

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	安福 大輔
論文題目	回転機械振動の定式化と劣化診断に関する研究		
(論文内容の要旨) 本論文は回転機械の非線形振動モデルによる定式化と劣化診断に関して研究したものである。従来より回転機械の劣化診断方法については振動法が一般的であるが (1) 低速回転の設備に対してはセンサーの低感度域となるため劣化検出が困難であること (2) ラインシャフトや減速機を介した直接振動を測定できない構造の回転機械に対し、劣化と振動の特微量の因果関係が明らかにされていないため適用が困難である等の課題があった。これに対して、本研究は非線形振動モデルによる定式化とその振動特性の評価を通じて、新たな回転機械の劣化診断方法を考案し実際の回転機械でその有効性を確認している。更に複雑な構造を有する回転機械に対しては有限要素法による一般的な定式化からGuyanの静縮小法と非線形フィルタリングを用いることで、劣化診断問題をパラメータ推定問題へと帰着させている。 本論文の目的は回転機械振動機構の物理的な解明を通じて、運動方程式の導出から劣化検出方法までを物理的な根拠のある数理モデルとして定式化し、その振動特性の把握を通じて劣化診断の高度化を行うものであり、以下の5章から成る。 第1章では、プラント設備における設備診断の位置づけと回転機械診断の役割に関して、意義および背景、従来得られている結果とその問題点をまとめている。 第2章では、弾性接触理論を用いた軸受振動の定式化と劣化診断の適用について述べている。具体的には内輪を剛体、転動体を質点とみなし、要素間反力をHertzの弾性接触理論に基づく非線形ばねとして定式化をおこなっている。更に運動方向を制限することでラジアル方向、スラスト方向の運動方程式を導き数値計算によりその妥当性を検証している。後半ではこの振動特性として特徴的な固有振動数が表れることを利用して劣化診断をおこなう方法を考案し、実際の低速回転機械に適用することでその有効性を確認している。具体的には、鉄鋼プラントの実運転状況において、従来40%~50%程度であったベアリングの劣化診断率を90%超に引き上げることを可能としたことが報告されている。 第3章では、有限要素法で定式化された回転機械について軸受の非線形振動も含めた近似方法を与えている。これによって複雑な回転機械であっても単純な要素の組み合わせでの定式化を可能とし、これにGuyanの静縮小法と非線形フィルタリングを用いることで剛体モードの振動は単純な2点支持4自由度回転系へと帰着させた。これにより複雑な構造を持つ元の回転機械振動を8次元状態方程式に帰着せしめ、オンライン推定を可能とした。 第4章では、パラメータ推定を用いた回転機械劣化診断手法の定式化とそのためのアルゴリズムの導出をおこなっている。第2、3章の結果より回転機械振動は2点支持4自由度回転系に近似することができ、これに対し劣化パラメータを定義することで診断問題をパラメータ推定問題に帰着させている。更に離散近似を通じてこれをパラメータと状態の同時推定問題に帰着させ、非線形フィルタリングを用いることで具体的な劣化パラメータ推定アルゴリズムを導出している。 第5章では、本論文で得られた知見をまとめて、回転機械診断の今後に残された課題について述べている。			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は鉄鋼プラントの生産設備において重要となる回転機械とくにそのベアリングの劣化診断と、その基礎となる非線形力学モデルに関する研究をまとめたものである。

鉄鋼生産設備においては、搬送設備や圧延機などにおいて数々の回転機械が存在し、なかでも数多く存在するベアリングの劣化診断は安全かつ効率的な運転に大きな役割を占めている。従来これに対して異常個所の発するノイズによって劣化を検知する振動法が一般的に採用されてきたが、低速回転の機械については適用が困難であり、また劣化と振動の特徴量の因果関係が明らかにされていないなどの難点があった。

本研究は、これに対して新たな非線形振動モデルを考案、定式化し、その振動特性の評価を通じて、新たな回転機械の劣化診断方法を考案し実際の回転機械でその有効性を確認したものである。具体的には内輪を剛体、転動体を質点とみなし、要素間反力をHertzの弾性接触理論に基づく非線形ばねとして定式化をおこなっている。更に運動方向を制限することでラジアル方向、スラスト方向の運動方程式を導き、数値計算によりその妥当性を検証している。後半ではこの振動特性として特徴的な固有振動数が現れることを利用して劣化診断をおこなう方法を考案し、実際の低速回転機械に適用することでその有効性を確認している。定式化された力学モデルは、ことにスラスト方向の振動についてはこれまで見られなかったもので、低速振動に関して劣化診断の基礎を与えている点、また実際に有効な診断法を与えている点が学術上もまた実学的貢献の面からも高く評価できる。これらによってベアリングの定常的な劣化診断が容易となり、鉄鋼プラントの実運転状況において、従来40%～50%程度であった劣化診断率を90%超に引き上げることができるなど実用上顕著な成果が得られている。

更に複雑な構造を有する回転機械に対しては、有限要素法による一般的な定式化からGuyanの静縮小法と非線形フィルタリングを用いることで、劣化診断問題をパラメータ推定問題へと帰着させている。これらによって、回転機構に対する実用上有効な力学モデルが得られた点は特筆すべき貢献であり、上記の非線形バネ振動モデルと併せて学術上寄与するところが少なくない。

以上の理由により、本論文は、博士(情報学)の学位論文として、価値あるものと認める。更に平成25年2月22日論文内容とそれに関連した口頭試問をおこなった結果合格と認めた。