



## 学位論文審査の結果の要旨

専 攻	共生環境学専攻	氏 名	関 照 議 (Guan Zhaoyi)
審 査 委 員	主 査 陳 山 鵬 教 授 副 査 佐 藤 邦 夫 教 授 副 査 村 上 克 介 教 授 副 査 王 秀 崙 教 授 副 査 鬼 頭 孝 治 教 授		
論 文 題 目 (題目変更の有無) 無	Study on Condition Monitoring and Diagnosis Method of Rotating Machinery – Vibration Mechanism Clarification and Intelligent Diagnosis Method for Structural Faults of Rotating Machinery – (回転機械設備の状態監視・診断法に関する研究 – 構造系異常振動のメカニズム解明と知的診断法 –)		
<p>(論文審査の結果の要旨)</p> <p>学位申請者・関 照 議 (Guan Zhaoyi) 氏は博士後期課程において、工業・農業生産設備の安全に関わる設備診断技術に関して理論的、実験的な基礎・応用研究を行い、その研究内容と成果は次のようにまとめられる。</p> <p>回転機械は農業生産、工業生産に最も多く使用される設備であり、重要な回転機械設備の保全不備や異常発見の遅れによって発生した重大なトラブルや事故は人的や経済的な被害だけでなく、時には環境にも悪影響をもたらす。知的設備診断技術は、情報工学などの手法を用いて設備状態を自動的に監視・診断する技術であり、今後、第4次産業革命により設備の大型化、高速化、知能化、無人化および複雑化がますます進行するに伴い、生産設備の重大なトラブルや事故を未然に防止する重要技術として一段と注目されていく。</p> <p>回転機械構造系異常の種類はアンバランス、ミスアライメント、緩みなどがあり、回転機械において最も発生しやすい異常状態である。構造系異常の発生は設備性能や製品品質に直接的な悪影響を与えるだけでなく、回転軸周囲の部品（ベアリングやギアなど）にも過度なストレスを与え、二次的な故障を引き起こす恐れもある。したがって、構造異常の早期検出および異常種類の早期識別は回転機械の安全・安定運転を確保するために非常に重要なことである。</p> <p>回転機械の構造系異常は、他のタイプの異常に比べて、比較的低い周波数帯域に特徴が現れ、特に低回転速度時に発生する構造系異常種類間の特徴スペクトルが類似し、異常特徴の抽出および異常種類の識別は困難である。したがって、本論文では、回転機械の構造系異常を早期に発現し、異常種類を早期に判定するために、構造系異常の振動メカニズムの解明、および多変量解析や深層学習などの手法による構造系異常の知的診断法に関する研究成果をまとめたものであり、その内容を要約すると次の通りである。</p>			

- (1) 回転軸ミスアライメント状態が最も発生しやすい構造系異常の一つで、その振動信号やスペクトルの特徴が理論的に解明できれば、異常の検出・識別に重要な理論根拠を与える。しかし、回転軸ミスアライメントの異常振動メカニズムの理論的解明は難しく、異常検出と異常種類の判別は、過去蓄積されたデータによって経験的、統計的に行われていた。経験的あるいは統計的に求められた異常振動の特徴は不確実な部分もあるので、異常程度の判定および他の異常種類との区別が難しく、診断精度も高くない。したがって、本研究では、回転軸の各種ミスアライメント状態による回転軸系の動特性変化、および異常振動の発生メカニズムを解明するために、回転軸ミスアライメント状態の振動モデルを提案し、その振動特徴を力学的に解析した結果に基づくシミュレーション波形と実際の測定波形との比較によって本手法の有効性が検証できた。
- (2) コンピュータによる構造系異常の自動診断の時には、特に早期異常の場合、診断のために測定した信号のSN比（異常信号とノイズとの比）が低いため、従来の統計学でよく使われる特徴パラメータ（尖度、歪度、波高率など）を用いると異常識別感が低い。また、従来の構造系異常の自動診断法ではノイズなどの影響により学習・診断データが曖昧性をもつため、実用的な診断システムの構築が困難である。したがって、本研究では、回転機械の構造系異常を効果的かつ自動的に検出・識別するために、多方向で測定した振動信号を活かした新しい構造特徴パラメータを提案し、マルチバンドフィルターによる異常信号抽出法、および多変量解析（主成分分析法）による回転機械の構造系異常を逐次的に診断する方法を提案した。さらに、実験により提案した手法の有効性について検討・確認した。
- (3) 従来の知的設備診断に関する研究では、ニューラルネットワークによる一部の設備異常の自動診断が実現しているが、ニューラルネットワークによる構造系異常診断法の研究はほとんど行われていない。サポートベクトルマシン法のような他の知的診断法では、構造系異常の特徴を抽出することが困難であり、知的精密診断に有効な手法がまだ確立されていない。したがって、本研究では、まず経験的モード分解法と標本エントロピー法を組み合わせた異常特徴の抽出法を提案し、この方法により異常特徴を含む信号成分を抽出して新たな振動信号に再構成した後、再構成の特徴データのスペクトルを用いて、ディープラーニング法（深層ニューラルネットワーク（DBN））により学習・診断を行い、構造系異常状態の自動精密診断を高精度に行うことができた。また、この方法による診断結果と他の方法による診断結果と比較して、本研究で提案した方法が最も優れていることも確認できた。

以上のように、本研究は、振動工学、統計学、人工知能などの手法を用いて機械設備の状態監視・診断における諸問題を解決することにより工業・農業生産プラントの生産設備の安全かつ安定運転に貢献したものである。研究成果の主要部分をまとめた学術論文（4編）は筆頭著者として、査読制度が確立されている学術雑誌（日本設備管理学会誌、International Journal of Performability Engineering、International Journal of COMADEM、Sensors）に投稿され、掲載されている。学位審査委員会は、関 照議 (Guan Zhaoyi) 氏の学位申請論文に対して学術的価値、オリジナリティ、実際問題との関わりの3点から評価した結果、全員一致で博士学位論文として価値あるものと認めた。