

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：12101

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K13766

研究課題名（和文）製造業における人的要因を考慮した検品ツールの導入と効果に関する研究

研究課題名（英文）Study on introduction and effect of the inspection tool in consideration of a human factor in the manufacturing industry

研究代表者

原口 春海（HARAGUCHI, HARUMI）

茨城大学・理工学研究科（工学野）・講師

研究者番号：70796325

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は製造業における人的要因を考慮した検品ツールの導入とその効果の検証をテーマとする3年間課題である。単純に定量的な閾値を設けられない検品対象に対して、機械学習を用いて検品作業者ごとの判断の違いを反映させた判別モデルによる自動検品ツールの提案を行った。研究を進める中で、判別モデルの精度向上にはサンプル自体の精度向上、ひいては検品作業者の判別精度の平準化が必要不可欠であることが明らかとなり、サンプルのラベル付けツールおよび作業者訓練ツールの提案を行った。作業者訓練ツールについては学生被験者による継続的な訓練実験を行い、検品作業者の技能変化の解析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、歯科医療器具部品の検品を支援するツールの開発と導入効果の測定を行った。対象となる部品はひとつとして同じ形状のものが無いため単純な閾値設定による自動検品は不可能なうえ、検品作業者によっても判断が異なる場合がある。そこで、作業者による判断の違いを反映した部品の分類を行い、機械学習を用いた検品支援ツールを開発した。また、サンプルのラベル付けツールおよび作業者訓練ツールの提案を行い、作業者の判断基準を平準化することによって、機械学習で使用するサンプルの精度が向上し、最終的に検品支援ツールの精度も向上させることが分かった。

研究成果の概要（英文）：This research is a three-year project that focuses on the introduction of inspection tools that take into account human factors in the manufacturing industry and the verification of the effectiveness of these tools. An automatic inspection tool based on a discrimination model that reflects the differences in judgement of different inspection workers using machine learning was proposed for inspection targets for which a simple quantitative threshold cannot be set. In the course of the research, it became clear that the improvement of the accuracy of the sample itself, and thus the equalisation of the discrimination accuracy of the inspection workers, was essential to improve the accuracy of the discrimination model, and we proposed a sample labelling tool and a worker training tool. For the operator training tool, continuous training experiments were conducted with student subjects, and the changes in the inspection operator's skills were analysed.

研究分野：生産管理

キーワード：生産管理 作業者訓練 人的要因 機械学習 検品作業 品質管理

1. 研究開始当初の背景

製造業では Industry 4.0 が先導するスマートファクトリ(考える工場)により、製造部門の自動化は一層加速している。しかし、生産部門が自動化による省人数化する一方で、品質管理部門の自動化は進んでいると言いき難い。その原因は主にふたつある。ひとつは、かつての少品種大量生産の生産現場では画一的な製品が多かったために検品を自動化するのは比較的容易であったが、顧客のニーズが多様化し多品種変量生産・マスカスタマイゼーションが進む現代においては、製品によって検品方法が異なるために単純に自動化することが難しくなっている。もうひとつの理由としては、日本の製造業の 9 割が中小企業であり、中小企業にとって検品を自動化するにはコスト面や人員計画面の課題が多いためである。中小企業の売上高、生産性は 2011 年頃からともな横ばい状態が続いている。品質管理部門は製品の安全性を保証するために重要な役割を担っているものの、直接利益を生み出す部門では無いため設備投資が後回しになるのはやむを得ないと言える[3]。また、品質管理部門では製造現場以上に勘と経験に基づいた労働集約的な作業が多い。こと検品作業における機械化・自動化の有効性は検品作業の性質と同時に作業者の個性や能力に影響される可能性が高いにも関わらずそれを定量的に評価した研究は少ない。

申請者はこれまで、セル生産システムを対象とした作業計画(作業配置、スケジューリング)手法の提案を検討してきた。しかし、人的要因が重要なのは製造部門に限らない。作業者による技能差や作業者同士の相性などの協調性は全ての労働集約的な現場に共通する問題であり、品質管理部門における検品作業もそのひとつである。

そこで本研究では、歯科治療器具製造業を対象に検品支援ツールの開発・導入を行うと共に、導入による検品作業者の作業効率の変化を定量的に評価することによって実例に基づいた検証と自動化を導入する際に考慮すべき人的要因の一般モデル化を試みる多くの製造業では製品の品質を管理保証するために品質管理部門が設置されているが、中小企業の多くは未だに人手による品質チェックを行っている。無論、技術的には機械による自動チェックが可能である現場も少なくないが、自動化に二の足を踏む理由として「一気に自動化を実現するのが困難である」とこと「自動化による作業員への効果が明確でない」点が挙げられる。

2. 研究の目的

本研究の最終的なゴールは、人手作業を自動化する際の効果を、人的要因の視点から検証するシミュレーションシステムの設計である。現在の研究では、自動化による効果を単なる生産性の工場のみで測っており、作業に携わる作業者一人一人に対する効果に目を向けていない。人間中心の労働現場を実現するためには、作業者の個性や技能に応じた効果を検証し、作業者に応じた活用方法を見出すことが求められる。

3. 研究の方法

本研究は以下のステップで行った。

- (1) 品質検査部門の作業測定および、作業者の技能評価を実施(技能評価その1)。および検品支援ツールの予備検討を実施。
- (2) 大まかに良品と不良品を判定する検品支援ツール(Ver.1)の開発および導入。
- (3) 検品支援ツール(Ver.1)導入による、作業効率の変化を作業者ごとに測定し、ツールを用いた場合の作業者の技能評価を実施(技能評価その2)。
- (4) 検品支援ツール(Ver.1)に、不良品のタイプ分けを行う機能を追加した Ver.2 を開発。
- (5) 検品支援ツール(Ver.2)導入による、作業効率の変化を作業者ごとに測定し、ツールを用いた場合の作業者の技能評価(その3)。
- (6) 作業者の技能評価(その1)~(その3)をもとに、作業者の人的要因の視点から作業自動化の効果をシミュレートする指針の提案を行う。

具体的には、歯科治療用ドリルの検品現場を対象に研究を進める。歯科治療用ドリルは先端にダイヤモンド粉をまぶしたものが一般的だが、ダイヤモンド粉が正常に付着しているかの検品は品質管理部門の作業者が顕微鏡を使って目視で行っている。そのため、作業者によって検品の速度や判断基準が異なる。この現場に検品支援ツールを導入してその効果を検証する。

4. 研究成果

本研究は製造業における人的要因を考慮した検品ツールの導入とその効果の検証をテーマとする3年間課題である。単純に定量的な閾値を設けられない検品対象に対して、機械学習を用いて検品作業者ごとの判断の違いを反映させた判別モデルによる自動検品ツールの提案を行った。

具体的には、歯科医療器具部品の検品を支援するツールの開発と導入効果の測定を行った。対

象となる部品はひとつとして同じ形状のものが無いため単純な閾値設定による自動検品は不可能なうえ、検品作業者によっても判断が異なる場合がある。そこで、人手作業による判断の曖昧さを反映するため、学習データを「良品」「不良品」の2分類では無く、「良品」「人によっては不良品にするが実際は良品」「人によっては良品にするが実際は不良品」「不良品」の4段階に分け、畳み込みニューラルネットワーク(Convolutional Neural Network: CNN)を用いた分類モデルを構築し判定結果の比較を行った。分類の組合せパターンと判定結果は表1のとおりである。

Table 1 分類パターン別結果

Original	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Accuracy (S.D.)	Precision (S.D.)
Pattern 1	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	65.80% (5.71)	64.40% (10.74)
Pattern 2	Level 0	Level 1		Level 2	66.50% (16.64)	74.50% (3.84)
Pattern 3	Level 0		Level 1	Level 2	71.50% (6.17)	89.80% (11.11)
Pattern 4	Level 0	Level 1	Level 2		64.60% (9.38)	51.60% (39.81)
Pattern 5	Level 0		Level 1		85.10% (6.50)	95.90% (5.61)
Pattern 6	Level 0	Level 1			80.30% (9.60)	83.30% (19.7)
Pattern 7	Level 0			Level 1	93.10% (4.32)	98.50% (2.29)

また、サンプルのラベル付けツールおよび作業者訓練ツールの提案を行った。作業者訓練ツールはパイロット版で学生による訓練実験を行った後、改良版を作成した。訓練ツールを用いて、作業者の判断基準を平準化することによって、機械学習で使用するサンプルの精度が向上し、最終的に検品支援ツールの精度も向上させることが分かった。図1に作業者訓練ツール画面の一部を示す。



Figure 1 作業者訓練ツール(訓練結果チェック画面)

結論として、判別モデルの精度向上にはサンプル自体の精度向上、ひいては検品作業者の判別精度の平準化が必要不可欠であることが明らかとなり、サンプルのラベル付けツールおよび作業者訓練ツールの提案を行った。作業者訓練ツールについては学生被験者による継続的な訓練実験を行い、検品作業者の技能変化の解析を行った。

本研究の成果は、国内学会4回、国際学会2回で報告した。論文も1本投稿中である。

また、本研究の発展課題として課題番号: 22K13471 研究課題: 作業者の技能と検品精度を同時に向上させる機械学習システム構築に関する研究 が採択されたので、両課題にまたがる研究成果の一部を、2022年12月に開催される国際学会で報告予定である。

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 赤石陸, 原口春海
2. 発表標題 検品訓練ツールを用いたサンプル抽出と効果に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原口春海, 野田佑樹
2. 発表標題 ニューラルネットワークを使用した検品支援ツール開発に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会生産システム部門研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Harumi HARAGUCHI
2. 発表標題 A study on operator allocation method considering the productivity and the training effect in labor-intensive manufacturing system
3. 学会等名 IEEE 2019 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野田佑樹, 原口春海, 湊淳
2. 発表標題 ニューラルネットワークを使用した検品支援ツール開発に関する基礎検討
3. 学会等名 日本機械学会茨城講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保田真伍, 原口春海
2. 発表標題 検品訓練ツールの改良とその結果を利用した機械学習の判別モデルの精度検証
3. 学会等名 生産システム部門研究発表講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Riku AKAIISHI, Harumi HARAGUCHI
2. 発表標題 Sample Extraction of a Quality Inspection Tool for Dental Parts Manufacturing Industry
3. 学会等名 IEEM Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Harumi HARAGUCHI, Yuki NODA
2. 発表標題 A Study of the Inspection Support Tool Development Using the Neural Network
3. 学会等名 IEEM Annual Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

茨城大学研究者情報総覧
<https://info.ibaraki.ac.jp/Profiles/103/0010261/profile.html>
 茨城大学 大学院理工学研究科 原口研究室
<http://harulabo.cis.ibaraki.ac.jp/>
 茨城大学 理工学研究科(工学野) 情報科学領域 原口春海
<https://info.ibaraki.ac.jp/Profiles/103/0010261/profile.html>

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
---------	---------