

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：53801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01047

研究課題名(和文)複数高専と民間企業の連携によるロボットを活用した生産システム制御技術者の育成

研究課題名(英文)Fostering of control engineer of industrial manufacturing systems by using high accuracy robot collaborated between multiple KOSENS and private company

研究代表者

三谷 祐一郎(Mitani, Yuuichiroh)

沼津工業高等専門学校・機械工学科・教授

研究者番号：00280389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：産業界より強く求められている製造業の自動化システムに必須の、制御技術者の育成を目指し、複数高専が民間企業と連携して実施するプロジェクト「制御技術教育キャンプ」・「PLC制御コンテスト」を毎年運営し、実施した。その中で、グローバル化を目指して、韓国大学生との合同キャンプを実現した。学生のアンケート結果より、高い教育成果が得られたことを確認した。またそれと並行して、制御システムの開発を行った。具体的には、近年の、生産ラインの高機能化に対応した新型PLC(Programmable Logic Controller)を活用した、搬送時の揺れ制御システムや、非接触搬送システムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

主として、生産システムの制御に用いられる専用コンピュータ、PLC(Programmable Logic Controller)のプログラム言語は、その開発の効率化を図るために、1993年に国際標準規格IEC61131-3が発行され、メーカーに依存しない制御技術開発が可能となった。しかし、PLCの開発が盛んな諸外国に比べ、日本ではその教育が高等教育機関でほぼなされておらず、生産現場にて要求される人材が不足している現状がある。本プロジェクトは、そのような人材を育成し、かつグローバル化に対応できる制御技術教育を目指した。毎年高専生を対象として実施した教育活動は、その成果をあげたといえる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this project is to foster of control engineer of industrial manufacturing systems. This project is a collaboration between multiple KOSENS and a private company which is a manufacturer of the automation control system. Since 2016, two kinds of educational training programs are held once every year, which are named; "Control skill educational camp" and "PLC (Programmable Logic Controller) control contest". In 2016, the educational camp was held as a Japan-Korea joint program for the globalization of this project. At least Japanese students were succeeded to cultivate their skills not only control technology but also communication with the engineers of Korea.

In this project, a new type of educational control system was developed successfully which is a non-contact conveyance control system. This system is intended for learning the high-level control skills. It is expected to apply this system to acquire a modern control design method in a future.

研究分野：制御工学

キーワード：グループワーク PBL コンテスト 連携プロジェクト モーション制御 PLC 制御技術教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

インダストリー4.0という言葉が、学会からの案内や雑誌などで目にするようになった。生産システムや画像認識の技術が飛躍的に向上しつつある状況において、複雑な形状の部品やその場の状況が瞬時に正確に認識され、ロボットが細かな動作のためのプログラミングを必要とせず、自立的に加工や組み立てを、高い汎用性をもって実現する時代もそう遠くはないと思われる。インダストリー4.0においては、物と物、機械と機械、工場と工場とがネットワークを経由して情報通信し、異種分野の企業同士が連携して、極めて効率的に生産するシステムを生み出そうとしている。そのような、次世代の生産システム制御技術を担うグローバル人材を育てるのが、本研究の目的である。

2. 研究の目的

- (1) 教育活動を、民間企業と連携して実施することで、社会的ニーズを具体的に把握し、高専における実践的教育を促す。
- (2) 高専間の連携により、日本の産業を支える生産システム制御技術に関する教育活動を強化し、優秀な技術者を育成する。
- (3) 現行のオムロン・高専機構共同プロジェクトを、韓国など海外の学生との合同教育プロジェクトに拡張し、グローバル化を図る。

3. 研究の方法

- (1) 平成28年度に生産技術コンテストで活用する新システムを開発する。
- (2) 平成29年度に新システムの機能を評価し、量産機を製作、コンテストでの活用準備を行う。
- (3) 平成30年度に新システムをコンテストにて活用し、その教育効果を評価する。
- (4) 平成31年度に選抜メンバーによるハイレベルシステム開発を行う。

MATLABを用いた制御システムを実装して、活用できる生産システムを開発する。具体的には、1) 制振制御、2) 非接触搬送の、2種類の機材開発を目指す。後者の2は、研究計画に記載した「ハイレベルシステム開発」に該当し、より高い専門性のある研究レベルの生産システム開発を目指す。

4. 研究成果

本研究における三つの目的をもとに研究活動を実施し、以下の成果が得られた。

- (1) 本研究の開始以前に、高専機構・オムロン共同プロジェクトにて開発済みであり、プロジェクトメンバーによる制御教育にて活用実績のある3軸直行ロボットを用いた、「制振制御」をテーマとする教育の実施による人材育成。
 - (2) 韓国の大学生との合同での、「制御技術教育キャンプ」の実施によるグローバルに活躍できる人材育成。
 - (3) 3軸ロボットを用いた非接触搬送制御システムの開発と、その性能の実験による確認。
- 以上3点について、以下に順に述べる。

- (1) 本研究を実施中に毎年、全国高専が夏季休業中の8月下旬の1週間を利用して、「制御技術教育キャンプ」を実施した。これは、本プロジェクトに関与する複数の高専教員および、オムロン株式会社（以下、オムロンと称す）の社員が運営する、高専生のための制御教育活動である。その1テーマとして、本研究の計画としていた「3軸ロボットによる制振制御」の設定が、プロジェクトメンバーの合意のもとに実現した。

具体的には、本研究の立案時に、既にプロジェクトで活用実績のある、オムロンが開発した3軸直行ロボットを用い、糸にぶら下げたワークを回転するターンテーブルに空けた穴に入れる作業を、参加学生に達成課題として与えた。大きさや色、取り付け糸の長さが異なるワークを3種類用意し、それぞれのワーク用に空けられた穴へ、できるだけ短時間で入れる。ターンテーブルの真上に設置された画像センサで検知したある時刻の穴の位置とターンテーブルの回転速度データより、ワークを落とす時刻と位置を計算して、その時刻にその位置に、正確に3軸ロボットを動かす必要がある。非常に難易度が高い課題であったが、複数のグループが課題を達成した。また、課題達成に至らなかったグループも、立てた戦略による挑戦と失敗を繰り返す中で、多くの制御技術を身につけ、コミュニケーションの重要性を学ぶことができた。

- (2) 1回のみの実施となったが、韓国の大学生と高専生による、「日韓合同制御技術教育キャンプ」を実現した。韓国の大学生と高専生徒がそれぞれ1~2名で構成されるグループをつくり、日本語の能力が比較的高い韓国の大学生を、必ず一人含める構成とした。また、その年度の課題は、重さの異なる同一形状のワークを、シーソーを使って重さの順に、できるだけ短時間で並べ直す作業と設定し、用いた制御機材は、上記(1)で用いた3軸ロボットとした。

学生たちはまず、並べられたワークの上側に設置された画像センサを用いてワークの位置と個数を把握し、3軸ロボットにてワークを順に把持、シーソーに載せて重い方のワークを一つずつ調べ、重さ順に並べ直す。シーソーの傾きの状態は、工業用ファイバセンサを用いて検知する。重さの順を決定する数学的アルゴリズムと、それに基づくロボットの動作の

制御プログラミングが勝敗の要となるが、学生たちは、懸命に英語を使ってコミュニケーションをとり、課題を達成した。わずか1週間の交流ではあったが、文化の差による考え方の違いにとまどいながらも、その克服方法を模索し、グローバルに活躍するためのヒントを獲得したと感じた。

- (3) 直交3軸(XYZ軸)ロボットを用いて、電磁石による非接触搬送制御装置の開発を行った。垂直軸であるZ軸に、ワークの浮上に使用する電磁石を取り付け、3軸ロボットにて3次元空間内を自由に稼働できるようにした。図1に、その概略図を示す。

X, Y, Z軸はそれぞれ、サーボモータにより正確に、位置・速度・加速度制御を行うことができる。電磁石の中心部に、ファイバ同軸変位センサを内包しており、電磁石の真下にあるワークまでの位置を取得できる。ターンテーブル上の任意の位置にワークを置き、画像センサにてワークの位置や個数、形状を認識して、その位置にロボットが自動的に移動、ワークを吸引して浮上することを想定している。都合上ここでは、画像センサを設置しておらず、ワークの位置へのロボットの移動は、手動で行った。ただし、画像センサ使用実績は、オムロン・高専機構共同教育プロジェクトにて豊富にあり、設置すれば確実に本装置に活用できる。

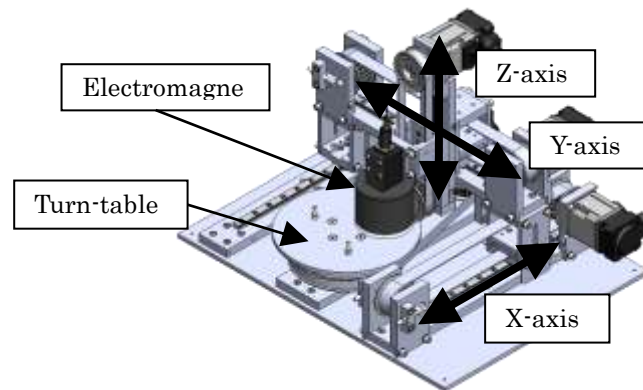


Fig.1 Three-axis stage; Electromagnet is attached on the base plate of the Z-axis

制御系の設計は、以下3段階で行った。

- 1) テーブルに置かれたワークの真上に電磁石を移動し、自律同定プログラムを開始する。Z軸があらかじめ決められた動作を自動的に実行し、任意の重さのワークに対する適切な制御系が、オンラインにて設計される^①。設計される制御系はPD制御であり、自律同定により、適切な浮上位置および制御入力信号に加算させるバイアス電圧も、合わせて決定され、自動的に安定浮上に至る。
- 2) 電磁石は、コイル中に流れる電流により温度が変化し、すなわち物理特性（抵抗値等）が変化することから、制御系にはロバスト性が求められる。そこで、上記1で設計したPD制御系の外側に、ロバスト制御系を設けることで、動特性の変化に対処した^②。具体的には、浮上中の制御入力信号に白色信号を加え、加えた信号から浮上物体の位置までの周波数特性を、離散周波数データとして取得し、線形不等式を用いて微分先行型PI-D制御器を設計した。
- 3) 搬送系の設計を行った。Y軸の速度指令値として白色信号を用い、速度から浮上物体の変位までの伝達関数をオフラインでシステム同定した。その結果から、多目的制御則を用いて、即応性、安定性、制御入力の上限を考慮した制御系を設計した。

以上の手順により設計した制御系をPLCに実装し、搬送制御実験を行った結果、図2に示すように、良好な制御結果が得られた^③。

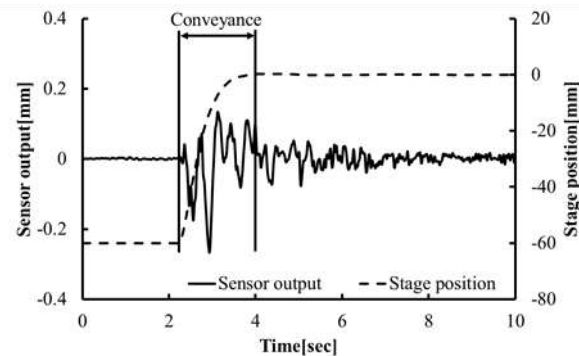


Fig.2 Conveyance control result

<引用文献>

- ① 小林, 浦崎, 三谷, PLCを用いた磁気浮上制御装置の小型化, ロボメカ 2017 in Fukushima, (2017)
- ② 上, 田中, 三谷, 延山, 入出力信号から構成した有限個周波数応答モデルによるPI-D制御

系の設計, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 139 No. 4 pp. 402-408, (2019)

- ③ 松井, 三谷, 3 軸ステージにおける多目的制御則を用いた非接触搬送系の構築, 日本機械学会東海学生会 TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2019 (TEC19) 第 51 回学生員卒業研究発表講演会, (2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Urasaki Shinpachiro, Kobayashi Yoshimitsu, Kami Yasushi, Mitani Yuichiroh, Nobuyama Eitaku	4. 巻 Vol.139 No.10
2. 論文標題 Control Design Considering Magnetic Flux Characteristic Uncertainty for Magnetic Levitation System with Magnetic Flux and Current Feedback	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 1159 ~ 1166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.1159	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 上 泰, 田中 亮祐, 三谷 祐一朗, 延山 英沢	4. 巻 Vol.139 No.4
2. 論文標題 入出力信号から構成した有限個周波数応答モデルによるPI-D 制御系の設計	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 402-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.402	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 三谷 祐一朗, 中澤 新吾, 外園 玲央, 西 由季央	4. 巻 第53号
2. 論文標題 マイコンを用いたリレー・シーケンス制御の学習の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 沼津工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 7-14
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 三谷祐一朗, 田中椋祐, 小林義光	4. 巻 Vol.40
2. 論文標題 PLCによるサーボ同期制御を用いた非接触搬送教材開発 (変位センサ内包型電磁石を用いた自律同定実験効果の検証)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 計測自動制御学会 中部支部 教育工学研究委員会 教育工学論文集	6. 最初と最後の頁 32-34
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 三谷祐一朗, 藤沼謙斗, 西由季央	4. 巻 第52号
2. 論文標題 マイクロPLCを活用したアクティブラーニングの試行 - PID制御器の実装を課題とするシーケンス/ フィードバック制御の融合 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 沼津工業高等専門学校研究報告	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) なし	査読の有無 無
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 三谷祐一朗, 谷埜博基, 堀純也, 金田直人	4. 巻 Vol.51, No.10
2. 論文標題 高難易度な生産技術コンテストによる PBL型次世代技術者養成プロジェクト	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 公益社団法人 日本設計工学会 「設計工学」	6. 最初と最後の頁 pp.737-746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14953/jjsde.2015.2649	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 三谷祐一朗, 高矢昌紀, 西由季央, 山之内亘	4. 巻 No.51
2. 論文標題 PLCを用いた小型で汎用性のあるシーケンス制御学習教材の開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 沼津工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 pp.1-6
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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 三谷祐一朗, 村中常高	4. 巻 No.54
2. 論文標題 単軸ステージを用いたシーケンス・モーション・現代制御の統合アクティブラーニングの試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 沼津工業高等専門学校研究報告	6. 最初と最後の頁 pp.1-8
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 オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計28件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 上 泰, 佐藤 拓, 三谷 祐一朗, 山之内 亘, 石川 洋平, 西由 季央, 村中 常高
2. 発表標題 グループワークの取り組み方を理解させるためのPBL教育の準備のコツ
3. 学会等名 第63回システム制御情報学会研究発表講演会 (SCI ' 19)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三谷 祐一朗, 松井 陽樹, 小林 義光, 上 泰, 三好 孝典
2. 発表標題 非接触搬送システムにおける有限周波数応答データを用いた振れ制御系の設計と実装
3. 学会等名 平成30 年度先進的技術に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三谷 祐一朗, 松井 陽樹, 小林 義光, 上 泰, 浪江 正樹
2. 発表標題 自律同定機能を有する非接触搬送制御システムの安定性の検証
3. 学会等名 日本機械学会 2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 椋祐, 三谷祐一朗, 上泰, 小林義光
2. 発表標題 非接触搬送制御システムにおける 有限個周波数応答モデルを用いた制御系の有効性の検証
3. 学会等名 平成30年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三谷 祐一朗, 田中 亮祐, 小林 義光, 上 泰, 浪江 正樹
2. 発表標題 Non-contact Conveyance Control System with Self-identification Function of the Levitation Object -Investigation of Stability of the Conveyance Control System-
3. 学会等名 The 14th International Conference on Motion and Vibration Control (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中 亮祐, 三谷 祐一朗, 小林 義光, 浪江 正樹
2. 発表標題 自律同定機能を有する3軸ステージによる非接触搬送 システムの開発 -搬送時における安定性の検証および高速化の検討-
3. 学会等名 第23回高専シンポジウム in KOBE
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuuichiroh Mitani, Ryosuke Tanaka, Yoshimitsu Kobayashi and Masaki Namie
2. 発表標題 Non-contact conveyance control system with self-identification function of the levitation object (Certification of the self-identification function)
3. 学会等名 The 5th Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics & Control (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林義光, 浦崎新八郎, 三谷祐一朗
2. 発表標題 PLCを用いた磁気浮上制御の教材装置の小型化
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ロボティクス・メカトロニクス 講演会- 2017 in Fukushima
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中椋祐, 三谷祐一朗, 小林義光, 浪江正樹
2. 発表標題 自律同定機能を有する3軸ステージによる非接触搬送 システムの開発 - 搬送時における安定性の検証および高速化の検討 -
3. 学会等名 第23回高専シンポジウム in KOBE
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 上泰, 三谷祐一朗, 佐藤拓, 下尾浩正, 鈴木真ノ介, 山之内亘, 岩野裕樹
2. 発表標題 オムロン・高専機構共同教育プロジェクト 制御技術教育キャンプ・生産技術コンテストの成果と今後
3. 学会等名 平成29年度全国高専フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中椋祐, 三谷祐一朗, 小林義光, 浪江正樹
2. 発表標題 自律同定機能を有する3軸ステージによる非接触搬送システムの開発
3. 学会等名 日本高専学会第23回年会講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y.Mitani, Y.Kami, T.Sato, Y.Nishi
2. 発表標題 EDUCATIONAL TRAINING JAPAN-KOREA JOINT PROGRAM FOR THE MANUFACTURING CONTROL SYSTEM
3. 学会等名 The 10th International Symposium on Advances in Technology Education (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小林義光, 学浦崎新八郎, 三谷祐一朗
2. 発表標題 PLCを用いた磁気浮上制御の教材装置の小型化
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会- 2017 in Fukushima
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三谷祐一朗
2. 発表標題 生産システム制御技術の教育支援 ~オムロン株式会社との共同プロジェクト~
3. 学会等名 静岡県東部テクノフォーラムin沼津高専
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三谷祐一朗, 小林義光, 田中椋祐
2. 発表標題 PLCによるサーボ同期制御を用いた非接触搬送教材開発
3. 学会等名 第161回教育工学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuki Iwano, Takashi Hasegawa, Akihiro Tanaka, Kojiro Iizuka
2. 発表標題 Development of the trimmer-type mowing system against a slope
3. 学会等名 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩野 優樹, 長谷川 高志, 田中 昂大, 飯塚 浩二郎
2. 発表標題 畦畔における草刈システムの軌道追従制御に関する研究
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'16
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩野 優樹, 田中 昂大, 飯塚 浩二郎
2. 発表標題 長野県を中心とした産学官連携による草刈ロボットの開発
3. 学会等名 第17回システムインテグレーション部門講演会論文集
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Y. Imanishi, Y. Kami and E. Nobuyama
2. 発表標題 An iterative approach to the mixed H2/H synthesis problem based on the exterior-point approach
3. 学会等名 2016 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 小林義光, 奥村亮太, 中村善洋, 三谷祐一朗
2. 発表標題 PLC機器を用いた磁気浮上制御の教材開発 - 機械・電気系の時間応答に着目した制御設計 -
3. 学会等名 JSMEロボティクス・メカトロニクス講演会2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三谷 祐一朗, 西 由季央
2. 発表標題 企業と連携したシーケンス制御教育
3. 学会等名 日本高専学会第22回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 森川拓磨, 三谷祐一朗
2. 発表標題 小型磁気浮上装置における動特性の検証と活用方法の検討
3. 学会等名 日本高専学会第22回年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三谷 祐一朗, 上 泰, 佐藤 拓, 下尾 浩正, 小林 義光, 西 由季央
2. 発表標題 オムロン・高専機構共同教育プロジェクト ～生産技術コンテスト～
3. 学会等名 平成28年度 全国高専フォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 上 泰, 三谷 祐一朗, 佐藤 拓, 下尾 浩正, 佐竹 卓彦, 岸 祐一, 西 由季央, 山之内 亘
2. 発表標題 オムロン株式会社との実践的技術者育成事業「制御技術教育キャンプ～日韓合同インターンシップ～」の実践報告
3. 学会等名 平成28年度 全国高専フォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 拓, 伊藤昌彦, 大泉哲也, 熊谷和志, 三谷祐一朗, 小熊 博
2. 発表標題 新世代PLCによる統合制御を用いた高齢者向け超小型モビリティに関する研究
3. 学会等名 平成28年度 全国高専フォーラム
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 岩野 優樹, 片山 大悟, 田中 昂大, 飯塚 浩二郎
2. 発表標題 パリカン型草刈システムの自律化に関する検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会'17
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三谷祐一朗, 上泰, 小林義光
2. 発表標題 高機能PLCを活用した産業界のニーズに応える制御教材開発
3. 学会等名 第167回教育工学研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松井陽樹, 三谷祐一朗, 小林義光, 上泰
2. 発表標題 ロバスト安定性を保証した磁気浮上システムにおける非接触搬送系の構築
3. 学会等名 富士山麓アカデミック&サイエンスフェア 2019
4. 発表年 2019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	上 泰 (Kami Yasushi) (20413809)	明石工業高等専門学校・電気情報工学科・准教授 (54501)	
研究分担者	佐藤 拓 (Sato Taku) (30451545)	仙台高等専門学校・総合工学科・准教授 (51303)	
研究分担者	岩野 優樹 (Iwano Yuki) (90413799)	明石工業高等専門学校・機械工学科・准教授 (54501)	