

氏 名	和 田 龍 児
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 76 号
学位授与の日付	昭 和 40 和 12 月 14 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	静圧軸受の性能向上に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 佐々木外喜雄 教 授 森 美 郎 教 授 会 田 俊 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は「静圧軸受の性能向上に関する研究」と題し、静圧軸受の性能向上を目的として、静圧軸受に独特の流体潤滑機構、構成および作動特性に関し、理論実験両面より解明を試み、ついで静圧軸受に軸心位置制御の概念を導入した自動可変絞り機構を有する静圧制御軸受の基礎理論を明らかにし、さらにその作動特性について理論的、ならびに実験的に研究したものであり、次の四編より成っている。

第1編は静圧軸受の基礎理論に関する研究である。

第1章は、動圧軸受に対し、潤滑油膜の生成原理が根本的に相違する静圧軸受について、その作動原理と構成とを明らかにしたもので、静圧軸受の代表的な作動方式について検討を加え、実用上の観点から流体絞り機構を有する定圧作動方式が他の作動方式のものに優ることを指摘し、ついで静圧軸受における流体絞り導入の意義を明らかにし、静圧軸受の基礎概念を明確にしている。

第2章は静圧軸受の流体潤滑理論とそれに関連する基礎的解析についての研究で、まず静圧軸受パッドの軸受すきま内の流動においては粘性項が支配的であるとし、流体絞りの特性は絞り前後の差圧の α 乗($\alpha \leq 1$)に比例するものとして、一般化した静圧軸受潤滑理論を導き、ついで前記理論により単一パッド軸受を対象とし、任意のポケット前絞りを有する静圧軸受の最適絞り理論および最適ポケット理論を明らかにするとともに、任意回転曲面形パッドを有する静圧軸受の理論解析を示している。

第3章は静圧軸受の剛性理論についての研究で、まず負荷特性曲面の導入により軸受構成要素の特性と静圧軸受の静的特性値としての静剛性との相互関係および静剛性改善のためのパラメータ調整方法を明らかにし、ついで軸心の微小変位の範囲では、静圧軸受系の挙動は線形化理論により把握しうるとし、系の特性方程式、伝達関数を求め、これらの結果から周波数域における特性を明らかにしている。ついで、系の動剛性について考察し、静剛性との関連性を明らかにしている。

第4章は前章までの単一パッド静圧軸受に関する基礎理論を多パッド静圧軸受へ拡張したもので、とくにジャーナル形静圧軸受についての設計理論を導き、多パッド静圧軸受の最適絞り理論を附帯条件付極値

問題として究明し、各パッドの最適調整条件を明らかにしている。ついで実用的な4パッド形の静圧ジャーナル軸受を対象とし、軸回転の効果を考慮した理論解析を示し、その設計理論を明らかにしている。

第2編は静圧軸受の作動特性に関する実験的研究である。

第1章は単一パッド静圧軸受を対象とした電解そうアナロジイについての実験的研究で、静圧軸受すきま内の潤滑流体の挙動が粘性流として把握されることを、実際の油量測定結果と電解そうアナロジイによる測定結果とを比較検討することによって証明している。したがって、軸受ランド部分の圧力分布が電解そう中の電位分布に相似であるとの取扱いが可能となり、理論解析が困難である複雑な異形ポケット構造を有する静圧軸受の圧力分布が明らかにされた。

第2章は静圧軸受構成要素の基礎特性について研究したもので、まず静圧軸受構成要素の具備すべき条件について実用上の見地より検討を加え、比較的多く用いられる毛細管絞りの場合、管径に比べ管長の短い絞りでは管内流動における流体加速の影響が無視し得ないものであることを指摘し、ついで円環状すきまを有するスプール弁形流体絞りにについても同様の検討を行ない、流体絞りの流量特性におよぼす諸因子相互の関係を明らかにしている。

第3章は静圧軸受の負荷特性に関する研究で、負荷特性におよぼす軸受すきま、供給圧力、絞り比など軸受諸因子相互の関係を実験的に検討し、静圧軸受の負荷特性は絞り比により、各々異った3種類の代表的パターンに分類できること、軸受剛性を最大とする系の最適設定条件の存在することなどを確かめ、理論解析の妥当性を確認している。ついで変動負荷に対する静圧軸受の過渡特性を検討し、負荷に対し系が近似的に減衰の大きい2次遅れ伝達特性を示すことを明らかにしている。

第4章は静圧軸受の回転特性についての研究で、まず回転精度の測定方法およびその解析方法を検討し、回転軸系のリサージュ図形観察のための電氣的回転精度測定装置の構成をのべ、本測定装置により実測した静圧軸受のリサージュ図形を示し、回転特性におよぼす供給圧力、軸回転数、および流体絞りの影響を明らかにし、静圧軸受により軸心振れ廻り量 1μ 以下の高精度軸受の構成が可能であることを立証している。

第3編は静圧軸受の制御理論に関する研究である。

第1章においては、固定流体絞り機構を有する静圧軸受に比べ、積極的に軸受ポケット圧力の制御をして、無偏心調整を達成する静圧制御軸受の作動原理、作動機構、および作動方式について考察し、静圧制御軸受の基礎概念を明らかにしている。

第2章は静圧制御軸受の基礎理論に関する研究で、まず系の3次元非定常潤滑方程式と自動可変絞り機構の一般的数学モデルを明らかにし、マトリックス演算の導入を試み、系を多変数制御系として把握する立場で静圧制御軸受の基礎理論を導いている。ついで系の作動特性を代表する基礎マトリックスおよび動的安定判別条件を明らかにし、さらに最適パラメータ調整理論を導き、制御系を含む静圧軸受の最適設計理論の基礎を明らかにした。

第3章は自動調整静圧軸受の制御理論に関する研究で、前章の基礎理論を、軸受ポケット圧力を自動可変絞り機構の動作信号とする自動調整静圧軸受に適用し、具体的設計指針と最適調整条件を明らかにしている。ついで自動調整静圧軸受の剛性理論を導き、剛性無限大の無偏心調整条件を明らかにし、またその

等価固定絞り比が最適絞り条件を満足することが系の静的および動的作動特性改善の有効な手段であることを指摘している。

第4章は自動制御静圧軸受の制御理論に関する研究で、軸変位のフィードバック補償回路を有する自動制御静圧軸受の理論解析を行ない、動的安定条件、および最適パラメータ調整条件を明らかにしている。また本章で扱った静圧制御軸受のうち、自動可変絞り機構が積分特性を示す系では、無限大剛性条件はパラメータ調整では定まらないこと、作動特性改善の方策として、絞り比を最適絞り比に設定すべきことなどを明らかにしている。

第5章は静圧制御軸受のシミュレーションに関する研究で、前章までの理論解析結果を実用的な軸受設計計算に結びつけるため、静圧制御軸受の数学モデルをアナログ計算機上に模擬し、系の作動特性を数値的に検討し、具体的軸受設計における軸受性能の検討方法を、数値例によって示している。

第4編は静圧制御軸受の基礎特性に関する研究である。

第1章は単一スプールで自動絞り機構を構成する自動調整静圧軸受の理論解析に関するもので、まず一般的な自動調整絞り理論を示し、ポケット圧力に対するスプール変位の伝達特性は1次遅れ特性であることを明らかにしている。ついで自動調整絞りを有する自動調整静圧軸受の作動特性を理論的に検討し、系の特性を絞り比とスプール系の設計値で定まる無次元パラメータにより3種類のパターンに分類できることを示し、剛性無限大のパラメータ調整条件を求めている。

第2章は第1章に対応する実験的研究で、単一スプール弁絞り機構を有する自動調整静圧軸受を試作し、作動特性におよぼす各パラメータ相互の関連性を実験的に検討したもので、剛性無限大の軸受を実現し、前章の理論解析の妥当性を確認している。なお自動調整静圧軸受が変動負荷を受ける際の過渡時の動的挙動も実験的に検討した。

第3章は軸変位に対するフィードバック補償回路を有する自動制御静圧軸受のうち、自動制御絞り機構が無定位性を有する系について、具体的構成と構造を明らかにし、最も有効かつ適切な基本構造を示している。つぎに増幅感度の良好な電氣的軸変位検出部を有する電気一油圧式自動制御静圧軸受の構成と構造を詳細にのべ、その設計理論を示している。

第4章は前章の理論解析をもとにして試作した電気一油圧式自動制御静圧軸受についての実験的研究で、作動特性の実際を明らかにしている。実験結果より試作した自動制御静圧軸受が無偏心調整機能を有し、一定の限界荷重内においては、負荷に対して軸変位を常に0とする無限大剛性を有することが明らかとなった。なお、系の動的負荷特性についても実験的検討を加え、系の過渡特性を軸受パラメータの設定条件により、4種類の代表的パターンに分類し得ることを明らかにしている。

論文審査の結果の要旨

軸受本来の使命は回転軸の中心を一定位置に保つことにあり、軸が軸受に対し無偏心な状態で作動することが理想である。

絞り機構をもった静圧軸受は、供給圧力による流体膜を介して荷重を支持し、軸の偏位に対する復元力をもち、適切に設計された場合、極めて高い回転精度および剛性が期待できるものである。さらに、その

絞り機構を自動可変的なものにする、剛性を著しく高め、軸の偏心を極微または皆無ならしめることができる。本研究はこのような特長をもつ静圧軸受につき、その性能向上を目的として、静圧軸受の基礎特性および自動可変絞り機構の適用に関し、理論的ならびに実験的検討を行なったものである。

本論文では、まず、任意の絞りおよび任意の回転曲面形を有する固定絞り静圧軸受潤滑理論を導き、体系的な静圧軸受の剛性理論を究明し、多パッドジャーナル形静圧軸受について、設計理論の一般化に成功しているが、これは新しい研究成果である。また、実験的には、電解そうアナロジーによって静圧軸受の圧力分布を明らかにし、静圧軸受の構成要素である各種絞りについて特性を吟味し、静的および動的負荷特性ならびに回転特性を各種条件のもとに測定して、理論解析の妥当性を確認しているが、これらはすべて静圧軸受の合理的設計に有効な資料である。

つぎに、軸受の無偏心調整を実現するため、絞り機構を数個の動作信号で作動させる静圧制御軸受の理論について、新しい展開を試みている。すなわち、この静圧軸受系の動的挙動を明示するには、各軸受パラメータを含むいくつかの線形方程式に整理することが有効であることを指摘し、ラプラス変換した系にマトリックス演算を試み、静圧制御軸受の作動特性を示す基礎マトリックスおよび軸受系の動的安定性を支配する特性方程式を一般化された形で提示し、その理論結果をもとにして、単一パッド形静圧調整軸受およびフィードバック補償回路を有する自動制御静圧軸受の作動特性、軸受剛性および最適設計を理論的に究明し、静圧制御軸受の設計に有力な指針を与えたことは注目に値する研究業績である。以上について、静圧制御軸受理論を実際に適用し、単一スプールによる自動可変絞り機構を有する自動調整静圧軸受およびフィードバック方式の自動制御静圧軸受について、構成と設計の具体化を検討し、伝達特性、静剛性および動剛性を理論的に考察したのち、実際に試作した自動調整および自動制御静圧軸受につき、各種の作動特性を実験的に究明して、実験結果が理論的考察とよく一致することより、最適設計理論の妥当性を確認したことは、軸偏心極小、剛性極大の軸受の実現に寄与したものであるとして、その研究成果は高く評価できる。

以上要するに、本研究は、静圧軸受につき広汎かつ精深な系統的解析を行ない、静圧軸受の基礎的特性を詳細に究明し、静圧軸受の性能向上対策および最適設計方式を確立し、さらに自動可変絞り機構を適用した静圧制御軸受につき多くの新知見を加えたもので、学術上工業上寄与するところが多い。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。