

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月16日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510155

研究課題名（和文）生産システムにおける多重負荷AGVの運用に関する総合的研究

研究課題名（英文）Study on the pickup-dispatching rules for multiple-load AGVs in manufacturing systems

研究代表者

山下 英明（YAMASHITA HIDEAKI）

首都大学東京・社会科学部研究科・教授

研究者番号：30200687

研究成果の概要（和文）：

複数の仕掛品を同時に搬送できる多重負荷AGV（Automated Guided Vehicle：自動搬送車）を伴う生産システムをモデル化し、搬送要求の処理順序やAGVへの割当てなどの運用規則を、生産スループットが最大になるように決定する最適化問題を研究した。近い将来の稼働状態の推移をも踏まえ、複数先のタスクを見越した動的なスケジューリングを行うことが、スループットに対して大きな有効性を持つことを明らかになった。

研究成果の概要（英文）：

Multiple-load AGVs (Automated Guided Vehicle), which deliver a number of items at the same time, have many advantages over their single-load AGVs, but their control problems are more difficult than single-load ones'. In this project, the pickup-dispatching rules which maximize the system's throughput were studied. The experimental results revealed that the dynamic scheduling including forward strategy was effective against the system's throughput.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,600,000	480,000	2,080,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：生産システム・多重負荷AGV・搬送要求・運用規則・生産効率・

シミュレーション

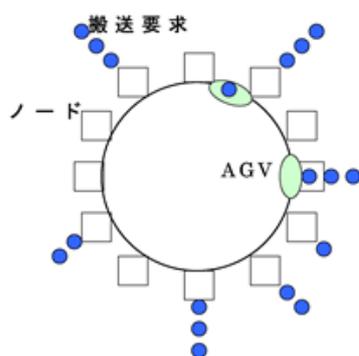
1. 研究開始当初の背景

図1のようなAGV搬送システムは、生産工場、自動倉庫、配送センターなどで広く用いられている。AGVは、光や電磁気などによって設置された経路上を任意に走行して、目的ノードに部品や製品などの搬送要求を搬送するものである。効率的なAGVシステ

ムを構築するためには、経路設計、AGVの必要台数の決定などの設計レベルの問題と、AGVのスケジューリング、空きAGVの待機位置、AGVの経路選択などの運用レベルの問題を解決する必要がある。従来から様々な研究がおこなわれてきた。AGVシステムはコンベヤなどと比べ柔軟性が高いので多品

種少量生産システムに適しているが、搬送容量が小さいので工程での仕掛品の不足や生産リードタイムの増加の原因になりかねない。したがって、無駄のない効率的な運用が課題である。一般に AGV の運用目的は、搬送待ち時間の最小化、単位時間あたりの搬送量の最大化、あるサービスレベルの確保などであるが、本研究では生産システムのスループット最大化を目的とする。

AGV システムでは、搬送要求の発生時間、搬送要求の発生ノードと搬送先ノード、AGV の現在位置などの情報を集中データベースに格納し、これから算出した(a)各搬送要求の発生ノードと AGV の距離、(b) 各ノードの搬送要求待ち行列長、(c) 各搬送要求の待ち時間、などの性能指標を判断材料として AGV を集中管理する。一度に1つの搬送要求しか積載できない単一負荷 AGV が1台で搬送をおこなうシステムでは、ある搬送が終了したとき次にどの搬送要求を処理するかを選択すれば AGV のスケジュールは決定するので、運用の問題は単純である。しかし、多重負荷 AGV で搬送を行うシステムでは、搬送要求の回収順序、搬送順序、搬送と回収の選択をすべて決定する運用規則が必要であり、問題は非常に複雑になる。また、このような多重負荷 AGV が存在するシステムの運用問題を扱った研究では、そのほとんどが上記(a)~(c)のいずれかの性能指標から判断して処理順序を決定するものであり、複数の性能指標をシステムの状態に応じて動的に活用して運用を行う研究はほとんどおこなわれていない。本研究では生産システムにおける AGV の運用問題に対して複数の性能指標を動的に活用することによって、より効率的な運用規則を提案することを試みた。



2. 研究の目的

複数の仕掛品を同時に搬送できる多重負荷 AGV を対象とする場合、

- (イ) 搬送要求の処理順序：各 AGV は割り当てられた搬送要求をどの順序で処理するか
- (ロ) 搬送要求の搬送順序：積載している複数

の仕掛品をどの順序で搬送するか

- (ハ) 搬送と回収の選択：仕掛品を積載し、かつ積載容量に余裕がある AGV に対し、積載中の仕掛品の搬送と新たな搬送要求の回収のどちらを優先するか。

の運用規則を決定することが必要となり、最適化問題は極度に難解になる。(イ)~(ハ)のような搬送要求の優先順序を決定する AGV の運用規則は、従来の研究では上記(a)~(c)などの性能指標から規定されるが、本研究では AGV システム自体の効率ではなく、生産システムのスループットの最大化を目的としているため、生産工程の仕掛品の過不足などの生産システムの状態も運用規則を規定する材料にすべきである。したがって、本研究では生産システムの状態に応じて複数の判断材料を動的に運用規則に組み込むことにより、生産スループットが最大になるよう、より効率的な運用規則を提案することを目的とする。このような生産効率最大化を目的とした AGV 運用規則の最適化により、実際の課題に応える方法や知見を提供できると考える。

3. 研究の方法

(1) 生産システムのモデル化

多重負荷 AGV によって仕掛品の搬送を行う生産システムのモデル化を行う。このとき、各工程において、AGV で搬送された仕掛品を一時貯蔵する入力バッファや加工が終了し搬送要求している仕掛品の待機場所である出力バッファの状態と加工中の仕掛品の加工時間の関係は、生産スループットを左右するブロッキングに深く関連するので、モデル化において重要な構成要素として扱う。

(2) 運用規則を規定する性能指標の明確化

多重負荷 AGV の運用規則について、問題を設定する。生産スループットを最大化するという本研究の独自性を考慮して、多重負荷 AGV を運用するためにはどのような運用規則を決定すれば良いのか、それぞれの運用規則を規定する性能指標にはどのようなものが利用できるのかを明確にする。

(3) シミュレーションの開発

生産システムモデルおよび AGV の運用規則が与えられたとき、生産効率を求めるシミュレーションを開発する。このためには、生産注文の発生、各工程での加工の終了、AGV への積み込み、AGV からの積み降ろしを事象とした離散時間シミュレーションが適している。

(4) 最適化法の開発

スループットを最大化する多重負荷 AGV の運用規則を求める問題は組み合わせ最適

化問題になり、その探索候補数はかなり多くなることが予想されるので、何らかの近似最適化手法を用いる必要がある。したがって、これまで提案されてきた様々な解法を十分検討し、運用規則最適化問題にどの解法が適しているかを見極めると共に、各運用規則が生産スループットに与える影響の知見をうまく利用したこの問題独自のヒューリスティックを採用し、より効率的なアルゴリズムを提案する。さらに、このアルゴリズムを実装し、計算時間と近似最適解の精度を両面から、本研究の目的を達成するのに適当かどうかを判断する。アルゴリズムが完成した後、生産効率を最大にする運用規則を求める。

4. 研究成果

まず、(1)AGVによって仕掛品の搬送を行う生産システムのモデル化、をおこなった。本研究では得られた成果が広範な工場環境で効果的になるよう標準的な生産システムのモデルを構築している。特に、各工程においてAGVで搬送された仕掛品を一時貯蔵する入力バッファや加工が終了し搬送要求している仕掛品の待機場所である出力バッファの状態と加工工程のブロッキングの関係は、本研究のモデル化において重要な要素である。

このモデル化を基に、多重負荷AGVを運用するためにはどのような運用規則を決定すれば良いのか、またその運用規則を規定する性能指標にはどのようなものが利用できるのかを検討した。多重負荷AGVの導入は生産ラインの効率化を図り、マテリアルハンドリングコストの削減に繋がる。その上で、本研究では生産ラインのスループット(単位時間あたりの完成品の個数)を最大にすることを目的とした。これは、限られた資源・時間の中でいかに多くの製品を作るかを考えることが、多重負荷AGVのメリットを最大限活用することになるからである。しかしながら、実際に運用ルールを提案する際には、次にどのタスクを行えばスループットが最大になるかを判定することは難しい。そこで本研究では、機械の稼働状態の推移を考慮し、直近の機械のアイドル時間を可能な限り減少させるように次のタスクを選択する運用規則を提案した。運用規則においては、各スケジューリングにおいて、1タスクのスケジュールを組む規則と2タスクのスケジュールを組む規則を考えた。スケジューリングはDelivery終了ごとに行うため、後者では組み立てられたスケジュールの途中で再スケジュールされる。更新前のスケジュール通りに次のタスクを実行することもあれば、時々刻々と変化する機会の稼働状態に動的に対応して、スケジュールが変更されることもある。また、AGVのスケジューリングを行うとき、現在の状態のみを基にした(Condition-based)規則

と、現在の状態と現在の状態が変化するまでの時間を基にした(Time-based)規則を考えや。前者は、AGVのスケジューリング時にOutput buffer(各機械にあり、処理を終えたジョブが搬送まで待機するところ)で待機中であり、かつ原則としてスケジューリング時にアイドル状態の機械を目的地とするジョブのみを搬送対象とし、アイドル防止効用時間(※)が最大のものを選択する。これに対し後者では、近い将来加工を終えるジョブ(何秒後に処理を終えるかも考慮)や、アイドル状態にない機械を目的地とするジョブ(残り何秒でアイドルになるかも考慮)も搬送対象とし、アイドル防止効用時間が最大のものを選択する。

これらの規則によるスループット向上を検証するために、生産システムの生産効率を求めるシミュレーションも開発し、近い将来の稼働状態の推移をも踏まえ、複数先のタスクを見越した動的なスケジューリングを行うことが、スループットに対して大きな有効性を持つことを明らかにした。

上記の研究では、先のタスクを見越した動的なスケジューリングを行うことの有効性がある程度明らかになった。しかし、モデルが複雑すぎると、最適な運用規則を求めることが困難で、その効果を厳密に検証できないという問題も浮上した。そこで、2つの機械の間を多重負荷AGVが仕掛品を搬送する単純なシステムにおいて、いつ、どれだけ仕掛品を搬送するかを規程する運用規則を詳細に検討する研究もおこなった。

機械1で加工すべき仕掛品は常に存在し、機械1で加工を終了した仕掛品は機械1の出力バッファに入り、AGVによって機械2の入力バッファに搬送されるのを待つ。出力バッファに仕掛品が溜り、機械1で加工済みの仕掛品を出力バッファに移動できなくなったとき、機械1はブロッキングとなり、加工を停止する。また、機械2は入力バッファに加工すべき仕掛品がないときスタービングとなり、加工を停止する。このモデルにおいてシミュレーションも開発し、各機械の加工時間、AGVの速度、AGVの容量、入出力バッファ容量を変化させ、生産ラインのスループットを最大にする運用規則を調べた。

この結果、いつ、どれだけ仕掛品を搬送するかを決定する際、その時点にバッファにある仕掛品の個数の情報だけを用いて決定するよりも、各機械での残り加工時間も考慮した方がスループットが向上することが判明したため、現在は残り加工時間も考慮した詳細な運用規則を求めるための研究が続いている。本研究が完成すれば、実際のAGVシステムの現場において運用規則を決定する際に、大いに参考になると期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Benjamin Klöpper, Jan Patrick Pater, Takashi Irohara and Yudong Xue, Bi-Objective Optimization of Transportation Problems for CO2-efficient Schedules - An International Use Case, International Journal of Engineering Management and Economics, 査読有、Vol. 3, 2012, 212-236
- ② 伊呂原隆、菱倉将史、山下英明、ロット分割における材料移動とリードタイムのトレードオフを考慮したマテリアルハンドリングルール、日本経営工学会論文誌、査読有、62巻、2012、256-266
- ③ Takashi Irohara, Lagrangian relaxation algorithms for hybrid flow-shop scheduling problems with limited buffers, International Journal of Biomedical Soft Computing and Human Sciences, 査読有、Vol. 15, 2010, 21-28

[学会発表] (計4件)

- ① Takashi Irohara, Vehicle routing problem in consideration of CO2 emissions with a loading ratio, Institute for the Operations Research and Management Science (INFORMS) Annual meeting, Phoenix, AZ, USA, October 14-17, 2012
- ② Takashi Irohara and Hideaki Yamashita, A Simulation Study on the Performance of Multiple Load AGVs, IIE Annual Conference, Orlando, FL, USA, May 19 - 23, 2012
- ③ Takashi Irohara and Hideaki Yamashita, Effect of lot splitting with RFID for the trade-off between the material movement and lead time, INFORMS annual meeting, Charlotte, NC, USA, November

13, 2011

- ④ Takashi Irohara, A Simulation-based Comparison of Material Handling Systems in Semiconductor Facility, IIE Annual Conference and Expo (Industrial Engineering Research Conference), Cancun, Mexico, June 5 - 9, 2010

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山下 英明 (YAMASHITA HIDEAKI)
首都大学東京・社会科学部研究科・教授
研究者番号：30200687

(2) 研究分担者

伊呂原 隆 (IROHARA TAKASHI)
上智大学・理工学研究科・教授
研究者番号：60308202

(3) 連携研究者

()

研究者番号：