

|               |                                                                                                                             |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | やま だ たけ し<br>山 田 武 士                                                                                                        |
| 学 位 の 種 類     | 博 士 (情 報 学)                                                                                                                 |
| 学 位 記 番 号     | 論 情 博 第 47 号                                                                                                                |
| 学 位 授 与 の 日 付 | 平 成 15 年 11 月 25 日                                                                                                          |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当                                                                                                     |
| 学 位 論 文 題 目   | Studies on Metaheuristics for Jobshop and Flowshop Scheduling Problems<br>(ジョブショップおよびフローショップスケジューリング問題に関するメタヒューリスティクス解法の研究) |
| 論文調査委員        | (主 査)<br>教 授 茨 木 俊 秀    教 授 福 嶋 雅 夫    教 授 高 橋 豊                                                                            |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、複数の機械による仕事の処理のように、有限の共有リソースを巡って時間的に競合する多数の活動をいかにスケジュールするかを考えるジョブショップスケジューリング問題および、その特別な場合であるフローショップスケジューリング問題を扱っており、メタヒューリスティクスを枠組とする近似解法に関する研究成果をまとめたものであり、13章からなっている。

第1章では、これまでのジョブショップスケジューリング問題に対する解法の変遷について述べ、この問題の難しさ、重要さを説明している。

第2章は、ジョブショップスケジューリング問題の定義を与えた後、アルゴリズム構成上の基本的な概念、アクティブスケジュールを生成するGTアルゴリズム、クリティカルパス上の作業の入れ替えに関する基本的性質、代表的近似アルゴリズムであるボトルネック移動近似法について紹介している。また、著名なベンチマーク問題を紹介している。

第3章では、メタヒューリスティクスの一つである遺伝アルゴリズムの概要を与え、個体集団、環境への適合度、交叉、突然変異、淘汰などの基本的な概念について説明している。

第4章では、遺伝アルゴリズムによる、ジョブショップスケジューリング問題の一つの解法を提案している。具体的には、まず解を選択グラフ上の選択弧の向きに基づいてビット列に表現した後、標準的な交叉、突然変異、および淘汰を適用している。さらにベンチマークへの適用結果を報告している。

第5章では、遺伝アルゴリズムにおいて、交叉によってスケジュールを構成する際にGTアルゴリズムを適用し、アクティブスケジュールが得られるよう工夫を加えている。その結果、長年難問と考えられてきたベンチマーク問題の最適解を求めることが出来ることを実験的に示している。

第6章では、メタヒューリスティクスに共通する考え方である近傍探索について、その基本事項を説明している。また、ジョブショップスケジューリング問題において、クリティカルパス上、クリティカルブロック内の隣り合う作業の入れ替えによって定義される近傍と、そのブロックの先頭および末尾への移動のみによって定義されるクリティカルブロック近傍の2種類を考察し、後者が優れた性質を持つことを示している。

第7章では、アニーリング法を用いたジョブショップスケジューリング解法を提案している。とくに、解の移動において、その受理確率を制御する温度パラメータを計算の進行状況に応じて適応的に設定することを提案している。さらに、提案手法の効果を実験的に示している。

第8章では、アニーリング法において、GTアルゴリズムを利用してクリティカルブロック近傍を拡張することを提案している。また、遷移後の解に対し、変形ボトルネック移動近似法を適用することで、より高性能な解法となることを実験的に示している。

第9章では、遺伝アルゴリズムに局所探索の高い探索性能を取り入れるため、多段階探索交叉を用いた遺伝的局所探索を

提案している。すなわち、多段階探索交叉によって2個体間を結ぶ領域を重点的に探索することで探索性能を向上している。また、実験によって、本方式の優れた性能を明らかにしている。

第10章では、多段階探索交叉を用いた遺伝的局所探索を総作業時間最小フローショップスケジューリング問題に適用している。さらに、各局所最適解について、真の最適解までの距離と、目的関数である総作業時間との間に強い正の相関が存在することを実験によって示し、局所最適解が探索空間内にクラスタとなって存在する、いわゆる「大谷構造」をもつことを実証している。

第11章では、全作業の終了時間の総和を目的関数とするフローショップスケジューリング問題を扱い、この問題に対しても多段階探索交叉を用いた遺伝的局所探索が有効であることを実験的に示している。

第12章では、人間の記憶過程にアナロジーを持つタブー探索法を提案し、総作業時間最小順列型フローショップスケジューリング問題に適用している。また、局所最適解の最長のクリティカルブロックの内側をワイルドカードで置き換えた枝刈りパターンを長期記憶として利用することによって、探索が効率化できることを、ベンチマーク実験を用いて示している。

第13章は結論で、本論文で得られた結果を総括的にまとめ、今後の課題について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文はジョブショップスケジューリング問題およびフローショップスケジューリング問題に対して、メタヒューリスティクスを用いた最適化手法の開発と効率化、および、探索空間の構造の解析を目的として行った研究をまとめたものであって、得られた主な結果は次の通りである。

1. 選択グラフに基づくビット列で解を表現することで、標準的な遺伝アルゴリズムによってジョブショップスケジューリング問題の実用的な解を求めることが可能であることを示した。また、アクティブスケジュールを生成するGTアルゴリズムを用いて、性能を上げることが可能であることを示した。
2. クリティカルブロックに関する性質を積極的に活用することによって、アニーリング法およびタブー探索法に基づく性能の良い解法を構築した。また、ボトルネック移動近似法を組み込むことによって、さらに性能の向上が可能であることを示した。
3. 多段階探索交叉に基づく遺伝的局所探索を用いることによって、局所探索の性能をさらに高めることができることを示した。このアプローチは異なるタイプのスケジューリング問題にも適用可能であり、今後、さまざまな組合せ最適化問題に対する優れた解法となることが期待できる。
4. フローショップスケジューリング問題における局所最適解と真の最適解の関係を実験的に調べた結果、局所最適解が探索空間内にクラスタをなす「大谷構造」をもつことを実証し、多段階探索交叉が効果的であることを示した。

以上、本論文は、ジョブショップおよびフローショップスケジューリング問題に対するメタヒューリスティクス解法についての研究結果をまとめたものであり、学術上および実用上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成15年10月20日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。