

リエントラントラインに対する負荷平準化に基づく管理方式

広島大学 *守田 広太, 高橋 勝彦, 森川 克己

広島エルピーダ 泉 宏明

1. はじめに

本研究では、処理品目が同一のワークセンター (WC) に複数回到着するリエントラントラインについて考察する。リエントラントラインは処理品目の流れが複雑であるため、従来からどの工程の仕掛け在庫を優先して処理するかを決定するバッファ優先規則について、到着順に処理をする FCFS(First Come First Serve) や、残りの処理時間の短い順に処理をする SRPT(Shortest Remaining Processing Time) などが考えられてきた [1]。現在実際のラインでは、主に FCFS が用いられている。

しかし従来のバッファ優先規則では、ラインの仕掛け在庫がアンバランスになってしまい、工程によっては仕掛け在庫の増大を招いてしまうことがある。そこで本研究では、そのラインの仕掛け在庫のアンバランスを防ぐために、新たなバッファ優先規則である負荷平準化方式 L-BAL(Load BALancing) を提案し、従来のバッファ優先規則である FCFS, SRPT と特性を比較することで、その有効性を検証する。

2. 対象とするリエントラントライン

以下に対象とするリエントラントラインの例を示す。

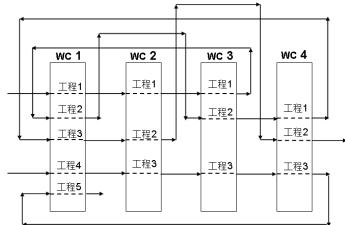


図 1: リエントラントラインの例

2.1. 前提条件

- ラインの生産品種は複数とし、それらの生産に生産比が指定されている。
- 各生産品種には固有の処理工程順序がある。
- ラインは複数の WC から構成され、各 WC は 1 つのサーバで構成されている。
- 各工程で待つ仕掛けに対するサーバの処理時間はそれぞれ独立な Γ 分布に従うものとする。

2.2. 複数品種のリエントラントライン

複数品種のリエントラントラインでは、(1) 生産比を守る、(2) 高い生産能力を維持する、(3) ラインの負荷のアンバランスを招かないことが求められている。このために、リエントラントラインの特徴を考慮した管理方式 [2] を考える必要があるが、ここではラインの投入規則として投入順序づけ CONWIP 方式を提案する。図 2 の投入規則の部分において次の投入品種を決定する。

投入順序づけ CONWIP 方式では、システム内の仕掛けが入庫すると同時に新たに投入する CONWIP 方式 [3] において、投入品種を、生産比逆数方式 [4] に基づき決定された投入順序サイクルに従い決定することとす

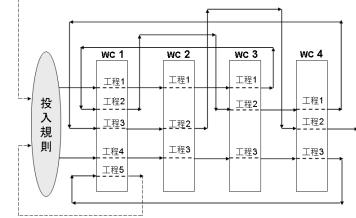


図 2: 投入規則による管理

る。この規則における投入順序サイクルの決定手順は以下のようになる。

手順 1 各品種の生産比 m_k の逆数 $\frac{1}{m_k}$ を求める (k は品種番号)。

手順 2 $\frac{1}{m_k}$ の値で 1 以下の整数倍の値を考え、それらを小さい順に並べる。対応する品種の順番が投入順序サイクルとなる。ただし、同じ値のものがあれば、1 つ前に投入する品種以外の品種の中で品種の認識番号 k の小さいものを選ぶ。

3. バッファ優先規則

3.1. 従来のバッファ優先規則

リエントラントラインを管理する方式の 1 つにバッファ優先規則がある。リエントラントラインでは、その特性上 1 つのサーバで複数の工程を取り扱うことになる。そのため、図 3 のように各 WC においてどの工程に溜まっている仕掛け在庫から優先的に処理を行うかを決定する必要がある。このルールがバッファ優先規則である。

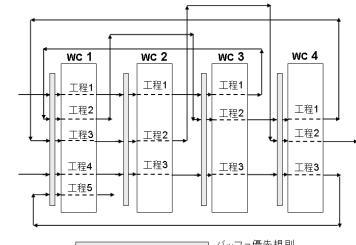


図 3: バッファ優先規則による管理

図 4, 5 は従来のバッファ優先規則である FCFS と SRPT の適用例である。

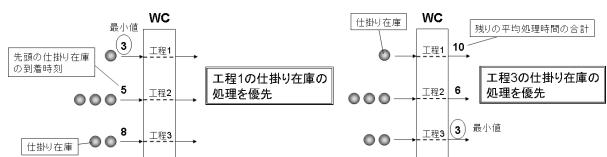


図 4: FCFS の適用例

3.2. 負荷平準化方式

本研究では、従来のバッファ優先規則である FCFS と SRPT に対して負荷平準化の考え方をもとにした規則 L-BAL を提案する。L-BAL では、以下の評価式で優先順位を決定することにより、仕掛け在庫が最も多く溜まっている工程の仕掛け在庫を優先的に処理する。もし

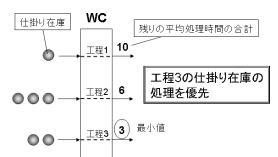


図 5: SRPT の適用例

最大値が 2 つ以上あれば j の小さい工程を優先する。

$$P_{max}(i) = \operatorname{argmax}_j(x_{i,j})$$

ただし、 $R_{max}(i)$ を WC i における最も高い優先順位をもつ工程、 $x_{i,j}$ を WC i 工程 j の仕掛け在庫数とする。図 6 に L-BAL の適用例を示す。

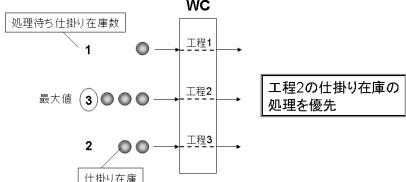


図 6: L-BAL の適用例

また、本研究では、ラインの WC のなかで最も仕掛けの溜まるボトルネックで適用するバッファ優先規則を変えて、他の WC では FCFS を適用するものとして比較を行う。

4. シミュレーション

4.1. 実験条件

FCFS, SRPT, そして L-BAL の 3 つのバッファ優先規則の特性を比較するためにシミュレーションを行った。実験モデルとして図 1 を用いた。各工程の平均処理時間は全て 3 とし、 $\Gamma(\alpha, \beta)$ のパラメータ α が 0.5, 1.0, 1.5 の 3 通りの場合で比較を行う。ただし、 $\Gamma(\alpha, \beta)$ の平均は $\alpha\beta$ 、分散は $\alpha\beta^2$ となる。また、システム内の仕掛け在庫の総数も 10, 20, 30 の 3 通り、生産比も 1:1 と 3:2 の 2 通りで比較を行った。シミュレーションは時間 0 から 4000 まで行う。

4.2. 実験結果

図 7 は、総仕掛け在庫 30、生産比 3:2 の場合で、FCFS, SRPT, L-BAL を適用した場合の WC 1 の工程一つあたりに溜まる仕掛け在庫数の分布である。上のグラフが $\alpha = 0.5$ の場合で下のグラフが $\alpha = 1.0$ の場合である。また、平均値を縦線で、標準偏差を横線で示している。

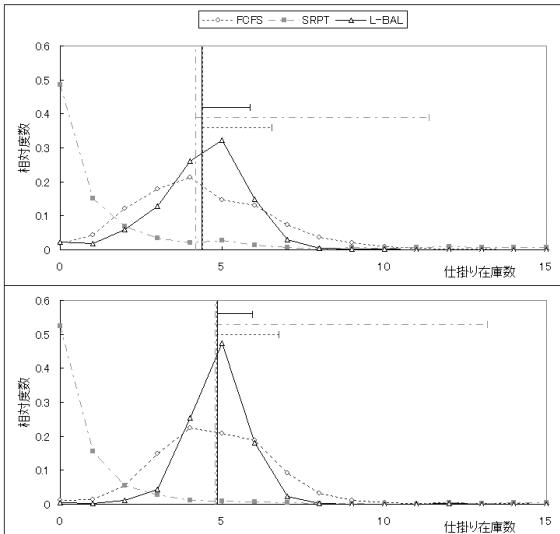


図 7: WC 1 の工程一つあたりに溜まる仕掛け在庫数の分布

表 1 に各条件における WC 1 の工程一つあたりに溜まる仕掛け在庫数の標準偏差を示す。

表 1: 実験結果

	総仕掛け在庫数	生産比	FCFS	SRPT	L-BAL
0.5	10	1:1	0.8907	1.5031	0.7830
		3:2	0.9307	1.5499	0.8043
	20	1:1	1.3938	4.0876	1.0530
		3:2	1.6431	3.7220	1.1583
		1:1	1.9809	6.6969	1.4049
		3:2	2.1335	7.1966	1.4953
1.0	10	1:1	0.7954	1.5784	0.6847
		3:2	0.8622	1.6402	0.7388
	20	1:1	1.1678	4.8726	0.7996
		3:2	1.3844	4.8185	0.9286
		1:1	1.4497	8.6346	0.9749
		3:2	1.9086	8.4142	1.0833
1.5	10	1:1	0.7623	1.6544	0.6404
		3:2	0.8273	1.7297	0.6834
	20	1:1	1.0258	5.1237	0.7089
		3:2	1.1684	5.2434	0.7462
		1:1	1.3422	9.1140	0.9147
		3:2	1.7752	9.2608	0.9110

表 1 より、L-BAL を適用した場合と FCFS を適用した場合は、 Γ 分布のパラメータ α の値が小さくなり、処理時間の変動が大きくなるに従って標準偏差は大きくなり、SRPT を適用した場合は逆に小さくなる傾向が見られた。また、FCFS を適用した場合は、生産比に差があるときやシステム内の総仕掛け在庫が大きくなるにつれて標準偏差は大きくなり、SRPT を適用した場合はシステム内の総仕掛け在庫が大きくなるにつれて標準偏差は他の規則と比較してかなり大きくなる傾向が見られた。しかし、L-BAL を適用した場合は標準偏差の増加が他の 2 つの規則と比較して小さいことが分かり、3 つの規則の中では、L-BAL を WC 1 に適用した場合がどの条件においても、標準偏差は最小となることが分かる。

5. おわりに

本研究では、リエントラントラインに対して新たなバッファ優先規則として負荷均等化に基づいた方式 L-BAL を提案し、従来の方式と比較して仕掛け在庫の変動を小さく抑えることを示した。今後の課題は、機械故障やメンテナンスによりラインの状態が変化したときにに対応できる管理方式が挙げられる。

参考文献

- [1] 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).
- [2] 泉宏明, 高橋勝彦, 森川克己, 守田広太, "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," 日本経営工学会平成 19 年度予稿集 (特願 2007-014809).
- [3] Kim, S., Davis, K. R., and Cox, J. F. III, "Investigation of flow mechanism in semiconductor wafer fabrication," International Journal of Production Research, Vol. 41, No. 4, 681-698(2003).
- [4] 村松林太郎著, "新版生産管理の基礎," 国元書房 (1970).