

# 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

## Analysis of Factory Automated Guided Vehicles Systems

### using Multi-Agent Simulation

加藤 大望 倉橋 節也

Daimotsu Kato 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、搬送車の渋滞が生じた場合や適切なタイミングで製品を製造装置に供給ができない場合は、納期遅延等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、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における交通流量の解析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]。スマート工場では原材料、部品、完成品等の輸送において、無人搬送車 (AGV) を用いた自動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、また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搬送システムに分かれる。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り、生産工程間における加工中の製品搬送において、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。

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を同じ装置を用いて、複数回繰り返して、製品の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る。特に 12 インチの半導体ウェハを用いた工場では、AGV の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多くの研究が行われている[5-7]。

本研究では、マルチエージェントシミュレーションを用いた工場内 AGV システムにおける交通流量の解析を行ったので報告を行う。

## 2. 研究方法

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たとした。

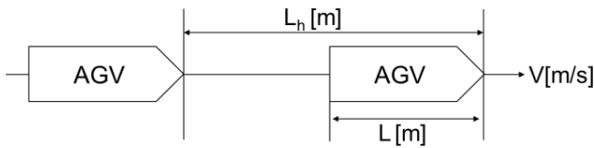


図1 AGV 間関係

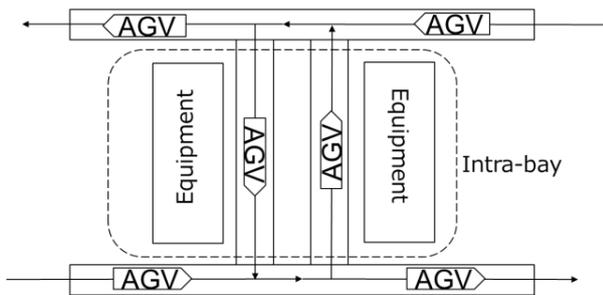


図2 工場内レイアウト

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、イントラベイから退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。

### 3. 解析結果

車間距離  $L_h$  を 1~9m 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  $n$  を図 3(a)  $n=0.2$  台/s、図 3(b)  $n=0.3$  台/s、図 3(c)  $n=0.4$  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)~(b) に関し、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、 $L_h=3$  m において交通流量は約 0.2 台/sec、同様に図 3(b) では  $L_h=5$  m で約 0.3 台/sec、図 3(c) では  $L_h=5$  m で約 0.35 台/sec となり、単位時間あたりに流入する AGV 台数  $n$  の増加に伴い、交通流量も増加することが分かった。車間距離  $L_h$  に関しては、 $L_h=1$  m より  $L_h=3, 5$  m において高い値を示すことが分かった。加えて図 3(b) と (c) のような  $n=0.3, 0.4$  台/s と高い場合には、 $L_h=7, 9$  m では交通流量が明確に低下する傾向にあ

ることも確認できる。こ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/sec で飽和しているが確認できる。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てしまった結果、交通流量が低下したと考えられる。一方で、 $L_h=1$  m の場合は車間距離が短く、渋滞は生じないものの、AGV の速度  $v$  の調整が頻繁に生じることから AGV 全体の群速度が低下してしまい、 $L_h=3, 5$  m と比較し、交通流量が低下したと考えられる。

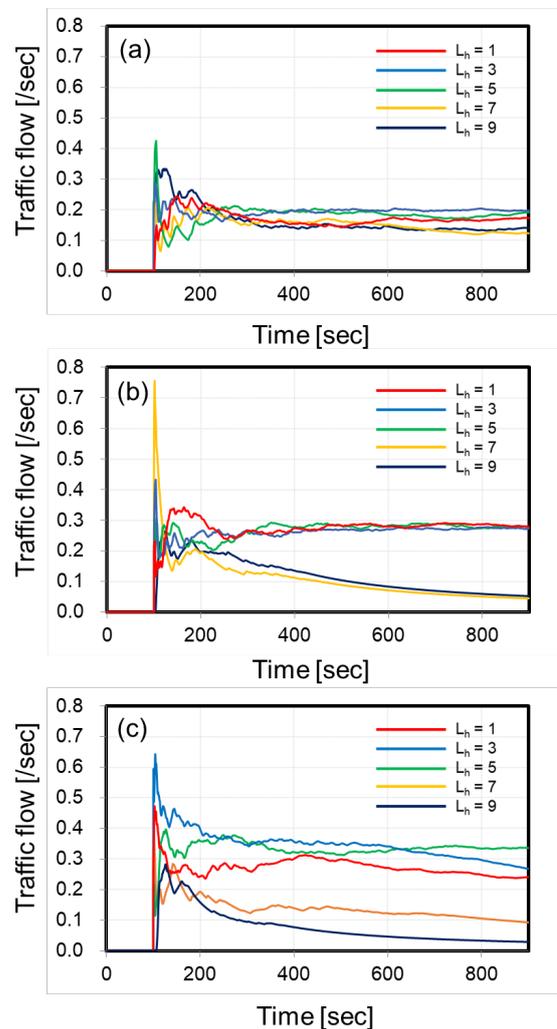


図3 交通流量の時間変化  
 ((a)  $n=0.2$ 、(b)  $n=0.3$ 、(c)  $n=0.4$ )

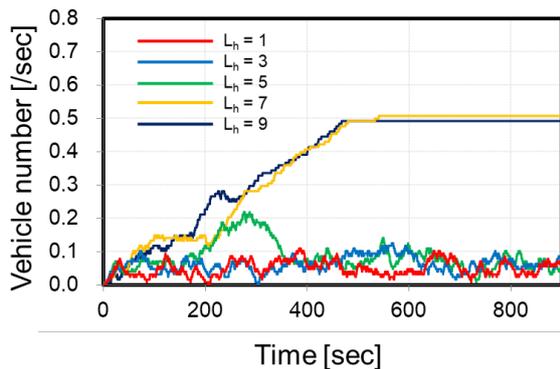


図4 搬送路上に存在する AGV 総数の時間変化  
( $n = 0.3$ )

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。

#### 4. 今後の検討

本研究で検討した工場のレイアウトは、工場の製造ラインの一部であるが、実際の工場では図2に示したようなイントラベイがマトリックス状に配置され、構成されている[5]。このような製造ラインにおいては、上記で示したような渋滞が搬送路の交差点で生じる可能性が常に存在すると考えられる。加えて、製造装置の故障等による一部のイントラベイの使用中止等も想定される。

上記のようなイントラベイがマトリックス状に配置され工場においては、自動車の交通渋滞で検討されているような間接的な共有情報(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 AGV に与えることで、自律的に経路探索を行い、効率的な経路発見する方法に対しても検討を行うことが必要になると考えられる。加えて、交差点の形状等と検討することで、より効率的な搬送を行うことができると考えられる。また、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、イントラベイに流入する見込み量を基に経路探索を行う方法も考えられ、より効率的な

工場内無人搬送車システムの開発を行うことができると考えられ、今後、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] R. Kanamori et al., “Evaluation of Traffic Management Strategies with Anticipatory Stigmergy” Journal of Information Processing, Vol.22, No.2 (2014).