

組立ラインの数量的分析

尾藤 信 寺本 和幸

A Numerical Analysis of Assembly Line

Makoto BITOH, Kazuyuki TERAMOTO

In this paper we describe an experimental study of a numerical analysis on assembly line.

The assembly line balancing problem and persone assignment problem was analyzed by simulation of a Monte Calro methods.

Process formation is analyzed by waiting lines model.

The experimental results which were obtained in the way described above are shown in 4.

1. 目的

本研究は、組立ラインのモデルを選び、ラインバランシングのための工程数の決定、コンベアの人員配置、コンベアの数などの決定に数値的な分析を行った。それにもとづき、コンベアシステムの検討、工程編成については待ち列モデルによって解析を行った。

2. 対象工場の組立ラインのモデル

対象となったM工場は小型交流電動機の製造を行っている。各工程は、巻線工程・ステータ工程・ロータ工程・組立工程・試験工程になっている。そこで研究対象に選んだのは、この工場で中心問題としてウエイトの大きい組立ラインについてである。現状ではこの組立ラインの作業工程は表1に示すように5工程からなっている。また人員配置は図1のごとくである。

表1. 組立ラインの工程

工程	作業名	人員	時間(秒)
1工程	ゴムプッシュ入れ ホコリ取り	1	24
2工程	リード出し	1	21
3工程	スイッチ取付 スイッチにリード線の取付	1	41
4工程	ローターをフレームに挿入 ブラケット付	1	26
5工程	ネジしめ	1	20
		5	132

標準時間合計 132秒
 損失時間合計 73秒
 アンバランス率 $Pub = 73/132 \times 100 = 55.3(\%)$
 1日の生産高 670個

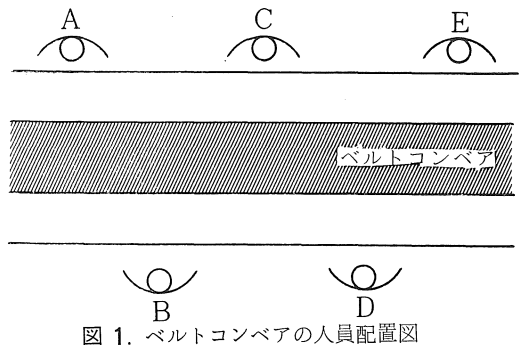


図1. ベルトコンベアの人員配置図

3. 分析方法と分析結果

3-1 工程数の決定

モータの組立にかかる要素作業の時間は表に示す。

表2. 要素作業の時間

No.	作業名	時間	累計
1	ゴムプッシュ入れ	6 (秒)	6 (秒)
2	ホコリ取り	18	24
3	リード線出し	21	45
4	スイッチ取付	20	65
5	スイッチにリード線の取付	21	86
6	ローターをフレームに挿入	17	103
7	ブラケット付	9	112
8	ネジしめ	20	132

このデータをもとにして、要素作業時間の合計($\sum iti$)を求め、サイクルタイムで割ったものが適性な工程数である。

$$n = \frac{\sum iti}{C} \quad n: \text{工程数} \\ C: \text{サイクルタイム}$$

n は工程数、 c はサイクルタイムであるから何れも整数である。そこで n が整数になる場合の C の値は、これら素因数の可能なすべての組合せ時間値の積の場合のみ可能である。すなわち、 $132\text{秒} = 2 \times 2 \times 3 \times 11$ 表2より t_{\max} (ネック工程の標準時間)は21秒、 $\sum iti$ は132秒であるから表3の判定が出来る。

表3. サイクルタイムと判定

サイクルタイム	組 合 せ	時間値	判 定
C_1	2×2	(秒) 4	
C_2	2×3	6	
C_3	2×11	22	○
C_4	$2 \times 2 \times 3$	12	
C_5	$2 \times 2 \times 11$	44	○
C_6	$2 \times 3 \times 11$	66	○
C_7	$2 \times 2 \times 3 \times 11$	132	○

○印>21秒

よって、サイクルタイム C_3, C_5, C_6, C_7 のステーションの数を求めると

$$C_3 \dots \dots n_1 = 132/22 = 6 \\ C_5 \dots \dots n_2 = 132/44 = 3 \\ C_6 \dots \dots n_3 = 132/66 = 2 \\ C_7 \dots \dots n_4 = 132/132 = 1$$

以上の結果、完全な工程のバランスは表4の場合の時のみ達成できる。

表4. ステーションの数とサイクルタイムの比較

N_i	ステーションの数	サイクルタイムの時間
1	1	132 (秒)
2	2	66
3	3	44
4	6	22

3-2 工程順位の決定

工程順位の決定を行うために、サイクルタイムに適合する夫々の工程時間の分割と統合を行う。ただし要素作業の順序関係を決定する場合には、次のような条件によって決定される。

- 1) 構成部品あるいは単位部品の組立順序による技術

的制限

- 2) ラインに固定された設備や機械による制限
- 3) 作業者の位置的制限
- 4) 生産数量が少ない場合には少ないステーション、生産数量が多い場合には多いステーションに決定される制限

以上の条件のもとに、第1案、第2案をつくってみた。

表5. 第 1 案

工 程	作 業 名	人 員	時 間
1 工程	ゴムプッシュ入れ	(人) 1	(秒) 24
	ホコリ取り		
2 工程	リード出し	1	21
3 工程	スイッチの取付	1	20
4 工程	スイッチにリード線の取付	1	21
5 工程	ローターをフレームに挿入	1	26
	ブラケット取付		
6 工程	ネジしめ	1	20
		6	132

標準時間合計 132秒
 損失時間合計 24秒
 アンバランス率 $Pub = 24/132 \times 100 = 18.2 (\%)$
 1日の生産高 1255個

表6. 第 2 案

工 程	作 業 名	人 員	時 間
1 工程	ゴムプッシュ入れ	(人) 1	(秒) 45
	ホコリ取り		
	リード出し		
2 工程	スイッチの取付	1	41
	スイッチにリード線の取付		
3 工程	ローターをフレームに挿入	1	46
	ブラケット取付		
	ネジしめ		
		3	132

標準時間合計 132秒
 損失時間合計 6秒
 アンバランス率 $Pub = 6/132 \times 100 = 4.6 (\%)$
 1日の生産高 627個

3-3 工程編成の評価と検討

組立ラインのモデルは表7に示すごとく、6つの作業ステーションで編成されている。最初の作業ステーションAの組立作業を行い、ベルトコンベアで次の作業ステーションBに送り、同時にBからC、CからE、EからFへと組立作業を経ていく。また各組立作業の所要時間と度数は表8に示す。

表7. 作業と先行関係

作業名	作業記号	先行作業	後続作業
ゴムプッシュ入れ	A	ナシ	B, C
ホコリ取り	B	A, C	C, D
スイッチの取付	C	A, B, D	B, D
スイッチにリード線の取付	D	B, C	C, E
ローターをフレームに挿入	E	C, D	F
ブラケット取付	F	E	ナシ

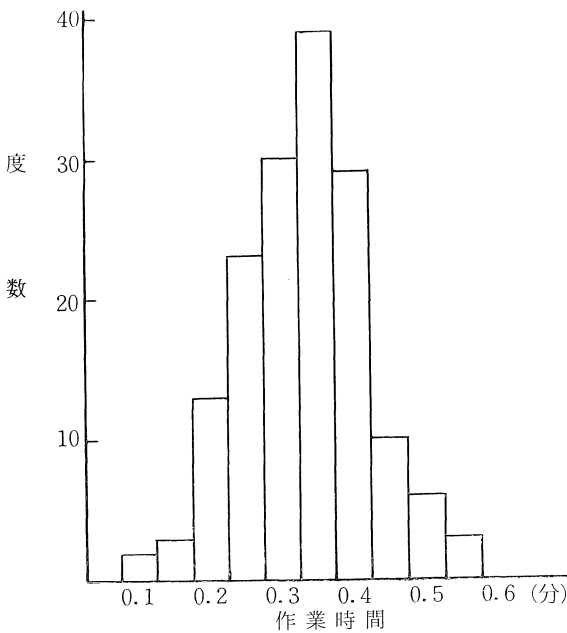


図2. 作業時間分布

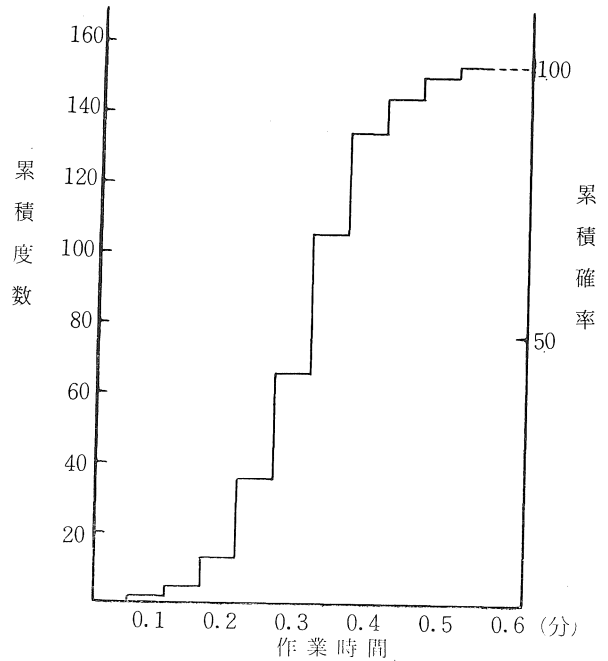


図3. 作業時間累積確率分布

データを分析するにあたって Monte Carlo法を適用する。そこで表8の各作業についての度数を累積して累積確率分布図を作成した(図2)。この分布に乱数表から2桁の数字を選び、図3の累積確率に対応させそれぞれの時間値を選ぶ。このようにして作業の時間を再現したのが表9である。そして表9を使い組立ラインにおける、作業の状態を再現すると表10のようになる。ここでは、紙面の都合から表10だけにとどめたが、個々の組合せについては結果のみを次に示す。

1) AとBとのシミュレーションの結果

作業Bの遊び時間=0.95分
 品物の待ち時間=55.55分
 AとBの間にある品物の
 平均個数=1.428個

Aの平均生産高=156.45個/時

Bの平均生産高=158.10個/時

(手待ち時間を除く)

AとBの総体生産高=154.24個/時

他に、作業BとC、CとD、DとE、EとFについても同様に分析をする。

2) BとCの場合

作業Cの遊び時間=21.65分

品物の待ち時間 = 0.2分

BとCの間にある品物の

平均個数=0.004個

表8. 組立作業の所要時間と度数

作業 A		作業 B		作業 C		作業 D		作業 E		作業 F	
時間	度数	時間	度数	時間	度数	時間	度数	時間	度数	時間	度数
^(分) 0.10	2	^(分) 0.10	0	^(分) 0.10	2	^(分) 0.10	0	^(分) 0.10	0	^(分) 0.10	2
0.15	3	0.15	2	0.15	3	0.15	2	0.15	2	0.15	3
0.20	5	0.20	6	0.20	8	0.20	12	0.20	1	0.20	2
0.25	4	0.25	9	0.25	23	0.25	16	0.25	8	0.25	21
0.30	6	0.30	20	0.30	30	0.30	24	0.30	18	0.30	39
0.35	25	0.35	27	0.35	39	0.35	49	0.35	38	0.35	40
0.40	39	0.40	30	0.40	29	0.40	28	0.40	49	0.40	32
0.45	31	0.45	31	0.45	10	0.45	18	0.45	29	0.45	10
0.50	20	0.50	10	0.50	6	0.50	3	0.50	6	0.50	3
0.55	18	0.55	17	0.55	3	0.55	1	0.55	2	0.55	1
計	153	計	153	計	153	計	153	計	153	計	153

表9. 作業 C の時間値サンプル

矩形乱数	時間値	矩形乱数	時間値	矩形乱数	時間値	矩形乱数	時間値
19	^(分) 0.25	55	^(分) 0.35	12	^(分) 0.25	35	^(分) 0.30
70	0.40	86	0.40	08	0.20	75	0.40
74	0.40	60	0.35	73	0.40	17	0.25
50	0.35	26	0.30	64	0.35	70	0.40
85	0.40	09	0.20	36	0.30	40	0.30
16	0.25	17	0.25	42	0.30	74	0.40
88	0.45	33	0.30	51	0.35	29	0.30
45	0.35	84	0.40	56	0.35	81	0.40
83	0.40	15	0.25	71	0.40	73	0.40
38	0.30	17	0.40	03	0.15	95	0.50
31	0.30	44	0.35	31	0.30	86	0.40

Σ=32.65 (分)

Bの平均生産高=112.359個/時

Cの平均生産高=183.767個/時

(手待ち時間を除く)

EとCの総体生産高=112.3個/時

3) CとDの場合

従業Dの遊び時間=1.80分

品物の待ち時間 =81.70分

CとDの間にある品物の

平均個数=2.308個

Cの平均生産高=176.991個/時

Dの平均生産高=176.991個/時

(手待ち時間を除く)

CとDとの総体生産高=169.5個/時

表10. AとBとのシミュレーションの結果

作業Bに着手 できる時刻	作業B 開始時刻	作業B 終了時刻	作業B 遊び時間	品物の 遊び時間	コンベア上で遊ん でいる品物の個数
(分) 0.00	(分) 0.00	(分) 0.30	(分) 0	(分) 0	(個) 0
0.45	0.45	0.80	0.15	0	0
0.85	0.85	1.20	0.05	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
37.15	37.70	38.00	0	0.55	2
37.65	38.00	38.55	0	0.35	2
38.00	38.55	38.90	0	0.55	1
			$\Sigma=0.95$	$\Sigma=55.55$	$\Sigma=200$

4) DとEの場合

作業Eの遊び時間=0分

品物の待ち時間=224.05分

DとEの間にある品物の

平均個数=5.97個

Dの平均生産高=176.470個/時

Eの平均生産高=155.844個/時

(手待ち時間を除く)

DとEとの総体生産高=160個/時

5) EとFの場合

作業Fの遊び時間=2.10分

品物の待ち時間=18.05分

EとFの間にある品物の

平均個数=0.503個

Eの平均生産高=167.131個/時

Fの平均生産高=178.042個/時

(手待ち時間を除く)

EとFとの総体生産高=167.4個/時

次に、作業ステーションの入れかえによる遊び時間と待ち時間、それに総体生産高がどのように変化するかを検討してみた。

6) BとCを入れかえた場合

作業Bの遊び時間=0分

品物の待ち時間=1084.0分

BとCの間にある品物の

平均個数=20.3個

Bの平均生産高=112.254個/時

(手待ち時間を除く)

Cの平均生産高=183.767個/時

BとCとの総体生産高=112.3個/時

7) CとDを入れかえた場合

作業Cの遊び時間=0.90分

品物の待ち時間=44.50分

CとDの間にある品物の

平均個数=1.288個

Cの平均生産高=176.991個/時

(手待ち時間を除く)

Dの平均生産高=176.991個/時

CとDとの総体生産高=173.66個/時

その結果、BとCについては入れかえなしの方が良いが、CとDについては入れかえた方が良いといえる。そこで工程編成は作業ステーションA・B・D・C・E・Fの順が最良になるものと推定された。

4. 考察と結論

- 1) 調査時の工程数は5工程であった。分析の結果、適性工程数は6工程(サイクルタイム22秒)であることがわかった。
- 2) 損失時間合計が73秒から24秒に減少した。
- 3) アンバランス率
 $P_{ub} = 55.3\%$ から18.18%に減少
- 4) 1日の生産高が670個から1255個(但し組立ラインの作業人員1名増加)に推定される。
- 5) 工程編成については第1案について評価した。資料は表2の要素作業時間を基に各作業AからFまで(表7)を、Monte Carlo法によってそれぞれ再現した。その際AとB、BとC、……EとFのシミュレーションの結果、作業遊び時間、品物の待ち時間、AとB、BとC、……EとFにある品物の平均個数、平均生産高、総体生産高を求めることが出来た。その結果、作業CとDを入れかえて、工程編成

をA・B・D・C・E・Fの順にするのが最良であると推定された。

今後はさらにこの資料を基に、巻線工程・ステータ工程・ロータ工程・組立工程・試験工程の相互的な関係を数値的に把握して、設備計画やレイアウト等の評価・設計・計画へ発展させていきたい。

参 考 文 献

- 1) 春日井博, 黒田充 `流れ作業モデルのシミュレーションによる解析、JIMA27 (1963) P20~23
- 2) 村松林太郎・春日井博・黒田充
`流れ作業システムの動特性研究、
I・E, 1963年6月 P539~548
- 3) 工藤市兵衛・寺本和幸 `シミュレーションによる組立ラインの解析、日本工業経営学会春季研究発表会予稿集 (1970) P23~28
- 4) 前島健治, 小熊邦裕 `ラインバランスの実例、オペレーションズ・リサーチ (1968) 3月
P 26~30
- 5) 増田健一 `Simulation による焼鈍工場の調査、オペレーションズ・リサーチ Vol. 7 No. 2
P 36~40
- 6) 経営科学研究会 `シミュレーション入門
日刊工業新聞社 昭和42
- 7) 宮武修, 中村隆 `モンテカルロ法、
日刊工業新聞社 昭和42年