

バイパスラインの設計・運用に関する研究

01303423 愛知工業大学 田村 隆善 TAMURA Takayoshi

1. はじめに

トラックやプレハブ住宅の組立工場においては、多種の製品モデルが1つの組立ラインで製造される。この場合、製品1単位を組み立てるのに要する工数は、表1の事例が示すように、モデル間で大きく異なることが多く、その場合、生産効率が低くなる。この問題を解決するため、JITを実施している日本のいくつかの工場ではバイパスライン（以下、BLと呼ぶ）を設置して、工数のかかるモデルに対する組立作業の一部をBLで処理し、作業時間を平準化している。このようなBLに関する研究課題として、BLの設計問題、ラインバランス問題、ならびに平準化投入順序付け問題を提案してきた。本報告では、これらの問題を概観し、今後の課題について議論する。

表1 小型トラック1台あたりの総組立時間

Product type i	Total ass. time a_i min/unit	Prod. quantity n_i units/day
Wagon	420	3
Double Cab	350	15
Wide Model	270	40
Base Model	230	80

2. バイパスラインとは

BLは、メインライン（以下、MLと呼ぶ）の隣に設置した短い補助ラインあるいは工程であって、総作業時間の長いモデルに対する組立作業の一部を処理する。BLにはいくつかのタイプがある。

BLをもつ混合品種組立ラインに関して、以下のような課題が考えられる。

- (1) ラインの設計問題
- (2) ラインバランス問題
- (3) ラインへの製品投入順序付け問題

3. ライン長最小化問題

BLの設置によってMLのライン長とBLのライン長の和を短くできることがある。そこで、ライン長の和を最小化するライン設計問題が設定できる[楊ほか(2001)]。この問題は、自動車組立ラインのような長大なラインを設計する場合に有効となる。

3.1 記号の設定と前提条件

主な前提条件は以下の通りである。

- (1) 生産すべきモデルと生産計画量は既知。
- (2) すべてのワークはMLを通る。
- (3) BLへの移動で付随的作業は発生しない。
- (4) 一つのモデルの生産量は、すべてがBLで処理されか、処理されないかの何れか。
- (5) コンベヤー速度は一定。
- (6) ライン上の2つのワーク間の距離は一定で既知。
- (7) 総作業時間は任意に分割してMLとBLに配分可能。

記号を以下のように設定する。 T : 計画期間中の稼働時間、 A_1 :モデルの集合($A_1 = \{1, 2, \dots, I\}$)、 A_2 :BLで処理されるモデルの集合($A_2 \subset A_1$)、 n_i :モデル i の生産計画量($i \in A_1$)、 a_i :モデル i を1単位組み立てるのに必要な総組立時間、 b_i :MLで最小限処理しなければならぬモデル i の1単位当たり組立時間、 v_1, v_2 :MLとBLのコンベヤー速度、 U :コンベヤー上の2つのワーク間距離、 x_{i1}, x_{i2} :MLとBLでの組立時間、 m_1, m_2 :MLとBLの工程数、 N_1, N_2 :MLとBLでの総生産数量、 t_1, t_2 :MLとBLでのサイクルタイム、 $[p]$: p より大きいか等しい最小の整数値。

3.2 最適化モデル

ライン長は、工程数と最長の作業時間によって規定されるから、MLとBLの各ライン長は次式で与えられる。

$$L_k = \max\{\max_{i \in A_k} x_{ik} v_k, U m_k\} + \alpha_k U, \quad k = 1, 2 \quad (1)$$

したがって、組立ライン長最小化問題は、以下のように定式化される。

[組立ライン長最小化問題]

$$\text{Minimize } z = c_1 L_1 + c_2 L_2 \quad (2)$$

subject to

$$t_k = T/N_k, k = 1, 2 \quad (3)$$

$$N_k = \sum_{i \in A_k} n_i, k = 1, 2 \quad (4)$$

$$x_{i1} + x_{i2} = a_i, i \in A_1 \quad (5)$$

$$m_k = \left\lceil \sum_i x_{ik} n_i / T \right\rceil, k = 1, 2 \quad (6)$$

$$v_k = U/t_k = UN_k/T, k = 1, 2 \quad (7)$$

$$A_2 = \{i \mid x_{i2} > 0, i \in A_1\} \quad (8)$$

$$a_i \geq x_{i1} \geq b_i, i \in A_1 \quad (9)$$

ここに示した、組立ライン長最小化問題は、NP-hard であることが示されており、分枝限定法を利用した最適化アルゴリズムが提案されている [楊ほか (2001)]。

4. 組立時間平準化を評価基準とした設計問題

もともと、BL の設置は組立時間のばらつきを減少させることにあり、ワーク間の組立時間のばらつき最小化を評価基準とした組立ライン設計問題が提案できる。

前節で設定した前提条件 (7) のもとで、ML と BL でのワーク 1 個当たり・工程当りの組立時間の分散はそれぞれ、

$$s_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i \in A_k} n_i x_{ik}, k = 1, 2 \quad (10)$$

とおくとき、次式で与えられる。

$$V_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i \in A_k} n_i (x_{ik}/m_k - s_k/m_k)^2, k = 1, 2 \quad (11)$$

問題は、 V_1 と V_2 の和を最小化するような $\{x_{ik}\}$ を決定することであるが、通常、BL における s_2/m_2 の方が ML における s_1/m_1 よりもかなり大きいことから、単純に加重和をとるより、組立時間の変動係数 $\sqrt{V_k}/(s_k/m_k)$ 、あるいはその自乗を工程数と生産量で加重和した値を評価関数にとった方がよい。問題は以下のように定式化できる。

[作業時間平準化問題]

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & z_2 = \frac{m_1}{s_1^2} \sum_{i \in A_1} n_i (x_{i1} - s_1)^2 \\ & + \frac{m_2}{s_2^2} \sum_{i \in A_2} n_i (x_{i2} - s_2)^2 \end{aligned} \quad (12)$$

subject to (3)-(10)

この問題も NP-hard であることを示すことができる。分枝限定法を利用した最適化アルゴリズムを開発したが、紙面の関係で割愛する。

5. ラインバランシング問題

詳細は紙面の関係で割愛するが、BL を ML の途中に配置し、BL で処理された品物が ML のもとの場所に戻ってくるタイプの BL をもつラインを対象に、工程数が与えられて各工程での 1 日の負荷を平準化するラインバランシング問題を提案し、タブサーチ法による近似アルゴリズムが開発されている [Tamura ほか (1999)]。

6. 製品の投入順序付け問題

BL をもつ混合品種組立ラインへの製品の投入順序付け問題の定式化とアルゴリズムを提案している [田村ほか (1997), (1998)]。この問題では、ML と BL の同期化を考慮しなければならず、従来の投入順序付け問題より解析は少し難しくなる。製品の混合割合を平準化する問題について、BL をもつラインの投入順序付け問題が多項式オーダで解けるかどうかはまだ示されていない。

7. おわりに

本研究では、BL をもつ混合品種組立ラインの設計問題、ラインバランシング問題ならびに製品の投入順序付け問題の現状と課題について議論した。

文 献

- (1) 田村, 龍, 大野 (1997), バイパスラインをもつ混合品種組立ラインの順序づけ問題, 日本経営工学会誌, 48-1, pp.33 - 41.
- (2) 田村, 龍, 大野 (1998), バイパスラインのある混合品種組立ラインにおける投入順序決定問題 (部品使用速度と作業負荷の平準化を評価基準とした場合), 日本機械学会論文集 (C 編), 64-625, pp.3680-3687.
- (3) Tamura, T., Yang, W., Fujita, S. and Ohno, K. (1999), Line balancing problem for a mixed-model assembly line with a bypass subline, Proceedings of 15th ICPR, pp.965-968.
- (4) 楊, 田村, 藤田, 大野 (2001), ライン長最小化を評価基準としたバイパスをもつ混合品種組立ラインの設計問題, 日本機械学会論文集 (C 編), 67-662, pp.3323-3329.