

自動倉庫における入出庫スケ ジューリング問題に関する研究

沼田研究室

4403062 田中 如之

発表構成

1. はじめに
 - 1.1 背景
 - 1.2 自動倉庫
 - 1.3 自動倉庫における問題点
 - 1.4 本研究の自動倉庫
 - 1.5 入出庫作業(先行研究)
2. 本研究について
 - 2.1 本研究の目的
 - 2.2 入出庫作業(本研究)
3. 問題設定
4. 定式化
 - 4.1 記号の定義
 - 4.2 定式化
5. 提案する解法
6. 数値実験
 - 6.1 実験概要
 - 6.2 計算結果
 - 6.3 実験結果と考察
7. まとめ
8. 今後の課題

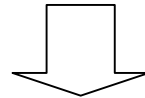
1.1 背景

流通業界において、大規模な物流センターが普及



物流センターが抱える問題点

- ・納品量の多さ
- ・リードタイム増加
- ・作業員増加



多くの物流センターでは自動倉庫を導入し、解消を狙う

1.2 自動倉庫

高さ、水平方向に物品を格納するセルが並んでいる巨大倉庫

スタッカークレーン(以後SC)と呼ばれる昇降装置が自動的に物品を運搬

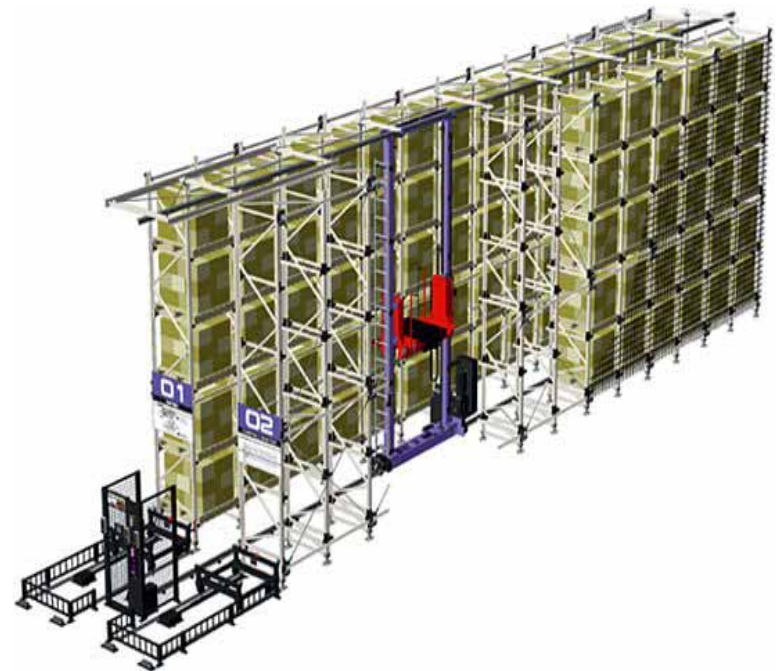


図1. 立体自動倉庫

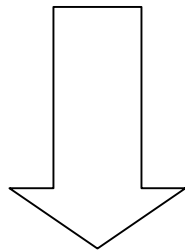
出所: <http://www.daifuku.co.jp/products/storage/cs/feature.html>

SCのメリット

- ・数多くの物品をコンピュータ制御で入出できる
- ・人員削減、入出作業のミスが軽減、作業速度の向上

1.3 自動倉庫における問題点

- ・倉庫内に入出庫すべき物品は**多数**
- ・SCが一度に運べる物品数は**たかだか数個**



倉庫での作業時間が大きいと
リードタイムが増加してしまう

能率的に入出庫作業を行う必要がある

1.4 語句の定義

- ・入庫・・・入力口に置かれた物品をSCに載せてセルまで運び格納すること
- ・出庫・・・セル内の物品をSCに載せ出力口まで運ぶこと
- ・巡回・・・入力口から出発したSCがいくつかのセルと出力口を訪問し、
入力口に戻る動作のこと
- ・仕事・・・セルにおける入出作業のこと

入力口・・・入庫品を貯める場所
出力口・・・出庫品を貯める場所

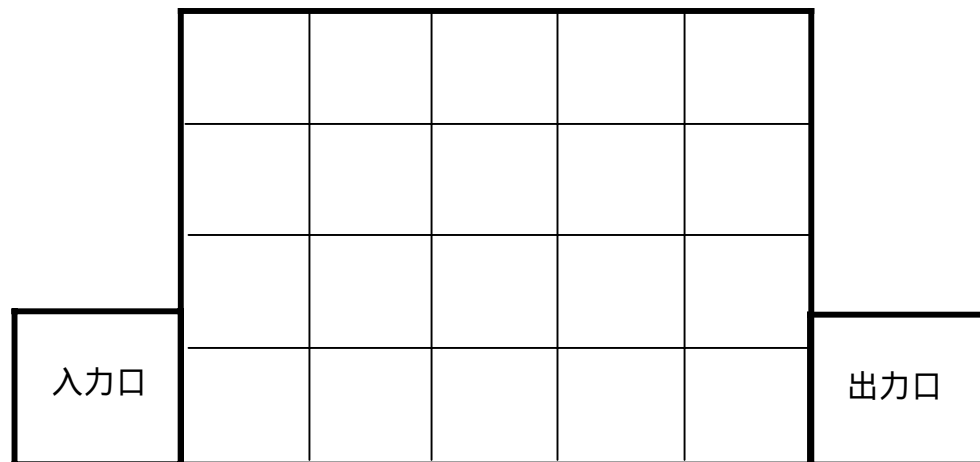
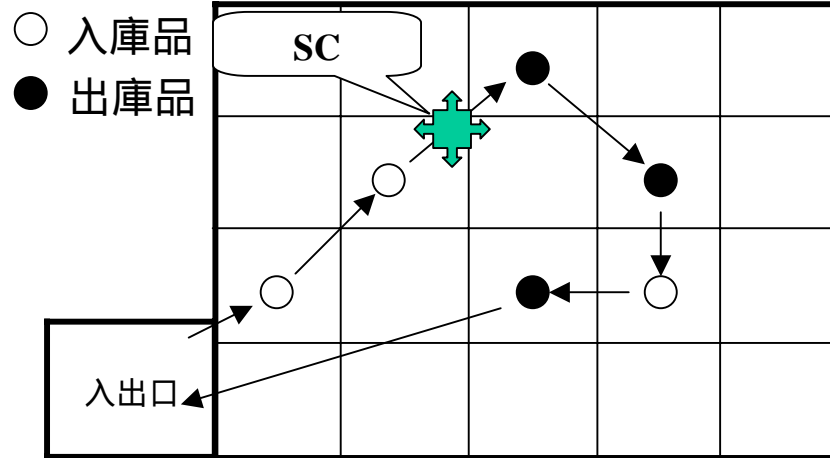


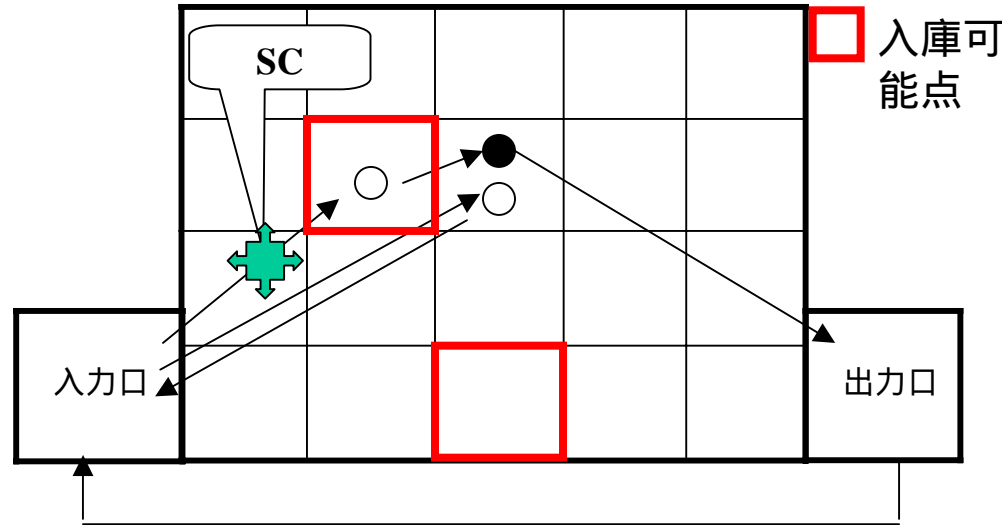
図2. 自動倉庫

1.5 自動倉庫の種類



- ・SCの容量は複数(図3は3)
- ・在庫品は物品ごとに、格納されるセルが指定されている

図3. 文献[1]の入出庫作業

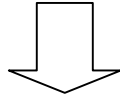


- ・SCの容量は1
- ・在庫品が格納されるセルの指定はない
- ・出庫を終えたセルには在庫可能
- ・いくつかの移動パターンを用いる

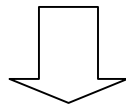
図4. 文献[2]の入出庫作業

2.1 本研究の目的

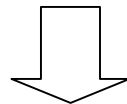
文献[2]はSCの容量が複数の場合を扱っていない



文献[2]の設定でSCの容量を2にする



全ての仕事を処理するのに要する移動時間を最小にするようなSCの巡回路の順序集合を決定

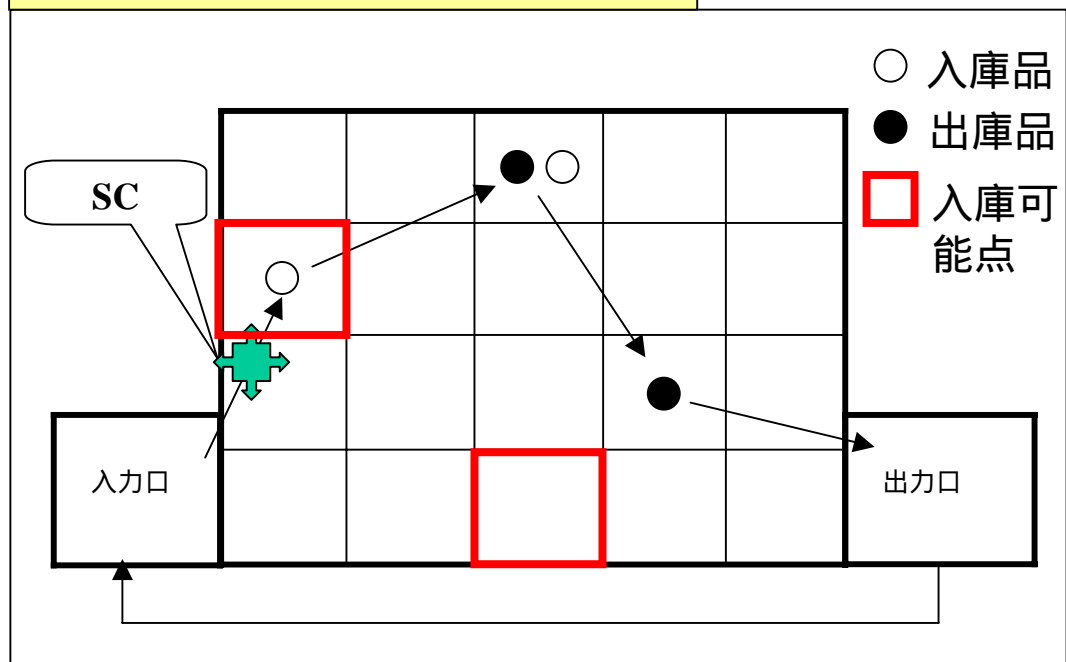


問題の定式化、発見的解法の提案

2.2 入出庫作業(本研究)

本研究の入出庫作業

以下のパターンを基本とする



- ・SCの容量は2
- ・出庫を終えたセルには入庫可能
- ・1つ目の出庫点で出庫品を出し、その出庫点に入庫

図5. 本研究の入出庫作業

3. 問題設定

セルについて

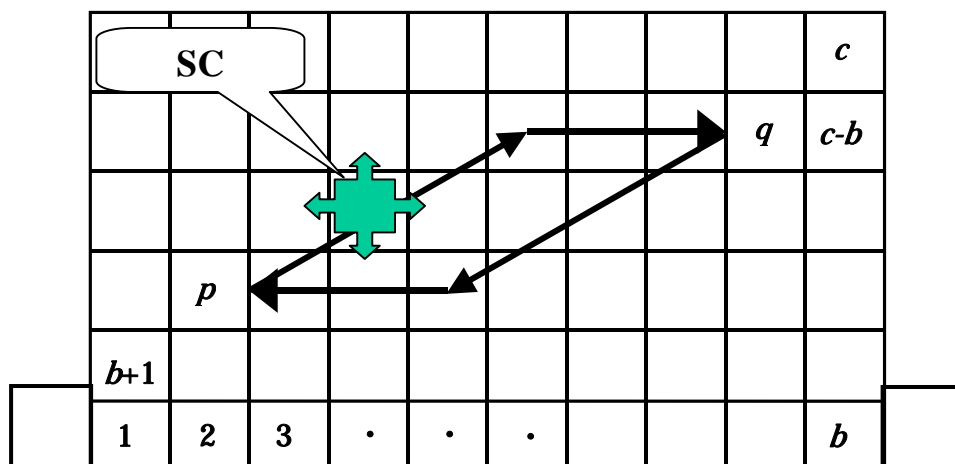


図6. p から q への SC の移動

SCについて

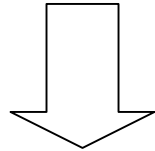
SCは水平方向と高さ方向に独立に並列して移動できる

SCの移動に掛かる時間は

水平方向移動時間, 高さ方向移動時間のどちらか大きくなる方となる

4.1 問題の前提条件

全入庫仕事の総処理時間が最小となるような巡回経路(処理順)を決定する



入出庫スケジューリング問題

問題の前提条件

1. 物品を入庫・出庫する時間は考慮しない
2. 初期段階で入庫可能なセルが少なくとも1つ以上ある
3. 入庫品数 = 出庫品数(偶数個ずつ)
4. すべての入出庫仕事は処理される

4.2 記号の定義

u : 巡回の第1番目に移動する入庫点

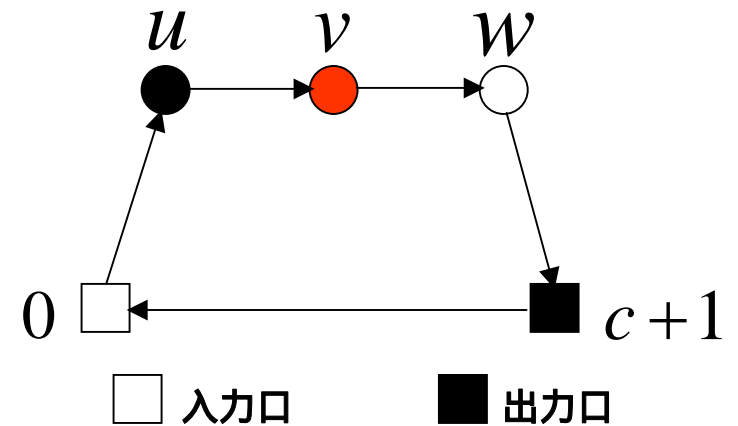
v : 巡回の第2番目に移動する出庫点

w : 巡回の第3番目に移動する出庫点

m : 出庫品数 (= 入庫品数)

S : 入庫可能点集合 ($u \in S$)

O : 出庫点集合 ($v, w \in O$)



● 入庫可能点 ● 出庫点1 ○ 出庫点2

図7. 入出庫作業

4.3 DPによる定式化

空きセルの集合が変化するのでDPにより定式化する

$$\underbrace{f(m, O, S)}_{\substack{\text{最適な総巡回} \\ \text{時間}}} = \min_{\substack{u \in S \\ v, w \in O}} \left\{ \underbrace{\text{time}(\text{入口} \rightarrow u \rightarrow v \rightarrow w \rightarrow \text{出口})}_{\text{}} + \underbrace{f(m-2, O - \{v, w\}, S - \{u\} + \{w\})}_{\text{}} \right\} \quad (4.1)$$

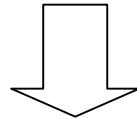
入出庫仕事は2個ずつ減った問題に対する最適総巡回時間(空きセルの集合も変化している)

$$\text{初期条件} \quad \underbrace{f(0, \phi, S)}_{\text{}} = 0 \quad (4.2)$$

入出庫仕事が無ければ最適総巡回時間は0

5. 提案する解法

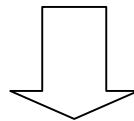
入在庫仕事、巡回経路の組み合わせを全列挙



m が大きくなると困難

提案法 1

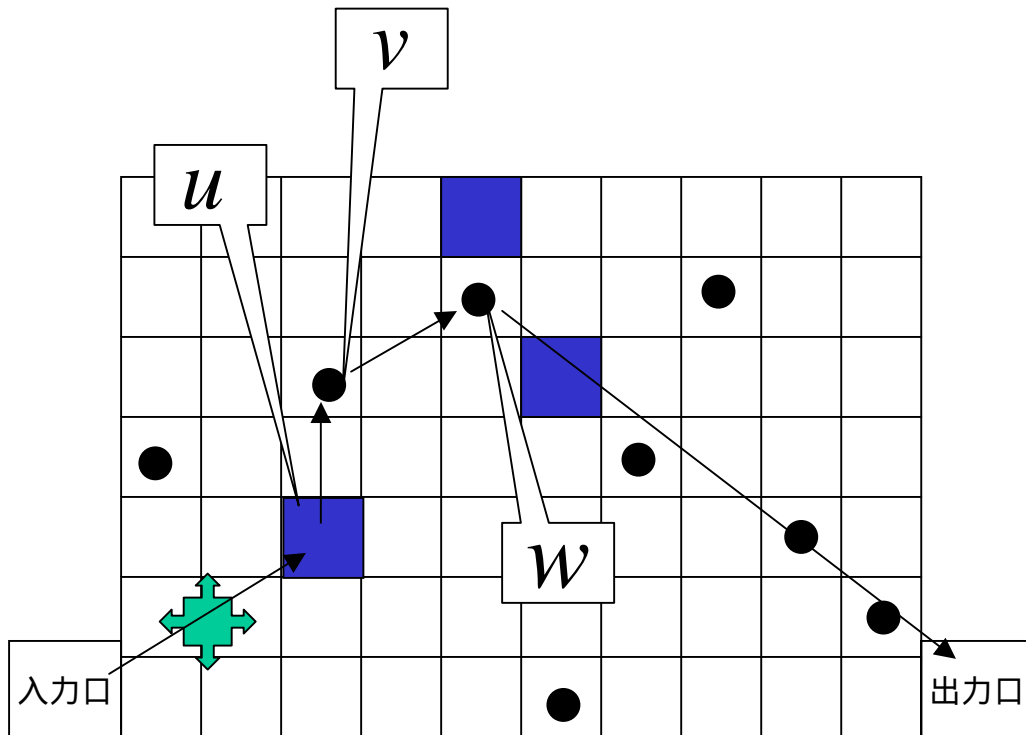
入庫可能集合 S 、出庫点集合 O から現在いる点から直近の仕事を選び移動



できるだけ多くの、巡回時間が短くなる組合せを作る
ことによって総巡回時間が短くすることができる

5. 提案する解法

提案法1 解法の流れ



1. 入力口から直近にある入庫点
に u 移動
2. 入庫点 u から直近にある出
庫点 v に移動
3. 出庫点 v から直近にある出
庫点 w に移動
4. 出力口に移動. 1に戻る

■ : 入库可能なセル ● : 出庫品

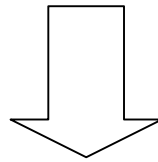
図8. 提案法1

5. 提案する解法

提案法2

提案法2は提案法1に制限を付ける

毎巡回入力口から出力口への移動を行う



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

5. 提案する解法

提案法2 解法の流れ

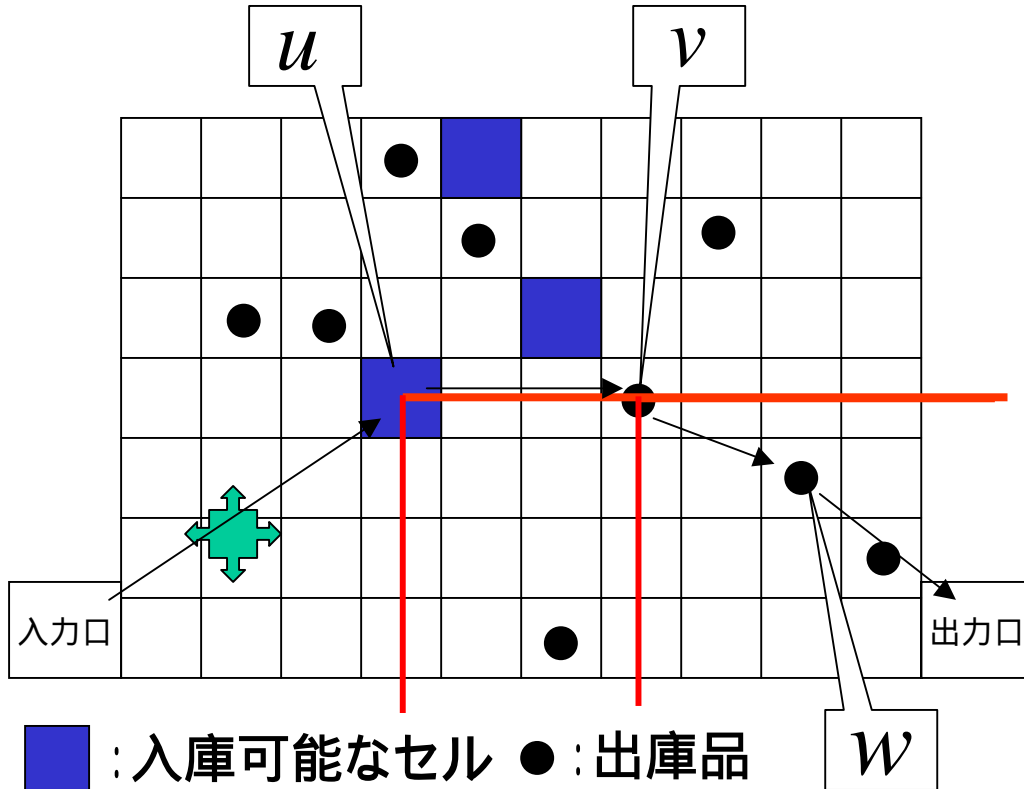


図9. 提案法2

1. 入力口から直近の入庫点 U に移動
2. 入庫点 U のX座標より大きくY座標より小さい値をとり、かつ、直近にある出庫点 V に移動
3. 出庫点 V のX座標より大きくY座標より小さい値をとり、かつ、直近にある出庫点 W に移動
4. 出庫点へ移動. 1に戻る

6. 数値実験

6.1 実験概要

- ・高さ方向に20段、水平方向に50段の1000個のセルからなる倉庫
- ・SCの容量は2
- ・入庫、出庫仕事数はそれぞれ30

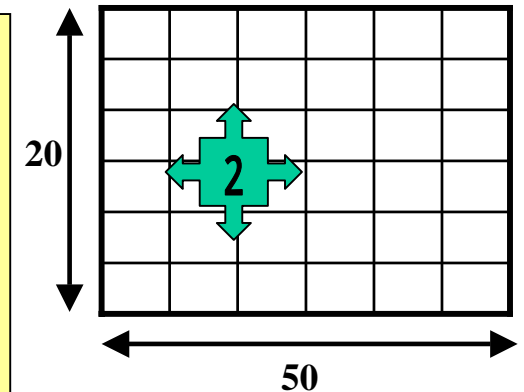


図10.数値実験

この条件で100個の問題例をランダムに生成。
仕事先をランダムで選んだ場合，提案法1，提案法2で行った
場合のそれぞれを実験。

プログラムはBorland社のDelphi6で作成。

6.2 計算結果

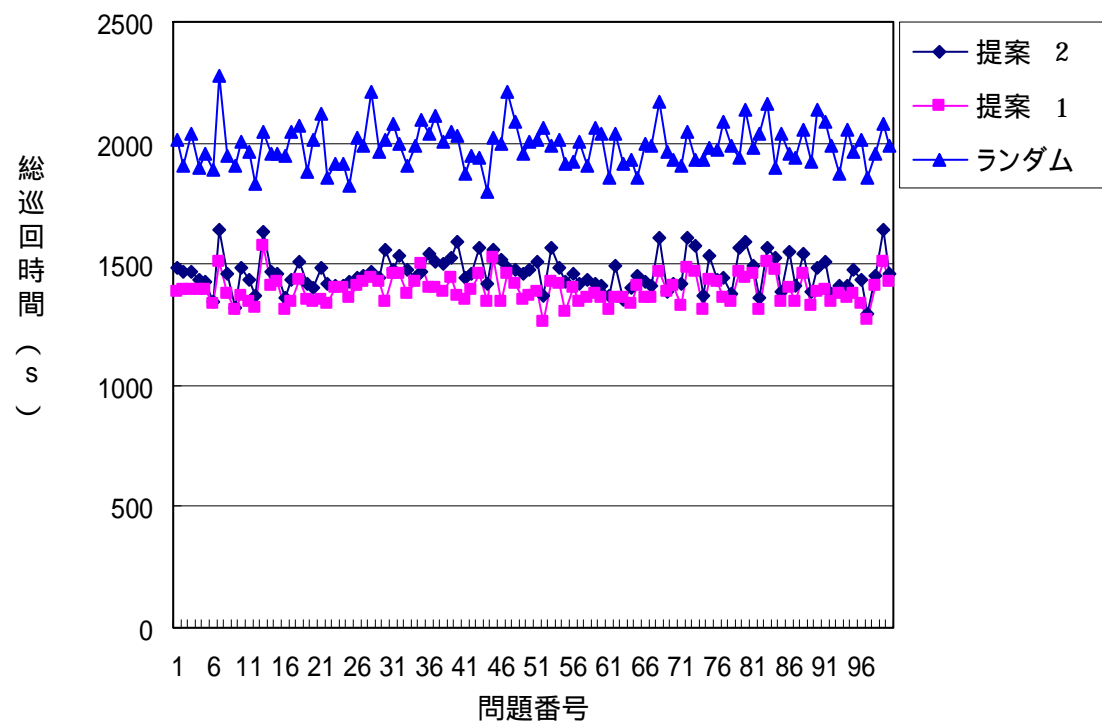


図 11 . 100問題による各解法の総巡回時間

6.3 実験結果と考察

表1 各解法の平均総巡回時間の改善率

解法	ランダム	提案1	提案2
実験結果			
平均総巡回時間(s)	1990	1392	1465
改善率(%)		30	26
平均計算時間(s)	0.01	0.01	0.01

ランダムに巡回を行った場合に比べ、提案1は30% (600秒)の改善、提案2は26% (530秒)の改善

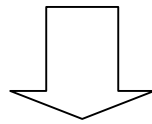
7. まとめ

・文献[2]の自動倉庫において, SCの容量が2だった場合の問題を考え, 定式化・解法の提案をし, 実験を行った.

・提案した2つの解法がランダムで巡回を行った場合と比較して, 良い解を得ることができた.

8. 今後の課題

提案法1よりも提案法2の方が総巡回時間が長くなった.



局所探索等を加え制度の向上を図ることでさらに良い解を得る可能性がある.

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(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.

訂正

p.119 4.3提案法(制限付)

(誤) Step2: 入庫点 u のX座標・Y座標より小さい値

(正) Step2: 入庫点 u のX座標より大きく, Y座標より小さい値

(誤) Step2: 入庫点 v のX座標・Y座標より小さい値

(正) Step2: 入庫点 v のX座標より大きく, Y座標より小さい値

A p p e n d i x

SCの移動(文献[2])

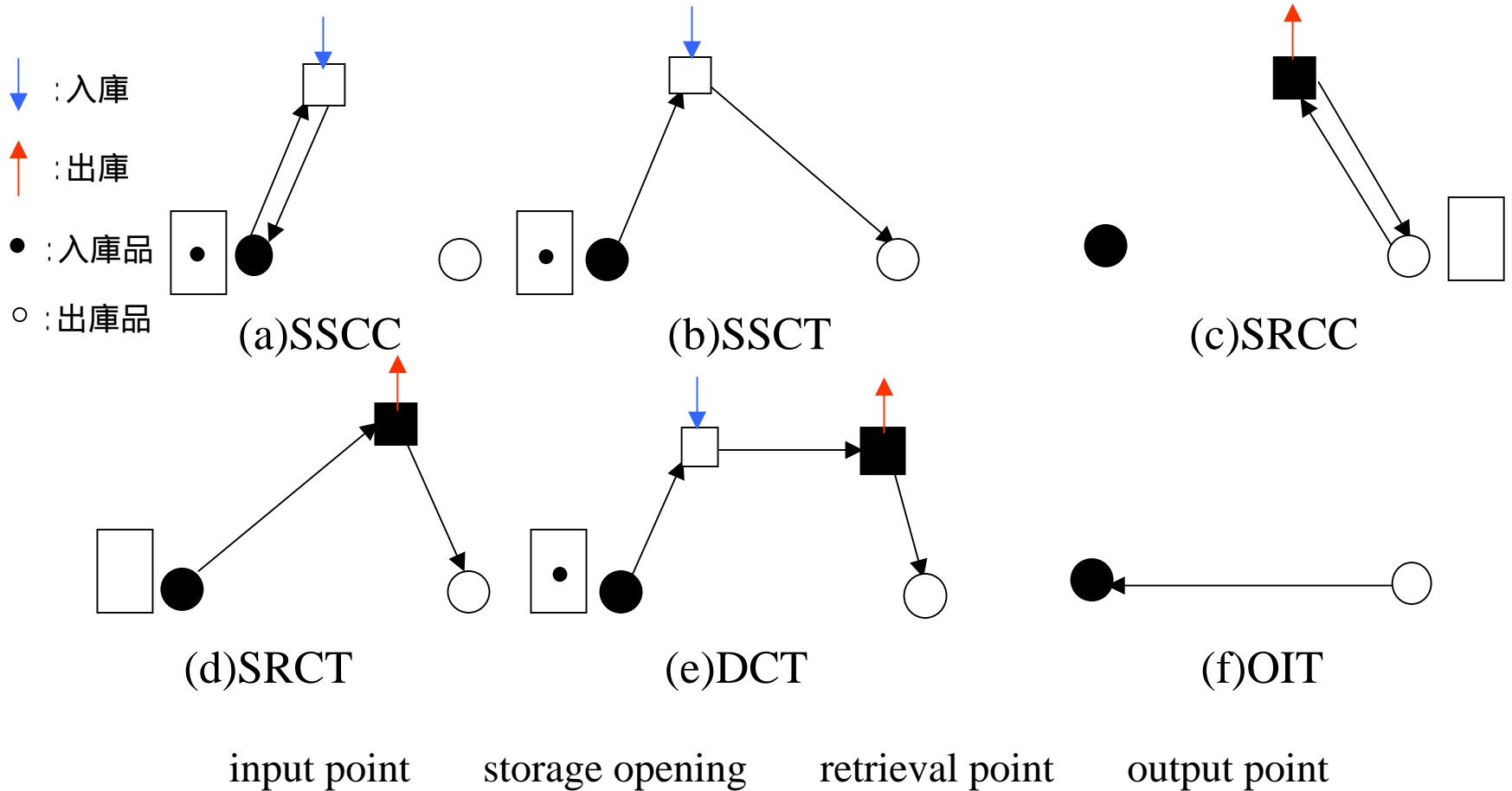


図12. SCの移動

変数の定義 (文献[2])

$$x_i = \begin{cases} 1, & L_i \text{ が入庫点で使われる} \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad x_i \quad (1 \leq i \leq n)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & i=0, \text{ DCT}(i,j) \text{ が起こる} \\ & i \neq 0, \text{ SRCT}(j) \text{ が起こる} \\ 0, & \text{その他} \end{cases} \quad y_{ij} \quad (1 \leq i \leq n, 0 \leq j \leq n_R, i \neq j)$$

$$\bar{c}_{ij} = \begin{cases} c_{ij} + c_{0,n+1} - c_{0i} - c_{j,n+1} & i \neq 0 \\ c_{0j} + c_{0,n+1} - c_{j,n+1} & i = 0 \end{cases} \quad \bar{c}_{ij} \quad (0 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n_R, i \neq j)$$

$$V_R = \{1, \dots, n_R\}$$

定式化 (文献[2])

$$\min \sum_{1 \leq i \leq n_R} 2 c_{i,n+1} + \sum_{1 \leq i \leq n} 2 c_{oi} x_i + \sum_{\substack{1 \leq i \leq n \\ 0 \leq j \leq n_R \\ i \neq j}} \bar{c}_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

$$s . t \quad \sum_{1 \leq i \leq n} x_i = n_S \quad (2)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq n} \tilde{y}_{i0} + \sum_{1 \leq i \leq n_R} z_i \geq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{0 \leq i \leq n \\ i \neq j}} y_{ij} \leq 1 \quad (1 \leq j \leq n_R) \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{1 \leq j \leq n_R \\ j \neq i}} y_{ij} \leq x_i \quad (1 \leq i \leq n) \quad (5)$$

$$\sum_{i,j \in V_C} y_{ij} \leq |V_C| - 1 \quad (V_C \subseteq V_R \mid |V_C| \geq 2) \quad (6)$$

$$x_i \in \{0,1\} \quad (1 \leq i \leq n) \quad (7)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad (0 \leq i \leq n \mid 1 \leq j \leq n_R, i \neq j) \quad (8)$$