

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：21401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00290

研究課題名(和文) ピエゾ極限センサを用いたインフラ構造物の簡易自律型健全性モニタリングシステム

研究課題名(英文) Simple autonomous health monitoring system for infrastructure structures using piezo limit sensors

研究代表者

下井 信浩 (SHIMOI, Nobuhiro)

秋田県立大学・システム科学技術学部・教授

研究者番号：10300542

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 28,600,000円

研究成果の概要(和文)：鉄骨造建築物の柱脚の接合部に注目し、長期的かつ安価で簡便に構造物の健全性を計測可能にするモニタリングシステムの開発を行なった。接合部の変位やボルト締結部に注目しその健全性をモニタリングするための簡易計測の可能なセンサ開発に注力した。溶接接合では溶接時の熱影響から接合部周辺に硬化と同時に脆性が生じる問題、さらに鋼材強度が増すと延性・韌性が下がり疲労亀裂の発生から、疲労強度が低下するという一般的課題も存在する。研究代表者らが開発した構造物の柱脚における健全性モニタリングシステムは、パッシブ型であるオリジナルのピエゾ複合センサの出力から構造物の変位量予測が可能な様に設計されている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現状のインフラ構造物の維持管理費は多額であり、管理責任者の国や地方自治体の予算では全ての構造物の安全管理は不可能である。構造物の健全性計測は国民の生命・財産を守るために抱える共通の重要課題である。本研究成果は、建設後50年以上経過するインフラ構造物を安全に使用するためのモニタリング技術、その計測システムに使用するセンサ、健全性を可視化可能にする情報処理の研究にある。老朽化した橋梁等を安心・安全に利用し、物流経路を確保するためにも実施効果は非常に大きく、国民の生活基盤の確保に大きく寄与した研究成果である。

研究成果の概要(英文)： After the huge earthquake many steel structures were constructed using frame welded joints of welded construction and welded base. However, in order to achieve practical utilization of new sensors, both accumulation of data and evaluation method to derive information about structural conditions from the measured data is highly required. To solve such a problem, we would like to measure the structure by health monitoring using a piezoelectric composite sensor. In this study, measurements output voltage because using piezoelectric composite sensors, we recorded the sensor characteristics during measuring robot measurement because of changes in the thickness and shape of the base plate of the piezoelectric composite sensor. Structural FEM for sensor analysis is also introduced to evaluate the mechanism and influence of various environmental factors on the response of the structures.

研究分野：計測技術とそのセンサ開発

キーワード：Anchor bolt Deformed bar Health monitoring, Piezoelectric sensor Steel weld joint Piezoelectric filme

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

わが国では建設後 50 年以上が経過し老朽化した橋梁や溶接接合による鋼鉄を用いたインフラ構造物が多数存在する。しかし、実生活においては耐用年数をすでに経過した橋梁などの使用を余儀なくされている状況でもあり、これらの構造物の崩壊・崩落などの危険状態をいち早く察知することが必要となる。鋼製橋脚基部の中埋めコンクリート部や鋼桁上フランジ RC 床版中に埋設した添接部においては、損傷した摩擦接合用高力六角ボルトの取り替えには、コンクリート掘削や RC 床版上の掘削を余儀なくされるため、工事が見送られ交換されず経過観測のみに終わり、事後に破損原因となることもある。また、溶接接合では溶接時の熱影響から接合部周辺に硬化と同時に脆性が生じたり、鋼材強度が増すと延性・靱性が下がり疲労亀裂が発生したりすることから、疲労強度が低下し、接合部に変位が生まれて破壊へ繋がる。

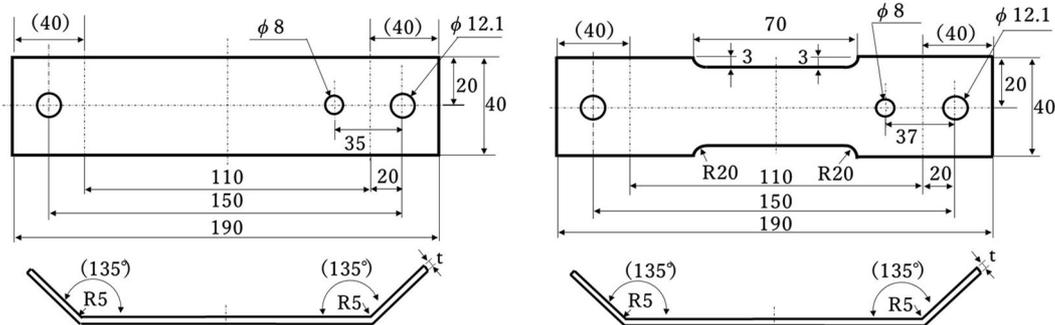
### 2. 研究の目的

(1) piezoelectric composite sensor base plate shape improvement, sensor output characteristics evaluation by FEM analysis. (2) piezoelectric composite sensor characteristics measurement using a robot for non-destructive testing. (3) verification of displacement measurement (5~10mm) at column base joint using piezoelectric composite sensor. (4) selection of optimal base plate thickness and comparison of performance between actual test and robot measurement results.

### 3. 研究の方法

#### (1) 長期計測技術のためのセンサ検討

本研究では 5 種類の厚さのベース金属板を用いて 2 種類の形状の piezoelectric composite sensor をそれぞれ試作し、各センサへ加力を与えた際の出力強度を比較検討した。Fig. 1 (a) に A 型のセンサベース板の形状、Fig. 1 (b) に A 型を改良した B 型のセンサベース板の形状を示す。これまでに実施した A 型 piezoelectric composite sensor の特性試験結果では、板厚 1.6 mm と板厚 2.0 mm のセンサが計測条件を概ね満たしていたが<sup>6)</sup>、引張荷重時と圧縮荷重時ではセンサ出力値の大きさにムラが生じていた。そこでセンサに懸かる変形応力をセンサ中央部に集中させ、引張試験と圧縮試験の両試験において均一的なセンサ出力を得ることを期待して B 型 piezoelectric composite sensor の形状を考案した。Fig. 2 に piezoelectric composite sensor の構成を示す。(a) は A 型 piezoelectric composite sensor、(b) は B 型 piezoelectric composite sensor である。piezoelectric composite sensor は 16×73 mm の piezoelectric film (タコエレクトロニクス社: DT2-028K/L) および 25×75×1 mm の硬質板ガラスを紫外線硬化型接着剤 (ヘンケルジャパン: ロックタイト 3851) によりベース金属板に接着固定した構造であり、ガラス板は piezoelectric film の剥離や劣化防止も目的としている。圧電素子である piezoelectric film は自ら電力を発生するため、野外計測で使用する際にも測定用の電源は不要なため非常に利便的である。センサのベース金属板には 40×190 mm の一般圧延鋼板を使用し、本研究においては板厚 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.3 mm の 5 種類を比較した。ベース板は 12.1 mm のボルト締結用穴 2 個と 8.0 mm のケーブルダクト用穴を開けた後、両端 40 mm を 135 度で折り曲げている。この形状により角形鋼管柱の直角の溶接面に対して piezoelectric composite sensor を 45 度の角度で取付け可能となる。この柱脚接合部位に変形が生じると、柱脚に固定した piezoelectric composite sensor のベース金属板の塑性変形が起こり、ベース金属板に接着したガラス板が破損する。それと同時に検出部である piezoelectric film



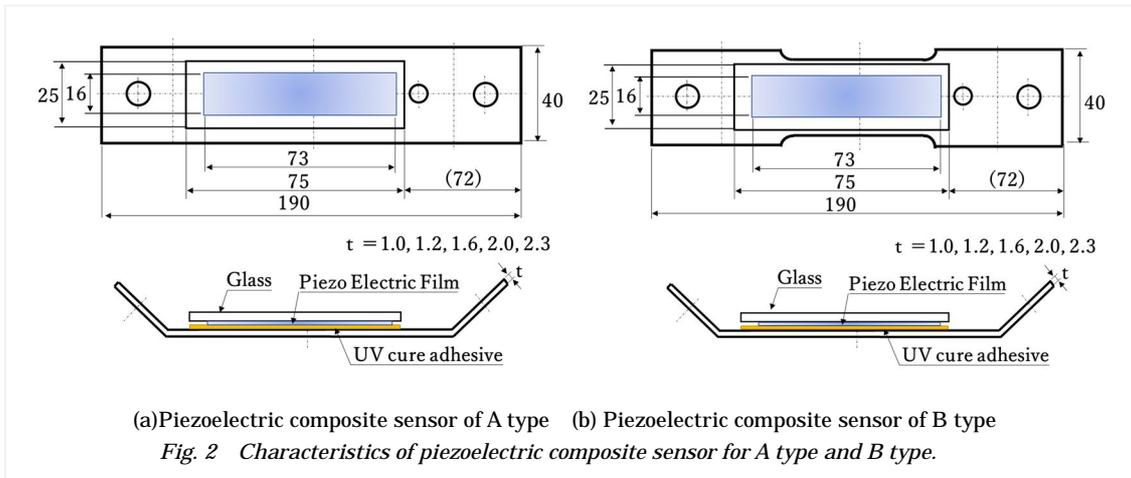
(a) Piezoelectric composite sensor base plate of A type (b) Piezoelectric composite sensor base plate of B type

Fig. 1 Details of the shape and dimensions of the piezoelectric composite sensor for A type and B type.

ムが衝撃を受けてセンサ出力を発生する原理である。つまり、金属とガラスの降伏点の違いから紫外線硬化型接着剤によるガラス板の密着性が失われ、 piezofilm の電圧出力が生じる 7) 。構造物の溶接接合部が健全な状態であり異常変位や異常振動などが無い場合は、 piezofilm に出力は生じない。

## (2) FEM 解析

A 型 piezoelectric composite sensor と B 型 piezoelectric composite sensor の FEM 解析を行い、センサベース板の形状が荷



重による応力がどのように影響されるか検討した。本研究において引張試験とは溶接接合部に設置したセンサが外側に反る方向に加力を与えた試験、圧縮試験とはセンサが内側に屈曲する方向に加力を与えた試験と定義する。Fig. 3 にセンサのベース板厚 2.0 mm の A 型センサおよび B 型センサの FEM 解析結果を示す A 型センサの場合、Fig. 3 (a) の引張試験では加力が分散してしまいセンサベース板中央部の塑性変形を大きくできない問題点が認められた。また、(b) の圧縮試験においてもセンサ中央部に加力を集中させることが難しいと予想される。一方、B 型センサの場合、(c) の引張試験では A 型センサの FEM 解析結果よりもセンサ中央部に塑性変形が集中しており、改良設計した効果が認められた。(d) の圧縮試験においても、A 型センサの結果とは異なりセンサ中央部に加力が集中していたことから、B 型センサでは引張試験および圧縮試験の両試験においてセンサ出力が均一化される予想が得られた。

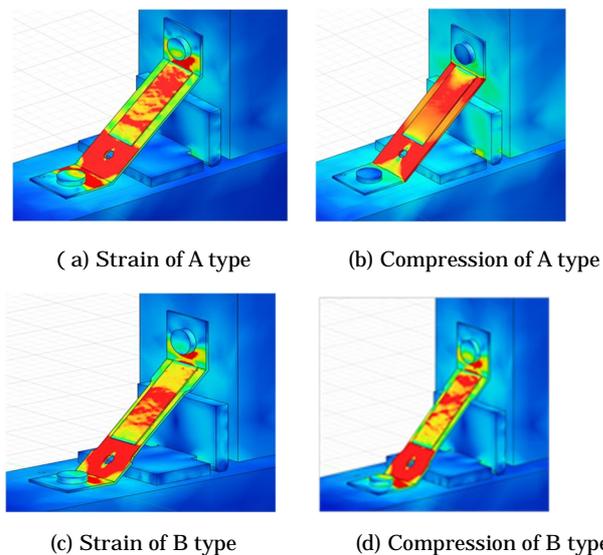


Fig. 3 Simulation of piezoelectric composite sensors A type and B type for difference of displacement pitch by FEM ( $t = 2$ )

## (3) センサ特性計測ロボットを用いた測定技術の検討

### 計測ロボット SALLY

新規モニタリング用センサの開発段階において、これまでは Fig. 4 (a) のように構造物の溶接接合部を模した実装用の鉄骨造 T 型試験体を外注製作していた。T 型試験体の接合部に試作センサを取り付け、支柱を傾斜させて接合部を損傷させる破壊試験によりセンサ出力強度などの特性データを得ていた。しかしこの方法は効率が悪く、2 種類のセンサの出力特性を得るだけでも丸 1 日を要していた。そこで筆者らは、センサ出力特性試験の効率を向上させるための計測ロボット SALLY を製作した。このロボットによる定量的なセンサ単体の計測試験を可能にした。SALLY の装置構成を Fig. 4 (b) に示す。SALLY は筆者が設計し、部品加工および組立・電装はベンチャー企業に依頼した。なお、筆者らは以前からロボットの設計・製作の実績があり、人道的対地雷探知ロボット (COMET- ) の開発はその代表例である<sup>15)</sup>。SALLY は支柱接合部の変

直角に対応した piezo 複合センサ出力を計測するロボットである。700×450×300 mm のコンパクトサイズで、駆動パルスモータ、支柱、ロードセル、変位計、センサ取付台に加え、制御用 PC およびロガー計測器で構成される。支柱を傾斜させることにより支柱取付部の角度が変化することから、構造物の溶接接合部の破壊時における任意の変形角を模擬することが可能である。SALLY の支柱取付部に piezo 複合センサを固定した後、パルスモータにより支柱頂部へ加力を与え、その荷重に応じて支柱が傾いた際のセンサ出力を計測する。制御用 PC によりモータの正転・逆転が速度約 1.6 mm / 秒で実施可能であり、センサ取付台を正面にして支柱が左に傾斜するモータ正回転を圧縮試験（+ 方向の加力）、その逆回転を引張試験（- 方向の加力）とする。SALLY は支柱を繰り返し傾斜させることが可能なためコストパフォーマンスも優れており、1 つのセンサ出力特性を約 20 分で測定可能である。ロードセルによる加力測定および変位計による変位計測も可能であり、計測したセンサ出力、加力、変位を試験日時やファイル番号とともにロガー計測器にリアルタイムで記録する。

### 計測比較

Fig. 1 に示した A 型と B 型の両 piezo 複合センサを用いて、SALLY による最大 1000 N の加力時におけるセンサ出力を計測した。センサ取付台に板厚 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.3 mm の各 piezo 複合センサを M12 ボルトで固定し、支柱頂部への加力により圧縮試験と引張試験を各 3 回ずつ実施した（センサ 10 種 × 2 方向加力 × 各 3 回 = 計 60 回）。センサ出力と同時に加力と変位も計測し、最大変位 12 mm、計測データサンプリングは 100 Hz とした。

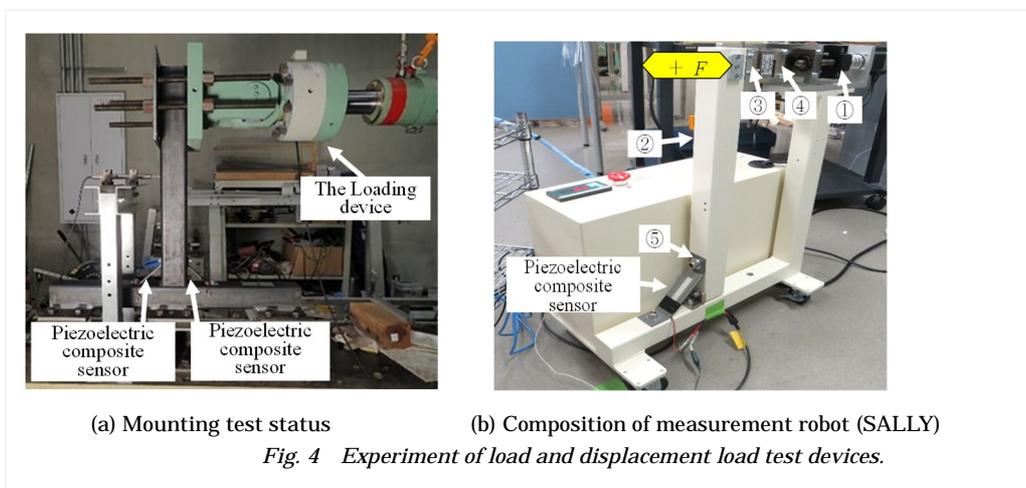


Fig. 4 Experiment of load and displacement load test devices.

## 4. 研究成果

### (1) ロボット計測の結果

Table 1 に SALLY を用いた引張試験と圧縮試験による各ベース板厚の A 型 piezo 複合センサの出力特性計測の結果をまとめた。変位量およびセンサ出力の最大値と最小値を示す。同様に Table 2 に B 型 piezo 複合センサの測定結果を示す。

### (2) 数値計算と実計測による変位量の検討

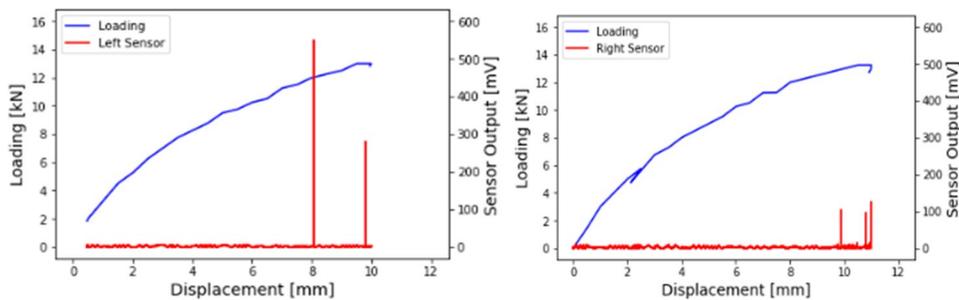
構造物の溶接接合部位を模した Fig. 4 (a) の鉄骨造 T 型試験体を用いて実装試験を行った。試験体の支柱接合部の両サイドにベース板厚 2.0 mm の A 型 piezo 複合センサ 7) を設置し、油圧ジャッキで支柱頂部へ水平加力を与えた際のセンサ出力、加力、変位量を計測した。加力は - 方向に与え、支柱接合部の左側に設置した A 型センサを引張側、右側に設置した A 型センサを圧縮側とした。加力時の荷重は油圧ジャッキに設置したロードセルで計測し、加力と変位は 1 Hz で記録した。本実験においては危険防止のために試験装置は最大加力から約 2 分経過後に停止した。Fig. 6 に加力と支柱頂部の変位量およびセンサ出力結果を示す。Fig. 5 (a) の引張側の piezo 複合センサでは加力約 12 kN、変位 8 mm のときにセンサ出力約 580 mV があり、加力 13 kN、変位 9.8 mm のときにセンサ出力 300 mV を記録した。Fig. 6 (b) の圧縮側の piezo 複合センサにおいては加力約 12.5 kN、変位 9.8 mm のときにセンサ出力約 120 mV、加力 13 kN、変位 11 mm のときにセンサ出力 130 mV を記録した。いずれも T 型試験体溶接部の「完全破壊の手前」と「破壊時」におけるセンサ出力が明確であったが、圧縮側の A 型 piezo 複合センサ出力は小さく、引張側のセンサ出力は大きくなることが認められた。

Table 1 Sensor A type output in strain test and compression test for changes in base plate thickness by Sally. (Average of 3 times each)

Base plate thickness (mm)	Strain test			Compression test		
	Displacement (mm)		Sensor output (mV)	Displacement (mm)		Sensor output (mV)
	Min	Max	Min ~ Max	Min	Max	Min ~ Max
1.0	3.3	7.5	50 ~ 200	6.5	7.0	30 ~ 550
1.2	3.3	7.8	70 ~ 200	10.8	11.3	20 ~ 550
1.6	8.3	9.3	50 ~ 90	9.3	10.1	40 ~ 200
2.0	7.8	10.5	50 ~ 100	8.8	11.0	80 ~ 110
2.3	8.8	9.5	30 ~ 80	8.0	8.8	30 ~ 80

Table 2 Sensor B type output in strain test and compression test for changes in base plate thickness by Sally. (Average of 3 times each)

Base plate thickness (mm)	Strain test			Compression test		
	Displacement (mm)		Sensor Output (mV)	Displacement (mm)		Sensor output (mV)
	Min	Max	Min ~ Max	Min	Max	Min ~ Max
1.0	1.2	2.5	10 ~ 120	5.8	7.8	10 ~ 180
1.2	2.0	5.5	40 ~ 350	6.8	9.5	100 ~ 190
1.6	4.8	9.5	200 ~ 300	9.5	11.0	20 ~ 350
2.0	6.0	7.8	100 ~ 550	6.8	10.2	70 ~ 200
2.3	5.5	11.0	30 ~ 550	8.8	9.0	80 ~ 410



(a) Strain of A type

(b) Compression of A type

Fig. 5 Relation between displacement and piezoelectric composite sensor output by mounting test. (Sensor base plate: 2.0 mm).

## 参考文献

- 1) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来・インフラメンテナンス情報，[https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html). (2018)
- 2) 三浦，見波，西川，松村：暮坪陸橋の塩害による損傷と対策 3 補強後の載荷試験と長期監視体制，橋梁と基礎，28，39/47 (1994)
- 3) 土木学会コンクリート委員会：垂井高架橋の損傷に関する調査特別委員会最終報告書 (2008)
- 4) 今井，成原，川端，高山，木村，青野，亀田：鉄骨造露出形柱脚「ネジベース工法」の開発，大成建設技術センター技報，39，1/6 (2006)
- 5) 望月，豊田，森，久保：低温変態溶接材料による溶接継手の残留応力と疲労強度の関係，溶接学会全国大会講演概要，72，242/243 (2003)
- 6) 下井，Cuadra，中正：ピエゾ接合センサを用いた柱脚の溶接部における変位測定比較，計測自動制御学会論文集，57-5，253/259 (2021)
- 7) Shimoi and Nakasho: Sally, a Robot for Measuring Piezoelectric Joint Sensor Characteristics, Research & Development, 1-1, 25/30 (2020)
- 8) 玉井宏章：変動軸力の影響を考慮した露出柱脚付骨組の弾塑性解析法，日本建築学会構造系論文集，68-571，127/135 (2003)
- 9) Shimoi, Nishida, Obata, Nakasho, Madokoro and Cuadra: Comparison of displacement measurements in exposed type column base using piezoelectric dynamic sensors and static sensors, American Journal of Remote Sensing, 4-5, 23/32 (2016)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 Nobuhiro Shimoi, Kazuhisa Nakasho and Carlos Cuadra,	4. 巻 Vol.7
2. 論文標題 Comparison of Sensor Output Because Base Plate Thickness and Shape Change of Piezoelectric Composite Sensor for Long-term Measurement	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 American Journal of Science, Engineering and Technology,	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.ajset.20220703.17	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 Nobuhiro Shimoi, Kazuhisa Nakasho, and Carlos Cuadra,	4. 巻 Vol.10
2. 論文標題 Sensor Characteristics Attributable to Base Plate Thickness of Piezo-Composite Sensors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Engineering and Applications	6. 最初と最後の頁 105-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.ijmea.20221005.12	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 下井信浩, 中正和久	4. 巻 Vol.58
2. 論文標題 ピエゾモニタリングセンサの計測用ロボット (SALLY) の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集	6. 最初と最後の頁 215-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.58.245	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 平賀圭悟, 鈴木敦詞, 木村祥裕, 下井信浩	4. 巻 Vol.44
2. 論文標題 クロソイド型ずれ止めを有する合成梁要素試験体の繰り返し性状	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 691-696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Atsushi Suzuki, Wang Liao, Daiki Shibata, Yuki Yoshino, Yoshihiro Kimura and Nobhiro Shimoï,	4. 巻 13
2. 論文標題 Structural Damage Detection Technique of Secondary Building Components using Piezoelectric Sensors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Buildings 2023	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/buildings13092368	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 Nobuhiro Shimoï, Kazuhisa Nakasho, Carlos Cuadra	4. 巻 7
2. 論文標題 Piezoelectric Joint Sensors Shape to Sensor Response Characteristics by FEM Analysis and Measuring Result	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering	6. 最初と最後の頁 1~7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.jccee.20220701.11,	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 下井信浩, 中正和久	4. 巻 58
2. 論文標題 ピエゾモニタリングセンサの計測用ロボット (SALLY) の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測自動制御学会論文集, SICETR-D-21-00056R2	6. 最初と最後の頁 245-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.9746/sicetr.58.245	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 Shimoï Nobuhiro, Cuadra Carlos, Madokoro Hirokazu, Nakasho Kazuhisa	4. 巻 8
2. 論文標題 Comparison of Displacement Measurements and Simulation on Fillet Weld of Steel Column Base	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Mechanical Engineering and Applications	6. 最初と最後の頁 111~117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.ijmea.20200805.11	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 該当する

1. 著者名 Nobuhiro Shimoi, Carlos Cuadra, Hirokazu Madokoro and Kazuhisa Nakasho,	4. 巻 9
2. 論文標題 Comparison in Displacement Measurements for Fillet Weld of Steel Column Base by Using Piezoelectric Joint Sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Science and Engineering Investigations	6. 最初と最後の頁 99-103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsemecj.2020.J19203	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 該当する

1. 著者名 Nobuhiro Shimoi, Carlos Cuadra, Hirokazu Madokoro and Kazuhisa Nakasho,	4. 巻 11
2. 論文標題 Sally, a Robot for Measuring Piezoelectric Joint Sensor Characteristics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research & Development by Science Publishing Group	6. 最初と最後の頁 25-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.rd.20200101.13	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 該当する

1. 著者名 Nobuhiro Shimoi, Yu Yamauch, Kazuhisa Nakasho,	4. 巻 11
2. 論文標題 Preventive Work and Health Monitoring for Technology by Cracks of Concrete Surface Using Coating Type Resin Sensor	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 International Journal of Sensors and Sensor Networks	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11648/j.ijssn.20231101.11	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8件(うち招待講演 8件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 下井信浩, 山内悠, 中正和久
2. 発表標題 長期計測用ピエゾ複合センサのベース板厚と形状変化によるセンサ出力の比較
3. 学会等名 日本機械学会2022年度年次大会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平賀圭悟, 鈴木敦詞, 木村祥裕, 下井信浩
2. 発表標題 クローン型ずれ止めを有する合成梁要素試験体の繰り返し性状
3. 学会等名 コンクリート工学年次講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下井信浩, 中正和久, クアドラ カルロス
2. 発表標題 ロボット (SALLY) による piezo 接合センサの板厚変化による変位とセンサ出力の比較計測
3. 学会等名 日本機械学会2021年度年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下井信浩, 中正和久
2. 発表標題 piezo モニタリングセンサの計測用ロボット SALLY
3. 学会等名 計測自動制御学会, 第38回センシングフォーラム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shimoi Nobuhiro, Cusdara Carlos, kanno Hideto
2. 発表標題 Mechanical Analysis of a Piezoelectric Sensor Used for Damage Detection in a Steel Structure Joint
3. 学会等名 9th International Conference on Safety and Security Engineering IX (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 C. Cuadra, N. Shimoï,
2. 発表標題 Response of a piezoelectric sensor designed for health monitoring of a welded steel joint
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sandai, Japan, paper ID 3f-0018, Online Poster Session (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 C. Cuadra and N. Shimoï
2. 発表標題 Response of a piezoelectric sensor designed for helth monitoring of a welded steel joint
3. 学会等名 The 17th World Conference on Earthquake Engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下井信浩, クアドラ カルロス, 間所洋和, 中正和久
2. 発表標題 ピエゾ極限センサを用いた柱脚の溶接部における変位測定比較
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 下井信浩	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本工業出版株式会社	5. 総ページ数 5
3. 書名 検査技術	

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計2件

産業財産権の名称 モニタリング装置	発明者 下井信浩	権利者 秋田県立大学
産業財産権の種類、番号 特許、6963333号	取得年 2021年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 モニタリング装置及びこれを用いた見守りシステム	発明者 下井信浩	権利者 秋田県立大学
産業財産権の種類、番号 特許、6847462号	取得年 2021年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

鉄骨造構造物の健全性計測技術（ピエゾ接合センサ） <a href="http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/research">http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/research</a> 橋 <a href="http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/research">http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/research</a> Structure Steel frame (Piezoelectric joint sensor) <a href="http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/en/research/structure-health-monitoring/steel-frame">http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/en/research/structure-health-monitoring/steel-frame</a> Early detection system for avalanches <a href="http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/en/research/avalanche/avalanche">http://www.akita-pu.ac.jp/robotics/en/research/avalanche/avalanche</a>
--

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	菅野 秀人 (Kno Hideto) (20336449)	秋田県立大学・システム科学技術学部・教授  (21401)	
研究分担者	CUADRA CARLOS (Cuadra Carlos) (30302194)	秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授  (21401)	
研究分担者	中正 和久 (Nakasho Kazuhisa) (40780242)	山口大学・大学院創成科学研究科・准教授  (15501)	
研究分担者	木村 祥裕 (Kimura Yoshihiro) (60280997)	東北大学・工学研究科・教授  (11301)	

6. 研究組織（つづき）

	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	間所 洋和  (Madokoro Hirokazu)  (10373218)	秋田県立大学・システム科学技術学部・准教授    (21401)	削除：2021年5月11日

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