

サービスセンターにおけるオプション部品の架装順序について

新村幸之助* 石原良晃**

Scheduling a Mounting Order of Finished Cars in Distribution Centers

Konosuke SHINMURA and Yoshiaki ISHIHARA

Abstract

This paper aims to propose a planning method on a sequence of finished cars for mounting optional components in distribution centers. In automobile manufacturers, finished cars are transported from the final assembly plant to the distribution centers by pure car carriers. In the distribution centers, finished cars are mounted optional components, and transported to the dealers. In this paper, a heuristic method for scheduling amounting order of finished cars is proposed by an Ant Colony Optimization (ACO).

Key words: Mounting order of finished cars, distribution centers, Ant Colony Optimization

1. 序論

本研究では自動車産業のサービスセンターにおけるオプション部品の架装順序について検討することを目的とする。

M社では、広島・防府の工場で生産された自動車は、船舶（専用船）により、各エリアを担当するサービスセンターに輸送される。サービスセンターでは、新車点検、車両保管、オプション架装が行われる。これらの作業を納期までに終了させるため、オプション架装順序を決める計画を立てる必要がある。しかし、オプション架装順序決定問題は問題の規模が大きくなると解くことが困難になり、数理計画ソフトを使用しても膨大な時間が必要となる。

そこで、本研究ではメタヒューリスティクス解法の1つであるACOを使い、近似解を求める手法を提案する。ACOはAnt Colony Optimizationの略で蟻の集餌行動を模して作られたアルゴリズムである。巡回セールスマン問題などの様々な組み合わせ最適化問題に適用され、その有効性が示されている。本研究ではオプション部品の架装順序を決定する問題にACOを適用して近似解を求める方法を提案する。

2. 完成車の輸送

2.1 完成車の輸送の流れ

完成車の輸送は以下のように行われている。

- (1) 組立工場からトレーラーにより積出港へ輸送
- (2) 専用船に完成車を積載
- (3) 専用船を用いてサービスセンターへ輸送
- (4) 積降港で完成車の積み降ろし
- (5) サービスセンターで完成車にオプションの架装
- (6) オプション架装した完成車を各営業所へ輸送

図1に完成車輸送の概念図を示す。

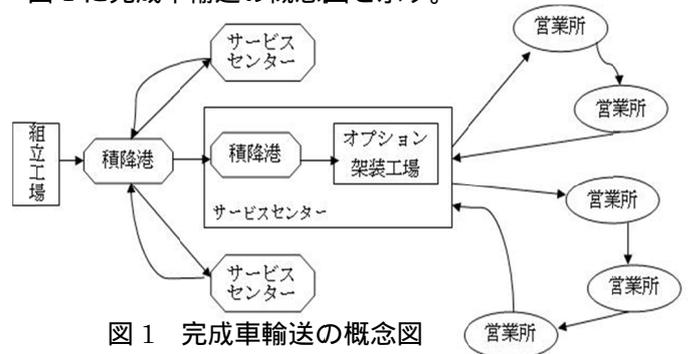


図1 完成車輸送の概念図

2.2 専用船による完成車の輸送

組立工場で生産された完成車は、複数の船舶（専用船）により各エリアを担当するサービスセンターへ輸送される。M社では表1に示すようなエリア分け

をしている。完成者の輸送のための専用船の経路は、各サービスセンターの需要量、積出・積降港の荷役可能時間帯を考慮して決定する。

表 1 港の名称と各担当エリア (2009 年現在)

名称	担当エリア
千葉	北海道・青森・秋田・岩手・宮城・山形・福島・栃木・茨城・千葉・東京・群馬・埼玉・神奈川・新潟
衣浦	長野・山梨・静岡・愛知・岐阜・三重
堺	富山・石川・福井・大阪・奈良・和歌山・兵庫・京都・滋賀
瀬野川	鳥取・島根・岡山・広島・山口
多度津	香川・徳島・愛媛・高知
須恵	福岡・佐賀・長崎・熊本・大分
東郷	宮崎・鹿児島・沖縄

M 社では 2009 年度に、輸送量の少ない配送ルート束ねることを目的に、9 か所あったサービスセンターを 7 か所に集約した。この集約により、専用船の積載率向上、輸送距離の短縮を実施した[1][2]。

現時点ではより一層の効率化を目指している。

2.3 サービスセンターの機能

サービスセンターの機能として、新車点検、車両保管、架装部品取り付け、出荷検査などがある。サービスセンターは従来、各販売代理店がそれぞれ行っている新車の納車整備を一括して行うもので、自動洗車設備、用品組み付け工程、モータープール等が設置されている。各代理店にとって業務の簡素化や納車整備コストの削減、製品完成度の向上が図れるばかりでなく、整備済み車両が各営業拠点へ直送されることで拠点間での物流コストの削減や車両保管に使用していたスペースの有効利用などを促進することが可能になる。

2.4 サービスセンターからの完成車の輸送

専用船によって輸送された完成車は、サービスセンターでオプションを架装した後、トレーラーに積載されディーラーへ配送される。

トレーラーによる完成車の配送計画は、通常、オプション架装順序の計画を立案する前に計画される。トレーラーに積載する自動車の種類や台数は配送計画によって決められ、完成車へのオプション架装順序はこの配送計画に従って検討される。

また、オプション架装が終了した完成車を保管しておくスペースを効率的に運用し、かつ、納期を守らなければならない。そこで、トレーラーの出発する時間に合わせオプション部品の架装順序を計画す

る必要がある[3]。

3. サービスセンターにおけるオプション部品の架装順序計画モデルの構築

3.1 モデルの前提条件

サービスセンターにおけるオプション部品の架装順序計画モデルを構築するにあたり、前提条件を以下のように設定する。

- (1) 各作業エリアが 1 日に作業できる時間 (計画期間) は決まっており、その範囲外で作業を開始、継続することはできない
- (2) 全てのトレーラーの最大積載量は同一とする
- (3) トレーラーはすべて積載予定の完成車を積載次第、サービスセンターを出発し、完成車を担当エリアに配送する
- (4) トレーラーに載せる完成車は、営業所への配送計画によって決定される

3.2 記号の設定

モデルを定式化するにあたり以下のように記号を定義する。

M : 作業エリア数

T : 計画期間

I : トレーラー数

J_i : トレーラー i の最大積載量

N_i : トレーラー i の積載量

Nsh_i : トレーラー i の出発時間

i : トレーラー番号 ($i = 1, 2, \dots, I$)

j : トレーラー i に乗る自動車番号 ($j = 1, 2, \dots, N$)

p_{ij} : トレーラー i に載る自動車 j のオプション架装時間

m : 作業エリア番号 ($m = 1, 2, \dots, M$)

t : 期 ($t = 1, 2, \dots, T$)

U_i : トレーラー i に載る自動車で最後に作業の終了する期

V_i : トレーラー i の待ち時間 (単位期)

$job(i, j)$: トレーラー i に乗る自動車 j にオプションづけする作業

$x_{ij,t}^m$: $job(i, j)$ が作業エリア m で時刻 t に開始されると 1, 開始されないと 0 となる変数

$y_{ij,t}^m$: $job(i, j)$ が作業エリア m で時刻 t にしていれば 1, していなければ 0 となる変数

3.3 定式化

- (1) 目的関数: トレーラーの待ち時間の総和を最小化

$$Z = \sum_{i=1}^I V_i \rightarrow \text{Min} \quad (3.1)$$

(2) 全ての自動車はどこかで作業されなければならないことを表す制約条件

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T x_{ij,t}^m = 1 \quad (i=1, \dots, I, j=1 \dots N_i) \quad (3.2)$$

(3) 全ての作業は計画期間内に終了しなければならないことを表す制約条件

$$(t + p_{ij} - 1) \cdot x_{ij,t}^m \leq T \quad (i=1, \dots, I, j=1 \dots N_i, m=1 \dots M, t=1 \dots T) \quad (3.3)$$

(4) 作業を開始すると作業が終了するまで作業を継続しなければならないことを表す制約条件

$$x_{ij,t}^m = 1 \Rightarrow y_{ij,t}^m = y_{ij,t+1}^m = \dots = y_{ij,t+p_{ij}-1}^m = 1 \quad (i=1, \dots, I, j=1 \dots N_i, m=1 \dots M, t=1 \dots T) \quad (3.4)$$

(5) 作業エリア m を作業が終了するまで

$job(i, j)$ が独占することを表す制約条件

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T y_{ij,t}^m = p_{ij} \quad (i=1, \dots, I, j=1 \dots N_i) \quad (3.5)$$

(6) 時刻 t において作業エリア m は1つの作業しかできないことを表す制約条件

$$\sum_i \sum_j y_{ij,t}^m = 1 \quad (m=1, \dots, M, t=1 \dots T) \quad (3.6)$$

(7) トレーラー i に乗る自動車で最後に作業の終了する時刻

$$U_i = \max_{j \in N_i, m \in M, t \in T} (t + p_{ij} - 1) \cdot x_{ij,t}^m \quad (i=1, \dots, I) \quad (3.7)$$

(8) トレーラー i の待ち時間

$$V_i = \begin{cases} Nsh_i - U_i & (Nsh_i \geq U_i) \\ 2(U_i - Nsh_i) & (Nsh_i < U_i) \end{cases} \quad (i=1, \dots, I) \quad (3.8)$$

4. ACO を用いたヒューリスティクス解法

4.1 Ant Colony Optimization (ACO)

3.では架装順序計画のモデルを構築した。しかし、提案したモデルでは規模が大きくなると数理計画ソフトで解くことが困難になってしまい、最適解を得

るのに時間がかかってしまう。そこで、遺伝的アルゴリズム (GA) やシミュレーティッド・アニーリング (SA)、アントコロニー最適化法 (ACO) といったメタヒューリスティクス解法を用いることにした。メタヒューリスティクス解法では短時間で最適解に近い解、近似解を求めることができる[5]。

本研究では ACO を用いた手法を提案する。

ACO は、1992 年に Marco Drigo が提案したアルゴリズムで、以下に述べるような現実にいる蟻の餌を集める行動を基に作られたアルゴリズムである。

図 2 は蟻の集餌行動を表している。この図の蟻から出ている線はフェロモンを表している。

蟻は最初、ランダムに動き回り餌を探す。やがて、餌を見つけるとフェロモンを分泌しながら巣へ帰る (図 2a)。他の蟻がフェロモンを発見するとランダムな動きをやめ、フェロモンをたどり、餌を見つける。そして、またフェロモンを分泌しながら巣に戻る (図 2b)。

蟻のフェロモンは揮発性の物質で時間が経つにつれだんだん薄くなり、その吸引力も低下する。餌への経路が複数ある場合、経路が長ければフェロモンは蒸発しやすいため、すぐに薄くなってしまいその経路が選択されにくくなる。逆に経路が短ければフェロモンが蒸発する前に補強され、フェロモンの濃度が高いまま保たれるため他の蟻にも選択されやすくなる (図 2c)。従って、ある蟻が最短経路を見つけると、他の蟻もその経路をたどることとなる。最終的にほぼ全ての蟻が短い経路を選択するようになる (図 2d)。[6]

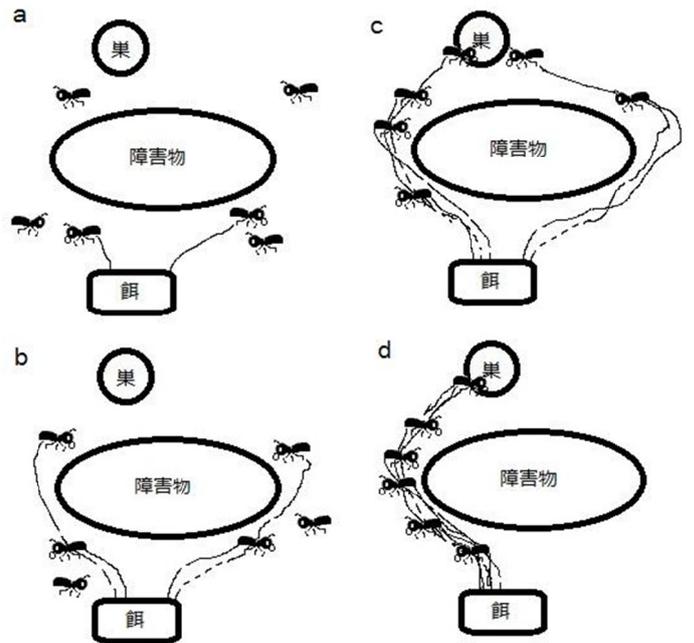


図 2 蟻の集餌行動

4.2 オプション部品の架装順序計画モデルへのACOの適用

図 3 は架装順序計画モデルに ACO を適用した時のシステム全体の流れ図である。

まず、初期設定をし、解の生成・評価、フェロモン表の更新という処理を、終了条件を満たすまで繰り返す。最後に得られた最良解を出力して終了となる。

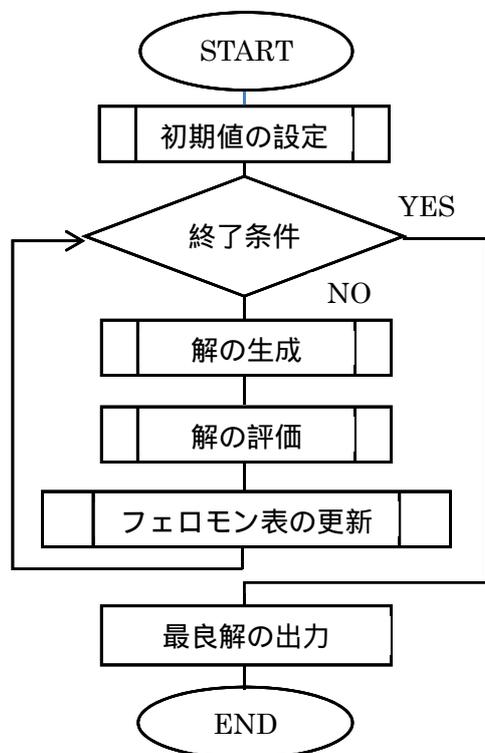


図 3 システム全体の流れ

初期設定では作業エリア数、計画期間等の情報を入力し、フェロモン表の初期化、ヒューリスティック表の作成を行う。

フェロモン表には各自動車が作業を開始する時間を記憶させる。フェロモン表の初期値として 1 を設定する。

ヒューリスティック表の値 ($\eta_{i,j}^t$) はトレーラーの出発時間に間に合う作業開始時間からどれだけの時間が離れているかで以下の式を使い決定する。

$$\eta_{i,j}^t = \begin{cases} a^{Nsh_i - (t + p_{ij} - 1)} & (Nsh_i > t + p_{ij} - 1) \\ 1 & (Nsh_i = t + p_{ij} - 1) \\ b^{(t + p_{ij} - 1) - Nsh_i} & (Nsh_i < t + p_{ij} - 1) \end{cases} \quad (i=1, \dots, I, j=1 \dots N_i, t=1, \dots, T) \quad (4.1)$$

a , b はパラメータ、添え字は最も良い作業開始時間からどれだけの時間が離れているかを表している。作業の終了が遅くなりトレーラーを待たせるより、早く作業を終了させ完成車を保管するほう

が良いため、 $a > b$ とする。

表 4.1 は、トレーラー出発時間を 7、作業時間を 3、 $a=0.9$ 、 $b=0.5$ としたときのヒューリスティック表である。作業開始時間=5 から離れるほど、また、5 より大きいほうが選択される確率は低くなっている。

表 2 ヒューリスティック表の例

時間	1	2	3	4	5	6	7	8
ヒューリスティック値	0.66	0.73	0.81	0.9	1	0.5	0.25	0.13

解の生成は全ての自動車について、作業の開始可能時間の抽出を行い、抽出された作業開始可能時間それぞれの選択される確率を求め、乱数を使い各自動車の作業開始時間を決定する。

確率は以下の式を使い求められる。

$$P_{i,j}^t = \frac{\tau_{i,j}^t \cdot \eta_{i,j}^t}{\sum_{t=1}^T \tau_{i,j}^t \cdot \eta_{i,j}^t} \quad (4.2)$$

$P_{i,j}^t$: 確率 $\tau_{i,j}^t$: フェロモン値

$\eta_{i,j}^t$: ヒューリスティック値

表 4.2 はヒューリスティック表の一例、表 4.3 はフェロモン表の一例である。また、表 4.4 は表 4.2 と表 4.3 を元にした確率表の一例である。確率表の値は式 (4.2) を使い、以下のように求める (表中のトレーラー, 車 1,1、時間 1 の場合)

$$P_{1,1}^1 = \frac{0.9 \times 1.5}{4.1} = 0.329268 \quad (4.3)$$

表 3 ヒューリスティック表の一例

トレーラー, 車 \ 時間	1	2	3
1,1	0.9	1	0.5
1,2	0.81	0.9	1
1,3	1	0.5	0.25
2,1	0.81	0.9	1
2,2	0.9	1	0.5

表 4 フェロモン表の一例

トレーラー, 車 \ 時間	1	2	3
1,1	1.5	2.5	0.5
1,2	2	1.5	1.5
1,3	1.5	2	1
2,1	1	2	2
2,2	1	1.5	1.5

表 5 確率表

トレーラー \ 時間	1	2	3
1,1	0.329268	0.609756	0.060976
1,2	0.362416	0.302013	0.33557
1,3	0.545455	0.363636	0.090909
2,1	0.175705	0.390456	0.433839
2,2	0.285714	0.47619	0.238095

表 6 トレーラーに載る自動車数と出発時間

トレーラー	1	2	3	4	5	6	7	8
自動車数	6	6	4	6	6	6	6	5
出発期	32	20	25	25	17	28	28	26

トレーラー	9	10	11	12	13	14	15
自動車数	6	6	5	5	6	6	5
出発期	30	30	31	32	32	25	25

解の評価では新しくできた解の目的関数の値と今までの最良解の目的関数の値を比較し、新しい解が小さければ最良解を置き換え、新しい解の作業開始時間、作業エリアを記憶する。

フェロモン表の更新では全てのフェロモンを一定の量蒸発させた後、採用された作業開始時間にフェロモンを追加する。フェロモンの更新では全てのフェロモン値を以下の式(4.4)を使い蒸発させる。

$$\tau_{i,j}^t = (1 - \rho)\tau_{i,j}^t \quad (4.4)$$

ρ : フェロモンの揮発率

フェロモンの蒸発後、式(4.5)に従いフェロモンの追加をする。

$$\tau_{i,j}^t = \tau_{i,j}^t + \Delta\tau_{i,j}^t \quad (4.5)$$

$\Delta\tau_{i,j}^t$ はフェロモンの追加量で、式(4.6)を使い決定する。

$$\Delta\tau_{i,j}^t = \begin{cases} \frac{1}{Z} & t \text{ が採用された } job(i, j) \text{ の作業開始時間のとき} \\ 0 & \text{それ以外の作業開始時間} \end{cases} \quad (4.5)$$

目的関数 Z の値が小さいほど追加されるフェロモンの量は増加する。

5. 実行結果と性能評価

5.1 入力データ

以下の数値例を用いて、本研究のACOを用いたオプション架装順序計画の有効性を検証した。

- (1) 作業エリア数 : 6
- (2) 計画期間 : 32
- (3) トレーラー台数 : 15
- (4) トレーラーの最大積載量 : 6
- (5) トレーラーに載る自動車数、トレーラー出発時間 : 表 6 参照
- (6) 各作業時間 : 表 7 参照

表 7 作業期間

	1	2	3	4	5	6
1	3	3	1	2	1	2
2	2	1	2	1	2	1
3	2	4	2	3	0	0
4	3	2	2	1	1	3
5	2	1	2	1	2	1
6	2	3	1	4	3	2
7	1	2	4	3	2	1
8	4	2	3	1	2	0
9	2	3	4	2	3	2
10	2	3	1	1	2	1
11	3	4	4	3	2	0
12	4	2	3	4	4	0
13	3	1	2	1	4	2
14	1	4	2	3	4	1
15	4	1	2	3	2	0

5.2 実行結果

5.1 の入力データを元に数値実験を行った。使用した環境は以下の通りである。

CPU : Intel(R)Core(TM)2 Quad CPU Q8400
2.66Hz

メモリ : 4.00GB

プログラミング言語 : Visual C++2010

作成したプログラムを実行した結果、以下の結果が得られた。終了条件の繰り返し回数は 100 万回で計算した。図 4 は得られた最良解でのオプション部品の架装順序の計画表である。縦が作業エリア、横が計画期間である。また、中の数字は、右がトレーラー番号、括弧の中が自動車の番号となっている。例えば、作業エリア 1 の計画期間 1 ではトレーラー 9 に載る 6 の自動車は作業時間 2 で作業が開始されることになる。表 8 は各トレーラーの終了時間で、図 4 と照らし合わせてみると、トレーラー 2 は作業終了時間が 20、図 4 の計画期間 20 をみるとトレーラー 2 の最後の作業が終わっている。よって、トレーラーの作業終了時間が 20 であることがわかる。目的関数値は 2、計算時間は 205.318 秒であった。

表 8 各トレーラーの作業終了時間

トレーラー	1	2	3	4	5	6	7	8
作業終了時間	32	20	25	25	17	28	28	26
トレーラー	9	10	11	12	13	14	15	
作業終了時間	30	30	31	32	32	24	24	

5.3 性能評価

性能評価の方法として ACO を用いて得られた結果と数理計画ソフトウェア Xpress-MP で得られた結果と計算時間を比較した。表 9 はその結果である。ACO は繰り返し回数を 10000 回, 100000 回, 1000000 回で計算した。

表 9 計算結果と計算時間の比較

	計算結果	計算時間 (秒)
Xpress-MP	0	1278.7
ACO(10000 回)	7	3.835
ACO(100000 回)	3	26.299
ACO(1000000 回)	2	205.318

繰り返し回数が 1 万回るときは目的関数値が 7 となり、Xpress-MP の結果と比べ離れているが、10 万回、100 万回るときは Xpress-MP とあまり大きな差がない。計算時間はいずれも Xpress-MP より格段に短くなっている。よって、本研究で提案した方法は短時間で最適解に近い解を得ることができることが分かる。

6. 結論

本研究では、自動車産業のサービスセンターにおけるオプション部品の架装順序について以下のこと

を明らかにした。

- (1) サービスセンターにおけるオプション部品の架装順序計画の特徴を把握したうえで架装順序計画モデルを構築した。
- (2) ACO を用いたオプション部品の架装順序計画問題の解法を提案し、数値例を用いてその有効性を明らかにした。

今後の課題として、他のメタヒューリスティクス解法と組み合わせ、近似解の精度の向上や、さらなる計算時間の短縮をさせる事が挙げられる。

参考文献

- [1] マツダ株式会社 会社概要, (2006)
- [2] http://www.mazda.co.jp/csr/download/pdf/2011/2011_d_p34.pdf
- [3] 橋本さやか “サービスセンターにおけるオプション部品の架装順序について”, 平成 20 年度大島商船高等専門学校卒業論文
- [4] Marco Dorigo and Thomas Stützle, Ant Colony Optimization, MIT Press, (2004)
- [5] 亀田陽介 “局所最適解をフェロモンの初期配置に利用したアントコロニー最適化法による TSP の解法”, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, pp6-12, 2007
- [6] 反田健太郎、石原良晃 “専用船による完成車の輸送計画の一解法”, 大島商船高等専門学校紀要 第 43 号, pp.47-52, 2010

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	9(6)		8(5)		3(3)		4(2)		14(4)			6(5)			2(4)	6(2)
2	10(6)	10(1)		7(5)		4(3)		15(4)			11(4)			9(2)		
3	12(2)		9(1)		5(5)		5(1)		2(3)		13(4)	9(5)			8(3)	
4	13(2)	11(5)		8(2)		6(1)		3(1)		13(1)			10(2)			7(4)
5	14(3)		9(4)		6(6)		15(3)		5(6)		13(6)	11(1)			2(6)	5(3)
6	15(2)	14(6)	10(4)	14(1)	7(2)		5(4)	7(6)	8(4)	5(2)		12(3)			2(1)	15(5)
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
	6(2)			1(2)			3(2)			1(5)		9(3)			1(4)	
	4(1)			14(2)				6(4)			11(3)				1(3)	
	8(3)	4(6)			14(5)				7(3)			12(1)				
	7(4)			3(4)			4(5)		8(1)			1(6)			12(4)	
	5(3)	2(2)	2(5)			15(1)			4(4)		11(2)			10(3)	13(3)	
	15(5)	10(5)		7(1)		1(1)			13(5)			6(3)		12(5)		

図 4 オプション部品の架装順序の計画表