

# 琉球大学学術リポジトリ

## 品質工学の手法を用いた赤瓦工場の生産工程の最適化

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2007-09-16 キーワード (Ja): キーワード (En): Manufacturing System, Experimental Design, Taguchi Method, Roof Tile, Inventory, Process, Plan 作成者: 福本, 功, 伊波, 邦光 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/20.500.12000/1990">http://hdl.handle.net/20.500.12000/1990</a>

# 品質工学の手法を用いた 赤瓦工場の生産工程の最適化

福本 功\*

伊波邦光\*\*

## Optimization of Manufacturing Process of Red Roof Tiles Factory by Using Taguchi Method

Isao FUKUMOTO\* and Kunimitsu IHA\*\*

### Abstract

In order to determine the optimum combination of manufacturing process in red roof tiles factory, the manufacturing system of red roof tiles in each production were simulated by setting the model of red tiles factory resembling with actual factory. By applying two production types for three kinds of demand pattern, the optimum combination of productions were determined for obtaining the maximum profit. (1) On the case of constant production type when the minimum inventory become less than the setting inventory, the four factors of the existence of mold exchange, leading time, amount of production and demand pattern were specified as significant factors by analysis of variance of total profits and F test. (2) On the case of same period production type of assigned amount production according to the ratio between quantity of leaving stock and inventory at the time of checking the stock regularly, two factors of the existence of mold exchange and the demand pattern were determined as significant factor by analysis of variance of total profits and F test. (3) From the comparison between constant production type and same period production type, two factors of the existence of mold exchange and the demand pattern were recognized as significant factors commonly.

**Key Words:** Manufacturing System, Experimental Design, Taguchi Method, Roof Tile, Inventory, Process, Plan

### 1. 緒言

現在の厳しい市場環境の中で、企業が生き残るためには製品競争力の強化が不可欠である。競争力と言っても多様であるが、この競争力に大きく貢献する重要な要素として、最適な生産システムの構築が挙げられる。すなわち、市場の需要に対し効率的に製品を供給し、かつ在庫を最小限に抑えることが必要か、最終的に製品コストにも係わることから非常に重要な課題である。そこで、これらの問題を技術的かつ経済的な側面から解決するのが生産管理システムである。つまり、対象とする製品の計画、設計、製造、制御、管理、運用などに関する生産要素を制約環境の影響や相互作用などについて考慮するとともに、関係する全ての構成要素の総合的な調整と最適化を行う必要がある。

本研究では、製造、管理、運用の立場から県内の赤瓦工場を例として取り上げ、瓦の生産システムの最適化の方策について検討した。まず、県内の赤瓦工場の協力を

得て、赤瓦の生産工程および瓦工場の規模と出荷状況および機械と作業員の配置について現場での調査を行った。その後、これらのデータを基に仮想の赤瓦工場を設定し、効率の高まる最適な生産工程の組み合わせについて検討した。その際、品質工学の手法<sup>(1)</sup>を用いて、各生産工程から生産効率に影響すると思われる因子として①金型交換の有無、②リードタイム、③生産量、④需要パターンの変動、⑤仕掛け在庫量、⑥最小在庫量、⑦歩留まり等の因子を取り挙げ、それぞれの因子が利潤に及ぼす効果について検討を行った。

なお、生産方式のシミュレーションにおいては、在庫管理の手法<sup>(2)(3)(4)(5)</sup>を応用して、定量生産方式と定期生産方式の2方式について比較検討を行った。

### 2. 定量生産と定期生産方式

定量生産方式とは手持在庫量がある値を下回ったときに一定量生産する方式である。この方式の特徴は常に在庫管理をしなければならず、在庫を比較的多く抱えるため費用がそれだけ嵩むが、反面、その在庫量の多さゆえ需要にすばやく反応することが出来る。

次に、定期生産方式は一定期間ごとに在庫量を調査してその時の量と、予め設定した最小在庫量との比によって生産量を決定する。この方式は定量生産方式に対して

受理：2002年6月24日

日本機械学会九州支部講演会において平成14年3月発表済み

\*工学部機械システム工学科

Dept. of Mechanical System Engineering, Fac. of Eng.)

\*\*大学院理工学研究科機械システム工学専攻

(Graduate Student, Mechanical System Engineering.)

需要を敏感に捉え順応することによって在庫をほぼ一定量に抑えることができるが、在庫調査サイクルを上回る連続した高需要が発生したときに売り損が目立つのが特徴である。

### 3. 生産シミュレーション

#### 3.1 赤瓦の生産工程

赤瓦の生産工程を図1に示す。まず、原料(material)となる複数の土を混合し(mixture),それを細かく砕く(mixture crushing, fine crushing).そして適量の水と混ぜて練り(kneading),押出成形又はプレス成形(pressing)により成形後,自然乾燥(natural drying)および熱乾燥(heat drying)を経て焼成し(firing),その後冷却して(cooling),製品(product)として出荷される。

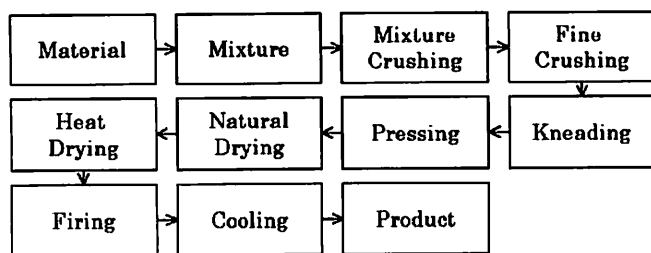


図1 瓦の生産工程

Fig.1 Manufacturing process of red roof tiles

#### 3.2 生産シミュレーションにおける仮定

実際の赤瓦工場における生産設備と工程は極めて複雑であるが効率的な最適な生産工程を構築する目的でモデル化した仮想工場を設定し、次に示す仮定の条件の基で生産シミュレーションを行った。

- ①1週間を2期とおき,104期(1年間相当)で終了するまでの計算を1回とする。
- ②焼成に用いるガス窯は2基あり,最大生産量5000枚/1基/1期である。すなわち,1週間に最大20000枚産可能である。
- ③窯以外の粉砕機や瓦プレス成形機などの機械は工場の必要とする能力を十分満たす能力がある。すなわち,焼成以外の工程で生産ラインがストップすることはない。
- ④瓦プレス成形機の金型は,多品種生産するために10期ごとに交換される場合がある。そのとき交換経費や生産ラインがストップするなどの損失が発生するので,5000円/10期を売上から直接差し引く。
- ⑤売り損を認める。すなわち手持在庫量以上の需要がきた時でも手持量だけで注文を履行し,その不足分を受注残あるいはバックオーダー(繰り越し注文)とはしない。
- ⑥製品価格は便宜上1枚を1円とする。
- ⑦焼成費用として売上の約3割がガス代としてかかるものとする。今回は簡易化するために一律1500円/1回/1基とした。
- ⑧在庫費用は0.1円/1枚/1期で,手持在庫と仕掛け在庫の両方にかかる。
- ⑨不良品が一定の割合で発生し廃棄される。
- ⑩定期生産方式と定量生産方式の2方式についてそれ

ぞれ検討する。

⑩最終的な評価は1回の計算の終了後の累計利潤により評価する。

### 4. 計算結果と考察

生産工程において需要と供給の関係は極めて密接な関係があるが,需要は絶えず変動していることから,需要に対応した生産システムを構築することは極めて重要である。そこで,本研究においては変動する需要パターンとして3種類を想定し,それを図2に示す。縦軸は生産量(百枚),横軸は1年間相当の104期間を示す。Iパターンは低ランダム需要型と称し,(2500±2500)枚/期を設定し,年間を通して比較的低い水準となっている。IIパターンは民間需要と公共需要の合体型と称し,前半の半年間(1期~52期)はIパターンと同じ(2500±2500)枚/期,後半の半年間(53期~104期)は年度末に向けて公共需要が高まっていく傾向にあるものとして,作り貯めを想定して((150×(期間-52)/52+5000)±5000)枚/期とした。IIIパターンは年間を通し高い需要が期待できる高ランダム需要型と称し,(10000±5000)枚/期とした。

そこで,これらの需要モデルに対して効率の良い生産システムを構築するために品質工学の手法を用いて検討した。まず因子として,A:金型交換の有無,B:リードタイム,C:生産量,D:需要パターンの変動,E:仕掛け在庫量,F:最小在庫量,およびG:不良品率の7因子をとりあげそれらの因子の水準を表1に示す。

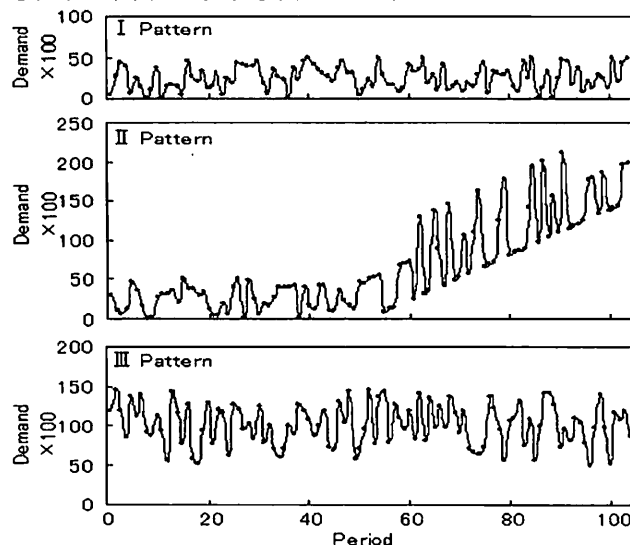


図2 需要モデル

Fig.2 Pattern of demand

次に,因子と水準を組み合わせた直交表を表2に示す。L<sub>18</sub>直交表に基づき18通りに組み合わせ9年分の計算を行い,さらに得られた累計利潤を品質工学の手法を用いて望大特性とし,SN比η(dB)を次式より求めた。その結果を表3に示す。

$$\eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{1}{y_n^2} \right) \dots \dots (1)$$

ただし,η:SN比 n:データの数 y<sub>i</sub>:データ

Table 1 Factors and levels in constant production type

表1 定量生産方式における因子と水準

Factor	Level		
	none	exist	
A Mold exchange			
B Leading time	2	3	4
C Quantity of production (×100)	50	75	100
D Pattern of demand	I	II	III
E Quantity of leaving stock (×100)	5	10	15
F Minimum inventory (×100)	0	15	30
G Inferior goods rate (%)	2	6	10

Table 2 Orthogonal array L18

表2 L18直交表

No.	A	B	C	D	E	F	G
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	3	3
5	1	2	2	2	3	1	1
6	1	2	3	3	1	2	2
7	1	3	1	2	1	2	3
8	1	3	2	3	2	3	1
9	1	3	3	1	3	1	2
10	2	1	1	3	3	2	1
11	2	1	2	1	1	3	2
12	2	1	3	2	2	1	3
13	2	2	1	2	3	3	2
14	2	2	2	3	1	1	3
15	2	2	3	1	2	2	1
16	2	3	1	3	2	1	2
17	2	3	2	1	3	2	3
18	2	3	3	2	1	3	1

次に,得られたSN比の分散分析を行い,さらに,F検定した結果を表4に示す.表中の記号fは自由度,Sは変動,Vは分散,F<sub>0</sub>はF値,そしてρは寄与率を示す.表4よりA:金型交換の有無,B:リードタイム,C:生産量,D:需要パターンの変動の因子がそれぞれ有意となった.寄与率においては,金型交換の有無が29.4%,リードタイムが24.0%,需要パターンの変動が17.0%,そして生産量が

13.9%の値を占めている.尚,図3は定量生産方式の計算結果の一例として,低需要における生産量,販売量,在庫量,利潤,そして累計利潤を示す.次に,有意性が認められた4因子の水準別のSN比の比較を図4に示す.図中のSN比の比較より,金型交換は無く,リードタイムは2期,生産量は10000枚/期,そして需要パターンはⅢパターンの高ランダム需要型の組み合わせが高い利潤を生むための最適生産条件と思われる.すなわち,高い需要の要求に対してできるだけ短いリードタイムで大量に生産するシステムが望ましいことがわかる.

次に,同様な需要パターンに対して定期生産方式の適用を試みた.定期生産方式は,一定期間の在庫調査期間毎に在庫を調査し,手持在庫量と予め設定した手持在庫量との関係によって生産量を決定する.その判定基準を表5および図5に示す.例えば,手持在庫量が5000枚で最小在庫量が2000枚とすると,5000/2000=2.5であるので生産量は2500枚ということになる.

次に,定期生産方式における因子と水準を表6に示す.定量生産方式と異なる点はC:在庫調査期間を生産量の替わりに設定してあることである.また,在庫調査期間においてはリードタイムよりも長くなってはならないことから最小期間は5期とした.

Table 4 Analysis of variance of total profit

表4 累計利潤の分散分析結果

Factor	f	S	V	F <sub>0</sub>	ρ(%)
A	1	143.37	143.37	34.2**	29.4
B	2	121.61	60.81	14.51**	24.0
C	2	74.16	37.08	8.85**	13.9
D	2	88.92	44.46	10.61**	17.0
E	2	16.22	8.11	1.94	
F	2	9.12	4.56	1.09	
G	2	2.44	1.22	0.29	
Error	4	16.77	4.19	-	
Total	17	472.62			

\*Significant

Table 3 Calculation result of total profit

表3 累計利潤の計算結果

No.	Total profit(×100)										η (dB)
1	926.1	964.2	998.1	821.7	916.3	1085.3	856.8	982.5	963.9	59.4	
2	1711.1	1715.1	1631.8	1627.5	1715.3	1547.1	1543.9	1707.7	1706.9	64.4	
3	2881.3	2780.5	2840.4	2884.0	2876.1	2781.9	2781.2	2865.6	2866.1	69	
4	817.0	869.4	887.9	872.9	865.9	892.1	860.6	811.7	938.3	58.8	
5	1200.9	1105.6	1189.5	1124.0	1201.7	1273.7	1122.1	1194.6	1214.7	61.4	
6	2206.0	2206.8	2210.4	2208.2	2206.6	2204.2	2103.7	2206.9	2201.6	66.8	
7	797.3	742.4	793.3	735.9	797.7	685.2	748.9	795.8	799.6	57.7	
8	1316.0	1315.4	1314.2	1314.3	1313.6	1313.9	1315.2	1316.1	1313.7	62.4	
9	880.6	783.0	776.5	842.0	733.1	884.4	758.2	695.0	871.0	58	
10	1007.5	1007.5	1007.5	1007.5	1007.5	1007.5	1007.5	1007.5	1007.5	60.1	
11	1006.4	858.5	957.4	936.0	918.1	948.0	822.7	814.5	863.6	59	
12	1037.6	1372.4	1459.6	1268.9	1275.0	1470.2	1265.5	1280.6	1259.4	62.1	
13	444.8	502.6	444.0	446.8	326.2	507.0	393.2	504.1	495.4	52.8	
14	1089.0	1018.3	1089.1	1092.3	1090.7	1092.7	1159.5	1161.3	1089.8	60.8	
15	556.7	569.0	446.0	698.7	537.1	460.2	519.6	704.1	503.7	54.6	
16	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	351.0	50.9	
17	210.9	215.1	305.4	308.7	214.9	309.1	299.4	212.8	235.5	47.8	
18	907.2	928.2	1043.9	799.3	930.9	790.2	940.1	932.4	806.6	59	

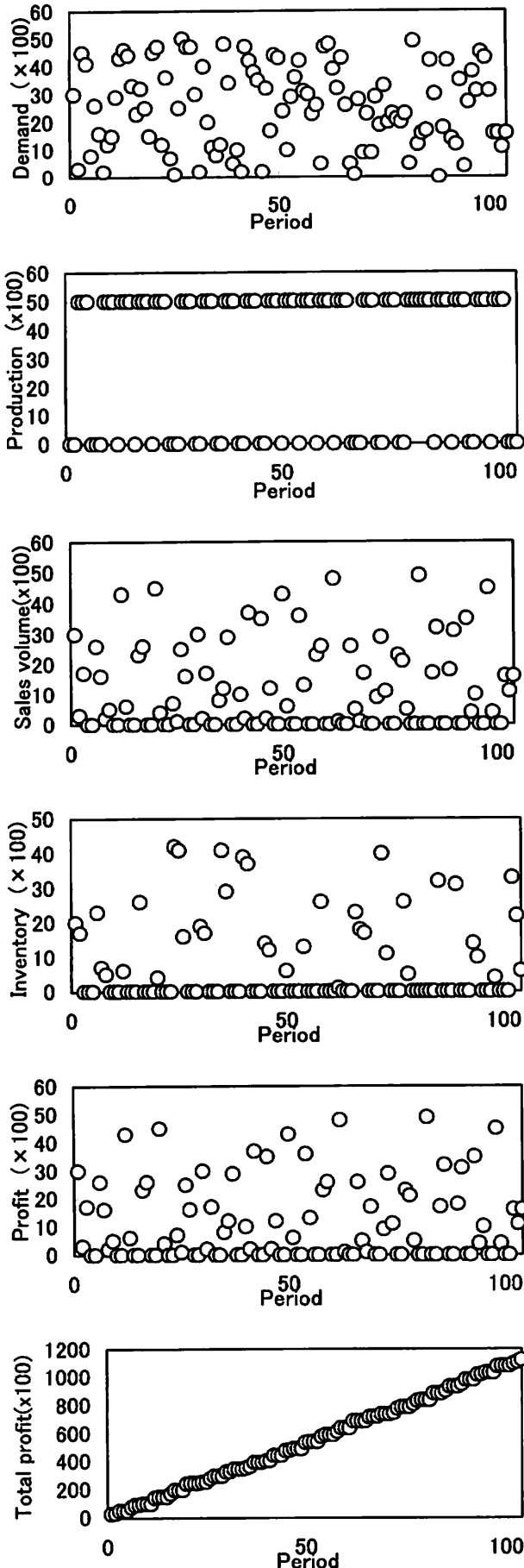


図3 定量生産方式における計算例(No.1)  
Fig.3 Example of calculation result (No.1)

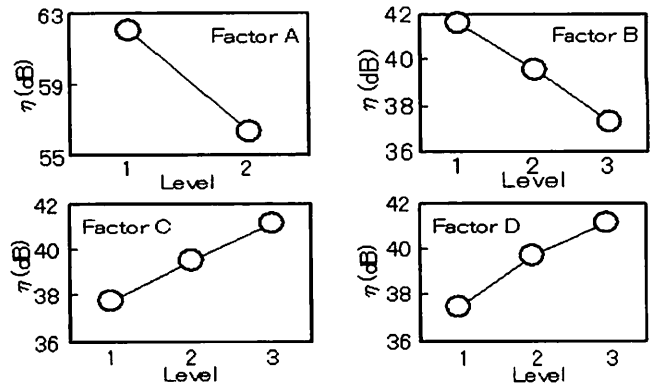


図4 水準別のSN比の比較  
Fig.4 Comparison of SN ratio on each level

Table 5 Quantity in same period production type  
表5 定期生産方式の生産量判定基準

Condition	Quantity
Leaving stock $\leq$ Minimum inventory $\times$ 1.0	10000
Leaving stock $\leq$ Minimum inventory $\times$ 1.5	7500
Leaving stock $\leq$ Minimum inventory $\times$ 2.0	5000
Leaving stock $\leq$ Minimum inventory $\times$ 3.0	2500
Leaving stock $>$ Minimum inventory $\times$ 3.1	0

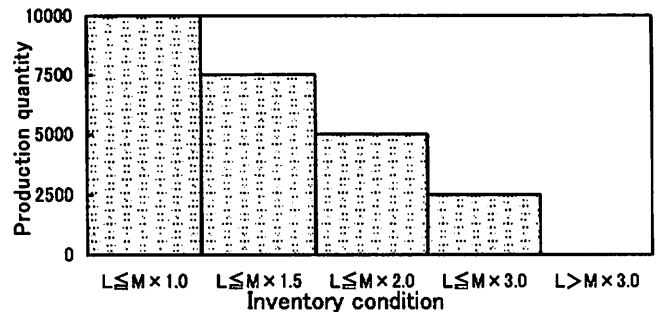


図5 条件式と生産量の関係  
Fig.5 Production quantity in each inventory condition

そこで、生産シミュレーションを行った結果の一例を図6に示す。低需要パターンにおける生産量、販売量、在庫量、利潤、そして累計利潤を示す。次に、9年間の累計利潤を分散分析した結果とF検定の結果を表7に示す。表より金型交換と需要パターンの変動の因子が有意と判断された。寄与率においては、需要パターンの変動が26.6%、そして金型交換の有無が20.1%を占めることがわかる。さらに図7のSN比の比較から、高ランダム需要型と金型交換無しの組み合わせが良好である事が見出された。以上のことから、定量生産と定期生産の両方式

Table 6 Factors and levels in same period production type

表6 定期生産方式の因子と水準

Factor	Level		
	none	exist	
A Mold exchange	2	3	4
B Leading time	5	6	7
C Checking cycle of stock (period)	I	II	III
D Pattern of demand	5	10	15
E Quantity of leaving stock (x100)	0	15	30
F Minimum inventory (x100)	2	6	10
G Inferior goods rate (%)			

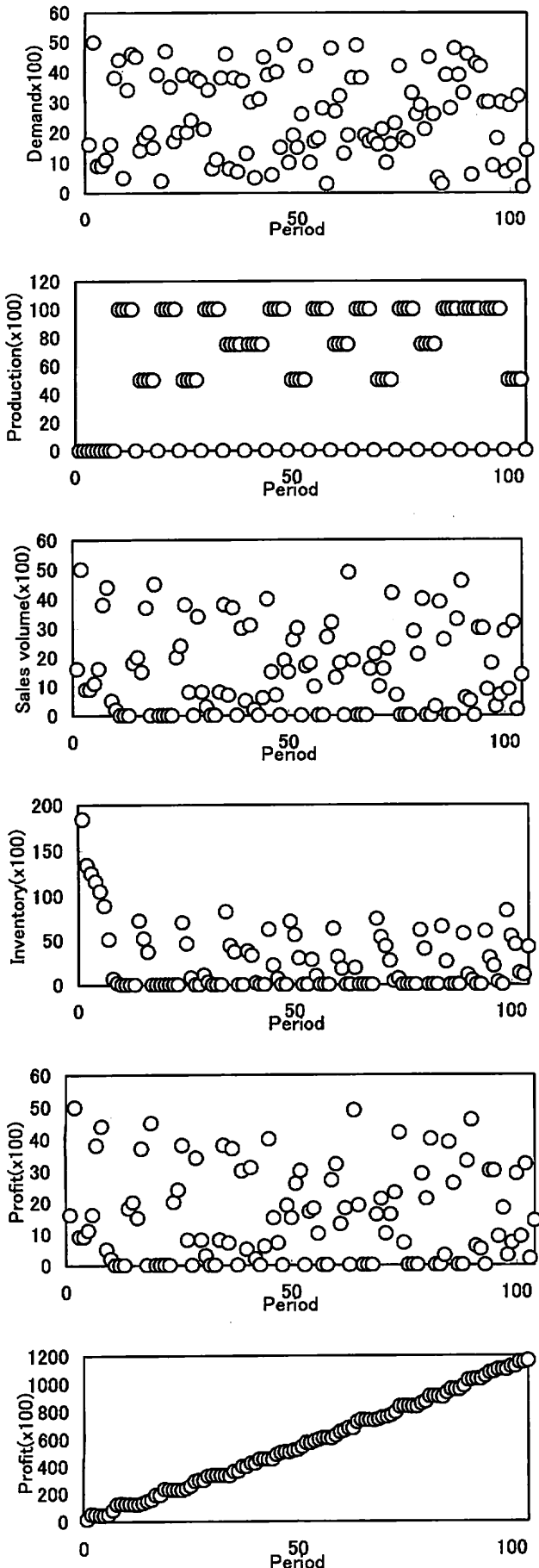


図6 定期生産方式における計算例(No.4)  
Fig. 6 Example of calculation result (No.4)

Table 7 Analysis of variance of total profits  
表7 累計利潤の分散分析結果

Factor	f	S	V	F <sub>0</sub>	ρ (%)
A	1	107.07	107.07	8.56**	20.1
B	2	57.01	28.50	2.28	
C	2	28.14	14.07	1.12	
D	2	149.97	74.98	5.99*	26.6
E	2	22.51	11.25	0.90	
F	2	28.47	14.23	1.14	
G	2	26.64	13.32	1.06	
Error	4	50.05	12.51	-	
Total	17	469.86			

\*Significant

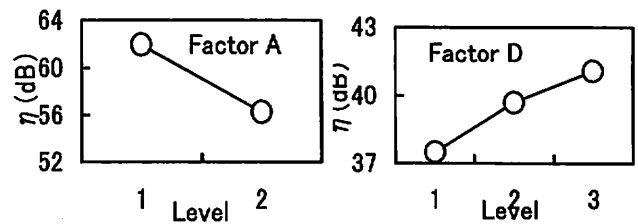


図7 水準別のSN比の比較  
Fig.7 Comparison of SN ratio on each level

において需要パターンの変動と金型交換の有無の因子が生産システムの効率に大きく影響を与えている事が明らかになった。

5. 結言

赤瓦工場における生産工程の最適化を図る目的で,実際の工場を十分に調査した上で,実際の工場に類似した仮想工場を設定し,生産工程における赤瓦の流れをシミュレーションした.その際,需要モデルを3種類設定し,それに対応した生産形態として定量生産方式と定期生産方式の2種類を適用し,最大の効果を得るための最適な生産工程の組み合わせについて検討した.得られた結果は以下の通りである.

(1) 手持在庫が設定した最小在庫を下回ったときに一定量を生産する定量生産方式の場合は,得られた累計利潤を分散分析した結果,金型交換の有無,リードタイム,生産量,需要パターンの変動の因子がそれぞれ有意であることがわかった.

(2) 一定期間ごとに在庫を確認し,その時に手持在庫と最小在庫の割合で生産量を決定する定期生産方式の場合は,得られた累計利潤を分散分析した結果,金型交換の有無と需要パターンの変動の因子が有意であることがわかった.

(3) 両者を比較すると,金型交換の有無の因子と需要パターンの変動の因子が共通して有意であることが認められた.

参考文献

- (1) 田口：実験計画法（改訂版），日本規格協会(1996)
- (2) 石田：新版生産情報システム，同友館（1997）
- (3) 岩田：生産システム学 第2版，コロナ社(1985)
- (4) 人見：生産システム工学 第2版，共立出版(1990)
- (5) 小田中：最適生産在庫システム論，槇書店(1996)