

学位論文題名

Heuristic Strategies to Practical Scheduling Solution
for Large-Scale Logistic Center

(ヒューリスティックによる大規模物流センターの実用化スケジュール)

学位論文内容の要旨

1980年代から1990年代前半にかけて、好調な経済状況に支えられた大規模な設備投資により、多くの大規模物流センターが作られた。このような機械化・自動化が進んだ物流センターにおける物流システムは、多くの自動設備を効率良く連携させるよう制御・管理する必要があったが、これらの各設備は製造の用途・目的がそれぞれ異なり、さらに、時間変動・月旬変動・季節変動といった環境要素を考慮した制御・管理を実現する必要があり、統合的な制御・管理が困難であった。また、1990年代後半以降は景気低迷に伴い、物流センター等への過度な設備投資は抑えられる傾向にあり、自動化しない多くの作業をパートやアルバイト等の安い労働力に依存する物流センターが増えてきている。加えてカタログ販売やオンラインショッピングの普及や消費者の嗜好の変化により、物流センターでの取扱製品は多品種少量化の傾向が強くなってきており、現場での作業は煩雑にならざるを得ない状況が発生している。このような物流センターでは、熟練した作業員でなくても的確な作業が行えるよう、熟練作業員の経験及び知恵と同等、もしくはそれ以上の的確な作業計画を立案し、提供しなければならない必要性に迫られている。

これまで物流システムにおける問題解決手法には、主に経験的ルールベースの方法が採られてきた。その理由は、物流システムは案件毎に要求される諸条件が異なり共通した手法を確立することが困難であったことや、商品・注文の傾向分析等の上流工程が重視され、下流工程である現場設備・作業については定量的に解析されることが少なかったことが挙げられる。本論文では、数理計画的なアプローチにより、物流システムにおける現場設備・作業を最適化問題に帰し、これに対し遺伝的アルゴリズム (GA) 等のメタヒューリスティック手法の適用を可能とするため、「メタヒューリスティックエンジン」「シミュレータ」「評価エンジン」からなるフレームワークを提案している。また、このフレームワークを採用して、具体的な物流センターで現れるいくつかの問題を解決し、実用化した方法論及びその効果を述べている。

第一章では、本研究の背景として物流システムにおける最適化手法の必要性、及びそれらの問題に対してメタヒューリスティック手法を適用するために提案するフレームワークの概要を述べている。

第二章では、棒積みパレタイズ装置のスケジューリング問題に対する GA の適用について述べた。飲料品等の重量物に用いられることが多い棒積みパレタイズは、機構が単純なため棒積みパレタイズ装置として自動化されている。この棒積み装置は上流倉庫から供給されるケースを積み上げてパレット上に配置する装置である。この問題は3次元のビンパッキング問題であるが、装置の構造が

ら1次元のスケジューリング問題に変換することができ、問題は、どのような順序でケース(商品)を供給するかをスケジューリング問題となる。制約としては、商品間のケース形状や重量の相違や荷姿の安定等を考慮し、評価としては、パレット枚数が少なくなるようにスケジューリング方法が求められる。この棒積みパレタイズスケジューリング問題を定式化し、GAを適用する手法について述べた。具体的にはケースの順序決定にGAを、積み付け形状決定にシミュレーションを用い、評価関数としてパレット枚数等の4項目の和を用いている。この方法に基づき数値実験を行い、従来のヒューリスティックな手法に比べ効率化ができたことを述べている。

第三章では、大規模物流センターにおけるオーダーピッキングのナビゲーションスケジューリングについて述べた。近年の傾向として人手によるピッキングを主とした物流センターが増えており、作業員に対する的確な指示を提供するためのシステムが必要とされている。作業員に対する指示には、作業順序である経路最適化問題と作業単位であるバッチ作成問題の2つの問題が含まれている。これらの問題を定式化し、経路最適化問題の評価には作業員の移動距離を、バッチ作成問題の評価には類似度を用いて、両者にLCOを適用する方法を開発した。この方法に基づいて数値実験を行い、従来の手法に比べ改善ができる点と、経路最適化よりバッチ作成の最適化が寄与する割合が大きいことを確認できたことを述べている。

第四章では、GAによる梱包・配送支援計画の解法について述べた。第二章では棒積みパレタイズについて述べたが、物流システムでは複数の異なるサイズ・形状の商品をパレット上に積み上げるランダムパレタイズの要求も多くある。又、ケース中に注文された小さな商品を詰め合わせる梱包計画問題や、それらをトラックに積み込むための形状を決定する配送計画問題も存在する。これらの問題を順序問題に変換し、GAによる順序決定、重複空間分割配置法による商品の配置シミュレーションの適用による方法を提案している。また、この方法に基づき数値実験を行い、従来の手法に比べ有効であることを確認している。

第五章では、出荷ソータスケジューリングに対するGAの適用方法について提案している。出荷ソータはさまざまな商品を、それらを要求する顧客毎に仕分けるために使用される設備である。対象とする出荷ソータは、周回コンベアと2か所の商品仕分け口と2か所の商品投入口からなり、仕分け口に対する顧客の割り付け、商品投入口に対する商品の割り付け、及び商品の投入順序の決定を行う複合問題となる。この問題に対して、ビット列型と順序決定型を合わせたハイブリッド型遺伝子表現を用いたGAの適用方法を提案している。これに基づき、数値実験を行い、提案方法が割付け手法として有効であることと商品投入順序決定は大きな効果がないことを確認している。

第六章では、新たに提案したフレームワークが物流センターの種々の問題に有効であり、これらは実際の物流システムにインプリメントされ、効率的に適用されていること、及び今後の課題・展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 古 川 正 志
副 査 教 授 栗 原 正 仁
副 査 教 授 小 野 哲 雄
副 査 准教授 山 本 雅 人

学 位 論 文 題 名

Heuristic Strategies to Practical Scheduling Solution for Large-Scale Logistic Center

(ヒューリスティックによる大規模物流センターの実用化スケジュール)

サプライマネージメント、カタログショッピング、テレビショッピング、WEBショッピング等の普及は、大規模な物流センターの発現を促した。しかしながら、こうした物流センターを支えるソフトウェア技術は未熟であり、多くのソフトウェアは経験的なルールに基づくものであった。本論文では、このような物流センターを管理するソフトウェアに計画数理的な視点を導入し、物流センターの運営の効率化を図ることを目指したものである。

しかし、物流センターで生じる問題を数理的な問題として記述した場合、その多くは整数計画問題として定式化され、問題の本質はNP困難に属する大規模組み合わせ問題となる。従って、現実的に問題を解くことが強く望まれていた。

こうした認識を背景に、本論文では、計画数理的なアプローチにより、物流システムにおける現場設備・作業を最適化問題として定式化し、「メタヒューリスティックエンジン」、「シミュレータ」、及び「評価エンジン」のフレームワークによる解決法を提案し、物流センターに顕在化する大規模最適化問題に対し、効率的な運用の方法論と及びその効果を述べている。

第1章では、本研究の背景として物流システムにおける最適化手法の必要性、及びそれらの問題に対してメタヒューリスティック手法を適用するために提案するフレームワークの概要を述べている。

第2章では、出荷物流センターにおける棒積みパレタイズ装置のスケジューリング問題に対して、GAを適用した効率化運用について述べている。この問題は3次元のビンパッキング問題となるが、装置の構造から1次元のスケジューリング問題に変換できる。すなわち、商品間のケース形状や重量の相違や荷姿の安定等を制約とし、パレット枚数を最小とする評価によるケースの投入順序を定めるスケジューリング問題である。この定式化に対し、ケースの順序決定にGAを、積み付け形状決定にシミュレーションを用い、評価関数としてパレット枚数等の4項目の和を用いた方法を実用化している。この方法に基づき数値実験を行い、作業者の経験に基づく方法に比べ効率化が可能なことを検証している。

第3章では、大規模物流センターにおけるオーダーピッキングのナビゲーションスケジューリングについて、メタヒューリスティクスによる新しい方法を提案している。近年は、人手によるピッキングを主とした物流センターが増加し、作業者に対する指示を提供するナビゲーションシステムが有効である。作業者に対する指示には、作業順序である経路最適化問題と作業単位であるバッチ作成問題の2つの問題が含まれる。これらの問題を定式化し、経路最適化問題の評価には作業者の移動距離を、バッチ作成問題の評価には類似度を用いて、両者にメタヒューリスティクスである LCO を適用する方法を開発した。数値実験は、従来の方法に比べ 10 から 40 パーセントの改善が行え、経路よりバッチ作成の最適化の寄与が大きいことを実証している。

第4章では、複数の異なるサイズ・形状の商品をパレット上に積み上げるランダムパレタイズ問題の解決を述べている。これは、ケース中に注文された小さな商品を詰め合わせる梱包計画問題や、それらをトラックに積み込むための形状を決定する配送計画問題を含んでいる。これらの問題を順序問題に変換し、重複空間分割配置法による商品の配置シミュレーション適用し、その配置を GA の評価とした方法を提案している。数値計算実験は従来の方法と比較して効率的であることを検証している。

第5章では、出荷ソータスケジューリングに対する GA の適用を提案している。出荷ソータはさまざまな商品を、それらを要求する顧客毎に仕分けるために使用される設備である。この問題は、出荷ソータの仕分け口に対する顧客の割り付け、商品投入口に対する商品の割り付け、及び商品の投入順序の決定を行う複合問題となる。ここではその解決にビット列型と順序決定型を合わせたハイブリッド型遺伝子表現を用いた GA の方法を提案している。これに基づき、数値実験を行い、提案方法が割付け手法として有効であること、しかし商品投入順序決定は大きな効果がないことを発見している。

第6章では、新たに提案したフレームワークが物流センターの種々の問題に有効であり、実際の物流システムにインプリメントされ、効率的に適用されていること、及び今後の課題・展望について述べ、結論としている。

これを要するに、本論文は物流センターの効率的な管理問題に対し、メタヒューリスティクスを採用したフレームワークによる解決法を提案し、実システムにおいてその実現化を行い、ここで得られたメタヒューリスティクスの産業応用に関する知見は、複雑系工学研究に貢献するところ大である。

よって、著者は北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。