

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：32702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04030

研究課題名(和文) 高出力積層圧電素子の振動発電を電源とする設備状態監視手法に関する研究

研究課題名(英文) Study on method of monitoring facility condition using vibration power generation of high output piezoelectric elements as power source

研究代表者

藤本 滋 (Fujimoto, Shigeru)

神奈川大学・工学部・教授

研究者番号：80386888

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、産業設備に発生する振動を、PZT素子を用いて電気変換し、これを電源として無線加速度センサを駆動し、離れた場所で産業設備を状態監視する手法を開発することである。

本研究は以下の通り。PZT素子の発電特性向上のためにLa添加PZT素子を開発すると共にそれを積層したLa添加積層PZT素子を開発した。加速センサ駆動のための電力供給安定回路を開発した。La添加積層PZT素子に振動台加振力や小型コンプレッサ振動を与えて振動発電を行い、無線型加速度センサを駆動し、加速度を計測することに成功した。この結果として、研究目的である自立型無線加速度モニタリング手法を確立することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、PZT素子の振動発電能力の大幅向上のため、添加するLaの最適濃度を見出すと共にこれを最適な積層数で積層したLa添加積層PZT素子を開発したことである。さらに、小型産業設備の振動を用いたLa添加積層PZT素子を電源として無線加速度センサを駆動し、加速度計測を無線で行える状態監視システムを開発、実証したことである。

社会的意義は、開発した状態監視システムは産業設備の稼働時の振動を利用して自立駆動できるため、プラント事故により外部電源が喪失した場合でも産業設備の稼働状態を遠隔で監視し続けることが可能であり、産業設備およびプラント全体の安全性を向上させることができることである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to develop a method to electrically convert the vibration generated in industrial equipment using a PZT element, drive a wireless accelerometer using this as a power source, and monitor the operating condition of industrial equipment at a remote location.

The results of this research are as follows. (1) In order to improve the power generation characteristics of the PZT element, we developed a La-added PZT element and a La-added laminated PZT element in which it were laminated. (2) Further, we developed a power supply stabilization circuit for driving the acceleration sensor. (3) We succeeded in measuring the acceleration by applying a vibration table vibration force and small compressor vibration to the La-added laminated PZT elements to generate vibration power and driving a wireless acceleration sensor. As a result, we were able to establish a self-sustaining wireless acceleration monitoring method, which is the purpose of our research.

研究分野：エネルギーハーベスティング

キーワード：PZT素子 La添加PZT素子 積層PZT素子 振動発電 センサ駆動回路 無線加速度センサ 加速度計測 状態監視

1. 研究開始当初の背景

わが国における産業プラント設備は老朽化が進んでおり、機械設備の機能劣化や構造部材の腐食や疲労劣化を起因とする故障や事故が多発している。このような設備では定期的に分解検査や目視・打診検査などが行われるが、設備の故障や事故の予兆を把握することは困難であるため、稼働時の常時監視による問題の早期発見の必要性が高まっている。また、原子力や化学プラントなどの重要施設では設備の常時監視が行われているが、大地震や津波により、外部電源や非常用電源の喪失、電源、センサ、ケーブルの損傷の可能性がある。この場合、機械設備の監視が不能となり、運転状態や異常状態の把握が行えずに重大事故に至る可能性がある。このため、重要設備の稼働状態を監視するためには電源、センサ、信号ケーブルの多様化を図り、災害や事故に対して冗長性の高い設備の監視手法の構築が必要である。このような課題に対して、センサや照明などの独立電源として従来は活用されなかったポンプ、コンプレッサなどの機械設備や人間の動きを利用した振動発電が注目されている。この振動発電の応用例は多数あるが、振動発電の発電体として用いる強誘電体の圧電素子(PZT素子)やエレクトレットの電気出力は非常に小さく、その発生電力は数 μW ~百 μW 程度で応用範囲は限定的であり、センサや送信装置を駆動させる設備監視への応用には未だ至っていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、産業プラントに設置された機械設備に発生する振動を、出力特性を高めた圧電素子を積層した積層圧電素子を用いた高出力振動発電素子により電気変換し、これを電源として加速度センサおよび加速度データを送信する無線装置を駆動し、離れた場所でモニタリングすることで機械設備の作動状態や故障を監視する手法を開発することである。

3. 研究の方法

(1) PZT素子の発電特性向上及び発電特性の把握

前回の研究(課題番号 25420196)では、発電素子として適したPZT素子にNb(ニオブ)を1.0 mol% 添加して発電特性を大幅に向上させた。今回の研究では、PZT素子の発電特性をさらに向上させると考えられるLa(ランタン)を添加したPZT素子を試作する。この試作したLa添加PZT素子の電気的特性及び振動発電特性(動荷重、周波数特性)を評価する。

(2) 積層PZT素子の高出力化及び発電特性の把握

前回の研究(課題番号 25420196)では、Nbを添加したPZT素子を積層することで発電特性を高出力化した。今回の研究では、Laを添加したPZT素子を積層化することで発電特性をさらに高出力化する。最適積層数を持つLa添加積層PZT素子を試作すると共に、この素子の電気的特性および振動発電特性を評価する。

(3) 加速度センサ駆動回路の開発および設備状態監視システムの構築

設備から発生する不規則で不安定な振動により発電する発電素子(積層PZT素子)の発生電力は不安定であるため、発電素子から供給される不安定な交流電圧を高効率で整流・直流化し、加速センサやデータ送信回路を安定して駆動できる電圧に制御する省電力型の電力供給安定回路を開発する。さらに、積層PZT素子、加速度センサ及び電力供給安定回路を組み合わせることで監視対象とする設備の加速度監視システムを構築する。

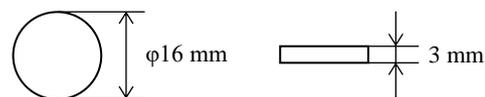
(4) 設備状態監視システムの実証

上記(1)、(2)及び(3)で開発した積層PZT素子、加速度センサ及び電力供給安定回路を組み合わせることで対象とする設備の加速度監視の適用性の実証を行う。具体的には、振動する産業設備に加速度状態監視システムを設置し、加速度のモニタリング機能の検証・実証を行う。

4. 研究成果

(1) PZT素子の発電特性向上及び発電特性の把握

PZT素子の電気的特性を前回研究(課題番号 25420196)で開発したNb添加PZT素子より向上させるためにLaを添加した。Laの添加濃度は先行研究や前回研究でPZT素子へのNbの最適添加濃度が1.0 mol%であったことや、Kulcsarの研究でPZT素子への様々な添加剤の添加濃度は1.0 mol%で発電特性が最も高くなる傾向が示されていることから、1.0 mol%が最適な添加濃度に近いと考えられる。そこで本研究ではPZT素子添加するLa濃度を1.0 mol%とした。ここではLa 1.0 mol% 添加PZT素子を3体試作し、これらPZT素子の電気的特性を把握した。次にその結果を示す。試作したLa添加PZT素子の形状と外観を図1に示す。また、表1



(a) PZT素子の形状寸法



(b) PZT素子の外形写真

図1 試作した1.0 mol%La添加PZT素子

に 1.0mol%La 添加 PZT 素子及び前回研究で試作した Nb 添加 PZT 素子と無添加 PZT 素子の電氣的特性値である圧電定数と静電容量を示す。なお、本研究では負荷した動荷重と同方向(d_{33} 方向)に出力される電荷のみを回収することを想定しているため、圧電定数の測定は d_{33} のみとした。Nb 添加 PZT 素子の形状寸法と添加濃度は La 添加 PZT 素子と同じである。無添加 PZT 素子は直径 16 mm、厚さ 2.5mm である。各電氣的特性において圧電定数 d_{33} は d_{33} メータ、静電容量 C_p は LRC メータによって計測された。

表 1 より無添加 PZT 素子に比べ Nb 添加 PZT 素子、La 添加 PZT 素子ともに発電能力を示す圧電定数は 5~6 倍に向上していることがわかる。さらに La 添加 PZT 素子は Nb 添加 PZT 素子に比べ電氣的特性が約 1.13 倍向上していることから、PZT 素子に La を添加することで Nb を添加する場合より電氣的特性がさらに向上することが確認された。

次に、La 添加 PZT 素子の動荷重に対する発電特性を把握するために振動発電実験が行われた。図 2 に振動発電実験に用いた振動発電実験装置の構造と主要な構成部材を示す。振動発電装置は、振動台からの動荷重を伝達する加力治具、PZT 素子を固定する圧電素子固定装置及び PZT 素子に作用する動荷重を計測する荷重計からなる。この装置を用いて La 添加 PZT 素子に作用する初期圧縮荷重(1KN)を保持したまま振動台を動作させて、正弦波動荷重を与える加振実験を行った。振動発電実験では、La 添加 PZT 素子および Nb 添加 PZT 素子の 2 ケースの振動発電実験が行われ、両者の振動発電特性が比較された。振動発電実験の結果として、各 PZT 素子の加振振動数及び動荷重に対する発生電力の関係を図 3 に示す。以上の実験結果より、以下のことが明らかにされた。

La 添加 PZT 素子の動荷重に対する発生電力は Nb 添加 PZT 素子を上回り、同加振条件の Nb 添加 PZT 素子に比べ約 1.3 倍の電力が得られた。

(2) 積層 PZT 素子の高出力化及び発電特性の把握

上記(1)で開発した La 1.0mol% 添加 PZT 素子を用いてさらに発電特性を向上させるために、この素子を積層化した La 添加積層 PZT 素子を製作した。図 4 に本研究で試作した La 添加 11 層積層 PZT 素子の外観と構造を示す。各 La 添加 PZT 素子は同じ極が向き合うように積み重ねられ、各層の間には直径 16 mm、厚さ 0.2 mm の銅板の電極を挿入し、積層素子の両端部に直径 16 mm、厚さ 2 mm の黄銅電極板を貼り付けた。同じ極の電極同士はリード線により結線され、+極、-極に分けられている。PZT 素子の積層数は前回研究で導出された PZT 素子の発電理論より 11 層を最適積層数とした。本研究では 11 層の La 添加積層 PZT 素子を 5 体製作した。表 2 に La 添加 PZT 素子、La 添加積層 PZT 素子及び先行研究で製作した Nb 添加積層 PZT 素子の電氣的物性値である圧電定数 d_{33} と静電容量 C_p を比較して示す。Nb 添加積層 PZT 素子は今回製作した La 添加積層 PZT 素子と同様の製作方法であり、同一の添加濃度、同じ形状、同寸法、同積層数である。各電氣的物性において圧電定数 d_{33} は d_{33} メータ、静電容量 C_p は LRC メータによって測定を行った。

表 2 より La 添加積層 PZT 素子の電氣的物性は La 添加単層 PZT 素子と比べ、圧電定数 d_{33} が 11.2 倍、静電容量 C_p が 10.3 倍となっており、La 添加 PZT 素子を積層化することにより電氣的物性がおおよそ積層数倍に向上することを確認した。また、La 添加積層 PZT 素子は Nb 添加積層 PZT 素子に比べ圧電定数 d_{33} と静電容量 C_p が約 1.2 倍に向上している。以上より、PZT 素子

表 1 PZT 素子の電氣的特性

Type of PZT element	Piezoelectric constant d_{33} (pC/N)	Capacitance C_p (pF)
La-doped PZT	363.6	978.9
Nb-doped PZT	321.7	898.4
Non-doped PZT (t=2.5mm)	62.2	811.8

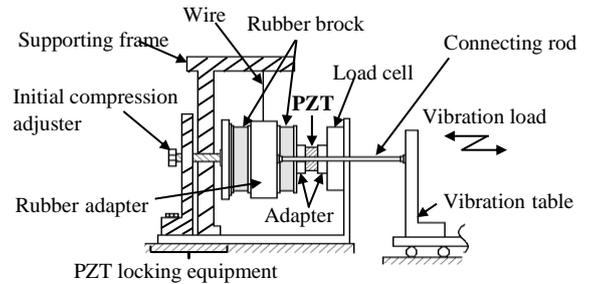


図 2 振動発電実験装置

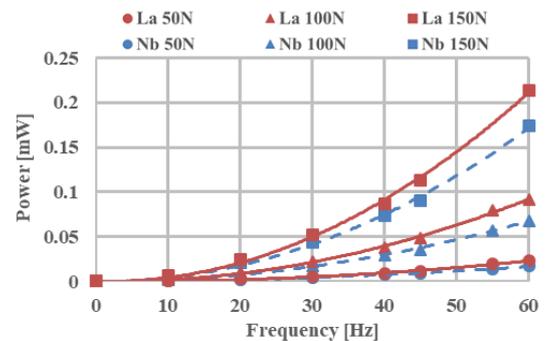


図 3 La 添加 PZT 素子と Nb 添加 PZT 素子の発電特性の比較 (加振振動数及び動荷重が発生電力に及ぼす影響)

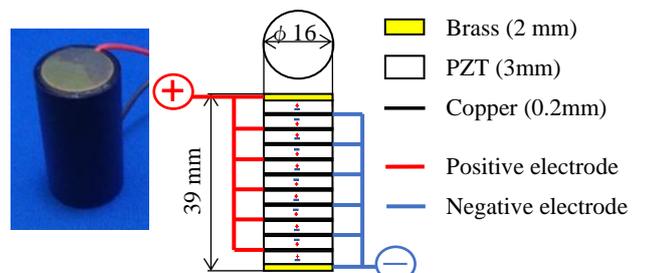


図 4 La 添加積層 PZT 素子の形状および積層構造

表 2 11 層積層 PZT 素子の電氣的特性

Type of PZT element	Piezoelectric constant d_{33} (pC/N)	Capacitance C_p (pF)
La PZT 1-layer	390	1067
La PZT 11-layers	4381	10982
Nb PZT 11-layers	3517	9232

に La を 1.0 mol% 添加し、これを 11 層積層することで発電能力を示す電気的物性が Nb 添加 PZT 素子以上に向上することを確認した。

次に、La 添加 PZT 素子の動荷重に対する発電特性を把握するために振動発電実験が行われた。この実験に用いた実験装置は(1)で用いた装置を用いた。本実験では La 添加積層 PZT 素子及び Nb 添加積層 PZT 素子の 2 ケースの実験を行い両者の発電特性が比較された。各積層 PZT 素子には振動台加振により正弦波動荷重が与えられた。

振動発電実験の結果として、各積層 PZT 素子の加振振動数及び動荷重に対する発生電力の関係を図 5 に示す。図より各積層 PZT 素子に与える加振振動数が高くなるほど発生電力は増加するが、高振動数になるほど増加率は低くなる。これは素子及び計測用電圧計の回路内インピーダンスの影響により、加振振動数が高くなるほど発電特性は一定の値に収束するためである。この現象は発電理論の予測値とも一致する。La 添加積層 PZT 素子は加振振動数 60 Hz、動荷重が 250 N の場合、3.78 mW となり、同加振条件の Nb 添加積層 PZT 素子に比べ約 1.15 倍の電力が得られた。本実験より、La 添加積層 PZT 素子は高い発電能力を持つことが確認された。

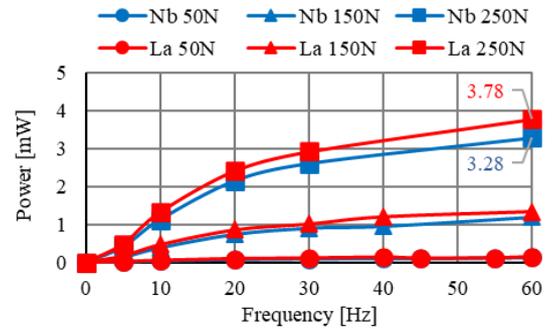


図 5 La 添加積層 PZT 素子と Nb 添加積層 PZT 素子の発電特性の比較 (加振振動数及び動荷重が発生電力に及ぼす影響)

(3) 加速度センサ駆動回路の開発及び設備状態監視システムの構築

本研究では、まず、適用する加速度センサの検討を行い、無線加速度センサとして市販のセンサの中でも省電力かつ利便性に優れた Mono Wireless 社の TWELITE-2525A を選定した。選定理由は、市販センサであるため信頼性とコストに優れていること及び無線デジタル通信型でケーブルレスであるため設備の故障や事故に対して冗長性が高いこと、である。このセンサの主な仕様は、計測軸数：3 軸 (x、y、z 軸)、出力：デジタル出力、動作電圧：DC 2.0 V~3.6 V、計測周期：10 ms、加速度分解能：0.04 m/s² (±2g max。の場合)、通信方式：2.4 GHz IEEE 802.15.4 準拠、サイズ:25×25×10 mm である。無線加速度センサから送信された加速度時刻歴データは、約 2 m 離れた収録用パソコンに接続された受信機(Mono Wireless 製 MONOSTICK-B)により受信する。本センサの加速度サンプリングタイムは 10 ms と少々粗いが、機械設備の加速度モニタリングに用いるためであれば、適用可能な計測性能と考えられる。さらに、この加速度センサ及び加速度データ無線送信を安定して駆動する駆動回路を設計、試作を行った。図 6 に発電素子、駆動回路、駆動デバイスから構成される無線型加速度状態監視システムの構成を示す。左側 (PZT) が振動を発生する設備に発電素子 4 体を並列設置した場合の発電素子、中央部 (Driving circuit) が省電力の無線加速度センサ駆動回路、右側 (Drive device) が駆動対象の無線加速度センサである。この無線加速度センサ駆動回路は、非周期的な外部振動によって発電素子から発生した断続的な出力電圧を、高効率でセンサに必要な一定の駆動電圧を制御・供給できる。4 体並列の La 添加積層 PZT 素子から発生した交流電圧は、整流回路・平滑化用コンデンサ C_T (47 μ F) により整流・平滑化された後、最初に制御用コンデンサ (47 μ F) を充電して制御回路を駆動させ、その制御回路によって、スイッチ素子によりメイン蓄電用コンデンサ C_M 、サブ蓄電用コンデンサ C_S (コンデンサ容量 1000 μ F) へ振り分けられる。メイン蓄電用コンデンサ C_M へ一定レベルの電荷を蓄電すると、蓄電した電荷が出力され、定電圧回路 (Linear Technology Corp. 製 LTC3588-1) を介して出力電圧を 3.3 V に定電圧化した後、加速度センサに電力を供給する。この回路構成と自律的な制御によって、発電素子である La 添加積層 PZT 素子から発生する非周期的な電圧でも加速度センサを効率よく駆動できるようになる。

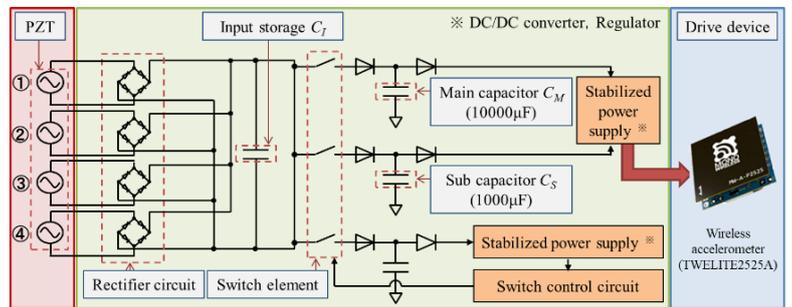


図 6 無線加速度状態監視システムの構成

(4) 設備状態監視システムの実証

設備状態監視システムの適用性確認及び実証試験として実際の産業設備であるコンプレッサにこのシステムを適用した場合の試験結果について報告する。

① 試験方法

図 7 に本実験で振動源として用いた小型汎用エアコンプレッサの外観を示す。このエアコンプレッサは全長 955mm

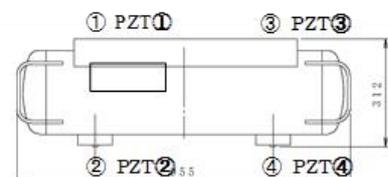


図 7 エアコンプレッサと PZT 素子設置位置

×幅 312 mm ×高さ 700 mm、質量 67 kg の小型汎用エアコンプレッサである。このエアコンプレッサは①～④の支持脚(キャスター)で支持されている。空気の圧縮方法はレシプロ式であり振動発電の振動源として利用できる。また、La 添加積層 PZT 素子は①～④の支持脚の足下に設置している。図 8 に La 添加積層 PZT 素子をエアコンプレッサ支持脚の足下に設置するための固定治具とその設置構造を示す。このような La 添加積層 PZT 素子を組み込んだ固定治具 4 体を図 7 に示されているエアコンプレッサの支持脚①～④と床との間に設置した。

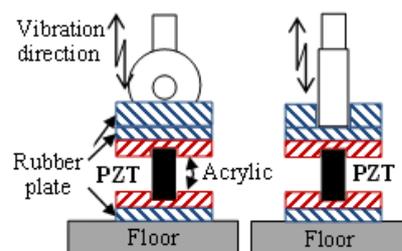


図 8 積層 PZT 素子設置方法

本報告では、適用した無線加速度状態監視システム(図 6)の無線加速度センサ駆動回路 (Driving circuit) のメイン蓄電用コンデンサ C_M のコンデンサ容量が $10000\mu\text{F}$ の場合について報告する。

図 7 に示したエアコンプレッサ起動させ、その足下に 4 体並列設置した La 添加積層 PZT 素子にエアコンプレッサから発生する動荷重を与えて振動発電を行い、さらに無線加速度センサ駆動回路を介してそれぞれの発電素子から発生する電力を無線加速度センサに供給しこれを駆動させる実験が行われた。

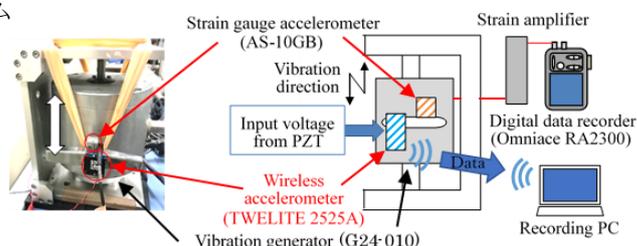


図 9 計測対象の起振機と加速度計測方法

②計測方法

図 9 に本実験で加速度計測対象とした起振機と計測方法を示す。起振機の振動子は図中の鉛直方向に正弦波振動しており、その側面に無線加速度センサと比較検証のためのひずみゲージ型加速度計(10G 計)が取り付けられた。ここで、起振機の振動は振動数 20 Hz、加速度約 2.5 m/s^2 とした。無線加速度センサから送信された加速度時刻歴データは、約 2 m 離れた収録用パソコンに接続された受信機(MONOSTICK-B)によりデジタルデータとして受信する。ひずみゲージ型加速度計からの出力電圧はデジタル電圧計により計測を行う。ひずみゲージ型加速度計のサンプリングタイムは 1 ms で収録した。

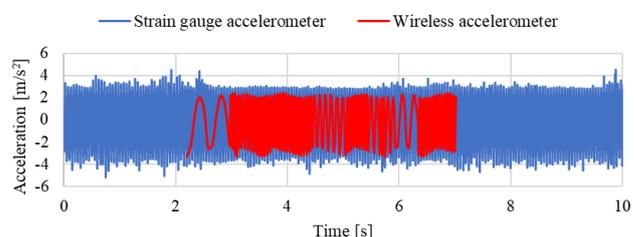


図 10 無線加速度センサと歪み型加速度計の計測時刻歴の比較

③実証試験結果

本実験では、エアコンプレッサを連続駆動させた。その際のエアコンプレッサに発生する振動は 19.7Hz であった。このエアコンプレッサの振動により 4 体の La 添加積層 PZT 素子の発生した電力を推定すると 0.3mW 程度と思われる。この実験より、982.2 秒間隔で 5.14 秒間の無線加速度センサへの電力供給が繰り返されていることが確認された。図 10 に無線加速度センサから加速度データがデジタル値として受信された時の加速度時刻歴とひずみゲージ型加速度計による加速度時刻歴の計測結果の比較を示す。さらに、この図の時間軸を拡大した図として図 11 に時刻 $t = 3.3 \sim 4.3 \text{ sec}$ 間の両加速度の時刻歴を示す。この図より、両加速度時刻歴は周期、振幅共にほぼ一致している。La 添加積層 PZT 素子を電源とした無線加速度センサのサンプリング周期が 10 ms と粗いために若干の誤差はあるが、振動周期や加速度値は正常に計測されていることが確認された。

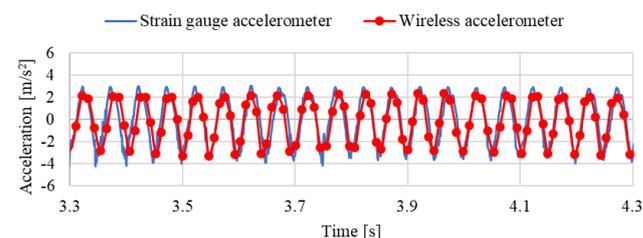


図 11 無線加速度センサと歪み型加速度計の計測時刻歴の比較 (時刻歴拡大)

以上の結果から、本実験で用いたエアコンプレッサは小型であるため動荷重は小さいが、発電体として La 添加積層 PZT 素子を用いると無線加速度モニタリングシステムを正常に駆動させることができることが確認できた。

大型設備を用いてより大きな振動条件を得られる環境や、複数の設備に La 添加積層 PZT 素子を多データえ付け、これらの発生電力を集約させることができる環境があれば、無線加速度モニタリングシステムの駆動特性はさらに改善されると考えられる。

(5)結論

小型エアコンプレッサを振動源とした La 添加積層 PZT 素子を電源とした自律型無線加速度モニタリングシステムは、無線加速度センサを正常駆動させるための電力を供給でき、安定して加速度計測が行えることが確認され、無線型の設備状態監視システムの適用性を実証できた。以上より、本研究目的である産業設備用の冗長性の高い状態監視手法を開発することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 小島翔, 藤本滋, 一木正聡	4. 巻 140
2. 論文標題 La添加積層PZT素子を用いた振動発電による無線加速度センサの駆動特性評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E (センサ・マイクロマシン部門誌)	6. 最初と最後の頁 328-335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.140.328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 小島翔, 藤本滋, 諸星陽裕, 一木正聡	4. 巻 139
2. 論文標題 La 添加 PZT 素子の発電特性評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 323-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.139.323	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 藤本滋, 小島翔, 一木正聡	4. 巻 141
2. 論文標題 La添加積層型PZT素子を電源とした自立型無線加速度モニタリングシステムの実証試験	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会論文誌E	6. 最初と最後の頁 356-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejsmas.141.356	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤本滋, 一木正聡
2. 発表標題 La添加積層型PZT素子を電源とした 自律型加速度モニタリングシステムの実証実験
3. 学会等名 Dynamics and Design conference 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島翔、藤本滋、一木正聡
2. 発表標題 La添加積層型PZT素子を電源とした自立型無線加速度モニタリングシステムの実証試験
3. 学会等名 第36回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本 滋, 小島 翔, 一木 正聡
2. 発表標題 La添加積層型圧電素子の発電特性および 最適負荷インピーダンスに関する検討
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島翔, 藤本滋, 一木正聡
2. 発表標題 La添加積層型圧電素子を用いた振動発電による加速度センサの駆動実験
3. 学会等名 Dynamics and Design Conference 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島翔, 藤本滋, 一木正聡
2. 発表標題 La添加積層PZT素子を用いた振動発電による 無線加速度センサの駆動特性評価
3. 学会等名 第35回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小島翔, 藤本滋, 一木正聡, 諸星陽裕
2. 発表標題 La添加PZT素子の発電特性評価
3. 学会等名 第34回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小島翔, 藤本滋, 一木正聡, 諸星陽裕
2. 発表標題 La添加積層型PZT素子の発電特性
3. 学会等名 日本機械学会 関東支部 第25期総会・講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	一木 正聡 (Ichiki Masaaki) (00267395)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・副研究センター長 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------