

交渉エージェントを用いた 工場内無人搬送車システムの検討

Study of Factory Automated Guided Vehicles Systems using Negotiation Agent.

加藤 大望 矢田 昇平 倉橋 節也

Daimotsu Kato, Shohei Yada and Setsuya Kurahashi

筑波大学
University of Tsukuba

Abstract: 近年、工場では原材料、部品、完成品等の輸送に関し、無人搬送車 (AGV) を用いた自動搬送システムが利用されている。ジョブショップ型の工場では、同じ製造設備を用いて同様の工程で繰り返すことから搬送車の渋滞が生じ、適切なタイミングで製品を製造装置に供給できず、納期遅延や品質トラブルなどを引き起こす可能性がある。本研究においては、ジョブショップ型の工場である半導体製造工場を想定し、交渉エージェントを用いた工場内無人搬送車システムの検討を行ったので報告を行う。

1 研究背景、および目的

近年、生産性の向上等を目的とし、工場の IoT 化、スマート化が検討されている[1, 2]。このような工場では原材料、部品、完成品等の輸送において、従来のベルトコンベア等を用いた搬送システムとは異なり、ロボット等を用いた効率的、かつフレキシブルな搬送システムが検討されている[3, 4]。工場の生産方式は大別すると、製造装置を工程順に従って同順序で処理するフローショップ型、同種の製造装置を複数配置し、処理順序が可変であるジョブショップ型の生産方式に分かれる。ジョブショップ型の生産方式は、同じ製造装置を共有して製品を生産する工場によく用いられる生産方式であることから、生産工程間における加工中の製品搬送において、無人搬送車 (Automated Guided Vehicle: AGV) を用いた自動搬送システムの導入が進められている。使用される AGV は自動制御され、加工中の製品を運搬するが、この際、AGV の渋滞や加工前後での適切な時機での製品の受渡しができず、納期遅れが発生する等の課題が存在する。このため、搬送車の交通量を最適化し、渋滞発生を抑えることが、ジョブショップ型工場の生産性向上に重要となる。ジョブショップ型工場は様々なものがあるが、半導体製造工場では基板洗浄やフォトリソグラフィ工程など同様の装置を複数回繰り返して使用することで製造を行うことから

典型的なジョブショップ型の工場であり、特に 12 インチの半導体ウェハを用いた工場では、AGV を用いた大規模な自動搬送システムが適用され、その搬送効率が工場の生産性に大きな影響を与えることから様々な研究が行われている[5-7]。

本研究では、ジョブショップ型工場である半導体製造工場を基に、交渉エージェントを用いた工場内 AGV システムの検討を行ったので報告を行う。

2 研究方法

2.1 NetLogo を用いた AGV 流量解析

工場内 AGV システムでは、図 1 に示すような全長 L [m] である AGV が速度 v [m/s] で走行し、前方車との車間距離 L_h [m] を検知し、 L_h を一定に保つように v を調整しながら走行する。この AGV の交通流量を最大化し、搬送路での渋滞発生を抑えるため、本研究においてはマルチエージェントシミュレーションを用いた解析を行った。マルチエージェントシミュレーションにおいては、各 AGV をエージェントとして扱い、エージェントを生産ラインに単位時間あたり n [台/s] で流入した場合に流出する交通流量が AGV の車間距離 L_h に対し、どのように変化するかを解析した。なお、マルチエージェントシミュレーションでは、エージェント型プログラミング言語 NetLogo を用いて解析を行った[8]。

解析では、図2のような工場の製造ラインの一部を想定し、単位時間あたり n で搬送経路から加工装置の存在するイントラベイに AGV が流入し、反時計回りに搬送路を走行しているとした[5]。イントラベイの搬送路の両側には、加工装置を配置し、流入した AGV が加工装置に製品の受渡しを行い、再び搬送路から流出するとした。本解析では、イントラベイから流出する際の単位時間あたりの AGV の台数を交通流量[台/s]とし、 L_h と n を変化させ、交通流量の解析を行った。

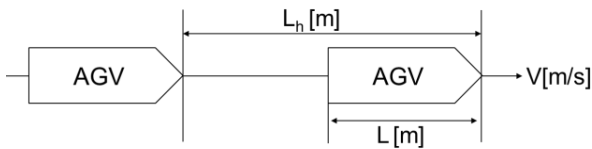


図1 AGV 間関係

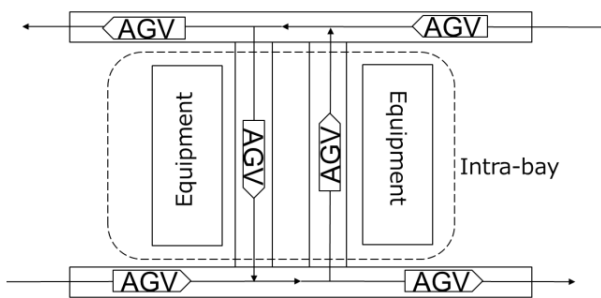


図2 工場内レイアウト

車間距離 L_h を 1~9 m で変化させた場合における交通流量の時間変化を図3に示す。ここで、単位時間あたりに流入する AGV 台数 n を $n=0.2$ 台/s としている。図に示すように横軸が時間に対し、縦軸の交通流量は約 100 sec の時点でピークを持つことがわかる。これは、イントラベイに流入または流出する AGV が搬送路の交差点において、車間距離 L_h を一定に保つために、速度 v を変化させるためであると考えられる。一方、交通流量は一度ピークを付けた後は一定の値を示すか、徐々に低下することが確認できる。図3(a)では、時間 800 sec における交通流量の値を比較すると、図3(a)では、車間距離 L_h に関しては、 $L_h=1, 3, 5$ m において、 $L_h=5$ m で約 0.3 台/s 示すが、 $L_h=7, 9$ m では、交通流量の低下が明確に確認できる。

上記の原因を確認するため、 $n=0.3$ 台/s における搬送路上に存在する AGV 総数の時間変化を図4に示す。図4に示すように $L_h=7, 9$ m では AGV 総数が時間 500 sec を超えると 0.5 台/m で飽和していることが確認できる。この値は AGV が流入する $n=0.3$

台/s よりも高い値となり、車間距離のマージンを広くとりすぎてしまい、搬送路上で渋滞が発生した結果、交通流量が低下したと考えられる。

以上の結果から単位時間あたりに流入する AGV 台数 n を増加させることで交通流量を増加させることが可能であるが、車間距離には最適値が存在し、車間距離 L_h を広く設定しすぎると渋滞が発生し、交通流量が低下する可能性があることが分かった。このような渋滞発生条件は、装置の配置や加工処理時間に変化すると考えられるが、イントラベイに流入または流出する AGV がイントラベイ外に存在する搬送路が交差する点において、車間距離 L_h を一定に保つために、速度 v を変化させるために生じている点は同様であると考えられる。なお、上記で示した車間距離 L_h 、単位時間あたりに流入する AGV 台数 n と交通流量の関係は参考文献[9]に示している。

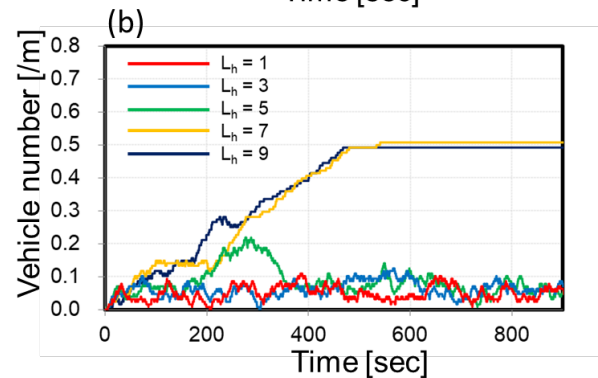
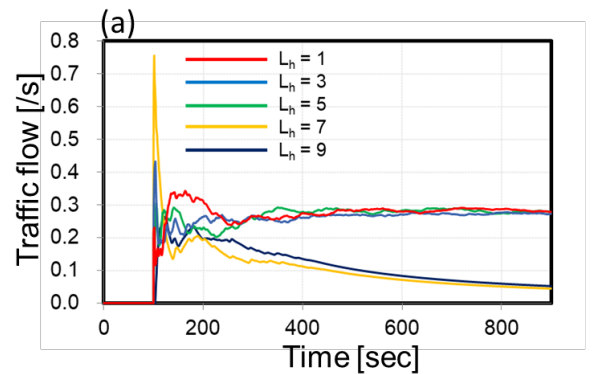


図3 (a) 交通流量の時間変化
 (b)搬送路上に存在するAGV総数の時間変化
 ($n=0.3$ の場合)

2.2 交渉エージェントの検討

上記の研究では AGV の流量のみに着目したが、実際には各 AGV に割当てるタスクを考慮する必要がある。タスク割当においては、交渉エージェント等を用いたタスク割当システムが検討されており、このシステムでは本研究で検討した渋滞情報(図3

に示したような搬送路上に存在する AGV 総数の時間変化等) を各 AGV に与えることで、AGV が自律的に行動し、効率的なタスク処理を行う事が重要になると考えられる[10,11]。そこで、本研究では、AGV の自律的な行動を与える検討を行った。具体的には、各 AGV に交渉エージェントの機能を与え、契約ネットワークプロトコル(Contract Net Protocol: CNP)に従い、タスクをオークション形式で各 AGV 与えることを検討した[12]。本研究の場合、契約交渉の際には、装置タスクを与えるエージェントを管理者、入札するエージェントを契約者とし、AGV は契約者として扱い、動的に契約交渉を行うとした。また、交渉の際には 契約ネットワークプロトコルに基づいたメッセージがマネージャと 契約者の間でやり取りされる。タスク管理者と契約者の間の交渉の流れは図 4 のようになる。図 4 に示すように、まず、タスク管理者は AGV にタスクを送信し、次に AGV はそのタスクを入札するかを判断を行い、入札が可能である場合は入札を行う。つづいて、タスク管理者は複数の入札に対し、落札者を選定する。落札者は、各 AGV の異質性 (例えば、目的とする装置と AGV の距離など) を考慮し、落札者の AGV に結果を報告する。最後にタスクを落札した AGV は、自己の状況を考慮し、タスクを実行するかを判断を行う。なお、落札されたタスクが実行されなかった場合は、タスク管理者は別の契約者にタスクを割り当てる。

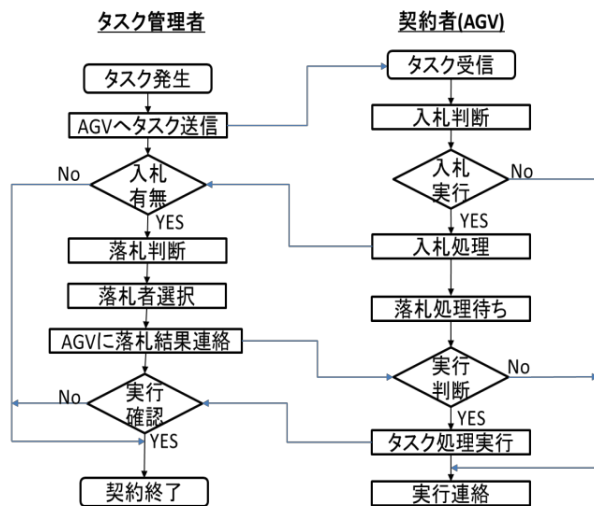


図4 タスク管理者と契約者の間の交渉の流れ

2.3 BDI スキームを用いた CNP の検討

2.2 節で上げた CNP を用いたシステムを NetLogo 上で実装する際に、BDI アーキテクチャ[13]を用い

て検討を行った。BDI アーキテクチャは、人間が合理的に行動する際には、信念(Belief)、欲求(Desire)、意図(Intention)という三つの心的状態が関与しているとし、その分析を基本として自律エージェントを構築しようとするアーキテクチャである。具体的には、以下の3つの状態で実装されている。

- Belief : 各エージェントの環境や状態
- Desire : 各エージェントの達成する目標
- Intention : 各エージェントが Desire を達成するために実行する行動や計画

NetLogo においては、BDI extension という形で BDI アーキテクチャが提供されており[14]、本研究においても BDI extension を用いて検討を行った。この BDI アーキテクチャをベースに、CNP を用いたシステム検討することでより、AGV の自律性を考慮したシステム的设计が可能となると考えられる。図 4 に示すような交渉の流れは、Intention を基本として実装されるが、エージェントの環境が大きく変わった場合 (Belief が変化した場合) には、エージェントは Intention を変更する必要がある。本研究においては、図 3(b)に示す搬送路上に存在する AGV 総数の時間変化をモニタリングし、その値を各 AGV にフィードバックすることにより、搬送路上の AGV に渋滞が生じると類推される場合には、Belief が変化させることで、より環境の変化に対応するシステム設計が可能になると考えられる。

3 期待される成果

本研究では、マルチエージェントシステムでの解析結果をもとに、より各エージェントが自律的に状況を判断し、タスク実行を行えるよう、BDI アーキテクチャを組み込んだ CNP のシステムを検討した。BDI アーキテクチャを組み込むことで、より外部環境に順応できるシステム設計が可能になると考えられる。特に、本研究で検討した渋滞情報 (図3に示したような搬送路上に存在する AGV 総数の時間変化等) を各 AGV に与えることで、自律的に経路探索を行い、効率的な経路発見・およびタスク割当を行う事が重要であり、さらには、過去の工場内の渋滞情報、加工装置の故障予測情報、各 AGV から位置情報を収集し、推論を行う事で、Belief を変化させ、より効率的な工場内無人搬送車システムの検討を進めていく。

参考文献

- [1] 内閣府『第5期科学技術基本計画』平成28年1月22日
- [2] M. Hermann et al., “Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios”49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2018
- [3] S. Wang et al., “Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook” International Journal of Distributed Sensor Networks, **12**, 1 (2016).
- [4] A. Kusiak et al., “Smart manufacturing” International Journal of Production Research, **56:1-2**, 508 (2018).
- [5] J. Tung et al., “Optimization of AMHS design for a semiconductor foundry fab by using simulation modeling” Proceedings of the 2013 Winter Simulation Conference, 3829.
- [6] Rank S, Hammel C, Schmidt T, et al., “Reducing simulation model complexity by using an adjustable base model for path-based automated material handling systems case study in the semiconductor industry” Proceedings of the winter simulation conference, Huntington Beach, CA, 6–9 December 2015.
- [7] K. Kumagai et al., “Maximizing traffic flow of automated guided vehicles based on Jamology and applications” Advances in Mechanical Engineering, **10** (12), 1 (2018)
- [8] Netlogo Homepage: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [9] 加藤 大望他『マルチエージェントシミュレーションを用いた工場内無人搬送車システムの解析』, SIG-BI #14(2019)
- [10] R. V. Parysi et al., “Flexible Multi-Agent System for Distributed Coordination, Transportation & Localisation” AAMAS 2018, p1832.
- [11] Sebastian Mayer et al., “Adaptive Production Control with Negotiating Agents in Modular Assembly Systems” 2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), p120.
- [12] R.G.Smith, ”The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver,” IEEE Trans. on Computers, Vol.C-29, pp.1104-1113 (1980)
- [13] M. Bratman et. al., “Intention, Plans, and Practical Reason,” Harvard University Press (1987)
- [14] Ilias Sakellariou et. al., “Enhancing NetLogo to Simulate BDI Communicating Agents,” J. Darzentas et al. (Eds.): SETN 2008, LNAI 5138, pp. 263–275 (2008)