

早稲田大学大学院 創造理工学研究科

博士論文概要

論文題目

リーンオートメーション概念に
基づくマテリアルハンドリング
システム設計法

Methodology for the Design of
Material Handling Systems
Based on Lean Automation Concept

申請者

山崎 康彦

Yasuhiko YAMAZAKI

経営デザイン専攻 生産システム工学研究

2018年3月

自動車部品製造のように、高品質で比較的多量の製品をグローバルに供給することが求められる場合、生産拠点を低労務費国に置くことで、グローバルなコスト競争力を維持する戦略がこれまで多くとられてきた。しかし、新興国の経済成長にともなう人件費の継続的な増加、人的ミスによる品質不良の発生、従業員の雇用と訓練の難しさなど、近年この戦略には多くの問題が生じてきている。このため、地域を選ばずに安定した品質・コストでの生産を可能にする自動化生産システムのニーズが世界的に高まっている。

一方、自動化は比較的大きな初期投資を要することから、投資回収の見通しを立てることが重要である。しかし、最近の急速な社会の変化や技術の進展は、予測困難な生産要求の変化を生んでおり、自動化投資のリスクを増大させている。このような中で、製品1台当たりのコストを下げ自動化投資を合理化するための方策として、多品種生産を可能にすることで総生産量を確保する FMS (Flexible Manufacturing System) の開発や、生産要求の変化に対応して容易に生産システムを再構成できる RMS (Reconfigurable Manufacturing System) などの研究がこれまでさかんに行われてきた。しかし、投資リスクを緩和するためには、投資額そのものを抑える事も重要である。自動化投資額の削減については、これまでも多くの取り組みがなされているが、ほとんどが個別特殊解的な対応であり、体系的な取り組みはほとんど検討されてこなかった。

これに対し、本論文では、リーンプロダクションにおけるムダ概念とその削減方策を自動化生産システムに応用することで、製品1台当たりのコストを削減する、リーンオートメーション（以下 LA）という新たな概念を提案している。また、これを、汎用的な自動化装置によって構成されるマテリアルハンドリング（以下、マテハン）システムに適用し、その設計法を提案している。

リーンプロダクションでは、7つのムダが定義されているが、この中の「手待ちのムダ」についての改善手法は、これまで人作業にしか適用されてこなかった。しかし、自動化生産システムの中の、直接価値を生まないマテハン機能を実現しているマテハンシステムを見ると、その費用が自動化生産システム全体の約40%に及んでいるにもかかわらず、平均的な稼働率は約25%であり、多くの待ち時間のムダが生じている。これらのムダの発生原因は、個々のマテハン装置の設計を、自動化生産システムを構成する加工・組立・検査などの主機能を実行するステーション単位で行っていることにある。これに対して、本論文では、リーンプロダクションにおけるムダ削減のアプローチである多能工化と多工程持ちの考え方を応用することでムダを削減する方法を示している。すなわち、複数のマテハン機能を実行できる装置が、複数のステーションのマテハン機能を実行するようにし、その結果として必要なマテハン装置の台数を削減することで、システム費用を削減する方法である。ただし、マテハンシステムにリーンプロダクションの概念を

適用するためには、人と機械の特性の違いを考慮する必要がある。人においては、全作業を時間という1つのパラメータを用い、負荷平準化によるムダ削減を考えることができる。一方、マテハン装置の場合、各装置の機能に制約があるとともに、装置ごとに費用が異なる。このため、マテハン装置にマテハン機能を適切に割り付け、マテハン装置が常に動き続ける状態を作ることによって、マテハンシステムの費用が最小になるようにする必要がある。本論文ではこのような条件を満足する自動化をLAと定義している。

本論文は全6章から構成されている。

第1章では、研究の背景と目的を述べている。グローバルに自動化ニーズが高まっているのに対して、社会、技術の急速な変化により、自動化投資のリスクも増大している。これに対応するためには、従来のような自動化生産システムのフレキシブル化だけでなく、投資額そのものを削減する体系的な方法論が必要である。このような方法論として、現状稼働率が低くムダの多いマテハン装置にLAの概念を適用した、マテハンシステム設計法の開発を研究目的とする。

第2章では、リーンオートメーションの概念設計を論じている。生産システムで実現されている機能は、付加価値を生み出す主機能と、主機能を成立させるために存在している付帯機能に分けられ、後者は主にマテハン機能である。自動車部品製造における自動化生産システムの分析から、マテハンシステムの費用が全体の約40%を占めているにも関わらず稼働率は25%程度と極端に低いことが明らかになっている。このムダを削減するために、リーンプロダクションにおける手待ちのムダの削減方策である多能工化と多工程持ちの考え方を自動化システムに適用することをLAの概念とする。すなわち、1つのマテハン装置が複数のステーションのマテハン機能を複数受け持つことでマテハン装置の稼働率を向上させ、装置台数を削減し、結果として費用を削減する。このようなマテハンシステムを設計する上で考慮しなくてはならない課題としては以下の3点が挙げられる。第1に、必要なマテハン機能を実行できるマテハン装置の自動選択を可能にする方法、第2に、マテハン装置の待ち時間や機能のムダを省きコストを最小化するマテハン機能のグループとそれを実行する装置の組合せを求める方法、第3に、求めた機能グループと装置の組合せにおけるサイクルタイムを計算し製品1台あたりのコストを求める方法である。

第3章では、LAの概念に基づいたマテハンシステムの設計法に必要なマテハン機能のモデル化について述べている。すなわち、様々な自動化生産システムの分析に基づき、マテハン機能と対象物の属性を表す21項目からなる機能属性表を提案し、グループ化された機能に対して、あらかじめ用意したマテハン装置ライブラリより適切なマテハン装置を割り当てられる方法を示している。

第4章では、マテハンシステムの製品1台当たりのコストを最小化することを

目的に、マテハン機能のグループ化とグループ化された機能へのマテハン装置の割り当てを、遺伝的アルゴリズム（以下 GA）を用いて求める、マテハンシステム設計法を提案している。GA の実行においては、最適な機能グループを効率的に探索するために、クラスタリング分析を用い、類似性の高い機能グループを作成し、それを初期解とする方法を提案している。また、GA の中で、製品 1 台当たりのマテハンシステムコストを適応度として計算するためには、各遺伝子が表現している機能グループとマテハン装置の組合せによって実現できるサイクルタイムを実用的な時間内に計算する必要がある。このために、複数のマテハン装置が同時並行的に機能を遂行することを考慮した先行関係図の求め方と、それに基づいて H&B (Helgson and Birnie) 法を用いてサイクルタイムを概算する方法を提案している。

さらに、GA により導き出された解に対して、正確な製品 1 台当たりのコストを求めるために、実現可能なサイクルタイムを精度よく見積もるタブーサーチを用いた計算法を示している。

第 5 章では、提案設計法を自動車用エンジンコントロールユニットの組立ラインに適用し、マテハンシステムの費用を従来の設計法に基づく場合に対しておよそ 39%削減できることを示すことで、本設計法の有効性を検証している。また、考察として、GA の実行において初期解の生成にクラスタリング分析を用いることの妥当性の確認、ライン形状が結果に与える影響を見るために行った U 字ラインとストレートラインの比較、サイクルタイムの概算に H&B 法を用い、GA での近似最適化後にタブーサーチを用いてより精度の高い計算を行うことの妥当性の確認を行っている。

最後に第 6 章では、本論文の成果をまとめ今後の展望を示している。

以上を要するに、本論文は、グローバル生産における競争力強化のために求められる自動化生産システムの投資額を削減する目的で、リーンプロダクションにおける手待ちのムダの削減の考え方を自動化生産システムに応用したリーンオートメーションの概念を提案し、それを、マテハンシステム設計に適用するための方法を開発するとともに、その有効性をエンジンコントロールユニットの組み立てラインに適用し確認したものである。

早稲田大学 博士（経営工学） 学位申請 研究業績書

氏名 山崎 康彦



(2018年 11月末 現在)

| 種 類 別 | 題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む） |
|----------|---|
| | 【論文】 |
| ○査読付き論文 | Design method of material handling systems for lean automation—Integrating equipment for reducing wasted waiting time, CIRP Annals – Manufacturing Technology, Vol.66/1, pp.449-452, 2017, Y. Yamazaki, K. Shigematsu, S. Kato, F. Kojima, S. Takata. |
| ○査読付き論文 | リーンオートメーションのためのマテリアルハンドリングシステム設計手法, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.862, 2018, 山崎康彦, 重松 研太, 翁 嘉華, 小島史夫, 高田祥三. |
| ○査読付き会議録 | Lean automation system responding to the changing market, Procedia CIRP, Vol.57, pp.201-206, 2016, Y. Yamazaki, S Takata, H. Onari, F. Kojima, S. Kato. |
| | 【その他】 |
| 査読付き会議録 | Development of 1/N machine for optimization of life cycle cost responding to globally varying production environment, Procedia CIRP Vol.61, pp.22-27, 2017, Y. Yamazaki. |
| 総説 | Development of flexible manufacturing system, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 26 (4), pp. 426-433, 2014, Y. Yamazaki, K. Sugito, S. Tsuchiya. |
| 総説 | Development of revolutionary automation line for meter gauge, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26 (2), pp. 134-139, 2014, Y. Yamazaki, K. Fukaya, S. Tsuchiya. |
| 論文 | 需要の変種変量に対応した生産システムの設計, IE レビュー, Vol.42, No.5, pp.23-29, 2001, 山崎康彦. |
| 講演 | 生産量・種の変動に強いトランスファライン型生産システムの開発, 第1回ファクトリーオートメーション部門講演会論文集, 2001, 山崎康彦. |
| 講演 | 脱低労務費依存・トレードオフ開発で高生産性を追求したグローバル競争で打ち勝つ自動車センサ用多種高速一貫生産システム, 生産システム部門講演会 2011 講演論文集, 2011, 森田裕之, 古橋正至, 山崎康彦, 北野晶之, 柘植広行, 石畝学. |
| 講演 | IoT 時代におけるモノづくり革新, 国際生産工学アカデミー第 68 回総会併設 市民公開講座 |