

氏名（本籍）	小松 瞭（秋田県）
専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	理博甲第 266 号
学位授与の日付	令和 4 年 9 月 29 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理工学研究科 総合理工学専攻
学位論文題目 （英文）	慣性センサ（IMU）を用いた運動器疾患の治療や進行度間における歩行時膝関節運動の評価
論文審査委員	（主査）教授 巖見 武裕 （副査）教授 長縄 明大 （副査）教授 水戸部 一孝

論文内容の要旨

高齢化の進行に伴い転倒などによる骨折外傷や変形性膝関節症（以下膝 OA）などの発症リスクが高まる。これらの診断には歩行時の運動学的変化の定量評価が重要であり、近年は慣性センサ（以下 IMU）の利用が注目されている。IMU は小型で少ない装着数で身体動作を計測できるシステムとして健常者を対象とした歩行解析に関する研究が種々行われてきた。その一方で運動器疾患の治療や進行度間での評価における有用性は明らかにされていなかった。本論文では、IMU を用いた臨床歩行解析における有用性を明らかにすることを目的として、リング型創外固定器を装着した患者歩行と膝 OA 患者歩行における膝関節の運動学的特性の定量化や病態進行度間での評価について検討を行っている。

本論文は以下の全 5 章より構成されている。

第 1 章では、序論として本論文の背景及び目的について述べている。

第 2 章では、リング型創外固定器装着患者に IMU を装着して歩行運動を計測した際の膝関節屈曲角度を推定し、健患側での可動域やその歩容について比較、検討している。その内容として初めに歩行時膝関節屈曲角度を推定するために拡張カルマンフィルタを用いたセンサ・フュージョンを構築し、精度検証によって歩行時における運動解析に有用であることを明らかにしている。そしてリング型創外固定器装着者 3 名を対象に IMU を下肢へ装

着して歩行計測実験を実施し、得られたデータから歩行時膝関節屈曲角度を推定した結果、患側における膝関節屈曲角度の二峰性が低減していることを定量的に明らかにした。

第3章では、第2章で構築したセンサ・フュージョンを用いて膝OA患者にIMUを装着して歩行運動を計測した際の膝関節屈曲角度を推定し、健常者と膝OA患者の進行度間での運動学的変化を比較、検討している。健常者3名と膝OA患者5名を対象にIMUを下肢へ装着して歩行計測実験を実施し、被験者群は健常者群、膝OA患者群（Grade 3）、膝OA患者群（Grade 4）に分類している。その結果、推定した膝OA患者の歩行時膝関節屈曲角度は健常者と異なる患者固有の波形平坦化などがみられ、変形性膝関節症患者の進行度間に応じた運動学的変化を定量的に評価できることを明らかにした。

第4章では、IMUを用いて膝OA患者の代表的な歩行時異常運動であるVarus Thrust（以下VT）を歩行時下腿加速度、角速度から定量化し、健常者と膝OA患者の各進行度間で比較、検討している。健常者7名、膝OA患者15名を対象に歩行計測実験を実施し、膝単位で健常膝群、OA膝群（Grade 3）、OA膝群（Grade 4）に分類している。本研究では、歩行立脚期における最大外側方向加速度、最大内反方向角速度をVTの特徴量として定義し、膝OAの進行度で比較するために有意水準5%としたt検定を行っている。その結果、加速度、角速度の両値とも健常膝群と比較してOA膝群（Grade 3, 4）の両群にて有意な増加と両値の増加に正の相関がみられることが確認された。

第5章では、結論として本研究で得られた知見と今後の課題について述べている。

以上より本研究ではIMUを用いてリング型創外固定器装着患者や膝OA患者特有の歩行運動や可動域を定量化し、非装着側との比較や進行度間での評価に有用であることを示した。これにより医療福祉施設での汎用性の高い歩行解析システムとしての足掛かりを得たほか、本研究で対象としていない様々な疾患の運動に関する定量評価を実現できることが期待される。特にバイオメカニクスや医用生体工学における工学的意義も極めて大きいと考えられ、当該分野および学術領域において貢献するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として十分に価値があると認められる。

論文審査結果の要旨

最終試験は7月8日（金）、18時00分から19時00分までZOOMによるオンライン上にて開催された博士論文公聴会において、論文内容及び関連する分野について、学位審査委員会委員による口頭試問により行われた。博士論文の内容はプレゼンテーションにて説明がなされ、その後の質疑応答では主に以下の質問などがなされた。

1. IMUを用いた背景と光学式や磁気式などとの違いについて。
2. 本研究におけるドリフト誤差の定義について。

3. ドリフト誤差の低減を示すための精度検証方法について.
4. IMU を運動計測へ使用する際に留意しなければならないポイントについて.
5. 膝関節屈曲角度の定義について.
6. 異なる病態間における運動学的差異に関する全体的な考察について.

上記の内容に対して、小松瞭氏からいずれも明確な回答がなされた。

本公聴会后、学位審査委員会において審議した結果、小松瞭氏が最終試験に合格し、システムデザイン工学領域（機械系）の学位申請基準を満たしているため、博士（工学）として十分な資格及び学識を有しているものと認められた。