

混合品種組立ラインにおける製品投入順序づけ問題

田村 隆善

1. はじめに

混合品種組立ライン (mixed-model assembly line) は、複数品種の製品が1本の組立ライン上を混流し、同時平行して組み立てられていく生産方式である。基本となる製品モデルをベースとして、それにオプションを付けることで製品の多様化に対応する多品種少量生産に適合した組立ラインといえる。この生産方式は、ライン切替方式に比べて製品在庫と段取り替えが不要になる反面、品種による作業時間の違いによって起こる生産効率の低下を防ぐため、製品投入順序を決める問題が重要となる。

混合品種組立ラインにおける製品投入順序づけ問題に対する研究の歴史は古い[13, 34]。ジャストインタイム (JIT) 生産方式が広く利用されるようになるまでの研究は、組立ラインの効率を高く維持するために、作業負荷平準化を評価尺度とした研究が主であった。

JIT システムでは、組立部品を後工程引き取り方式で調達し、前工程は引き取られた分を補充する。この方式においては、製品組立ラインにおける部品消費速度の変動が生産システム全体の作業効率や在庫量に大きく影響するため、部品消費速度を平準化する製品投入順序づけ問題が提起され研究されるようになった[23: pp. 253-278]。自動車の最終組立ラインにおいては、部品の種類が多様で容積の大きい部品も多い。このため、作業スペース確保の上からも部品消費速度の平準化が重要となる。

本稿では、これら混合品種組立ラインにおける投入順序づけ問題について簡単なレビューを行う。

2. 問題を規程するいくつかの要素

(1) 投入方式とサイクルタイム

ラインへの製品投入の時間間隔には、固定サイクル

投入方式 (fixed rate launching) と可変サイクル投入方式 (variable rate launching) の2方式がある。固定サイクル投入方式は、製品を一定時間間隔でラインへ投入する方式であり、投入の時間間隔をサイクルタイム (cycle time) という。この方式において特に、作業負荷を平準化する投入順序づけが重要となる。固定サイクル投入方式におけるサイクルタイム c は、 T を計画期間中の稼働時間、 d_i を品種 i の計画期間中の生産量とすると、次式が満たされるように設定する。

$$c \leq T / \sum_i d_i \quad (1)$$

(2) 作業域

品種ごとに作業時間が異なることから、各工程に作業域が設定される。この指定された作業域の境界外に出て作業を行うことができる場合を開ステーション (open station)、境界外に出ることができない場合を閉ステーション (closed station) と呼ぶ。一方の境界が開で、他方が閉である工程も考えられる。開ステーションにおいては、時間のかかる品種のときは作業域を越えて作業を行い、時間の短い品種のときに本来の作業域に戻るといった方法で、品種間の負荷バランスをとることができる。

開ステーションが隣り合っていると、隣り合った作業者の作業域が重複し、隣接する2つの工程の作業者が同時に同一ワークに対して作業ができる可能性が生まれる。自動車生産では製品が大きいため、隣接作業者が作業を同時実行することが可能であり、実際、JIT システムでは隣接した作業者間の助け合いが行われている。

(3) 作業遅れと手待ち

閉ステーションにおいて、指定された作業域内で作業が終了できない状態を作業遅れと呼ぶ。作業遅れが生じると、残りの作業時間を補助作業員 (utility worker, floater) に割り当てて作業を終了させるか、さもなければライン停止が起こる。補助作業員が行う作

たむら たかよし

愛知工業大学 経営情報科学部

〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247

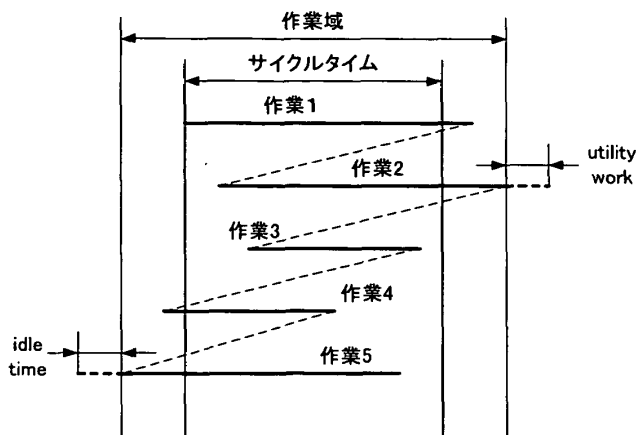


図1 Utility work と Idle time

業遅れを utility work と呼んでいる。

閉ステーションの作業者が1つのワークについて作業を終了したとき、工程の上流側境界線にまだ次のワークが到着していない場合、作業者はワークの到着を待たなければならない。この待ち時間を手待ち (idle time) という。歩行時間を考慮しないときの utility work と idle time の概念を図1に示す。

(4) 最適化における評価尺度

混合品種組立ラインにおける製品投入順序づけ問題の評価尺度は、以下の3つに大別できる。作業負荷は、他の評価尺度と加重和することで同時最適化されることも多い[2, 10, 19, 20, 24]。

- (1) 作業負荷の平準化
- (2) 部品消費速度の平準化
- (3) 製品投入速度の平準化

3. 作業負荷平準化の投入順序づけ問題

作業時間に関連した評価尺度は、以下のように分類できる。

- (1) utility work や手待ち時間の最小化[13, 29, 34, 40]
- (2) ライン長の最小化[1, 2, 9]
- (3) ライン停止あるいはそのリスクの最小化[25, 36~38]
- (4) 作業負荷累積値の理想値と実現値の偏差最小化[10, 15, 19, 24]

utility work の総計を最小化する問題は、以下のように定式化される[27: pp. 103-104]。ただし、前提条件ならびに記号を以下のように設定する。

前提条件

- (1) 固定サイクル投入方式
- (2) 作業時間は確定的で既知 (確率変動をしない)

- (3) 閉ステーションで隣接した作業域は重ならない
- (4) utility worker によってライン停止はない
- (5) 歩行時間は考慮しない

前提条件(3)より、1つのワークを終了したとき、次のワークが作業域に到着してなければ、そのワークを待つ手待ちが生じる。

問題の入力データと決定変数に関する記号を以下のとおりに設定する。

入力データ

- I : 品種数
- M : 工程数
- c : サイクルタイム (製品の投入間隔)
- d_i : 計画期間中の品種 i の生産数量
- K : 計画期間中の総生産数量, ただし, $K = \sum_i d_i$
- t_{im} : 品種 i の工程 m での作業時間, $i=1, 2, \dots, I$; $m=1, 2, \dots, M$
- L_m : 工程 m の作業域の長さ (単位は時間)

決定変数

- x_{ik} : 品種 i を投入順序の k 番目に投入する場合は 1, そうでない場合は 0 をとる 0-1 変数
- s_{mk} : k 番目のワークの工程 m における作業開始位置
- w_{mk} : k 番目のワークの工程 m における utility work

計画期間中の utility work の総時間を最小化する (total work load の最小化ともいう) 投入順序づけ問題は、以下のように定式化される。

Utility work 最小化問題

$$\min z = \sum_m \sum_k w_{mk} \quad (2)$$

s. t.

$$\sum_i x_{ik} = 1, \quad k=1, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_k x_{ik} = d_i, \quad i=1, \dots, I \quad (4)$$

$$s_{mk} + \sum_i t_{im} x_{ik} - w_{mk} - s_{m,k+1} \leq c, \quad m=1, \dots, M; k=1, \dots, K \quad (5)$$

$$s_{mk} + \sum_i t_{im} x_{ik} - w_{mk} \leq L_m, \quad m=1, \dots, M; k=1, \dots, K \quad (6)$$

$$s_{mk} \geq 0, w_{mk} \geq 0, x_{ik} \in \{0, 1\}, \quad m=1, \dots, M; k=1, \dots, K \quad (7)$$

ただし, $s_{m,1} = s_{m,K+1} = 0$ 。

制約条件(3)と(7)は、投入順序の各位置に1つの品種を割り当てることを、式(4)は、品種 i の総投入数が生産量 d_i となることを保証する。制約条件(5)は、各工

程, 各投入順位 k での作業開始位置を, 式(6)は, 作業域内で作業が終了しない場合に utility work が必要となることを表す. 問題は NP 困難であり, 文献[27]には分枝限定法, ヒューリスティック解法, タブー探索法が詳しく議論されている.

手待ち時間の最小化も類似の定式化ができる. ここで, u_{mk} を k 番目に投入されるワークの工程 m での手待ち時間とすると, ライン停止が起きなければ,

$$\sum_k u_{mk} = T - \sum_i t_{im} d_i + \sum_k w_{mk} \quad (8)$$

が成り立つから, 手待ち時間の最小化は utility work の最小化と等価である.

類似の問題が文献[1, 5]ほかで解析されており, レビューが文献[31, 40]ならびに[27: pp. 199-200, 205-207]に与えられている. 古典的文献といえる[34]は, 専属作業域の前後に隣接した作業者が同時に作業できるオーバーラップ領域をもつラインに関して, utility work, オーバーラップ領域での作業時間, ならびに手待ち時間の加重和 (労務費) を最小化する投入順序づけ問題に対して簡明なヒューリスティックアルゴリズムを提案している.

補助作業者がいなければ, 作業遅れの発生はライン停止を起こすことになる. utility work を考慮せず, 作業遅れの最大値をライン停止リスクの尺度として最小化する問題が文献[25, 35]で議論されている. ライン停止のコストや影響についての精緻な定式化とその最小化に関しては, 文献[7, 36~38]において考察されている.

各工程での作業時間を平準化できれば, 作業域は短くなり, 必要なライン長は短くなる. このため, ライン長最小化は, 作業負荷平準化の代用尺度として利用できる. ライン長最小化を対象にした研究には, 文献[1, 2, 9]がある.

作業負荷の累積値について, 理想値と投入順序で決まる実現値との偏差を最小化することで負荷の平準化をはかることができる[10, 12, 15, 19, 24].

工程 m での総作業時間 t_m は,

$$t_m = \sum_i t_{im} d_i$$

で計算され, 工程 m において k 個の品物を処理し終えた時点での負荷の理想値は, kt_m/K で与えられる.

一方, 負荷の実現値は

$$\sum_i t_{im} X_{ik} \quad \text{where} \quad X_{ik} = \sum_{\ell=1}^k x_{i\ell} \quad (9)$$

となる. 目的関数は, 理想値と実現値の間の偏差の最

小化であり, $f_m(u)$ を $u=0$ で最小値 0 をとる単峰な関数とすると, 問題は以下のように与えられる.

$$\min z = \sum_k \sum_m f_m \left(\sum_i t_{im} X_{ik} - kt_m/K \right) \quad (10)$$

s. t. (3), (4), (7), (9).

この問題は, NP 困難であり[15], 次節に述べる部品消費速度の平準化と同じ解法が利用できる.

目的関数を品種ごとの和に分解できれば, 解法は簡単になる. 例えば, t_m の中で品種 i が寄与する分の理想値を $ckt_{im}d_i/t_m$ とし, この値と $t_{im}X_{ik}$ との偏差を最小化することが考えられる[15]. すなわち,

$$\min z = \sum_k \sum_m \sum_i f_{im} (t_{im}(X_{ik} - ckd_i/t_m)) \quad (11)$$

ここで, f_{im} は単峰な非負の凸関数とすると, 問題は単純な割り当て問題に帰着できる.

4. 部品消費速度の平準化

JIT システムにおいては, 組み立てに使用される部品の消費速度平準化が製品投入順序づけの評価尺度として使用されてきた. 問題の定式化は, 式(10)と類似している. いま, 品種 i の製品 1 個を組み立てるのに部品 j が a_{ij} 個必要とする ($j=1, \dots, J$). ここで, 部品 j の平均消費速度 r_j は

$$r_j = \sum_i a_{ij} d_i / K \quad (12)$$

で与えられる. 一方, k 番目までに投入された製品の組み立てに必要な部品 j の累積数は,

$$\sum_i a_{ij} X_{ik}$$

となる. この値と理想値 kr_j との偏差を最小化するように投入順序を決めることが部品消費速度平準化を評価尺度とする製品投入順序づけ問題である. 問題は以下のように定式化される.

部品消費速度平準化問題

$$\min z = \sum_k \sum_j g_j \left(\sum_i a_{ij} X_{ik} - kr_j \right) \quad (13)$$

s. t. (3), (4), (7), (9).

ここで, 関数 $g_j(u)$ は, $u=0$ で最小値 0 をとる単峰な関数である. この問題も NP 困難[15]であり, 最適解法[3, 22]とともに多くのヒューリスティックアルゴリズムが提案されている[3, 10, 11, 29]. なお, 目的関数として

$$z = \sum_k \sqrt{\sum_j \left(\sum_i a_{ij} X_{ik} - kr_j \right)^2} \quad (14)$$

も使用される.

トヨタ自動車(株)では, 投入順序を決定するために, 目標追跡法 (goal chasing) とその発展形である目標

調整法と呼ばれる myopic なヒューリスティックアルゴリズムを開発している[23: pp. 253-278, pp. 383-395]. 目標追跡法の基本形は以下のステップからなる[23: p. 256].

目標追跡法の基本ステップ

Step 1: $k=1, X_{i,k-1}=0$

Step 2: 次式によって, k 番目に投入する品種 p を決定する.

$$D_k(p) = \min\{D_k(i) | i: X_{i,k-1} < d_i\} \quad (15)$$

ただし,

$$D_k(i) = \sum_j g_j \left(\sum_i a_{ij} X_{i,k-1} + a_{ij} - k r_j \right) \quad (16)$$

Step 3: $k=K$ ならばアルゴリズムを終了する. そうでなければ,

$$X_{ik} = \begin{cases} X_{i,k-1} + 1 & : i=p \\ X_{i,k-1} & : \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

と変更した後, $k \leftarrow k+1$ とおき, Step 2 へ戻る.

上記のアルゴリズムを表1のデータに対して適用した結果を表2に示す. ただし, $g_j(u) = u^2$ とする. この例の生産比は単純であるから, 容易に推察されるように, 得られた解は, 次に述べる製品投入速度平準化を評価基準とした問題の最適解となっている.

目標追跡法に関連した研究は多く[3, 6, 14, 39], 遺伝的アルゴリズムとの効率比較も行われている[14]. なお, 各部品はどこか1つの工程のみで消費されるというときは, 式(13)や式(14)による評価尺度は妥当である. しかし, 同一部品が複数の工程で消費される場合, これらの定式化は適切といえない.

部品の生産工程を意識した多段階工程モデルに対する解析も多い[21, 30]. そこでは, 後工程の消費速度に合わせて前工程が部品を生産するとの前提のもとで, 全品目の平準化を考慮した製品投入順序づけ問題が考察されている.

組み立てに必要な部品の種類と数量が製品間であまり違いがない場合, 部品消費速度の平準化は, 部品レベルまで展開する必要はなく, 各品種の製品を平準化して生産すればよい. すなわち,

$$R_i = d_i / K, i=1, \dots, I \quad (18)$$

とするとき, 製品投入速度平準化問題 (PRV: product rate variation) は, 次のように定式化される.

製品投入速度平準化問題

$$\min z = \sum_k \sum_i h_i(X_{ik} - k R_i) \quad (19)$$

s. t. (3), (4), (7), (9).

ただし, 関数 $h_i(u)$ は, $u=0$ で最小値0をとる単峰な凸関数とする. この問題は, 式(11)の場合と同様, 単純な割り当て問題に帰着され, $O(K^3)$ 時間で解けることなどが分かっている[4, 14].

自動車の製造工程は, プレスライン, ボディー溶接ライン, 塗装ラインならびに最終組立ライン (艀装ライン) からなる. ここまでに概説したような方法で製品投入順序を決定しても, 塗装ラインにおける2度塗りや塗装手直しによって, 決定した投入順序が最終組立ラインへ入る手前で乱される. このため, 塗装を終えた品物を最終組立ラインへ投入する際, 再度投入順序づけを行う必要がある[23: pp. 270-274]. ここでの投入順序は, リアルタイムに決定する必要があり, 研究すべき課題が残されている[8, 26].

表1 例題

i	d_i	$a_{i,1}$	$a_{i,2}$
1	5	1	2
2	5	1	0
3	10	0	1
r_j		0.5	1

表2 目標追跡法による結果

k	割当てた品種	$j=1$		$j=2$	
		目標	実現値	目標	実現値
1	3	0.5	0	1	1
2	1	1	1	2	3
3	2	1.5	2	3	3
4	3	2	2	4	4
5	3	2.5	2	5	5
6	1	3	3	6	7
7	2	3.5	4	7	7
8	3	4	4	8	8
9	3	4.5	4	9	9
10	1	5	5	10	11
11	2	5.5	6	11	11
12	3	6	6	12	12
13	3	6.5	6	13	13
14	1	7	7	14	15
15	2	7.5	8	15	15
16	3	8	8	16	16
17	3	8.5	8	17	17
18	1	9	9	18	19
19	2	9.5	10	19	19
20	3	10	10	20	20

5. バイパスをもつラインへの投入順序づけ問題

車種ごとの組立時間が大きく異なるトラックや乗用車を、一本の混合品種ラインで組み立てる場合、製品投入順序を最適化するだけでは、生産効率の改善が図れない。このようなラインではしばしば、バイパスライン（以下、BLと略す）と呼ばれる補助ラインをメインライン（以下、MLと略す）の側に設置し（図2参照）、工数のかかる作業の一部をBLで処理して作業時間の平準化を図る[23：pp. 275-277]。

いま、BLで処理する品種は、MLの工程 m_B における作業を終了した後にBLへ移り、BLでの作業終了後にMLの工程 (m_B+1) へ戻って作業が続けられるものとする。その場合、MLとBLの生産同期化について以下のような点を考慮しなければならない。

(1) MLからBLへワークを移動させると、ML上のワークの流れに空きができ、作業者に手待ちが生じる。この手待ちを作らないためには、BLで作業を終了したワークを同期してMLに戻す必要がある。

(2) 両ラインの間に設置されるバッファサイズは有限であり、バッファが一杯となってライン停止が起きることがないように同期をとる必要がある。

これらの同期化では、初期条件すなわち、計画時点においてライン上にあるワークも考慮しなければならない。このことはまた、①BLからMLに戻ってくるワークの一部が次計画期にMLへ戻ってくる、②今期の計画決定に次期の計画決定が関連する、といった困難性が存在することを意味する。

このようなBLをもつラインへの製品投入順序づけ問題に関して、製品投入速度平準化を評価基準とした近似解法[32]、ならびに部品消費速度と作業負荷の平準化を評価尺度とした最適化アルゴリズムとヒューリ

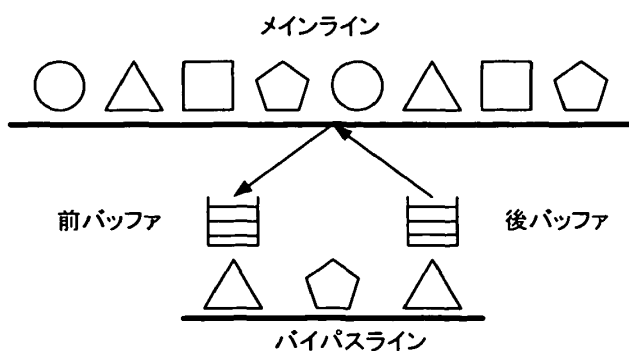


図2 バイパスをもつ混合品種組立ライン

スティックアルゴリズム[33]が提案されている。

6. おわりに

本稿では、混合品種組立ラインへの製品投入順序づけ問題について、基本的モデルのいくつかを紹介し、それらに関連した文献の一部を紹介した。製品投入順序づけ問題は多様である。この問題を多様に行っている一因は、目的関数の多様性にある。また、本文中で紹介した文献の多くは多目的であり、時間に関連した評価尺度と部品消費速度に関連した評価尺度の同時最適化を行っている。前者が作業効率向上、後者がジャストインタイムの実現を目的としたもので、実務上両者を同時に最適化する必要がある。アルゴリズムについての言及は、紙面の関係でほとんどできなかったが、組合せ最適化問題を解くのに使用されるあらゆる手法の適用が研究されている。

参考文献

- [1] Bard. J. F., E. Dar-El and A. Shtub: An analytic framework for sequencing mixed model assembly lines, *Int. J. of Production Research*. 30-1, pp. 35-48 (1992).
- [2] Bard. J. F., A. Shtub and S. B. Joshi: Sequencing mixed-model assembly lines to level parts usage and minimize line length, *Int. J. of Production Research*. 32-10, pp. 2431-2454 (1994).
- [3] Bautista, J., Companys, R. and A. Corominas: "Heuristics and exact algorithms for Monden problem", *European J. Operational Research*, Vol. 88, pp. 101-113 (1996).
- [4] Bautista. J., R. Companys and A. Corominas: Note on the relation between the product rate variation (PRV) problem and the apportionment problem, *J. of the Operational Research Society*, 47-11, pp. 1410-1414 (1996).
- [5] Bolat, A.: Efficient methods for sequencing minimum job sets on mixed model assembly lines, *Naval Research Logistics*, 44-5, pp. 419-437 (1997).
- [6] Cakir, A. and R. R. Inman: Modified goal chasing for products with non-zero/one bills of material, *International J. of Production Research*, 31-1, pp. 107-115 (1993).
- [7] Celano, G., A. Costa, S. Fichera and G. Perrone: Fuzzy scheduling of a flexible assembly line through an evolutionary algorithm, *Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Systems*, pp. 328-333 (2000).

- [8] Choi, W. and H. Shin: Real-time sequence control systems for the level production of the automobile assembly line, *Computers & Industrial Engineering*, 33-3 & 4, pp. 769-772 (1997).
- [9] Dar-El, E. M. and R. F. Cother: Assembly line sequencing for model mix, *Int. J. of Production Research*, 13-5, pp. 463-477 (1975).
- [10] Ding, F. Y. and L. Chen: A simple sequencing algorithm for mixed-model assembly lines in Just-in-time production systems, *Operations Research Letters*, 13-1, 27-36 (1993).
- [11] Duplaga, E. A. and D. J. Bragg: Mixed-model assembly line sequencing heuristics for smoothing component parts usage: A comparative analysis, *Int. J. of Production Research*, 36-8, pp. 2209-2224 (1998).
- [12] Inman, R. R. and R. L. Bulfin: Sequencing JIT mixed-model assembly lines, *Management Science*, 37-7, pp. 901-904 (1991).
- [13] Kilbridge, M. and L. Wester: The assembly line model-mix sequencing problem, *Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Operations Research*, pp. 247-260 (1963).
- [14] Korkmaz, T. and S. Meral: Bicriteria sequencing methods for the mixed-model assembly line in just-in-time production systems, *European J. of Operational Research*, 131-1, pp. 188-207 (2001).
- [15] Kubiak, W.: Minimizing variation of production rates in just-in-time systems: a survey, *European J. of Operational Research*, 66, pp. 259-271 (1993).
- [16] 黒田: ラインバランシングとその応用, 日刊工業新聞社, pp. 127-149 (1984).
- [17] Leu, Y. Y., L. A. Matheson and L. P. Rees: Sequencing mixed-model assembly lines with genetic algorithms, *Computers & Industrial Engineering*, 30-4, pp. 1027-1036 (1996).
- [18] McMullen, P. R.: JIT sequencing for mixed-model assembly lines with setups using Tabu Search, *Production Planning and Control*, 9-5, pp. 504-510 (1998).
- [19] Miltenburg, J.: Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems, *Management Science*, 35-2, pp. 192-207 (1989).
- [20] Miltenburg, J. and T. Goldstein: Developing production schedules which balance part usage and smooth production loads for just-in-time production systems, *Naval Research Logistics*, 38-6, pp. 893-910 (1991).
- [21] Miltenburg, J. and G. Sinnamon: Scheduling mixed-model multi-level just-in-time production systems, *Int. J. of Production Research*, 27-9, pp. 1487-1509 (1989).
- [22] Miltenburg, J., G. Steiner and S. Yeomans: A dynamic programming algorithm for scheduling mixed-model, just-in-time production systems, *Math. Comput. Modeling*, 13-3, pp. 57-66 (1990).
- [23] Monden, Y.: *Toyota production system* (3rd Ed.), Engineering and Management Press, (1998).
- [24] Ng, W. C. and K. I. Mak: A branch and bound algorithm for scheduling just-in-time mixed-model assembly lines, *Int. J. of Production Economics*, 33, pp. 169-183 (1994).
- [25] Okamura, K. and H. Yamashina: A heuristic algorithm for the assembly line model-mix sequencing problem to minimize the risk of stopping the conveyor, *Int. J. of Production Research*, 17-3, pp. 233-247 (1979).
- [26] 柳, 野口, 鳩野, 富山, 田村: “塗装工程を含んだ JIT 生産システムにおけるスケジューリング手法”, 生産スケジューリング・シンポジウム '98 講演論文集, pp. 53-58 (1998).
- [27] Scholl, A.: *Balancing and sequencing of assembly lines*, Physica-Verlag, (1995).
- [28] Scholl, A., R. Klein and W. Domschke: Pattern based vocabulary building for effectively sequencing mixed-model assembly lines, *J. of Heuristics*, 4-4, pp. 359-381 (1998).
- [29] Smith, K., M. Palaniswami and M. Krishnamoorthy: Traditional heuristic versus Hopfield neural network approaches to a car sequencing problem, *European J. of Operational Research*, 93-2, pp. 300-316 (1996).
- [30] Steiner, G. and J. S. Yeomans: “Theory and methodology: Optimal level schedules in mixed-model, multi-level JIT assembly systems with pegging”, *European J. Operational Research*, Vol. 95, pp. 38-52 (1996).
- [31] Suliman, S. M. A., A. M. Al-Tamimi and G. M. Nawara: Computational methods for the mixed-model assembly line problem: a review, *J. of Engineering Sciences*, 11-2, pp. 241-271 (1985).
- [32] 田村, 龍, 大野: 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 (1997).
- [33] 田村, 龍, 大野: バイパスラインのある混合品種組立ラインにおける順序順序決定問題: 部品使用速度と作業

- 負荷の平準化, 日本機械学会論文集(C編), pp. 432-439 (1998).
- [34] Thomopoulos, N. T.: Line balancing-sequencing for mixed-model assembly, *Management Science*, 14-2, pp. B 59-B 75 (1967).
- [35] Tsai, L. H.: Mixed-model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor stoppage, *Management Science*, 41-3, 485-495 (1995).
- [36] Xiaobo, Z. and K. Ohno: Sequencing problem for a mixed-model assembly line in a JIT production system, *Computers & Industrial Engineering*, 27-1-4, pp. 71-74 (1994).
- [37] Xiaobo, Z. and K. Ohno: Algorithms for sequencing mixed models on an assembly line in a JIT production system, *Computers & Industrial Engineering*, 32-1, pp. 47-56 (1997).
- [38] Xiaobo, Z. and K. Ohno: Properties of a sequencing problem for a mixed model assembly line with conveyor stoppages, *European J. of Operational Research*, 124-3, pp. 560-570 (2000).
- [39] Xiaobo, Z. and Z. Zhou: Algorithms for Toyota's goal of sequencing mixed models on an assembly line with multiple workstations, *J. of the Operational Research Society*, 50-7, pp. 704-710 (1999).
- [40] Yano, C. A. and A. Bolat: Survey, development and application of algorithm for sequencing paced assembly lines, *J. of Manufacturing and Operations Management*, 2-3, pp. 172-198 (1989).