

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：56301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06116

研究課題名(和文)人工知能を用いた樹木内部欠陥の非破壊診断装置の製作

研究課題名(英文) Fabrication of nondestructive diagnostic equipment for internal defects of wood using artificial intelligence

研究代表者

和田 直樹 (Wada, Naoki)

新居浜工業高等専門学校・電気情報工学科・特任教授

研究者番号：90632787

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)：携帯型の振動測定装置を製作した。樹木の腐朽空洞を模擬した直径の異なる貫通空洞を加工した丸太の試験体を製作した。それらの振動スペクトル画像から人工知能が大きな空洞を持つ丸太を高精度で判定できることを示した。また、人工乾燥で発生した表面からは見えない大きさが異なる内部割れを持つ建築用角材の試験体を製作した。それらの振動スペクトル画像から人工知能が大きな内部割れを持つ角材を高精度で判定できることを示した。さらに、内部割れ以外にも年輪や節なども含んだ角材の断面画像から内部割れの深さだけを高精度に判定できる人工知能の構造を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

街路樹や公園樹木の倒木による事故が発生している。倒木の恐れがある大きな空洞を持つ樹木を振動測定から人工知能を用いて安価に簡便に判定できる可能性を示した。今後の調査体制の充実による事故防止が期待できる。

建築用木材の構造強度に影響を与えるような外観からは見えない大きな内部割れを振動測定から人工知能を用いて安価に簡便に判定できる可能性を示した。また、木材の断面画像から人工知能が熟練者と同様に内部割れの深さを高精度に判定でき、品質評価における人間の作業負担を大幅に軽減できる可能性を示した。これらは管理体制の充実による高品質な木材流通に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：A portable vibration measuring equipment was fabricated. Test pieces of logs with a through cavity of different diameters simulating a decayed cavity of trees were fabricated. It is shown that artificial intelligence can judge logs with a large cavity from these vibration spectra with high accuracy. In addition, test pieces of timbers for construction with internal cracks of different sizes that were not visible from the surface and which occurred during the artificial drying were fabricated. From these vibration spectra, it is shown that artificial intelligence can judge timbers with large internal cracks with high accuracy. Furthermore, an artificial intelligence structure that can accurately determine the severity of internal cracks from cross-sectional images of timbers that include not only internal cracks but also annual rings and knots are proposed.

研究分野：電子・光デバイス、及び農林水産物の品質評価技術に関する分野

キーワード：樹木 腐朽 空洞 木材 内部割れ 共振周波数 人工知能 非破壊測定

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 樹木

街路樹や公園樹木の倒木や木製遊具の破損による人身事故が発生している。これらの原因は、樹木や木材の外観からは見えない腐朽や劣化によるものである。従来からハンマー打音法、貫入抵抗法、多点式音速法、γ線透過法、電波反射波法などの装置があるが、不正確、破壊法、高価、複雑で測定時間が長いなどの問題があった。そこで、これらの内部欠陥を非破壊に安価に簡便に診断する装置が求められている。

(2) 木材

また本技術は木造建築物で使用する木材の品質管理などにも応用展開が期待できる。人工乾燥した木材に発生する表面からは見えない内部割れによる構造強度の低下が指摘されている。そこで、この内部割れを非破壊に安価に簡便に診断する装置が求められている。

2. 研究の目的

樹木や木材の内部欠陥を非破壊に測定する方法として、低い周波数から高い周波数まで樹木や木材に振動を与えた時に生じる共振特性を用いる。そして安価で簡便な携帯型の振動測定装置を製作して、得られた共振特性から人工知能を用いて、樹木や木材の内部欠陥の程度を簡便かつ正確に判定できるかどうか検証することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 樹木

腐朽による内部空洞を模擬した図 1 に示す試験体を製作した。直径 100mm、長さ 250mm の杉の丸太に貫通空洞を加工している。各形状で 22 本ずつ、合計 110 本の試験体を用意した。図 2 に携帯型の振動測定装置を示す。丸太の中央部を加振して対向面の中央部を受振する。パソコンからの加振信号で小型ボイスコイルを振動させて丸太に振動を与え、圧電素子で加振振動をモニターする。受振振動は、圧電素子で捉えパソコンに入力する。高速フーリエ変換後の受振スペクトルを加振スペクトルで割って丸太正味の振動スペクトルを取得して、これを人工知能への入力とする。人工知能には畳込みニューラルネットワーク (CNN) である MATLAB (MathWorks 社) のディープラーニングツール AlexNet を使用した。



図 1 丸太の試験体の形状

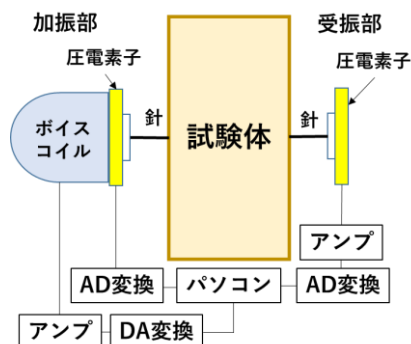


図 2 携帯型振動測定装置

(2) 木材

人工乾燥条件によって内部割れの大きさが異なる図 3 に示すスギ正角材の試験体 (105 mm 角、長さ 200 mm) を合計 136 本用意した。上記の丸太試験体と同様に携帯型の振動測定装置を用いて、1 本の角材で中央部の直交する 2 方向の振動スペクトルを 2 枚測定した。その後、測定位置で角材を切断して断面画像を撮影し、断面積に対する内部割れ部の面積比によって、内部割れの大きさを S、M、L に分類した。

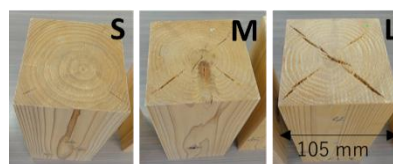


図 3 内部割れの大きさが異なるスギ正角材試験体

4. 研究成果

(1) 樹木

図 4 に、製作した携帯型装置を用いて直径 50mm の空洞を持つ試験体を測定した振動スペク

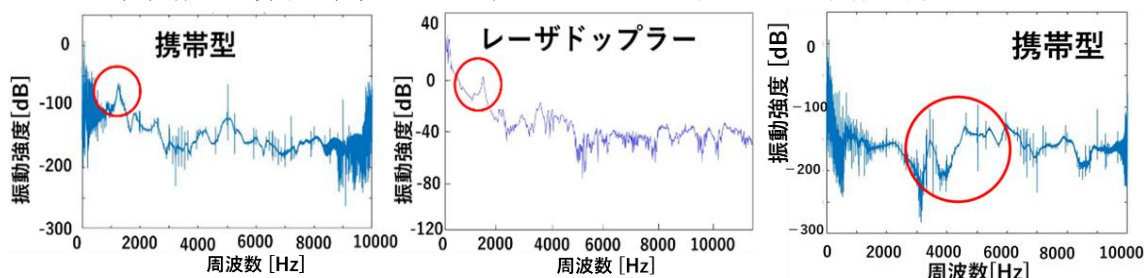


図 4 直径 50mm の空洞を持つ試験体の振動スペクトル (携帯型とレーザドップラー装置との比較)

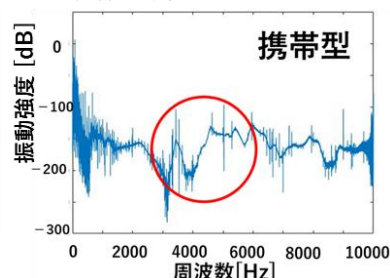


図 5 空洞がない試験体の振動スペクトル

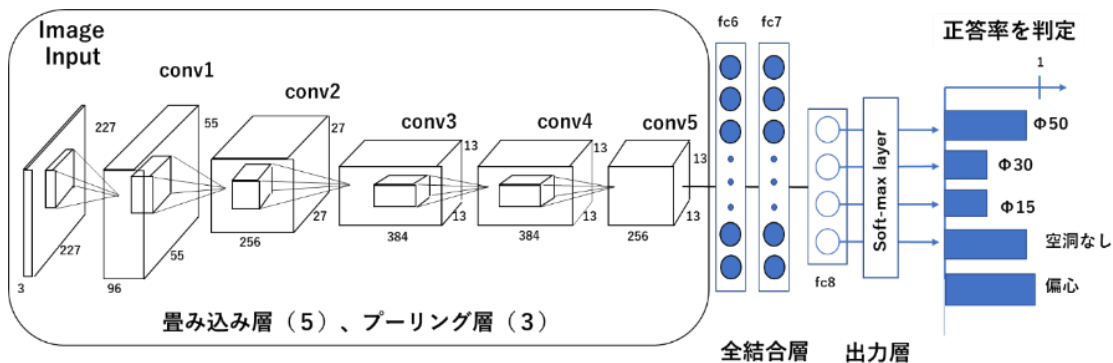


図 6 CNN (AlexNet) の構造

トルを、レーザドップラー振動計を用いた標準的な測定装置の結果と比較して示す。直径 50mm の空洞を持つ試験体は 1200Hz 付近に特徴的な共振ピークが見られる。図 5 に空洞がない試験体の振動スペクトルを示す。空洞がない場合は 4000Hz 付近に特徴的な共振ピークが見られ、それ以下の低周波数側に特徴的なピークは見られない。このように空洞の大きさに対応した共振ピークは 1000 から 4000Hz 程度までに見られ、空洞が大きくなるほど低周波数側にシフトすることが分かった。また、携帯型とレーザドップラー振動計を用いた振動スペクトルを比較すると、これらの特徴的な共振ピークが見られる 1000 から 4000Hz 程度までほぼ同等の振動特性が測定できており、振動測定にこの携帯型装置が使用できることを確認した。

携帯型装置で測定した合計 110 枚の振動スペクトル画像を図 6 に示す CNN (AlexNet) に入力して、図 7 に示す 22 フォールドの交差検定を行った。110 枚の画像の中で 105 枚を学習データに使用し 5 枚をテストデータとした。この交差検定を 10 回繰り返した平均の判定正答率は、空洞直径 50 mm は 85%、30 mm は 40%、15 mm は 40%、空洞無しは 85%、偏心は 90%であった。倒木の恐れがあるような大きな空洞や偏心は、振動特性から人工知能を用いて判定できる可能性を示すことができた。

そこで、松山市城山公園、東温市森の交流センターなどで実際の樹木の樹種、直径、振動スペクトル、断面写真のデータ収集を開始した。現在までに直径の異なるおよそ 20 種類 36 本の樹木を測定できた。図 8 に幹の直径約 400mm、直径約 50mm の偏心貫通空洞を持つツブラジイの断面写真と振動スペクトルを示す。貫通空洞特有の振動スペクトルが測定できている。今後、樹種や直径毎に多くのデータを人工知能に学習させて、樹木の空洞解析を進める必要がある。

(2) 木材

図 9 に正角材試験体の内部割れの大きさとそれに対応した特徴的な振動スペクトルを示す。割れに対応した特徴的な共振ピークが現れ、割れの面積が大きい程共振ピークが低周波数側にシフトしている。1 本の角材で 2 枚の合計 272 枚の振動スペクトル画像を、丸太試験体と同様に CNN に入力して、図 10 に示す 68 フォールドの交差検定を行った。判定正答率は交差検定 10 回の平均で、内部割れの面積 S は 75 %、M は 47 %、L は 100 % であった。正角材の構造強度に影響を及ぼすような大きな内部割れは、振動特性から人工知能を用

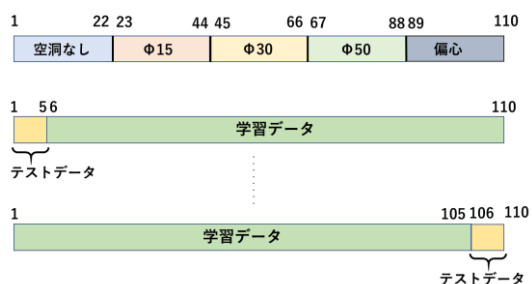


図 7 22 フォールド交差検定

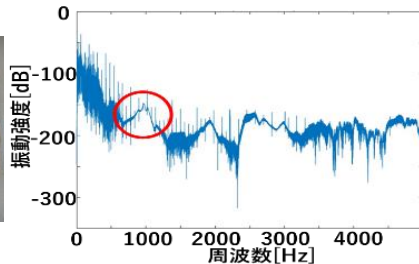


図 8 ツブラジイの断面写真と振動スペクトル

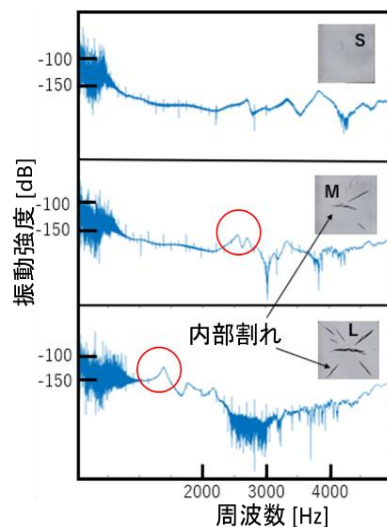


図 9 内部割れの大きさと振動スペクトル

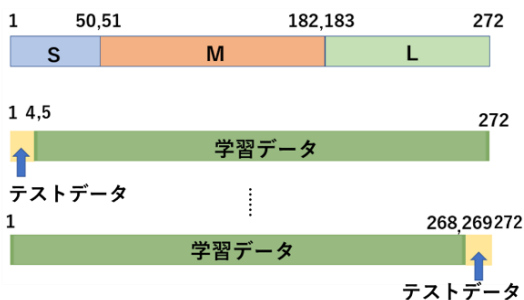


図 10 68 フォールド交差検定

いて判定できる可能性を示すことができた。

(3) 断面画像からの人工知能による木材内部割れ深刻度の自動判定

本研究を遂行する中で新たな研究ニーズがあった。上記の内部割れの大きさの分類には割れ部の面積測定だけを用いた。しかし従来正角材の断面画像から木材強度に影響を及ぼすような内部割れの深刻度を判定する場合に、熟練した人間が内部割れの位置や長さ、面積などを考慮して、大きな労力をかけて判定していた。そこでこの熟練した人間の判定を人工知能で置き換えできないか調べた。

人工乾燥させたスギ正角材（105 mm 角、長さ 3000mm）32本の1本当たりから2つの異なる部分の断面を撮影した合計64枚の断面画像を用いた。これらの画像を、熟練者が図11に示すように内部割れの深刻度によって Good、Neutral、Bad の3段階に分類した。

図12に今回提案したCNNの構造を示す。ResNet50-CNN（Residual Neural Network 50 CNN）を基本構造としている。画像内には内部割れだけでなく誤認識の原因となる年輪や節などが含まれ、かつ画像データ数も少ない。そこで画像の反転や回転を利用した画像拡張を行った。

内部割れの各分類から3枚の画像をテスト用にランダムにサンプリングして、残りを学習用に使用してCNNを評価した。合計20回試行の平均で3段階の深刻度を判定精度87%で分類できた。人工知能を熟練者の置き換えとして使用できる可能性を示すことができた。今後、木材の品質管理における人間の作業負担を大幅に軽減できることが期待できる。

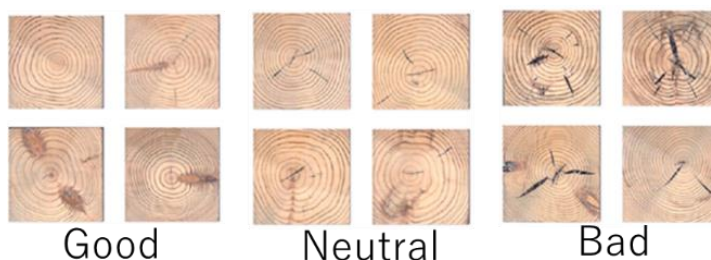


図 11 内部割れ画像の深刻度による分類例

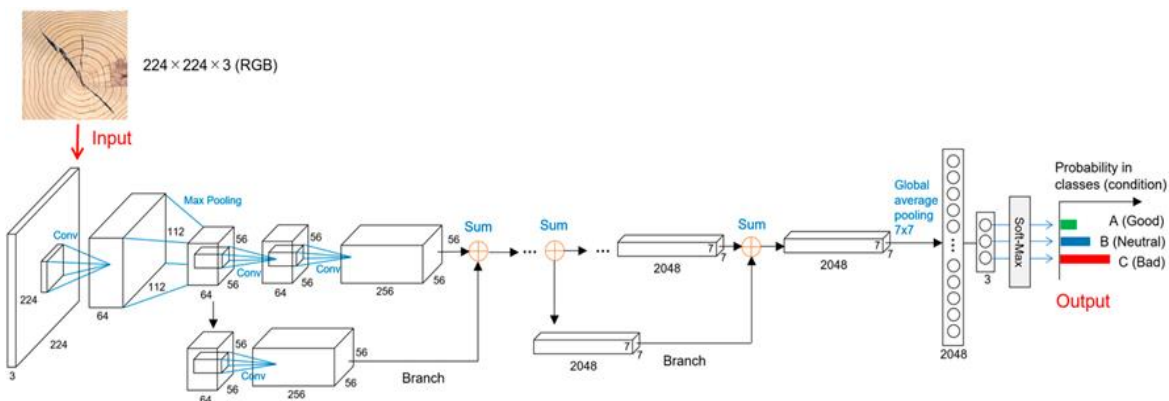


図 12 提案した CNN 構造

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6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 3件）

1. 著者名 Shigeru Kato, Naoki Wada, Kazuki Shiogai, Takashi Tamaki, Tomomichi Kagawa, Renon Toyosaki, Hajime Nobuhara	4. 巻 13(3)、1280
2. 論文標題 Crack Severity Classification from Timber Cross-Sectional Images Using Convolutional Neural Network	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app13031280	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 Shigeru Kato, Hina Yoshizawa, Renon Toyosaki, Naoki Wada, Tomomichi Kagawa, Kazuki Shiogai, Takanori Hino, Hajime Nobuhara, Yukinori Sato	4. 巻 571
2. 論文標題 Study on Apple Texture Measuring Equipment Manipulated with Hand、Lecture Notes in Networks and Systems	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 336-345
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/978-3-031-19945-5_34	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 Shigeru Kato, Naoki Wada, Kazuki Shiogai, Takashi Tamaki, Tomomichi Kagawa, Renon Toyosaki, Hajime Nobuhara	4. 巻 12(16)、8250
2. 論文標題 Automatic Classification of Crack Severity from Cross Section Image of Timber using Simple Convolutional Neural Network	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app12168250	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 Shigeru Kato, Renon Toyosaki, Muneyuki Unehara, Yuuki Kanei, Mitsuru Iwata, Mio Suzuki, Naoki Wada, Tomomichi Kagawa, Kazuki Shiogai, Takanori Hino, Hajime Nobuhara, Yukinori Sato	4. 巻 9(2)
2. 論文標題 Apple Texture Evaluation with Regard to Product Management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transactions on GIGAKU	6. 最初と最後の頁 09014-1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.34468/gigaku.9.2_09014-1	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 Shigeru Kato, Naoki Wada, Kazuki Shiogai, Takashi Tamaki	4. 巻 451
2. 論文標題 Evaluation of the Crack Severity in Squared Timber Using CNN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 441-447
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-99619-2_42	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 Shigeru Kato, Renon Toyosaki, Fuga Kitano, Shunsaku Kume, Naoki Wada, Tomomichi Kagawa, Takanori Hino, Kazuki Shiogai, Yukinori Sato, Muneyuki Unehara, Hajime Nobuhara	4. 巻 451
2. 論文標題 Apple Brand Texture Classification Using Neural Network Model	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 420-430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-99619-2_40	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 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 和田直樹、廣田悠力、塩貝一樹、加藤茂、玉置教司、櫻井直樹
2. 発表標題 角材の振動特性から人工知能を用いた内部割れ評価
3. 学会等名 第73回日本木材学会大会 (福岡)、 B15-P-18
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shigeru Kato, Renon Toyosaki, Kyohei Kondo, Shusaku Nomura, Kai Sasaki, Tomomichi Kagawa, Naoki Wada, Kazuki Shiogai, Hajime Nobuhara, Yukinori Sato
2. 発表標題 Study on Apple 's Texture Considering Peel
3. 学会等名 Proc.of 7th STI-Gigaku, 37 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 廣田悠力、堀内優也、和田直樹、塩貝一樹、加藤茂、玉置教司、櫻井直樹
2. 発表標題 CNNを使った杉角材の内部割れ診断
3. 学会等名 令和4年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会（徳島大学）、7-6
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 和田直樹、山口雄太郎、塩貝一樹、加藤茂、玉置教司、櫻井直樹
2. 発表標題 人工知能を用いた丸太の空洞評価
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会（名古屋、岐阜）、B15-02-1600
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玉置教司、和田直樹、堀内優也、塩貝一樹、加藤茂、櫻井直樹
2. 発表標題 人工知能を用いた角材の内部割れ評価
3. 学会等名 第72回日本木材学会大会（名古屋、岐阜）、B15-02-1545
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shigeru Kato, Renon Toyosaki, Muneyuki Unehara, Yuki Kanei, Mitsuru Iwata, Mio Suzuki, Naoki Wada, Tomomichi Kagawa, Kazuki Shioagai, Takanori Hino, Hajime Nobuhara, Yukinori Sato
2. 発表標題 Study on Apple Texture Evaluation with Regard to Product Management
3. 学会等名 Proc. of 6th STI-Gigaku, 29 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 眞鍋京佑, 山口雄太郎, 堀内優也, 塩貝一樹, 和田直樹, 加藤茂, 玉置教司, 櫻井直樹
2. 発表標題 丸太振動測定装置における大型加振器の検討
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会(香川大学)、7-9
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀内優也, 山口雄太郎, 川人直也, 塩貝一樹, 和田直樹, 加藤茂, 玉置教司
2. 発表標題 CNN を用いた丸太の空洞検出
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会(香川大学)、7-8
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口雄太郎, 堀内優也, 廣田悠力, 塩貝一樹, 和田直樹, 加藤茂, 玉置教司
2. 発表標題 丸太振動測定用携帯型加振受振器の製作
3. 学会等名 令和3年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会(香川大学)、7-4
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shigeru Kato, Tomomichi Kagawa, Naoki Wada, Takanori Hino, Hajime Nobuhara
2. 発表標題 Development of Graduation Research in Food Texture Estimation
3. 学会等名 Proc. of 14th International Symposium on Advances in Technology Education, 1-6 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤茂、北野風雅、萩尾龍星、和田直樹、香川福有、日野孝紀、延原肇
2. 発表標題 CNNの転移学習を用いたリンゴの食感判別
3. 学会等名 第26回 溶接学会四国支部講演大会 講演概要集、 21-22
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川人直也、重松優太、伊藤龍二、加藤茂、塩貝一樹、和田直樹、玉置教司、櫻井直樹
2. 発表標題 CNNを用いた樹木内部の空洞検出
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会（愛媛大学）、15-17
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 酒巻康輝、砂橋雄心、塩貝一樹、加藤茂、和田直樹、香川福有
2. 発表標題 振動と荷重を用いた柑橘果肉食感の高感度測定
3. 学会等名 令和2年度電気・電子・情報関係学会四国支部連合大会（愛媛大学）、15-16
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
研究分担者	加藤 茂 (Kato Shigeru) (00413857)	新居浜工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授 (56301)	

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	塩貝 一樹 (Shiogai Kazuki) (50757664)	新居浜工業高等専門学校・電気情報工学科・講師 (56301)	
研究分担者	玉置 教司 (Tamaki Takashi) (40715728)	愛媛県農林水産研究所・林業研究センター・担当係長 (86302)	

	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
研究協力者	櫻井 直樹 (Sakurai Naoki) (90136010)	広島大学・大学院統合生命科学研究科・特任教授 (15401)	

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