

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	電磁結合による圧電振動子の励振を用いたボルト軸力の非接触測定に関する研究
Title(English)	A study on non-contact measurement of bolt axial force using excitation of piezoelectric resonator by electromagnetic coupling
著者(和文)	長谷部和彦
Author(English)	Kazuhiko Hasebe
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12819号, 授与年月日:2024年6月30日, 学位の種別:課程博士, 審査員:中村 健太郎,徳田 崇,沖野 晃俊,伊藤 浩之,佐藤 大樹
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12819号, Conferred date:2024/6/30, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 ライオンエンジニアリング	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	長谷部 和彦		審査員主査： Chief Examiner	中村 健太郎 教授	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は「電磁結合による圧電振動子の励振を用いたボルト軸力の非接触測定に関する研究」と題し、和文全6章から構成されている。

第1章「序論」では、日本におけるインフラの老朽化と人手不足の問題を背景に、予防保全の重要性とその実現のための技術開発の必要性について述べ、検査の効率化に有効な UAV (Unmanned Aerial Vehicle: 無人航空機) を用いた方式の将来展望を論じた。さらに、ボルトの残存軸力測定の重要性と既存の測定手法の課題を指摘し、その解決策として、非接触、低コスト、高耐久性を念頭に、圧電超音波方式と静電容量方式の2つをそれぞれ電磁結合による非接触法と組み合わせたボルト軸力測定法について、その実現法の提案と性能検証が本論文の目的であると述べた。また、軸力の測定誤差を5%以下に収めることを目指した。

第2章「超音波式ボルト軸力センサー」では、非接触でのボルト軸力測定を実現する方法として、圧電超音波センサー内蔵ボルトを提案し、その実現性を電気等価回路解析と実験により検証した。この方式は、ボルト頭部に接着した圧電素子とコイルによって構成されており、引っ張り軸力によるボルト長の伸びと音速低下に基づくボルト先端での反射波の Tim-Of-Flight (TOF) の変化を、ボルト長さ方向の共振周波数変化として捉える。実験では、圧電素子のアドミタンスの周波数特性の変化を電磁結合によってコイルを介して非接触で測定し、ボルト軸力の変化を検出できることを電気等価回路解析と試作品の評価により示した。また、軸力測定のばらつきは2.5%であり、目標を達成したとした。しかし、ボルト長さに応じた校正が必要であることが欠点であったとした。

第3章「静電容量式ボルト軸力センサー」では、非接触ボルト軸力測定のもう一つの方法として、静電容量式のセンサー内蔵ボルトを提案した。ボルト全長の伸びを捉える超音波式と比較して、この方式では、ボルト頭部の局所的な変形を静電容量変化として捉えるため、ボルト長さの影響を受けず、校正を不要にできる可能性があること、塗装や腐食、水滴などの影響を小さくできることなどの利点があると述べた。軸力に応じた静電容量変化により水晶振動子の固有周波数が変化する構成を考案して、有限要素法による変形解析と電気等価回路解析により提案方式の動作を検証し、試作装置の実測によって非接触で軸力測定が可能であること、得られた測定誤差は1.3%以下であることを述べた。また、電気等価回路解析による検討で、部品の選定基準を明らかにした。

第4章「変位拡大機構による静電容量式センサーのばらつき抑制」では、静電容量式の課題である製造ばらつきの影響を抑制する方法として、変位拡大機構の導入を提案した。有限要素法による変形解析に基づいて変位拡大機構の設計方法を示した。そして、試作した変位拡大機構を用いた実験により、製造ばらつきの影響を約半分に低減可能なことを示した。

第5章「UAVを用いたボルト軸力測定の実証」では、UAVに搭載可能な小型・軽量な測定装置を開発し、UAVを用いた軸力測定の実証実験を行った。さらに、コイル形状と結合コイルどうしの位置決め誤差の影響を検討し、形状ごとの傾向を明らかにした。前章までに提案した超音波式および静電容量式の2方式の軸力センサー内蔵ボルトに対して、それぞれ実験を行い、UAVを用いた軸力測定がどちらの方式でも可能であることを実証した。

第6章「結論および今後の課題」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題について述べた。以上を要するに、本論文はボルト軸力の測定に関して、ボルト長さや頭部の変形を超音波 TOF や静電容量から検出する機構とそれらを電磁結合により非接触で実現する方法を考案し、これらの2方式による測定を UAV に応用できることを実証したものである。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	電気電子 ライオンエンジニアリング	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	長谷部 和彦		審査員主査： Chief Examiner	中村 健太郎 教授	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis, titled "A study on non-contact measurement of bolt axial force using excitation of piezoelectric resonator by electromagnetic coupling," is structured into six chapters.

Chapter 1, "Introduction," discusses the importance of preventive maintenance amidst the issues of aging infrastructure and labor shortages in Japan. It highlights the potential of UAV (Unmanned Aerial Vehicle)-based inspection methods for efficiency. The chapter underscores the significance of measuring residual bolt axial force and identifies the challenges of existing methods. It proposes a solution combining piezoelectric ultrasonic and capacitive methods with non-contact, low-cost, and high-durability characteristics through electromagnetic coupling. The objective is to achieve a measurement error within 5%.

Chapter 2, "Ultrasonic bolt axial force sensor," proposes a method for non-contact measurement using a piezoelectric ultrasonic sensor embedded in the bolt. The method relies on detecting changes in the bolt's resonance frequency due to stress-induced length changes. The feasibility is verified through equivalent circuit analysis and experiments, achieving a measurement variation of 2.5%. However, it notes the need for calibration based on bolt length.

Chapter 3, "Capacitive bolt axial force sensor," introduces another non-contact measurement method using a capacitive sensor. This method measures local deformations at the bolt head, potentially eliminating the need for length-based calibration. The chapter highlights advantages such as reduced sensitivity to paint, corrosion, and water droplets. The method's functionality is verified through finite element method analysis and equivalent circuit analysis, achieving a measurement error below 1.3%.

Chapter 4, "Displacement amplification mechanism for reducing manufacturing variability of capacitive sensors," addresses the manufacturing variation issue in capacitive sensors by introducing a displacement amplification mechanism. The design method and its effectiveness in reducing variation by about half are demonstrated through finite element analysis and experiments.

Chapter 5, "Demonstration of bolt axial force measurement using UAV," describes the development of a compact, lightweight measurement device for UAV integration and its validation. It examines the impact of coil shape and positioning errors on measurement accuracy. Experiments confirm that both ultrasonic and capacitive sensor-embedded bolts enable UAV-based axial force measurement.

Chapter 6, "Conclusion and Future Challenges," summarizes the research findings and discusses future research directions. In summary, this thesis presents methods for non-contact bolt axial force measurement using ultrasonic TOF and capacitive mechanisms, demonstrating their applicability in UAV-based systems.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).