

2020年 8月 31日

豊橋技術科学大学長 殿

情報・知能工学 専攻
 学位審査委員会
 委員長 南 哲人



論文審査及び最終試験の結果報告

このことについて、博士学位論文審査を実施し、下記の結果を得ましたので報告いたします。

学位申請者	Michail Sidorov		学籍番号	第 179303 号
申請学位	博士 (工学)	専攻名	大学院工学研究科博士後期課程 情報・知能工学 専攻	
博士学位 論文名	TenSense - A Family of Wireless Sensor Nodes Dedicated for Remote Unattended Structural Health Monitoring of Bolted Joints (TenSense: ボルト接合部の締結力遠隔監視のための無線センサノード)			
論文審査の 期間	2020年 7月 16日 ~ 2020年 8月 26日			
公開審査会 の日	2020年8月26日	最終試験の 実施日	2020年8月26日	
論文審査の 結果※	合格		最終試験の 結果※	合格
審査委員会(学位規程第6条)				
学位申請者にかかる博士学位論文について、論文審査、公開審査会及び最終試験を行い、別紙論文内容の要旨及び審査結果の要旨のとおり確認したので、学位審査委員会に報告します。				
委員長	三浦 純			
委員	梅村 恭司		松本 幸大	
	大村 廉			

※論文審査の結果及び最終試験の結果は「合格」又は「不合格」の評語で記入すること。

論文内容の要旨

本論文は、構造物の遠隔モニタリングを目的として、ボルトの締結力を遠隔からモニタリングするためのシステム TenSense を提案し、その設計および実装について述べたものである。本研究では、必要となる素子を埋め込んだワッシャーをボルト下部に追加するアプローチにより、多くの従来計測手法で必要としたボルトへの加工を排除し、実用的な遠隔モニタリングが実現できることを示している。そして、このアプローチに従い、小型、かつ、単純な構造でボルトの締結力を長期にわたって遠隔監視可能にするシステムである TenSense を提案し、その設計や実装などの一連の研究をまとめている。

第1章において、研究の背景を示し、解決すべき課題、および、研究の目的を述べている。また、本研究の当該分野への貢献についてまとめている。第2章では、既存のボルト締結力計測手法や IoT 向け無線技術をまとめている。第3章では、既存の締結力計測手法の比較から本研究におけるアプローチを議論するとともに、提案システム TenSense の設計について、その物理的構造、電子回路設計、アンテナ設計についてまとめている。第4章では、TenSense について行った実験とその評価をまとめている。第5章では、より進んだ機能として実用上求められる機能に対する議論や、構造物モニタリングだけでなく他のアプリケーションへの応用可能性について議論を行っている。第6章において、本研究の成果と今後の展望をまとめている。

審査結果の要旨

ボルトは構造物における部材の接合など様々な状況で用いられており、その劣化や破損は大きな事故を引き起して多大な社会的損失に繋がる。これを避けるため、現状では定期的なボルトの締結力検査が行われているが、その方法は熟練の検査員による目視や打音検査によるものであり、検査員が現地まで赴く必要がある。特に大型構造物における検査では、そのための足場を組む必要があり、多大なコストを必要とする。一方、ボルトの締結力の計測には打音や目視以外にも様々な方法が提案されている。しかし、ボルト自体に加工を必要とするなど、実際の現場において定常的に使用するには難があった。

本研究は、ボルト下部に追加のワッシャーを挿入してその内部に空間を作成し、センサなどの計測に必要な素子を挿入するアプローチをとった。そして、この追加のワッシャー形状が適切に本来の締結力を伝達することを確認するとともに、センシング方式、電子回路の構成や無線通信方式、アンテナ形状、これら部品の配置を工夫し、単純かつ小型なハードウェアで、ボルトに加工することなくボルト締結力を遠隔監視するシステム TenSense を提案した。

第1章では、本研究で対象とする問題について述べ、本研究がなす当該分野への貢献を明確にしている。第2章では、既存のボルト締結力計測手法や IoT 向け無線技術を概観し、第3章で各手法について問題に対する利点欠点を比較している。そして、その議論をもとにボルト径が M30 以上の場合に対して、追加ワッシャー内にセンサ（歪ゲージ）、無線モジュール、制御回路、バッテリーを挿入する手法を提案している。また、より小さいボルト径（M20 程度）への対応のため、センサのみを追加ワッシャー内に挿入し、他の回路をボルト上に付与するキャップ内に収める手法を提案している。第4章では、評価実験を行い、TenSense が構造物モニタリングにおいて十分な測定精度、通信距離を有することを示した。また、消費電力から予想される動作継続時間の見積もりを行い、少なくとも構造物の通常の検査周期である 5 年以上は動作することを示した。さらに、他の手法との定性的な比較を行い、実用における提案手法の優位性を示した。第5章では、本研究で提案した手法の拡張として、実用時に必要となると考えられる機能について考察を行い、今後の拡張可能性について議論を行っている。

本研究における TenSense の設計および実装は、構造物の健全性モニタリングにおける新たな手法を提案するとともに、デバイスサイズ、動作時間、通信、センシング等における要求事項を満たしつつアプリケーションに対して適切な解を導く具体的な方法を示したものである。このことは、近年注目される IoT 技術分野に対して大きな貢献となる。

以上より、本論文は博士（工学）の学位論文に相当するものと判定した。