

補助事業番号 2024M-378

補助事業名 2024年度 遠隔操作型作業ロボットによる不安定かつ狭隘な橋梁建設現場での自動検査システムの開発補助事業

補助事業者名 芝浦工業大学・安孫子聡子

1 研究の概要

橋梁建設現場では、施工管理の一環として鋼桁の塗装膜厚検査や高力ボルト締付確認など、人手による実測を伴う品質・出来形管理業務を現地作業員以外の、管理職員が現地に赴き実施しており、労務増大が大きな社会的課題となっている。本研究では、マニピュレータを搭載した脚型ロボットやカメラ搭載ドローンを導入し、管理職員が現場に赴くことなく遠隔操作にて検査し、品質・出来形管理を行う統合システムの実現を最終目標とする。マニピュレータを搭載した四脚ロボットは、マニピュレータ先端に膜厚検査装置およびDepthカメラを搭載し、Depthカメラを用い膜厚検査箇所を決定したのち、マニピュレータの制御により膜厚検査を実施する枠組みを構築した。また、ドローンでは、カメラ情報に基づく添接板の高力ボルト認識および締付確認の自動化を行う手法を構築した。ここでは、機械学習を用い、締付角度を画像より推定する手法の検討を行った。今後は実機による実験を継続する予定である。

2 研究の目的と背景

少子・高齢化、きつい・汚い・危険の印象により、建設業界の労働力不足が深刻である。橋梁建設現場では、施工管理の一環として鋼桁の塗装膜厚検査や高力ボルト締付確認など、人手による実測を伴う品質・出来形管理業務を現地作業員以外の、管理職員が現地に赴き実施しており、労務増大が大きな社会的課題となっている。本研究では、マニピュレータを搭載した脚型ロボットやドローンを導入し、管理職員が現場に赴くことなく遠隔操作にて検査し、品質・出来形管理を行う統合システムの実現を目指す。

3 研究内容

(1)遠隔操作型作業ロボットによる不安定かつ狭隘な橋梁建設現場での自動検査システムの開発 https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/researches/legged_robot.html

はじめに、シリアルマニピュレータを搭載した四脚ロボットを用い、不安定な足場にて膜厚検査を行なうことを目指す。ここでは、まず初めに、数値計算ソフトウェアMATLAB/Simulinkを用いて、脚型ロボットの動力学シミュレータの構築を行った。本研究での脚型ロボットによる橋梁検査では、橋梁の添接板の膜厚検査を対象とする。また、足場のたわみの影響の検討、足場を釣り上げているチェーンをまたぐもしくはくぐることで移動の実現を検討する。

ここでは、Unitree社製脚型ロボットの背面にマニピュレータを搭載し、その先端に膜厚計測器を

搭載することで、膜厚検査を行うこととした。また、検査対象部を認識、目標検査位置を設定するために環境認識センサLidar (Intel社製RealSense L515) をマニピュレータ先端に搭載することとする。同センサでの計測点群データに基づく検査位置指定方法について検討し、その有用性を確認した。図1に構築したシミュレータを示す。また、対象とする実機を図2に示す。シミュレータ内には、検査対象である添接板を含む橋梁モデルも導入し、シミュレーション下においてもLidarモデルを再現し、検査箇所推定、相対位置・姿勢推定の検証を行った。図3にロボットアーム先端に搭載した環境認識センサを用いて、添接板をスキャンしている様子を示す。スキャンしたデータを統合し、事前に所有しているCADモデルとレジストレーションを行うことで、添接板上の検査位置の決定、ロボットと検査対象面との相対位置・姿勢の算出を可能とした。また、検査位置の決定後、マニピュレータの軌道生成を行った。図4, 5にロボットアームを搭載した際の一例を示す。構築したシミュレータでは、橋梁の足場を両端支持梁の曲げモデルを導入し、足場のたわみを簡易的に再現した。

基礎検証では、対象ロボットによるアルミ材の足場のたわみを検証した。同検証は、本研究の関連研究となる先行研究においてヒューマノイドロボットによる膜厚検査時に手先位置・姿勢の誤差が足場のたわみによるヒューマノイドロボットの体幹部の傾斜による元であることがわかってきたため、その影響度合いを確認するためであった。本研究においては、足場のたわみは、微小な変形が計測されたが、50kg重量に対して、最大2mm程度のたわみであり、計測時の手先許容誤差を大きく逸脱するほどの影響はないことが確認された。以上の検証も含め、シミュレーションにおいて、膜厚検査のための軌道生成シミュレーションを行った。ここでは、添接板そのものと下フランジを検査する軌道生成が可能か検証した。その結果、添接板そのものの検査に際しては、前脚を下フランジに乗せることで検査が可能なること、また下フランジに関しては、ロボットを橋梁に対して平行に立位させることで検査可能であることが分かった。

ドローンによる環境認識では、カメラ情報に基づく添接板の高力ボルト認識を行う。ここでは、膜厚検査とともに自動検査の要求が高い高力ボルトの締付け確認をカメラ情報と深層学習の援用により実現することを検討した。高力ボルトの締付けは、ボルトのナット部とねじ部につけられた直線マーキングのねじれ量が所望のねじれ量を満たすことで確認できる。図6にその概要を示す。同要件に基づき、ここでは、遠隔操作対応の環境構築も兼ね、Unreal Engineによる橋梁モデルとドローンのダイナミクスを導入を行った。高力ボルトの締付けは、ボルトを基準にした直線の角度で判定する。高力ボルトの締付け確認は、深層学習による物体検出モデルとしてYOLOXを用いた。ここでは、ボルトの状態を表す “connected(水色)”, “broken30(黄色)”, “broken60(青)”, “broken90(緑)”, および “broken120(赤)” という5種類のクラスを定義し、これに基づいて各画像のアノテーションを作成した。画像による推定では、エッジ検出による特徴強調処理を行うこと

で推定精度が上昇した。同結果の様子を図7に示す。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では、マニピュレータ搭載型の脚型ロボットとドローンを活用した遠隔操作による検査の自動化システムを検討した。労働者不足や高齢化，社会インフラの老朽化等のあらゆる社会問題が顕在化する昨今において，基本的なロボット技術の応用分野の展開とその実用化に向けた研究は，技術者育成も含むロボット産業の発展と持続的社会への貢献となる。

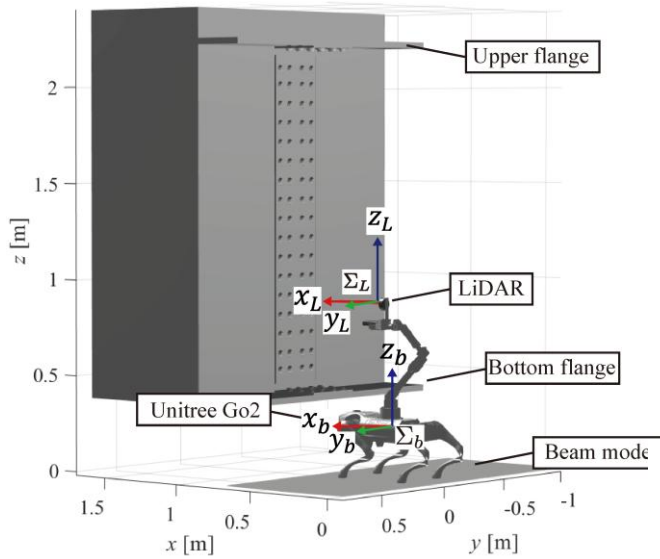


図 1 脚型ロボットシミュレータ



図 2 マニピュレータ搭載脚型ロボット

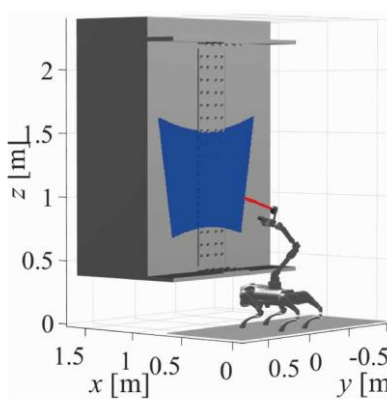


図 3 検査箇所推定

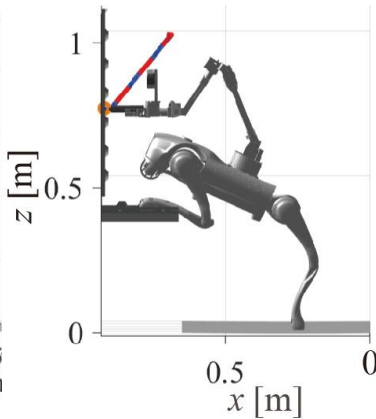


図 4 添接板検査軌道

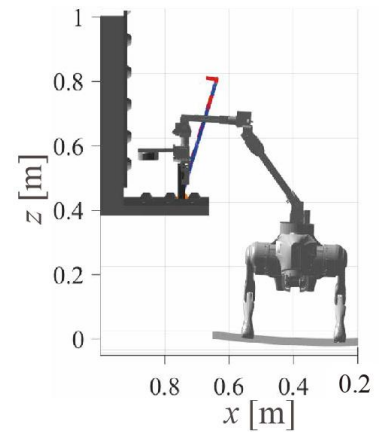


図 5 下フランジ検査軌道

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者は，これまで宇宙ロボットやヒューマノイドロボットなどのいわゆるマルチボディシステムの動力学と制御に関する研究を実施してきた。それらの研究の課程において，ヒューマノイド

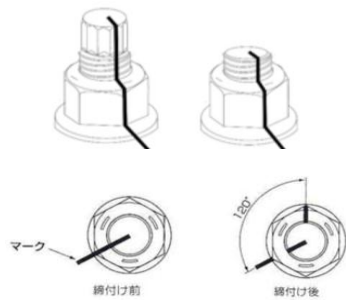


図 6 高力ボルトの締め付け外観図

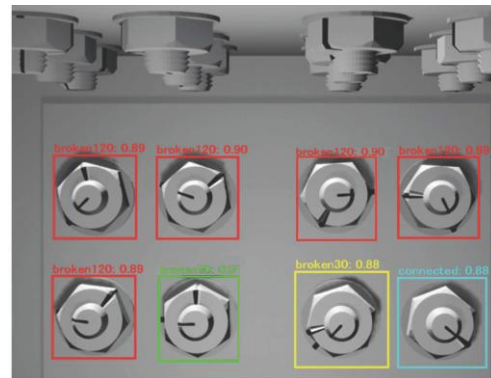


図 7 エッジ処理ありでの推論結果

ロボットを用いた橋梁点検システムの研究に携わり、点検システムの自動化の必要性と課題が明らかになった。本研究では、先に確認された課題に対する解決法の一つを提案しているものであり、遠隔検査の実現に向けた一歩である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

本事業紹介HP https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/researches/legged_robot.html

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 芝浦工業大学工学部(シバウラコウギョウダイガクコウガクブ)

住 所： 〒135-8548

東京都江東区豊洲3-7-5

担 当 者： 教授・安孫子聡子(アビコサトコ)

担当部署： 宇宙ロボットシステム研究室(ウチュウロボットシステムケンキュウシツ)

E - m a i l: abiko@shibaura-it.ac.jp

U R L: <https://space.ee.shibaura-it.ac.jp/>