

## 【学位論文審査の要旨】

高齢化社会に伴い、変形性膝関節症などの関節症の患者の数も増加しており、65 歳以上の 55%が変形性膝関節症であるとも言われている。関節症の診断にはレントゲンや CT 検査（コンピュータ断層撮影）、MRI（磁気共鳴画像）検査などの医用画像の撮影に基づいて行われることが多いが、これらの検査は専門の技師によってのみ実施でき、またレントゲンなどには被爆の問題もある。そのため、マイクロフォンや加速度計などから構成されるウェアラブルセンサを用いて関節部から生じる微弱な振動・発生音を測定し、これより関節症診断を行おうとする試みがある。これは身体に小型のセンサを装着するだけで非専門家により手軽に測定でき、健康診断などの機会にも利用できるため、関節症の早期発見に貢献できると期待されているが、必ずしも実用の域には達していない。本研究は、膝関節用の関節音計測システム、計測信号のノイズ除去、特徴量抽出、判別手法などについて、群知能や機械学習などの情報処理技術を応用し、関節症診断の新しい方法論として確立することを目的としている。

本論文は全部で 8 章より構成されている。第 1 章は序論であり、上記の研究の背景と目的、および本論文の構成について説明している。

第 2 章は関節音計測を行うためのハードウェアを中心とした計測システムの構成について説明している。本計測システムではピエゾ素子で構成される薄型、軽量の振動センサを用いることで、装着性に優れ、周波数特性としても関節音計測に十分な特性を確保することができた。さらに姿勢測定用の加速度センサを含め、計測用の一連のハードウェアとソフトウェアを独自に開発した。これらの取り組みは特許出願などの成果に結びついている。

第 3 章では、先行研究によって測定された変形性膝関節症の患者と健康若年者から取得した関節音信号を用い、経験的モード分解手法とウェーブレット解析を組み合わせた信号処理手法を提案している。本手法により関節症患の判別を 86.7%の高い精度で実現できたことは大いに評価できる。

第 4 章では、第 2 章で述べた関節音測定システムを用いて若年者と高齢者から取得した関節音より、測定対象者の加齢特性を判別する方法論について述べている。実験では、健康若年者 26 名と高齢者 10 名に対して、椅子からの立ち上がり動作時の関節音と関節角度を測定した。信号処理の方法として、アンサンブル経験的モード分解と短時間フーリエ変換を組み合わせ、信号の特徴量として情報エントロピーを導入した。これらの方法により、若年者と高齢者のように明確な病的特徴がない対象群に対しても 88%の高い精度での判別に成功したことは特筆すべき成果だと言える。

さらなる診断精度向上を目指し、第 5 章ではノイズ低減手法について、第 6 章では特徴量抽出手法について、群知能と呼ばれる情報処理手法をそれぞれ導入し、その有効性について検証している。具体的には蟻コロニー最適化と根アルゴリズムと呼ばれる動植物の行動・成長様式に示唆を得た方法を利用した。5 章、6 章の成果の本格的な導入は今後になるが、診断精度向上につながる新たな要素技術を提案できたことは評価に値する。

関節音は関節運動に伴い発生する音・振動であり、その特性は対象動作に依存するため、動作の統制が問題となる。そのため、第 7 章では関節部での振動伝達特性に注目し、振動の伝達状態より関節症を診断する可能性について検討している。ここでは、膝関節を模擬した実体模型を用いて加振、振動計測を行い、ジャーク（加速度信号の微分）に注目することで関節軟組織の変性特性を評価できる可能性を示した。現段階ではまだ基礎研究の段階ではあるが、今後のさらなる発展を期待したい。

第 8 章は総括であり、本研究により関節音に基づく関節症診断システムの妥当性、有用性について総括している。本研究では高度な計算処理手法を積極的に採用しているものの、診断システムとしては実用にも十分に耐え得る段階にあると判断でき、今後の臨床評価と早期の実用化が期待される。

以上の論文の成果に対して、本学の学位規則に従い、最終試験を行った。学内関係者 20 名（本人、審査委員を含む）、学外 27 名、計 47 名が参加したオンラインでの公開の席上で論文発表を行い、医療関係者、企業関係者を含む多くの参加者との質疑応答を行った。また、論文審査委員により本論文及び関連分野に関する試問を行った。これらの結果を総合的に審査した結果、専門科目についても十分な学力があるものと認め、合格と判定した。