

重点共同研究（自動車、AI・IoT・ロボット分野）

協働ロボットによる自動化工程の更なる生産性向上に関する研究

藤沼 誠人* 片岡 智史* 佐藤 祐介** 石田 栄** 鈴木 優歩** 和良品 美桜**

A Study on Further Productivity Improvement of Automation Processes Using Collaborative Robots

FUJINUMA Masato, KATAOKA Satoshi, SATO Yusuke, ISHIDA Sakae, SUZUKI Yuho
and WARASHINA Mio

本研究は、協働ロボットを用いた自動化工程の更なる生産性向上を目的に、ロボットを導入した加工工程における加工精度の高度化、検査工程への横展開、簡易な外観検査システム開発に取り組んだ。加工精度の高度化では、ロボットハンドの形状を最適化し、ワークの加工機への固定方法を改善する動作を考案、導入することで、作業員と同等の加工精度を実現した。検査工程の自動化では、ロボットと CNC 画像測定機を連携させるための検査治具、測定プログラム、ロボット動作等を開発し、従来よりも作業員の工数を 85%削減した。簡易な外観検査システムの開発では、AI 異常検知フレームワークを用いた学習モデルを構築し、3 mm 以上の異常やワークの取り違えを判定可能とした。

Key words: 協働ロボット、自動化、省力化、AI、外観検査

1 はじめに

近年、ものづくり企業においては、いわゆるロボットシステムインテグレータを介さず自前でロボットを導入する動きが見られるが、低コストでロボットを導入できる一方、その有効活用を図るためには、ロボット導入に関する一定の技術・ノウハウが必要不可欠となる。

共同研究者の(有)佐藤精機は、令和5年度に県先進的技術・製品開発支援補助金を活用し、作業員が行っていた加工品（ワーク）の加工機への搬送・取り付け・取り外しを協働ロボットで代替する NC 旋盤加工の自動化を実現した。しかしながら、その加工精度は作業員による工程に比べ劣っている。加えて、検査工程等の他工程への横展開による更なる適用範囲の拡大、ワークの取り違え等を原因としたエラー停止のない安定した自動化工程の実現など、ロボットの更なる有効活用に向けた課題が顕在化しており、これは、県内ものづくり企業の共通課題と言える。

そこで本研究では、協働ロボットを導入した自動化工程の更なる生産性向上を目的に、ロボットハンドの最適化、治具等の見直し等による工程改善や他工程への横展開を図るとともに、簡易な外観検査システムを開発し、実証試験を実施した。また、本研究を通して、センターにおける協働ロボットの有効活用に関する技術・ノウハ

ウを蓄積し、自動化に取り組む中小企業への支援能力の強化を図る。

2 研究の方法

2. 1 加工精度の高度化

2. 1. 1 対象とする製品

図1に対象とした製品とその加工工程を示す。直径100 mm、厚さ15 mmの材料から NC 旋盤、マシニングセンタの各工程を経て、最終形状に加工していく。このうち、NC 旋盤工程では、図2の協働ロボット（(株)カワダロボティクス、NEXTAGE NXA）において、加工機へのワークの着脱と、加工機の操作を行う。ロボットハンドは、両腕ともに、空圧制御、平行チャックのメーカー標準エンドエフェクタを使用した。

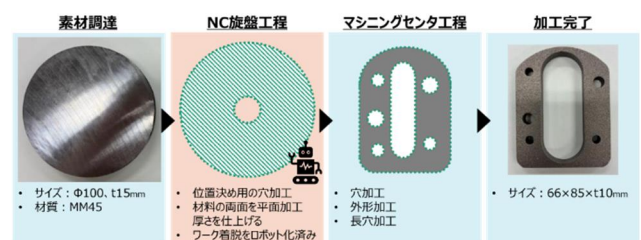


図1 対象とする製品とその加工工程

* 栃木県産業技術センター 機械電子技術部

** 有限会社佐藤精機

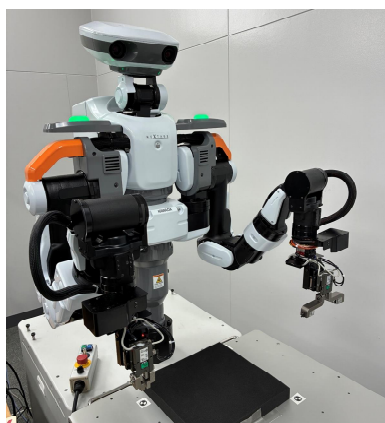


図2 協働ロボット NEXTAGE NXA

2. 1. 2 ロボットハンドの開発

ワークを把持するツメを設計し、金属 3D プリント（(株)ソディック、OPM250L）及び樹脂 3D プリント（Formlabs、Form3L）にて造形した。造形したツメを協働ロボットに取り付けた様子を図3に示す。NC 旋盤加工前のワークは円盤形状であることから、両側から平行に把持するロボットハンドでは、把持が不安定になる。そこで、ツメの片側はV溝、もう片側は平形状とし、ワークの両側から3点で把持することで、円盤形状を安定して把持できるよう工夫した。

また、後述する補正アクションを効果的に行うため、ツメに半球形状を追加した。



図3 ロボットハンドのツメ

2. 1. 3 ロボット動作の作成

加工精度が劣る要因をワークの加工機への取付精度にあると仮定し、解決方法として、ロボットハンドのツメに半球形状を追加し、ワークを加工機に固定後、半球部でワーク中心付近を押しながら、固定し直すロボット動作「補正アクション」を考案した。補正アクションの動作の概要を図4に示す。

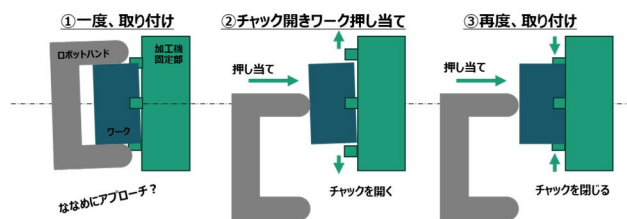


図4 補正アクションの概要

2. 1. 4 実証試験の実施

NC 旋盤工程において、考案した補正アクションの効果を検証するため、共同研究者社内にて実証試験を実施した。1)手作業による固定、2)従来ロボット動作のみによる固定、3)従来ロボット動作に補正アクションを追加した動作による固定の3種類でワークを固定し、5個ずつ加工した。加工後、ワークの反対面を基準面としたワーク平面の平行度を三次元座標測定機（(株)ミットヨ、LEGEX9106）で測定した。

2. 2 検査工程への横展開

2. 2. 1 自動化する検査工程の概要

自動化を行う現状の検査工程の測定手順を図5に示す。使用する測定機は共同研究者が保有する CNC 画像測定機（(株)ミットヨ、Quick Vision ELF）、ワークは2.1と同様とした。測定手順は、まず、手作業でワークを測定機のガラステーブルに載せ、測定機を操作し、自動測定プログラムを実行する。測定終了後、測定結果と良否の判定が測定画面に表示され、手作業で、良否ごとにワークを取り出す。

通常であれば、測定機とロボットをケーブルで接続し、シーケンス制御により動作の連携を行うが、本測定機はロボットと接続可能な入出力インターフェイスを有していない。

そこで、この工程を自動化するため、図6に示す自動検査工程を立案した。まず、ロボットが測定機のガラステーブルに設置した検査治具にワークを6個並べる。次に、ロボットが測定機制御 PC のキーボードのエンターキーを押下し、自動測定プログラムを実行する。自動測定プログラムでは、1つのワークの測定が終わるごとに、良否の結果を PC のモニター上に表示し、ロボットのビジョンセンサにて読み取る。6個の測定の終了後、ロボットが検査治具上のワークを一つずつ取り出し、測定中に読み取った良否に応じて、搬送する。



図5 手作業による検査工程の測定手順

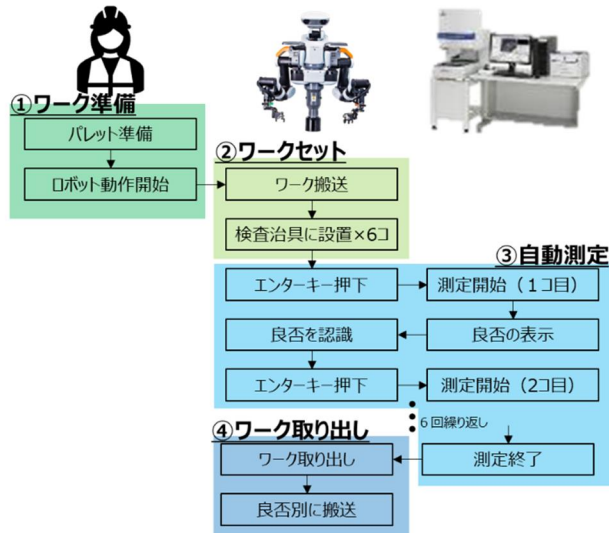


図6 立案した自動検査工程

2. 2. 2 検査治具、ツメの開発

ロボットがワークを測定機に容易にセットできるように、新たに検査治具を開発した。開発した検査治具の外観を図7に示す。検査治具は、ワークを設置する上面を引き出せるような構造とし、ワーク搬送中にロボットが測定機に接触するリスクを低減させた。また、一度に6個のワークを設置できるサイズとし、検査効率を高めた。

図8に、検査工程用に開発したロボットハンドのツメを示す。ワークの中心に開いた長穴を把持する形状とした。

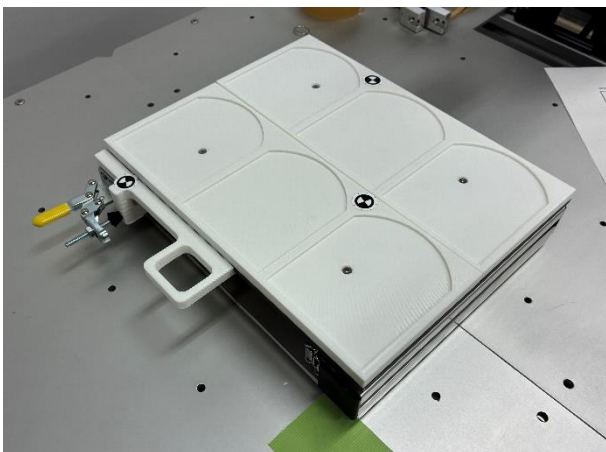


図7 検査治具の外観

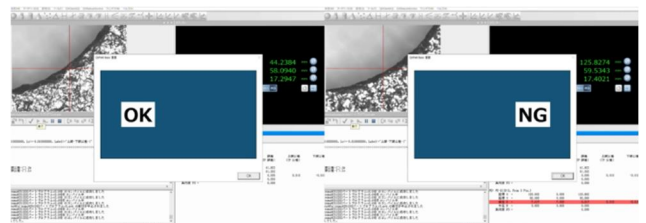


図8 検査工程用のロボットハンドのツメ

2. 2. 3 自動測定プログラム、ロボット動作の作成

一度に6個のワークを連続測定するCNC画像測定機の自動測定プログラムを作成し、1つのワークの測定が終わるごとに、検査結果の「OK」または「NG」のダイアログを表示させる機能を追加した。図9に作成した自動測定プログラムの測定画面を示す。

立案した自動検査工程を実現するロボットの動作を作成した。開発した検査治具やツメ、自動測定プログラムの動作、後述する簡易外観検査工程を踏まえた動作とした。



(a) 検査 OK 判定

(b) 検査 NG 判定

図9 自動測定プログラムの測定画面

2. 2. 4 実証試験の実施

立案した自動検査工程の効果を検証するため、共同研究者社内の検査室にて実証試験を実施した。実証試験用のワークを準備し、一度に検査治具に載せられる6個のワークを自動検査した際のサイクルタイムを計測した。また、従来の手作業による検査でのサイクルタイムを計測し、自動検査の場合と比較した。

2. 3 簡易な外観検査システムの開発

2. 3. 1 AI 学習モデルの作成

ロボットのビジョンセンサで撮影したワーク画像に対して、ワークの取り違いやキズ・ゴミの有無等を検査するAI学習モデルを作成した。AI学習モデル作成のた

めの開発環境を表1に示す。NVIDIA GeForce RTX4060 8GBを搭載したWindows PCでanacondaの仮想環境を構築した。撮影した学習用の正常品画像400枚を用い、異常検知フレームワークanomalib¹⁾に実装されている、異常検出アルゴリズムPatchCore²⁾により、学習モデルを構築した。学習モデルはonnx形式に出力し、ロボットと連携して外観検査を実施するRaspberry Pi 5に実装した。表2に外観検査環境を示す。

表1 学習モデル作成環境

PC	Windows 11 Pro
CPU	Intel Core i7
GPU	NVIDIA GeForce RTX4060 8GB
RAM	16 GB
Python	3.10.18
仮想環境	anaconda 24.11.3
異常検知フレームワーク	anomalib 2.0.0
異常検出アルゴリズム	PatchCore
入力画像サイズ	750×750 pixel
画像枚数	400枚

表2 外観検査環境

デバイス	Raspberry Pi 5
OS	Raspberry Pi OS bookworm 64bit
モデル形式	onnx
Python	3.11.2

2. 3. 2 ロボットとRaspberry Pi 5の連携システムの構築

ロボット制御PCとRaspberry Pi 5のLANに共有フォルダを設定し、ログファイルを配置した。ロボットが撮影したワーク画像は共有フォルダに保存されるように設定した。図10にロボットとRaspberry Pi 5の連携システムのフローチャートを示す。ロボットでワーク画像を撮影し、共有フォルダに保存する。ロボットからログファイルに“RUN”というコマンドを書き込む。Raspberry Pi 5が“RUN”の書き込みを検知したら、保存された画像に対して検査を実行し、結果をログファイルに書き込む。ロボットがログファイルに書き込まれた検査結果を読み取り、結果に応じた動作を実施する。

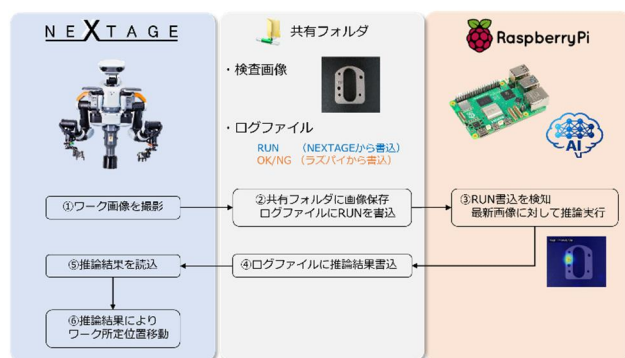


図10 連携システムフローチャート

2. 3. 3 実証試験の実施

構築した外観検査システムの動作を検証するため、共同研究者社内の検査室にて実証試験を実施した。NG品については、ワークの取り違いとして裏表を逆にしたものの、キズ・ゴミ付着物として圧痕やマジック書きしたもので再現した。

3 結果及び考察

3. 1 加工精度の高度化

実証試験の様子を図11に、ワーク平面の平行度の測定結果を図12に示す。

図12により、手作業による固定動作での平行度0.03 mmに対し、補正アクションでは0.02 mmとなり、同等の取付精度を実現していることを確認した。また、加工精度のバラツキについても、手作業と補正アクションは同等の水準となっていることがわかり、補正アクションが加工精度の向上に効果的であることが示された。

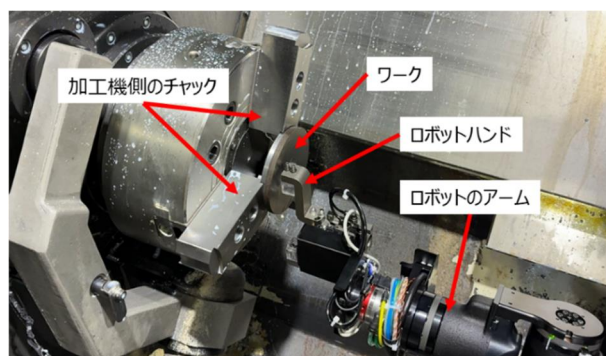


図11 実証試験の様子

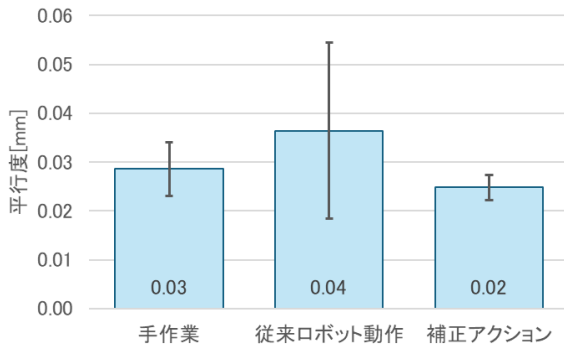


図 12 実証試験におけるワーク平面の平行度 (N=5)

3. 2 検査工程への横展開

図 13 に実証試験の様子を示す。立案した自動検査工程の動作がロボットで実現可能であることを確認した。

図 14 に 6 個のワークを測定した際の、手作業による検査とロボットによる自動検査のサイクルタイムを示す。総サイクルタイムはロボットが手作業の約 5 倍を要するものの、人が介入する実作業時間で比較すると、85% の削減が可能で、作業員の負担が軽減できることがわかった。

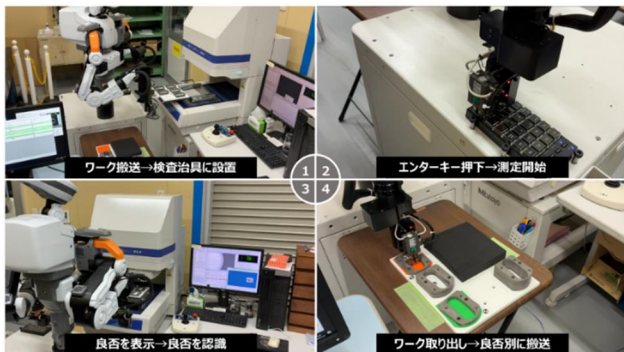


図 13 自動検査工程の実証試験の様子

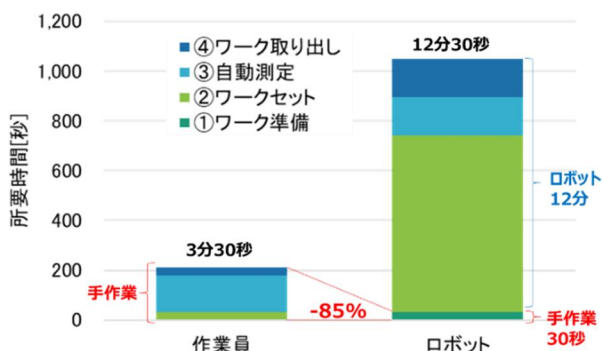


図 14 ワーク 6 個検査でのサイクルタイム

3. 3 簡易な外観検査システムの開発

AI 学習モデルによる検査を実施した。異常がある箇所と AI 学習モデルのハイライトが一致していることが確認でき、結果として、大きさ 3 mm 以上の異常やワークの取り違えを認識し、NG 品としてロボット動作に反映させることができた。

4 おわりに

協働ロボットを用いた自動化工程の更なる生産性向上を目的に、ロボットを導入した加工工程における加工精度の高度化、検査工程への横展開、簡易な外観検査システムの開発に取り組み、次の結論が得られた。

- (1) ロボットハンド、動作の開発により、作業員と同等の加工精度を実現した。
- (2) 検査治具、測定プログラム、ロボット動作の開発により、検査工程を自動化し、作業員の工数を 85%削減した。
- (3) 簡易外観検査システムを開発し、3 mm 以上の外観異常、ワークの取り違えを判定できた。

謝 辞

本事業で用いた測定機の一部は公益財団法人 JKA の補助事業によるものであり、競輪マークを記して謝意を表する。

参考文献

- 1) anomalib :
["github.com/open-edge-platform/anomalib"](https://github.com/open-edge-platform/anomalib) 引用日 2026/3/2
- 2) PatchCore :
["github.com/amazon-science/patchcore-inspection"](https://github.com/amazon-science/patchcore-inspection) 引用日 2026/3/2

