

個別受注生産工場の動特性（その2）

服 部 寛

Dynamic Characteristics of The JOB Shop (2)

Hiroshi HATTORI

I have continued my studies on the dynamic characteristics of the job shop, using computer simulation. I contrived some methods of process analysis, such as, " Analysis by a given From To Matrix ", " Static/Dynamic Comparison Method " and " Evaluation Method of Production Capacity depending on Delay Time ". And I described, in this paper, how to use these methods. As a next step in this study, I will follow my re-search on the relationship between the production load and capacity of the jobshop.

まえがき

個別受注生産工場の動特性把握方法を明確にするため、シミュレーションを主要なツールとして研究を進めてきた。まだ中間段階であるが、二、三の分析法および生産能力推定法を考案したのでその使用法を述べる。

1. 個別受注生産工場のシミュレーション（例1）

1.1 モデル工場の概要

ある小規模な機械工場を考える。この工場の設備は、旋盤(ELA)4台・フライス盤(ML)3台・ボール盤(DR)1台・研削盤(GR)2台である。この工場で加工される部品の加工経路は、表1. のFROM TO MATRIX で表される。この工場への部品加工オーダーは、平均値 0.275単位時間の負の指数分布に従う間隔で発令される。また作業時間の分布は、次の通りであるとする。

旋盤	平均値	1.55単位時間の負の指数分布に従う
フライス盤	"	1.00 "
ボール盤	"	0.40 "
研削盤	"	1.45 "

1.2 FROM TO MATRIX による工程分析

上記のモデル工場に1,000件のオーダーが投入された場合、各機械で何件の作業が必要になるかを見積る。その結果を表1.の下段に示す。この表から次のようなことが読取れる。

- (1) この工場に、1,000件のオーダーが投入されたとすると、その60%(600件)は第1工程がELAである。同様に30%(300件)がML、5%(50件)がDR、5%(50件)がGRである。
- (2) 第2工程は、3.3%がELA、36.75%がML、24.5%がDR、7.5%がGRである。そして27.95%が第1工程だけで加工が完了する。
- (3) 平均工程数は2.3、工程数2~5のものだけで、全体の97.4%を占める。
- (4) 99.9%のオーダーが9工程までで加工が完了する。最大15工程で加工完了するものが、僅かに0.001%だけだが存在する。
- (5) 1,000件のオーダーが投入されると、ELAは707件の作業が必要である。同様にMLは789件、DRは495件、GRは313件の作業が必要である。
- (6) この分析方法を『FROM TO MATRIXによる工程分析法』と名付ける。

表1. FROM TO MATRIX とそれに基づく作業件数の見積

FROM	TO				
	ELA	ML	DR	GR	OUT
IN	.60	.30	.05	.05	.00
ELA	.00	.60	.25	.05	.10
ML	.10	.00	.30	.10	.50
DR	.05	.10	.00	.30	.55
GR	.01	.05	.10	.00	.84
<hr/>					
NO. OF ORDERS	1 600.00	300.00	50.00	50.00	0.00
	2 33.00	367.50	245.00	75.00	279.50
= 1000	3 49.75	48.05	126.00	111.90	384.80
	4 12.22	48.05	38.04	45.09	192.30
	5 7.16	13.39	21.98	16.83	84.05
	6 2.61	7.33	7.49	8.29	33.64
	7 1.19	2.73	3.68	3.11	15.01
	8 0.49	1.24	1.43	1.44	6.12
	9 0.21	0.51	0.64	0.58	2.66
	10 0.09	0.22	0.26	0.25	1.11
	11 0.04	0.09	0.11	0.10	0.47
	12 0.02	0.04	0.05	0.04	0.20
	13 0.01	0.02	0.02	0.02	0.08
	14 0.00	0.01	0.01	0.01	0.04
	15 0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
	16 0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	17 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<hr/>					
TOTAL	706.78	789.17	494.71	312.67	1000.00

1.3 FROM TO MATRIX による（静的な）負荷分析

次に各機械の作業時間を見積った結果を表2.に示す。この表から次のことが読取れる。

- (1) この表から見る限り、推定負荷時間を機械台数で割った1台当り推定負荷は、200~270単位時間で、概ねバランスしているように見える。

表2. FROM TO MATRIX に基づく静的な負荷分析

NO. OF ORDERS	NAME OF MACHINE	ELA	ML	DR	GR	REMARKS
1000	NO. OF M/C	4	3	1	2	
	AV. OP TIME	1.55	1.00	0.40	1.45	
	NO. OF OP.	706.78	789.17	494.71	312.67	表2. から
	EV. LOAD	1,095.51	789.17	197.88	453.37	(AV. OPS TIME) x (NO. OPS)
	EV. LOAD/MC	273.88	263.06	197.88	226.69	(EV. LOAD)/(NO. M/C)
	LOAD RATIO	1.04	1.00	0.75	0.86	ML=1.00とする

- (2) しかし上の数値は、1,000件のオーダーが投入されその加工が全て完了するまで、新しい。

オーダーは投入されないと言う状況の下での推定値である。次々とオーダーが投入されるダイナミックな状況の下では、果たしてどうか、断言は出来ない。

(3) この分析方法を『FROM TO MATRIXによる（静的な）負荷分析法』と名付ける。

1.4 静的な負荷分析とシミュレーション結果との比較

モデル工場の負荷状況を概観するために、生産システム・シミュレーター WITNESSを用いてシミュレーションを行った。条件は前記の通りである。シミュレーション時間は1,000単位時間で、表3. は時刻1,000から2,000までの1,000単位時間の統計を示す。

シミュレーションを実行することにより、静的な分析だけでは見通せなかったモデル工場の色々な側面が見えてくる。その代表的なものが、平均仕掛け数（AV. W. I. P）平均滞留時間（AV. TIME）、平均加工待部品数、平均加工待時間、稼働率である。

表4. は静的な分析とシミュレーションの結果を対比したものである。これにより、両者が幾つかの点でかなり良く一致していることが見出せる。

表3. モデル工場の稼働状況

投入 NO. 部品数	完成 部品数	AV. W. I. P	AV. TIME	機 械 グループ	平均加工 待部品数	平均加工 待 時間	号機	作業数	稼働率
1	3,626	3,564	47.60	ELA	20.48	8.11	1	620	97.55%
							2	605	97.28
							3	650	97.81
							4	620	97.09
							計	2,495	97.55
				ML	11.65	4.15	1	966	92.45
							2	866	91.50
							3	955	91.10
							計	2,787	91.68
				DR	1.75	0.98	1	1,788	70.36
							計	1,129	85.35
				GR	4.67	4.12	1	569	85.14
							2	560	85.56
							計	1,129	85.35

この分析方法を『静態／動態対比分析法』と名付ける。シミュレーションを用いて工程分析を行なうに当り、シミュレーションが真に迫っていればいる程、システムの動きをどの程度忠実に反映しているか否か、検証する必要がある。検証の結果、否定的な結論を出すことは難しくないが、肯定的な結論を出すための決定的な決め手はない。上記のような対比分析の方法は幾つでも必要である。

表4. 静的な負荷分析とシミュレーション結果との対比

2. 個別受注生産工場のシミュレーション（例2）

表3. を見ると、ELAおよびMLの稼働率は97.55%および91.68%で、工場全体として過負荷である。この過負荷状態を解消する方策として、高性能機の導入と機械の増設を考える。

項目	オーダー1,000件当り作業件数		稼働比率	
	静的な分析	シミュレーション ⁽¹⁾	静的な分析 ⁽²⁾	シミュレーション ⁽²⁾
ELA	706.78	688.09	1.04	1.07
ML	789.17	768.62	1.00	1.00
DR	494.71	493.11	0.75	0.77
GR	312.67	311.36	0.86	0.94

(注) ⁽¹⁾ 作業件数計／投入部品数 × 1,000 ⁽²⁾ 稼働率の比率、MLを1.00とする
⁽²⁾ EV. LOAD/MCの比率、MLを1.00とする

それらがどのような意味をもつか、シミュレーションにより検討する。

表5. 過負荷対策の検討

2.1 過負荷対策効果

表3. によれば、稼働率が97.55%と最も高く、平均加工待ち部品数も20.48と一番多いのは旋盤である。当然加工待ちのための停滞時間も旋盤が8.11単位時間と最も長い。そこで旋盤の台数を4台から5台に増やすことを考える。また現有の旋盤を全数更新し、その約2.4倍の性能をもつ高速旋盤の導入を検討する。これらの対策効果をシミュレーションによって調べる。

シミュレーションは、(1)現有設備の場合[モデルB]、(2)旋盤を増設した場合[モデルM]、(3)高速旋盤に更新した場合[モデルH]の3通りについて、各5回行った。シミュレーションは6,000単位時間行なった。最初の1,000単位時間はウォーミングアップとし、残りの5,000単位時間を1,000単位時間×5回のシミュレーションと見做した。その結果を表5. に示す。

項 目	現有設備の場合	旋盤増設の場合	旋盤更新の場合
AV. NO. ENTERED	3,659.60	3,630.60	3,633.
AV. NO. SHIPPED	3,600.20	3,596.20	3,594.
AV. W. I. P	51.63	31.91	30.51
AV. TIME	14.11	8.78	8.39
AV. BUFFER SIZE			
ELA	23.90	2.00	3.48
ML	13.12	15.38	14.95
AV. BUFFER TIME			
ELA	9.39	0.79	1.38
ML	4.60	5.39	5.24
AV. NO. OPS			
ELA	2,526.40	2,524.00	2,523.40
ML	2,828.00	2,824.20	2,823.60
AV. % BUSY			
ELA	97.63	77.72	81.83
ML	95.32	94.85	91.21

表6. モデルの記号とシミュレーション・パラメータ

項目	番号	1	2	3	4	5
モデル記号	JS_15H	JS_15HL	JS_15HLB	JS_15HLC	JS_15HLD	
	M	ML	MLB	MLC	MLD	
	B	BL	BLB	BLC	---	
オーダー発令間隔	0.280	0.275	0.270	0.265	0.260	

(注)記号H, M, Bの意味; Bは現有設備の場合、Mは旋盤を4台から5台に1台増設した場合、Hは現有5台の旋盤を高性能旋盤2台に更新した場合を表す。

表5. から次のことが読取れる。

- (1) 投入された部品オーダーの件数ならびに加工完了した部品件数は、どのケースにおいても大差ない。これはオーダー発令間隔が同じであるから当然である。
- (2) 平均仕掛り件数ならびに平均仕掛り時間は、[モデルB]に比べ、[モデルMおよびモデルH]においては約40%減となっている。
- (3) 加工待ち部品件数ならびに加工待ち時間は、[モデルB]に比べ[モデルMおよびモデルH]の場合、ELAにおいて約10分の1に低下しているが、MLにおいては逆に14~17%増加している。
- (4) 作業件数には殆ど変化が見られない。
- (5) 機械稼働率は、[モデルB]に較べて[モデルMおよびモデルH]の場合、ELAは17~19ポイント低下しているが、MLにはあまり大きな変化は見られない。

以上のことから、増設にせよ更新にせよ、何れの場合も旋盤に若干の余裕が出来て、隘路工程がELAからMLに移ったことが確認される。

2.2 生産能力増強効果

前記の対策が生産能力の増強に有効か否かを判断するため、さらに色々なケースについて、シミュレーションを行なって見る。即ちオーダーの発令間隔を0.280から0.260に変化させて、現有の設備の場合、旋盤を増設した場合、旋盤を高速旋盤に更新した場合について、夫々シミュレーションを行なう。シミュレーションのパラメータとモデル記号を表6. に示す。

シミュレーション結果の要点を、表7. および図1. ～3. に示す。表7. は、各モデル各条件の下で5回シミュレーションを実施した平均値を示す。括弧内の数値は標準偏差である。

図1. ～3. は、本来ならば信頼区間の幅も示すべきであるが、図を簡潔にするため敢えて省略した。また[モデルM]と[モデルH]の間では、取上げたポイントに関する限り大きな差異は見出されなかったのので、[モデルH]についてのみ図示した。

これらの図表から次のこと

を読取ることが出来る。

表7. シミュレーション結果の概要

(1) 完成部品数

シミュ

レーションNo.1からNo.4へと負荷が増加するにつれて、1,000単位時間当りの完成部品数は増加する。No.1からNo.3までの間では、消化可能な仕事の量はどのモデルも大差ない。No.4までくると、[モデルMおよびモデルH]と[モデルB]とでは差異が生じ、[モデルB]には頭打ちの傾向が現れる。No.5まで負荷が増加すると、[モデルMおよびモデルH]においても頭打ち傾向が現れる。

No. Item	Model	1 JS_15x	2 JS_15xL	3 JS_15xLB	4 JS_15xLC	5 JS_15xLD
No. Entered x						
	H	3,562.4(35.5)	3,632.6(50.2)	3,712.0(51.9)	3,845.8(45.3)	3,875.4
	M	3,561.4(35.3)	3,630.6(44.9)	3,714.0(48.7)	3,846.8(46.2)	3,875.4
	B	3,637.8(40.4)	3,659.6(49.3)	3,758.8(50.6)	3,927.0(77.9)	--
No. Shipped						
	H	3,533.0(23.2)	3,593.8(32.5)	3,662.6(47.7)	3,774.4(60.5)	3,834.6
	M	3,532.6(22.8)	3,596.2(26.4)	3,663.2(43.1)	3,773.8(59.5)	3,834.4
	B	3,590.2(48.6)	3,600.2(28.9)	3,668.8(35.4)	3,704.2(41.4)	--
Av. W.I.P						
	H	26.7(2.1)	30.5(4.1)	40.4(10.1)	72.2(60.5)	159.8
	M	25.8(2.1)	31.9(4.1)	41.3(10.1)	72.7(34.2)	162.0
	B	56.0(8.1)	51.6(6.5)	79.6(16.7)	197.2(59.5)	--
Av. Time						
	H	7.5(0.6)	8.4(1.1)	10.9(2.7)	18.7(8.7)	41.2
	M	7.3(0.6)	8.8(1.1)	11.1(2.6)	18.7(8.8)	41.8
	B	15.4(2.2)	14.1(1.7)	21.1(4.3)	51.0(12.7)	--
% Busy ELA						
	H	76.8(1.0)	81.8(1.0)	83.4(1.0)	87.0(0.8)	87.4
	M	80.5(1.1)	77.7(1.4)	79.5(0.9)	82.9(0.8)	84.4
	B	97.6(1.0)	97.6(1.1)	98.8(0.8)	99.94(0.1)	--
% Busy ML						
	H	93.4(3.0)	95.2(3.0)	96.9(2.9)	98.7(2.6)	100.0
	M	93.5(3.0)	94.9(2.7)	96.9(2.9)	98.7(2.5)	100.0
	B	94.0(3.7)	95.3(3.2)	96.4(2.5)	98.1(1.4)	--

(2) 平均仕掛り件数および平

均仕掛り期間 完成部品数におけるモデル間の差が比較的小さいにもかかわらず、平均仕掛り件数および平均仕掛り期間は、負荷が軽い状態においても、[モデルB]と[モデルMおよびモデルH]との間にかなりの差が存在する。平均仕掛り件数および平均仕掛り期間は、負荷の増加とともに指数関数的に大きくなる。そして[モデルB]と[モデルMおよびモデルH]との間の差は、負荷が増えるに従って益々拡大する。

(3) 生産能力 この工場の生産能力は、図4. だけを見ている限り、[モデルB]においては

1,000単位時間当

り3,725個、[モデルMおよびモデルH]

においては同約

3,850個と評価す

ることも出来なく

はない。しかし、

図3.との関連を

見落すわけにはい

かない。今、この

工場における平均

仕掛け期間として、

合理的に許容され

る限界は、仮に30

単位時間であると

する。図3.から

[モデルB]におけ

る負荷の限界は平

均発令間隔で

0.268、[モデルM

およびモデルH]の

負荷の限界は同

0.262と推定する

ことが出来る。図

1.によれば、そ

の場合の[モデルB]

の生産能力は

1,000単位時間当

り3,675個、[モデ

ルMおよびモデルH]の生産能力は同3,820個と推定出来る。この推定方法を『仕掛け期間対応生産能力推定法』と名付ける。

(4) 生産能力の評価 前項で述べたことを一般化して言えば、次の通りである。即ち、個別受注生産工場の生産能力は完成件数のみで評価するものではなく、「一定の平均仕掛け期間の範囲内で消化可能な件数」により評価すべきものである。

(5) 生産能力増強対策 この例題において、隘路工程の設備能力強化策として、機械の増設

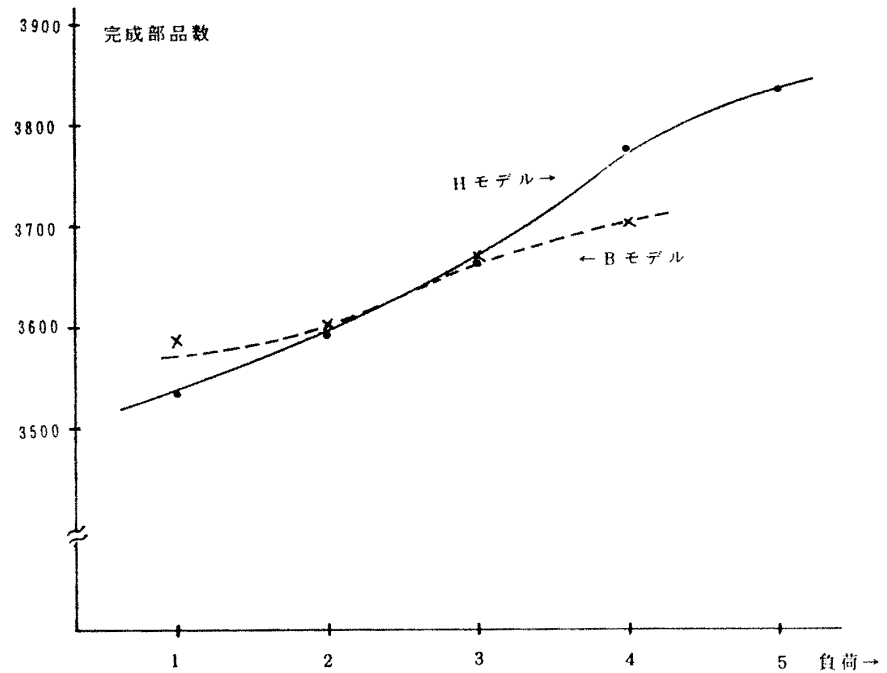


図1. 負荷と完成部品数の関係

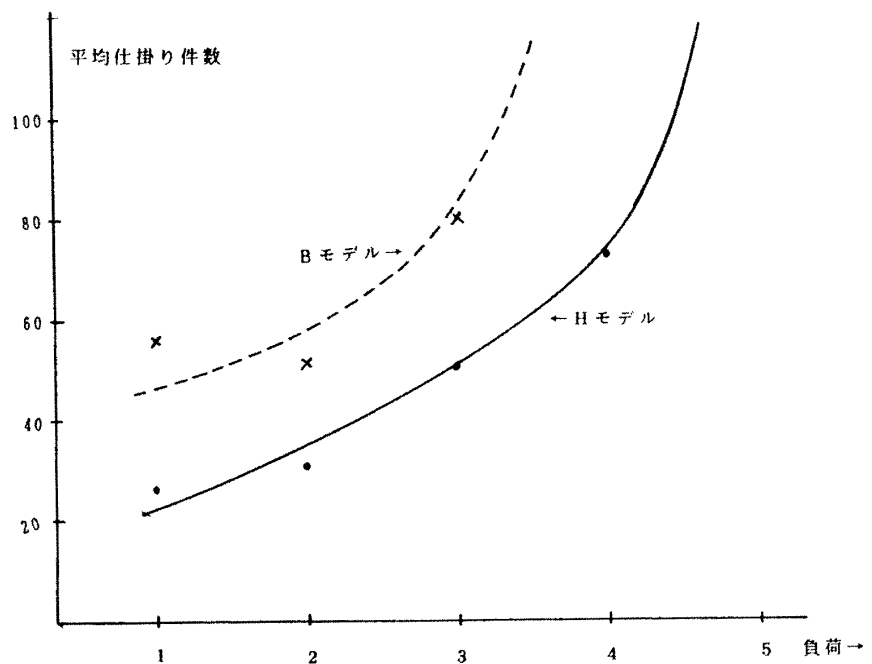


図2. 負荷と平均仕掛け件数の関係

並びに高性能機への更新を考えた。何れの場合も約20%の能力増となっている筈である。にも拘わらずシミュレーションNo. 1～3の範囲では、それは生産能力（完成部品数）の増加に少しも反映されていない。これらの負荷対策は、負荷が増加した場合の対応性を高めたという意味では

確かに負荷対策になっていることは間違いないが、負荷が増加しない状況では、隘路工程の加工待ち時間や同部品数が減少し余裕が生じただけで、工場全体のスループットは少しも変わっていない。そして隘路が別の機械に移っただけである。換言すれば、生産能力増強のためには、隘路工程のみならず工場全体にわたってバランス良く設備を増強する必要がある。この件については、今回は明白な形では検証を行っていない。次の機会に改めてアタックしたい。

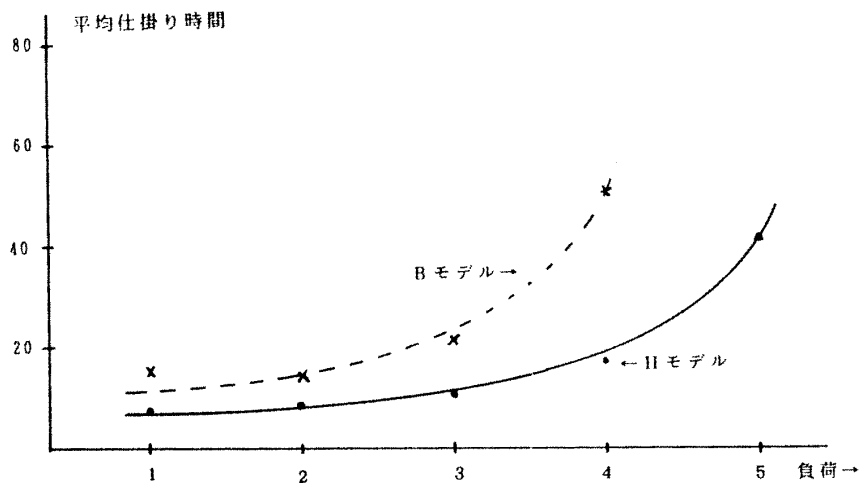


図3. 負荷と平均仕掛け時間の関係

3. 結論

簡単な機械工場を例として、工程分析の方法について検討し次の結論を得た。

- (1) 『FROM TO MATRIX による工程分析法』および『FROM TO MATRIX による（静的な）負荷分析法』を考案し、工程分析上有益であることを見出した。
- (2) 静的な工程分析とシミュレーションの結果を対比するため、『静態／動態対比分析法』を考案した。シミュレーション・モデルの忠実度を検証する方法として、意義があると考ええる。
- (3) 設備を増強しても余裕が生ずるに過ぎず、それだけでは生産能力の増加とは直接結びつかない場合があることを、シミュレーションにより実証した。
- (4) 前項の現象を勘案し、『仕掛け期間対応生産能力推定法』を考案した。
- (5) 以上の研究を通じて、「個別受注生産工場の生産能力を論ずるには、生産設備のバランス

が重要である」ことが示唆される。この問題については、今後の研究課題として取組むこと
としたい。

【参考文献】

服部 寛, ” 個別受注生産工場の動特性 (その1) ” , 福井工業大学研究紀要 第20号, 1990年

(平成2年12月12日 受理)