

サービスセンターにおける完成車の納車整備順序決定問題

石原良晃^{*1}, 徐 祝淇^{*2}, 宿 元明^{*3}, 新谷浩一^{*4}, 山中逸郎^{*5}, 平木秀作^{*6}

Scheduling a service order of finished cars in distribution centers

Yoshiaki ISHIHARA^{*1}, Zhuqi XU^{*2}, Yuanming SU^{*3},
Koichi SHINTANI^{*4}, Itsuro YAMANAKA^{*5} and Shusaku HIRAKI^{*6}

Abstract

This paper aims to schedule a service order of finished cars in the distribution centers. Inspection of new cars, storage of new cars, mounting of optional parts and the like are performed in the distribution centers. In this paper, we formulate a mathematical programming model to schedule a service order of new cars, and clarify the characteristics on our model.

Keywords: Distribution centers, Service order of finished cars, Scheduling

1. はじめに

本研究では、自動車産業のサービスセンターにおける納車整備順序について検討することを目的とする。M社では、広島・防府の組立工場で生産された自動車は、自動車運搬船 (Pure Car Carrier) により、国内の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、オプション架装などが行われる [1], [2]。これらの作業を納期までに終了させるため、オプション架装の順序計画を立案する必要がある。オプション架装作業は、自動車毎に作業時間が大きく異なるため、本研究では、標準的な作業を行う工程と作業時間が長い作業を行う工程の2つに分け、作業が行われることを考える。

そこで、本研究では、オプション架装の順序計画を立案するために数理計画モデルとして定式化し、数値例を用いてその特徴を明らかにする。

2. 自動車産業における完成車の輸送

2.1 完成車の輸送

日本国内で生産された自動車は、国内および海外に供給される。国内での輸送は、陸上輸送および海上輸送により行われ、海外への輸送は、海上輸送により行われている。

完成車の海上輸送は、自動車運搬船により行われ、海外へは一度に数千台輸送可能な大型の自動車運搬船が用いられている。北米航路、ヨーロッパ航路、オセアニア航路、東アジア、東南アジア航路等が設定され、定期的に日本から完成車が輸送されている [3]。

2.2 国内における完成車の輸送

国内における完成車の輸送は以下のような手順で行われている。図1に完成車輸送の概念図を示す。

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

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はかれるばかりでなく、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 [4]。

2.3 サービスセンターからの完成車の輸送

自動車運搬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。

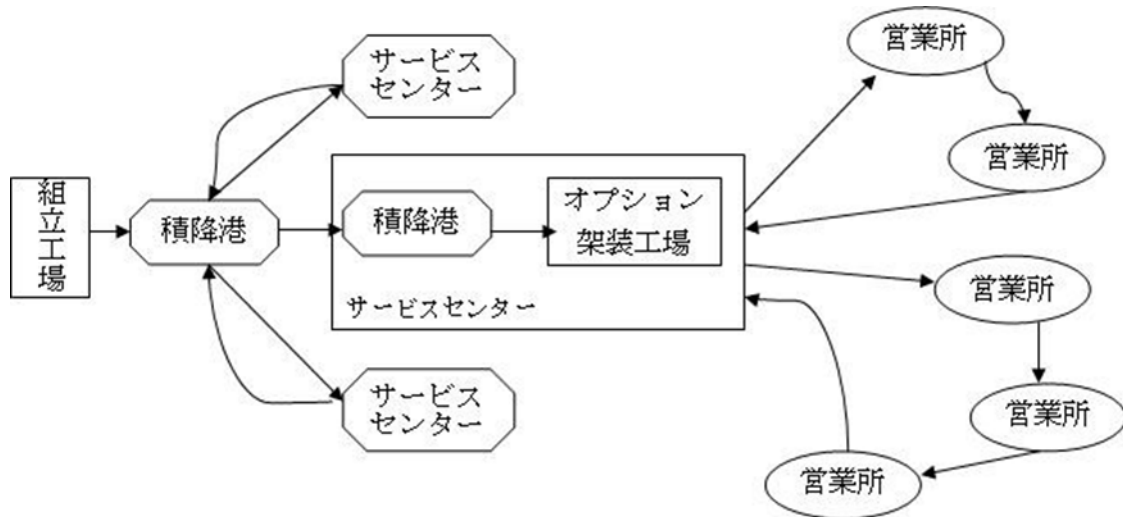


図1 完成車輸送の概念図

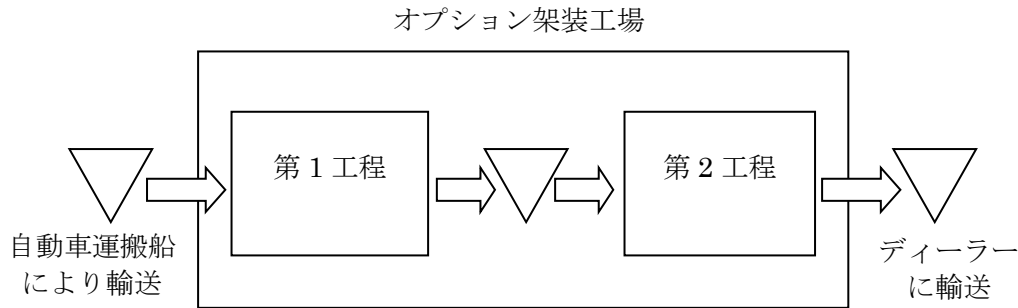


図2 オプション架装の概念図

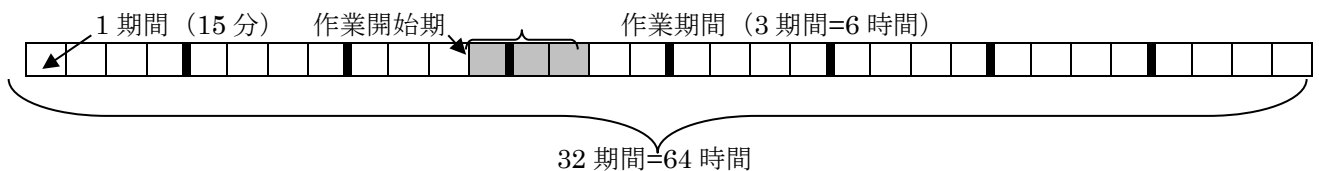


図3 計画期間の概念図

3. サービスセンターにおける納車整備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決定する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) オプション架装作業エリアは、2つの工程に分けられている。図2にオプション架装の概念図を示す。
- (2) 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。
- (3) 全てのトレーラーの最大積載量は同一とする。
- (4) 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。
- (5) 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。

- (6) 単位期間は作業可能時間を単位時間(例えば、1期間2時間)で分割したものとする。図3に計画期間の概念図を示す。

3.2 記号の設定

納車整備順序計画モデルを定式化するにあたり、以下のように記号を設定する。

- m_1 : 第1工程専用の作業エリア数
- m_2 : 第2工程専用の作業エリア数
- m_3 : 第1、第2工程共用の作業エリア数
- M_1 : 第1工程専用の作業エリア番号の集合
 $M_1 = \{1, 2, \dots, m_1\}$
- M_2 : 第2工程専用の作業エリア番号の集合
 $M_2 = \{m_1 + 1, m_1 + 2, \dots, m_1 + m_2\}$
- M_3 : 第1、第2工程共用の作業エリア番号の集合

$$M_3 = \{m_1 + m_2 + 1, \dots, m_1 + m_2 + m_3\}$$

T : 計画期間

I : トレーラー数

N_i : トレーラー i の積載量 (台数)

Nsh_i : トレーラー i の出発期 (ただし、トレーラーは期末に出発するものとする。)

p_{ij}^k : トレーラー i に載る自動車 j の第 k 工程でのオプション架装期間

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 の出発遅れ (単位: 期間)

$job(i, j)$: トレーラー i に乗る自動車 j にオプションを取り付ける作業

$x_{ij,t}^{k,m}$: $job(i, j)$ が第 k 工程の作業が作業エリア m で t 期に開始されると 1, 開始されないと 0 となる 0-1 変数

$y_{ij,t}^{k,m}$: $job(i, j)$ が第 k 工程の作業が作業エリア m で t 期にしていれば 1, していなければ 0 となる 0-1 変数

$s_{ij,t}^{k,m}$: $job(i, j)$ が第 k 工程の作業が作業エリア m で t 期に開始されると t , 開始されないと 0 となる変数

S_{ij}^k : $job(i, j)$ が第 k 工程の作業が開始される期を示す変数

以上の記号を用いて、納車整備順序計画モデルを定式化する。

3.3 納車整備順序計画モデルの定式化

サービスセンターにおける納車整備順序計画モデルを数理計画モデルとして定式化する[5],[6],[7]。

(1) 目的関数

目的関数は、トレーラーの待ち時間最小化とする。

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

(2) すべての完成車の納車整備を必ず行うことを示す制約条件

$$\sum_{m \in M_k \cup M_3} \sum_{t=1}^T x_{ij,t}^{k,m} = 1 \quad (2)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i)$$

(3) 作業を開始すると終了するまで同じ作業エリアで作業を継続することを示す制約条件

$$x_{ij,t}^{k,m} = 1 \Rightarrow y_{ij,t}^{k,m} = \dots = y_{ij,t+p_{ij}^k-1}^{k,m} = 1 \quad (3)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i, m \in M_k \cup M_3, t = 1, \dots, T - p_{ij}^k + 1)$$

(4) 作業エリアにおいては同時に複数の作業ができないことを示す制約条件

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij,t}^{k,m} \leq 1 \quad (4)$$

$$(k = 1, 2, m \in M_k, t = 1 \dots T)$$

$$\sum_{k=1}^2 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{N_i} y_{ij,t}^{k,m} \leq 1 \quad (5)$$

$$(k = 1, 2, m \in M_3, t = 1 \dots T)$$

(5) 作業開始期に関する制約条件

$$s_{ij,t}^{k,m} = \begin{cases} t & (\text{if } x_{ij,t}^{k,m} = 1) \\ 0 & \end{cases} \quad (6)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i,$$

$$m \in M_k \cup M_3, t = 1, \dots, T - p_{ij}^k + 1)$$

$$S_{ij}^k = \sum_{m \in M_k \cup M_3} \sum_{t=1}^{T-p_{ij}^k-1} s_{ij,t}^{k,m} \quad (7)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i)$$

$$S_{ij}^1 + p_{ij}^1 \leq S_{ij}^2 \quad (8)$$

$$(i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i)$$

(6) 同一トレーラーで輸送する完成車の作業終了期

$$U_i = \max_{\substack{1 \leq j \leq N_i, 1 \leq t \leq T - p_{ij}^2 + 1 \\ m \in M_k \cup M_3}} (t + p_{ij}^2 - 1) \cdot x_{ij,t}^{2,m} \quad (9)$$

$$(i = 1, \dots, I)$$

(7) トレーラーの出発遅れ

$$V_i = \max_{1 \leq i \leq I} (0, U_i - Nsh_i) \quad (10)$$

$$(i = 1, \dots, I)$$

(8) 0-1 変数および整数変数

$$x_{ij,t}^{k,m} \in \{0, 1\} \quad (11)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i,$$

$$m \in M_k \cup M_3, t = 1, \dots, T - p_{ij}^k + 1)$$

$$y_{ij,t}^{k,m} \in \{0, 1\} \quad (12)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i,$$

$$m \in M_k \cup M_3, t = 1, \dots, T)$$

$$S_{ij}^k \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (13)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i)$$

$$st_{ij,t}^{k,m} \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (14)$$

$$(k = 1, 2, i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, N_i,$$

$$m \in M_k \cup M_3, t = 1, \dots, T - p_{ij}^k + 1)$$

$$U_i \in \{1, 2, \dots, T\} \quad (15)$$

$$(i = 1, \dots, I)$$

$$V_i \in \{0,1,2,\dots,T\} \quad (16)$$

$$(i = 1,\dots,I)$$

制約条件(2)–(16)のもとで、目的関数(1)を最小にする数理計画モデルをサービスセンターにおける納車整備準備計画モデルと呼ぶ。

4. 数値例

本研究で提案した納車整備順序計画モデルの特徴性を明らかにするため、数値例を示す。

4.1 入力データ

- (1) トレーラー 15 台
- (2) 完成車 90 台
- (3) 作業エリア数
第1工程専用 10 エリア、12 エリア
第2工程専用 4 エリア、6 エリア
第1、第2工程共用 4 エリア、0 エリア
- (4) 完成車の各工程での作業時間、およびトレーラーの出発期を表1に示す。

表1 各工程での作業時間とトレーラーの出発期

第1工程		完成車 No.						出発期
		1	2	3	4	5	6	
トレーラー	6	2	4	3	2	4	3	12
	7	2	4	3	2	4	3	12
	8	2	4	3	2	4	3	16
	9	2	4	3	2	4	3	16
	10	2	4	3	2	4	3	16
	11	2	4	4	2	4	4	20
	12	2	4	4	2	4	4	20
	13	2	4	4	2	4	4	24
	14	2	4	4	2	4	4	24
15	2	4	4	2	4	4	24	
第2工程		完成車 No.						出発期
		1	2	3	4	5	6	
トレーラー	1	1	2	1	2	1	1	4
	2	1	1	2	2	1	2	4
	3	1	2	1	2	1	1	8
	4	1	1	2	2	2	1	8
	5	1	2	1	2	2	2	8
	6	1	1	2	1	2	2	12
	7	1	2	1	1	2	2	12
	8	1	1	2	1	2	2	16
	9	1	2	1	2	1	2	16
	10	1	1	2	2	1	2	16

4.2 計算結果

本研究で対象とする納車整備順序計画モデルを解くために使用したパーソナルコンピュータは、Intel Core i7-3820(3.60GHz), RAM(64GB)であり、数理計画ソフトウェアはFICO Xpress 7.4である[8]。

表2、表3に数理計画ソフトウェアにより求めた納車整備順序計画を示す。この計算結果より、すべての作業が第1工程、第2工程、共用工程に割り当てられている様子がわかる。また、共用工程では、第2工程でやるべき作業が優先的に割り当てられている様子がわかる。

5. まとめ

本研究では、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納車準備順序計画モデルを定式化した。
- (2) 数値例を用いてその特徴を明らかにした。
今後の課題として、この問題に対するメタヒューリスティクス解法を提案することなどが挙げられる。

謝辞 本研究は、平成26年度科学研究費補助金基盤研究(C)(課題番号24510218)の助成による研究成果の一部であることを付記して謝意を表す。

参考文献

- [1] マツダ株式会社：環境に配慮した車づくり 地球温暖化防止(生産・物流), http://www.mazda.co.jp/csr/download/pdf/2011/2011_d_p34.pdf (2011)
- [2] マツダロジスティクス株式会社：車両サービス, <http://mazdalogi.co.jp/industry/10.html#03>
- [3] トヨフジ海運株式会社：業務案内, <http://www.toyofuji.co.jp/works/index.html>
- [4] NTオートサービス株式会社：PDIセンター, <http://www.nt-auto.co.jp/pdi.html>
- [5] 新村幸之助, 石原良晃, “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”, 大島商船高等専門学校紀要, 第44号, pp.23-28, (2011)
- [6] 石原良晃, 平木秀作, 徐祝洪, 宿元明, 新谷浩一, “サービスセンターにおける納車整備順序に関する一考察”, 日本生産管理学会第37回全国大会講演論文集, pp.207-208 (2013)
- [7] 石原良晃, 徐祝洪, 宿元明, 平木秀作, “サービスセンターにおける完成車の納車整備順序に関する研究”, 日本生産管理学会第39回全国大会講演論文集, pp.287-290 (2014)
- [8] FICO: FICO: Xpressを使用した最適化アプリケーション問題集, MSI株式会社(2012)

表2 計算結果の一例 (a)共有工程なしの場合

第1工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	10-3			8-6			6-2			12-6			12-4			
2	15-2				7-3			10-5			9-6					
3	8-4		6-1		15-6				12-5			14-2				
4	7-4		8-3			9-2			10-6			11-3				
5	7-6			7-5			15-5			9-3			11-1			
6	8-5				7-2			7-1		9-1		13-3				
7	9-4		9-5			6-4		10-4		11-5			11-4			
8	14-5				15-3			12-2			14-6					
9	15-1		14-4		14-3			13-4		8-2			15-4			
10	6-3			10-1		6-6		11-6			13-2					
11	10-2				8-1		6-5			12-3			13-1			
12	13-5				11-2			14-1		13-6			12-1			

第2工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
13	2-4		1-6	4-2	5-4		3-4		9-4		10-1	9-2				10-4
14	2-3		1-2		3-6	5-6		7-5		6-4	6-5		9-1			9-6
15	5-3	3-3	1-4		4-6	3-5	5-2		8-1	6-3		7-3	9-5			8-5
16	2-1	4-1	1-5	2-2	5-5		4-5		8-6		6-1	7-1	10-6		8-3	
17	4-3		1-3	8-4	4-4		7-6		6-6		6-2			10-2	9-3	8-2
18	1-1	2-6		2-5	5-1	3-1	3-2		7-4			7-2		10-5	10-3	

(b) 共有工程ありの場合

第1工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	6-5				7-1			15-2			8-2					
2	6-4		12-3			8-3			13-6			11-4				
3	8-4		6-2			14-1		9-4		15-6			14-4			
4	8-6			9-5					8-5			11-6				
5	10-6			10-2					14-6			13-5				
6	10-1		6-1		7-2			10-5			15-3					
7	6-3			15-4		11-5			9-2			13-4				
8	9-1		11-1		7-3			12-2			12-6					
9	15-1		7-4		14-3			15-5			12-5					
10	8-1		7-5			14-2			12-1		13-2					

共有工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	1-5		1-2	3-3	5-5		5-6		10-3			12-4		13-1	8-2	
12	5-1		6-6		9-3			8-1	11-3			14-5				
13	5-3		2-4		9-6			7-6		10-2	7-3	10-4				10-3
14	3-4		1-3	4-2	3-1	6-6	6-1	13-3			11-2					

第2工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
15	2-2		1-6	3-5	3-2	9-1	7-4	9-6		6-2	6-4	10-1	10-5	9-4	8-4	
16	1-4		4-6	5-4				4-5		10-6		7-6		8-3		10-4
17	2-3		1-1	4-3		5-2		6-3	7-1	6-5		8-6		9-2		
18	2-6		2-1	2-5	4-1	4-4	3-6	7-2		7-5		8-5		9-5	9-3	

