

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K03907

研究課題名（和文）樹脂歯車のかみ合い振動と損傷情報の回収・加工による人工知能学習用データ集合の創生

研究課題名（英文）Generation of data set for artificial intelligence learning by collecting and processing meshing vibration and failure information of plastic gears

研究代表者

射場 大輔（Iba, Daisuke）

京都工芸繊維大学・機械工学系・教授

研究者番号：10402984

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、樹脂歯車の状態を表す各種データ（かみ合い振動、歯元き裂画像等）の回収を行い、大量かつ多様な教師データを自動生成するシステムの開発を行った。かみ合い振動を画像化して人工知能で学習・解析し、歯元き裂の発生を検知することが可能となった。また、歯元き裂発生直前に生じる予兆の検知に取り組んだ。測定したかみ合い振動を周波数帯域毎に分解し、樹脂歯車の運転試験の経過とバンド毎の周波数応答の変化を調査した結果、いくつかの周波数帯で、歯元き裂発生前に変化が生じている現象を確認した。その特徴を変化点として捉えて人工知能用の学習データのラベルとして使用する方法を提案し、歯元き裂発生の予兆検知を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

天然の資源に変わり、世界の産業や経済を牽引する広義な意味での新しい資源は「情報」であるとされる。機械要素である歯車においても、「情報資源」を掘り当てて回収・加工し、それを利用する新しい方法の創造が求められている。そこで本研究では樹脂歯車を対象に、資源として樹脂歯車の状態を表す諸量（かみ合い振動や歯元のみ裂画像）を自動回収するシステムを開発し、回収した情報から創成した学習用データセットを深層構造を持つ人工知能に学習させることによって、歯車の振動情報のみから損傷検知及び損傷モードの分類を行うシステムを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this study, I have developed a system that automatically generates a large amount of teacher data by collecting various data (engagement vibration, tooth crack images, etc.) that represent the condition of plastic gears. It has become possible to detect the occurrence of tooth cracks by imaging the meshing vibration and learning and analyzing it with artificial intelligence. I also worked on the detection of signs that occur immediately before the occurrence of a tooth crack. As a result of decomposing the measured meshing vibration for each frequency band and investigating the progress of the operation test of the resin gear and the change in the frequency response for each band, changes occurred in some frequency bands before the occurrence of tooth cracks. I confirmed the phenomenon. I proposed a method of using this feature as a change point and using it as a label for learning data for artificial intelligence, and detected signs of tooth cracks.

研究分野：歯車振動

キーワード：歯車 かみ合い振動 人工知能 損傷検知

1. 研究開始当初の背景

自動車、そして飛行機などを代表とする輸送機械、また生産設備や発電プラントには、高速で回転する歯車や軸などの機械要素が動力伝達機構として使われており、こうした機械要素の損傷は大きな事故や過大な不良品発生に発展する恐れがあるため、その健全性をモニタリングすることは、非常に重要な課題となっている。こうした故障を防ぐため、「損傷検知」システムを開発しようとする研究が、日本に限らず世界各国で行われており、多くのヘルスマニタリングシステムが提案されてきた。金属歯車の損傷検知を行うための方法についても数多く報告されており、その中でも回転中の歯車から発生する振動を解析する手法は古くから行われている。例えば、嶋田らは運転中の金属歯車対から発生する噛み合い振動を計測し、その波形をマハラノビス・タグチ法により健全・不健全な状態に分類する方法を検討している。また、Chenらは同様にギアボックスに取り付けた加速度センサからの情報をサポートベクトルマシンにより分類し、その健全性の評価を行う方法を提案している。これら提案手法では、材料の許容応力以上の曲げ応力が歯元に作用した際に発生するき裂の検知に始まり、歯面のピット発生による応答の変化を捉えることが可能である。このように金属歯車の損傷検知や損傷モードを推定するための研究が盛んに行われている。

こうした研究動向と並行して、金属歯車の新たな損傷モードについての研究も進められている。これは、高強度材料の開発に伴い、高い接触面圧によって歯面に生じたピットを起点にき裂が進展し、従来の歯元き裂による損傷とは異なる例があると報告されたことから、その新しい損傷モードを再現するための材料試験機の開発を行い、その損傷発生要因の特定を行おうとする研究である。新たな損傷モードの報告については樹脂歯車の分野においても同様であり、従来の歯元曲げ応力に起因する損傷モードや熱の影響による特性変化（膨張・収縮や熱劣化）に加え、材料開発や繊維強化によって強度が向上するに従い、これまで無かった損傷モードが報告されるようになり、損傷形態の多様化が進んでいるといえる。ところが金属歯車とは異なり、樹脂歯車の運転試験によって得られる噛み合い振動のデータを分析し、これらの従来からの損傷形態や新しい損傷形態と照らし合わせて分類する研究は申請者が知る限りは非常に少なく、樹脂歯車の運転中に異常を検知し、複雑化した損傷モードを分類するための有効な方法が提案されているとは言い難い。

その一方で、近年、機械の故障診断に応用可能な人工知能に大きな関心が寄せられており、実用化に対して期待が高まっている。これは、2012年にILSVRC(Imagenet Large Scale Visual Recognition Challenge)で勝利したトロント大学のSuperVisionに採用された深層学習と呼ばれる機械学習の方法が、人工知能に関する研究分野、特に画像認識の分野の発展に大きく貢献したことを起点としている。この深層学習の手法を取り入れた人工知能に関連するニュースとして、Google DeepMindによって開発されたAlphaGoが世界トップ棋士である柯潔に勝利したことが2017年5月に報道されたことは記憶に新しい。この報道のように、今現在、最も世界中の様々な分野から注目されている技術が深層学習を伴った人工知能（ディープニューラルネットワーク）であり、機械の故障診断の分野においても例外ではない。深層学習の手法を利用した人工知能を回転機械の故障診断に応用する研究が報告され始めており、運転中の振動データから様々な故障モードの検知が可能であることが示されてきた。このように、人工知能を用いれば樹脂歯車の故障に関連した特徴量の抽出を高い精度で行うことが可能であると言える。

ところが、人工知能がその能力を発揮するためには正解・不正解のラベル付けがなされた多様で大量な教師データによる学習が欠かせない。言い換えると、こうした人工知能による機械の故障診断において一番重要なものは、人工知能の学習のために必要となるデータセット（集合）の創生であり、大量に情報を回収し、そして得られた情報を加工することで学習に適した資源に変換して保存しておく必要がある。すなわち、原油が精製工程を得てガソリンなどの利用価値の高い製品へと変化する過程と同様に、大量の情報はただ集めるだけでは利用価値が低く、回収した情報から適切な学習用のデータを準備することができなければ折角の人工知能もその機能を十分に発揮することはできない。そのため、樹脂歯車の損傷モードを検知・分類する人工知能を開発するためには、樹脂歯車の運転試験から噛み合い振動やかみ合い部の温度等のデータを回収するとともに、発生している損傷を検知して形態を分類し、さらにその度合いを定量化した後に振動や温度情報と関連付けするシステムを構成することで、歯車の運転状況を考慮した多様で大量の学習用データセット（教師データ）を自動的に生成する手法の確立が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、樹脂歯車のかみ合い振動データを人工知能で解析することで、歯車に発生する損傷モードを分類してその損傷度合いを評価するために、樹脂歯車の状態を表す諸量（噛み合い振動、噛み合い部近傍の温度、高速度カメラを利用した歯車側面からの画像）の回収を行い、回収した情報が有効に活用できるように処理を施して、人工知能の学習にとって不可欠な大量かつ多様な教師データを自動生成するシステムの開発を行うことを目的とする。

特に、手書き文字の画像判別等に用いられるディープニューラルネットワークを歯車の損傷検知・分類を行う人工知能として利用することを想定し、回収した噛み合い振動情報は画像化す

る。また、運転中に歯車側面から撮影した画像を正常な歯形画像と比較して歯元き裂や歯形の変形に関連した損傷モードの判別を行い、さらにその損傷度合いについて定量化して正解ラベルを作成する。そしてかみ合い振動の画像情報と温度情報に損傷のラベルを自動的に付加することで人工知能学習用のデータセット、すなわち教師データを創成することを試みる。

3. 研究の方法

前述した目的を達成するために、次の課題の解決を本申請の研究開発期間で達成すべき目標とする。

課題1. 樹脂歯車の損傷の分類と損傷度合いの定量化

課題2. 歯車の特徴と運転条件を考慮したかみ合い振動データの画像化

課題3. 振動・温度情報と損傷情報から成る学習データセットの創成と人工知能の実装と学習

課題4. 学習済み人工知能を用いた損傷検知・分類試験の実施

上記の課題に対して次に述べる方法で課題解決に取り組む。まず、課題1について、これまで低速回転用に構成していたデジタルカメラによる歯車観察及び歯元き裂検知システムを、高速度カメラを導入した高速回転仕様に更新する。さらに、取得した画像から、外力の影響によるき裂発生損傷モード検知を行えるようにするため、健全時と非健全時の歯形画像の比較による損傷検知、そして画像解析による損傷の定量化を試みることで損傷ラベルの作成を行う。

課題2に対しては、かみ合い振動のデータをフーリエ変換することで周波数領域のデータに置き換え、得られたデータの周波数情報はかみ合い周波数で除すことで運転条件である軸回転数に依存しない無次元周波数のデータに変換してから、振幅と位相の強度をグレースケールとして表現し、無次元周波数毎に整列させることで画像化する。

課題3・4については、樹脂歯車の耐久試験を様々な運転条件で行い、課題1・2を解決するために準備したシステムを用いて大量の情報資源を回収・加工し、それら情報を組み合わせて多様な学習用データセットを生成する。さらに、Pythonによって画像判別用の人工知能を実装し、作成したデータセットを用いて学習させる。そして、最後に樹脂歯車の耐久試験を新たに実施し、学習した人工知能に対してかみ合い振動の情報のみを与えて損傷検知・分類が可能であるか実証実験を行うことで、創成した学習データセットの有効性を判断する。

4. 研究成果

課題1の「樹脂歯車の損傷の分類と損傷度合いの定量化」の解決による結果となるラベル付された教師データを大量に作成する為に、歯車のかみ合い振動と歯車の損傷状態を評価できるデータを同時に収集できるシステムを構築した。特に今回は歯車の損傷状態として歯元き裂を取り上げ、その発生と進展について高速度カメラを用いることで観察できるシステムを完成させた。また、歯車運転試験機において試験される樹脂歯車を対象に、実際のデータ収集の条件について検討した。

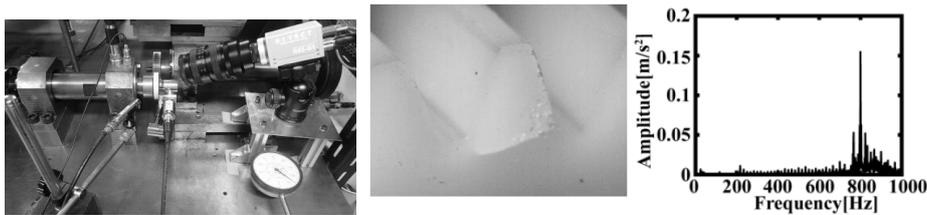


図1. 高速度カメラ画像とかみ合い振動のフーリエ変換結果

まず、歯車の損傷状態を観察する為に、歯車の運転試験機に高速度カメラを設置した。設置した状態を図1に示す。このカメラによって試験中の歯車側面が撮影可能となる。用いる高速度カメラは、ディテクト製の HAS-U1 であり、焦点距離 11.5mm-69mm のズームレンズと、高輝度 LED ストロボ照明を備えている。ストロボ照明はカメラのシャッターと同期することが可能である。この回転軸の外周部に一箇所金属の突起を設け、軸の回転によって移動するその突起の接近を計測するセンサを設置した。これによって軸の回転に同期した周期振動を生成し、その信号に合わせてカメラのシャッターを制御し、歯車側面の画像を取得できるようにした。また、同時に、試験歯車の回転軸を支持する軸受のハウジング部でかみ合い振動データを計測することができる。このシステムを用いて取得した歯車側面画像と振動データをフーリエ変換した結果を図1右に示す。

続いて、高速度カメラから取得した画像に記録された歯車歯元のき裂の有無、そしてき裂長さについての情報を自動的に判定し、画像の分類を行う人工知能 (Convolutional Neural Network: CNN) の開発を行なった。歯元き裂長さを CNN の一つのモデルである VGG16 に学習させた。き裂の進展を ~40%, ~70%, ~100% の 3 段階に分類したものにき裂なし状態を加えた 4 段階のクラスに分類する作業を人工知能で行った結果を図2に示す。図2は奥行き方向に用意した画像が 10%毎のどのクラスに所属しているかを示した軸であり、幅方向に人工知能によって判定された 4 クラスを示す軸を用意し、棒グラフでそれぞれのクラスに属する画像枚数を示して

いる。人工知能で判別される4つのクラスはき裂なしをAクラス、～40%のき裂をBクラス、～70%のき裂をCクラス、～100%のき裂をDクラスとした。この図より、人工知能によって適切にクラス分けが行えていることがわかる。

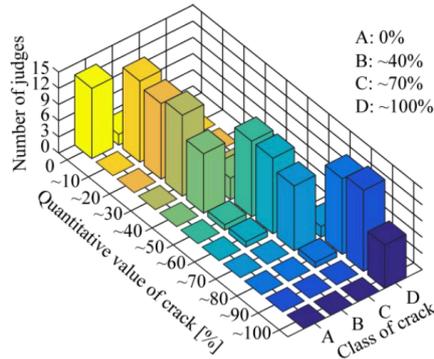


図2. VGG16によるき裂長さの分類

次に課題2「歯車の特徴と運転条件を考慮したかみ合い振動データの画像化」に取り組んだ。前節において述べたように、高速度カメラにより樹脂歯車の画像を撮影すると同時にかみ合い振動のデータを収集可能であり、前述した撮影してラベル付けした画像の枚数と同数の振動データが集積されており、ラベル情報と共に人工知能学習用のデータセットとして利用可能な状態となっている。そこで、CNNによるかみ合い振動解析による樹脂歯車の損傷検知を想定し、取得したかみ合い振動データを画像化して保存する方法について検討した。図3に取得したかみ合い振動データのフーリエ変換した例を示す。

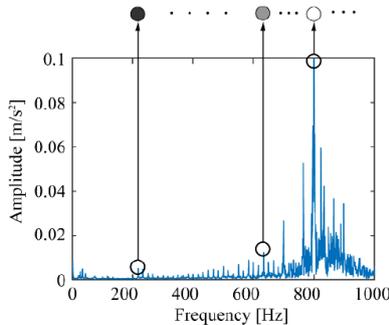


図3. かみ合い振動のフーリエ変換結果

この図から、かみ合い振動データには歯車軸の回転周波数とその高調波成分、そしてかみ合い周波数とその高調波成分が多く含まれていることが確認できる。そこで、軸の回転周波数毎に振幅の最大値を抽出し、それをジグザグに並べることで図4に示すかみ合い振動画像を作成した。画像の左半分が軸の回転周波数毎の振幅データであり、右半分はその位相データとなっている。この図には一段目に健全な樹脂歯車の運転時に得られた振動データを画像化したもの、二段目は歯底の歯幅を100%とした場合、30%のき裂長さになった際に得られた運転時の振動データを画像化したものを示している。

このようにして、樹脂歯車のかみ合い振動データを画像化し、そして各画像に対して、先に導出したき裂長さの情報をラベルとして与えることで、人工知能に与える教師付きの学習データが創成できたことになる。

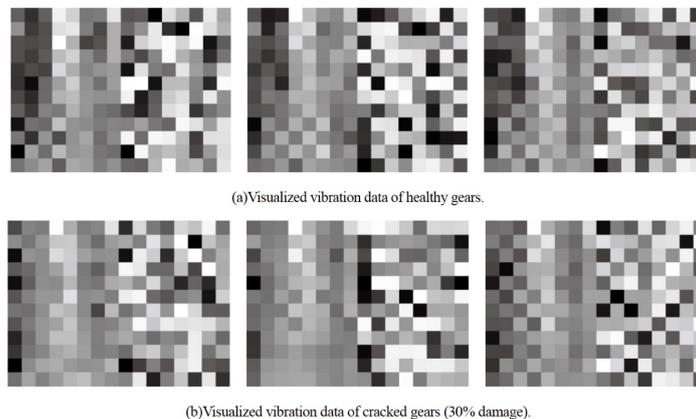


図4. かみ合い振動データの画像化

続いて、課題3「振動・温度情報と損傷情報から成る学習データセットの創成と人工知能の実装と学習」と課題4「学習済み人工知能を用いた損傷検知・分類試験の実地」に取り組むため、CNN モデルの一つである VGG16 を用いてき裂の有無を自動で判定するために、創成した教師付きのデータセットを学習させた。開発した歯元き裂検知に特化した人工知能を用いて、運転試験中のき裂有無の判定を行う実験を行なった。学習によって判定精度は 90%を超えているが、誤判定も含まれることから、樹脂歯車の運転試験中に1分毎に10回連続で画像化したかみ合い振動を判定し、一歯折損するまで実験を行なった結果を図5に示す。ここでは4回の運転試験において得られた判定結果を示している。この図において、赤のプロットがき裂有り、青のプロットがき裂無しの判定結果を表しており、垂直に描いた緑の破線は高速度カメラによって歯元き裂が確認できた時間である。この図より、誤判定は含まれるものの、判定結果の傾向を確認することで運転中に歯元き裂の有無が推定できることがわかる。

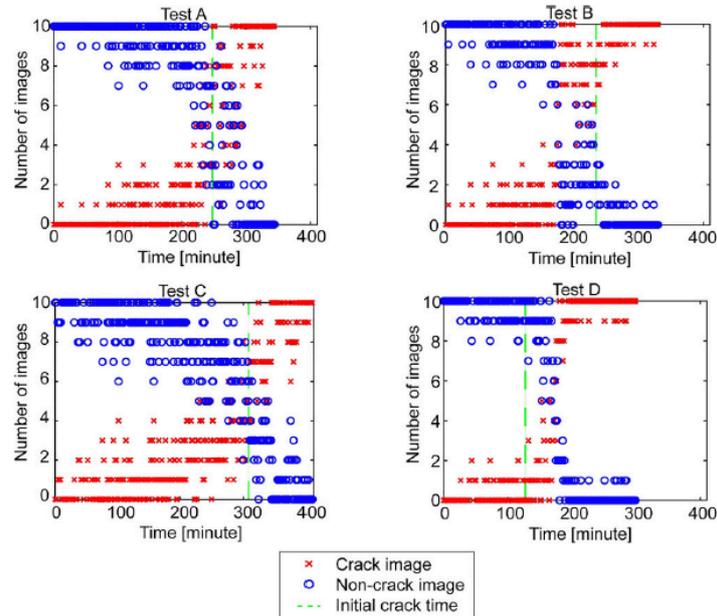


図5. 運転試験中のき裂有無の判定

次に、かみ合い振動データをフーリエ変換した後、周波数帯毎に分割してそれをフーリエ逆変換することで時系列データを再現した。そしてその振幅の変化を周波数帯毎に示したものを図6に示す。

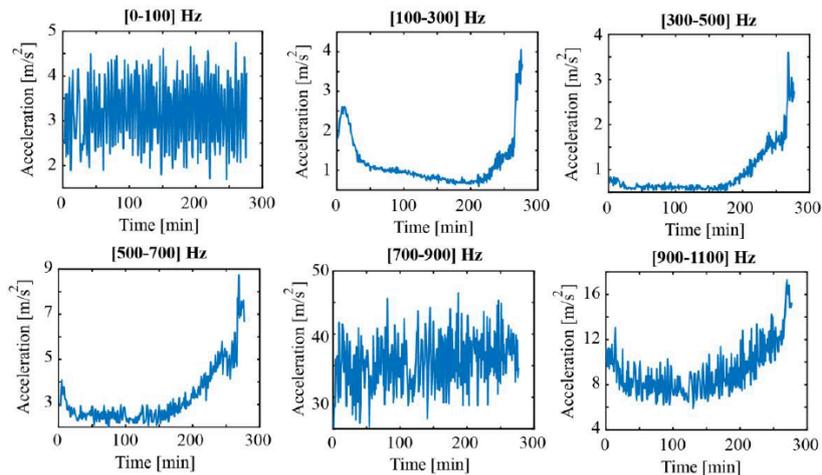


図6. 周波数帯毎のかみ合い振動の振幅変化

この図より、周波数帯毎に振幅の変化に違いがあることが確認できる。特に 100Hz から 700Hz において、運転開始後に一定であった振幅が、き裂発生前の 190 分頃から増加する傾向が顕著であった。現在のところ、この現象を説明するためのかみ合い振動モデル等はないが、これらの周波数を監視することで損傷の予兆検知を可能とするシステムを開発することが可能であると考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 BUI Kien Huy, IBA Daisuke, ISHII Yunosuke, TSUTSUI Yusuke, MIURA Nanako, IIZUKA Takashi, MASUDA Arata, SONE Akira, MORIWAKI Ichiro	4. 巻 14
2. 論文標題 Vibration-based plastic-gear crack detection system using a convolutional neural network - Robust evaluation and performance improvement by re-learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 JAMDSM0035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0035	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 Iba Daisuke, Inoue Hiroki, Noda Hidekatsu, Kim Myongsoo, Moriwaki Ichiro	4. 巻 33
2. 論文標題 Networks of tooth helix deviations of ground and super-finished gears - Phase edges and intensity vertices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 5689 ~ 5697
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s12206-019-1112-5	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 Iba D., Noda H., Inoue H., Kim M., Moriwaki I.	4. 巻 83
2. 論文標題 Visualization of phase differences between tooth helix deviations using graph theory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forschung im Ingenieurwesen	6. 最初と最後の頁 529 ~ 535
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10010-019-00358-1	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 Kien B. H., Iba D., Ishii Y., Tsutsui Y., Miura N., Iizuka T., Masuda A., Sone A., Moriwaki I.	4. 巻 83
2. 論文標題 Crack detection of plastic gears using a convolutional neural network pre-learned from images of meshing vibration data with transfer learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forschung im Ingenieurwesen	6. 最初と最後の頁 645 ~ 653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10010-019-00354-5	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 石井 祐之助, 射場 大輔, 筒井 裕介, 三浦 奈々子, 飯塚 高志, 増田 新, 曾根 彰, 森脇 一郎	4. 巻 85 巻, 871号
2. 論文標題 樹脂歯車のかみ合い振動データと歯元き裂進展の画像の収集	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 18-00285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.18-00285	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 1.Daisuke Iba, Yunosuke Ishii, Yusuke Tsutsui, Nanako Miura, Takashi Iizuka, Arata Masuda, Akira Sone, Ichiro Moriwaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Vibration analysis of a meshing gear pair by neural network (Visualization of meshing vibration and detection of a crack at tooth root by VGG16 with transfer learning)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 10973, Smart Structures and NDE for Energy Systems and Industry 4.0, 109730Y	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2514250	査読の有無 無
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 Y. Ishii, D. Iba, S. Miyamoto, N. Miura, T. Iizuka, A. Masuda, A. Sone, I. Moriwaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Failure detection of plastic gears based on vibration analysis of meshing gear pairs (Generation of training data for failure detection by artificial intelligence)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of International Gear Conference	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) なし	査読の有無 無
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 Bui Huy Kien, Iba Daisuke, Tsutsui Yusuke, Kajihata Aoto, Lei Yu, Miura Nanako, Iizuka Takashi, Masuda Arata, Sone Akira, Moriwaki Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of image size on performance of a plastic gear crack detection system based convolutional neural networks: an experimental study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 11381, Health Monitoring of Structural and Biological Systems XIV, 113812I	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2557977	査読の有無 無
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 Tsutsui Yusuke, Iba D., Kien B. H., Kajihata A., Miura N., Iizuka T., Masuda A., Sone A., Moriwaki I.	4. 巻 88
2. 論文標題 Relationship Between Rotational Angle and Time-Synchronous-Averaged Meshing Vibration of Plastic Gears	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New Advances in Mechanisms, Mechanical Transmissions and Robotics (MTM&Robotics 2020), Mechanisms and Machine Science, vol. 88, Springer	6. 最初と最後の頁 303 ~ 312
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-60076-1_27	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 Taga Daiki, Iba Daisuke, Bui Huy Kien, Tsutsui Yusuke, Miura Nanako, Iizuka Takashi, Masuda Arata, Moriwaki Ichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 An improvement of visualized images from vibration for plastic gear early failure detection using convolutional neural network	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. SPIE 11593, Health Monitoring of Structural and Biological Systems XV, 115932N	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2582637	査読の有無 無
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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Daisuke Iba, Hidekatsu Noda, Hiroki Inoue, Myungsoo Kim and Ichiro Moriwaki
2. 発表標題 Visualization of phase differences between tooth helix deviations using graph theory
3. 学会等名 International Conference on Gears 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Bui Huy Kien, Daisuke Iba, Yusuke Tsutsui, Nanako Miura, Takashi Iizuka, Arata Masuda, Akira Sone and Ichiro Moriwaki
2. 発表標題 Crack detection of plastic gears using a convolutional neural network pre-learned from images of meshing vibration data with transfer learning
3. 学会等名 3rd International Conference on High Performance Plastic Gears 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Inoue, Daisuke Iba, Hidekatsu Noda, Myungsoo Kim and Ichiro Moriwaki
2. 発表標題 Networks of tooth helix deviations of hobbed, grinded and super-finished gears
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Bui Huy Kien, Daisuke Iba, Yunosuke Ishii, Yusuke Tsutsui, Nanako Miura, Takashi Iizuka, Arata Masuda, Akira Sone and Ichiro Moriwaki
2. 発表標題 Robustness evaluation of vibration-based gear crack detection system using a convolutional neural network
3. 学会等名 The 8th International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Iba, Y. Tsutsui, Y. Ishii, B. H. Kien, N. Miura, T. Iizuka, A. Masuda, A. Sone, I. Moriwaki
2. 発表標題 Performance Evaluation of Automatic Labeling System of Crack Length at Tooth Root and Examination of Erroneous Detection
3. 学会等名 IFTOMM WC 2019. Mechanisms and Machine Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井 祐之助, 射場 大輔, 三浦 奈々子, 飯塚 高志, 増田 新, 曾根 彰, 森脇 一郎
2. 発表標題 高速度カメラによって撮影した画像の射影変換を用いた歯元き裂長さの定量化
3. 学会等名 2018年度日本機械学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 野田 英克, 射場 大輔, 金 明洙, 森脇 一郎
2. 発表標題 はずば歯車の歯すじ誤差間の相関係数のグラフ
3. 学会等名 2018年度日本機械学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井 祐之助, 射場 大輔, 宮本 諭, 三浦 奈々子, 飯塚 高志, 増田 新, 曾根 彰, 森脇 一郎
2. 発表標題 かみ合い振動データと歯元き裂進展の画像の自動収集システム
3. 学会等名 日本機械学会機素潤滑設計部門講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 塩田篤, 射場大輔, 井上大暉, 河野 邦俊, 森脇 一郎
2. 発表標題 はずば歯車の歯すじ偏差ネットワークにおける相関係数分布
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kien Huy BUI, Daisuke IBA, Yusuke TSUTSUI, Aoto KAJIHATA, Yue LEI, Nanako MIURA, Takashi IIZUKA, Arata MASUDA, Akira SONE, Ichiro MORIWAKI
2. 発表標題 Vibration-based early detection of plastic gear faults using Fourier decomposition and deep learning
3. 学会等名 Proc. The 15th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC2020) (国際学会)
4. 発表年 2020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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------