは、接触面積の変化を超音波のエコーで測定する超音波センサとされ、理論式蓄積部には、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式が蓄積され、実験式蓄積部には、センサ出力と接触面積との関係を示す実験式が蓄積される。そして、接触面積演算部において、センサ出力が接触面積に換算され、転動体荷重演算部において、接触面積が転動体荷重に換算され、３方向分力演算部において、転動体荷重が３方向分力（上下方向荷重、前後方向荷重および左右方向荷重）に換算される。
【００１８】
すなわち、センサから荷重を求める第１の方法として、実験式演算部に蓄積されている出力と接触面積の関係を使用して、接触面積を求め、この接触面積と、理論式の荷重と接触面積の関係とから転動体荷重を再度演算することにより、センサ出力から荷重を求めることができる。ここで、理論式の荷重と接触面積（この「接触面積」は、上記「真実接触面積」とは相違しており、「見掛け接触面積」である。）の関係は、公知であり、次のような関係がある。
【００１９】
転動体と外輪の軌道溝との接触面（楕円）の面積πａｂを求めるためのａ：接触楕円の長半径およびｂ：接触楕円の短半径は、接触物体の主曲率を$\rho_{1\,I}$，$\rho_{1\,II}$，$\rho_{2\,I}$，$\rho_{2\,II}$（添字の１，２は物体を、添字のＩ，IIはその主曲率を含む平面を表す）、荷重をＱ、接触の状態によって決まる係数をμおよびνとして、次のように表される。
【００２０】
$a = e_a (Q/\Sigma\rho)^{1/3}$
$b = e_b (Q/\Sigma\rho)^{1/3}$
$e_a = 0.02363\mu$

$e_b = 0.02363\nu$

$\Sigma\rho = \rho_{1\,I} + \rho_{1\,II} + \rho_{2\,I} + \rho_{2\,II}$

ただし、玉と内輪との接触の場合、玉：$\rho_{1\,I} = \rho_{1\,II} = 2/Dw$であり、内輪：$\rho_{2\,I} = -1/r1$、$\rho_{2\,II} = 2/F$である。

【００２１】

センサから荷重を求めるには、第２の方法として、センサ出力と接触面積（この明細書において、上記第１の方法における「（見掛け）接触面積」以外の「接触面積」は、「真実接触面積」を意味している。）との実験的関係、および接触面積と転動体荷重との実験的関係から転動体荷重を演算する方法がある。この方法は、上記第１の方法に比べて、接触面積と転動体との関係、およびセンサ出力（エコー比）と転動体荷重との関係がリニアとなり、精度が向上する点で好ましい。

【００２２】

センサから荷重を求めるには、第３の方法として、接触面積を介さず直接センサ出力から転動体荷重を演算する方法がある。この方法は、上記第２の方法の関係を結合して、直接、センサ出力（エコー比）から転動体荷重を求めるもので、演算工数が削減される点でさらに好ましい。

【００２３】

このセンサ付き転がり軸受装置は、固定側軌道部材が車体側、回転側軌道部材が車輪側に取り付けられるようになされて、自動車のセンサ付きハブユニットとして使用されることがある。

【００２４】

このセンサ付き転がり軸受装置における３方向分力演算方法は、接触面積検知センサから転がり軸受の転動体と軌道溝との接触面に超音波を出射するステップと、接触面積演算部において、実験式蓄積部に蓄積されている出力と接触面積との関係を使用して、転動体と軌道溝との接触面からの超音波の出力を接触面積に換算するステップと、転動体荷重演算部において、理論式蓄積部に蓄積されている荷重と接触面積との関係を使用して、接触面積演算部で得られた接触面積を転動体荷重に換算するステップと、３方向分力演算部において、転動体荷重演算部で得られた転動体荷重を使用して３方向分力を演算するステップとを包含するものとされる。

【００２５】

転動体荷重は、例えば、以下の式で得られるエコー比から求められる。

【００２６】

エコー比＝１００×（Ｈ０－Ｈ１）／Ｈ０

Ｈ０：転動体が超音波センサから半ピッチ離れたときのエコー強度

Ｈ１：転動体が超音波センサ直下に位置するときのエコー強度

通常の単振動子の超音波センサで、転動体荷重を検出しようとするときに、エコー比（またはエコー強度）が軸受荷重に依存するのみではなく、転動体のセンサに対する位置にも依存するため、軸受荷重が同じであっても、転動体の位置により、エコー比が変化する。軸受荷重の変化が激しくなく、回転速度が速いときには、単振動子の超音波センサでも、転動体荷重の検出精度に問題はないが、軸受荷重の変化が激しく、回転速度が遅いときには、単振動子の超音波センサでは、転動体荷重の検出に問題が出てくる。検出できる限界荷重変動周波数は、振動子の数に比例して増加するので、軸受荷重の変動が激しく、回転速度が遅い場合は、多振動子の使用が有効であり、これにより、変化の激しい動的荷重でも精度よく検出することができる。

【００２７】

接触面積検知センサを超音波センサとする場合には、センサ付き転がり軸受装置の処理手段の構成を簡素化（演算工数の削減）が可能であり、センサ付き転がり軸受装置は、転がり軸受と、超音波センサと、超音波センサを使用して予め測定されたエコー比と転動体荷重との関係を蓄積する実験式蓄積部、エコー比から転動体荷重を求める転動体荷重演算部、および転動体荷重から３方向分力演算部を有する処理手段とを備えているものとされ

る。
【００２８】
多振動子の超音波センサは、例えば、外周におねじ部が形成された筒状のケースおよびケース内に配置された複数の振動子を有しているものとされ、固定側軌道部材に設けられた有底のめねじ部に、ケースのおねじ部がねじ込まれることで、ケース先端に所定の予荷重が設定される。
【００２９】
多振動子の超音波センサでは、複数の振動子が転がり軸受と同心の円の周方向に沿って等ピッチで配置されていることがあり、この場合に、振動子のピッチ×振動子の数＝転動体の１ピッチとされていることが好ましい。転動体の１ピッチは、角度を基準としてもよく（転動体の１ピッチ＝３６０°／転動体の数）、周方向長さを基準としてもよい（転動体の１ピッチ＝転動体のＰ．Ｃ．Ｄ．／転動体の数）。等ピッチで並ぶ複数の振動子によると、１つの転動体が超音波センサを通過するときに、振動子の数に等しいだけの信号（パルス数信号）が出力され、これにより、分解性能が向上する。また、等ピッチに代えて、隣り合う振動子の間隔を一定の増分でずらすようにしてもよい。
【発明の効果】
【００３０】
この発明のセンサ装置によると、互いに接触する可動体および固定体からなり外部荷重に応じて両者間の接触面積が変化する被検知部と、固定体に取り付けられ被検知部の接触面積を検知する接触面積検知センサと、外部荷重と接触面積との相関関係を利用してセンサ出力から外部荷重を求める処理手段とを備えているので、たとえば転がり軸受に作用する荷重を検出するに際し、被検知部の材料選択に制約が少なく、また、被検知部への追加の加工も必要でないものとすることができる。
【００３１】
この発明のセンサ付き転がり軸受装置によると、転がり軸受の材料選択に制約が少なくかつ追加の加工が必要でないようにして、転がり軸受に作用する３方向分力を演算することができる。したがって、これを自動車のセンサ付きハブユニットに適用した場合に、タイヤ接地荷重の３方向分力を求めることができ、車両制御の精度向上に資することができる。
【発明を実施するための最良の形態】
【００３２】
この発明の実施の形態を、以下図面を参照して説明する。
【００３３】
図１は、この発明のセンサ装置を備えたセンサ付き転がり軸受装置の１実施形態を示している。以下の説明において、左右および上下は、図の左右および上下をいうものとする。
【００３４】
図１および図２に示すように、センサ付き転がり軸受装置は、転がり軸受(1)と、転がり軸受(1)に取り付けられた接触面積検知センサ(2)と、接触面積検知センサ(2)の出力を処理する処理手段（図１には現れず、図２参照）とを備えている。
【００３５】
転がり軸受(1)は、外輪（固定体）(3)、内輪(4)、これらの間に配置された複数の転動体（可動体）(5)、および保持器(6)を備えている。図示は省略したが、外輪(3)はハウジングなどに固定され、内輪(4)には回転軸などが固定される。外輪(3)とハウジングとは一体構造であってもよい。
【００３６】
接触面積検知センサ(2)は、振動子から出力された超音波の反射波を受信部で受けることにより、超音波のエコーを求める超音波センサとされている。超音波センサ(2)は、外周におねじ部が形成された筒状のケース(7)およびケース内に配置された振動子（図示略）を有しており、転動体(5)と外輪(3)の軌道溝との接触面（被検知部）(D)に直角の方向

から臨まされている。外輪(3)には有底のめねじ部が設けられており、ケース(7)のおねじ部のねじ込み量が調整可能とされている。ケース(7)のおねじ部には、ケース(7)の回り止めのためのナット(8)がねじ合わされており、ナット(8)と外輪(3)との間には、Ｏリング(9)が介在させられている。

【００３７】

超音波センサの出力は、以下に示すエコー比として求められる。

【００３８】

エコー比＝１００×（Ｈ０－Ｈ１）／Ｈ０

Ｈ０：転動体が超音波センサから半ピッチ離れたときの反射エコー強度

Ｈ１：転動体が超音波センサ直下に位置するときの反射エコー強度

転動体に作用する荷重が大きいと、接触面積も大きくなり、反射波は小さくなる。したがって、接触面積が大きい場合には、大きいエコー比が出力される。

【００３９】

超音波センサ（接触面積検知センサ）(2)は、図示されている外輪頂部および外輪底部のほかに、外輪前部および外輪後部にも設けられており、これら４つのセンサ出力から転がり軸受(1)に作用する荷重の３方向分力（上下方向荷重、前後方向荷重および左右方向荷重）が求められている。

【００４０】

処理手段(10)は、図２に示すように、超音波センサ(2)の出力（エコー比）と接触面積との関係を示す実験式を蓄える実験式蓄積部(11)と、転動体荷重と接触面積との関係を示す理論式を蓄える理論式蓄積部(12)と、超音波センサ(2)の出力から実験式を使って接触面積を求める接触面積演算部(13)と、この接触面積から理論式を使って転動体荷重（各センサ位置における転動体荷重）を求める転動体荷重演算部(14)と、各超音波センサ(2)から得られた転動体荷重を使用して転がり軸受(1)に作用する３方向分力（上下方向荷重、前後方向荷重、左右方向荷重）を求める３方向分力演算部(15)とを有している。

【００４１】

転がり軸受(1)に作用する荷重が変化すると、転動体(5)と外輪(3)の軌道溝との接触面積が変化し、超音波センサ(2)の出力が変化する。この超音波センサ(2)の出力Ｐｉは、接触面積演算部(13)において、実験式蓄積部(11)に蓄積されている出力と面積との関係を使用して面積Ｓｉに換算される。次いで、この接触面積Ｓｉは、理論式蓄積部(12)に蓄積されている荷重と面積との関係を使用して荷重Ｌｉに変換される。次いで、３方向分力演算部(15)において、各超音波センサ(2)から得られた複数の転動体荷重Ｌｉを使用して３方向分力が求められる。３方向分力の演算式は、予め実験により求められる。

【００４２】

理論式蓄積部(12)に蓄えられる転動体荷重と接触面積との関係は、次のようにして理論的に求めることができる。転動体(5)と外輪(3)の軌道溝との接触面（楕円）の面積πａｂを求めるためのａ：接触楕円の長半径およびｂ：接触楕円の短半径は、接触物体の主曲率を$\rho_{1\,I}$，$\rho_{1\,II}$，$\rho_{2\,I}$，$\rho_{2\,II}$（添字の１，２は物体を、添字のＩ，IIはその主曲率を含む平面を表す）、荷重をＱ、接触の状態によって決まる係数をμおよびνとして、次のように表される。

【００４３】

$a = e_a (Q/\Sigma\rho)^{1/3}$

$b = e_b (Q/\Sigma\rho)^{1/3}$

$e_a = 0.02363\mu$

$e_b = 0.02363\nu$

$\Sigma\rho = \rho_{1\,I} + \rho_{1\,II} + \rho_{2\,I} + \rho_{2\,II}$

ただし、玉と内輪との接触の場合、玉：$\rho_{1\,I} = \rho_{1\,II} = 2/Dw$であり、内輪：$\rho_{2\,I} = -1/r1$、$\rho_{2\,II} = 2/F$である。

【００４４】

したがって、これらの式より、接触面積πａｂと荷重Ｑとの関係を求めることができる

。この関係が図３に示されている。

【００４５】

図４は、超音波センサ(2)を使用した超音波測定法を用いた場合の接触面積とエコー比との関係を求めたもので、ｙ＝ａｘ，ｙ：エコー比、ｘ：接触面積、ａ：回帰係数が成り立っている。こうして得られた超音波センサ(2)の出力（エコー比）と接触面積との関係が実験式蓄積部(11)に蓄えられる。これにより、このｙ＝ａｘを使用してエコー比から接触面積を求めることができる。図４に示したものでは、エコー比と接触面積との関係式を直線とすることが可能であるが、この実験式は直線に限定されるものではない。

【００４６】

図５は、上記センサ付き転がり軸受装置の図２に示した処理手段(10)における処理の１例である転がり軸受荷重（例えばハブユニットに掛かるタイヤ接地荷重）の３方向分力演算方法を示すフローチャートである。次に、このフローチャートを参照して、処理の１例を示す。

【００４７】

図５において、転がり軸受荷重の３方向分力を求めるに際しては、まず、接触面積検知センサ(2)から転がり軸受(1)の転動体(5)と軌道溝との接触面(D)に超音波が出射され（ステップＳ１）、次に、処理手段(10)の接触面積演算部(13)において、実験式蓄積部(11)に蓄積されている出力と接触面積との関係を使用して、転動体(5)と軌道溝との接触面(D)からの超音波の出力が接触面積に換算され（ステップＳ２）、次に、転動体荷重演算部(14)において、理論式蓄積部(12)に蓄積されている荷重と接触面積との関係を使用して、接触面積演算部(13)で得られた接触面積が転動体荷重に換算され（ステップＳ３）、次に、３方向分力演算部(15)において、転動体荷重演算部(14)で得られた転動体荷重を使用して転がり軸受(1)の３方向分力が演算される（ステップＳ４）。車輪の転がり半径を使用することにより、３方向分力から３方向のモーメント（上下軸回りのモーメント、前後軸回りのモーメントおよび左右軸回りのモーメント）も求めることができる。

【００４８】

３方向分力の演算は、予めセンサ出力（エコー比）から転動体荷重を求めておくことにより、図１３に示すステップで行うことができる。すなわち、超音波センサ(Sti)(Sbi)(Sto)(Sbo)から転がり軸受(1)の転動体(5)と軌道溝との接触面(D)に超音波が出射され（ステップＳ１）、超音波センサ(Sti)(Sbi)(Sto)(Sbo)からの出力が演算されると（ステップＳ２）、処理手段(10)の転動体荷重演算部(14)において、予め測定しておいたエコー比と転動体荷重との関係を利用して転動体荷重を演算し（ステップ３）、処理手段(10)の３方向分力演算部(15)において、転動体荷重から６方向分力（３方向荷重と３方向モーメント）が演算される（ステップ４）。このようにすると、理論式蓄積部(12)における換算を不要として、直接、センサ出力（エコー比）から３方向または６方向分力を演算することができ、演算工数を削減することができる。

【００４９】

なお、上記実施形態においては、センサ装置が玉軸受に設けられてセンサ付き転がり軸受装置として使用される場合を示したが、この発明によるセンサ装置は、転がり軸受以外のものと組み合わせて使用することも可能であり、また、玉軸受以外の転がり軸受や転がり軸受装置の適用例である自動車用ハブユニットにももちろん使用できる。また、超音波センサについては、単振動子のものであってもよく、また、多振動子のものであってもよい。

【００５０】

以下に、自動車のハブユニットに適用する場合の１例を多振動子超音波センサの使用の１例とともに説明する。

【００５１】

図６に示すセンサ付き転がり軸受装置は、自動車用センサ付きハブユニットとして使用されるもので、自動車用ハブユニット(21)およびセンサ装置(22)からなる。

【００５２】

ハブユニット(21)は、車体側に固定される固定側軌道部材(23)、車輪が取り付けられる回転側軌道部材(24)、両部材(23)(24)の間に２列に配置された複数の転動体である玉(25)、および各列の転動体(25)をそれぞれ保持する保持器(26)を備えている。

【００５３】

固定側軌道部材(23)は、軸受の外輪（固定輪）機能を有しているもので、内周面に２列の外輪軌道が形成されている円筒部(31)と、円筒部(31)の左端部近くに設けられて懸架装置（車体側部分）にボルトで取り付けられるフランジ部(32)とを有している。

【００５４】

回転側軌道部材(24)は、第１の軌道溝(34a)を有する大径部(34)および第１の軌道溝(34a)の径よりも小さい外径を有する小径部(35)を有している内軸(33)と、内軸(33)の小径部(35)外径に嵌め止められて右面が内軸(33)の大径部(34)左面に密接させられている内輪(36)とからなる。内軸(33)の右端近くには、車輪を取り付けるための複数のボルト(38)が固定されたフランジ部(37)が設けられている。内輪(36)の右部には、内軸(33)の軌道溝(34a)と並列するように、軌道溝(36a)が形成されている。固定側軌道部材(23)の右端部と内軸(33)との間には、シール装置(39)が設けられている。内軸(33)の小径部(35)の左端部には、おねじ部が設けられており、このおねじ部にねじ合わされたナット(40)によって、内輪(36)が内軸(33)に固定されている。固定側軌道部材(23)の左端部には、カバー(41)が被せ止められている。内輪と内軸の固定方法としては、図示しないが、内軸の端部を塑性変形させて、かしめ止めしてもよい。

【００５５】

センサ装置(22)は、固定側軌道部材(23)と内列の転動体(25)との間に作用する力（転動体荷重）を検出する多振動子超音波センサ(Sti)(Sbi)と、外列の転動体(25)の転動体荷重を検出する超音波センサ(Sto)(Sbo)と、これらの超音波センサ(Sti)(Sbi)(Sto)(Sbo)の出力を処理する処理手段(10)（図２参照）とを備えている。超音波センサ(Sti)(Sbi)(Sto)(Sbo)は、図６に示されている上下２カ所の他に、図示されていない前後２カ所にも設けられている。

【００５６】

図７に示すように、多振動子超音波センサ(50)（各超音波センサ(Sti)(Sbi)(Sto)(Sbo)を符号(50)により総称する）は、計１０個の振動子(50b)が転動体(25)のＰ．Ｃ．Ｄ．と同心の円の周方向に等ピッチで並ぶようにケース(50a)内に設けられたもので、１から１０までの各振動子(50b)は、それぞれが超音波を出力してその反射波を受信部で受けることができ、その反射エコーを求めることができる。１から１０までの各振動子(50b)は、転動体(25)のピッチをｐとして、ｐ／１０の間隔で配置されている。

【００５７】

１から１０までの各振動子(50b)からの出力は、それぞれ上記のエコー比として求められる。エコー比と転動体荷重との関係は、接触面積と転動体荷重との関係と同様に、図８に示す関係を有しており、これを利用してエコー比から転動体荷重を求めることができる。転動体(25)に作用する荷重が大きいと、接触面積が大きくなって反射波が小さくなることから、転動体荷重が大きい場合には、大きいエコー比が出力される。

【００５８】

また、エコー比は、回転速度と図９に示す関係を有しており、ある時間内のエコー比のパルス数を計測することにより、回転速度を求めることができる。超音波センサ(50)が複数の振動子(50b)を有していることから、図１０に示すように、転動体(25)が１ピッチの１／１０（＝ｐ／１０）公転するごとに、超音波センサ(50)は、１から１０までの各振動子(50b)が順次パルスを１つずつ検出することになり、全体では、振動子が１つの超音波センサに比べて、１０倍のパルス数（複合パルス信号）が得られる。なお、回転速度が変化しても、エコー比の絶対値はこれに影響されることはない。

【００５９】

センサ装置(2)の処理手段(10)は、図２に示したものと同様のものとされている。

【００６０】

超音波センサ(2)(50)では、転動体荷重を検出しようとするときに、エコー比が軸受荷重に依存するのみではなく、転動体(5)のセンサ(2)(50)に対する位置にも依存する。したがって、軸受荷重が同じであっても、転動体(5)(25)の位置により、エコー比が変化する。軸受荷重の変化が激しくなく、回転速度が速いときには、単振動子の超音波センサ(2)でも、転動体荷重の検出精度に問題はないが、軸受荷重の変化が激しく、回転速度が遅いときには、単振動子の超音波センサ(2)では、転動体荷重の検出に問題が出てくる。検出できる限界荷重変動周波数は、簡易的には、内輪回転速度（１／秒）×振動子数×転動体数／２で表され、振動子の数に比例して増加するので、転動体数９個の場合、検出できる荷重変動周波数は、図１１に示すようなものとなる。したがって、軸受荷重の変動が激しく、回転速度が遅い場合は、図７に示したような多振動子(50b)の超音波センサ(50)の使用が有効となり、これにより、変化の激しい動的荷重でも精度よく検出することができる。

【００６１】

なお、多振動子(50b)の超音波センサ(50)では、１から１０までの各振動子(50b)から出力されるエコー比は、車輪の回転速度が時間とともに変化することに応じてその増減回数が時間とともに変化する。そこで、センサ装置(2)の処理手段に、１から１０までの各振動子(50b)のパルス数を数えるパルス数カウント部と、公転速度演算部および回転速度変換部からなりパルス数カウント部で得られたパルス数を使用して回転速度を求める回転速度演算部とを設けておくことにより、パルス数カウント部において、エコー比が所定の閾値を越えるごとに、その回数（パルス数）を数え、回転速度演算部において、このパルス数を使用して回転速度を求めることができる。

【００６２】

回転速度を求めるのに必要な転動体公転速度は、転動体ピッチの周方向長さまたはＰ．Ｃ．Ｄ．、パルス数および時間の関数となっている。上記のように振動子(50b)の配置が転動体(25)のピッチｐに対応してそれぞれｐ／１０ずらされているので、公転速度演算部では、周方向に並んだ１から１０までの各振動子(50b)からのすべてのパルス数が使用されて、転動体(25)の公転速度が求められる。回転速度変換部では、よく知られた式に基づいて、公転速度が回転速度に変換される。こうして、１から１０までのすべての振動子(50b)から得られるパルス数を使用して時間とともに変化する回転速度が求められる。

【００６３】

こうして、３方向分力を求めるための超音波センサ(50)によって、回転側軌道部材(24)の回転速度を求めることができ、回転側軌道部材(24)にパルサリングを設けることなく、回転情報を得ることができる。

【００６４】

図１２は、自動車用センサ付きハブユニットとして使用されるセンサ付き転がり軸受装置の他の実施形態を示している。以下の説明において、図６と同じ構成には同じ符号を付してその説明を省略する。

【００６５】

図１２において、固定側軌道部材(23)には、断面が二等辺直角三角形状のセンサ設置用突出部(42)がその直角部分が突出部(42)先端に来るように設けられている。そして、この突出部(42)の直角部分を挟む二面に超音波センサ(Sti)(Sto)がそれぞれ取り付けられている。この実施形態によると、突出部(42)により、センサ設置箇所が補強されるため、センサ設置に伴う強度低下が防止される。突出部(42)は、センサ設置位置（固定側軌道部材(23)の最上部、最下部および上下の中間部）にだけ設けられてもよく、周方向に連続するように（断面形状が一定に限られるものではない）設けられてもよい。

【図面の簡単な説明】

【００６６】

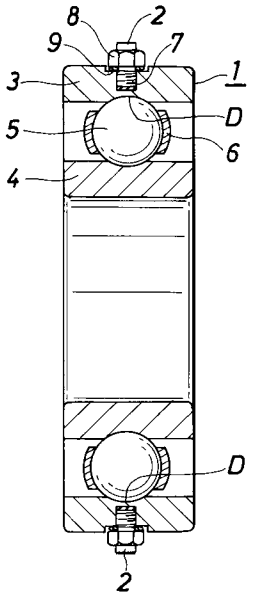
【図１】図１は、この発明によるセンサ装置の１実施形態を示す縦断面図である。

【図２】図２は、この発明によるセンサ装置の処理手段の構成を示すブロック図である。

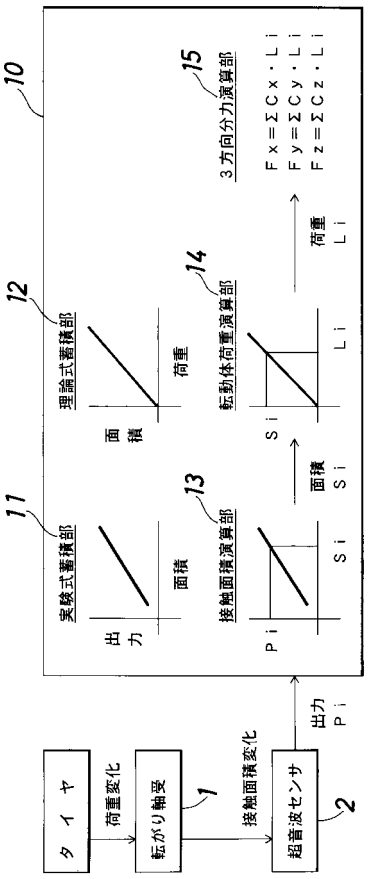
【図３】図３は、転動体荷重と接触面積との関係（理論式）を示すグラフである。

【図４】図４は、接触面積と超音波センサのエコー比との関係（実験式）を示すグラフである。
【図５】図５は、この発明によるセンサ付き転がり軸受装置における３方向分力演算方法を説明するためのフローチャートである。
【図６】図６は、この発明によるセンサ付き転がり軸受装置の第１実施形態を示す縦断面図である。
【図７】図７は、模式的に描いたこの発明によるセンサ付き転がり軸受装置の横断面図である。
【図８】図８は、超音波センサで得られるエコー比と転動体荷重との関係を示すグラフである。
【図９】図９は、回転速度とエコー比との関係を示すグラフである。
【図１０】図１０は、各超音波センサで得られるパルスとすべての超音波センサから得られるパルスとの関係を示す図である。
【図１１】図１１は、単振動子の超音波センサと多振動子の超音波センサについて、検出限界周波数を求めたグラフである。
【図１２】図１２は、この発明によるセンサ付き転がり軸受装置の第２実施形態を示す縦断面図である。
【図１３】図１３は、この発明によるセンサ付き転がり軸受装置における３方向分力演算方法の他の形態を説明するためのフローチャートである。
【符号の説明】
【００６７】
(1)　転がり軸受
(2)　超音波センサ（接触面積検知センサ）
(3)　固定側軌道部材（固定体）
(4)　回転側軌道部材
(5)　転動体（可動体）
(10)　処理手段
(11)　実験式蓄積部
(12)　理論式蓄積部
(13)　接触面積演算部
(14)　転動体荷重演算部
(21)　ハブユニット（転がり軸受）
(22)　センサ装置
(23)　固定側軌道部材
(24)　回転側軌道部材
(25)　転動体（玉）
(50)　超音波センサ
(50b)　振動子
(Sti)(Sbi)(Sto)(Sbo)　超音波センサ
(D)　接触面（被検知部）

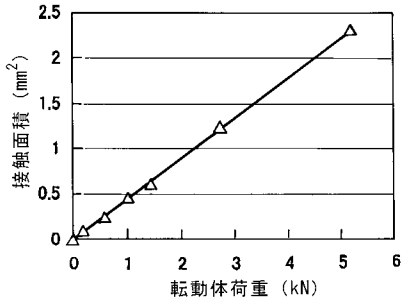
【図１】


8
2
9
7
1
3
D
5
6
4
D
2

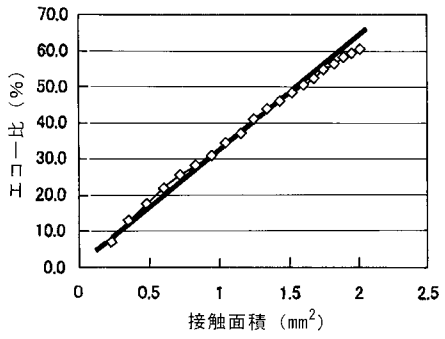
【図２】


10
15
３方向分力演算部
Ｆｘ＝ΣＣｘ・Ｌｉ
Ｆｙ＝ΣＣｙ・Ｌｉ
Ｆｚ＝ΣＣｚ・Ｌｉ
荷重
Ｌｉ
12
理論式蓄積部
14
転動体荷重演算部
荷重
面積
Ｓｉ
Ｌｉ
11
実験式蓄積部
13
接触面積演算部
出力
面積
Ｓｉ
Ｓｉ
Ｐｉ
Ｓｉ
出力
Ｐｉ
タイヤ
荷重変化
転がり軸受
1
接触面積変化
超音波センサ
2

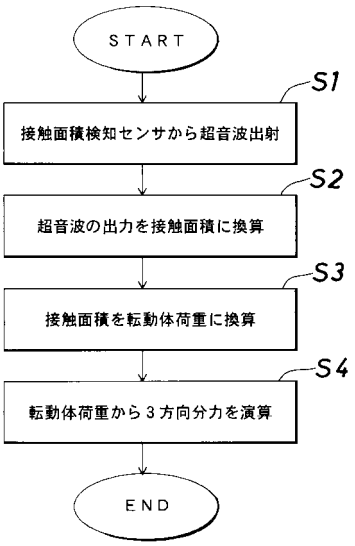
【図３】


2.5
2
1.5
1
0.5
0
接触面積（mm2）
0
1
2
3
4
5
6
転動体荷重（kN）

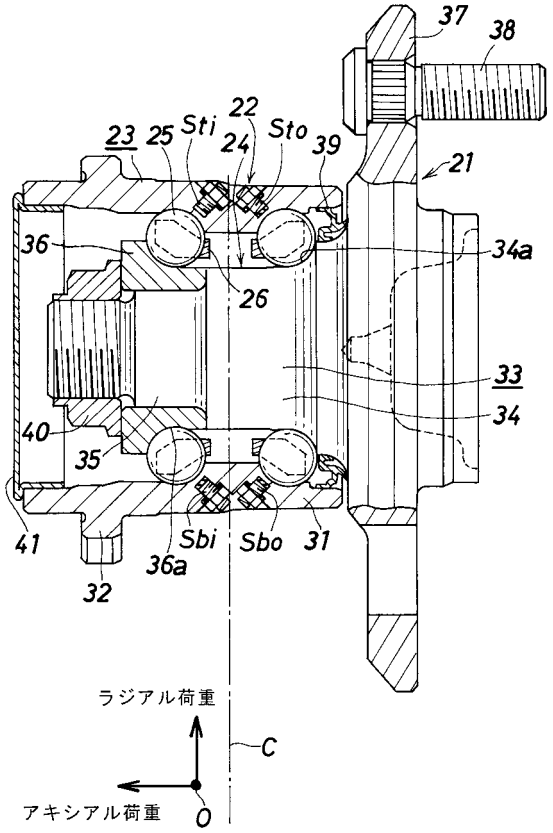
【図４】


70.0
60.0
50.0
40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
エコー比（%）
0
0.5
1
1.5
2
2.5
接触面積（mm2）

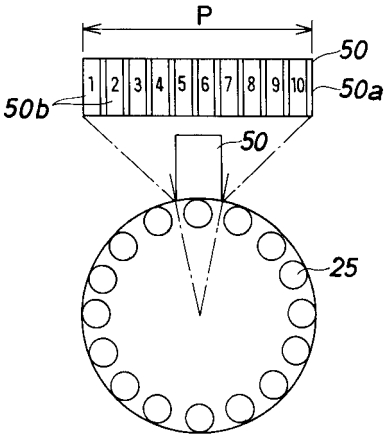
【図５】


START
S1
接触面積検知センサから超音波出射
S2
超音波の出力を接触面積に換算
S3
接触面積を転動体荷重に換算
S4
転動体荷重から３方向分力を演算
END

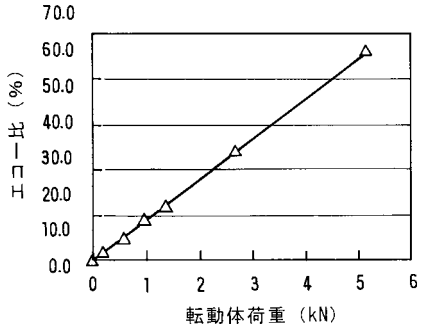
【図６】



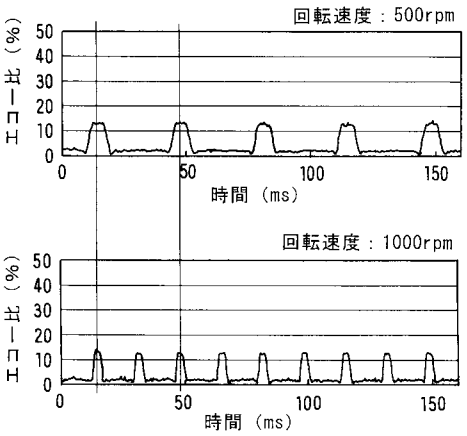
【図７】



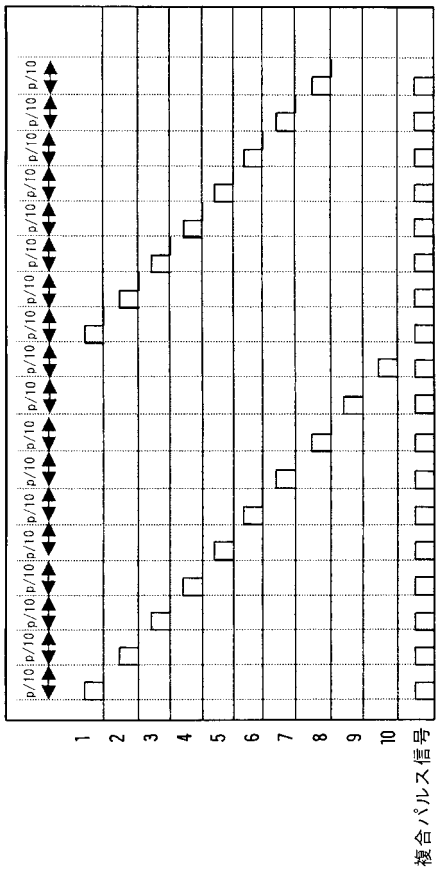
【図８】



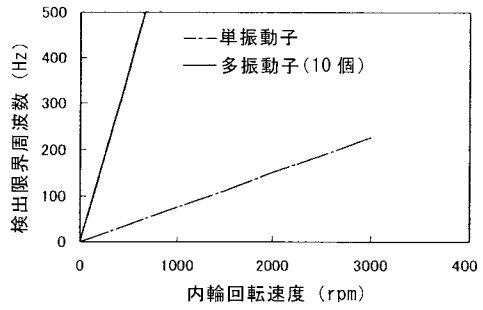
【図９】



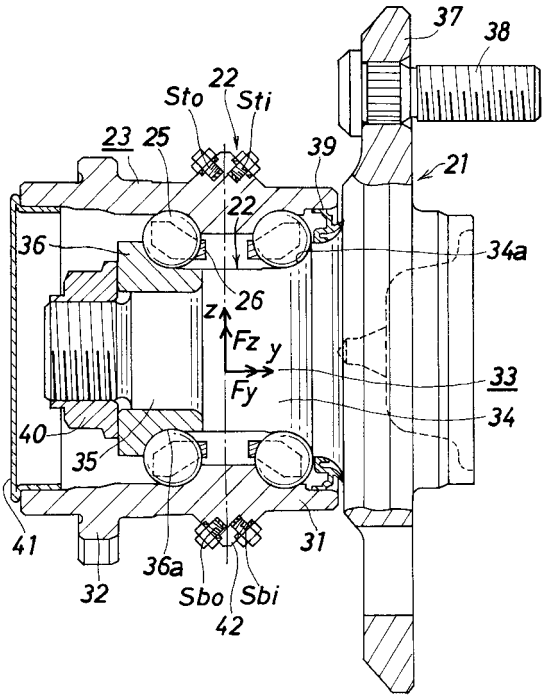
【図１０】



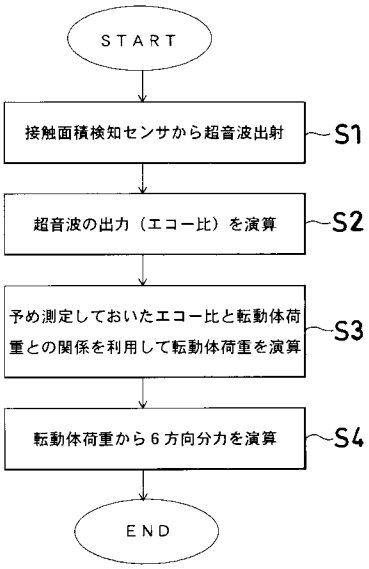
【図１１】


検出限界周波数（Hz）
500
400
300
200
100
0
0
1000
2000
3000
400
内輪回転速度（rpm）
単振動子
多振動子（10個）

【図１２】


37
38
Sto
22
Sti
23
25
39
21
22
36
34a
z
26
Fz
y
Fy
33
34
40
35
41
36a
31
32
Sbo
Sbi
42

【図１３】


START
接触面積検知センサから超音波出射
S1
超音波の出力（エコー比）を演算
S2
予め測定しておいたエコー比と転動体荷重との関係を利用して転動体荷重を演算
S3
転動体荷重から６方向分力を演算
S4
END

フロントページの続き

審査官　公文代　康祐

(56)参考文献　特開２００２－２５７７９６（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２９１１３５（ＪＰ，Ａ）
特表２００４－５１４９００（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－０３８９３５（ＪＰ，Ａ）
国際公開第８９／００１１３８（WO，Ａ１）
特開昭６２－１３０３２１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｌ　　１／００
Ｇ０１Ｌ　　５／００
Ｆ１６Ｃ　１９／５２
Ｂ６０Ｂ　３５／０２