

ACOによる輸送用梱包材リユースシステムの配送計画の立案

小川泰正*, 石原良晃**

A Heuristics for the Vehicle Routing Problem for a Package Reuse System using an Ant Colony Optimization

Yasumasa OGAWA* and Yoshiaki ISHIHARA**

Abstract

This paper aims to propose a heuristic method for a vehicle routing problem in a package reuse system. Recently, from the viewpoint of environmental protection, many manufacturers construe reuse and/or recycle system for disposed products. In this paper, we consider a vehicle routing problem for a package reuse system, propose a heuristic method using an ant colony optimization(ACO), and clarify the effectiveness of our proposed method.

Key words: package, reuse system, reverse logistics, vehicle routing problem, heuristics

1. まえがき

近年、地球環境保護の観点から、廃棄物のリサイクル、循環型社会の形成が強く叫ばれ、製造業に対しても拡大生産者責任の考えに基づく対応が求められている。また、法的規制も強化され、「循環型社会形成推進基本法」(平成13年1月施行)をはじめ、「廃棄物処理法」(平成15年12月改正施行)、「資源有効利用推進法」(平成13年4月施行)、「グリーン購入法」(平成13年4月施行)、「容器包装リサイクル法」(平成12年4月)、「家電リサイクル法」(平成13年4月施行)、「建設資材リサイクル法」(平成15年5月施行)、「食品リサイクル法」(平成13年5月施行)、「自動車リサイクル法」(平成17年1月)などが、制定・施行された。それらに対応して、各製造業は、リユースシステムおよびリサイクルシステムを構築し始めている。それに伴い、消費者から企業へ廃棄された製品を返す静脈物流が注目を集めている[1]。

輸送用梱包材においては、ダンボールによる包装の省資源化、ダンボール等の一部紙製品の古紙リサイクルが行われている。また、金属製およびプラスチック製のコンテナが繰り返し利用される通い箱化

が顕著化している[2]。それらを除くと一度利用された後かなりの部分が廃棄されていた。そのような輸送用梱包材を回収し再生処理後、使用メーカーに納入するリユースシステムを構築している企業も出てきている[3]。

輸送用梱包材リユースシステムでは、使用済みの梱包材を回収拠点で回収・分別し、再生品を使用する納入先を担当する拠点に配送する。各回収・再生拠点では、担当する地域で発生する使用済みの梱包材を回収し、納入先を担当する拠点毎に分類する。分類された梱包材は、輸送費用を削減するため、輸送機器の帰り便等の空きスペースを使用し、納入先を担当する回収・再生拠点に配送する。各再生拠点は再生された梱包材を使用メーカーに納入する。本研究では、輸送用梱包材リユースシステムにおける立案するための実用的な手法を提案することを目的としている。使用済み輸送用梱包材のリユースシステムにおける拠点間の配送を対象として、輸送機器の帰り便などの空きスペースを有効に利用する配送計画を立案するために、メタヒューリスティック解法の1つであるAnt Colony Optimization(ACO)を用いた手法を提案する。

2. リユース・リサイクルシステム

2.1 循環型社会の形成

日本は経済的な発展を遂げ「豊かな社会」を築いたが、限りある地球資源を大量に使い、大量のごみを排出する「大量生産・大量消費・大量廃棄型社会」を生み出した。このような社会の構造を根本的に変え、自然界から採取する資源をできるだけ少なくし、それらをリサイクル等によって有効に使うことによって、廃棄されるものを最小限におさえる社会への転換が打ち出された。「ごみを出さない（リデュース=Reduce）」、「再使用する（リユース=Reuse）」、「再利用する（リサイクル=Recycle）」のいわゆる「3R」政策を推進し、経済と環境が両立する社会の構築の必要性が提案された。

これを受けて政府は、平成12年6月に「循環型社会形成推進基本法」をはじめ、様々な法律が制定・施行をされている[1]。それらの法的規制に対応するため、各製造業は、リユース・リサイクルシステムの構築し始めている。図1に法制度の体系を示す。

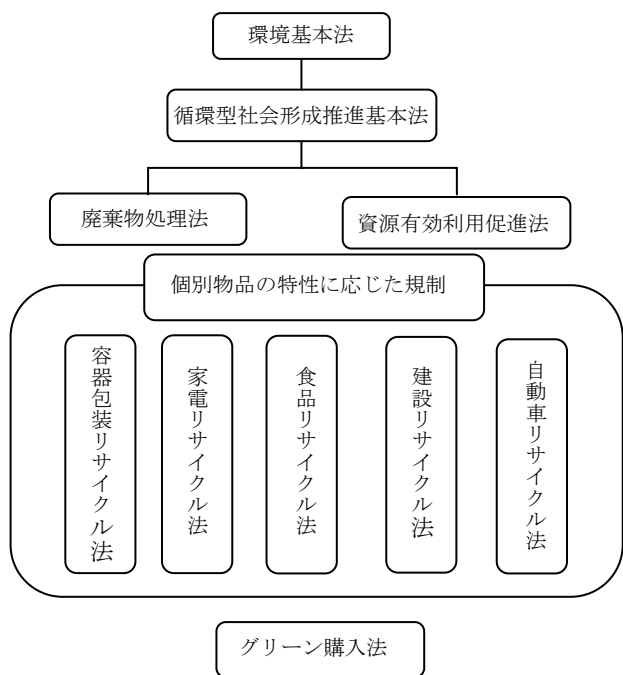


図1 循環型社会形成の法制度の体系([1]を参考に作成)

2.2 代表的なリユース・リサイクルシステム

2.2.1 家電製品のリサイクルシステム

家庭から排出される廃家電製品は、基本的に市町村が収集している。特に、家庭用エアコン、ブラウン管テレビ、冷蔵庫・冷凍庫及び、洗濯機の4品目については、リサイクルをする必要性が高い。しかし、市町村等によるリサイクルが困難である。このため、これらの機器は、平成13年4月に本格施行された家電リサイクル法に基づき、特定家庭用機器廃棄物として規定され、製造業者等に一定の水準以上

の再商品化が義務付けられている。

平成21年4月1日より、液晶・プラズマテレビ、衣類乾燥機が対象機器に追加されるとともに、製造業者等に義務付けられている。

図2に廃家電処理のリサイクルの流れ図を示す。

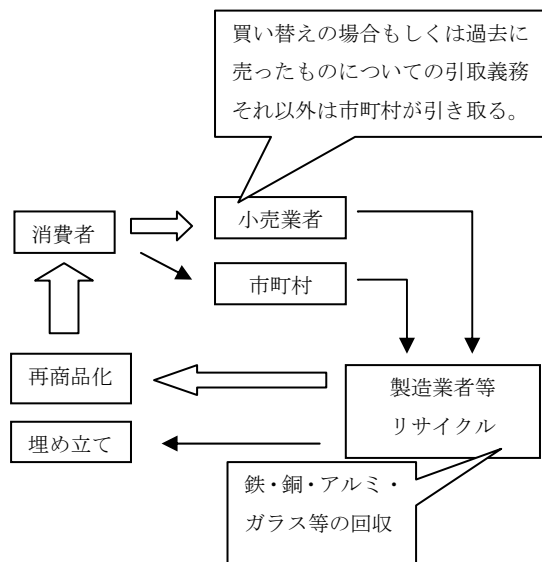


図2 廃家電のリサイクル([1]を参考に作成)

2.2.2 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。段ボールは、平成12年度から新たに容器包装リサイクル法の規制対象となった。しかし、フレキシブルコンテナ、ボビン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。図3に輸送用梱包材リユースシステムの概念図を示す。

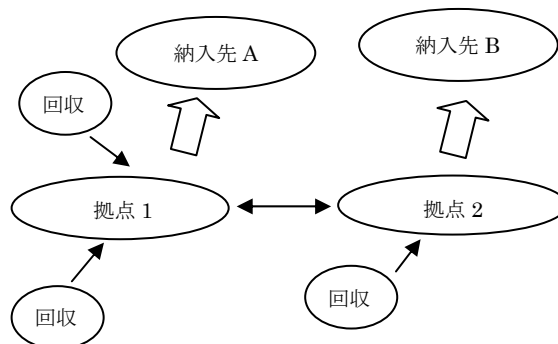


図3 輸送用梱包材リユースシステムの概念図

回収拠点で回収・分別し、再生品を使用する納入先を担当とする拠点に配送する。各回収拠点では、担当する地域で発生する使用済み梱包材を回収し、納入先を担当する拠点毎に分類する。分類された梱

包材は、輸送費用を削減するため、輸送機器の帰り便等の空きスペースを利用し、納入先を担当する再生拠点に配送する。各再生拠点は再生された梱包材を使用メーカーに納入する。

3. 輸送用梱包材リユースシステムを対象とした配送計画モデル

3.1 対象とするリユースシステム

回収・再生拠点間の使用済輸送用梱包材の輸送は、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、配送を割り当てる。輸送機器数、輸送機器の種類により、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。本研究では、拠点間の使用済み輸送用梱包材の配送を対象としている。図4に輸送機器の配送経路と拠点間の例を示す。空きスペースのある輸送機器が現在地から目的地に向かい移動する場合に、輸送機器が利用可能時間内に目的地に到着できる範囲で、その移動途中にある回収・再生拠点間の配送を割り当てる。図4では、輸送機器が、拠点1、拠点2、拠点3を経由し、拠点1から拠点2、拠点1から拠点3、拠点2から拠点3への使用済み輸送用梱包材の配送が可能になる様子を示している。

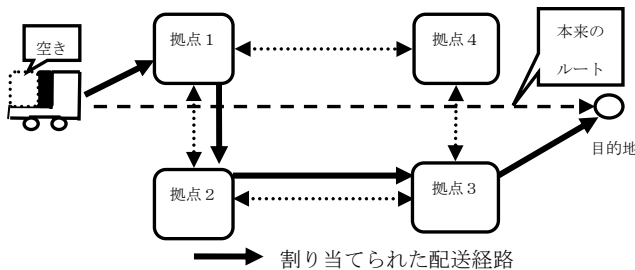


図4 輸送機器の配送経路と拠点間の配送の例

3.2 モデルの前提条件

輸送用梱包材のリユースシステムを対象とした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) 対象とする計画期間は1期間とする。
- (2) 回収・再生拠点間の配送待ち輸送用梱包材の量を所与とする。
- (3) 輸送費は、配送量と輸送距離によって決定され、使用する輸送機器によって輸送費は変化しない。
- (4) 輸送機器の空きスペースを使用して可能な限り配送する。
- (5) 輸送機器の本来の出発時間および到着時

間を遵守する。

- (6) 配送待ちの梱包材量を分割し、複数の輸送機器が同一拠点間の配送を行なうことを認める。
- (7) 拠点間の移動時間に関するデータはデータベース化されており、予め輸送機器の配送経路を求めることが可能である。

3.3 記号の説明

次のような記号を設定する。

- N : 回収・再生拠点数
- t_{ij} : 拠点*i*から拠点*j*への移動に必要な時間
- RT : 移動時間データベースに登録されている総配送経路数
- MR_i : *i*番目の経路の経由拠点数
- v_j^i : *i*番目の配送経路で*j*番目に訪問する拠点
- TR_i : *i*番目の配送経路の移動時間
- K : 輸送機器の台数
- T^k : 輸送機器*k*の利用可能時間
- v_0^k : 輸送機器*k*の現在地
- v_{N+1}^k : 輸送機器*k*の目的地
- $t_{0,i}^k$: 輸送機器*k*の現在地から拠点*i*までの移動時間
- $t_{j,N+1}^k$: 拠点*j*から輸送機器*k*の目的地までの移動時間
- g_i : 拠点*i*における作業時間

輸送機器*k*に関する情報を用いて、式(1)を満足する配送経路を移動時間データベースから抽出する。

$$t_{0,v_i}^k + TR_i + t_{v_{MR^r},N+1}^k + \sum_{j=1}^{M^r} g_{v_j} \leq T^k (k=1, \dots, K, i=1, \dots, RT) \quad (1)$$

\bar{M}_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

$\langle v_0^k, v_1^{k,r}, \dots, v_{M_r^k}^{k,r}, v_{N+1}^k \rangle$: 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。

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。

$$Q^k = \{ \langle v_0^k, v_1^{k,1}, \dots, v_{M_1^k}^{k,1}, v_{N+1}^k \rangle, \langle v_0^k, v_1^{k,2}, \dots, v_{M_2^k}^{k,2}, v_{N+1}^k \rangle, \dots, \langle v_0^k, v_1^{k,R^k}, \dots, v_{M_{R^k}^k}^{k,R^k}, v_{N+1}^k \rangle \} \quad (2)$$

$(k=1, \dots, K)$

$(v_i^{k,r}, v_j^{k,r})$: 輸送機器 k が r 番目の経路を採用した場合に可能となる拠点間の配送で、拠点 $v_i^{k,r}$ から拠点 $v_j^{k,r}$ への配送が可能であることを示す。

S_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。

$$S_r^k = \{ (v_1^{k,r}, v_2^{k,r}), \dots, (v_1^{k,r}, v_{M_r^k}^{k,r}), (v_2^{k,r}, v_3^{k,r}), \dots, (v_2^{k,r}, v_{M_r^k}^{k,r}), \dots, (v_{M_r^k-1}^{k,r}, v_{M_r^k}^{k,r}) \} \quad (3)$$

$(k=1, \dots, K, r=1, \dots, R^k)$

D_{ij} : 拠点 i から拠点 j への配送待ちの輸送用梱包材の量

C^k : 輸送機器 k の積載可能量

$\delta_{ij}^{k,r}$: 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、

$$\delta_{ij}^{k,r} = \begin{cases} 1 & (i, j) \in S_r^k \\ 0 & (i, j) \notin S_r^k \end{cases} \quad (k=1, \dots, K, r=1, \dots, R^k) \quad (4)$$

$P_{ij}^{k,r}$: 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。

以上の記号を用いて、回収・再生拠点間の配送計画モデルを構築する。

3.4 配送計画モデルの定式化

各輸送機器が限られた時間内に回収・再生拠点を巡りできるだけ多くの配送を実施するため、拠点間移動時間データベースから抽出された配送経路の中から拠点間の総配送量を最大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。[4]

(1) 目的関数

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R^k} \sum_{i=1}^N \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \delta_{ij}^{k,r} \cdot P_{ij}^{k,r} \longrightarrow \max \quad (5)$$

(2) 配送待ち輸送用梱包材の量に関する制約

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^{R^k} \delta_{ij}^{k,r} P_{ij}^{k,r} \leq D_{ij} \quad (6)$$

$$(i=1, \dots, N, j=1, \dots, N, i \neq j)$$

(3) 輸送機器の積載可能量に関する制約

$$\sum_{i=1}^{\bar{j}} \sum_{j=j+1}^{\bar{M}_r^k} \delta_{v_i^{k,r} v_j^{k,r}}^{k,r} \cdot P_{v_i^{k,r} v_j^{k,r}}^{k,r} \leq C^k \cdot X_r^k \quad (7)$$

$$\left(\begin{array}{l} k=1, \dots, K, r=1, \dots, R^k, (v_i^{k,r}, v_j^{k,r}) \in S_r^k \\ \bar{j}=1, \dots, \bar{M}_r^k - 1 \end{array} \right)$$

(4) 輸送機器の利用可能経路に関する制約

$$\delta_{ij}^{k,r} \cdot P_{ij}^{k,r} \leq V \cdot X_r^k$$

$$((i, j) \in S_r^k, k=1, \dots, K, r=1, \dots, R^k) \quad (8)$$

$$\sum_{r=1}^{R^k} X_r^k = 1 \quad (k=1, \dots, K) \quad (9)$$

$$X_r^k \in \{0, 1\} \quad (k=1, \dots, K, r=1, \dots, R^k) \quad (10)$$

(5) 配送量の非負制約

$$P_{ij}^{k,r} \geq 0$$

$$(k=1, \dots, K, r=1, \dots, R^k, (i, j) \in S_r^k) \quad (11)$$

式(6)-(11)を制約条件として式(5)を最大にする問題を回収・再生拠点間の配送計画モデルと呼ぶ。

4. Ant Colony Optimization の配送計画モデルへの適用

3.4 で定式化した配送計画モデルは、すべての利用可能経路をあらかじめ用意する必要があるため、

輸送機器数の増加、回収・再生拠点数の増加に伴って解くことが、非常に困難になる。そのため、本研究ではAnt Colony Optimization (ACO) というメタヒューリスティクス解法を用いて近似解を求める。

ACOはMarco Dorigoが1992年の博士論文で提案した自然界のアリの採食行動を模範にしたアルゴリズムである[5][6]。

4.1 Ant colony Optimization

実世界では、アリはエサを探す時、ランダムに探索を始める。エサを見つけるとエサから巣までの経路にフェロモンという揮発性の物質を残しながら巣へ戻る。他のアリがフェロモンのある経路を見つけると、アリはランダムな探索を止めてフェロモンの跡が濃い経路を辿り始める。フェロモンの跡を巡り、エサを見つけると経路をフェロモンで補強しながら巣に戻る。しかし、時間とともにフェロモンの跡は蒸発しはじめ、フェロモンの跡が少しずつなくなっていく。エサから巣までの経路が長いほどフェロモンは蒸発しやすい。逆に、エサから巣までの経路が短ければ補強するまでの時間が少なく、フェロモンが蒸発するよりも早く補強されるため、フェロモン濃度は高いまま保たれる。従って、良い経路はフェロモンの濃度が高くなる。その結果、他のアリが良い経路を巡る可能性が高くなる。よって最終的にすべてのアリが1つの最良な経路を辿ることになる。その原理を似せて配送計画を立案する。以下に、ACOの基本となるAS(Ant System)のアルゴリズムを以下に示す。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> [1]. 初期化 [2]. 終了条件(反復回数)を満たすまでループ <ul style="list-style-type: none"> [2.1]. 全てのエージェントについて <ul style="list-style-type: none"> [2.1.1]. 解(巡回路)を獲得するまで <ul style="list-style-type: none"> [i]. 確率的な枝選択 [ii]. 過去の行動の記憶を更新 [2.2]. 解を評価しフェロモンの情報を更新 |
| [3]. 最良解を出力して終了 |

4.2 ACOの配送計画モデルへの適用

図5～図8に配送計画モデルへのACOを適用する際の手順を示す。

図5に配送計画立案システム全体の流れ図を示す。配送計画立案システムは、①初期設定、②配送計画の立案、③配送計画の評価から成る。

図6に初期設定の流れ図を示す。まず、輸送機器の情報(台数、積載可能量、移動可能時間、配送する方向、出発点、到着点)を入力する。次に、各拠点間の距離、各拠点にある梱包材の量、出発点と到着

点から各拠点までの距離を入力する。最後に各輸送機器のフェロモン表を作成する。

図7は配送経路の立案の流れ図である。各輸送機器の配送経路と採用した配送経路に対して梱包材の割り当てを決定している。まず、配送経路を作成する輸送機器の順番を決定する。次に、決定した順に配送経路の作成、採用した経路に対して各拠点の輸送用梱包材の配送量を決定する。配送経路の作成は、移動可能時間、作業時間を考慮して次に訪問する拠点を決定する。各輸送機器のフェロモン表と配送待ち梱包材量から式(12)を用いて確率を求める。

$$P_{ij}^k = \frac{[PH_{ij}^k]^\alpha [D_{ij}]^\beta}{\sum_{h \in J_i^k} [PH_{ih}^k]^\alpha [D_{ih}]^\beta} \quad (12)$$

ここで、

P_{ij}^k : 輸送機器 k が拠点 i, j 間の移動を選択する確率

PH_{ij}^k : 輸送機器 k の拠点 i, j 間のフェロモン量

D_{ij} : 拠点 i, j 間の配送待ち梱包材量

次に、式(12)で求めた確率に従って次に訪問する拠点を乱数により決定する。これを繰り返すことにより輸送機器の経路を作成する。次に、作成した経路に配送する輸送用梱包材の配送量を割り当てる。次の輸送機器に対して、上記の方法を用いて配送経路と拠点間の配送量を決定する。すべての輸送機器に配送を割り当てられた時点で配送計画の立案を終了する。

図8に、配送計画の評価の流れ図を示す。②で作成した配送計画の総配送量をこれまでに求めた最良な配送計画と比較し、総配送量が多ければ最良解を更新する。評価終了後、式(13)を用いて各輸送機器のフェロモン表を更新する。

$$PH_{ij}^k(t+1) = (1-\rho)PH_{ij}^k(t) + \Delta PH_{ij}^k(t) \quad (13)$$

ここで、 ρ : 蒸発係数 ($0 < \rho < 1$)

$\Delta PH_{ij}^k(t)$: 輸送機器 k の拠点 i, j 間のフェロモン増加量

なお、フェロモンは配送計画で採用された経路のみで増加し、その量は輸送機器が配送した輸送用梱包材の量により決まる。

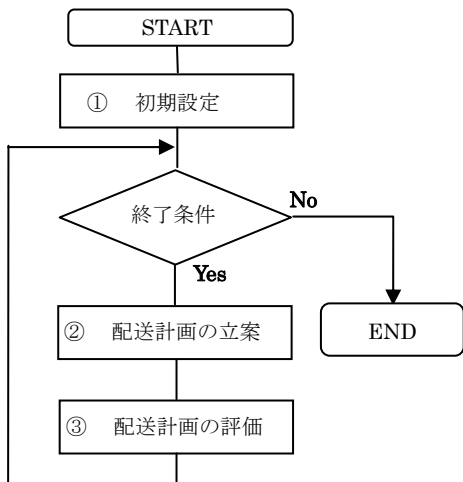


図5 配送計画立案システム

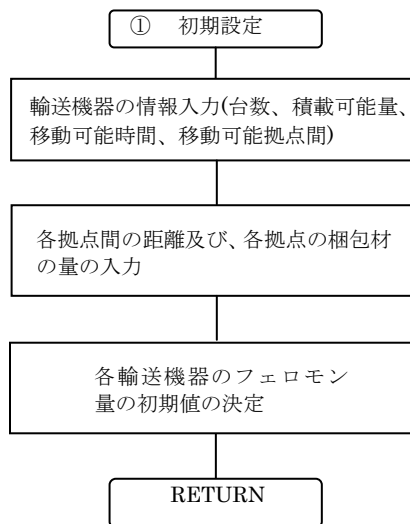


図6 初期設定

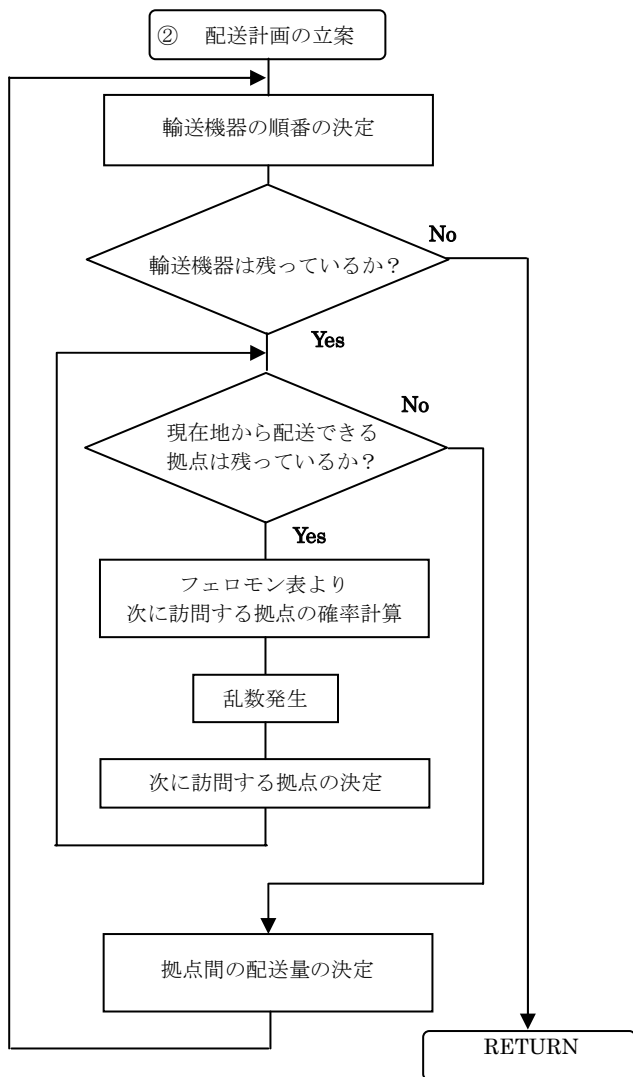


図7 配送計画の立案

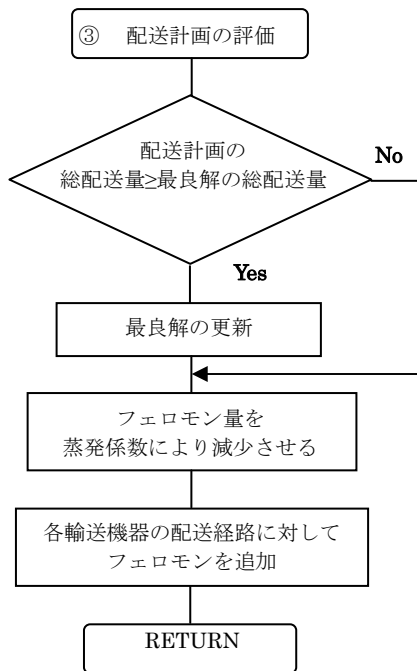


図8 配送計画の評価

5 数値例を用いた評価

ACO を用いた配送計画の立案の有効性を明らかにするために、数値例を示す。

5.1 入力データ

数値例に使用した入力データは下記の通りである。

- (1) 拠点数 10、輸送機器 30 台とする。
- (2) 各輸送機器の利用可能時間、積載可能量、出発点と到着点の最寄りの拠点を表 1 に示す。
- (3) 表 2 に各拠点間の配送待ち梱包材量を示す。
- (4) 表 3 に各拠点間の移動時間を示す。
- (5) 蒸発係数は 0.00001。
- (6) 作業時間は 0.5 時間とする。

5.2 数値実験の結果

5.1 の条件のもとで、数値実験を行った。計算に使用したパーソナルコンピュータは、CPU(Intel(R) Celeron(R) 2.0GHz メモリ 2GB)である。

表 1～表 3 を入力データとした場合の 200 万回計算した結果、計算時間 2014.72(秒)、総配送量は 127 となった。

各輸送機器の配送経路と配送量を表 4 に示す。表 4 から、各輸送機器に配送待ち梱包材が割り当てられ、積替えを行うことにより積載可能量以上の輸送が行われていることがわかる。

数理計画ソフトウェア Xpress-MP を用いて最適解を求めた[7]。その結果、最適解の総配送量は 133、計算時間は 7835 秒となった。本研究で提案した手法は、最適解との相対誤差が 5 %程度の解を短い時間で求められることがわかる。

表 1 輸送機器の出発点と到着点の最寄りの拠点と利用時間、積載可能量

輸送機器	出発	到着	可能時間	積載可能量	輸送機器	出発	到着	可能時間	積載可能量
1	1	10	12.8	2	15	8	1	10.2	1
2	10	1	12.8	4	16	2	8	10.1	3
3	2	10	11.8	2	17	8	2	10.1	2
4	10	2	11.8	2	18	1	7	9.8	4
5	1	9	10.3	4	19	7	1	9.8	2
6	9	1	10.3	4	20	2	7	9.5	2
7	2	9	10.1	2	21	7	2	9.5	2
8	9	2	10.1	3	22	1	8	9.3	3
9	1	6	10.3	1	23	8	1	9.3	1
10	6	1	10.3	2	24	2	8	10.2	2
11	1	10	11.5	2	25	8	2	10.2	3
12	10	1	11.5	1	26	2	9	9.1	3
13	2	10	10.8	2	27	9	2	9.1	4
14	10	2	10.8	4	28	8	3	9.4	4
15	1	8	10.3	3	29	3	8	9.4	1

表 2 各拠点間の配送待ち梱包材量

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	0	3	2	1	2	3	2	1	2	2
C2	2	0	1	1	1	1	3	2	3	3
C3	1	1	0	1	1	3	1	3	1	3
C4	2	3	1	0	2	1	3	2	2	1
C5	2	2	2	1	0	3	1	2	3	2
C6	2	1	1	1	1	0	3	3	2	3
C7	2	1	2	2	2	1	0	2	2	2
C8	2	3	1	2	1	1	2	0	1	2
C9	3	2	2	2	2	1	2	1	0	1
C10	2	1	2	2	2	3	2	2	2	0

表 3 各拠点間の移動時間

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
C1	0	0.6	0.5	0.7	1.2	4.1	5.3	6.3	6.6	7.3
C2	0.6	0	0.4	0.7	1.9	4	5.3	6.3	6.6	7.3
C3	0.5	0.4	0	0.3	1.4	3.6	4.8	5.8	6.1	6.8
C4	0.7	0.7	0.3	0	1.1	3.4	4.6	5.6	5.9	6.6
C5	1.2	1.9	1.4	1.1	0	2.2	3.4	4.4	4.7	5.4
C6	4.1	4	3.6	3.4	2.2	0	1.3	2.3	2.5	3.2
C7	5.3	5.3	4.8	4.6	3.4	1.3	0	1	1.3	1.9
C8	6.3	6.3	5.8	5.6	4.4	2.3	1	0	0.3	0.9
C9	6.6	6.6	6.1	5.9	4.7	2.3	1.3	0.3	0	0.9
C10	7.3	7.3	6.8	6.6	5.4	3.2	1.9	0.9	0.9	0

6 まとめ

本研究では、輸送用梱包材リユースシステムの配送計画の立案に関して、以下のことを明らかにした。

- (1) 輸送機用梱包材の静脈物流の特徴を把握した上で、輸送機器の帰り便・空きスペースの利用を前提とした配送計画モデルを構築した。
- (2) 本研究で提案した手法を用いることで、比較的良い近似解を短時間で得られることを明らかにした。

今後の課題として、多期間配送計画への ACO の適用などが挙げられる。

表 4 各輸送機器の配送経路

輸送機器	梱包材の配送経路	配送量	輸送機器	梱包材の配送経路	配送量
1	1→5→9→10	5	16	8→7→5→1	3
2	10→6→2→1	8	17	2→5→6→7	5
3	4→7→8→10	6	18	7→6→4→3	4
4	10→9→7→5→2	6	19	3→7	4
5	3→8→9	5	20	7→1	2
6	7→1	4	21	3→7	2
7	5→6→7→9	6	22	7→4→2	4
8	8→4→2	3	23	1→3→4→6	6
9	1→2→3→5	3	24	7→3→1	2
10	5→1	2	25	4→5→8	4
11	1→2→7→1	6	26	8→2	3
12	10→8→6→1	3	27	3→6→9	5
13	4→7	2	28	9→3	4
14	10→5→3→2	7	29	3→7	4
15	1→6→8	6	30	8→7→5→4	3

参考文献

- [1] 環境省総合環境政策局環境計画課：「環境・循環型社会・生物多様性白書（平成 21 年度版）」，（2009）
- [2] 新田茂雄：「図解リサイクル・省資源包装」，日刊工業新聞社（2001）
- [3] オリオンテック株式会社のホームページ，<http://www.orion-tec.co.jp/>
- [4] 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の立案」，日本経営工学会論文誌，Vol.56, No1, pp.54-63（2005）
- [5] Silvia Mazzeo, Irene Loiseau, “An Ant Colony Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing”，Electronic Notes in Discrete Mathematics, vol.8-No1, December 2004, pp.181-186
- [6] 金指正和，片岡隆之，石原良晃：「改良型アントコロニー最適化法による集配送経路決定問題の解法」，日本ロジスティクスシステム学会第 11 回全国大会予稿集，pp.23-26（2008）
- [7] Dash Optimization Ltd. : Application of Optimization with Xpress-MP（2000）