



# 無人搬送車の運行管理法に関する研究

宝崎, 隆祐

---

(Degree)

博士 (学術)

(Date of Degree)

1991-03-31

(Date of Publication)

2014-01-28

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲0986

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.11501/3057170>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1000986>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏名・（本籍）	ほう ざき りゅう すけ 宝 崎 隆 祐 （福岡県）
学位の種類	学 術 博 士
学位記番号	学博い第184号
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
学位授与の日付	平成3年3月31日
学位論文題目	無人搬送車の運行管理法に関する研究

審 査 委 員	主査 教授 藤 井 進
	教授 平 井 一 正 教授 前 川 禎 男
	教授 上 田 完 次

## 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、工場内の搬送系内で生じた搬送要求に対する無人搬送車の運行問題の解法に関する提案を行った。この問題を割当て問題と運行経路決定問題の二つの問題に分割した後、それぞれの問題に関して考察した。

第1章においては、工場における生産システムの効率化に果たす搬送システムの役割について記述した。特に、その中で近年導入の著しい無人搬送車システムのハードウェア及びソフトウェアの特徴について述べた。その特徴は、経路設定や変更における柔軟性にあり、それが近年の多品種少中量生産形態によく適合する搬送システムとしての長所となりうることを示した。しかし、その一方で、現在用いられている無人搬送車（以下、台車という）の運行管理や走行制御は、台車が本来もっている柔軟性を十分に引き出していない状況にあり、運行管理機能の重要性とそのより一層の改善が望まれている実状について論じた。

第2章においては、まず、一般的な“経路・スケジュール決定問題”を経路決定問題、スケジュール決定問題と混合問題の三つの問題に分類し、それぞれの分類に含まれる具体的な問題に関するサーベイを行った。その分類を基に、台車の運行問題の特徴を考察した結果、複数台車間の干渉という現象を考慮しなければならないため、この問題が混合問題に位置することがわかった。以上の考察により、台車の運行問題の独自性が明かになり、この問題を対象とすることの価値が明確になった。また、この章の後半では、3章以降の問題で共通して取り扱う搬送系をグラフ論でのノードとアークをもつネットワークにモデル化した。

第3章においては、複数台車のうちの一台中に一目的地からなる搬送要求が与えられた場合、走行時

間を最小化する運行経路決定問題に関する解法アルゴリズムの提案を行った。要求の与えられた台車以外の台車の経路があらかじめ定められていると仮定し、運行経路決定問題をタイムウィンドウをもつネットワークにおける最短時間経路問題（台車運行型 SPPTW）にモデル化した。その後、この問題を分枝限定法を用いて解く方法を提案した。

一般の分枝限定法でも言えるように、この問題においても解法の計算効率是用いられる下界評価法に大きく左右される。ここでは、三つの下界評価法（第1～3法）を提案し、数値例によりそれらの有効性に関して検討した。その結果、第2法は問題に実行可能解の存在する場合に効果的であり、第3法は実行可能解の存在しない場合にその実行不能性を効果的に判断するのに有効であることがわかった。一方、第1法は、比較の基準として考えた方法であり、他の方法に比べ簡便な評価法であるが、評価の誤差が大きいため全体としての有効性に欠けるという結果が得られた。

第4章では、台車運行型 SPPTW を拡張した問題について考察した。まず、台車の走行時間の非負性を仮定しない場合に一般化した台車運行型 SPPTW を考えた。その結果、この問題がタイムウィンドウ制約のない古典的な最短経路問題と同じ構造をもつことが明らかになった。この性質を用いることにより、3章において走行時間が非負である場合に提案した解法を、古典的な最短経路問題に対する Bellman-Ford の解法や Yen の解法と同じ構造をもつ解法に一般化することができた。

次に、実際の台車の走行において遅延が生じた場合、走行スケジュールを再スケジューリングする手順に関する考察を行った。ここでは、台車の各ノードでの最早到着時刻と最遅出発時刻を導出するアルゴリズムを考え、これらのアルゴリズムを用いた再スケジューリング手順の提案を行った。

この章の最後では、搬送要求が複数目的からなる場合や、目的地において作業時間のある場合の運行経路決定問題に対して、第3章で提案した解法を拡張する方法についての考察を行った。

第5章では、3章、4章が一台車に対する運行経路決定問題を取り扱ったのに対し、全台車の総走行時間最小化を評価尺度とし、複数台車の経路を同時に決定する問題を組合せ論的立場から考えた。問題の解法は、次のような過程からなる。まず、各台車のいくつかの代替経路をグラフ論的手法により探索し、次にそれらを組み合わせる。その各々の組に対し、代替経路間の共有部分で台車同士が衝突しない条件を制約式としてもち、全台車の総走行時間を目的関数とする線形計画問題を解くことにより、代替経路上における台車の待ち停止時間を決定する。この解法では、搬送要求が与えられた台車以外の台車の経路の取扱い方により、三つの経路決定法（完全固定法、経路固定法、更新法）を提案した。更に、数値例により、これら三つの方法の有効性を定量的に比較検討した。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 干渉のない経路を決定できる能力という点では、更新法が最も優れている。特に、ネットワークの大きさに比べ台車数が多い等の複雑な干渉形態の予想される場合に、他の方法に対するこの方法の優位性が顕著である。更新法は、計算時間が比較的大きいが、解の導出を初期実行可能解を導く段階までで止めることで、計算時間を大きく短縮できる。
- (2) 計算時間の面では、完全固定法は極めて優れており、ネットワークの大きさや台車数の変化に対して計算時間に大きな増減は生じない。

また、評価尺度を最大走行完了時刻最小化とした場合についての考察も行った。

台車の経路決定では、複数台車の衝突回避を可能にする経路（実行可能経路）を見つけることが必要不可欠の条件である。5章の後半では、上で提案した更新法によっても問題の実行可能経路が求められなかった場合に、更新法のアルゴリズム中に組み込んで使用するヒューリスティックな三つの干渉回避法（第1～3法）を提案した。また、これらの方法の特徴について、数値例により検討した。その結果、次のような特徴があることがわかった。

- (a) 第1法は、ある停止中台車が他の台車の通行の妨害になっている場合、停止中台車を一時的にはほかの場所に待避させることが有効な状況に適する方法である。
- (b) 第2法は、ある台車はその走行途中において一時的に待避行動をとることが、他の台車の通行にとって有効な状況に適する方法である。
- (c) 第3法は、複数台車の通行で混雑する地点を迂回することが有効である状況に適する方法である。
- (d) 第1～3法のそれぞれの干渉回避法が有効である経路問題の特徴が異なっているため、三つの方法を組み合わせることが種々の問題に有効とするために必要である。

第6章では、同時に複数発生した搬送要求をどの台車に割り当てるかという割当て問題について議論した。ここでは、発生した搬送要求を台車に割り当てる際、一つの台車には多くても一つの要求しか割り当てられない場合（重複を許さない場合）と複数の要求を同時に一つの台車に割り当て可能な場合（重複を許す場合）の二つに分けて考察した。その結果、前者の場合には、問題を一般の割当て問題やマッチング問題に変形して解けることを示した。また、後者の場合には、巡回セールスマン問題と同程度に難しいNP完全な問題となることを示した。以上のことを踏まえ、台車の割当て問題を重複を許さない場合の問題として捉え、この問題を Min-Max マッチング問題の解法を用いて解くヒューリスティックな割当て法（動的割当て法）を提案した。

従来、台車の割当てに関しては、ディスパッチングルールを用いたヒューリスティックな方法が提案されている。この章の後半では、シミュレーションにより、典型的なディスパッチングルールを用いた割当て法と動的割当て法の有効性を比較した。その結果、次のことが明らかになった。

搬送完了時刻及び一回の搬送に要する平均搬送時間の面で、ディスパッチングルールを用いた割当て法に比べ、動的割当て法の方が有効である。特に、搬送要求の発生頻度が高く、効率的な台車の割当ての望まれる状況において、その有効性は高い。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、工場内物流の自動化に重要な役割を果たしている無人搬送車による自動搬送システムの運行管理法について研究した成果をまとめたものである。

無人搬送車による方式は、経路の設定や変更柔軟に対処できるという特徴を有するが、大規模な生産システムにおいて本来の柔軟性を十分に生かすためには、搬送車の運行経路を適切に決定できる運行管理機能を整備することが重要である。本研究では、このような認識のもとで、その核となる搬

送要求に対する台車の運行経路を決定する問題について考察している。

まず、第1章では、本論文の研究の目的・意義について、工場の自動化における自動搬送システムの必要性、技術的現状と併せて述べている。

第2章においては、搬送車の運行管理問題を一般的な“経路・スケジュール決定問題”と関連付けて検討し、その独自性とこの問題を対象とすることの意義を明かにしている。また、この章の後半では、3章以降の問題で共通して取り扱う搬送系をグラフ論でのノードとアークをもつネットワークとしてモデル化している。

第3章においては、複数台車のうちの一台に一目的地からなる搬送要求が与えられた場合に、走行時間を最小化する運行経路決定問題を取り扱っている。要求が与えられた台車以外の台車の経路は既に決まっていると仮定し、運行経路決定問題をタイムウィンドウをもつネットワークにおける最短時間経路問題（台車運行型 SPPTW）にモデル化し、さらにこの問題を分枝限定法を用いて解く方法を提案した。ここでは、三つの下界評価法を提案し、数値例による検討により各評価法の特徴と最適解探索に対する有効性を明かにしている。

第4章では、第3章に述べた台車運行型 SPPTW を拡張した問題を考察している。まず、搬送車の走行時間に非負性を仮定しない場合に一般化した問題を考え、タイムウィンドウ制約のない古典的な最短経路問題と同じ構造をもつことを明らかにした。また、この性質より、走行時間が非負である場合に提案した解法が、古典的な最短経路問題に対する解法と同じ構造の解法に一般化できることを示した。さらに、台車の走行中に遅延が生じた場合の再スケジューリング手順、搬送要求が複数目的地からなる場合、目的地における作業時間を考慮する場合に対する経路決定法など、第3章で提案した解法を拡張する方法についての考察も行い、有用な知見を得ている。

第5章では、全搬送台車の総走行時間最小化を評価尺度とした複数搬送車の経路を同時に決定する問題を考えている。解法は組合せ論的立場に基づいたものであり、搬送要求が与えられた台車以外の台車の経路の取扱い方により、三つの経路決定法（完全固定法、経路固定法、更新法）を提案している。さらに、数値例により、これらの方法の有効性を比較検討し、各方法の特性を明らかにしている。後半部分では、提案した方法で問題の実行可能経路が求められない場合に、更新法のアルゴリズム中に組み込んで使用するヒューリスティックな三つの干渉回避法を提案し、数値例によりその特性を検討し、解法の実用性の向上を図っている。

第6章では、同時に複数発生した搬送要求をどの搬送車に割り当てるかという問題について論じている。まず、発生した要求を一台車に一個しか割り当てられない場合には、問題を一般の割当て問題やマッチング問題に変形して解けることを示し、複数個割り当てうる場合には、巡回セールスマン問題と同程度に難しい NP 完全な問題となることを示している。さらに、前者の問題に対して、Min-Max マッチング問題の解法を用いたヒューリスティックな割当て法を提案している。その有効性を、従来のディスパッチングルールを用いた場合とシミュレーションにより比較し、搬送要求の発生頻度が高く、効率的な割当ての望まれる状況において、特に提案した方法の有効性が高いことを示した。

以上のように、本論文は無人搬送車の運行管理法の中核となる搬送要求に対する台車の割当てと台

車運行経路決定問題を定式化するとともに、その解法について研究したものであり、新たな解法の提案とその理論的、数値的な有効性の検討を通じて重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

また、本研究は、無人搬送車の運行管理法ばかりでなく、オペレーションズ・リサーチ、最適化法等に関連する総合的研究であり、その成果がこれらの分野に寄与するところは大きい。

よって、論文提出者 宝崎隆祐は学術博士の学位を得る資格があると認める。