

博士論文審査報告書

論 文 題 目

多品種少量生産における作業能力
を考慮した組立ライン工程計画に関する研究

Assembly Line Process Planning Considering Difference in
Worker Capability for Multi-model and Small-batch Production

申 請 者

翁	嘉華
Jiahua	Weng

経営システム工学専攻 生産システムデザイン研究

2010 年 12 月

本研究は多品種少量受注生産を行う人手組立ラインを対象として、ライン工程計画問題に対する解決策を提案している。対象の組立ラインでは、日々変化する受注状況に合わせて生産する製品の品種組合せとその日の生産量を変化させている。この日々変化する生産要求に対応してラインを運用するために、ライン毎の担当作業者の人数と構成を変更するフレキシブルな生産体制をとっている。また、対象の組立ラインにおける担当作業者の作業能力は同等ではなく、多様な能力の作業で構成されている。作業能力の差とは、作業員毎に個々の組立作業種に対する習熟度が異なり作業時間に差が生じることを意味するが、対象とする組立システムでは、この作業時間の差がかなり大きいという特徴を持っている。

本研究は生産現場で日々作成する実行計画としての工程計画の立案方法を対象としている。従って、作業員個々の作業能力を考慮しながら、作業員群の工程配置と要素作業群の工程への作業配分（以下は作業配分）の組合せとなる多様な計画案を検討し、短時間で生産効率の高い工程計画を作成できる方法を開発することを目的とする。

本論文の構成としては、まず第1章で、本研究の背景として多品種少量受注生産を行う組立ラインの生産環境について説明している。ここでは、注文の多品種化や作業員構成の多様化に対応する為、日々の生産品種とその生産量に合わせてライン毎の担当作業員数と構成を変えて日々の組立作業を行う必然性を説明した。対象とする組立ラインでは、複数の品種を注文数に合わせたロット単位で生産を行っており、そのロット切替方式として「一斉切替」と「順次切替」の2つがある。「一斉切替」方式は、先行するロットの作業が全て終了した時点で、一斉に全工程の作業内容と作業員配置を変更する。「順次切替」方式は、先行ロットの最後のワークに対する作業が終了した工程から、順次、後続ロットの作業内容に切替える方法であり、作業員の配置替えも個別に実施される。

第2章では、作業員個々の作業能力を考慮した作業時間を用いず、標準作業時間のみを用いる従来の工程計画方法の問題点を数値実験により確認している。また、従来の方法では考慮していない作業員配置問題を作業配分問題と同様に計算に入れることが重要であることと、作業配分と作業員配置という工程計画の両機能を同時に処理できる解法が必要であることを示している。また、2つのロット切替方式のラインに対する工程計画の課題について考察している。

第3章では、ライン工程計画に関する従来研究を整理した上で、本研究が用いる手法を検討している。対象とする工程計画問題を定式化した

数理モデルに対して問題の形式と規模の視点から考察をし、厳密解を理論的に導出できる数理計画法などの諸手法の適用が極めて困難であることからモダンヒューリスティクス手法を用いることとした。従って、本問題に類似の従来研究の多くで用いられている遺伝的アルゴリズム（GA）手法を用いて、本研究の問題に適したアルゴリズムの基本設計を行った。ここでは、致死遺伝子の発生確率や解の改善スピードなどを考察した上で、GAの基本処理手順である「選択淘汰」、「交叉」と「突然変異」の各々に対して、「類似親ペアの排除」、「問題となる工程に着目する交叉箇所を選定」、「致死遺伝子の再生」という工夫を加えている。

第4章では、本工程計画の前提条件となる作業能力（作業種毎の作業時間）の管理方法について提案している。対象とする組立職場では少数の熟練者（上級作業員）を除いて作業員の多くが何れかの作業種に対して習熟中の状態にあることから、作業習熟過程の区分方法を提案した。生産現場の調査及び製作作業の実験での動作分析から、作業習熟の過程に3段階があることを明らかにした。多様な作業に対して、作業習熟の視点から同一とみなせる作業タイプに区分することと、作業員の習熟度を作業タイプ毎に「動作学習期」、「動作改良期」と「動作敏速期」の3段階で評価・管理することを提案している。

第5章では、一斉ロット切替ラインを対象として開発した、ロット毎のサイクルタイムの最短化を目的関数とする工程計画アルゴリズムの詳細を説明している。開発アルゴリズムは作業配分と作業員配置を同時に一括して扱うことができ、要素作業数や工程数等を変えた148問題で、作業配分と作業員配置を2段階で行う計画方式と比較した結果、平均して6.33%のサイクルタイム短縮ができることを確認した。

第6章では、順次ロット切替ラインを対象として開発した、計画対象のすべての生産ロットを完成するのに必要な時間である総所要時間の最短化を目的関数とする工程計画アルゴリズムの詳細を説明している。開発アルゴリズムは工程負荷ロスとロット切替ロスの両方を考慮した交叉箇所の選定法に工夫がなされており、要素作業数や工程数等を変えた50問題で、従来の作業員配置を固定して全てのロットの作業配分をする計画方式と比較した結果、平均して総所要時間を32.4%短縮できることを確認した。更に、ロット毎に個別に最適な作業員配置と作業配分を決定する方法に比べて、全ロットを同時に考慮する開発方式は総所要時間を平均で8.0%短縮できることを確認した。本章の最後に、ロットの投入順序までも同時に決定できる工程計画法への発展を試み、今後の課題について考察している。

第7章では、提案工程計画法の適用効果を問題のタイプ及び問題の規模の視点で検証を行っている。作業配置と作業配分を同時に一括処理しない従来法に対して目的関数値を10%以上改善できる場合にその問題に適用効果があると判断した。検証結果から、初級作業者のみでなく上級作業者が3割以上を占める多様な能力の作業者が混在する職場や、作業難易度の高い要素作業（習熟による作業時間差が5倍以上）を要する製品や、要素作業間の作業先行制約の自由度を表すF-ratioが0.4以上となる構造の製品を対象とした場合に適用効果があると判断できる。

最後の第8章は、本論文の結言を述べている。

以上で述べたように、本申請者は、作業能力が異なる作業者が混在する組立ラインにおいて、個々の作業者の作業タイプ毎に対する能力（作業時間）を考慮しながら、作業者の工程配置と要素作業の作業配分を同時に一括して決定できる以下の2つの工程計画法を開発した。

- 1) 一斉ロット切替ラインにおける個々の生産ロットに対して、サイクルタイムの最短化を目的関数とする工程計画法
- 2) 順次ロット切替ラインにおける全ての生産ロットに対して、作業配置換えによるロスを考慮しながら、総所要時間の最短化を目的関数とする工程計画法

本研究は、多品種受注生産の組立ラインの問題に対する解決策として実践的な技術開発である。また、この工程計画法を適用する前提となる作業能力（作業タイプ毎の作業習熟度と作業時間）についても新たな管理方法を提案している。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

2010年10月

審査員

主査	早稲田大学理工学術院教授	工学博士（千葉工大）	大成 尚
	早稲田大学理工学術院教授	工学博士（東大）	高田祥三
	早稲田大学理工学術院教授	工学博士（早大）	吉本一穂
	早稲田大学理工学術院准教授	博士(工学)（早大）	後藤正幸
	東洋大学経営学部教授	博士(工学)（早大）	今泉 淳