

論文の内容の要旨

論文題目	作業の自動化難易度と自動化率を考慮した 人とロボットのハイブリッド組立ラインの設計法に関する研究
学 位 申 請 者	宮内 孝

製造業の経営環境として、製品の品質をめぐる競争の激化や技術革新のスピードが加速する一方で、就業者数の減少が進み、人材確保に一層の厳しさが高まり、ロボットの導入による自動化と省人化が、今まで以上に期待されている。工業製品は、多様な部品を用いて組み立てられており、このような組立作業は、作業員、ロボットおよび製造装置を配置し、必要な作業を順次通過していく組立ラインによって行われる。実際に組立ラインを実現するには、費用対効果の観点で成立することが求められるため、すべての作業を自動化するのではなく、作業の内容によって、人あるいはロボットを組み合わせ配置する必要がある。従来は、設備導入コストが既知のデータとして、事前に与えられていることを前提としたライン設計法が提案されている。しかし、組立ラインでは、設備費や運用・保守費の具体的なコストデータを得ることができるのは、設備の詳細設計フェーズの事後になってしまうケースがあった。

本研究では、作業の自動化難易度が作業ごとに異なることとラインの自動化率に着目して、人とロボットを同時に配置するハイブリッド組立ラインの設計法を提案する。

1章では、作業員、ロボットおよび製造装置を用いた組立ラインの設計法について、課題を整理する。具体的には、製造業の就労人口の減少、苦渋作業からの解放、および多様化する製品要求などの社会的要請に対して、作業員、ロボットおよび製造装置を用いた製造ラインのシステムインテグレーションに関する課題を取り上げる。そして、作業員、ロボットおよび製造装置を用いた製造ラインの設計法については、手順化や体系化が十分に行われていない現状があることを指摘した。

2章では、組立ラインの構成と、人手作業やロボットによる自動化の状況、および従来のライン設計手法について整理する。ここで、組立ライン設計の1つとして、生産ラインの各作業ステーションに割り付ける作業量を均等化するラインバランス手順を説明する。さらに、ラインバランスを0-1整数計画法で定式化し、線形計画ソルバーを用いて数値実験を行う手順を説明

する。

3章では、人とロボットを配置するハイブリッド組立ラインを作業の自動化難易度にもとづいて設計する手順について、事例を通じて説明する。提案する設計手順でははじめに、人手作業を作業の自動化難易度にもとづいて分析し、次に、難易度ごとに作業を集約した工程変更案を作成する。最後に、作成した工程変更案をもとに、人とロボットのハイブリッド組立ラインを設計する。さらに、提案手順を電子機器製造のライン設計に適用した結果、作業の自動化難易度の低い作業の自動化を優先したライン設計案を作成できることが示された。また、提案手順を現場の従来手法と比較した結果、適用事例においては、人員の削減と設備導入コストの抑制の両方の点で優れていることがわかった。

4章では、ハイブリッド組立ラインの設計法について述べる。3章において、作業の自動化難易度を考慮したハイブリッド組立ラインの設計手順を提案したが、その定式化は行われていなかった。そのため、設計者によって設計結果が異なることや、関係者で客観的に設計結果を評価することができないという課題があった。本章では、作業の自動化難易度を考慮したハイブリッド組立ラインの設計問題を0-1整数計画法として定式化する方法を提案する。この設計法は2段階で構成され、第1段階では、作業の自動化難易度と、自動化率あるいは総作業時間などの2目的問題として、人またはロボットの作業選択を行う。次に、第2段階では、第1段階の選択結果を用いて、サイクルタイム制約のもとステーション数を最小化するラインバランシングに対して、0-1整数計画法で解を求める。最後に、この2段階設計法を、3章と同じ製造ラインの一部に適用した結果、作業の自動化難易度と他の目的関数の間のトレードオフ関係を明確にし、自動化推進の方針決定に活用可能であることを示した。

5章では、4章で定式化した2段階設計法を、より作業数の多い実際の組立ラインに適用した結果を説明する。具体的には、提案した2段階設計法を電子機器の製造ラインに適用し、線形計画ソルバーにより解を得た。第1段階では、4章で得られた結果と同様に、作業の自動化難易度の制約を緩和すると、ロボット作業に選択される作業数の増加が確認された。第2段階では、第1段階の作業選択の結果をもとにラインバランシングを行い、複数のライン設計案が得られることを示した。また、これらの結果を、ライン設計の技術者が活用することで、さらに設計案を改善できる可能性のあることがわかった。

最後に6章では、提案した本設計法の成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 宮内 孝

審査委員主査 山田 哲男

委員 内海 彰

委員 横川 慎二

委員 水戸 和幸

委員 杉 正夫

(*自筆署名の場合に限り、押印省略可)

本論文は、「作業の自動化難易度と自動化率を考慮した人とロボットのハイブリッド組立ラインの設計法に関する研究」と題し、作業ごとに自動化難易度が異なることとラインの自動化率に着目して、人とロボットを同時に配置するハイブリッド組立ラインの設計法を提案している。本論文は、以下の6章から構成されている。

第1章「序論」では、作業員、ロボットおよび製造装置を用いた組立ラインについて、その設計課題を整理している。具体的には、製造業の就労人口の減少、重量物の取り扱いや単調な作業といった苦渋作業からの解放や、多様化する製品要求などの社会的要請に対して、作業員、ロボットおよび製造装置を用いた製造ラインのシステムインテグレーションに関する課題を取り上げている。そして、作業員、ロボットおよび製造装置を同時に用いた製造ラインの設計法は、手順化や体系化が十分に行われていない現状のあることを指摘し、本研究で提案する作業の自動化難易度を考慮した設計法の新規性を、関連研究と比較して明らかにしている。

第2章「組立ラインの自動化とラインバランシング」では、組立ラインの構成として、組立作業と先行順位関係から、人手あるいはロボットの作業タイプ選択と従来のライン設計法について、整理している。組立ライン設計法の1つとして、作業を各ステーションに割り付けるラインバランシングを取り上げて、0-1整数計画法による定式化から、数理計画ソルバーを用いた求解が可能であることを説明している。

第3章「人とロボットのハイブリッド組立ライン設計の手順化」では、人とロボットを配置するハイブリッド組立ラインの設計を、作業の自動化難易度にもとづく事例を通じて手順化している。はじめに、自動化難易度を人手作業の分析により与え、次に、難易度ごとに作業を集約する工程変更案の作成手順を述べ、最後に、人とロボットのハイブリッド組立ラインの設計案を評価し、その

効果を示している。提案された手順は、電子機器製造のライン設計に適用され、作業の自動化難易度の低い作業の自動化を優先したライン設計案を生成することで、人員削減と設備導入コスト抑制の両方の観点で、現場の従来法より優れていることを定量的に明らかにした。

第4章「ハイブリッド組立ラインの2段階設計」では、整数計画を用いた2段階設計法を提案している。はじめに、第3章で提案した設計手順には定式化がないため、結果が設計者によって異なることや、設計結果を客観的に評価しにくいという課題のあることを指摘している。そこで、作業の自動化難易度を考慮したハイブリッド組立ラインの設計問題を、2段階の0-1整数計画法により定式化する方法を提案している。具体的には、第1段階では、作業の自動化難易度と、自動化率あるいは総作業時間などの2目的問題として、人手あるいはロボットの作業タイプ選択を行い、第2段階では、第1段階の作業タイプ選択結果を用いて、サイクルタイム制約のもとステーション数を最小化するラインバランスングを行っている。さらに、第3章と同じ事例の一部に適用することで、作業の自動化難易度と他の目的関数の間のトレードオフ関係を明確にし、提案した2段階設計が自動化推進の方針決定に活用可能であることを示している。

第5章「2段階設計法の電子機器製造ラインへの適用と評価」では、第4章で提案した2段階設計法を、より作業数の多い実際の組立ラインに適用して検証している。具体的には、提案した2段階設計法を電子機器の製造ラインに適用し、数理計画ソルバーを用いた求解の手順を展開している。第1段階では、作業の自動化難易度の制約を緩和すると、ロボット作業数が増やせることを確認している。第2段階では、第1段階の作業タイプ選択の結果をもとにラインバランスングを行い、複数のライン設計案が得られることを示した。これらの結果をライン設計の技術者が活用することで、設計案をさらに改善できる可能性のあることを述べている。

第6章「結論」では、提案した本設計法の成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について記述している。さらに、提案した設計法の活用を通して、人とロボットがそれぞれの強みを活かして互いに協力し合う人とロボットの共生社会に言及している。

このように本論文は、作業ごとに自動化難易度が異なることやラインの自動化率に着目して、人あるいはロボットを組み合わせ配置するハイブリッド組立ラインの設計法を提案することで、人とロボットを同時に活用するハイブリッド組立ライン設計の方法論に寄与するものであると評価できる。

以上により、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。