

ローリング方式を考慮した輸送用梱包材リユースシステムにおける 多期間配送計画に関する一考察

石原良晃*¹ 徐祝旗*² 宿元明*³

A Study on a Multi-period Vehicle Routing Problem for Reuse Systems of Transport Packages considering Rolling System

Yoshiaki ISHIHARA, Zhuqi Xu and Yuanming Su

Abstract

This paper aims to propose a multi-period vehicle routing problem for reuse systems of transport packages considering the rolling system. With the operations of reuse and/or recycling systems, effective systems for reverse logistics which disposed products are collected from customers are needed. In this paper, a multi-period vehicle routing problem for reuse system of transport package is considered, which disposed products are transported by empty capacity of many vehicles which move toward their destinations or return to their originations. In this paper, we formulate a multi-period vehicle routing problem for a multi-objective mathematical programming problem, propose a heuristic method using some limited information with respect to vehicle routines, and clarify the effectiveness of our proposed heuristics considering a rolling system from some numerical examples.

Keywords: Transport Packages, Reuse Systems, Multi-period VRP, Rolling System

1 はじめに

本研究は、輸送用梱包材リユースシステムにおける多期間配送計画を立案することを目的としている。近年、環境問題が大きく取り上げられ、数多くの企業がリユース・リサイクルシステムを構築し稼働し始めている。対象とする輸送用梱包材リユースシステムは、全国に回収・再生拠点を設置し、廃棄された梱包材を回収、再生し、各メーカーに納入している。輸送コストを削減するため、輸送機器の帰り便および空きスペースを利用して梱包材を輸送している^{1), 2), 3)}。これまでの研究では、回収・再生拠点間の単一期間および多期間配送計画を対象として、輸送機器の空きスペースを有効に利用し、回収された製品および再生された製品の配送を実現するため、数理計画モデルとして配送計画モデルを構築し、その解法を提案した^{4), 5), 6)}。本研究では、各拠点の梱包材要求量を考慮し、新品使用量が少なくなるように使用済み梱包材を再生拠点に配送する多期間配送計画を立案する⁷⁾。また、毎期末に多期間配送計画をローリング方式により立案した場合の効果について考察する⁸⁾。ローリング方式は、従来、生産計画における生産量を内示することに用いられる考え方で、それを多期間配送計画に応用することで、輸送用梱包材の配送量の増加が見込めると考えられる。

2 輸送用梱包材リユースシステム

包装材については、「容器包装リサイクル法」により、空き瓶、空き缶、ペットボトル等の分別排出、分別回収が進められているが、各種ダンボール、フレキシブルコンテナ等の輸送用梱包材については、廃棄物ではなく再利用可能な資源と位置づけられ、容器包装リサイクル法の対象から外されている⁴⁾。輸送用梱包材については、省資源化、リサイクルが一般的に行われ、段ボールによる包装の省資源化、および段ボール等の古紙リサイクルが行われている。また、繰り返し利用される通い箱化が顕著化している⁵⁾。本研究で対象とするシステムは、輸送用梱包材リユースシステムである。T社では、ZEソリューションシステムと呼ばれる、輸送用梱包材を回収し再生処理を行いリユースするシステムを構築している⁶⁾。対象とする輸送用梱包材リユースシステムは、全国に約50の回収・再生拠点を設置し、廃棄された梱包材を顧客から回収、再生し、各メーカーに納入している。輸送コストを削減するため、ZEマッチングシステムというトラックの空きスペースを利用するシステムを提案している。この方法は、従来の求車求荷システムとは輸送費に関する点で違いがあり、空きスペースを使用する際の費用は、距離、重量により決定される変動費の部分のみである。このシステムは、従来各メーカーが自社で使用していた通いかごのように自社の輸送ルートの帰り便で使用済み

* 1 情報工学科 * 2 愛媛大学 * 3 別府大学

梱包材を回収するのではなく、数多くの輸送用梱包材使用メーカー、輸送業者が参加し運用されるオープンなシステムである。使用済み梱包材のメーカーへの再納入期間は、回収依頼後約1ヶ月を目処に実施されている。

3 多期間配送計画モデル

3.1 対象とするシステム

回収・再生拠点間の製品の輸送は輸送機器の空きスペースを使用し、輸送機器本来の輸送目的(目的地、輸送量、納期等)に影響を及ぼさないように、配送量を割り当て実施される。輸送機器数、輸送機器の種類より、輸送費が変動しないものとし、システム全体における配送量を最大化するように、輸送機器に配送を割り当てることを考える。

図1に多期間配送計画モデルの概念図を示す。直接配送することが困難な回収・再生拠点間の配送に対して、中継拠点を設定し、中継拠点まで配送された使用済み梱包材は、次期以降の配送計画で中継拠点から再生拠点への配送として配送待ち梱包材の量に含める。

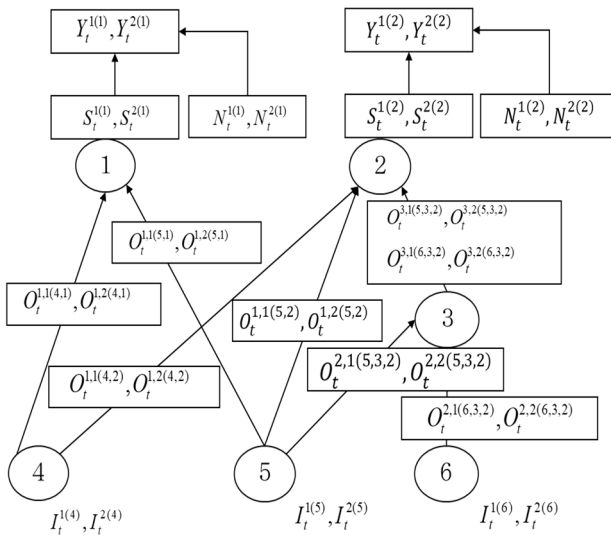


図1 多期間配送計画モデルの概念図
(再生拠点1、2、中継拠点3、回収拠点4、5、6)

3.2 モデルの前提条件

輸送用梱包材リユースシステムを対象とした多期間配送計画モデルを構築するにあたり、以下のような前提条件をおく。

- (1) 配送待ち輸送用梱包材量を所与とする。
- (2) 輸送距離、輸送量によって輸送費が決定され、使用する輸送機器によって輸送費は変化しない。
- (3) 配送待ち輸送用梱包材は、輸送機器の帰り便および空きスペースを有効に利用し可能な限り配送する。
- (4) 輸送機器の本来の出発時間および到着時間を遵守する。

- (5) 複数の輸送機器が同一拠点間の輸送を行なうことを認める。
- (6) 拠点間の移動時間に関するデータは予めデータベース化されており、輸送機器の利用可能経路を求めることが可能であるものとする。

3.3 記号の説明

L : 計画期数

m : 輸送用梱包材の種類数

M : 輸送用梱包材の集合で以下のように定義する。

$$M = \{1, 2, \dots, m\} \quad (1)$$

M^i : 再生拠点 i で再生される輸送用梱包材の集合

n : 回収・再生拠点数

N : 回収・再生拠点の集合で以下のように定義する。

$$N = \{1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

E^i : 再生拠点 i に配送される梱包材の集合

a_l : 梱包材 l の単位当りの容量

H_{ij} : 拠点 i から拠点 j への配送に対して設定された中継拠点の集合

t_{ij} : 拠点 i から拠点 j への移動に必要な時間

TK : 計画期間中に利用可能な輸送機器の総台数

K : 輸送機器の集合で以下のように定義する。

$$K = \{1, 2, \dots, TK\} \quad (3)$$

T^k : 輸送機器 k の利用可能時間

C^k : 輸送機器 k の積載可能量

TK_l : l 期中に利用可能な輸送機器数

K_l : l 期中に利用可能な輸送機器の集合で以下のように定義する。

$$K_l = \{TK_{l-1} + 1, \dots, TK_l\} \quad (l = 1, \dots, L) \quad (4)$$

PS : 輸送機器の現在地の集合で、以下のように定義する。

$$PS = \{n+1, n+2, \dots, n+TK\} \quad (5)$$

PE : 輸送機器の目的地の集合で、以下のように定義する。

$$PE = \{n+TK+1, n+TK+2, \dots, n+TK+TK\} \quad (6)$$

輸送機器 k に関する情報を用いて、式(7)を計算し、利用可能時間以下の配送経路を拠点間移動時間データベースから抽出する。

$$t_{n+k, v_i^k} + TR_i + t_{v_{MR_i}, n+TK+k} + \sum_{j=1}^{MR_i} g_{v_j} \leq T^k \quad (7)$$

$(k \in K, i \in SR)$

ここで、 TR_i は拠点間移動時間データベースに登録されている i 番目の配送経路を移動する場合の移動時間、 MR_i は登録されている i 番目の配送経路を移動する場合の拠点数、 g_j は拠点 j における作業時間、 SR は配送経路番号の集合である。

R^k : 輸送機器 k の配送経路数

NR^k : 輸送機器 k の配送経路の番号の集合で、以下のように定義する。

$$NR^k = \{1, 2, \dots, R^k\} \quad (k \in K) \quad (8)$$

\overline{MR}_r^k : 輸送機器 k が r 番目の経路を採用した場合に訪れる拠点数

$v_i^{k,r}$: 輸送機器 k が r 番目の経路を採用して配送した場合に i 番目に訪問する拠点

$\langle n+k, v_1^{k,r}, \dots, v_{\overline{MR}_r^k}^{k,r}, n+TK+k \rangle$: 輸送機器 k が r 番目の経路を採用した場合の配送経路で、輸送機器の現在地から各拠点 $v_i^{k,r}$ を経由し、目的地に向かう配送経路を示している。

(i, j) : 拠点 i から拠点 j への拠点間配送

BD : 拠点間配送の集合で、以下のように定義する。

$$BD = \{(i, j) \mid i \in N, j \in N, i \neq j\} \quad (9)$$

Q^k : 輸送機器 k の配送経路の集合で、以下のように表される。

$$Q^k = \left\{ \left\langle n+k, v_1^{k,1}, \dots, v_{\overline{MR}_1^k}^{k,1}, n+TK+1 \right\rangle, \right. \\ \left. \left\langle n+k, v_1^{k,2}, \dots, v_{\overline{MR}_2^k}^{k,2}, n+TK+1 \right\rangle, \dots, \right. \\ \left. \left\langle n+k, v_1^{k,R^k}, \dots, v_{\overline{MR}_{R^k}^k}^{k,R^k}, n+TK+k \right\rangle \right\} \\ (k \in K)$$

SS_r^k : 輸送機器 k が r 番目の経路を採用した場合に配送可能となる拠点間輸送の集合で、以下のように表される。

$$SS_r^k = \{(v_1^{k,r}, v_2^{k,r}), \dots, (v_1^{k,r}, v_{\overline{MR}_r^k}^{k,r}), \\ (v_2^{k,r}, v_3^{k,r}), \dots, (v_2^{k,r}, v_{\overline{MR}_r^k}^{k,r}), \dots, \\ (v_{\overline{MR}_{r-1}^k}^{k,r}, v_{\overline{MR}_r^k}^{k,r})\} \\ (k \in K, r \in NR^k)$$

$\delta_{ij}^{k,r}$: 輸送機器 k が r 番目の経路を採用した場合に配送可能となる拠点間輸送を示す係数、つまり、

$$\delta_{ij}^{k,r} = \begin{cases} 1 & (i, j) \in SS_r^k \\ 0 & (i, j) \notin SS_r^k \end{cases} \quad (12) \\ (k \in K, r \in NR^k)$$

$D_t^{l(i)}$: 拠点 i における使用済み梱包材 l の t 期中の回収量

$Y_t^{l(j)}$: 再生拠点 j における梱包材 l の t 期中の要求量

$N_t^{l(j)}$: 再生拠点 j における梱包材 l の t 期中の新品使用量

$R_t^{l(j)}$: 再生拠点 j における梱包材 l の t 期中のリユース品使用量

$P_{ij}^{k,r}$: 輸送機器 k が r 番目の経路を採用して配送した場合の拠点 i から拠点 j への使用済み梱包材の配送量

X_r^k : 輸送機器 k が r 番目の経路を採用して配送するとき 1、配送しないとき 0 となる 0-1 変数。

$I_t^{l(i)}$: 拠点 i における使用済み梱包材 l の t 期首の配送待ち梱包材量

$B_t^{l(i,h,j)}$: 拠点 i から拠点 j へ配送する使用済み梱包材の中継拠点 h における梱包材 l の t 期首の配送待ち梱包材量

$S_t^{l(j)}$: 再生拠点 j における使用済み梱包材 l の t 期首の在庫量

$O_t^{l(i,j)}$: 拠点 i から拠点 j への使用済み梱包材 l の t 期中の配送量

$O_t^{2l(i,h,j)}$: 拠点 i から拠点 j へ配送する使用済み梱包材 l の拠点 i から中継拠点 h まで配送された t 期中の配送量

$O_t^{3l(i,h,j)}$: 拠点 i から拠点 j へ配送する使用済み梱包材 l の中継拠点 h から拠点 j まで配送された t 期中の配送量

$F_t^{l(i,j)}$: 使用済み梱包材 l が拠点 i から拠点 j に向けて t 期中に配送された量

上記の記号を用いて、輸送用梱包材リユースシステムにおける新品使用量を考慮した多期間配送計画モデルを構築する。

3. 4 モデルの定式化

各輸送機器が再生拠点における新品使用量を最小にし、かつ、輸送量を最大にするように配送経路を選択することを考え、以下のように定式化する。

(a) 目的関数

$$Z_1 = \sum_{t=1}^L \sum_{j \in N} \sum_{l \in M^j} N_t^{l(j)} \longrightarrow Min \quad (13)$$

$$Z_2 = \sum_{t=1}^L \sum_{(i,j) \in RD} \sum_{l \in M^j} (O_t^{l(i,j)} + \sum_{h \in H_{ij}} O_t^{2l(i,h,j)} + \sum_{h \in H_{ij}} O_t^{3l(i,h,j)}) \\ \longrightarrow Max \quad (14)$$

式(13)は、各再生拠点における新品使用量を最小化することを示す。式(14)は、輸送用梱包材の配送量の総和を最大にするを示す。

(b) 梱包材の要求量に関する制約条件

$$S_{t+1}^{l(j)} = S_t^{l(j)} - R_t^{l(j)} + \sum_{i \in N} (O_t^{l(i,j)} + \sum_{h \in H_{ij}} O_t^{3l(i,h,j)}) \\ (l \in M^j, t=1, \dots, L-1, j \in N) \quad (15)$$

$$N_t^{l(j)} + R_t^{l(j)} = Y_t^{l(j)} \quad (16)$$

$$(l \in M^j, t=1, \dots, L, j \in N)$$

$$R_t^{l(j)} \leq S_t^{l(j)} \quad (17)$$

$$(l \in M^j, t=1, \dots, L, j \in N)$$

式(15)は、再生拠点における使用済み梱包材の在庫量を示し、式(16)は、再生拠点での要求量をリユース品と新品で満たすことを示す。式(17)は、リユース品の使用量が再生拠点におけるリユース品の在庫量以下であることを示す。

(c) 配送待ち梱包材に関する制約条件

$$O_t^{l(i,j)} + \sum_{h \in H_{ij}} O_t^{2l(i,h,j)} = F_t^{l(i,j)} \quad (18)$$

$$(l \in M^j, t=1, \dots, L, (i,j) \in RD)$$

$$\sum_{j \in N} F_t^{l(i,j)} \leq I_t^{l(i)} \quad (l \in M^j, t=1, \dots, L, (i,j) \in RD) \quad (19)$$

$$O_t^{3l(i,h,j)} \leq B_t^{l(i,h,j)} \quad (1 \in M^j, t=1, \dots, L, (i,j) \in RD, h \in H_{ij}) \quad (20)$$

$$O_t^{l(i,j)} + \sum_{h: j \in H_{ih}} O_t^{2l(i,j,h)} + \sum_{h: i \in H_{hj}} O_t^{3l(h,i,j)} = \sum_{k \in K} \sum_{r \in NR^k} \delta_{ij}^{k,r} P_{ij}^{k,r,l} \quad (l \in M^j, t=1, \dots, L, (i,j) \in RD) \quad (21)$$

$$I_{t+1}^{l(i)} = I_t^{l(i)} + D_t^{l(i)} - \sum_{j \in N} O_t^{l(i,j)} - \sum_{j \in N} \sum_{h \in H_{ij}} O_t^{2l(i,h,j)} \quad (22)$$

$$(l \in M^j, t=1, \dots, L-1, i \in N)$$

$$B_{t+1}^{l(i,h,j)} = B_t^{l(i,h,j)} + O_t^{2l(i,h,j)} - O_t^{3l(i,h,j)} \quad (23)$$

$$(l \in M^j, t=1, \dots, L-1, (i,j) \in RD, h \in H_{ij})$$

式(18)、(19)、(20)は、使用済み梱包材の配送量が配送待ち梱包材量以下であることを示し、式(21)は、各輸送機器の配送量が各拠点への配送量と一致することを示す。式(21)、(22)は、各拠点における配送待ち梱包材量を示す。

(d) 輸送機器の積載可能量に関する制約条件

$$\sum_{i=1}^{\bar{j}} \sum_{j=j+1}^{\overline{MR}_r^k} a_i \cdot \delta_{v_i^{k,r} v_j^{k,r}}^{k,r} \cdot P_{v_i^{k,r} v_j^{k,r}}^{k,r,l} \leq C^k \cdot X_r^k \quad (24)$$

$$\left(l \in M, k \in K, r \in NR^k, (v_i^{k,r}, v_j^{k,r}) \in SS_r^k \right)$$

$$(\bar{j}=1, \dots, \overline{MR}_r^k - 1)$$

(e) 輸送機器の配送経路に関する制約条件

$$\sum_{r=1}^{R^k} X_r^k = 1 \quad (k \in K) \quad (25)$$

$$X_r^k \in \{0,1\} \quad (k \in K, r \in NR^k) \quad (26)$$

$$\delta_{ij}^{k,r} \cdot P_{ij}^{k,r,l} \leq V \cdot X_r^k \quad (27)$$

$$(k \in K, r \in NR^k, l \in M, (i,j) \in SS_r^k)$$

(f) 変数の非負条件

$$P_{ij}^{k,r,l} \geq 0 \quad (k \in K, r \in NR^k, l \in M, (i,j) \in SS_r^k) \quad (28)$$

$$O_t^{l(i,j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, (i,j) \in RD, t=1, \dots, L) \quad (29)$$

$$O_t^{2l(i,h,j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, (i,j) \in RD, h \in H_{ij}, t=1, \dots, L) \quad (30)$$

$$O_t^{3l(i,h,j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, (i,j) \in RD, h \in H_{ij}, t=1, \dots, L) \quad (31)$$

$$F_t^{l(i,j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, (i,j) \in RD, t=1, \dots, L) \quad (32)$$

$$I_t^{l(i)} \geq 0 \quad (l \in M^j, i \in N, t=1, \dots, L) \quad (33)$$

$$B_t^{3l(i,h,j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, (i,j) \in RD, h \in H_{ij}, t=1, \dots, L) \quad (34)$$

$$S_t^{l(j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, j \in N, t=1, \dots, L) \quad (35)$$

$$N_t^{l(j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, j \in N, t=1, \dots, L) \quad (36)$$

$$R_t^{l(j)} \geq 0 \quad (l \in M^j, j \in N, t=1, \dots, L) \quad (37)$$

式(15) - 式(37)を制約条件として式(13)、式(14)を目的関数とする多目的混合整数計画問題を輸送用梱包材リユースシステムにおける多期間配送計画モデルと呼ぶ。

4 多期間配送計画モデルの解法

本研究で定式化した多期間配送計画モデルを解くため、目的関数を制約条件に変換するヒューリスティックな手法を提案する⁷⁾。

①各拠点の新品使用量を最小にする配送計画の立案
各拠点の新品使用量を最小にするような配送計画を立案するため、式(15) - 式(37)を制約条件として式(13)を最小化する混合0 - 1計画問題の解を求める。

②各再生拠点での新品使用量の上限値の設定

①で求めた解を用いて、各再生拠点での新品使用量の上限値の設定し、式(13)を制約条件に変換する。

$$\sum_{i=1}^T N_t^{l(j)} \leq \bar{N}^{l(j)} \quad (l \in M^j, j \in N) \quad (38)$$

ここで、 $\bar{N}^{l(j)}$ は、拠点 l における梱包材 j の新品使用量の上限値である。

③総配送量が最大になるような配送計画の立案

各再生拠点での新品使用量を考慮し、総配送量が最大になるような配送計画の立案するため、式(15) - 式(38)を制約条件として、式(14)を最大にするような混合0 - 1計画問題を解く。

以上の①から③の手順に従って、定式化した多期間配送計画モデルを解く。

5 数値例

ローリング方式を用いて多期間配送計画を立案することの有効性を明らかにするため、数値例を示す。

5.1 入力データ

(1) 計画期数を3期間とする。

(2) 梱包材の種類を6種類とする。

(3) 拠点数を18拠点とし、再生拠点は10拠点とする。表1に拠点間の移動時間、表2に各回収拠点における配送待ち梱包材量、表3に各再生拠点の梱包材の要求量を示す。また、表4に第1期に使用可能とわかっている輸送機器の情報、表5に第2期に使用可能な輸送機器の情報を示す。M41-M50は第2期に使用可能、M51-M60は第3期に使用可能な輸送機器であり、表5にはそれぞれ、第1期、第2期で使用する輸送機器として出てきている。

(4) 各拠点間配送に対する中継拠点は、あらかじめ設定されているものとする。

表 1 拠点間の移動時間

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
C1	0	0.6	0.5	0.7	1.2	4.1	5.3	6.3	6.6	7.3	8.4	10.4	11.8	11.6	13	13.9	14.6	16.6
C2	0.6	0	0.4	0.7	1.9	4	5.3	6.3	6.6	7.3	8.4	10.4	11.8	11.6	13	13.8	14.6	16.6
C3	0.5	0.4	0	0.3	1.4	3.6	4.8	5.8	6.1	6.8	7.9	9.9	11.3	11.1	12.5	13.5	14.1	16.1
C4	0.7	0.7	0.3	0	1.1	3.4	4.6	5.6	5.9	6.6	7.8	9.8	11.1	10.9	12.3	13.2	13.9	15.9
C5	1.2	1.9	1.4	1.1	0	2.2	3.4	4.4	4.7	5.4	6.4	8.6	9.9	9.7	11.1	12	12.7	14.8
C6	4.1	4	3.6	3.4	2.2	0	1.3	2.3	2.5	3.2	4.4	6.4	7.7	7.9	9.3	10.1	10.9	12.9
C7	5.3	5.3	4.8	4.6	3.4	1.3	0	1	1.3	1.9	3.1	5.1	6.4	6.6	8.1	8.8	9.6	11.7
C8	6.3	6.3	5.8	5.6	4.4	2.3	1	0	0.3	0.9	2.1	4.1	5.4	5.6	7.1	7.8	8.6	10.7
C9	6.6	6.6	6.1	5.9	4.7	2.5	1.3	0.3	0	0.9	1.9	3.9	5.2	5	6.4	7.3	8	10.1
C10	7.3	7.3	6.8	6.6	5.4	3.2	1.9	0.9	0.9	0	1.1	3.2	4.5	4.3	5.8	6.6	7.3	9.4
C11	8.4	8.4	7.9	7.8	6.4	4.4	3.1	2.1	1.9	1.1	0	2	3.2	3	4.4	5.3	6	8.1
C12	10.4	10.4	9.9	9.8	8.6	6.4	5.1	4.1	3.9	3.2	2	0	1.3	1.4	2.6	3.4	4.1	6.2
C13	11.8	11.8	11.3	11.1	9.9	7.7	6.4	5.4	5.2	4.5	3.2	1.3	0	2.7	1.3	2.1	2.8	4.9
C14	11.6	11.6	11.1	10.9	9.7	7.9	6.6	5.6	5	4.3	3	1.4	2.7	0	3.9	4.8	5.5	7.6
C15	13	13	12.5	12.3	11.1	9.3	8.1	7.1	6.4	5.8	4.4	2.6	1.3	3.9	0	0.9	1.6	3.6
C16	13.9	13.8	13.5	13.2	12	10.1	8.8	7.8	7.3	6.6	5.3	3.4	2.1	4.8	0.9	0	0.8	2.8
C17	14.6	14.6	14.1	13.9	12.7	10.9	9.6	8.6	8	7.3	6	4.1	2.8	5.5	1.6	0.8	0	2.1
C18	16.6	16.6	16.1	15.9	14.8	12.9	11.7	10.7	10.1	9.4	8.1	6.2	4.9	7.6	3.6	2.8	2.1	0

表 2 拠点間の配送待ち梱包材の初期在庫量

梱包材 回収拠点	1	2	3	4	5	6
C1		3	1	3	2	2
C2	9		1	1	3	3
C3	10	1	1	3	1	1
C4		3	1	1	3	2
C5	9	2		3	1	3
C6		1	1	1	3	2
C7	10	1	2	3	1	2
C8	8	3	2	1	3	1
C9	11	2	2	1	2	1
C10	10	1	2		3	2
C11	7	3	1	3		3
C12	8	3	1	3	1	2
C13		1	1	1	3	3
C14	11	1	1	3	1	
C15		1	3	1	3	2
C16	9	1	1	3	1	3
C17	9	3	2	1	3	2
C18	9	1	2	3	2	1

表 3 各拠点の梱包材の要求量

再生拠点	梱包材	2	3	4	5
C1	1	8	5	8	5
C2	2	10	10	10	10
C4	1	6	6	6	6
C5	3	5	10	5	10
C6	1	10	3	10	3
C10	4	10	10	10	10
C11	5	15	10	15	10
C13	1	12	5	12	5
C14	6	10	5	15	10
C15	1	20	10	10	15

5. 2 計算環境と計算結果

本研究で定式化した多期間配送計画モデルを解くため、数理計画ソフトウェア Xpress9.0 を使用する⁹⁾。数値計算に使用したパーソナルコンピュータは、CPU: intel Core i9-12900T, RAM(32GB)である。

表 6 に第 1 期の各輸送機器の配送経路および配送量を示す。この表より、各輸送機器は、配送経路で梱包材の積み替えを実施し、輸送能力以上の梱包材

を配送していることがわかる。表 7 および表 8 に各再生拠点への配送量を示す。この表より、第 1 期の配送計画により第 2 期に配送される梱包材量が第 2 期の配送計画により増加していることがわかる。これは、ローリング方式を採用することにより、新たに使用可能となった輸送機器により事前に内示されていた配送経路および配送量の変更されより多くの配送ができるようになったためである。

表4 第1期に使用可能とわかっている輸送機器の情報

機器	出発	到着	可能時間	積載可能量	機器	出発	到着	可能時間	積載可能量
M1	C1	C18	19.6	3	M31	C3	C16	13.3	4
M2	C18	C1	19.6	1	M32	C16	C3	13.3	2
M3	C2	C18	19.6	2	M33	C1	C15	15	1
M4	C18	C2	19.6	4	M34	C15	C1	15	2
M5	C1	C16	16.7	4	M35	C3	C16	16.1	2
M6	C16	C1	16.7	2	M36	C16	C3	16.1	1
M7	C2	C16	16.5	2	M37	C3	C18	19.1	3
M8	C16	C2	16.5	1	M38	C18	C3	19.1	1
M9	C1	C6	4.9	3	M39	C8	C18	12.8	2
M10	C6	C1	4.9	3	M40	C18	C8	12.8	2
M11	C1	C10	8.7	2	M41	C1	C10	19.6	1
M12	C10	C1	8.7	1	M42	C10	C1	19.6	2
M13	C2	C10	8.7	2	M43	C2	C10	19.6	4
M14	C10	C2	8.7	4	M44	C10	C2	19.6	2
M15	C1	C11	10.1	3	M45	C1	C11	16.7	2
M16	C11	C1	10.1	1	M46	C11	C1	16.7	1
M17	C2	C11	10.1	3	M47	C2	C11	16.5	2
M18	C11	C2	10.1	2	M48	C11	C2	16.5	3
M19	C1	C12	12.5	4	M49	C1	C12	4.9	3
M20	C12	C1	12.5	2	M50	C12	C1	4.9	2
M21	C2	C14	12.5	1	M51	C1	C18	8.7	1
M22	C14	C2	12.5	2	M52	C18	C1	8.7	3
M23	C1	C12	13.9	3	M53	C2	C18	8.7	3
M24	C12	C1	13.9	2	M54	C18	C2	8.7	4
M25	C2	C17	13.9	1	M55	C1	C16	10.1	2
M26	C17	C2	13.9	4	M56	C16	C1	10.1	1
M27	C2	C10	15.6	2	M57	C2	C16	10.1	3
M28	C10	C2	15.6	1	M58	C16	C2	10.1	3
M29	C3	C11	7	2	M59	C1	C6	12.5	2
M30	C11	C3	7	3	M60	C6	C1	12.5	2

表5 第2期に使用可能とわかっている輸送機器の情報

機器	出発	到着	可能時間	積載可能量	機器	出発	到着	可能時間	積載可能量
M41	C1	C10	19.6	1	M81	C3	C16	13.3	4
M42	C10	C1	19.6	2	M82	C16	C3	13.3	2
M43	C2	C10	19.6	4	M83	C1	C15	15	3
M44	C10	C2	19.6	2	M84	C15	C1	15	2
M45	C1	C11	16.7	2	M85	C3	C16	16.1	1
M46	C11	C1	16.7	1	M86	C16	C3	16.1	2
M47	C2	C11	16.5	2	M87	C3	C18	19.1	1
M48	C11	C2	16.5	3	M88	C18	C3	19.1	2
M49	C1	C12	4.9	3	M89	C8	C18	12.8	3
M50	C12	C1	4.9	2	M90	C18	C8	12.8	2
M61	C1	C18	19.6	4	M51	C1	C18	8.7	1
M62	C18	C1	19.6	2	M52	C18	C1	8.7	3
M63	C2	C18	19.6	3	M53	C2	C18	8.7	3
M64	C18	C2	19.6	1	M54	C18	C2	8.7	4
M65	C1	C16	16.7	3	M55	C1	C16	10.1	2
M66	C16	C1	16.7	4	M56	C16	C1	10.1	1
M67	C2	C16	16.5	1	M57	C2	C16	10.1	3
M68	C16	C2	16.5	3	M58	C16	C2	10.1	3
M69	C1	C6	4.9	2	M59	C1	C6	12.5	2
M70	C6	C1	4.9	4	M60	C6	C1	12.5	2
M71	C2	C14	12.5	1	M91	C1	C10	8.7	1
M72	C14	C2	12.5	3	M92	C10	C1	8.7	2
M73	C1	C12	13.9	2	M93	C2	C10	8.7	4
M74	C12	C1	13.9	3	M94	C10	C2	8.7	2
M75	C2	C17	13.9	4	M95	C1	C11	10.1	2
M76	C17	C2	13.9	2	M96	C11	C1	10.1	3
M77	C2	C10	15.6	1	M97	C2	C11	10.1	1
M78	C10	C2	15.6	2	M98	C11	C2	10.1	4
M79	C3	C11	7	3	M99	C1	C12	12.5	2
M80	C11	C3	7	2	M100	C12	C1	12.5	1

6 まとめ

本研究では、輸送用梱包材リユースシステムの多期間配送計画を立案することを考え、以下のことを明らかにした。

- (1) 輸送用梱包材リユースシステムにおける多期間配送計画モデルを多目的計画問題として定

式化した。

- (2) 数値例を用いて多期間配送計画をローリング方式により立案することの有効性を明らかにした。

ローリング方式を考慮した輸送用梱包材リユースシステムにおける多期間配送計画に関する一考察

参考文献

- 1) 財団法人日本容器包装リサイクル協会,
- 2) <https://www.jppra.or.jp/>
- 3) 新田茂雄:「図解リサイクル・省資源包装」, 日刊工業新聞社 (2001)
- 4) 株式会社日本ソリユース: <https://n-soreuse.co.jp>
- 5) 石原良晃, 平木秀作, “輸送用梱包材のリユースシステムにおける配送計画の立案”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 56, No. 1, pp. 54-63 (2005)
- 6) 石原良晃, 平木秀作, “輸送用梱包材リユースシステムにおける配送計画への列生成法の適用”, 日本経営工学会論文誌, Vol. 57, No. 1, pp. 59-67 (2006)
- 7) 石原良晃, 平木秀作, 坂口通則:”輸送用梱包材のリユースシステムにおける多期間配送計画の立案”, 日本生産管理学会論文誌, Vol. 12, No. 2, pp. 43-52 (2006)
- 8) 日本経営工学会編:「経営工学便覧」, 丸善, pp.109-112 (1994)
- 9) FICO, <https://www.fico.com/en/products/fico-xpress-optimization>

表6 第1期の各輸送機器の配送経路および配送量

機器	配送経路	配送量	機器	配送経路	配送量	機器	配送経路	配送量
M1	1, 2, 10, 13	9	M21	3, 10, 14	2	M41	1, 5, 6	2
M2	17, 13, 2, 1	3	M22	14, 10, 8, 6	3	M42	8, 6, 5	4
M3	2, 1, 10, 15	6	M23	3, 6, 8, 11	6	M43	3, 5, 6	7
M4	17, 13, 11, 1	10	M24	7, 4, 2	4	M44	8, 2	2
M5	1, 10, 12, 15	8	M25	3, 2, 10, 15	3	M45	5, 6, 10, 11	6
M6	16, 15, 11, 6	6	M26	17, 15, 11, 2	8	M46	11, 10, 6, 5	3
M7	2, 4, 9, 13	4	M27	2, 6	2	M47	3, 6, 11	4
M8	1, 13, 6, 2	3	M28	8, 6	1	M48	10, 4, 2	6
M9	5, 6	3	M29	9, 11	2	M49	3, 4, 10, 11	9
M10	5, 1	3	M30	9, 5, 4	5	M50	12, 11, 10, 5	6
M11	1, 5, 6	2	M31	7, 10, 12, 15	7	M51	3, 1, 11, 15	3
M12	8, 6, 5	2	M32	16, 15, 5, 1	6	M52	17, 13, 2, 1	9
M13	2, 6	2	M33	4, 5, 10, 15	3	M53	3, 2, 10, 13	9
M14	7, 5, 1	5	M34	13, 11, 10, 2	3	M54	16, 13, 11, 2	2
M15	5, 6, 10, 11	7	M35	3, 6, 9, 13	4	M55	9, 10, 11, 15	6
M16	11, 10, 7, 5	2	M36	16, 15, 9, 6	2	M56	16, 13, 6, 2	3
M17	3, 4, 6	6	M37	4, 10, 13	6	M57	9, 10, 11, 15	9
M18	10, 5, 2	4	M38	16, 15, 11, 5	3	M58	16, 15, 11, 5	9
M19	3, 6, 7, 11	8	M39	8, 10, 11, 13	3	M59	5, 6	2
M20	12, 10, 8, 5	4	M40	18, 15, 10	4	M60	5, 1	2

表7 各再生拠点への配送量

梱包材	再生拠点	直接輸送			中継拠点まで			目的拠点まで		
		第1期	第2期	第3期	第1期	第2期	第3期	第1期	第2期	第3期
1	C1	16	0	6	0	0	0	0	0	0
	C4	13	5	0	1	0	0	0	1	0
	C6	16	5	2	0	0	0	0	0	0
	C13	18	0	11	0	0	3	0	0	0
	C15	24	0	9	0	0	0	0	0	0
2	C2	15	5	11	0	0	1	0	0	0
3	C5	14	8	3	2	0	0	0	1	0
4	C10	21	5	5	0	0	0	0	0	0
5	C11	20	4	8	10	6	0	0	5	3
6	C14	1	0	0	11	4	0	0	0	0

表8 各再生拠点への配送量

梱包材	再生拠点	直接輸送			中継拠点まで			目的拠点まで		
		第2期	第3期	第4期	第2期	第3期	第4期	第2期	第3期	第4期
1	C1	0	6	7	0	0	0	0	0	0
	C4	13	3	5	0	0	0	0	0	0
	C6	2	7	7	0	0	0	0	0	0
	C13	9	2	0	0	0	1	0	3	0
	C15	11	4	0	0	0	0	0	0	0
2	C2	26	7	13	0	0	0	0	2	0
3	C5	20	9	12	0	0	0	1	1	2
4	C10	8	0	0	0	0	0	0	0	0
5	C11	18	3	0	0	5	4	6	0	5
6	C14	1	0	0	10	3	5	0	0	0