

# リエントラントラインにおける単一品種生産順序方式の複数品種化アルゴリズム ～ボトルネック装置の作業平準化に着目した拡張アルゴリズムの開発～ 泉宏明（広島エルピーダ）、高橋勝彦、森川克己、守田広太（広島大学）

## 1. はじめに

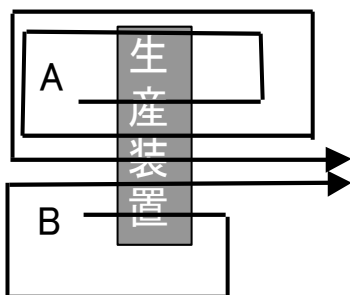
現在、広島エルピーダと広島大学にて、「半導体生産ラインの特性解析と生産方策の研究」というテーマにて、共同研究を行っている。本稿は、この共同研究成果である。

リエントラントラインの最も代表的な半導体量産ラインにおいては、装置故障や品質検査のため、ロットが停滞し、ラインバランスが崩れる場合が多々ある。このラインバランスが崩れた状態から、最速でラインバランスを戻す生産方式の研究を行った。この中で、FCFS(=First Come First Serve)の特性解析を行ったが、CONWIPを仮定すると、ロットの仕掛山が、そのまま移動していく現象を確認した。そこで、FCFSに変わる、L-BAL (Load BALancing Algorithm) [1][4]という、ライン平準化アルゴリズムを開発した。このL-BALは、単品種の場合の生産方式であった。続けてL-BAL生産方式を、複数品種に拡張する方法を研究した。その研究途中で、LBFS(=Last Buffer First Serve) 等[2]の以前より良く知られている、全ての単品種生産方式を、複数品種へ拡張するアルゴリズムを開発した。本稿は、このアルゴリズムの解説である。(尚、本アルゴリズムは特許出願中である。[5])

## 2. 従来の生産順序方式の複数品種への単純な適用

### 2.1 複数品種に対するFCFS

FCFS生産方式の特徴を非常に簡単な例で説明する。以下のように、同一ラインにおいて、複数の品種AとBが同時生産されており、品種Aは、3工程から成り、品種Bは、2工程から成るとする。品種Aは、A-1工程→A-2工程→A-3工程。品種Bは、B-1工程→B-2工程の作業順序。



また、A品種、B品種の全ての工程が、同一装置で作業が行われ、各工程の作業時間は1日とする。

ロットの初期状態が、A-1に3ロット、B-1に1ロット仕掛かっており、A-1の3ロットがB-1の1ロットよりも仕掛日時が古いとする。

以上の仮定の下に、生産方式がFCFSの場合の作業・仕掛状態テーブルを以下に示す。

FCFS	A品種			B品種	
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
初期状態	3	0	0	2	0
1日目	2	1	0	2	0
2日目	1	2	0	2	0
3日目	0	3	0	2	0
4日目	0	3	0	1	1
5日目	0	3	0	0	2
6日目	0	2	1	0	2
7日目	0	1	2	0	2
8日目	0	0	3	0	2

テーブルの見方は、初期状態で、仮定よりA品種のA-1工程に3ロット、A-2工程に0ロット、A-3工程に0ロット、B品種のB-1工程に2ロット、B-2工程に0ロット仕掛かっている。また、仮定より、A-1の3ロットが最も仕掛日時が古いので、灰色のセルの3ロットの内の1ロットが1日目に作業される。以下同様である。

このテーブルから分かる通りFCFSとCONWIPの仮定では、仕掛山が移っていく。

### 2.2 LBFSの複数品種への単純拡張

以降で示す、単純LBFSの場合の作業・仕掛状態テーブルは、以下の通りである。

単純LBFS	A品種			B品種	
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
初期状態	3	0	0	2	0
1日目	3	0	0	1	1
2日目	3	0	0	2	0
3日目	3	0	0	1	1
4日目	3	0	0	2	0
5日目	3	0	0	1	1
6日目	3	0	0	2	0
7日目	3	0	0	1	1
8日目	3	0	0	2	0

LBFS生産方式のために、各工程を最後に近いバッファを、A-3工程→B-2工程→A-2工程→B-1工程→A-1工程と仮に定義する。他の条件は、2.1章と同じである。結果、B品種ばかり生産されるという不具合が発生する。

## 3. 複数品種化アルゴリズム

第2章のFCFSの場合、仕掛日時は一意に特定できる概念のため、複数品種への拡張は自然に行われる。しかし、既に示した通り、仕掛山が移っていくという不具合が生じる。第3章のLBFSの場合、単純に拡張すると、或る品種のみ生産されるという不具合が生じる。つまり、複数品種に拡張

張する場合の要件は以下の通りである。

- ① それぞれの品種が投入した割合に応じて完成する。(特定の品種のみ生産されるという事が無い。)

この要件に以下の要件を加える。

- ② できるだけボトルネックの平準化生産を行う。  
複数品種化アルゴリズムを以下に示す。
- (1) 品種Aと品種Bの共通のボトルネックに着目する。[3]ボトルネック装置を特定する。
- (2) 品種Aと品種Bの投入割合を、  
品種A：品種B=M：N  
とする。
- (3) 品種Aのボトルネック工程の通過回数をPとし、  
品種Bのボトルネック工程の通過回数をQとする。
- (4) (2)と(3)より、品種Aのボトルネック必要作業数は、 $M \times P$ であり、品種Bのボトルネック必要作業数は、 $N \times Q$ である。
- (5) 品種Aと品種Bのボトルネック装置の作業手番を以下の通り決める。  
ここで、 $M=3$   $N=2$   $P=3$   $Q=2$  とする。

$$M \times P = 3 \times 3 = 9$$

$$N \times Q = 2 \times 2 = 4 \quad \text{である。}$$

品種A 1/9 2/9 3/9 4/9 5/9 6/9 7/9 8/9 9/9

品種B 1/4 2/4 3/4 4/4

この順番を元に、品種Aと品種Bの手番を

品種A→A→B→A→A→B→A→A→B→A→

A→B→A と定め、ボトルネック装置の作業順とする。

以上が、拡張アルゴリズムである。

#### 4. 提案アルゴリズムの適用

##### 4.1 LBFS に対する適用

第4章のアルゴリズムをLBFSに適用する。以下に、作業・仕掛状態テーブルを記す。

LBFS改	A品種			B品種	
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
初期状態(A手番)	3	0	0	2	0
1日目(A手番)	2	1	0	2	0
2日目(B手番)	2	0	1	2	0
3日目(A手番)	2	0	1	1	1
4日目(A手番)	3	0	0	1	1
5日目(B手番)	2	1	0	1	1
6日目(A手番)	2	1	0	2	0
7日目(A手番)	2	0	1	2	0
8日目(B手番)	3	0	0	2	0

このモデルの場合、全てがボトルネック工程である。初期状態から、まず作業品種を見る。そうすると、品種Aが手番である。品種Aを見て、品種Aの中で、LBFSを適用する。そうすると、A-1工程が作業対象ロットである。以下は同様。

##### 4.2 L-BAL に対する適用

以前開発したL-BALの内、最も単純な、各品

種の中で最も仕掛の多いところから作業するという生産方式を複数品種に適用してみる。(同じ仕掛量の時はLBFSとした。)以下に、作業・仕掛状態テーブルを記す。以下に示される通り、4つの生産方式で、最も仕掛分散が小さい。

L-BAL	A品種			B品種	
	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2
初期状態(A手番)	3	0	0	2	0
1日目(A手番)	2	1	0	2	0
2日目(B手番)	1	2	0	2	0
3日目(A手番)	1	2	0	1	1
4日目(A手番)	1	1	1	1	1
5日目(B手番)	2	1	0	1	1
6日目(A手番)	2	1	0	2	0
7日目(A手番)	1	2	0	2	0
8日目(B手番)	1	1	1	2	0

#### 5. 比較結果

結果を表にまとめると、以下ようになる。仕掛分散は、「L-BAL」が最も小さく、平準化生産が出来ている。完成ロットは、品種バランスを加味すると、「LBFS改」が最も良い。

生産方式	仕掛分散	完成ロット	
		A品種	B品種
FCFS	1.2	0	0
単純LBFS	1.42	0	4
LBFS改	0.93	2	1
L-BAL	0.67	1	1

#### 6. まとめ

本稿により、従来から良く知られているFCFSよりも、もっとライン平準化に適する生産方式や、直近の製品完成を目指すLBFS生産方式の複数品種への拡張ができた。今後、これらの生産方式を実際の量産ラインへ適用するためのロバストなシステム構築の研究が望まれる。

##### 【参考文献】

- [1] 守田広太、高橋勝彦、森川克己、泉宏明、“リエントラインに対する負荷平準化に基づく管理方法”(日本経営工学会平成19年度予稿集)
- [2] Lu, S. C. H., Ramaswamy, D., and Kumar, P. R “Efficient Scheduling Policies to Reduce Mean and Variance of Cycle-Time in Semiconductor Manufacturing Plants”, IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing, Vol. 7, No. 3, pp. 374-399(1994)
- [3] Miragliotta, G., Perona, M., “Decentralised, Multi-objective Driven Scheduling for Reentrant Shop: A Conceptual Development and A Test Case”. European Journal of Operational Research, Vol. 167, No3, pp. 644-662, (2005)
- [4] 泉宏明、高橋勝彦 特願 2006-052996 “生産管理方法及び生産管理システム”(2006. 02. 28)
- [5] 泉宏明、高橋勝彦、森川克己 特願 2007-014809 “生産管理方法及び生産管理システム”(2007. 1. 25)