

## U字型生産ラインの性能評価

01505364

甲南大学

\* 平尾周平 HIRAO Syuhei

名古屋工業大学

中出康一 NAKADE Kouichi

名古屋工業大学

大野勝久 OHNO Katsuhisa

### 1. はじめに

U字型生産ラインとは、機械をU字型のレイアウトに配置し、比較的小さな部品や製品を一人もしくは複数の多能工により「一個流し」で生産する方式である(図1参照)。

このU字型生産ラインに関する理論的研究はこれまで [1] - [3] 等に示してきた。本研究は、これらの理論モデルをベースに、具体的な計算例を検討することにより、実際の設計段階での適用に関して、どのようなデータが得られるか、いろいろな角度から調べることにある。すなわち、アーラン分布の位相数の影響、多能工の作業時間や歩行時間の分散の影響、工程間のアンバランス等の影響を検討し、設計問題への何がしかの指針を得ることにある。

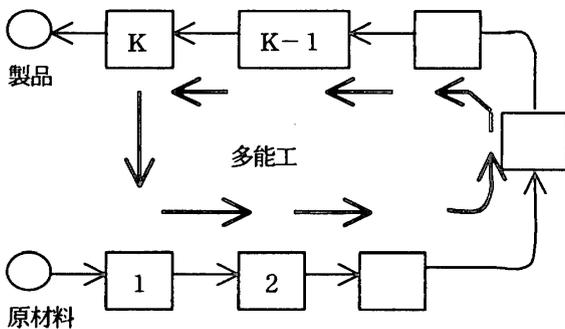


図1. 単一多能工によるU字型生産ライン

### 2. U字型生産ラインとその定式化

U字型生産ラインのマルコフ連鎖への定式化は、次のような仮定を置くと可能である。部品の加工時間、多能工の作業時間、および工程間の歩行時間は互いに独立で、同一の分布に従う確率変数列であり、加工時間はアーラン分布に従うものと仮定するのである。これらの仮定から、このU字型生産ラインは、多能工が機械に到着する時点、および機械から退去する時点に関するマルコフ連鎖として定式化できる。この定式化により、このマルコフ連鎖の定常確率を求め、U字型生産ラインの平均サイクル時間(多能工がU字型生産ラインを一巡する時間間隔)が計算できる [1]。

機械  $k$  におけるアーラン分布の位相数を  $h_k$ 、平均加工時間

を  $i_k = h_k / \lambda_k$  とし、 $s_k$  および  $r_k$  をそれぞれ平均作業時

間、平均歩行時間とする。また、機械  $k$  に到着した時点での各機械での状態をアーラン分布の位相数  $(p_1, \dots, p_K)$  と表

す。機械  $k$  における平均待ち時間  $E[W_k]$  および平均サイク

ル時間  $E[C]$  は、機械  $k$  における到着時点での定常確率分布

を  $\pi_k^a(p_1, \dots, p_K)$ 、 $C_n$  を  $n$  回目のサイクル時間として、

$$E[W_k] = \sum_{p_k=1}^{h_k} \frac{p_k}{\lambda_k} \sum_{p_1=0}^{h_1} \dots \sum_{p_{k-1}=0}^{h_{k-1}} \sum_{p_{k+1}=0}^{h_{k+1}} \dots \sum_{p_K=0}^{h_K}$$

$$\pi_k^a(p_1, \dots, p_K). \quad (1)$$

$$E[C] = \lim_{n \rightarrow \infty} E[C_n]$$

$$= \sum_{k \in K} \{s_k + r_k\} + \sum_{k \in K} E[W_k]. \quad (2)$$

となる。

この定式化に基づくアルゴリズムを用いて、作業時間と歩行時間、アーラン分布の位相数をさまざまに変化させた時の平均サイクル時間を分析することにより、実際のU字型生産ラインの設計に関する有効なデータがえられるか検討できる。

### 3. 計算結果と検討

[3]では、加工時間、作業時間、歩行時間がすべて確定的な場合を論じ、サイクル時間  $C$  が

$$C = \max \left\{ \max_k \{i_k + s_k\}, \sum_{j \in K} (r_j + s_j) \right\} \quad (3)$$

で与えられることを示している。多くの現実のU字型生産ラインでは、多能工が待つことは比較的少なく、 $\max_k \{i_k + s_k\}$

$< \sum_{j \in K} (r_j + s_j)$  が成り立つものと思われる。したがって、

$$\max_k \{i_k + s_k\} < \sum_{j \in K} (r_j + s_j) \text{ が成り立ち、}$$

$$\max_k \{i_k + s_k\} \text{ と } \sum_{j \in K} (r_j + s_j) \text{ との差があまり大きくない}$$

状況を考える。以下の数値例では、工程数を4とし、各工程の

加工時間は同一のアーラン分布に従い、作業時間と機械間の歩行時間は各々同一の一様分布に従うものと仮定している。

まず、作業時間と歩行時間の分散が平均サイクル時間にどの程度の影響を及ぼすかを調べた。作業時間および歩行時間を一様分布と仮定した時には、それぞれの分散が平均サイクル時間に及ぼす影響がほとんどない、という事が示された。具体的には、各機械での作業時間  $s_k$  が各々 [3.0, 5.0], [2.0, 6.0],

[1.0, 7.0] 上の一様分布(平均 4)に従い、歩行時間  $r_k$  が各々 [0.75, 1.25], [0.5, 1.5], [0.25, 1.75] 上の一様分布(平均 1)に従う時の平均サイクル時間を計算したところ、加工時間分布の位相数など他の条件が同じなら、分散の大きさがサイクル時間にほとんど影響をおよぼさないという結果が得られた。

次いで、平均サイクル時間に及ぼす加工時間分布の位相数の影響を調べた。加工時間分布の位相数が増加、すなわち分散が減少すれば、平均サイクル時間が短縮されることが示された。各機械での平均加工時間を一定にして、位相数を1から6まで変化させてサイクル時間を計算してみたのであるが、位相数の増加に応じてサイクル時間が減少することが示された。計算時間の関係上位相数を7以上に増やした場合の計算結果はえられていないが、シミュレーション上では確認できている。

最後に、工程間の加工時間にアンバランス、すなわち加工に長時間を要する工程がある場合に、その長時間工程を分割したり、逆に、隣接する短時間工程を統合することによる平均サイクル時間の変化も調べてみた。この均衡点は、 $\max_k \{i_k + s_k\}$  と、 $\sum_{j \in K} (r_j + s_j)$  との値が等しくなる点に一致している。この事から、 $\max_k \{i_k + s_k\} > \sum_{j \in K} (r_j + s_j)$  の場合には工程を分割したほうが、逆に

$$\sum_{j \in K} (r_j + s_j) > \max_k \{i_k + s_k\}$$

の場合には工程を統合したほうが、平均サイクル時間が短縮されることが示された。たとえば3工程と4工程のU字型生産ラインで、各工程の加工時間がそれぞれ (10, 16, 10) と (10, 8, 8, 10) のばあい、

$$\max_k \{i_k + s_k\} \text{ と、 } \sum_{j \in K} (r_j + s_j) \text{ との値が等しくなるとい}$$

う条件で平均サイクル時間がほぼ均衡していることが示された(表1)。したがって、生産ライン内部にこれ以上のアンバランスが生じた時には3工程を4工程に分割したり、4工程を3工程に統合したほうが、数値例に関する限り、望ましいことが示された。

#### 4. おわりに

われわれは主として文献 [1] に基づいてU字型生産ラインをモデル化し、この生産ラインに関するさまざまな数値結果を得た。

より一般的な加工時間分布に対するアルゴリズムの開発が残された課題である。

#### 参考文献

- [1] 中出康一, 大野勝久, 多能工持ち生産ラインにおける平均サイクルタイムの解析, 情報通信ネットワークに関する性能評価モデルの総合的研究シンポジウム報告集, 404-413, 1995
- [2] Nakade, K., Ohno, K., and Shanthikumar, J. G., "Bounds and Approximations for Cycle Times of a U-shaped Production Line," *Operations Research Letters*, vol.21, no.4, pp.191-200, 1997.
- [3] Ohno, K., and Nakade K., "Analysis and Optimization of a U-shaped Production Line," *Journal of the Operations Research Society of Japan*, vol.40, pp.90, 104, 1997.

表1. 工程の分割(統合)と平均サイクル時間の関係

a) 工程数=3, 位相数=(4, 4, 4)				→	b) 工程数=4, 位相数=(4, 2, 2, 4)				
平均加工時間			平均サイクル時間		平均加工時間				平均サイクル時間
$i_1$	$i_2$	$i_3$		$i_1$	$i_2$	$i_3$	$i_4$		
10	20	10	24.9757	10	10	10	10	22.6466	
10	18	10	23.3183	10	9	9	10	22.1077	
10	16	10	21.7965	10	8	8	10	21.6739*	
10	14	10	20.4587	10	7	7	10	21.3508	
10	12	10	19.3593	10	6	6	10	21.1363	