

# 待ち行列ネットワーク理論による AGV 搬送システムの最適設計法

東京大学 星野 智史 東京大学 太田 順  
 三菱重工業株式会社 篠崎 朗子 三菱重工業株式会社 橋本 英樹

Optimal design methodology for an AGV transportation system by using the queuing network theory  
 The University of Tokyo Satoshi HOSHINO and Jun OTA  
 Mitsubishi Heavy Industries, LTD. Akiko SHINOZAKI and Hideki HASHIMOTO

In this paper, we propose an optimal design methodology for the AGV transportation system for a port container terminal by using the queuing network theory. In this study, we deal with an actual transportation system as a combinational optimization problem. Therefore, the working path, passing path, and working multi-agents such as AGVs (Automated Guided Vehicles), container cranes, and transfer cranes are included in this system. We describe how to deliver these design parameters by the performance evaluation of an AGV transportation system. Finally, the combination of optimal design solutions is delivered.

## 1 はじめに

Fig.1 に示す AGV 搬送システムの最適設計を行うためには、(1) 要求仕様を満たすための各作業エージェントの最適台数、(2) エージェント間で荷物の受け渡しを行う際に必要となる最適作業経路数、についてそれぞれ評価を行う必要がある。

搬送システムの設計に関する従来研究は主に、1. システムの局所的な解析・最適化を行うことにより設計を行う手法<sup>1)2)</sup>と、2. シミュレーション・ベースで順問題を解くことにより設計を行う手法<sup>3)4)</sup>の2つに大別することができる。しかし、従来研究ではシステムの局所的な最適化しかされておらず、また、シミュレーションに基づきシステムの最適化を図ろうとする手法であり、最適設計には膨大な時間を必要とする。

本研究では、大規模計算機システム等の解析・設計に用いられている待ち行列ネットワーク理論を適用する。しかしながら、待ち行列ネットワーク理論のみによりシステムの最適化を図ろうとした場合、次の問題が生じる。

- AGV 投入台数を変えると、搬送時間までが変化してしまう。

そこで本研究では、提案手法において待ち行列ネットワーク理論とシミュレーション・ベースによる手法とを融合させることにより、繰返し計算を行うことで、AGV 同士の干渉による搬送時間の遅れまでを正確にシミュレートした設計方法論の提案および、その有効性の確認を行うことを目的とする。

## 2 港湾物流 AGV 搬送システム

Fig.1 において、コンテナ船に積まれた多数個のコンテナを全て一定時間内にコンテナヤードに搬送することを作業目的とする。この作業を実現するために、本研究では AGV 搬送システムをそれぞれコンテナクレーン、AGV、トランスファークレーンが稼動する3つのエリアに分けて設計を行う。AGV はコンテナを搬送するために以下の手順で作業命令を遂行し終えるまで巡回する。

- step1 埠頭エリアで稼動するコンテナクレーンがコンテナ船から AGV へコンテナを荷積みする。
- step2 コンテナ蔵置エリアにあるコンテナヤードのいずれかが当該コンテナの目的ヤードになる。
- step3 AGV が目的ヤードに到達する。作業路をすでに AGV が占有している場合、後から到着した AGV は退避経路上に向かう。前の AGV の作業が終了すると退避経路が作業経路となり、コンテナの受け渡しを行う。
- step4 コンテナ蔵置エリアで稼動するトランスファークレーンが、一定時間をかけて作業経路上のコンテナを受取り、ヤード内の適切な場所まで搬送する。

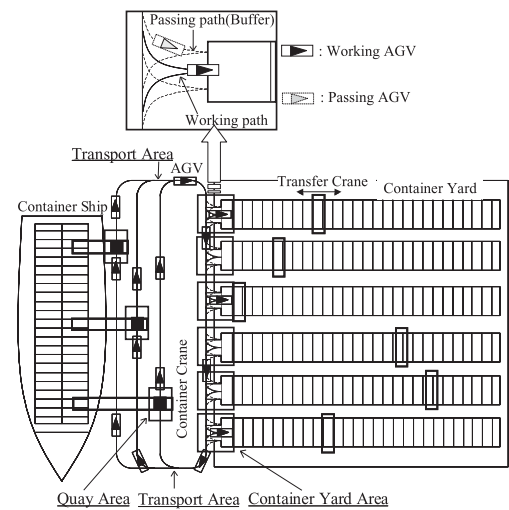


Fig. 1: Layout of AGV Transportation System

step5 コンテナを積み下ろした AGV は、再び埠頭エリアへ戻る (step1 へ)。

本研究において設計対象となるパラメータについて以下に示す。

- AGV 台数
- トランスファークレーン台数 (=ヤード数)
- 退避経路 (=待機バッファ) 数

これらの設計パラメータを「要求仕様を満たす必要最低限の AGV 台数およびトランスファークレーン台数」という評価関数を基に設計する。

## 3 待ち行列ネットワーク理論<sup>5)</sup>

本研究では、ネットワーク内を移動するエージェントをシステム内で搬送作業を行う AGV と定義する。そして、ノード数、ノードに要求される処理時間、ノードにおけるサーバ数、トラヒック係数、およびノードへ相対訪問回数を入力として得られる (a) 交通密度 (1) 式、(b) スループット (2) 式、(c) 各ノードに平均的に滞在する AGV 台数 (3)(4) 式、を評価基準として設計を行う。

$$\alpha_{j1}(K) = \rho_{j1} \frac{G(K-1)}{G(K)} \quad (1)$$

$$\tau_{j1}(K) = h_{j1} \frac{G(K-1)}{G(K)} \quad (2)$$

$$\phi_{j1}(K) = h_{j1} \frac{G(K-1)}{G(K)} \quad (3)$$

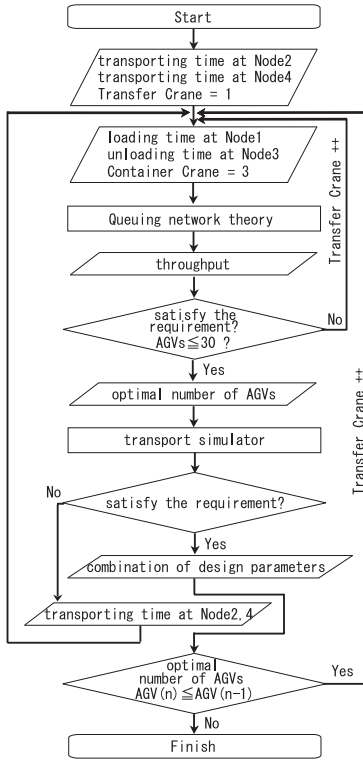


Fig. 2: Design Algorithm

$$\phi_{j1}(K) = \frac{1}{G(K)} \sum_{0 \leq x_j \leq K} x_{j1} q_j(x_j) G_{[j]}(K - x_j) \quad (4)$$

$$G_{[j]}(K) = \sum_{x_1 + \dots + x_{j-1} + x_{j+1} + \dots + x_N = K} \prod_{i=1, i \neq j}^N q_i(x_i) \quad (5)$$

ただし、

$K$ : AGV 投入台数

$\rho_{j1}$ : トラヒック係数

$h_{j1}$ : AGV の相対訪問回数

$G(K)$ : 正規化定数

$G_{[j]}(K)$ :  $j$  補完網における正規化定数

$N$ : ノード数

$x_j$ : ノード  $j$  周りの AGV 台数

## 4 システム設計

Fig.2 に提案アルゴリズムを示す．各ノードに要する時間，コンテナクレーンおよびトランスファークレーン台数を初期入力とし，待ち行列ネットワーク理論によりシステムのスループットが算出される．スループットを評価し，要求仕様を満たす場合，そのときの最低 AGV 台数を最適 AGV 台数とする．満たさない場合，トランスファークレーン台数を変え設計を繰り返す．なお今回の設計では，AGV 台数が無意味に増加することを避けるため，投入台数は最高で 30 台とした．

{ 搬送要求 } ≤ { システムスループット } を満たしたシステムになるよう設計を行う．搬送タスクを 600 に設定し，6 時間以内で全てのタスクを遂行することを制約条件とした．算出された最適な設計解の組合せ (a~d) およびノード 2, 4 に要した時間を Table1 に示す．

Table1 の設計解より得られた各ノードにおける AGV 台数，すなわち大まかな AGV の搬送挙動を Table2 に

Table 1: The Combination of Desing Parameters

No.	Container Crane	Transfer Crane	AGV	Transporting Node2, 4 [s]
a	3	7	27	361, 360
b	3	8	21	243, 242
c	3	9	19	203, 203
d	3	10	18	193, 192

示す．ノード 3 に到着する AGV は，時間，目的ヤードに多少のばらつきがあり，これを考慮して，1 ヤードあたり 1 本の退避経路を設計した．

Table 2: Average Number of AGVs at each Node

No.	Node1	Node2	Node3	Node4
a	4	10	3	10
b	4	7	3	7
c	4	6	3	6
d	4	6	3	5

本設計問題をシミュレーション・ベースで解こうとした場合，トランスファークレーン 10 台に対して AGV30 台，さらに退避経路数最大 1 本の組合せを全て解かねばならず，600 回の試行を行う必要がある．これに対し本手法では待ち行列ネットワーク理論により解の組合せを削減することができる．今回の設計では，解を算出するまでに行った計算の試行回数は全部で 24 回で済むことを確認した．

Table 3: Traffic Intensity at Node 1 and 3

No.	Node1 [%]	Node3 [%]
a	77.8	47.6
b	80.0	42.9
c	81.1	38.6
d	79.9	34.2

埠頭エリアおよびコンテナ蔵置エリアにおける各設計解に対する交通密度 (Table3) の評価を行う．Table3 より，搬送要求を満たすトランスファークレーン台数 7 台以上では，システムのボトルネックが埠頭エリア側に存在していることが分かる．

## 5 おわりに

本研究では，待ち行列ネットワーク理論を用いて搬送システムのモデル化・定式化を行い，シミュレーションとの繰返し計算により，搬送時間遅れまでを正確にシミュレートした AGV 搬送システムの最適設計方法論の提案を行った．今後は各エージェントの挙動を確率分布に基づいてモデル化し，それらに基づいた設計を行う必要があると考える．

## 参考文献

- 1) 阿部雅二郎，伊藤廣，樋口良之：石炭ふ頭における荷役運搬システムの最適設計（第 1 報，モンテカルロ法を用いたシミュレーション解析），日本機械学会論文集，第 59 巻 563 号，2257-2263, C(1993.7)．
- 2) 星野智史，他：待ち行列理論による AGV 搬送システムの設計，日本ロボット学会学術講演会，2B25, (2003)．
- 3) Ryosuke Chiba, Jun Ota, Tamio Arai : Integrated Design with Classification of Transporter Routing for AGV Systems, Proc. 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots and Systems, pp. 1820-1825, (2002)．
- 4) Chin-I. Liu, Hossein Jula, Petros A. Ioannou : Design, Simulation, and Evaluation of Automated Container Terminals, IEEE Tran. on Intelligent Transportation Systems, Vol. 3, No. 1, March (2002) .
- 5) 紀一誠：待ち行列ネットワーク，朝倉書店 (2002) .