

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：82727

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K13865

研究課題名（和文）第4次産業革命のロボット技能者に向けた新人教育カリキュラムの構築と検証

研究課題名（英文）Creating and Testing Youth Skilled Worker Education Curriculum for Robot Technicians in Industrie 4.0

研究代表者

佐藤 崇志（SATO, TAKASHI）

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校（能力開発院、基盤整備センター）・能力開発院・准教授

研究者番号：20648977

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：第4次産業革命に対応するためにロボットを活用する若年技能者の育成は急務である。本研究では、ロボットを含む模擬生産ラインを構築して、カリキュラムを作成し集合教育による試行教育を展開することを目的とした。

まず、企業経験者からのアドバイスと各種資料から、ロボット技能者に必要なことは、情報通信機器との連携する技能が必要であるとの分析から、視覚センサを取り付け、ロボットを自律化できる模擬生産ラインの構築を行った。更に集合教育に対応できるように模擬生産ラインの3次元モデルを作成しデジタルツインを活用したロボット運用のカリキュラムを作成、試行教育を行った結果、非常に高い効果で技能を習得できることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボット技能者の育成は各会社の熟年技能者のOJTによって、若年技能者に実施されているのが主であるため、カリキュラムと実習装置が整備されず人材育成の進捗が芳しくない。本研究は、第4次産業革命のロボット技能者に必要な技能を学べる模擬生産ラインを構築し、学校教育で実施できるようにカリキュラムを開発した。更に集合教育で実施できるようにデジタル技術を活用して、仮想空間においてロボットに慣れることにより、各個人が実機を扱う時間の短縮を行った。更に本手法に基づく試行教育を行い、指標によって評価すると技能の習得効果が高いことが判明した。本研究から得られた知見はロボット技能者育成の発展に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：Training youth skilled workers who can utilize robots in response to Industrie4.0 is an urgent task. In this study, we aim to construct a simulated product line, including robots, and develop a curriculum using practical training devices. The objective is to conduct education through collective learning. First, based on advice from industry experts and various resources, we analyzed the requirements for robot technicians. It was determined that skills related to collaboration with information and communication devices are essential. Therefore, we constructed a simulated factory capable of autonomous operation by installing visual sensors on the robots. Additionally, to facilitate collective learning, a 3D model of the simulated product line was created, and education on robot operations using digital twins was created. The results showed that a high level of skill acquisition was achieved with remarkable effectiveness.

研究分野：制御工学

キーワード：第4次産業革命 サイバーフィジカルシステム 産業用ロボット 技能科学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

第4次産業革命に関する背景は、ドイツ政府が2011年に「Industrie4.0」に関する構想を世界に先駆けて宣言したところから始まる。官民一体となったワーキンググループを構成し、2013年「Final report of the Industrie4.0」によって、サイバーフィジカルシステム(CPS)といわれるデジタル化による、顧客のニーズ、物流、生産に関して、情報通信技術(ICT)を用いて統合することによって、再構築可能な製造プロセスのプラットフォームに関する提案がなされた。国内では、日本経済再生本部が策定した「ロボット新戦略2015年版」において、「ロボットから自ら学習し行動する「自律化」、様々なデータを自ら蓄積、活用することによりパソコンや携帯電話に代わる「情報端末化」、相互に結びつき連携するロボットの「ネットワーク化」、と産業用ロボットの機能に関する提言がされている。また、人材育成の重要性も記述されており、『現場で経験を蓄積させることで人材を育成する方法(OJT型)』『当面人材が不足しそうな分野についてOB人材を活用する方法』『システムインテグレータ(SIer)とユーザー企業が合併会社を設立し一体となってシステム構築を進めることでノウハウの蓄積』など2020年までの方針が挙げられていた。

### 2. 研究の目的

本研究は、産業用ロボットの第4次産業革命に対応する若年技能者対象の職業教育を行うことを目的とした。具体的には指標に基づく技能分析を行い、ロボットを含む模擬工場を構築し、そのシステムを操作・運用するための教育訓練カリキュラムを作成する。更に若年技能者に試行教育を展開することによって検証を行う。

### 3. 研究の方法

研究手順は下記の方法で実施を行う。

若年技能者対象の職業教育を行うことのために技能を分析する必要があるため、国内で唯一ロボット技能者の技能分析が行われた日本ロボット工業会がまとめた「ロボットシステムインテグレートスキル標準シート(第一版)」を参照した第4次産業革命に対応するロボット技能者に関する指標の整理。

この指標に基づいた技能を習得することができる模擬生産ラインの構築と構築するために必要であった詳細技能の抽出。

模擬生産ラインを用いた教育カリキュラムの作成と教育訓練の試行。

### 4. 研究成果

#### (1) 第4次産業革命に対応するロボット技能者に関する指標の整理

日本ロボット工業会がまとめた「ロボットシステムインテグレートスキル標準シート(第一版)」(以下、スキル標準シートと呼ぶ)はロボットを活用するための指標が作成されており、システム制御、画像処理、ロボット制御などの12区分された「技術区分」とその技術を構成する能力要素を「スキル項目」として一覧で表示している。知識量や経験実績、技能の習熟度に応じて7段階のレベルを設定している。スキルレベル1,2は関連する知識を示し、仕様書や下請け業者などに指示を出せる技能レベルである。レベル3以上は実際作業ができるスキルレベルを示し、例えば技能検定で示すとレベル3が「電気機器組立・シーケンス作業3級」、レベル4が2級、レベル5が1級となっている。更にこの技能分析は主に単独システムの操作、運用することを想定している。

本研究における指標は複数のシステムを運用できるスキルレベル3までのスキルを習得することを目標とした。更に第4次産業革命に対応できる技能としては、産業用ロボットが自律化できる技能を対象とした。

具体的な作業は、産業用ロボットがビジョンシステムによって、製品の座標を認識してロボットに座標と形状・色などを認識して、製品をロボットハンドで掴み、別の場所に搬送するピック&プレイス(P&P)作業とする。

以上の条件で必要なスキル項目を推定し、スキル標準シートは単独のシステムを想定しているため、複数の技術区分とスキル項目から抽出して指標を作成した。表1は本研究で分析した産業用ロボットP&Pの自律化におけるスキル項目を標準シートとの対応を併記した。

表1 産業用ロボットP&Pの自律化におけるスキル項目とスキル標準シートとの対応

スキル項目	スキル標準シートで関連する技術区分とスキル項目（ <b>鍵括弧</b> で示しているのは技術区分）
システム全体を俯瞰する能力	「機械設計」機械設計製図技能対応能力設計対応能力、「電気設計」ネットワーク対応能力 「ロボット制御」制御プログラム対応能力、「画像処理」外観・画像検査対応能力 「システム制御」PLCプログラミング言語対応力「電気配線」制御盤製作対応能力
システム連携対応能力	「ロボット制御」通信技術対応能力,制御プログラム対応能力,「画像処理」外観・バーコード・2次元コード対応能力,画像検査対応能力「システム制御」ネットワーク技術,タッチパネル画面作成能力 「電気設計」ネットワーク対応能力,配線図設計技術
機器選定能力	「機械設計」ハンド設計対応能力, 機械設計製図技能対応能力,「電気設計」制御盤設計対応能力 「ロボット制御」用途別ロボットタイプ対応能力 「画像処理」文字認識対応能力,「システム制御」ネットワーク技術
座標把握対応能力	「ロボット制御」ティーチング対応能力,「画像処理」外観・画像検査対応能力 「システム制御」モーションコントロール対応能力, ネットワーク技術, ミドルウェア・情報連携 (IoT) 対応能力
教示・プログラム作成対応能力	「ロボット制御」シミュレーション対応能力,制御プログラム対応能力,ティーチング対応能力 「システム制御」PLCプログラミング言語対応力,「電気設計」配線図設計技術
画像処理プログラムの作成能力	「画像処理」外観・画像検査対応能力, バーコード・2次元コード対応能力 「システム制御」ネットワーク技術,ミドルウェア・情報連携 (IoT) 対応能力

(2) 産業用ロボットを含んだ模擬生産ラインの構築とスキルの詳細

動作仕様は、画像処理システムによって示す3色（赤，銀，黒色）の円柱プラスチックケース（以下，ワークという）の色と座標を把握し，産業用ロボットが自律してP&P作業ができることとした。

図1は動作概要を示しており，図中のP1～P7が一連のロボットの動作を示している．まず，パレットAに無造作に置かれたワークをビジョンセンサで認識してロボットハンドによって把持を行い，パレットBに示す所定の格納庫まで搬送する作業を模擬生産ラインの動作とした．使用する機器は生産現場で使用されている産業用ロボット，PLC，視覚センサで構成され，ネットワークで接続することによって，機器間連携ができるように模擬生産ラインを構築した．図2には今回研究で構築した模擬生産ラインの外観を示す．

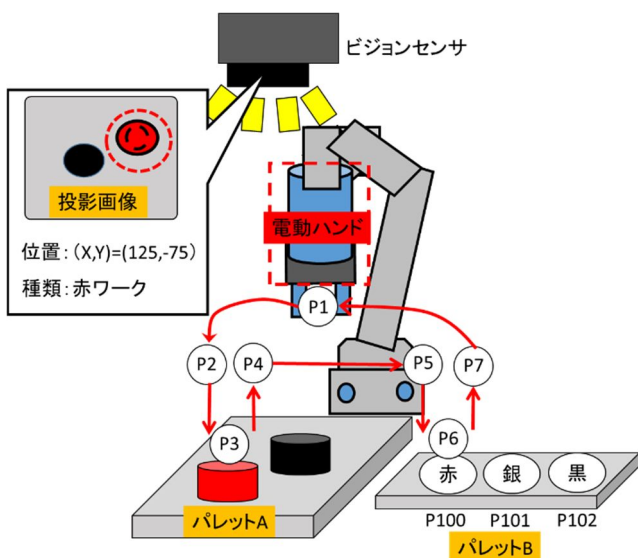


図1 模擬生産ラインの動作の概要

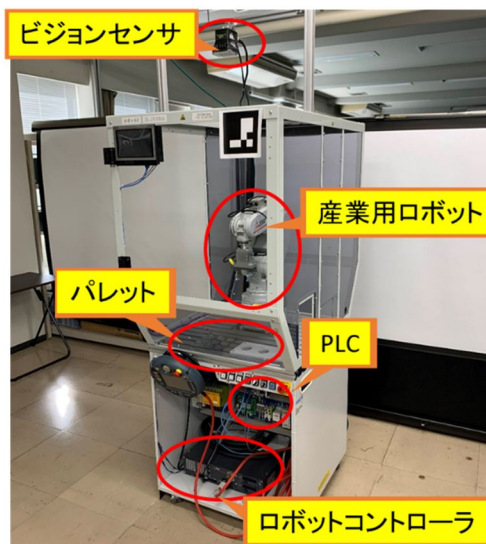


図2 模擬生産ラインの外観

表1で検討したスキル項目に基づき，図1に示す動作を著者と研究協力者，企業協力者と構築したときに必要となった技能の詳細を表2にまとめた。

表2 スキル項目に対応する技能の詳細

スキル項目	技能の詳細
システム全体を俯瞰する能力	P&Pを行うために必要な機械システムがわかる 基本的なハードウェアの知識があること 産業用ロボット、PLC、ビジョンセンサの初歩レベルの技能を習得している 各プログラムの仕様変更に対応できる能力を有していること 各システムの通信方式を把握し、連携することができること
システム連携対応能力	ロボット、PLC、ビジョンセンサを Ethernet で情報連携することができる ロボットと PLC の I/O 信号、ポーズの座標データの連携ができる PLC とロボット、ビジョンセンサの共有メモリで対象となる変数変更ができる
機器選定能力	対象に応じて産業用ロボットやロボットハンドなどの機器選定ができる 画像システムに関する機器選定ができる 情報通信によるデータ共有ができる PLC と関連する機器選定ができる
座標把握対応能力	ロボットの直交座標、関節座標、ツール座標が理解できる ソフトウェアを用いたレンズによる画像の歪みの除去の知識がある PLC とロボットの座標データの共有ができる ロボットとビジョンセンサの座標の校正ができる
教示・プログラム作成対応能力	校正用紙の原点座標にロボットを移動することができる ロボット教示サポートソフトウェアを操作できる 教示時や動作時において、ロボットの衝突情報に基づいたタスクプログラム作成ができる。更に PLC のプログラム作成もできる
画像処理プログラムの作成能力	QR コード、照度や対象物の形状に応じて、対象物の合否の閾値の設定ができる 対象物に応じた画像処理の方式を理解している 画像処理のプログラムを理解しており、制御装置に対象物の出力結果を転送できる

(3) 教育カリキュラムの作成と教育訓練の試行

上記で構築した模擬生産ラインを用いて、本研究では試行教育として、表2で作成した技能をもとに産業用ロボットと PLC の連携を行うための表3に示す教育カリキュラムを作成した。2022年の職業能力開発総合大学校総合課程電気専攻3年次生24名「FAシステム実習」の18時間で実施した。

表3 産業用ロボットと PLC のシステム連携に関する教育カリキュラム

項目	設定した時間
<b>1. 産業用ロボットの基本的知識</b>	<b>3 時間</b>
(1) 産業用ロボットの必要性、構成、種類 (2) 産業用ロボットの安全対策と教示方法 (3) プログラミング言語と補間動作の種類	
<b>2. 産業用ロボットの基本操作（実習機材編）</b>	<b>6 時間</b>
(1) ティーチングペンダントの操作方法 (2) プログラムの書き込み方法および通信の設定 (3) 操作権取得およびジョグ運転の方法 (4) 実習機材での教示方法 (5) ソフトウェアの基本操作の説明 (6) オフライン教示の方法 (7) 各種教示課題	
<b>3. 産業用ロボット、PLC 間のシミュレーション連携</b>	<b>6 時間</b>
(1) シミュレーションの連携方法の説明 (2) PLC からの信号によるプログラムの開始 (3) PLC と産業用ロボットの連携課題	
<b>4. 実技試験</b>	<b>3 時間</b>

集合教育を実施するのにあたり模擬生産ラインの数が足りない(3セット用意)ために、図3に示す模擬生産ラインの寸法をモデリングした3次元モデルを用いて、仮想空間上で産業用ロボットの座標の把握と教示方法、タスクプログラムの作成方法を各個人のPC上作業を行いながら、操作方法も含めて仮想空間上で操作方法を凡そ6時間程度でトレーニングさせた。

仮想空間上で模擬生産ラインの動作を確認できた学生から順次、実機の産業用ロボットに個人が作成した座標情報とプログラムをネットワーク介して転送し、教員が立ち会いのもと動作検証を行った。(実機検証の時間は実習時間内で6時間程度、各個人が実機を扱う時間は約20、30分)動作検証が終了した学生から順次、1~3時間程度でできる表1の指標に基づいた実技試験を行った。

検証した結果、本研究で定義したレベル3以上の技能を習得できている学生が9割以上であったため、今回作成した教育カリキュラムの訓練効果は高いことが分かった。

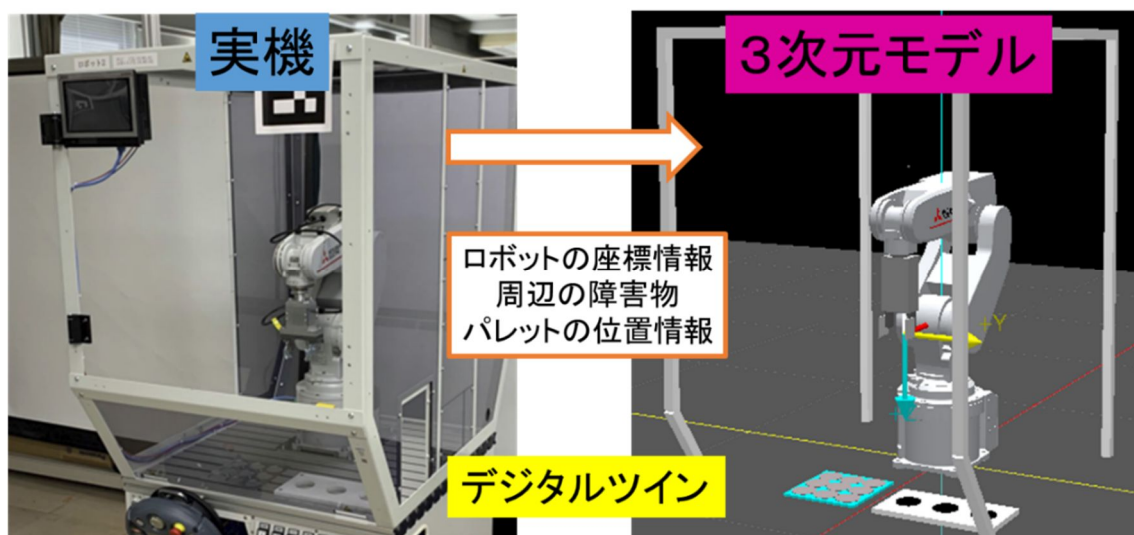


図3 集合教育に対応したロボット教示作業の教材

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 佐藤崇志、長友悠祐	4. 巻 38
2. 論文標題 エッジコンピューティングサーバによる生産工程のシステム統合	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 実践教育ジャーナル	6. 最初と最後の頁 46-49
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 佐藤崇志	4. 巻 37
2. 論文標題 Industrie4.0に対応したシステム統合に必要な技能の分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 実践教育ジャーナル	6. 最初と最後の頁 8-14
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 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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 長友悠祐、佐藤崇志
2. 発表標題 デジタルツインを用いた産業用ロボット教示実習のカリキュラムの開発
3. 学会等名 日本工学教育協会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤崇志、長友悠祐
2. 発表標題 製造業におけるサイバーフィジカルシステムに対応するためのシステム統合教育に関する検討
3. 学会等名 日本工学教育協会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤崇志、長友悠祐
2. 発表標題 デジタルツインを活用した教育訓練の試行
3. 学会等名 実践教育訓練学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤崇志
2. 発表標題 USBカメラを用いた産業用ロボットの視覚システムの構築
3. 学会等名 実践教育訓練学会
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