

FAにおける保管，搬送システムのシミュレーション

森谷 優，飛澤 宏哉

Simulation of automated storage and retrieval system in FA

Masaru MORIYA* and Hiroya TOBISAWA**

(平成4年4月受理)

Abstract

Paying attention to the storage and retrieval system which supports FMS, we intend to study on the performance evaluation of an automated warehouse system operated by the stacker crane method which is suitable for retrieving general parts. An automatic warehouse system should be fully demonstrated by every function and capability required for each component.

Computer aided simulation is essential to calculate the capacity of an automated storage and retrieval system. Simulation of automated storage and retrieval system produces the most suitable combination of traveling and hoisting speed and acceleration characteristics. Simulation methods used until now have many impractical factors. For instance, they simplified the important factors for calculating the system's capability, and took a long time to reveal accurate results.

In this study, main purpose is to design a practical simulation program which is enable to simulate the optimum conditions of an automated warehouse system by stacker crane. The simulation is then conducted under various conditions.

1. ま え が き

FAとは受注してから出荷までの全工程をコンピューターを使って結合し，自動化していくシステムであると広義に解釈する方が実際的である。そのFAの中でも主要な役割としてFMS (Flexible Manufacturing System) が存在する。FMSは，多品種少量生産を効率化する有力な手段と期待され，ワークステーションを中心として数多くの導入事例が報告されている。FMSは自動化された機械群と自動搬送システムで結合し，コンピューターで制御されている。従ってその性能は全ての構成要素がシステムとして構成されてはじめて検証できる。FMSの性能を設計段階において何らかの方法で評価し，その最適化を図っておく必要がある。

一方，コンピューター・シミュレーションは，多数の構成要素が相互して複合的に関連しているシステムの動的ふるまいを解析するのに有効な方法であり，性能評価の有力な方法であると考

* 北見工業大学 機械工学科

**北見工業大学 応用機械工学科

えられている。しかし、システムが大規模・複雑化するにつれて、解析の重要性が増大するが、同時にシステムをモデル化し、シミュレーション・プログラムの開発に要する負担が増大する。故にパソコンレベルでのシミュレーションの実施は困難と考えられていたのが現況である。

本論文はこのような観点にたつて、FMSを支えている製品及び部品の保管・搬送システムに着目し、部品などの搬送システムに適しているスタッカー・クレーンによる自動倉庫システムの性能評価の検討を行う。自動倉庫システムは、機械要素の個々に要求されている機能、能力を十分発揮しなければならないが、最も重要なことは、前後のシステムに対する同期性と機能、能力の一致とが求められている。保管・搬送システムの能力算定にはコンピューター・シミュレーションが不可欠である。自動倉庫システムのシミュレーションは、ラック（棚）の構成に最も適した水平速度、昇降速度の組合せや加速度特性が得られる。これまでのシミュレーション方法は、システム能力算定の上で主要な部分を簡略化して対応したり、正確な結果を導き出すには相当な計算時間がかかるなどの実用的でない点が多かった。本研究ではスタッカー・クレーン型自動倉庫が、種々な条件のシミュレーションを行うことができ、より実用的なシミュレーションプログラムの作成を主な目的とした。さらに、いくつかの条件のもとでシミュレーションを行った。

2. スタッカー・クレーンのサイクル・タイム

自動倉庫システムの性能は、スタッカー・クレーンの入出庫能力、すなわちサイクル・タイムに大きく依存する。サイクル・タイムは可能なだけの高加減速度と高速度な搬送によって改善されることは明らかである。しかし、クレーンの構造部分に著しい動的負荷が加わる。また、大型構造の場合、大きすぎる加減速は主幹の縦フレームの振動を誘起し、停止時における位置決め時間が長くなる。また、積荷の荷くずれを生ずる結果となる。

対象スタッカー・クレーンの走行・昇降速度は、図1に示すように加速、高速、減速、微速として速度制御する。走行に使用した加・減速度は荷崩れを考慮して 0.4 m/sec^2 とし停止前のクリープ速度（微速度）は 4 m/min と設定した。一方、昇降速度は停止精度の維持のために停止前の微速度を 5 m/min とした。クレーンの操作制御は、クレーンがホーム・ポジションから始動し、水平に最も離れた番地まで走行し、停止までの所要時間を約1分とした。一方、荷台は走行開始と同時に上昇し、走行停止と同時に最上段で停止するように設定した。クレーンの移動距離が短い場合でも、速度制御は、速度制御パターンの圧縮したパターンにした。

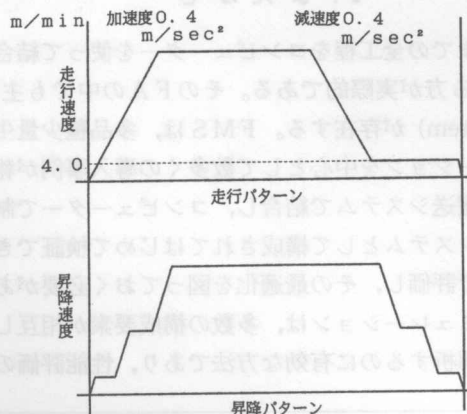


図1 速度線図

$$S = (X \times Y) \times (X \times Y - 1)$$

通り考えられる。

そこで、図3のようにダブルコマンドの1サイクル当りの移動時間を、A、B、C、Dの4つに分けて考え、それぞれの移動時間の平均値をまず計算する。Aは入庫口から入庫棚、Cは出庫棚から出庫口までの移動時間である。動作パターン数：mは

$$m = X \times Y$$

であり、棚の個数に等しい。Bは入庫棚から出庫棚までの移動時間である。全棚数の中から入庫棚及び出庫棚の2つの棚を選び出す組合せの数：nは

$$n = \{m \times (m - 1)\} / 2$$

である。

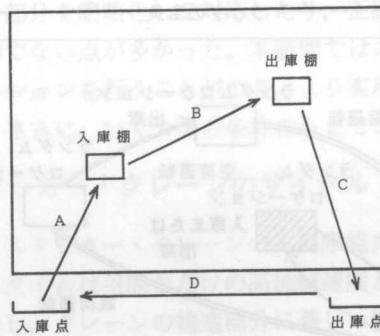


図3 サイクルの概要

入庫棚と出庫棚の全組合せの中には、同じ移動時間のものが多数含まれている。その部分の計算を省くことによって処理時間の短縮ができる。棚から棚の移動において棚1つあたりの水平方向の移動量をp、鉛直方向の移動量をqとし、棚から棚への移動時間をB(p, q)とする。棚(1, 1)～(1, 5)の移動時間及び棚(2, 1)～(2, 5)の移動時間はB(0, 4)と表す。棚(1, 1)～棚(2, 2)の移動時間と、棚(2, 1)～棚(3, 2)の移動時間はB(1, 1)と表す事とする。全組合せの数(n)の中に占めるそれぞれの同じ移動時間の個数：Z(p, q)は、

1) $p = 0, 1 \leq q \leq Y - 1$ のとき

$$Z(0, q) = X(Y - q)$$

2) $1 \leq p \leq X - 1, q = 0$ のとき

$$Z(p, 0) = Y(X - p)$$

3) $1 \leq p \leq X - 1, 1 \leq q \leq Y - 1$ のとき

$$Z(p, q) = 2 \times (X - p) \times (Y - q)$$

で表される。よって入庫棚から出庫棚までの移動時間の平均値： B_n は

$$B_n = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{q=1}^{Y-1} \{X(Y-q) \cdot B(0,q)\} + \sum_{p=1}^{X-1} \{Y(X-p) \cdot B(p,0)\} + \sum_{p=1}^{Y-1} \left[\sum_{p=1}^{X-1} \{2(X-p)(Y-q) \cdot B(p,q)\} \right] \right\}$$

これらより、ダブルコマンドの全ポイント平均サイクルタイム：CTは、

$$CT = A m + B n + C m + D$$

で求めることができる。

4. シミュレーション結果と考察

シングル及びダブルコマンドにおいて、平均サイクルタイムに対する走行速度と昇降速度の関係について調べた。スタッカ・クレーンの走行速度並びに昇降速度を20~40m / min の範囲で各々5 m / min ずつ増加させて平均サイクルタイムを求めた。図4、図5にそれぞれシングルコマンドとダブルコマンドの場合を示してある。両コマンドで共通のサイクルタイム特性がある。走行速度が20m / min と40m / min ではサイクルタイムが大幅に減少する。昇降速度が一定で、走行速度を増加しても、サイクルタイムはある速度から大きな変化はない。これは走行、昇降の速

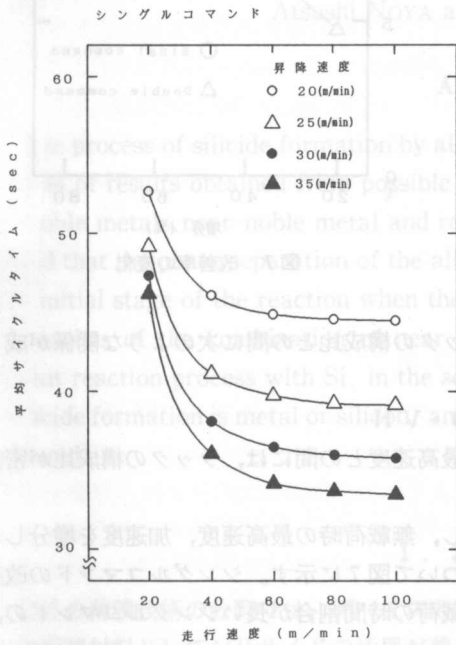


図4 平均サイクルタイム (シングルコマンド)

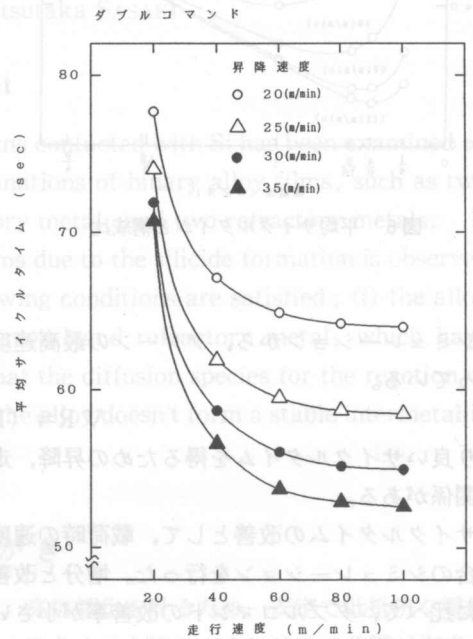


図5 平均サイクルタイム (ダブルコマンド)

度パターンに起因する。速度パターン一定の条件の基で、最高速度を上げて最高速度に達するまでの時間がかかり、最高速度で移動している時間が少なくなるためである。固定された速度パターンにおいて最高速度を必要以上に増大してもサイクルタイムはそれほど改善されない。安全性、荷崩れ、動特性を考慮するならば、できるだけ低速域で運転するのが好ましい。昇降速度の場合にも同様の事が言える。昇降速度と走行速度のバランスを考慮する必要がある。

図6は、昇降最高速度：V H を40m / min とし、走行最高速度とラックの構成比の関係について示したものである。ラックの構成比は、H / R (H : 最大昇降距離, R : 最大走行距離) を1 / 4 から9 / 4 までに变化させた。ラックの構成比は、自動倉庫の代表形成を表す。走行最高速度：V R を増大すると平均サイクルタイムの最良点が、構成比の比較的小さい値に移動する。V R / V H が大きくなると構成比が比較的小さい位置で平均サイクルタイムが最良となっている。

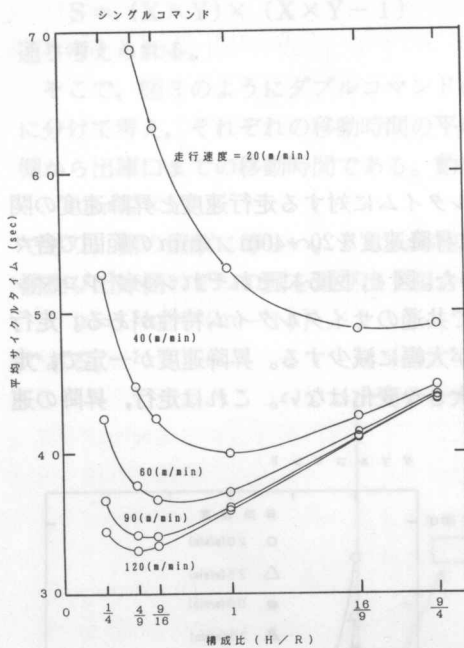


図6 平均サイクルタイムと構成比

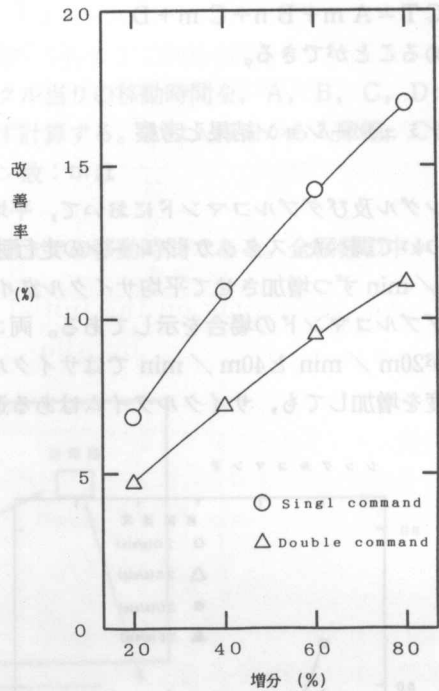


図7 改善率の変化

本シミュレーションから、クレーンの最高速度とラックの構成比との間に次のような関係が成り立っている。

$$VR \approx (H/R) \cdot VH$$

より良いサイクルタイムを得るための昇降、走行の最高速度との間には、ラックの構成比が密接な関係がある。

サイクルタイムの改善として、载荷時の速度に対し、無载荷時の最高速度、加速度を増分した場合のシミュレーションを行った。増分と改善率について図7に示す。シングルコマンドの改善率に比べて、ダブルコマンドの改善率が小さい。無载荷の時間割合が長いシングルコマンドの、改善率が高いのは、直観的によく理解できる。

5. 結 論

本研究では、新たな計算方法を導入し、種々の条件下で自動倉庫のシミュレーションが可能なプログラムを開発した。パソコンレベルで扱えかつ正確なシミュレーションが容易になった。実際に、いくつかのシミュレーションを行った結果、自動倉庫の性能を把握し得る結果が得られた。さらに、最適化設計に必要なクレーンの最高速度とラックの構成比との関係がほぼ明らかになった。

参考文献

- 1) 日本規格協会：立体自動倉庫システム設計通則；JIS B 8940, 1978
- 2) K. K. B. Hon and S. L. Johns: Low Inventory Manufacturing in a Dynamic Environment. Proceedings of the Twenty-seventh International MATADOR Conference, vol. 27, pp.11-15 (1988 April)