

自動搬送システムにおける合流制御方式の一検討

A study of the merging control in Automated Guided Vehicle System

坂田 啓一¹, 星野 貴弘², 浜松 芳夫²

*Keiichi Sakata¹, Takahiro Hoshino², Yoshio Hamamatsu²

Abstract: This paper deals with Automated Guided Vehicle System. In the automated guided vehicle system, there is interference with another vehicles at the merging section. When the interference occurs frequently, the efficiency of production will be decreased. Therefore it is necessary to control efficiently for vehicles at the merging section. In this study, we comparison the performance evaluation when apply the control strategy that limits the waiting time or the number of waiting vehicles.

1. はじめに

本研究は、自動搬送システム (Automated Guided Vehicle System, AGVS) を対象にしている。近年、工場や倉庫での生産システムにおいて、生産効率の向上が求められている。そのためには、多品種少量生産や人件費削減、リードタイム短縮などが挙げられる。これらを満たすには、1つのラインで複数の製品を造ることが考えられる。これにより、生産ライン間を結ぶ搬送経路は、大規模かつ複雑になると予想される。また、運転方式や搬送経路の変更が頻繁に行われるようになってしまう。このような生産形態の変化に柔軟に対応するため、AGVS が多くの工場などで採用されている。

AGVS の問題点として、合流部において車両が待たされる場合がある。干渉が頻繁に起こると、生産効率は低下してしまう。そのため、合流部において車両を能率的に制御する必要がある。このような背景から、筆者らは AGVS における合流部近傍の輻輳現象について研究を行ってきた^{[1][2]}。AGVS における合流制御方式として、待ち台数または待ち時間を制限する方法が考えられる。本研究では、待ち時間を制限する制御方式を適用した際の輻輳現象を定量的に明らかにし、その結果と待ち台数を制限した制御方式との比較を行う。

2. 合流部モデル

本研究での制御方式の考え方は、計算機内において仮想のセルを軌道線上に走行させ、車両が到来したときに空いているセルに割り当てるといったものである。車両は割り当てられたセルの動きに追従するような、点追従方式^[3]で制御される。このセルをムービングセル (MC) と呼ぶことにする。ここで MC の発生時間間隔を Δt とし、システムの単位時間とする。

本研究で対象とする合流部モデルを Fig.1 に示す。2種類のジョブショップ [A/B] と [C] があり、[A/B] では部品 A と B, [C] では部品 C をそれぞれ処理する。また、Line1 に部品 A を運ぶ車両、Line2 に部品 B または

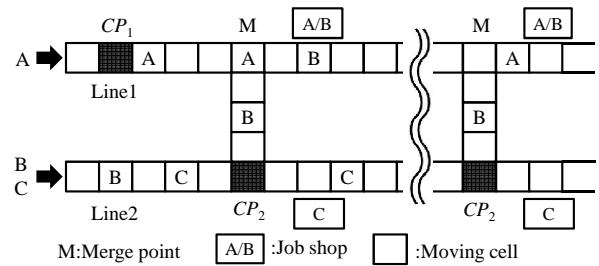


Fig. 1: Schematic diagram of the merging section

C を運ぶ車両が到来する。2種類の部品を処理するジョブショップ [A/B] は Line1 上にあるため、部品 B を運ぶ車両は Line2 から Line1 へ合流する。車両の到来を検知するチェックポイント (CP1, CP2) が Line1・Line2 それぞれに設置され、合流点 (M) から各 CP までの距離は等しい。また、Line1 を優先路とするため、CP1 に車両が到来し、CP2 に部品 B を運ぶ車両が到来した場合、CP2 の車両を待たせる。この時に CP2 上の待ち車両は、制限時間 $S\Delta t$ まで待つことができ、それを越える場合には、車両を直進させ、次の合流点に迂回させる。

Line1 に車両が到来する確率を l 、到来しない確率を $m(=1-l)$ 、Line2 に車両が到来する確率を p 、到来しない確率を $q(=1-p)$ とする。また、Line2 上に到来する車両が搬送している部品が B である確率を α 、部品 C を搬送する車両が到来する確率は $\beta(=1-\alpha)$ とする。

3. 状態定義

マルコフ連鎖^[4]の手法を用いて、数理モデルを構築する。MC の時間間隔 Δt 毎の観測時点において、Line2 上の待ち台数が i 台で、CP2 車両の待ち時間が $j\Delta t$ の時、状態 (i, j) と定義する。

4. 解析

ここではシステムの性能評価の尺度である平均待ち台数及び迂回率を導出する。

極限状態において状態 (i, j) となる確率を $P_{i,j}$ とすると、

1:日大理工・院・電気 2:日大理工・教員・電気

極限状態確率分布 P は次のように定義できる .

$$P = [P_{0,0} P_{1,0} \cdots P_{1,S} P_{2,0} \cdots P_{2,S} \cdots] \quad (1)$$

極限状態確率 $P_{i,j}$ は, 次式を満たす . ただし, R は推移確率行列である .

$$P = PR \quad (2)$$

確率の正規化条件より, 次式が成り立つ .

$$P_{0,0} + \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^S P_{i,j} = 1 \quad (3)$$

(2)(3) 式より極限状態確率 $P_{i,j}$ を導出することができる . 極限状態確率 $P_{i,j}$ を用いて, 平均待ち台数 L_S は次式となる .

$$L_S = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=0}^S iP_{i,j} \quad (4)$$

また, 迂回率を以下のように定義する .

$$\text{迂回率} = \frac{\text{迂回した車両台数}}{\text{部品 } B \text{ を搬送する車両台数}} \quad (5)$$

迂回は, 状態 (i, S) の時に CP_1 に車両が到来した場合で発生する . したがって, 迂回率 ε_S は, 次式となる .

$$\varepsilon_S = \frac{l \sum_{i=1}^{\infty} P_{i,S}}{p\alpha} \quad (6)$$

5. 考察

ここでは, 制限時間 S による効果を検討するため, 本研究で解析した待ち時間を制限した制御方式と待ち台数を制限した制御方式との比較を行う .

待ち台数の制限は, CP_2 を先頭とする待ち行列に制限台数を設け, これを超える場合に先頭車両を迂回させる . 文献 [2] にこの制御方式を適用した際の平均待ち台数及び迂回率が示されている .

各制御方式の平均待ち台数と迂回率の数値計算例を Fig.2 に示す . 到来確率を $l = 0.5, p = 0.35$ とした . また, それぞれの制御方式の基本的特性を得るために, $\alpha = 1$ とした . N は制限台数である .

Fig.2 より, $S = 3$ と $N = 4$ の迂回率は, どちらも約 0.063 となっている . 一方, 平均待ち台数を比べると $N = 4$ の結果は, $S = 3$ よりも少ない . したがって, $S = 3$ と $N = 4$ の車両到来確率と迂回率が同じ値にもかかわらず, 待ち台数を制限する制御方式の方が平均待ち台数は少なくなった . これは, 迂回が効果的に働いたためだと考えられる .

次に迂回の効果を検討するため, Table.1 に迂回時の後方車両数 L_d と迂回車の CP_2 での待ち時間 W_d の平均値を示す . L_d と W_d は Fig.2 と同様の条件でシミュ

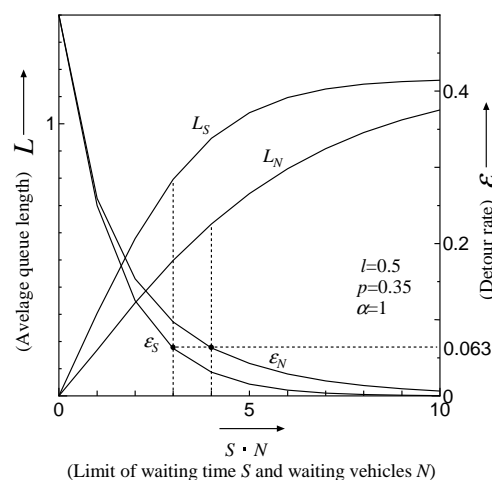


Fig. 2: Numerical example of L and ε

Table. 1: Comparison with $S = 3$ and $N = 4$

S	迂回時の後方車両数 L_d	迂回車の待ち時間 W_d
3	2.90	3.00
N	迂回時の後方車両数 L_d	迂回車の待ち時間 W_d
4	4.55	1.80

レーションを行った結果となる . 迂回時の後方車両数とは, 迂回した車両の後方に並んでいる車両台数である . Table.1 において, $N = 4$ の方が L_d は多く, W_d は短い . L_d が多ければ, 迂回によって合流待ち時間が軽減される車両が多く, 待ち行列も軽減される . また, W_d が短ければ, その待ち時間内に待ち行列に加わる車両が少なく, 平均待ち台数は増加しにくい . このことから, 待ち台数を制限する制御方式の方が待ち行列が形成されにくい傾向であると考えられる .

6. まとめ

本研究では, マルコフ連鎖の手法を用いて数理モデルを構築することにより, 制限時間を用いた制御方式の平均待ち台数と迂回率を定量的に明らかにした . また, その効果を定量的に検討するため, 待ち台数を制限した制御方式との比較を行った . 今回の比較では, 到来確率を $p < l$ での条件で行ったため, 到来確率を $p > l$ とした場合の比較が今後の課題である .

参考文献

- [1] 浜松芳夫, 新井啓之: 「自動搬送システムにおける輻輳現象の近似解析」, 電学論誌 D, 116, 10, pp.1041-1048, (1995)
- [2] 競浩平, 星野貴弘, 浜松芳夫: 「自動搬送システムのモデル化と解析」, 平成 24 年電気学会全国大会講演論文集, pp.402-403, (2012)
- [3] 荒屋真二: 「新交通システムと自動運行制御」, 電子通信学会誌, Vol.64, No.1, pp.43 ~ 49, (1981)
- [4] 高橋幸雄, 森村英典: 「マルコフ解析」, 日科技連出版社 (1979)