

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06304

研究課題名(和文) ロボット技術を活用した天井部の安全検査手法の実証実験

研究課題名(英文) Visual Inspection Methodology for Ceiling Element Utilizing Robot Technology

研究代表者

仁田 佳宏 (NITTA, YOSHIHIRO)

足利工業大学・工学部・准教授

研究者番号：10318834

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、天井部材および天井ふところ内の設備や部材に対して老朽化や損傷を把握し安全点検を行う手法の確立を目的として、ロボット技術を活用した高所および狭所の安全性の検査手法および検査システムを実用化する。高所に関しては、小型無人飛行船を用いた検査システムを開発し、狭所についてはメカナムホイールを活用した小型検査ロボットによる検査システムを開発した。小型無人飛行船による天井部材の目視検査システム、メカナムホイールを活用した小型検査ロボットによる天井ふところ内の目視検査システムとともに、実構造物を対象とした実証実験を行い、足場などを使用せずに簡便に損傷や老朽化の点検が可能となることを確認している。

研究成果の概要(英文)：The visual inspection methodologies for the ceiling element utilizing the robot technologies are developed in this research. For the inside of the ceiling element, the inspection robot with the mecanum wheels and the Wi-Fi camera is manufactured. And unmanned small blimp robot with the Wi-Fi camera is developed for the ceiling element on the high attitude. These robots can inspect the damage locations and capture the photographic images of the damage condition. These robots also will be able to estimate the damage condition without any process of the engineer's on-site-inspection involved. To demonstrate the capabilities of these inspection robots, the visual inspection for the ceiling of the real structure has been conducted. The results of the application indicates that proposed methodologies can estimate the damages from the captured image and provide valuable information for the repair and maintenance decision making of the damaged ceiling elements.

研究分野：建築構造

キーワード：天井部材 天井ふところ内 目視検査 無人飛行船 検査ロボット メカナムホイール 位置把握

## 1. 研究開始当初の背景

近年、建築構造物の地震被害として、構造部材の損傷だけではなく、天井板や天井ふところ内の設備の落下など天井部分の損傷についても多くの事例が報告され、問題となっている。特に2011年3月11日に発生した東日本大震災においては、工場、鉄道駅舎や空港などで数多くの設備機器を含む天井部分に損傷が生じるとともに、宮城県内の商業施設では、天井内配管の落下による死者が、震源域から離れた東京でも天井板落下による死傷者が生じている。2012年12月には、支持部の老朽化により、高速道トンネル内の天井板が落下し、多くの死傷者が生じている。また人的被害は生じていないものの、2013年7月には、老朽化により屋内プールの天井が落下する事故も生じている。構造部材ではないが、使用者や住人の安全を脅かす可能性の大きい天井部分の安全確認は、損傷が外観から視認できる場合をのぞき、天井ふところ内までも含んだ、構造部材のような積極的な安全性の確認は行われていないことが多い。しかし、天井部材は構造部材より耐震性が低いことが多く、外部からは損傷が視認できなくても、内部で損傷が生じており、余震により大きな被害を生じる可能性が高い。そのため、体育館や大規模施設など震災時に避難施設として使われる施設については、照明や天井ふところ内の設備なども含めて、耐震性の低い天井部分の安全確認は重要である。熊本地震においては、天井部の損傷のため、避難施設としての使用の難しい体育館が複数生じている。このように、天井部材の落下が相次いでいることを受け、国土交通省は「建築物における天井脱落対策試案」を発表し、建築基準法施行令の一部を改正し施行している。また、文部科学省は、子供が常時使用する施設であることや災害時の避難場所となることから、学校施設を対象として、「地震による落下物や転倒物から子どもたちを守るために～学校施設の非構造部材の耐震化ガイドブック」を取り纏め天井部材の点検や耐震化を推奨している。しかし、天井部分は高所であることや天井ふところ内は狭所であることから、点検口からの目視や遠方からの目視により、老朽化や地震による被害状況を確認しており、近接目視や打音検査が行われることは少ないのが現状である。

本研究では、ロボット技術を活用した天井および天井ふところ内の部材や設備の安全点検手法の実用化を行う。既往の研究においてもロボットを用いた検査手法が提案されているが、レスキューロボットや原発など特殊環境を想定したロボットを適用しており、オーバースペックなものが多く、コストも高く、建築・土木分野に適したものはなっていない。そこで、本研究では、天井部分にのみ用いることを想定し、十数万円程度の比較的安価な検査ロボットを開発する。また、損傷した天井に適用することを考慮して、2次災害の危険性を減らすため、3kg 以内の軽量

なロボットとする。

## 2. 研究の目的

本研究は、天井部材および天井ふところ内の設備に対して老朽化や損傷の把握を行い、安全検査を行う手法の確立を目的として、ロボット技術を活用した高所および狭所の安全性の検査手法および検査システムを実用化する。具体的には、高所に関しては、小型無人飛行船を用いた検査システムを開発し、狭所についてはメカナムホイールを活用した小型検査ロボットを用いた検査システムを開発する。小型無人飛行船は、マルチコプターと比較して、軽量であり、飛行速度も低速であることから、落下時の危険性が小さい点に大きな利点がある。メカナムホイールを活用した小型検査ロボットは、全方向移動可能であることから、狭所においても高い運動性能を持ち、天井ふところ内を自在に検査できる利点がある。天井と天井ふところ内の部材や設備に対しての安全検査手法として、小型検査ロボットもしくは無人小型飛行船に搭載した多様なカメラを遠隔操作して、近接目視を行う手法を提案する。本手法は、映像を録画できるため、検査後に再確認できることから、見落としも少なく実用的で簡便な手法と成り得ると考えられる。また、あわせて、ロボットの位置情報把握やロボットが目視できない場合の操作方法も実用化には重要であることから、これらの技術についても開発を行う。本研究のロボット技術を活用した天井および天井ふところ内の部材や設備の安全検査手法を実用化できれば、子供の使用の多い文教施設や震災後の避難施設の安全性の確保に大きく貢献できると考えている。

## 3. 研究の方法

本研究は、天井部材および天井ふところ内の設備に対して老朽化や損傷の把握を行い、安全検査を行う手法の確立を目的として、体育館の天井部材などの高所については、小型無人飛行船を用いた目視検査手法を、狭所となる天井ふところ内については、メカナムホイールを活用した小型検査ロボットを用いる目視検査手法を実用化する。実用化においては、「ロボットの位置情報把握システム」、「操作性を考慮したマンマシンインターフェイス」および「検査ロボットの自動化」に重点を置いて研究を行う。開発した小型無人飛行船による検査システムとメカナムホイールを活用した小型検査ロボットによる検査システムは、神奈川県さがみロボット産業特区のプレ実証フィールドおよび大学構内の複数の構造物を対象として、実証実験を行っている。

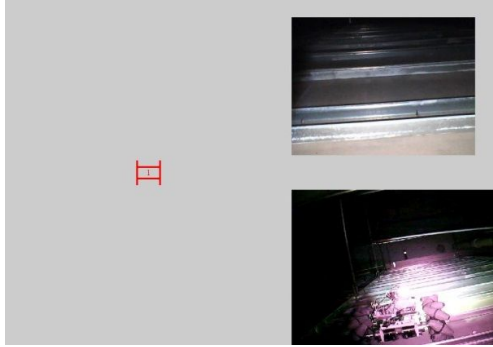
## 4. 研究成果

### (1) 検査ロボット操作システムの開発

天井部材、天井ふところ内を点検するための無人飛行船および小型検査ロボットは、そ



(a) 小型無人飛行船のための操作パネル



(b) 小型検査ロボットのための操作パネル  
Fig.1 検査ロボットのための操作パネル



Fig.2 操作ゲームパッド

それぞれ Fig.1 に示すような操作画面を見ながら、基本的には Android 端末を用いて操作を行う。それぞれの操作画面には、無人飛行船もしくは検査ロボットの現状および検査画像から成っており、検査ロボットの画像から点検箇所および方向が確認できるようになっている。また、「マン マシンインターフェイス」の観点から、より操作を簡便にすることを目的として、Fig.2 に示すようなゲームパッド型の操作装置も開発している。

(2) 小型無人飛行船による目視検査システム

天井や屋根の損傷や老朽化の目視検査に用いる小型無人飛行船は、Wi-Fi カメラを搭載した、市販の直径約 800mm の球状のアルミ風船を活用したものであり、ヘリウムガスを封入することで浮力を確保している。また、操船時における安定性を確保するために、球状のアルミ風船の後部に垂直尾翼を設置している。小型無人飛行船の寸法は幅約 600mm、船体長さ約 850mm、高さ約 800mm、重量は搭載した Wi-Fi カメラを入れて約 250g である。小型無人飛行船を Fig.3 に示す。また、Wi-Fi カメラを搭載していない状態での積載可能重量は、50g 程度である。飛行船底部に動力としてモーター稼働のプロペラを 2 基装備している。動力装置を Fig.2-2 に示す。操船は基本的にオペレーターによるマニュアル操作



Fig.3 目視検査のための小型無人飛行船

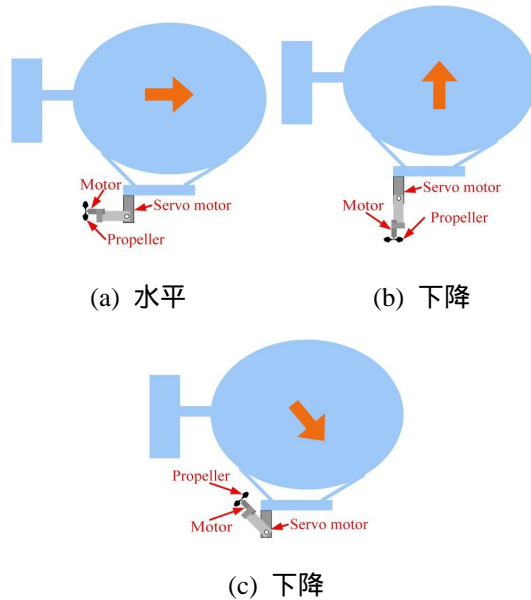
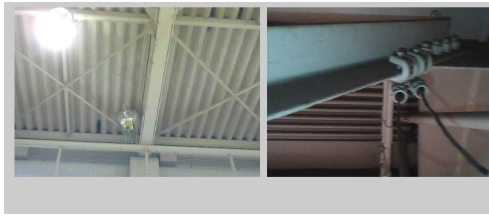
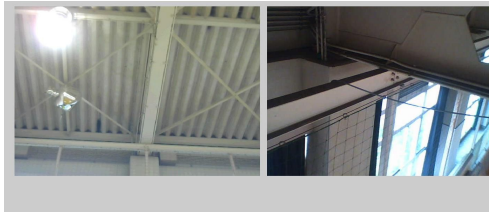


Fig.4 姿勢制御の仕組み

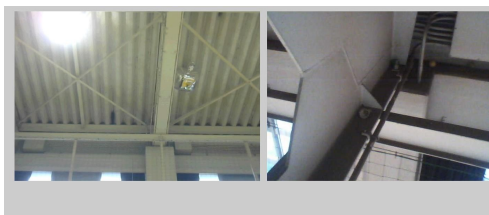
で行う。プロペラの回転を制御することで、前後移動、右旋回および左旋回を行うことが可能であり、プロペラの角度をサーボモーターにより制御することで、上昇および下降が可能となる。操作の姿勢制御の仕組みを Fig.4 に示す。試作した小型無人飛行船の操船可能範囲は、搭載した Bluetooth デバイスの制約から約 20m であり、操船可能時間は 2 本の 3.7V400mAh のリチウムイオンポリマー充電池を用いて約 1 時間程度である。目視検査のための撮影において、天井部は光量が少なく暗いことを想定し、カメラの側面に高輝度 LED を搭載している。小型無人飛行船には、タブレット PC や Android 端末を用いて映像を確認できるネットワークカメラタイプの 30 万画素の Wi-Fi カメラを搭載している。オペレーター兼点検員が係留索を備えた小型無人飛行船を操船しながら、搭載された Wi-Fi カメラの映像をリアルタイムで確認することで目視検査を行う。また、Wi-Fi カメラの映像は、録画もしているので、点検後、録画映像を確認することで目視点検可能である。カメラの角度については、サーボモーターにより上下に移動させることで、



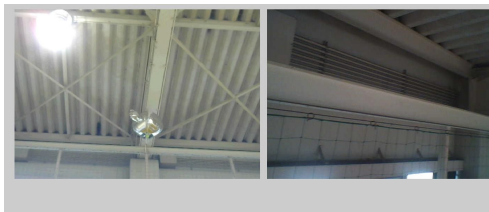
(a) 梁接合部



(b) 梁端部



(c) 柱梁接合部



(d) 梁

Fig.5 目視検査画像

撮影範囲を上下方向に調整可能である。小型無人飛行船の製作コストは、Wi-Fi カメラ、ヘリウムガスを含めて、約4万5千円である。

実証実験は、神奈川県さがみロボット産業特区のプレ実証フィールドの体育館において行った。実証実験では、小型無人飛行船を用いることで、特殊な機材を必要とせず、地震後に検査が必要となる接合部を容易にかつ詳細に検査可能であることを確認することを目的とする。実証実験における目視検査画像を Fig.5 に示す。Fig.5 より、天井の細部や天井部材と柱の接合部分を鮮明に撮影することが可能であり、足場などの特殊機材を必要とせず高所の目視検査を、リアルタイムに行えることが確認できる。

以上の結果から、小型無人飛行船を用いることで、より簡便に天井部の安全検査が行えることを実証した。

### (3) メカナムホイールを活用した小型検査ロボットによる目視検査システム

天井ふところ内の目視検査には、Wi-Fi カメラを搭載したメカナムホイールを活用した小型検査ロボットを用いる。メカナムホイール

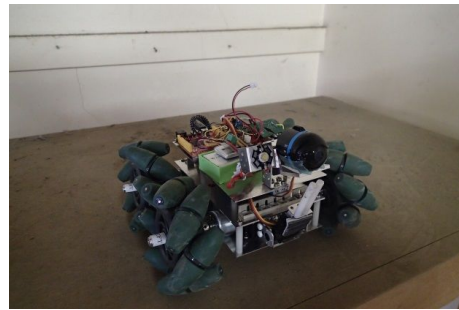


Fig.6 小型検査ロボット

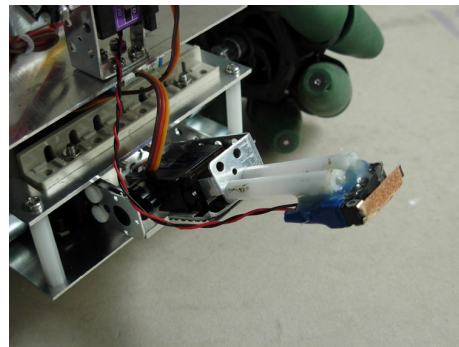
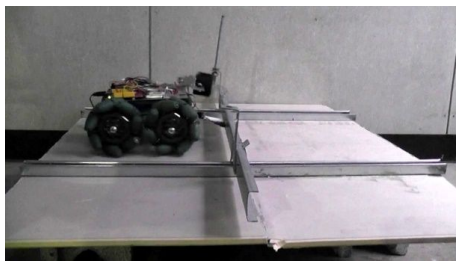


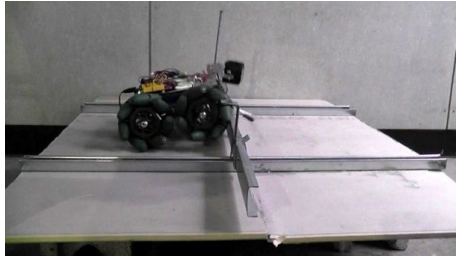
Fig.7 補助アーム

ールを活用した小型検査ロボットは、駆動機構にメカナムホイールを採用しており、前後進、右旋回および左旋回など全方向に自由に移動可能である。寸法は、車長約 280mm、車幅約 260mm、車高約 140mm で、重量は約 2200g である。開発した小型検査ロボットを Fig.6 に示す。試作した小型検査ロボットは、最大で約 74mm の高さまでは乗越えられることを確認している。Fig.7 に示すように機体前部にアームがあり、野縁および野縁受けの乗り越えが困難な場合には野縁受けに接触後、アームを野縁受けに引っ掛けながら押し下げることによって前輪を持ち上げ、野縁を乗越える。また、野縁受けに乗り上げた際に、重心が前方に移動するように、機体の底面に斜め材を取り付けており、野縁受けに乗り上げても、停止せず移動できるように工夫をしている。自動で野縁を乗り越える手順を Fig.8 に示す。目視検査のための撮影において、天井ふところ内は暗所であることを想定し、カメラの側面に高輝度 LED を搭載している。カメラの角度については、カメラの向きをサーボモーターにより上下に移動させることで、撮影範囲を上下方向に調整可能である。メカナムホイールを活用した小型検査ロボットの製作コストは、Wi-Fi カメラを含めて、約 5 万円程度である。

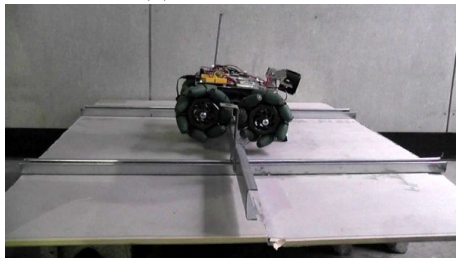
実証実験は、神奈川県さがみロボット産業特区のプレ実証フィールドの教室において行った。実証実験では、暗所となる天井ふところ内のクリップなどの部材の目視検査を行うことが目的である。一般的に、天井ふところ内は、暗所かつ狭所であるため、点検口からでは、検査を十分に実施することが困難な箇所の一つである。また、天井ふところ内



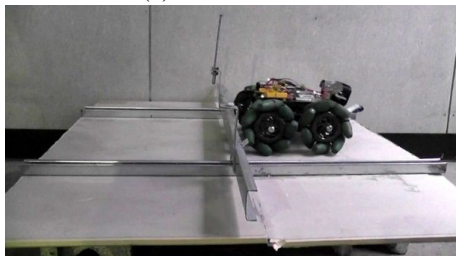
(a) 乗り越え



(b) 乗り越え



(c) 乗り越え

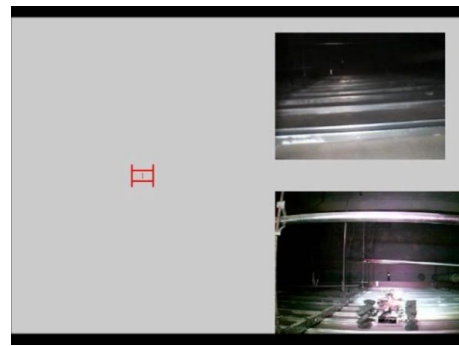


(d) 乗り越え

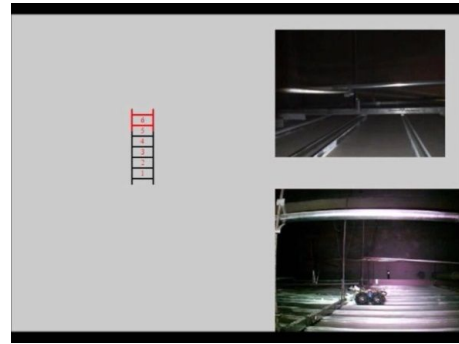
Fig.8 野縁受けの乗越え

には、野縁や野縁受けが敷設されているため、これらの部材を小型メカナムホイール検査ロボットが乗り越え可能かどうかも確認する。実証実験の実施にあたり、今回対象とする教室に点検口が敷設されていないため、天井板を一枚取り外し、取り外した箇所から小型メカナムホイール検査ロボットを挿入して検査を行う。また、検査ロボットの位置を把握する目的で、挿入箇所に Web カメラを設置するとともに、天井ふところ内は暗所であるため光量を増やす目的で、LED ライトを設置する。実証実験における操作パネルを Fig.9 に示す。操作パネルは、画面左に天井ふところ内のマップを示し、画面右下部にロボットの位置を示す Web カメラの映像を、画面右上部に目視検査の結果を示す Wi-Fi カメラの映像を示す。Fig.9 より、天井ふところ内の部材を鮮明に撮影することが可能であり、足場などの特殊機材を必要とせずに目視検査を、リアルタイムに行えることが確認できる。

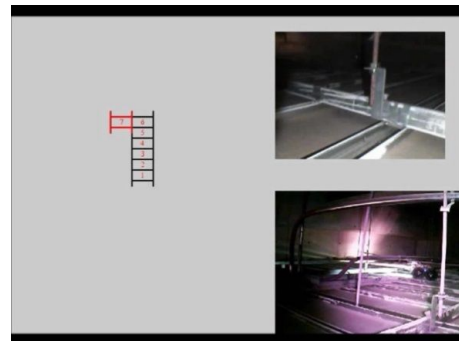
また、広い視野に基づく画像取得のため、天球カメラ (リコー シータ) を搭載した場合



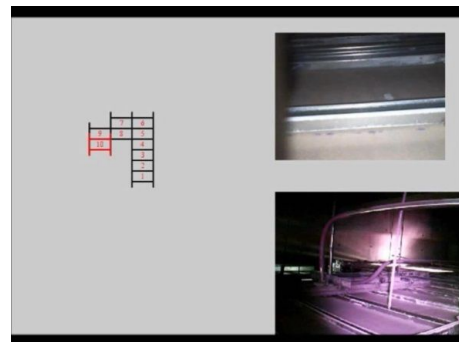
(a) Position 1



(b) Position 6



(c) Position 7



(d) Position 10

Fig.9 実証実験における操作パネル

についても検討を行った。天球カメラを搭載した小型メカナムホイール検査ロボットを Fig.10 に示す。天球カメラを用いることで、天球カメラによる広い視野に基づく天井ふところ内の全体像の取得が可能となる。全天球カメラによる画像を Fig.11 に示す。

以上の結果から、メカナムホイールを活用した小型検査ロボットを用いることで、より簡便に天井ふところ内の安全検査が行えることを実証した。

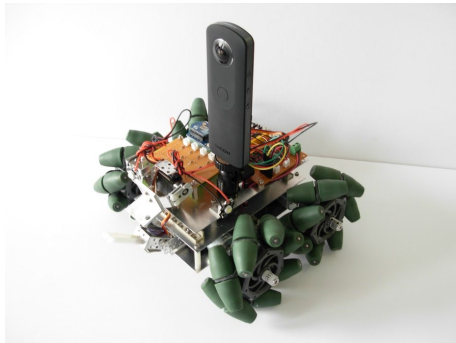


Fig.10 天球カメラを装備した検査ロボット

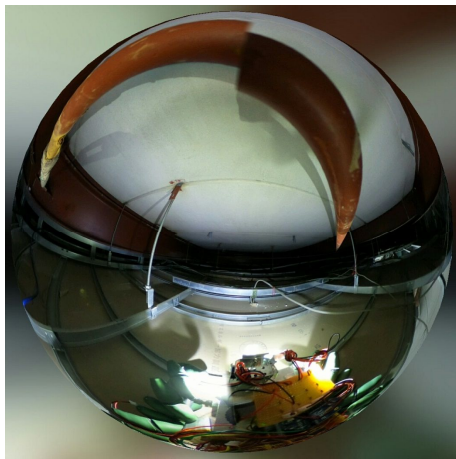


Fig.11 天球カメラの映像

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計5件)

Y.Nitta, S.Inai, K.Matsumura, M.Ishida, T.Onai and A.nishitani : The Visual Inspection Methodology for Ceiling Utilizing Blimp, *Procedia Engineering*, Vol.188, pp.256-262, 2017.6

仁田佳宏, 稲井慎介: ロボットを用いた天井ふところ内の目視検査, 第21回建築の自動化技術シンポジウム予稿集, pp.27-34, 2017.1

仁田佳宏, 松村仁夫, 稲井慎介, 渡壁守正: 天井ふところ内を対象とした小型検査ロボットによる目視検査システムの開発, 第16回建設ロボットシンポジウム論文集, USB, 2016.9

仁田佳宏, 稲井慎介, 石田正実: 小型メカナムホイール検査ロボットによる天井ふところ内の目視検査, 平成27年度「建設施工と建設機械シンポジウム」論文集・梗概集, pp.131-134, 2015.12

仁田佳宏, 松村仁夫, 渡壁守正, 稲井慎介, 石田正実, 尾内俊夫: Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船による高所の目視検査に関する検討, 第15回建設ロボットシンポジウム論文集, USB, 2015.9

### 〔学会発表〕(計5件)

Y.Nitta, S.Inai and A.Nishitani : Visual

Inspection Methodology for Suspended Ceiling Using Robot, *Proceedings of the 13th International Workshop on Advanced Smart Materials and Smart Structures technology*, USB, 2017.7

仁田佳宏, 稲井慎介, 尾内俊夫, 石田正実: 検査ロボットによる天井ふところ内の目視検査 検査用表示パネルの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(広島), 情報システム, DVD-ROM, 2017.9

仁田佳宏, 稲井慎介, 渡壁守正, 石田正実: 天井ふところ内を対象とする目視検査システムの提案, ロボテクス・メカトロニクス講演会 2016 講演論文集, DVD-ROM, 206.5

仁田佳宏, 石田正実, 尾内俊夫, 渡壁守正, 稲井慎介: Wi-Fi カメラ搭載小型無人飛行船を用いた天井部の目視検査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 材料施工, DVD-ROM, 2015.9

仁田佳宏, 松村仁夫, 渡壁守正, 稲井慎介, 石田正実, 尾内俊夫: Wi-Fi カメラを搭載飛行船による体育館の目視検査, ロボテクス・メカトロニクス講演会 2015 講演論文集, DVD-ROM, 2015.5

### 〔図書〕(計0件)

### 〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

### 〔その他〕

#### ○雑誌記事

仁田佳宏, 松村仁夫, 稲井慎介: 小型検査ロボットによる天井ふところ内の目視検査手法, *建設機械*, Vol.53, No.6, pp.27-30, 2017.6

仁田佳宏, 松村仁夫, 稲井慎介: 小型メカナムホイール検査ロボットによる天井ふところ内の目視検査, *建設機械*, Vol.53, No.2, pp.34-38, 2017.2

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

仁田 佳宏 (NITTA YOSHIHIRO)  
足利工業大学・工学部・准教授  
研究者番号: 10318834

### (2)研究分担者

無し

### (3)連携研究者

無し

### (4)研究協力者

無し