

氏 名	Jiang Zhong Wei 江 鐘 偉
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 3 月 28 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 機械工学専攻
学 位 論 文 題 目	コンピュータディスク・ヘッド連成系の動特性 及びその振動制御に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 阿部 博之
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 猪岡 光 東北大学教授 関根 英樹 東北大学教授 谷 順二 東北大学助教授 長南 征二

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

近年における情報処理システムや計算機システムの発展, 普及には著しいものがある。この中にあって, フロッピーディスクやハードディスク装置は多量の情報を記録し, ランダムアクセス可能なコンピュータの外部記憶装置としてその利用が急速に拡大しており, 今後さらに装置の大容量化, 高密度化, 小形化, 高速化が望まれている。近い将来はさらに大容量, 高密度記録可能な薄膜媒体および薄膜ヘッドが開発される機運にあるが, その実用化に際しては記録再生技術, ヘッド技術, アクチュエータ技術, 位置決め技術などの先端技術の総合的な発展が不可欠となっている。

現在のフロッピーディスク装置においては, 媒体としてのディスクに対するヘッドの走行速度は最大 3 m/s 程度と低く, 両者が密着に近い状態で運転される接触記録方式がとられている。しかしながらヘッドとディスクの設定条件によってはディスク面に振動が発生し, 情報の受け渡しが妨げられる原因となることがある。一方ディスク装置のアクセス時間の短縮やデータ転送速度を向上させるためには, ディスク回転速度は高いほど好ましいが, 回転速度が高くなるほどディスクに不安定振動が発生しやすくなる。さらには, 近年の工学の進歩に伴いコンピュータが走行体, 例えば自動車, 船あるいは飛行機などに積載される傾向にあるが, この場合走行体が振動するとディスク

記憶装置が加振され、同時に内部に組み込まれたディスクにも強制振動が生じる。結果としてディスクに対するデータ記録再生の信頼性が低下する。ディスクに振動が生じると、ディスク表面の傷つきの原因ともなる。したがって、高速、高信頼性かつ大容量で、小形のディスク記録装置の開発ためには、ディスクとヘッド連成系の動特性および安定性を解明することは不可欠であるといえる。

一方、ハードディスク装置においては、現在のところ磁気ヘッドは回転する磁気記録媒体面上に微小な空気膜を介して浮上させられているが、記録密度を高めるためには浮上隙間をできるかぎり小さくすることが必要である。さらに走行体に積載されたコンピュータが走行体の振動により加振される場合、コンピュータをパッシブ型の外部防振装置で支持してやると高周波数の外乱はある程度遮断できるが低周波数の振動入力を広範囲に渡って遮断することは一般に困難である。このような場合、記録・再生ヘッドを、外乱に対して振動するディスク面に確実に追従するように制御してやればコンピュータのデータ処理の信頼性をさらに高めることができる。したがって、磁気ヘッドをマイクロロボットアームとみなした、振動面あるいは対象物に変位追従するアクティブ制御型のヘッドの開発は今後の情報機器関連分野での重要な研究課題になると思われる。本論文ではフロッピーディスク・ヘッド連成系の動特性、安定性および外乱を受けた場合の系の振動特性を総合的に解明し、系を安定化するために諸対策を呈示する。さらに高追従性を有する磁気ヘッドの開発にあたり、バイモルフ型圧電素子を導入し、素子で駆動されるヘッドの変位追従制御について研究を行い、理論と実験によりバイモルフ型圧電素子の駆動法および制御法を明らかにする。

第2章 回転ディスク・ヘッド連成系の数学モデルおよび理論解析法

本章では回転ディスク・ヘッド連成系の動特性を解析するための基礎的準備として、回転磁気ディスク・ヘッド連成系をモデル化し、外乱を受けた場合の支配運動方程式を導く。求めた連成系の運動方程式は複雑で理論的に厳密な解が得られないため、近似的に静止円板の変位モード関数を用い、ガレルキン法を適用することによって、コンピュータプログラミングできる運動方程式のマトリックス表示式を求めた。

第3章 磁気ディスク・ヘッド連成系の固有振動特性

本章では、単一モード近似解法及びモード級数展開法による回転ディスクの振動数方程式を導き、ディスク・ヘッド連成系の自由振動特性を解明した。結果より、ヘッドを持たない、あるいは、ヘッドの質量と弾性こわさがディスクに対して小さいとき、単一モード法は解析を容易にし、かつ級数解とほぼ変わらない精度の結果を与える。また、ヘッドの質量と剛さがディスクに対して小さいとき、低次モードの固有振動数が回転速度と共に減少し、横軸と交差する回転数でダイバジェンス型不安定が現れ、その後、フラッタ型不安定が生じる。しかしながらヘッドの質量とこわさが増加すると、ダイバジェンス型不安定が現れる以前にフラッタ型不安定が現れるようになる。この場合、フロッピーディスクカバー内の空気流量を調整するなどの方法を用い、ジャケット及びその中の空気膜の剛性を大きくすることによって、ダイバジェンス型不安定の前に現れているフラッタ型不安定領域が消され、ディスクの危険回転数を高めることができる。

第4章 軸方向およびピッチング加振される磁気ディスク・ヘッド連成系の振動特性

近年、工学の進歩に伴い、コンピュータが走行体に積載される機会が増えている。走行体よりディスク装置に与えられる外乱の入力方法は大きく分けて2種類に分類される。すなわち、軸方向およびディスクがある直径を中心として回転するピッチング加振外乱である。本章では軸方向あるいはピッチング加振される回転ディスクを取り上げ、その強制定常振動特性を解明するものである。解析では第2章で導かれたディスク・ヘッド連成系の運動方程式を用い、上記2種類の入力につき解を求め、加振振動数とディスクの変位変形の関係を数値計算によって詳細に調べた。

ディスク装置への外部入力、基本的に軸方向とピッチング加振しかないため、ヘッドのないディスクに、軸方向加振される場合につき、節直径の数がゼロのモードだけ励振され、ピッチング加振される場合においては節直径の数が1のモードしか加振されないことを示された。しかしながら、ヘッドがある場合は両入力に対して、ディスクにすべての振動モードが励振されるようになる。また、外部入力を受けた場合、ディスクの振動は一般に前進波と後退波の足し合わせで与えられ、ディスク上の合成波の伝播方向は前進波と後退波の振幅の大きさで決まる。即ち、前進波の振幅が大であればディスク上の波は前進し、小さければ、後退する。

また、ディスクカバーの影響を一様こわさの弾性床で表し解析した。弾性床のこわさの増加は、低次モードの固有振動数を増大させるが、高次モードにはあまり影響を及ぼさないことが明らかとなった。

第5章 ディスク・ヘッド連成系の防振対策および最適設計

本章では、現在広く使用されている5インチ及び3インチフロッピーディスク装置を取り上げ、ディスク・ヘッド連成系の安定化に最適なパラメータの組合せを明かにしたとともに、磁気ヘッドの位置によりディスクの振動特性がかなり変化することを利用してフロッピーディスク装置の防振対策を呈示するものである。

磁気ディスクの危険回転数を最大とするヘッドの質量とばねこわさの最適値は次式で与えられる。

i) 5インチフロッピーディスク ($b/a=0.2518$, $\nu=0.3$) の場合:

$$M_L = \left[\frac{1.034}{32.802 + \kappa a^4/D} + 0.0001 \right] \frac{\rho h a^4}{D} K_L$$

ii) 3インチフロッピーディスク ($b/a=0.3613$, $\nu=0.3$) の場合:

$$M_L = \left[\frac{0.828}{56.686 + \kappa a^4/D} + 0.00123 \right] \frac{\rho h a^4}{D} K_L$$

ここに M_L (kg) はヘッドの最適質量, K_L (N/m) はヘッドのばね定数, κ (N/m³) はディスクカバーの等価弾性係数, D (Nm) はディスクの曲げこわさ, ρ (kg/m³) はディスクの密度, a (m) はディスクの外半径, b (m) はハブの半径, h (m) はディスクの厚さを表す。

また、ディスクの危険回転数を高め、ディスクを安定化するためにはヘッドの質量とばね定数の最適組み合わせをできるだけ小さく選び、かつディスクカバー内の空気膜の弾性こわさを高くすることが最も望ましいと言える。

さらに、フロッピーディスク装置が外部加振されるとき、磁気ヘッドの位置はディスクの共振振動数にあまり影響を与えない。しかしながら、軸方向加振の場合はヘッドが半径方向にディスク外周へ移動するに従い、フロッピーディスクに大きい応答振幅をもたらす加振領域は振動数の低い領域へ集中していく。一方、ピッチング加振の場合はヘッドが円周方向にピッチングノードの位置に近づくに従い全体として振幅が小さくなり、特に高い加振振動数域における変位振幅が小さくなる。これよりピッチング入力の大い状況下では、ディスクヘッドがピッチングノードにくるようにディスク装置を設置すべきであると言える。

第6章 磁気ディスク面に変位追従するヘッドの駆動法および制御法

本章では、圧電素子をアクチュエータとして用いたフレキシブル1リンクアームを取り上げ、先端変位の閉回路制御問題を解析した。制御方法としてアーム先端の位置を直接センサで計測し、圧電素子の発生するトルクを先端の位置信号と速度信号により制御、アーム先端を位置決めする方法を採用した。具体例として、アーム先端を揺動面に変位追従させる問題を取り上げる。理論解析におけるシミュレーション法として、圧電素子を貼りつけたアームを段つきはりと考え、アームのモード関数を求めた後その変位応答式をサンプリング周期 T で離散化し、数値計算をおこなった。合わせて本制御系につき実験を行い理論結果と実験結果を比較検討した。結果より、圧電素子を貼りつけたフレキシブルアームを段付きの変断面はりと考え、その運動方程式の解をサンプリング周期間隔で離散化して考える解析方法は、実験結果とよく対応する理論結果をもたらす、圧電素子で駆動されるフレキシブルアームの制御問題のシミュレーション解法とし有用である。

また、アーム先端の変位、速度および積分をフィードバック信号として用いる本制御法を用いた場合、バイモルフ型圧電素子によるアームの制振および素子・はり系の一次モードの固有振動数までの振動数で揺動する面に変位追従させることが可能である。この場合アームの応答性を高めるためには圧電素子をアームの根元に貼り付けるのが最もよい。

第7章 結 論

本研究における主要な結果をまとめ、総括とした。

審査結果の要旨

フロッピーディスクやハードディスク装置はコンピュータの外部記憶装置としてその利用が拡大しており、今後さらに装置の大容量・高密度化、小形・高速化が望まれている。その実現のためには、記録再生技術、ヘッド技術、アクチュエータ技術、位置決め技術の総合的な発展が不可欠となっている。

本論文はこれに対し、フロッピーディスク・ヘッド連成系の動特性および安定性を総合的に解析し、系を安定化するための諸対策を呈示し、さらにディスク面の揺らぎに追従する能動型ヘッドの実現の可能性およびヘッドを駆動する媒体としてのバイモルフ型圧電素子の駆動法ならびに制御法を明らかにしたもので全編7章より成る。

第1章は序論である。

第2章では、回転磁気ディスク・ヘッド連成系の運動方程式を導き、これを基本にして、外乱を受けるディスク・ヘッド連成系の運動方程式のマトリックス表示式を求めている。

第3章では、ディスク・ヘッド連成系の自由振動特性を解析し、記録・再生ヘッドの等価質量、ばねこわさおよびディスクカバー内の空気膜がディスクの不安定性に及ぼす影響を明らかにしている。

第4章では、ディスク・ヘッド連成系が軸方向およびピッチング加振される場合のディスクの応答を解析し、磁気ヘッドの位置による応答の変化ならびに安定性への影響を示している。

第5章では、ディスク・ヘッド連成系の不安定現象回避のための諸対策および系の最適パラメータの組み合わせを呈示している。防振対策にかかわる最適設計指針を与えた貴重な成果である。

第6章では、回転ディスク面に変位追従する能動制御型磁気ヘッドの開発と試作過程を示している。磁気ヘッドは小形のフレキシブルアームと考え、駆動用アクチュエータとしてはバイモルフ型圧電素子を導入、PID制御によりアーム先端の揺動面に対する変位追従を実現している。これは有用な成果である。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、コンピュータディスク・ヘッド連成系の信頼性向上にとって重要な、系の振動特性および安定性の向上について多くの有用な知見を与え、さらに能動型磁気ヘッドの可能性を呈示したものであり、機械工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。