

1981

外 93-5

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

非量産体制におけるGTラインの
設計に関する研究

申 請 者

羽 田 隆 男

Takao HADA

平成 5年 5月

近年、消費者ニーズの多様化に伴い、機械工場で生産すべき部品はますます多品種少量化している。そのため、多くの機械工場では多様な部品を柔軟に加工できる生産システムの構築を検討しているが、多様な部品といっても、同じ工場で生産する部品であるから表面的、局所的に相違するだけで、内容的には類似しているものが通常数多く存在する。たとえば、加工方法についてみると、使用機械やその使用順序に類似性がある場合が多い。それゆえ、このような類似性に注目して加工部品をグループ化すれば、非量産体制の工場においても複数の部品を共通的に加工するラインを導入できる可能性があり、それによって多品種化にも柔軟に対処できるはずである。つまり、GT (Group Technology) の概念に基づいて生産の流れ化(フロー化、ライン化)を推進すれば、非量産体制の工場においても柔軟性を確保しつつ生産性の向上を図ることができるはずである。本論文は、このような観点から、互いに加工順序が類似した複数の部品を共通的に加工するラインに注目し、その設計方法を研究したものである。

一般に、複数の部品を共通的に加工するラインは、各部品がライン内を移動する方向によって2つのタイプに大別できる。すなわち、搬出方向を順方向とし搬入方向を逆方向とすると、ライン内の全ての移動が順方向になるラインと逆方向の移動が存在するラインである。当論文では前者のラインをとくにGTフローライン、後者のそれを単にGTラインとよび、それぞれの構成手順を提示している。最初に、GTフローラインを構成するときには、対象部品のなかからGTフローラインで加工でき、なおかつ生産量が最大となるような部品グループを求める問題(GTフローライン構成問題)と、その部品グループのなかから1つのラインで加工する部品ファミリーを具体的に定める問題(部品ファミリー構成問題)が発生することを指摘している。また、GTラインを構成するときには、対象部品のなかから1つのラインを構成しうる生産量があり、なおかつ加工順序が互いに類似しているような部品ファミリーを求める問題(GTライン構成問題)と、その部品ファミリーを加工するのに必要な機械を逆方向の移動量の総和が最小となるように順序付ける問題(逆流最小化問題)が発生することを指摘している。次いで、これら4つの問題を整数計画問題に定式化し、それぞれの最適あるいは近似解法を提案しているが、それらの解法を結合すれば非量産体制の生産を流れ化するための統一的な手順となり、これに基づいてGTフローラインとGTラインを体系的に構成できることが示されている。また、各解法を構築する過程で解明した諸性質は、非量産体制の生産を流れ化する場合の基礎理論を与えている。本論文は8章から構成されており、各章の内容は概略以下の通りである。

第1章では、GTフローラインとGTラインの構成手順を確認したあと、上述の4つの問題を提起している。そして、これらの問題は非量産体制の生産の流れ化にとって基本的に重要であることを指摘した上で、本研究の主たる目的は、これらの

問題を整数計画問題に定式化し、その解法と応用について研究することであることを述べている。また、これらの問題に関する従来の研究を概括し、それらの問題点と当研究との関係を論じている。

第2章では、逆流最小化問題(B)を取り上げている。最初に、ラインに配置すべき機械を頂点とし、機械間の部品の移動を弧とする有向ネットワークG上で、0-1整数計画問題の一種である集合被覆問題(S)を設定している。次いで、(B)とその(S)とは一方の最適解が求まれば他方の最適解が求まるという意味で等価であり、(S)を解けば(B)の最適解が簡単な手順で求まることを証明している。また、(S)の近似解を求める2つの方法と(S)の規模を縮小する方法を提案しているが、前者は(S)の最適解を求める場合の初期値を得るために、後者は(S)を解く場合の計算量の減少化に重要である。

第3章では、逆流最小化問題(B)と基本的に等価である(S)の切除平面法に基づく最適解法を提案している。集合被覆問題(S)を明確に設定するためには、Gに存在する全てのサイクルを前もって列挙しておく必要がある。しかし、Gに存在するサイクルの数は、通常、ラインに配置すべき機械の数が多くなるに従って指数的に増加する傾向にあるため、全てのサイクルを列挙することはそれ自身相当な計算量を必要とし実際的でない。そこで本研究では、最適性を判定するのに必要なサイクルだけを順次検出しながら(S)を解く、行生成法的な(S)の解法を提案している。すなわち、(S)の構造を積極的に利用した切除平面法を考えると、その切除平面法は前もって問題を明確に設定しておかなくても行生成法的に実行できることを示している。また、提案した解法の有効性を、工作機械の部品を製造している工場の実例と数値実験で検証したあと、提案した解法の応用について触れている。

第4章では、GTフローライン構成問題を集合被覆問題(F)に定式化し、その最適解法を提示している。第3章で解法を示した(S)とここでの(F)は、共にサイクリックで有向なネットワークからいくつかの弧を除去して、それをアサイクリックにする問題である。しかし、(S)は並列な弧が存在しない単純なネットワーク上の問題であるのに対して、(F)はそれが存在する多重なネットワーク上の問題である。そのため、(S)の解法をそのまま(F)に適用することはできないが、サイクルの定義とそれを生成する手順を変更すれば、第3章で示した(S)の行生成法を基に(F)の最適解法が構築できることを明らかにしている。そして、提案した解法の実例を交じえた数値実験で検証している。

第5章では、分枝限定法に基づく部品ファミリー構成問題(P)の最適解法を提示している。分枝限定法の効率は一般に界値の強さに大きく依存する。そこで、(P)のラグランジュ緩和問題としてプロビジョニング問題を考えると、通常の最大流問題を解いて(P)の連続緩和問題の最適値と同等な(P)の下界値が求まることを示している。次に、別の観点から(P)のラグランジュ緩和問題としてよく知られたナッ

プサック問題を考えると、その下界値をさらに強化できることを証明している。また、これらの結果を分枝限定法に組み込むと、部品数が50で機械数が15程度の問題まで（NECのSX-1を使用して3分以内で）解けることを数値実験で検証している。

第6章では、複数本のGTフローラインを各ラインの長さの総和が最小となるように構成する問題（多GTフローライン構成問題）を取り上げている。そして、この問題は第5章で示した部品ファミリー構成問題の最適解法とK最良解法（K best solution method）を組み合わせれば、よく知られた集合パッキング問題に陽に定式化できることを述べている。

第7章では、GTライン構成問題の定式化と解法について論述している。GTライン構成問題は、対象部品を加工順序の類似性に基づいて集約化する問題である。そのため、この問題の設定に際しては部品間の加工順序の類似度を前もって明確に定義しておく必要がある。そこで、部品 i と部品 j の加工順序の類似度をそれらを同じラインで加工するときが発生する逆流量に注目して算出する方法を提案している。次いで、その類似度を利用してGTライン構成問題を0-1整数計画問題（G）に定式化する方法と、（G）の最適解を n （対象部品数）個のナップサック問題を独立に解いて求める方法を提示している。最後に、GTラインの設計手順を例示したあと、複数本のGTラインを構成する問題（多GTライン構成問題）に言及している。

第8章は結論であり、本研究の成果を要約するとともに、今後の研究課題を指摘している。