

自動倉庫における入出庫スケジュールリング問題に関する研究

田中 如之(沼田 一道 助教授, 田中 健一 助手)

1 はじめに

1.1 本研究の背景

我々が日常で使用するスーパーや、百貨店などに並ぶ物品は、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いるものが多い。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、大量の物品が頻繁に運ばれてくるため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。この自動倉庫は高さ方向、水平方向にセルが棚状に並んでいる。大量の物品の入出庫作業を人手で行うことは難しいので、自走式のスタッカークレーン（Stacker Crane, 以後 SC）を設備し、全自動で搬送を行う。その際、入出庫作業すべき物品は多量にあり SC は多数回の巡回を繰り返さなければならないので、巡回の順序を工夫するなどして能率的に作業を行う必要がある。

1.2 自動倉庫の種類

自動倉庫には様々な種類があり、文献[1]や文献[2]で研究されている。文献[1]の自動倉庫は、入力口と出力口が1カ所であり、SCの容量が複数個、入出庫品は物品ごとに入出庫作業を行うセルが指定されている。また、文献[2]の自動倉庫は、入力口と出力口が別れており、SCの容量は1個、出庫品は物品ごとに在庫するセルが指定されているが、入庫品は空いているセルに入庫する。ただし、物品の出庫を終えたセルには入庫することができる。

1.3 本研究の目的

文献[1]では SC 容量が複数個の場合を扱っていたのに対し、文献[2]では SC の容量が1個の場合のみしか扱っていなかった。そこで、本研究では文献[2]で取り上げた方式の自動倉庫に対して、SC の容量を2個に増やし、すべての入出庫作業を処理するのに要する総移動時間を最小にするような SC の巡回経路を決定する問題を扱う。この問題を定式化し、2つの解法を提案する。

2 問題設定

2.1 自動倉庫の概要

本研究で対象とする自動倉庫（図 2.1）は、立体棚の高さ方向に a 個、水平方向に b 個、全部で $c (= a \times b)$ 個のセル、入出口(0)と出力口($c+1$)からなる。水平方向を X 軸、高さ方向を Y 軸とする。セルには1から c までの認識番号が与えられている。入庫仕事とは SC からセルに物品を降ろす作業であり、出庫仕事とはセルから SC に物品を載せる作業である。巡回とは、SC が入力口から入り、いくつかのセルを訪問し、出力口へ行き、再び入力口に戻るといった1回の動作を指す。

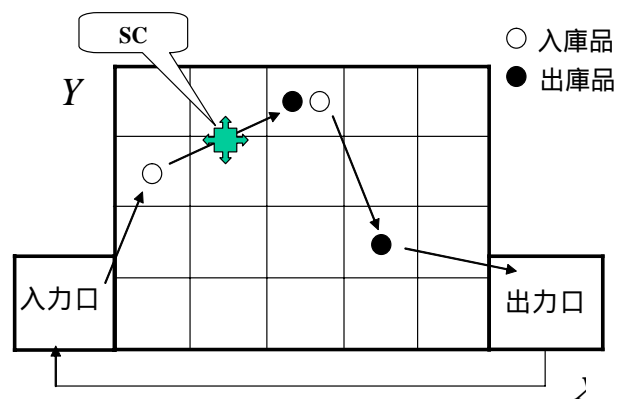


図 2.1 自動倉庫と入出庫作業

本研究における入出庫作業の基本パターン（図 2.1）を以下に示す。

1. SC は入力口で 2 個の入庫品 SC に載せ，入庫可能点に移動する．
2. 入庫可能点で入庫品を SC からセルに降ろし，1 つ目の出庫点へ移動する．
3. 1 つ目の出庫点で始めに出庫品をセルから SC に載せる．次にその出庫点に入庫品を SC からセルに降ろす．
4. 2 つ目の出庫点へ移動し出庫品をセルから SC に載せ，出力口へ移動する．
5. 出力口から入力口に戻る．

この入出庫作業の基本パターンを全入出庫品が処理されるまで繰り返すこととする．

2.2 入出庫スケジューリング問題

以下で扱う入出庫スケジューリング問題は，入出庫仕事，SC の容量が与えられた上で，全入出庫仕事の総処理時間が最小となるように全入出庫仕事の巡回経路（処理順）を決定する問題である．

入出庫スケジューリング問題の前提条件を以下に示す．

1. 物品を入庫もしくは出庫する時間は考慮しない．
2. 出力口から入力口への移動時間は考慮しない．
3. 初期段階で入庫可能なセルが少なくとも 1 つ以上ある．
4. 入庫品数と出庫品数は同数かつ偶数個ずつである．

3 定式化

入庫仕事数（＝出庫仕事数）を m ，巡回の第 1 番目に移動する入庫点（入庫仕事）を u ，巡回の第 2 番目に移動する出庫点（出庫仕事＋入庫仕事）を v ，巡回の第 3 番目に移動する出庫点（出庫仕事，出庫後は入庫可能）を w ，入庫可能点集合を S ($u \in S$)，出庫点集合を O ($v, w \in O$) とする．

毎巡回入庫可能点集合が変化するので 2.2 節で述べた入出庫スケジューリング問題を DP(Dynamic Programming) により定式化する．DP の漸化式は以下で与えられる．

$$f(m, O, S) = \min_{\substack{u \in S \\ v, w \in O}} \{ time(\text{入口} \rightarrow u \rightarrow v \rightarrow w \rightarrow \text{出口}) + f(m-2, O - \{v, w\}, S - \{u\} + \{w\}) \} \quad (3.1)$$

$$\text{初期条件} \quad f(0, \phi, S) = 0 \quad (3.2)$$

$f(m, O, S)$ は m 個から成る出庫点集合 O ，及び入庫可能点集合 S に対する最適総巡回時間を表す $time$ は入力口から 3 点を経て出力口に移動するのに要する時間である．(3.1) 式は処理対象 (m, O, S) に対する最適値が出庫仕事 v, w と入庫可能点 u を選ぶすべての仕事の中で $f(m-2, O - \{v, w\}, S - \{u\} + \{w\})$ に対する最適値と $\{u, v, w\}$ の処理時間の和を最小にする組合せで与えられることを意味する． S が $S - \{u\} + \{w\}$ と変化するのは， w は出庫仕事後，入庫可能点となるからである．(3.2) 式は入出庫仕事が無ければ最適値は 0 であるということを示す．

4 提案する解法

入出庫仕事の組合せと巡回経路の組合せを全列挙することにより，入出庫スケジューリング問題の最適総巡回時間を得ることができるが， m の値が大きくなると全列挙することは困難である．そこで本研究では，最適性の保証はないが良質の解をできるだけ短い時間で求められる近似解法を用いる．

4.1 ランダム解法

ランダム解法とは SC の容量を満たした上で、入庫可能点集合 S もしくは出庫点集合 O からランダムに仕事を選ぶ解法である。ランダム解法のアルゴリズムを以下に示す。

Step1: 入力口から、 S からランダムに選んだ仕事、入庫点 u に移動する。

Step2: O からランダムに選んだ仕事、出庫点 v に移動する。

Step3: O からランダムに選んだ仕事、出庫点 w に移動し、点 w を S に加える。

Step4: 出庫点 w から出力口に移動する。

Step5: 入庫仕事数 (= 出庫仕事数) $m=0$ となるまで Step1 に戻る。それ以外ならば終了する。

4.2 提案法(貪欲)

提案法(貪欲)とは SC の容量を満たした上で、入庫可能点集合 S もしくは出庫点集合 O から現在いる点から直近の仕事を選び移動する解法である。提案法(貪欲)解法のアルゴリズムを以下に示す。

Step1: S に含まれる仕事で、入力口から直近にある入庫点 u に移動する。

Step2: O に含まれる仕事で、 u 点から直近にある出庫点 v に移動する。

Step3: O に含まれる仕事で、 v 点から直近にある出庫点 w に移動し、点 w を S に加える。

Step4: 出庫点 w から出力口に移動する。

Step5: 入庫仕事数 (= 出庫仕事数) $m=0$ となるまで Step1 に戻る。それ以外ならば終了する。

4.3 提案法(制限付)

提案法(制限付)とは毎巡回入力口から出力口への移動を行うため、出来る限り入庫可能点集合 S に含まれる入庫点 u より下方にある出庫点を 2 つ選ぶことにより移動時間を短縮する解法である。提案法(制限付)解法のアルゴリズムを以下に示す。

Step1: S に含まれる仕事で、入力口から直近にある入庫点 u に移動する。

Step2: 入庫点 u の X 座標・ Y 座標より小さい値をとり、 O に含まれる仕事で入庫点 u の直近にある出庫点 v に移動する。(条件に当てはまる点がない場合は直近の点に移動)

Step3: 出庫点 v の X 座標・ Y 座標より小さい値をとり、 O に含まれる仕事で出庫点 v の直近にある出庫点 w に移動し、 w を S に加える。(条件に当てはまる点がない場合は直近の点に移動)

Step4: 出庫点 w から出力口に移動する。

Step5: 入庫仕事数 (= 出庫仕事数) $m=0$ となるまで Step1 に戻る。それ以外ならば終了する。

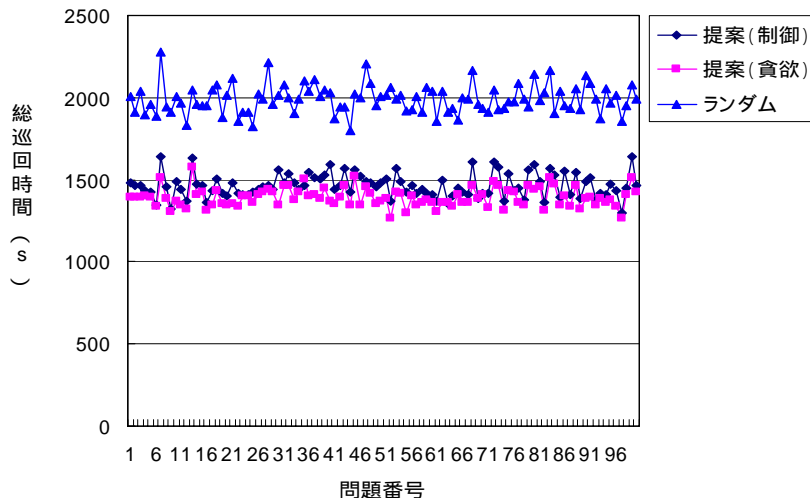
5 数値実験

5.1 数値実験の概要

数値実験では、ランダム解法と提案した 2 つの解法を用いて、入出庫スケジューリング問題を解き、各解法の総巡回時間を求め、実験結果を比較検討する。データはセル数が高さ方向に 20 段 (= a)、水平方向に 50 段 (= b) の 1000 個 (= c) の倉庫、SC 容量 2、入庫仕事数 (= 出庫仕事数) を $m=30$ とし、初期入庫可能点集合と出庫点集合をランダムに与え、問題例を 100 個生成した。各セルの大きさを高さ、幅共に 1.5[m]、仕事 p から仕事 q 間の SC の移動時間 $t(p, q) = \max\{t_x(p, q), t_y(p, q)\}$ 、SC の最高速度は、高さ方向に 0.5[m/s]、水平方向に 1.67[m/s]、加速度は 0.3[m/s²] で一定として計算した。プログラムは Borland 社の Delphi6 で作成した。

5.2 実験結果および考察

実験結果を図 5.1 に示す。最も総巡回時間の平均が短くなったのは提案法(貪欲)で、次に提案法(制限付)で、最も総巡回時間が長かったのはランダム解法であった。提案法(貪欲)はランダム解法より、総巡回時間が平均して約 30%(約 600 秒)の短縮となり、提案法(制限付)はランダム解法より、総巡回時間が平均して約 26%(約 530 秒)の短縮となる。したがって、各仕事(入庫点, 出庫点)から移動時間が最も短くなるような組合せを出来るだけ多く作ることによって、総巡回時間を短縮できると言える。しかし、提案法(制限付)が提案法(貪欲)より総巡回時間の平均が約 70 秒長くなってしまった。これは u 点の Y 座標が v 点の Y 座標より大きい値をとってしまうケースが多いからだと考えられる。



6 まとめ

6.1 本研究の

結論

本研究では、文献[2]で扱っていた入力口と出力口が別れているタイプの自動倉庫における入出庫スケジューリング問題を取り上げ、SC の容量が文献[1]では複数の場合を考えていたのに対し、文献[2]では扱ってなかったため、SC の容量を2にした問題を考えた。出庫点から出庫品を取り出した後は入庫可能となるため毎巡回入庫可能点集合が変化すること考慮しDynamic Programming による定式化を行った。SC の容量を満たした上で、入庫可能点集合もしくは出庫点集合からランダムに仕事を選ぶランダム解法と比較して、どれだけ能率的な入出庫作業が行えるかを見るために、2 つの解法を提案した。数値実験の結果、提案した 2 つの解法がランダム解法より良い総巡回時間を与えることが分かった。

6.2 今後の課題

提案法(制限付)の方がより短い総巡回時間与えると予想したが、提案法(貪欲)の方が良かったのは、制御の仕方が不十分あるいは不適切であると判断され、局所探索等を加え精度の向上を図ることは必要である。

主要参考文献

- [1] 胡貴彦, 木瀬洋, 徐悦東: “立体自動倉庫における入出庫スケジューリングの最適化”, システム制御情報学会論文誌 Vol.18, No4, 2pp, 156-163, 2005.
- [2] S. Tanaka: “Routing problem under the shared storage policy for unit-load automated storage and retrieval systems with separate input and output points”, *Proceedings of 2006 International Symposium on Flexible Automation*, pp.593-600, Osaka, Japan, July 10-12, 2006 .