

# 自動倉庫における動的入出庫スケジューリングに関する研究

藤田 隆也(沼田 一道 准教授, 田中 健一 助教)

## 1. はじめに

### 1.1 本研究の背景

私たちが日常スーパーや百貨店などで接する物品は、生産場所から物流センターを経由して各店舗へと輸送されてくる場合が多い。運ばれてきた物品は一時的に物流センターに保管されるが、大量の物品が通過するので多くの物流センターでは自動倉庫を採用してこれに対処している。自動倉庫とは格納庫(セル)の集合でできた巨大な倉庫である。セルを水平、垂直方向に広がる格子状の棚としてまとめ、この棚を何面も並べて自動倉庫を構成する。大量の物品の入出庫作業を手で行うことは難しいので、棚間に自走式のスタックークレーン(Stacker Crane, 以後 SC)を設備し、全自動で搬送を行う[1]。

図1のように、物流センターには大量の物品が次々と運ばれてきて、また次々と運び出されていく。つまり、この自動倉庫では次々と発生する入出庫要求を処理しなければならない。自動倉庫において、次々と発生する入出庫要求に対して巡回や処理する要求の順序を工夫するなどして能率的な方法を考えることを動的入出庫スケジューリングという[2]。

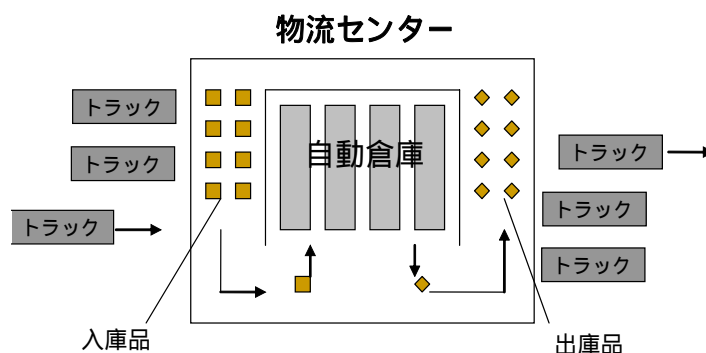


図1. 物流センターの略図

### 1.2 本研究の目的

次々と到着する入出庫要求を処理する物流センター(自動倉庫)では、入庫されるのを待っている入庫品を一時置いておくスペースの問題や、出庫要請が来てからその出庫品をトラックが取りに来るまでに在庫しておかなければいけないなどの制限がある。従って、入庫要求の待ち個数が少なく、出庫要求の待ち時間が少ないほど望ましいと言える。ただし、待ち個数とはSCが戻ってきた時点で処理されるのを待っている要求の個数、待ち時間とは要求が発生してからその要求が処理され始めるまでにかかる時間のことである。動的入出庫スケジューリングでは、能率的な処理規則によって入出庫要求の待ち時間や待ち個数を小さくすることが目標となる。本研究では、いくつか処理規則を考え、シミュレーションを行い、入庫要求の待ち個数と出庫要求の待ち時間が小さくなる処理規則を発見することを目的とする。

## 2. 問題

### 2.1 問題の概要

入庫要求とはトラックで運ばれてきた物品の入庫要請のことであり、出庫要求とはトラックが取りに来る物品の出庫要請である。つまり、入出庫要求はそれぞれ独立に発生する。入庫品はセルに入庫されるまで入荷スペースに一時置いておき、そこから各棚に振り分けながら入庫する。出庫品は各棚(セル)から、該当トラックの到着までに出荷スペースに出しておく。本研究のシミュレーションでは1つの棚に注目する。トラックの発着により入出庫要求は集団で発生するが、振り分け後の1つの棚で見るので、

入出庫要求は1個ずつ独立にランダムに発生すると仮定する。

SCは入出庫口から入庫品を載せて出発し、出庫品を載せて入出庫口へ戻る。これを(SCの)巡回と呼ぶ。1回の巡回で $m$ 個ずつまで入出庫要求を処理できるとき、SCの容量は $m$ であると言う。本研究ではSCの容量が1の場合を対象とする。入出庫要求両方が存在する場合、1回の巡回で入出庫仕事を同時に処理する方が別々に処理するより効率的である(三角不等式が成立するので)。SCの容量が1の場合、1回の巡回にかかる時間は入庫品を格納するセルと出庫品が格納されているセルの場所によって決まる。すなわち、巡回時間は、同時に処理する入出庫要求の組合わせによって変わる。

次々と発生する入出庫要求に対して、発生した順に入出庫要求を組合せて処理していくと、巡回時間が長くなりその間に次々と要求が溜まってしまう可能性がある。また、発生した順番を無視して巡回時間が短くなる入出庫要求を組合せて処理していくと、要求は次々と発生するので長い間処理されない要求が出てくる可能性がある。よって、発生した順番と巡回時間両方を考慮して入出庫作業をする必要がある。

文献[2]では、入庫要求の最大待ち個数と出庫要求の最大待ち時間を指標として、SCの容量が1で、入庫品を格納するセルが指定されている自動倉庫において、いくつか処理規則を考え、シミュレーションによる比較を行っている。その処理規則とは、4つの基本処理規則と、その4つに入出庫要求どちらかが多い場合、多い方の要求のみ単独で処理するという規則を組合せた合計8つである。シミュレーションの結果、どちらかが多い場合に多いほうだけを処理してもあまり効果がないことと、早く発生した出庫要求と、それと組合せて巡回時間が短くなる入庫要求を同時に処理する規則が良いということを報告している。

実際には、入庫品は空いているセルならどこに格納してもよい自動倉庫も多いので、本研究ではこの型の自動倉庫を対象とする。また各要求の待ち時間の平均も重要と考え、入庫要求の最大待ち個数、出庫要求の最大待ち時間・平均待ち時間の3つ(maxWIS, maxWTR, aveWTR)を指標とし、これら3つをバランスよく小さくする処理規則をシミュレーションにより探求する。WISはWaiting Items for Storage, WTRはWaiting Time for Retrievalの略である。

## 2.2 シミュレーションの概要

入庫要求の到着時刻と出庫要求の到着時刻を到着率のポワソン分布(到着時間間隔が平均 $1/\lambda$ の指数分布)に従い発生させる。出庫品の格納されているセルは物品が格納されているセルの中からランダムに選んで割り当てる。そして、SCが入出庫口に戻ってくるたびに、そのとき発生している未処理の入出庫要求の中から処理規則に従い次の1回の巡回で処理する要求を決定する。巡回時間は、処理する要求に応じて決まる。

## 2.3 比較する処理規則

SCが入出庫口にある(戻った)とき、入出庫要求が、共にある場合、共にない場合、入庫要求しかない場合、出庫要求しかない場合の4通りがある。入出庫要求共にない場合にはSCは入出庫口で待機する。入出庫要求共に待っている場合には必ず1回の巡回で両方処理し、入出庫要求どちらかしかない場合には片方の要求だけを処理する。また、入庫品は空いているセルならどこに格納してもよいので、どの入庫要求を選んでも巡回にかかる時間は変わらない。よって、入庫要求は早く発生したのから巡回にかかる時間が最も短くなるセルに格納する。

まず、C1 と C2 という 2 つの基本的処理規則を提案する。

C1： 入出庫要求共にある場合もどちらかしかない場合も到着時刻が最も早い要求を処理する。

C2： 入出庫要求共にある場合もどちらかしかない場合も各巡回時間が最も短くなる要求を処理する。

C1 だと巡回時間が長くなって要求が溜まる可能性があり、C2 だと長い間処理されない要求が出てきてしまう可能性がある。そこで、C1 と C2 を状況によって使い分ける処理規則 C3 ~ C5 を導入する。C3 は入出庫要求どちらが先に発生したかにより C1 と C2 を使い分ける処理規則、C4 は C1 の短所を補うために入庫要求が溜まりすぎたら C2 に切り替える処理規則、C5 は C2 の短所を補うために出庫要求の待ち時間が長くなりすぎたら C1 に切り替える処理規則である。C3 ~ C5 の概要を以下に示す。

C3： 入出庫要求共にある場合は、入出庫要求の中で最も早く発生したのが入庫要求なら C2 で、出庫要求なら C1 で処理する。出庫要求しかない場合は巡回時間が最も短くなる出庫要求を処理し、入庫要求しかない場合は到着時刻が最も早い入庫要求を処理する。

C4： 入庫要求の待ち個数が より小さい場合は C1 で、 より大きい場合は C2 で処理する。

C5： 最も早く発生した出庫要求の待ち時間が より小さい場合は C2 で、 より大きい場合は C1 で処理する。

以上の 5 つの処理規則についてシミュレーション実験を行い、maxWIS、maxWTR、aveWTR を求める。

### 3. シミュレーション実験

#### 3.1 実験概要

提案した 5 つの処理規則を用いてシミュレーション実験を行い 3 つの指標を比較する。本研究で対象とする自動倉庫は、立体棚の垂直方向に 50 個、水平方向に 20 個、全部で 1000 (= 50 × 20) 個のセルと入出庫口からなる。初期状態として、SC は入出庫口に待機しており、自動倉庫にはセル数の半分の物品がランダムな場所に格納されているものとする。入出庫要求をそれぞれ到着時間間隔が平均 50 秒の指数分布に従い 7200 秒間 (2 時間) 発生させる。巡回時間は、SC の移動時間に、物品の積み降ろしにかかる時間としてそれぞれ 5 秒ずつ加えて計算する。発生した入出庫要求がすべて処理されたら実験終了とする。

まず、C1 と C2 の処理規則を要求の到着時刻などを同じ条件で 10 回ずつ実験し、入庫要求の最大待ち個数と出庫要求の最大待ち時間の平均を出し、その値から  $\alpha = 50$ 、 $\beta = 5000$  と決定した。再び C1 ~ C5 の処理規則を要求の到着時刻などを同じ条件で 10 回ずつ実験し、maxWIS、maxWTR、aveWTR の平均を求め、処理規則による違いを見る。

#### 3.2 実験結果・考察

表 1. 実験結果

実験の結果を表 1 に示す。図 2 には、縦軸に maxWTR、横軸に aveWTR をとり、maxWIS を点の大きさとしてプロットして実験の結果を示した。ただし点の大きさ

	最大待ち個数		最大待ち時間		平均待ち時間		終了時間
	入庫要求	出庫要求	入庫要求	出庫要求	入庫要求	出庫要求	
C1	61.0	61.7	5005.1	5276.8	2617.2	2737.6	12745.3
C2	47.9	47.5	4659.0	11103.7	1969.5	2075.5	12720.4
C3	59.0	59.8	4985.5	5763.8	2515.7	2622.5	12721.8
C4	56.1	57.2	4915.6	5565.8	2455.9	2572.1	12734.1
C5	51.9	52.5	4910.9	5802.3	2136.0	2243.1	12739.2

は、差を見るために各値から 40 を差し引いた数値に比例させている。C1～C5 を比較してみると、表 1 と図 2 より、maxWIS は C2, C5, C4, C3, C1 の順に少なく、C2 と C5 は C1 より 10 個程度少ない。1 台の SC に注目した結果なので、倉庫全体としてはかなりの差になると思われる。また、maxWTR は C1, C4, C3, C5, C2, aveWTR は C2, C5, C4, C3, C1 の順に小さいが、C2 以外

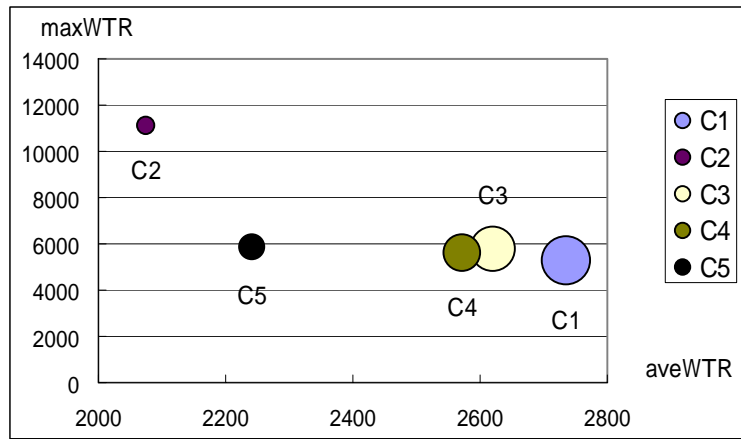


図 2. 各処理規則の特性

の maxWTR は差が 600 秒 (10 分) 程度しかない。最大待ち個数の差 10 個は、倉庫全体としては数十個の差になるが、待ち時間は倉庫全体で考えても変わらないので、maxWIS, maxWTR, aveWTR のバランスの良さから C5 の処理規則が現実的には良い処理規則と言える。

C5 の処理規則が良いと書いたが、実際には物流センターの条件 (入荷スペースなど) によって良いという基準は違う。今回は  $\alpha = 50$ ,  $\beta = 5000$  として実験したが、 $\alpha$  と  $\beta$  を変えることによって C4 と C5 は結果が変わるので、C4 と C5 の処理規則は応用性もあり物流センターの条件に対応しやすい良い処理規則だと思われる。

表 2.  $\alpha$  を変えたときの結果

また、要求の到着時間間隔を平均 100 秒とし、 $\alpha = 8$ ,  $\beta = 700$  と決定して実験してみた。結果を表 2 に示す。C5 において、 $\alpha$  の値が大きすぎるかもしれないが、maxWTR の差が C1 と比較しても 250 秒 (約 4 分) しかないので到着時間間隔が大きくても C5 で処理しても問題ないと思われる。

	maxWIS	maxWTR	aveWTR
C1	5.8	442.0	153.4
C2	5.6	1226.6	126.5
C3	5.6	493.9	142.9
C4	5.8	442.0	153.2
C5	5.6	695.6	129.5

#### 4. まとめ

本研究では、動的入出庫スケジューリング問題を扱い、入庫品は空いているセルならどこに格納してもよい自動倉庫において、入出庫要求が次々と発生する場合の SC の処理規則を考えた。入庫要求の待ち個数と出庫要求の待ち時間がバランス良く小さくなる処理規則として、処理規則 C5 を見出した。本研究では、簡単化のため棚 1 つに注目してシミュレートし各処理規則の比較を行ったが、各棚への振り分けを含めた自動倉庫全体をシミュレートすることは今後の課題である。また、 $\alpha$  を変えて実験した結果、 $\alpha$  と  $\beta$  は  $\alpha$  と関係があるように見える。この関係を導ければ、 $\beta$  を求めるための予備実験がいらなくなり、 $\beta$  が動的に変化する場合にも追従できる可能性があるが、これも今後の課題である。

#### 参考文献

- [1]田中, 木瀬: 自動倉庫システムにおけるスケジューリング問題, システム/制御/情報, Vol.50, No.11, pp.418-423 (2006)
- [2]横山, 田中: 自動倉庫システムの動的入出庫スケジューリング問題に対する近似解法の検討, システム制御情報学会研究発表講演会, Vol.51, pp.67-68 (2007)