

|                |  |
|----------------|--|
| <b>氏 名</b>     | あさいし けんた<br>浅石 健太  |
| 本籍（国籍）         | 秋 田 県  |
| 学位の種類          | 博士(工学)   |
| 学位記番号          | 工博 第337号   |
| 学位授与年月日        | 令和4年3月23日  |
| 学位授与の要件        | 学位規則第5条第1項該当 課程博士  |
| 研究科及び専攻        | 工学研究科機械・社会環境システム工学専攻                                     |
| <b>学位論文 題目</b> | <b>非接触センシングによる人手作業支援技術開発</b>                             |
| 学位審査委員         | 主査 教授 三好 扶<br>副査 教授 萩原 義裕<br>副査 教授 西村 文仁<br>副査 准教授 佐々木 誠 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

古くから人間は様々な道具や食品を生産・製造・加工することで豊かで便利な生活を営んでいる。時代が進むにつれ、これら生産・製造・加工作業へ省力化・自動化システムを導入することによって、省力化・自動化を推進し、より短時間、少人数、低コストで生産・製造・加工する方法を確立してきた。その一方で、柔軟物を取扱う作業や不揃いな物に対する精密作業では、省力化・自動化が進んでおらず、作業者の手作業に頼って作業を行っている物が多く存在する。また、日本の現状を見てみると、少子高齢化によって生産年齢人口の減少が続いていることに加え、現在雇用されている熟練作業者の高齢化が進んでいることから、新たな作業者の確保と技能の習得・継承が問題となっている。

本論文では、作業者による手作業で行われている様々な作業に対し非接触センシングを使用したシステムインテグレーションを行うことで、これまで人手に頼りきりであった不定形なものや変形を伴う微細なものを対象にした加工・製造作業の作業支援技術開発を行った。作業支援を作業アシストと作業自動化の2つと定義し取り組むことで、技能が未熟な作業者の作業効率向上や繰り返し作業からの作業解放を可能とし、加工・製造業が抱える人手不足と技能習得・継承の問題解決に貢献する。

第1章では、本論文の社会的背景として、人手不足の生じている現状を明らかにしたのち、非接触センシングを用いた作業支援に関する先行研究について述べ、本論文の目的と本論文で取り組む作業アシストと作業自動化の2種類の作業支援に対するシステムインテグレーションについて説明する。その後、本論文全体の構成について示した。

第 2 章では、非接触センシングを用いた作業アシストの事例としてイカ切断作業支援について取り組んだ。イカ切断作業の作業支援では、熟練作業員以外でも作業に従事可能とするため、定重量切断作業支援システムを構築した。このシステムでは、カメラとプロジェクタを使用した非接触センシングによって原料となるイカ開きの 3 次元形状を取得し、今回開発した定重量切断位置決定アルゴリズムによって切断後の製品重量が一定となるような切断位置を決定する。この決定した切断位置をプロジェクションマッピングの手法を用いて原料のイカ開きに直接投影することで、作業員に切断位置を提示することで、未熟な作業員の作業効率を向上させる。構築した作業アシストシステムを使用して実施した定重量切断実験から、未熟な作業員でも現在より高い歩留まりでイカ切断作業を達成可能なことを確認した。このことから、作業アシストシステムを使用することで、熟練作業員以外でもイカ定重量切断作業へ従事可能となるため、作業従事可能者数の増加と熟練作業員の負担を軽減することが可能となった。

第 3 章では、非接触センシングを用いた作業自動化の事例としてラック装填作業支援について取り組んだ。ラック装填作業の作業支援では、多くの作業員による繰り返しによって達成されてきた作業を自動化するラック装填作業支援ロボットシステムを構築した。このシステムでは、ラック上のピン位置・姿勢とワークの穴位置をレーザ距離計とロボットビジョンを使用した非接触センシングにより測定し、構築したアルゴリズムによってラック装填を行うロボットアームの動作計画を策定することで、ラック装填作業の自動化を達成可能なシステムを構築した。構築した作業自動化システムを使用して確認実験を行ったところ、高い成功率を記録したことから、ラック装填作業支援ロボットシステムによってラック装填作業を自動で達成可能なことを確認した。

第 4 章では、総括論議として非接触センシングを用いて第 2 章と第 3 章でそれぞれ構築した、作業アシストを行うイカ定重量切断作業支援システムと、作業自動化を行うラック装填作業支援ロボットシステムについて、研究・開発時に対象としていなかった異なる作業内容への展開を検討した。使用方法の工夫やシステムの改造によって、構築した作業支援システムが展開可能な作業を提示することで、省力化・自動化が進んでいない作業での、さらなる作業支援システムの導入につなげることが可能となる。

第 5 章では、結論として本論文のまとめを行い、非接触センシングを活用した作業支援システムの導入推進がもたらす人手不足解消や作業員の負担軽減への有用性を確認した。

## 論文審査結果の要旨

高度経済成長期の日本では、人手による大量生産からロボット・自動機を用いた製造へと転換を果たしてきた。これに対し、近年の嗜好の多様化、超高齢化社会化

による生産人口減少、後継者不足などに起因した諸課題への対応が喫緊の課題とされ、生産性向上に資するロボット化・自動化の機運が急速に高まりつつある。このため、少品種大量生産から多品種小ロット生産への転換が求められるようになり、人手作業のロボット・自動機への転写がシステムインテグレーションにおいて重要な位置づけとなっている。

本論文では、手作業で行われてきた諸作業のうち、非接触センシングを使用したシステムインテグレーションを行うことで、これまで人手に頼りきりであった不定形ワークや変形を伴う微細ワークを対象とした作業支援技術開発を行った。特に作業支援は(1)作業員への直接的な支援と、(2)作業員に代わる自動化の2つと定義し、技能が未熟な作業員の作業効率向上、繰り返し作業からの解放、そして加工・製造業が抱える人手不足と技能習得・継承の問題解決に資することを企図した。

始めに、非接触センシングを用いた作業員への直接的な支援としてイカ切断作業について、特に定重量切断作業を熟練作業員と同等レベルの作業クオリティが得られるような支援システムを構築した。このシステムでは、カメラとプロジェクタを使用した非接触センシングによって原料となるイカ開きの3次元形状を取得し、本研究にて開発した定重量切断位置決定アルゴリズムを実装して切断後の製品重量が一定となるような切断位置を決定する。この決定した切断位置をプロジェクションマッピングによって原料のイカ開きに直接投影することで、作業員に切断位置を提示することで、未熟な作業員の作業効率を向上させ熟練作業員と同等レベルを得られることを実験的に検証した。このことから、本システムを使用することでイカ定重量切断作業に対する作業従事可能者数の増加と熟練作業員の負担軽減が可能となった。

次に、非接触センシングを用いた作業自動化として、特に作業員が繰り返し実施する微細ワークのラック装填を自動化するラック装填作業支援ロボットシステムを構築した。このシステムでは、ラック上の直径0.8mmのピン位置・姿勢と直径1.1mmのワーク穴位置をレーザ距離計とロボットビジョンを使用した非接触センシングにより測定し、本研究にて構築したアルゴリズムによってラック装填を行うロボットアームの動作計画を策定することで、ラック装填作業の自動化を達成可能であることを実験的に検証した。このことから、本システムを使用することで微細ワークのラック装填作業に対する支援方策としてロボットシステム化による自動化が可能となった。

食品・医薬品・化粧品といった3品産業分野は商品サイクルが短く、多品種小ロット生産が求められる生産現場である。このため、単一作業や課題への対応だけでなく、ロボットシステムの多能工化や教示の簡便化が求められている。この観点から本研究にて構築した作業支援システムを俯瞰すると、エンドエフェクタや製造現場のレイアウトは支援対象作業特有のため各課題に応じる必要であるが、システムの基幹を構成する「非接触センシングからロボットアームの動作計画」を決定するアルゴリズムは共通化を図ることができる。このことから、製造・作業現場での固

有課題へのソリューションの提供と、汎化可能な課題への多能工化を含むロボットシステムインテグレーションの境界が明示的になったと示唆される。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。

**原著論文名（1編を記載）**

めっき工程における微細ワークのラック装填作業自動化アルゴリズム構築，浅石健太，三浦修平，千葉裕，三好扶，精密工学会誌（2022年2月15日掲載決定）