

## 学位論文審査結果の概要

氏 名	AMIR MUKHRIZ BIN AZMAN（アミル ムクリズ ビン アズマン）
学位論文審査委員氏名	主査 佐川貢一
	副査 笹川和彦
	副査 花田修賢
	副査 藤崎和弘
	副査 矢野哲也
論 文 題 目	Research on wearable measurement system for physical performance and biomedical information（身体能力および医用生体情報を対象としたウェアラブル測定システムに関する研究）
審査結果の概要（2,000字以内）	
審査結果 合格	
審査の概要（2,000字以内）	
<p>計測環境を限定せずにヒトの動作を計測・解析する技術は、医療、福祉、健康、スポーツを含む様々な分野において重要となっている。特に近年は超高齢化社会を迎え、健康に対する意識の向上から、日常生活の中で運動機能や生体情報など、健康診断の基礎となる情報を測定することが重要となっている。また、MEMS技術の発展により、身体に装着した小型の慣性センサを用いて、ヒトの動作を計測する手法が広く普及している。慣性センサを使用した動作計測は、簡便、安価、測定範囲は無制限という利点を持つため、医療分野でも利用されつつある。しかし、慣性センサから得られる情報を利用して、実際に医学的な診断に応用できる情報を提供するシステムはあまり提案されていない。これは、従来の慣性センサシステムでは、実際に診断で行われる高速動作の位置や角度の推定精度に問題があり、得られる情報が限られるためである。そこで本論文では、健康診断でも利用できる慣性センサシステムを開発するとともに、開発した慣性センサシステムに各種センサを接続することにより、様々な医学的診断に活用することができるウェアラブル計測システムを開発することを目的とする。ここでは、10メートル最大速度歩行時間計測、3次元つま先経路と床反力の同時計測、運動時の血圧のカフレス連続計測の3点に着目し、それぞれの計測を実現するシステムを開発している。</p> <p>10メートル最大速度歩行時間計測システムの開発では、急激な動作の計測を可能にする慣性センサシステムを開発[1]するとともに、認知機能の評価指標の一つである精神状態短時間検査(MMSE: Mini-Mental State Examination)とを融合することで、歩行時間以外にMMSEとの相関の高い歩行パラメータを見出している。歩行パラメータは、歩幅、歩行周期、歩行速度、つま先角度、つま先高さ、遊脚率であり、歩行と走行の判別も行っている。2016年と2017年に行われた岩木健康増進プロジェクトで測定した1406名の歩行動作計測の結果、走行したデータを排除することにより、従来のストップウォッチを利用した時間計測よりも、提案したシステムで推定した歩行時間とMMSEとの</p>	

相関が向上することを確認した。また、歩行速度の低下による歩行時間の延長は、歩幅の減少よりも歩行周期の延長による影響が大きいことを確認した[2]。

慣性センサによる歩行動作計測では、足が地面に接地しているときの力学的特性は計測困難である。そこで、靴の中敷きに複数個の小型力覚センサを取り付け、立脚時には重心位置の変化を測定し、遊脚時には足の3次元動作を計測するシステムを開発した。力覚センサは、歩行中に体重が作用する代表的な6か所に設置し、慣性センサのアナログ入力端子に接続して立脚時の足裏に作用する力の重心位置を求めた。1名の被験者を対象に平地歩行を行った結果、立脚時には足裏の重心位置が踵側からつま先側に移動し、遊脚時にはつま先の3次元位置や角度を推定することが可能であることを確認した。床反力の測定は、運動中の身体の関節トルクなどを推定するために必要なパラメータであり、従来は床反力計を設置した室内でのみ測定可能であった。本システムにより、場所に依存しない全身の運動機能解析の可能性が示された[3]。

近年、カフを使用せず、脈波から血圧を推定する方法が提案されている。運動中に血圧を連続的に測定することができるようになれば、運動中の循環器への影響を予測することが可能になると考えられる。そこで、動作計測とカフレス血圧推定を同時に実現するシステムの開発を行った。脈波は耳たぶに取り付けた光反射型の脈波センサを使用し、運動情報の計測が可能な慣性センサシステムに記録した。自転車エルゴメータを使用して安静時および運動時の脈波を測定し、市販の血圧計で測定した値と比較した。また、従来のカフレス血圧推定では、脈波の特徴的な位置の時間間隔から血圧を推定しているが、心拍数によって間隔が変動することから、時間間隔に1分当たりの心拍数を乗ずることで無次元化して、血圧の推定を試みた。その結果、脈波の時間間隔を無次元化することにより、実際の血圧と推定血圧との相関が向上することを確認した。これにより、運動情報とカフレス血圧の同時計測が可能となった[4]。

以上、要するに本論文は、高速動作計測に対応した慣性センサシステムを開発するとともに、健康診断で使用することで認知機能と相関のある歩行パラメータを見出した。また、歩行中の床反力を測定する方法や従来法よりも精度の高いカフレス血圧計測法を融合することで、全身の運動機能解析や循環器系の診断に有用な情報を提供するシステムを開発しており、機械工学ならびに医用工学の発展に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

#### 学位論文の基礎となる参考論文

1. Amir Mukhriz Azman, Hirofumi Kuga, Koichi Sagawa, Chikara Nagai, Fastest gait parameters estimation precision comparison utilizing high-sensitivity and low-sensitivity inertial sensor, IFMBE Proceedings, Volume 67, 79-84, 2017
2. Amir Mukhriz Azman, Chikara Nagai, Koichi Sagawa, Yuichi Hirakawa, Kaori Sawada, Inertial gait analysis measurement system for large-scale health checkups, Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Vol. 13, No. 4, 1-13, 2019
3. Azman Amir Mukhriz, Ohno Youhei, Nagai Chikara, Sagawa Koichi, Simultaneous measurement of 3D foot trajectory and foot pressure path using tip-toe mounted sensor, 第57回日本生体医工学会大会プログラム・抄録集, P2-8-5, 2018
4. Azman Amir Mukhriz, Nagai Chikara, Sagawa Koichi, Continuous blood pressure estimation during exercise using pulse photoplethysmographic signal, 第53回日本生体医工学会東北支部大会講演論文集, ME-2-1, 2019