

## 相互補完生産システムの所要輸送機器数の計算方法について

01500665 広島大学 \*平木秀作 HIRAKI Shusaku  
 01001300 日本大学 市村隆哉 ICHIMURA Takaya  
 01103860 早稲田大学 片山 博 KATAYAMA Hiroshi  
 01007483 金沢工業大学 石井和克 ISII Kazuyoshi

## 1. まえがき

国際協力による相互補完生産システムは、多国籍間で構成品・部品を分担して生産し、相互に補完しあって製品を生産して市場に供給するシステムである。われわれは、わが国自動車製造業がASEAN諸国で構築した相互補完生産システムをモデルに、参加国の技術水準を考慮して、工場配置及び物流計画を立案するモデルを構築した[1]。また、相互補完生産システムを多段階生産・在庫・輸送システムと把握して、引っ張り型生産指示方式に基づく2つの生産・輸送指示モデルを構築し[2]、相互補完生産システムをネットワークシステムと把握して、複数の生産拠点を巡回する輸送方法を考察した[3]。本研究では、これらの研究を基礎に、シンガポールを物流拠点とするASEAN5カ国の相互補完生産システムをモデルに、物流拠点を利用した巡回輸送経路の所要輸送機器数の計算方法を考察する。

## 2. 物流拠点を利用した巡回輸送経路

## 2.1 物流拠点を利用した輸送モデル

われわれは、物流拠点を利用した生産拠点が4つのときの輸送モデルとして7つのモデルを提案した[4]。モデル1からモデル5は、すべての輸送経路が単純往復経路であるから、所要輸送機器数は、基本的には、各輸送経路に要する輸送機器数を加えたものとなる。ただし、2つの輸送経路を統合することにより、所要輸送機器数を削減できる場合がある[5]。モデル6、モデル7は巡回輸送経路があるので、別の方法で必要な輸送機器数を計算する必要がある。

## 2.2 記号

物流拠点を利用した巡回輸送経路の所要輸送機器数の計算方法を考察するため、次の記号を定義する。

$k_0$  : 物流拠点,  $k_i$  : 生産拠点 ( $i=1, 2, 3, 4$ )

$c_i$  : 生産拠点  $k_i$  で生産する構成品・部品  
 $d_i$  : 計画期間中の生産拠点  $k_i$  での製品の需要量  
 $(k_i, k_j)$  : 物流拠点又は生産拠点  $k_i$  から  $k_j$  に向かう輸送

$(k_n, k_i, \dots, k_a, k_r, k_n)$  : 輸送  $(k_n, k_i)$ ,  $\dots$ ,  $(k_a, k_r)$ ,  $(k_r, k_n)$  の系列。これを  $k_n$  から  $k_r$  への輸送経路と呼ぶ。輸送経路ごとに輸送機器を用意して構成品・部品を輸送する  
 $L_{ij}$  : 物流拠点又は生産拠点  $k_i$  から  $k_j$  への輸送リードタイム

$M = \{1, 2, 3, 4\}$ ,  $M1 = \{2, 3, 4\}$

$v_i$  : 構成品・部品  $c_i$  の単位あたりの容積

$w$  : 輸送機器の輸送容量

$n_{ij}$  : 計画期間  $T$  の間に生産拠点  $k_i$  と生産拠点  $k_j$  ( $j=0$  のときは物流拠点) を往復できる回数

$n_{ij} = \lceil [T / (L_{ij} + L_{ji})] \rceil$

ただし、 $\lceil [X] \rceil$  は、 $X$  以下の最大整数を表す。

$s_{ij}$  : 計画期間  $T$  の間に各生産拠点の構成品・部品の所要量を輸送するために、生産拠点  $k_i$  と生産拠点  $k_j$  ( $j=0$  のときは物流拠点) 間に必要な輸送機器数

## 2.3 所要輸送機器数の計算

モデル6・ケース1の輸送方法、

$\{(k_1, k_0, k_2, k_0, k_1), (k_3, k_0, k_3), (k_4, k_0, k_4)\}$

を例に、所要輸送機器数の計算方法を考える。

$$s_{30} = \max \left\{ \left\langle v_3 \sum_{j \in M-13} d_j / (w \times n_{30}) \right\rangle, \left\langle d_3 \sum_{j \in M-13} v_j / (w \times n_{30}) \right\rangle \right\} \quad (1)$$

$$s_{40} = \max \left\{ \left\langle v_4 \sum_{j \in M-14} d_j / (w \times n_{40}) \right\rangle, \left\langle d_4 \sum_{j \in M-14} v_j / (w \times n_{40}) \right\rangle \right\} \quad (2)$$

$n_{10201}$  : 計画期間  $T$  の間に輸送経路  $(k_1, k_0, k_2, k_0, k_1)$  を巡回できる回数

$$n_{10201} = \lceil [T / (L_{10} + L_{02} + L_{20} + L_{01})] \rceil \quad (3)$$

$s_{10201}$  : 輸送経路  $(k_1, k_0, k_2, k_0, k_1)$  で計画期間中の所要量を輸送するために必要な輸送機器数

$x^h_{1i}$  :  $h$  回目の輸送で生産拠点  $k_1$  から物流拠点  $k_0$  へ

運ぶ $k_i$ 用の $c_i$ の量. ( $i=2, 3, 4$ )  
 $x^{h_2i}$ :  $h$ 回目の輸送で生産拠点 $k_2$ から物流拠点 $k_0$ へ  
 運ぶ $k_i$ 用の $c_i$ の量. ( $i=1, 3, 4$ )  
 $y^{h_{i1}}$ :  $h$ 回目の輸送で物流拠点 $k_0$ から生産拠点 $k_1$ へ  
 運ぶ $c_i$ の量. ( $i=2, 3, 4$ )  
 $y^{h_{i2}}$ :  $h$ 回目の輸送で物流拠点 $k_0$ から生産拠点 $k_2$ へ  
 運ぶ $c_i$ の量. ( $i=1, 3, 4$ )  
 とすると,  $S_{10201}$ は(5)-(9)式の制約のもとで(4)式  
 を最小化することにより得られる.

$$\begin{aligned} \text{minimize } S_{10201} = & \max_{i \in \{2, 3, 4\}} \left\{ \max_{h=1}^{n_{10201}} \left\langle d_i / \sum_{h=1}^{n_{10201}} x^{h_{i1}} \right\rangle, \right. \\ & \max_{i \in \{2, 3, 4\}} \left\langle d_i / \sum_{h=1}^{n_{10201}} y^{h_{i1}} \right\rangle, \\ & \max_{i \in \{1, 3, 4\}} \left\langle d_i / \sum_{h=1}^{n_{10201}} x^{h_{2i}} \right\rangle, \\ & \left. \max_{i \in \{1, 3, 4\}} \left\langle d_i / \sum_{h=1}^{n_{10201}} y^{h_{i2}} \right\rangle \right\} \quad (4) \\ \text{s. t. } & v_1 \sum_{i \in N-(11)} x^{h_{i1}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (5) \\ & v_2 \sum_{i \in N-(2)} x^{h_{2i}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (6) \\ & \sum_{i \in N-(11)} v_i y^{h_{i1}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (7) \\ & \sum_{i \in N-(2)} v_i y^{h_{i2}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (8) \\ & x^{h_{i1}}, x^{h_{2i}}, y^{h_{i1}}, y^{h_{i2}}: \text{非負整数} \quad (9) \end{aligned}$$

$u_{61}$ : モデル6・ケース1を用いたときの計画期  
 間に必要な輸送機器数  
 とすると,

$$u_{61} = \sum_{i \in N-(1,2)} S_{i0} + S_{10201} \quad (10)$$

### 3. 所要輸送機器数の計算方法

(5)-(9)式の制約のもとで(4)式を最小化する問題の近似解を, (12)-(20)式の制約のもとで(11)式を最大化する整数計画問題を解いて求める.

$$\begin{aligned} \text{maximize } z = & \lambda \quad (11) \\ \text{s. t. } & v_1 \sum_{i \in N-(11)} x^{h_{i1}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (12) \\ & v_2 \sum_{i \in N-(2)} x^{h_{2i}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (13) \\ & \sum_{i \in N-(11)} v_i y^{h_{i1}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (14) \\ & \sum_{i \in N-(2)} v_i y^{h_{i2}} \leq w \quad (h=1, 2, \dots, n_{10201}) \quad (15) \\ & d_i \lambda - \sum_{h=1}^{n_{10201}} x^{h_{i1}} \leq 0 \quad (i=2, 3, 4) \quad (16) \\ & d_i \lambda - \sum_{h=1}^{n_{10201}} y^{h_{i1}} \leq 0 \quad (i=2, 3, 4) \quad (17) \end{aligned}$$

$$d_i \lambda - \sum_{h=1}^{n_{10201}} x^{h_{2i}} \leq 0 \quad (i=1, 3, 4) \quad (18)$$

$$d_i \lambda - \sum_{h=1}^{n_{10201}} y^{h_{i2}} \leq 0 \quad (i=1, 3, 4) \quad (19)$$

$$x^{h_{i1}}, x^{h_{2i}}, y^{h_{i1}}, y^{h_{i2}}: \text{非負整数} \quad (20)$$

そのとき,  $S_{10201}$ の近似解 $\tilde{S}_{10201}$ は,

$$\tilde{S}_{10201} = \langle \langle 1 / \lambda \rangle \rangle \quad (21)$$

で与えられる. これは, 混合整数計画問題であり, 数理計画システム Xpress-MP[6]を用いて整数解を求めることができる.

### 4. まとめ

本研究では, ASEAN5カ国で構築された相互補完生産システムをモデルに, 物流拠点を利用した巡回輸送経路の所要輸送機器数の計算方法を示した. 今後, 納入リードタイムの短縮と在庫削減の観点から, 積載効率を考慮した輸送スケジュールを検討する必要がある.

### 参考文献

- [1] Katayama, H., Hiramatsu, H. and Hiraki, S.: "Dynamic characteristics of an ASEAN-China global logistics system: a case investigation of car industry", Proc. of the 5<sup>th</sup> International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Vol.1, pp.147-159 (2000).
- [2] Hiraki, S., "Comparative analysis of ordering models for an international co-operative global complementary production system", Int. J. of Production Economics, Vol.44, Nos.1-2, pp.105-117 (1996).
- [3] Su, Y. and Hiraki, S., "A Study on Transportation Methods of Automobile Components in the ICGCPS", Proc. of the 5<sup>th</sup> International Conference on Computer Integrated Manufacturing, Vol.1, pp.123-134 (2000).
- [4] 平木秀作, "相互補完システムの輸送計画", 日本生産管理学会第13回全国大会講演論文集, pp.223-226 (2001).
- [5] 平木秀作, 片山 博 "相互補完生産システムにおける構成品・部品の輸送方法に関する研究", 日本ロジスティクスシステム学会第4回全国大会予稿集, pp.140-143 (2001).
- [6] Dash Associates, Xpress-MP Reference Manual Release 10, UK (1997).