

## 極異方性を有する回転円板の曲げ振動に関する研究

## 学位論文内容の要旨

近年、科学技術の進展はめざましく、その技術革新には目を見張るものがある。機械工学の分野においてもそれは例外ではない。特に、情報機器産業の分野においては、情報化時代の到来とともに機器の小形高性能化、高速処理化、軽量化が急速に行われてきている。そのような状況において、古くから基本的な構造要素として多種多様の機械に用いられてきた回転円板は、記憶装置の主たる要素として使用されている。これら回転円板は情報の高密度化、入出力時におけるアクセス時間の短縮化を図るため、回転速度は高速となっており、ディスクの振動や不安定現象を生じるようになる。その結果、記録再生の信頼性の低下、さらに、ディスクやヘッドの破損等の問題が生じるようになってきた。また、ヘッドがディスク上の1トラックを正確に追従する位置決め制御は非常に高精度な技術を要するため、その母体であるディスクが振動を伴わない安定した回転状態を保つことが不可欠である。それゆえ、情報機器における回転円板の動的特性を正確に把握することは重要な課題となってきた。

本論文では、このような情報機器に用いられている回転円板、特に、ヘッドとディスクが非接触である磁気ディスク及び、光ディスク、コンパクトディスクに着目し、その振動特性を理論的に解析する。また、繊維強化プラスチック(FRP)に代表される複合材料は高い比強度(強度/密度)と比剛性(剛性/密度)を有し、機械の高性能化、軽量化のため近年、先端工業材料として等方性材料に代わり多くの構造要素に使用され、その用途は急速に拡大してきている。このような状況を踏まえ、現在、アルミニウムやポリカーボネイトなどを用いた等方性材料を母材として作製されているこれらディスクが、複合材料から成る極異方性材料でその母材が置き換えられた場合、すなわち、ディスクの円周方向に強化繊維を入れ、円周方向の剛性を高めた極異方性回転円板としてモデル化できるとして、その振動特性について理論解析を行う。そして、その解析結果に基づき数値計算を行い、固有円振動数、駆動点インピーダンス、振動モード等を求め、角速度、角加速度、内部減衰等をパラメータとしたときこれらが回転円板に与える影響を明らかにすると共に、極異方性を有する回転円板の動的安定性に対する有用性について検討する。

本論文は、7章から構成されており、第1章は緒言であり、本研究の意義と目的について述べると共に、回転円板に関する現在までの研究動向や本論文の概要について説明している。

第2章では、極異方性回転円板の振動特性に関する解析を行うのに際し、回転円板の基本的な振動特性を把握するため、等方性回転円板の振動解析を行う。慣性力として遠心力を考慮した回転円板の半径方向の力の釣り合い方程式と運動方程式を板厚一定の薄肉回転円板についての弾性理論に基づき求める。これら方程式で用いる座標系を円板と共に回転する回転座標系から空間に固定した静止座標系に座標変換する。その力の釣り合い方程式より円板の半径方向及び、円周方向の応力成分を導く。また、複素ヤング率を用いて内部(構造)減衰を考慮した。そして、運動方程式を導出し、未知時間関数と未知座標関数とで変数分離し、近似した面外方向変位を代入する。そ

して、ガラーキソ法を適用する事によりその解を求め、固有値解析と定常応答解析を行う。固有値解析では円板に作用する外力を0として、振動数方程式を導く。定常応答解析では空間に固定された円板上の任意の一点において調和起振力が作用する場合の応答を導き、駆動点インピーダンス、円板の変位式を導出する。また、一定角加速度で加速される回転円板の運動方程式を導出し、同様に、固有値解析と定常応答解析を行っている。

第3章では、円板の円周方向に強化繊維を入れ、プラスチック等で円板を成形することにより、半径方向と円周方向の弾性係数が異なる極異方性回転円板について理論解析を行う。はじめに、空間に固定された静止座標系での力の釣り合い方程式をスプライン補間法により解き、半径方向と円周方向の応力成分を導出している。運動方程式は異方性弾性板の古典理論に基づき、直交異方性板の2次元における軸対称問題に置き換え導出した。そして、内部(構造)減衰を考慮した運動方程式に、面外方向変位関数を代入し、ガラーキソ法を適用して解き、一定角速度と一定角加速度で回転する二通りの場合についてそれぞれ、振動数方程式、駆動点インピーダンス、変位式を導出する。また、極異方性円板の弾性特性として、円周方向繊維強化材の弾性特性を用いて、各異方軸に関する弾性係数等を決定している。

第4章では、第2章のでの各基礎式を用いて、数値計算を行い、一般的な等方性回転円板の振動特性について検討する。振動数方程式を解くことにより、角速度に対する固有円振動数分布を求め、工学的に重要となる回転円板の振動モードは節円を持たない振動モードであること、また、回転円板の特性である進行波、後退波、そして、危険速度の存在を明らかにした。さらに、各パラメータを変化させたときの駆動点インピーダンス、振動モード等を計算し、これらパラメータの違いが等方性回転円板の振動現象に与える影響について検討している。そして、角速度および、起振振動数に対する円板の安定・不安定領域を明らかにするとともに、極異方性回転円板の動特性を把握するための基礎資料を提供している。

第5章においては、第3章にて導出した各種基礎式を用いて、極異方性円板をガラス繊維を巻きエポキシ樹脂で成形した円周方向繊維強化材の円板と仮定し、円板に巻き込まれたガラス繊維の体積含有率をパラメータとして加え数値計算を行っている。極異方性回転円板の振動数方程式を解き、得られた固有円振動数分布から、等方性から極異方性へとその特性を変化させることによって、固有円振動数と危険速度の分布状態が変わり、安定領域が広範囲に広がることが認められた。また、一定角速度で回転する場合と、一定角加速度で加速する場合について、各パラメータを変化させたときの駆動点インピーダンス、振動モードを計算し、これらのパラメータの違いが極異方性回転円板の振動現象に及ぼす影響について検討している。また、極異方性の影響が大きくなると、工学的に関係すると考えられる起振振動数と回転数の範囲内においては、振動モードは、節直径数が少ない振動モードに依存すること、共振点となる応答ピークの数が増え、安定した回転領域が増えることを明らかにし、極異方性を有する回転円板を採用することの有用性を明らかにしている。

第6章においては、回転円板の振動変位を測定するための実験装置を作製し、その振動変位波形をFFTを用いて周波数分析を行い鋼製円板の固有円振動数を計測する。一方、第3章で得られた極異方性回転円板の振動数方程式を等方性板に適用することから固有円振動数を計算している。これらの計算値を実験値と比較した結果、両者はほぼ一致していることを明らかにし、本論文の理論解析の妥当性を検証している。

第7章は結論であり、本論文において得られた研究成果を取りまとめている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 山 田 元  
副 査 教 授 岸 田 路 也  
副 査 教 授 三 上 隆

学 位 論 文 題 名

## 極異方性を有する回転円板の曲げ振動に関する研究

近年、科学技術の進展はめざましく、情報化時代の到来とともに情報機器の小形化、高性能化、高速化、軽量化等が急速に行われている。コンピュータの周辺機器である記録装置に用いられている回転円板は、情報の高密度化、入出力時におけるアクセス時間の短縮のため、高速での回転を要求される。このため、円板には振動や不安定現象が生じるようになり、記録・再生の信頼性の低下、さらには円板やヘッドの破損等が実用上重要な問題となる。

本論文は、半径方向と円周方向の弾性係数が異なる、極異方性円板が高速で回転するときの振動と動応答に関する基礎的な研究を行なったものであり、その主要な成果は次の点に要約される。

[1]回転する極異方性円板の運動方程式を誘導し、ガラーキンの法を適用して解を求め、円板が一定角速度で回転する場合と一定角加速度で加速される場合について、振動数方程式、駆動点インピーダンスおよび変位を導出している。

[2]回転する等方性円板に生じる振動を解析し、動特性の観点から重要なのは節円を持たない振動モードであること、また、前進波、後退波、あるいは危険速度が存在することを明らかにしている。さらに、板の駆動点インピーダンス、振動モード等を計算し、円板の振動特性に及ぼす各種パラメータの影響を論じるとともに、角速度および起振振動数に対する円板の安定・不安定領域を与えている。

[3]回転する極異方性円板の振動数方程式を解き、円板に極異方性を持たせることにより、その安定領域が広がることを確認している。また、円板が一定角速度で回転する場合と、一定角加速度で加速される場合について検討し、パラメータの違いが極異方性円板の振動に及ぼす影響について論じている。さらに、極異方性の度合いが強くなると、板の振動は節直径数の少ない振動モードに依存すること、また共振点である応答ピークの数が増減し、安定した回転領域が増大することを明らかにし、極異方性円板を採用することの有効性を示している。

[4]さらには、回転する等方性円板に関して振動実験を実施し、測定された振動変位を周波数分析することから円板の固有振動数を実測している。一方、回転円板の固有振動数を数値計算から求め、これらが実験値とほぼ一致していることを明らかにし、本論文の解析法の妥当性を検証している。

これを要するに、著者は、極異方性を有する回転円板の曲げ振動に関する振動解析法

と振動特性を論じ、この種構造要素の振動に関して有益な知見を得たものであり、機械振動学の進歩に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。