

# ガラス洗浄工程最適化と官能評価の品質工学的扱い

Optimization of the glass cleaning process and research of function evaluation

石原 孝之, 熊坂 治

Takayuki Ishihara, Osamu Kumasaka

**要 旨** プラズマディスプレイの高精細化により重要度が増してきた基板洗浄力に関し、品質工学技法を用いて汚れ種を誤差因子とし、7つの制御因子でパラメータ実験を行ない、ばらつき、洗浄力とも大幅に改善する条件を見出した。

また清浄度の官能的評価につき7種類の数値変換を比較した結果、品質工学 SN 比の優位性が明らかとなった。

**Summary** A parametric design was performed for the cleaning of glass plates, whose importance has been increasing because of the trend towards high definition in PDPs. The Robust Quality Engineering method, using a noise factor to represent contaminations and seven controllable factors as parameters, was applied to provide significantly improved conditions both for less variation and better cleanliness.

The advantage of the Robust Quality Engineering SN ratio was clarified by comparing between seven ways of human sensing transformed into a numerical value for cleanliness.

キーワード : 品質工学, 洗浄, PDP, 官能評価

## 1. まえがき

近年の薄型テレビの目覚ましい発展の一環でプラズマディスプレイのセルサイズは従来の XGA から FHD が主流になってきた。高精細化が進むことで、基板への異物(コンタミ、油脂など)付着に起因するセル欠陥削減の重要度がますます大きくなってきている。

異物付着による欠陥数を削減するにあたり洗浄工程には以下の要件に留意が必要である。

- ①基板上に形成された電極その他の構造物を損傷しないこと
- ②付着の可能性の高い異物に対する洗浄能力が高いこと
- ③法令に適合し、環境汚染がないこと

当パネル試作課では一台の洗浄機を使用し前面板、背面板、素ガラスの洗浄を行っているが、ガラス上構造物の違いにより洗浄法が異なるため異物除去能力も異

なっている。

今回は受講した静岡品質工学研究会の体験コースで自主テーマが扱えるため、この「ガラス洗浄」をロボパストデザインの課題として選択することとした。

品質工学は定量的手法であるので、今回の評価特性である汚れについて種々の変換方法で数値に換算し、それらの結果も比較、考察することとした。

## 2. 基板洗浄の概要

当パネル試作課で使用する洗浄機の工程模式を図1に示す。工程順に洗剤シャワー+ブラシ、二流体洗浄、高圧洗浄、温水洗浄と進み、エアナイフで水分を除去する。

ここで前面板を洗浄する際は上下共にブラシを基板に当て、背面板の洗浄時は上ブラシを上昇させて下ブラシのみを基板に当てることで電極の断線を防いでいる。

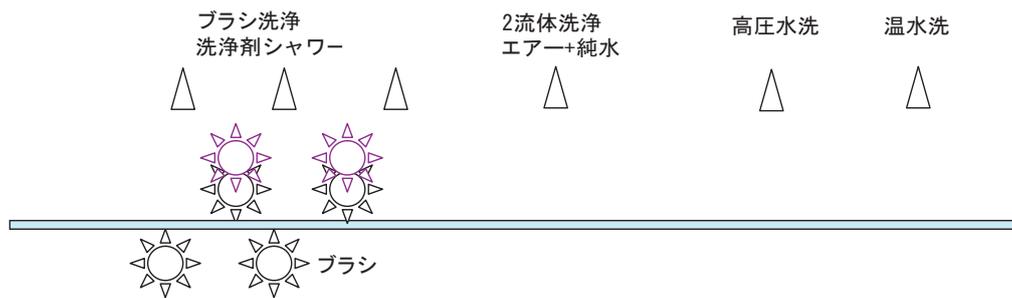


図1 洗浄工程模式

### 3. 実験

#### 3.1 実験の目的

パネル試作課のガラス洗浄工程において、汚れの種類や状況によらず安定して洗浄能力の高い洗浄剤および条件を導く。

また品質工学で官能評価する場合の数値変換方法を複数試み、比較検討を行う。

#### 3.2 因子の設定

##### (1) 制御因子

過去の知見から洗浄効果に関係すると考えられる8因子を選定し、制御因子として表1に示し、表2のL18直交表に割り付けた。

ここで使用した洗浄剤は、現行使用品の中性A液とアルカリ系のB液である。

また因子Fとしてガラス基板を選択し、図2に示すように前面板、背面板、素ガラスの3種類を約200×80mmの短冊状に裁断して実験したが、これは技術者が自由に選択できない標示因子だった。

##### (2) 誤差因子

誤差因子は汚れの種類を取り、表3に示すように作業で付着が多いと考えられるタンパク質(唾液)をN1(標準条件), OILをN2(過酷条件),マジックインキをN3(過酷条件)とした。

#### 3.3 実験・評価・結果

蛋白質, OILは綿棒でガラス板に塗布し, マジックインキは直接塗布した。

制御因子を割り付けた直交表L18に、ベンチマーク(BM)水準を実験に追加し、誤差因子をL18直交表の外側に割り付けて18枚のサンプルを作成した。

BMに関しては、通常洗浄機での洗浄条件を元に水準を決定した。

洗浄後のテストピースに対して「目視テスト」と、蒸気を当てて曇り具合を見る「呼吸テスト」と、テストピースにスポイトで水を滴下し広がり具合を見る「濡性テスト」で基板表面の清浄度を評価した。

表1 制御因子

記号	制御因子	水準 1	水準 2	水準 3	
A	洗浄剤種類	A液	B液		
B	液濃度	A液	1.0%	5.0%	10.0%
		B液	2.0%	3.5%	5.0%
C	液温	25.0°C	32.0°C	40.0°C	
D	Dip 時間	30sec	150sec	300sec	
E	リンス時間	5sec	30sec	55sec	
F	基板種類	背面板	前面板	膜無	
G	異物放置時間	常温	180.0°C	常温	
		30min	1h	24h	
H	Dip 攪拌時間	有	無	有	

注：アンダーラインはベンチマーク

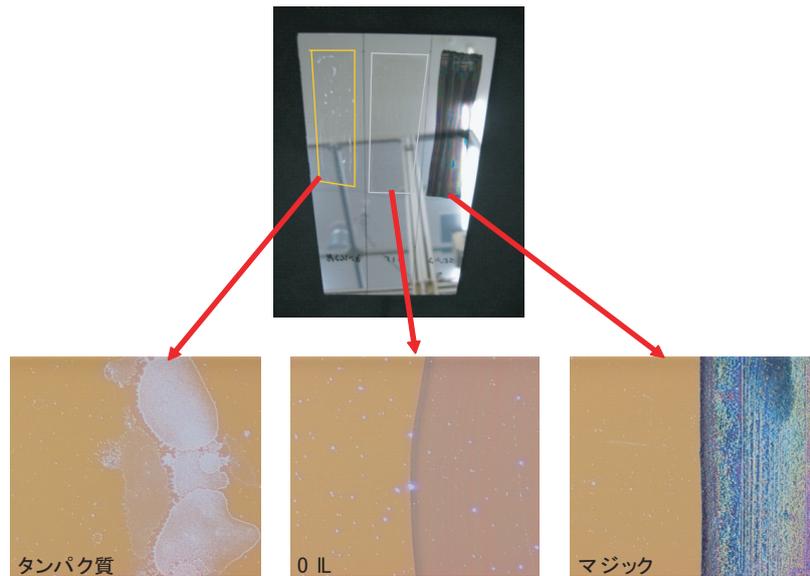


図2 テストピース模式

表2 L18直交表

実験	因子								
	洗浄剤種類	液濃度	液温	Dip時間	リンス時間	基板種類	異物放置時間	Dip攪拌時間	
1	A液	1.0%	25.0℃	30sec	5sec	背面板	常温 30min	有	
2	A液	1.0%	32.0℃	150sec	30sec	前面板	180℃ 1h	無	
3	A液	1.0%	40.0℃	300sec	55sec	膜 無	常温 24h	有	
4	A液	5.0%	25.0℃	30sec	30sec	前面板	常温 24h	有	
5	A液	5.0%	32.0℃	150sec	55sec	膜 無	常温 30min	有	
6	A液	5.0%	40.0℃	300sec	5sec	背面板	180℃ 1h	無	
7	A液	10.0%	25.0℃	150sec	5sec	膜 無	180℃ 1h	有	
8	A液	10.0%	32.0℃	300sec	30sec	背面板	常温 24h	有	
9	A液	10.0%	40.0℃	30sec	55sec	前面板	常温 30min	無	
10	B液	2.0%	25.0℃	300sec	55sec	前面板	180℃ 1h	有	
11	B液	2.0%	32.0℃	30sec	5sec	膜 無	常温 24h	無	
12	B液	2.0%	40.0℃	150sec	30sec	背面板	常温 30min	有	
13	B液	3.5%	25.0℃	150sec	55sec	背面板	常温 24h	無	
14	B液	3.5%	32.0℃	300sec	5sec	前面板	常温 30min	有	
15	B液	3.5%	40.0℃	30sec	30sec	膜 無	180℃ 1h	有	
16	B液	5.0%	25.0℃	300sec	30sec	膜 無	常温 30min	無	
17	B液	5.0%	32.0℃	30sec	55sec	背面板	180℃ 1h	有	
18	B液	5.0%	40.0℃	150sec	5sec	前面板	常温 24h	有	
B. M	A液	5.0%	40.0℃	300sec	55sec	背面板	180℃ 1h	有	

表3 誤差因子

	誤差因子	N1	N2	N3
1	材料：付着物	蛋白質	0IL	マジック

### 3.4 結果

三つの評価方法の結果を表4に示す。但し今回はマジックインキ (N3) に関する結果が全て×であったため、この表からは省いている。

実験結果を◎:4点, △:2点, ×:0.2点で点数化し、そこから品質工学望目特性のSN比, 感度, 望大特性のSN比を計算した結果を表4の一部に示す。

表4, No.2のデータを例に望目特性SN比と感度, 望大特性SN比の計算手順を以下に示す。計算方法の詳細は, 参考文献などで確認されたい。

$$\begin{aligned} \text{全変動 (ST)} &= \text{目視} N_1^2 + N_2^2 + \text{呼吸} N_1^2 + N_2^2 + \text{濡性} N_1^2 + N_2^2 \\ &= 4^2 + 0.2^2 + 2^2 + 0.2^2 + 4^2 + 0.2^2 = 36.12 \end{aligned}$$

$$\text{修正項 (Sm)} = (4 + 0.2 + 2 + 0.2 + 4 + 0.2)^2 / 6 = 18.73$$

$$\text{誤差変動 (Se)} = \text{ST} - \text{Sm} = 36.12 - 18.73 = 17.39$$

$$\begin{aligned} \text{誤差分散 Ve} &= \text{Se} / (n-1) = (10.83 / (6-1)) \\ &= 17.39 / 5 = 3.48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SN比 真数 (m}^2 / \sigma^2) &= (1/n)(\text{Sm} - \text{Ve}) / \text{Ve} \\ &= (1/6)(18.73 - 3.48) / 3.48 = 0.7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{感度 真数 (m}^2) &= (1/n)(\text{Sm} - \text{Ve}) \\ &= (1/6)(18.73 - 3.48) = 2.54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{望目特性 SN比 } \eta &= 10 \times \log(m^2 / \sigma^2) \\ &= 10 \times \log(2.54 / 3.48) = -1.36(\text{db}) \end{aligned}$$

σ<sup>2</sup>はVeを代用

$$\text{感度 (S)} = 10 \times \log(m^2)$$

$$= 10 \times \log(2.54) = 4.05(\text{db})$$

$$\begin{aligned} \text{望大特性 誤差分散 } \sigma^2 &= (1/42 + 1/0.22 + 1/22 \\ &+ 1/0.22 + 1/42 + 1/0.22) / 6 = 12.56 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SN比 } \eta &= 10 \times \log(1 / \sigma^2) \\ &= 10 \times \log(1 / 12.56) = -10.99(\text{db}) \end{aligned}$$

### 3.5 データ解析

品質工学の望目, 望大特性以外に5つのデータ解析方法を試みた。以下, 簡単に説明する。

(1) 単純総和: 実験結果を単純に点数化し誤差因子3水準に関して合計した。

(2) 田口総和望大特性: 上記単純総和をSN比換算した。

(3) 田口分類SN比: ◎0点, ▲1点, ×2点としてSN比換算を行った。

(4) 累積データ: ◎, ▲, ×の個数を累積しグラフ化した。

(5) 累積データSN比: 累積データを百分率化した。なお, (4)(5)に関しては現在ほとんど使用していない。

望目, 望大特性と上記5つの換算方法にて評価した結果を, 表4および図3から図10に示す。

表4 洗浄効果を種々の評価方法による評価結果

実験No.	評価方法												集計数			点数化			望目特性		望大特性		点数化			総合点	田口総和望大特性	田口分類SN比	累積データ				(db) =-10log(1/n)
	目視		呼吸		濡性		目視(点数化)		呼吸(点数化)		濡性(点数化)		◎	▲	×	◎	▲	×	◎	▲	×	◎	▲	×	Ⅰ				Ⅱ	Ⅲ	◎率データ		
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	◎	▲	×	◎	▲	×	◎	▲	×	◎	▲	×	◎				▲	×	◎		
1	×	×	×	×	×	×	0.2	0.2	0.2	0.2	2	0.2	0	1	5	0	2	1	-5.28	-7.96	-13.20	0	2	5	7	16.902	-9.120	0	1	6	0.000	-9.990	
2	◎	×	▲	×	◎	×	4	0.2	2	0.2	4	0.2	2	1	3	8	2	0.6	-1.36	4.05	-10.99	8	2	3	13	22.279	-7.404	2	3	6	0.333	-3.010	
3	◎	◎	▲	▲	▲	▲	4	4	2	2	2	2	2	4	0	8	8	0	8.13	8.41	7.27	8	8	0	16	24.082	-4.771	2	6	6	0.333	-3.010	
4	×	×	×	×	▲	×	0.2	0.2	0.2	0.2	2	0.2	0	1	5	0	2	1	-5.28	-7.96	-13.20	0	2	5	7	16.902	-9.120	0	1	6	0.000	-9.990	
5	◎	◎	▲	◎	◎	▲	4	4	2	4	4	2	4	2	0	16	4	0	10.11	10.39	9.03	16	4	0	20	26.021	-3.010	4	6	6	0.667	3.010	
6	×	×	×	×	▲	×	0.2	0.2	0.2	0.2	2	0.2	0	1	5	0	2	1	-5.28	-7.96	-13.20	0	2	5	7	16.902	-9.120	0	1	6	0.000	-9.990	
7	▲	▲	▲	▲	▲	◎	2	2	2	2	2	4	1	5	0	4	10	0	9.03	7.27	6.60	4	10	0	14	22.923	-5.441	1	6	6	0.167	-6.990	
8	×	×	×	×	◎	◎	0.2	0.2	0.2	0.2	4	4	2	0	4	8	0	0.8	-4.07	1.79	-12.22	8	0	4	12	21.584	-8.016	2	2	6	0.333	-3.010	
9	▲	▲	×	×	◎	▲	2	2	0.2	0.2	4	2	1	3	2	4	6	0.4	1.23	4.26	-9.28	4	6	2	12	21.584	-7.132	1	4	6	0.167	-6.990	
10	◎	×	◎	×	◎	×	4	0.2	4	0.2	4	0.2	3	0	3	12	0	0.6	-0.70	5.67	-10.98	12	0	3	15	23.522	-6.990	3	3	6	0.500	0.000	
11	▲	◎	▲	▲	◎	◎	2	4	2	2	4	4	3	3	0	12	6	0	8.65	9.44	8.06	12	6	0	18	25.105	-3.979	3	6	6	0.500	0.000	
12	◎	×	◎	×	◎	◎	4	0.2	4	0.2	4	0.2	4	0	2	16	0	0.4	2.49	8.34	-9.23	16	0	2	18	25.105	-5.643	4	4	6	0.667	3.010	
13	◎	×	◎	×	◎	×	4	0.2	4	0.2	4	0.2	3	0	3	12	0	0.6	-0.70	5.67	-10.98	12	0	3	15	23.522	-6.990	3	3	6	0.500	0.000	
14	▲	◎	×	◎	◎	◎	2	4	0.2	4	4	4	4	1	1	16	2	0.2	5.34	9.43	-6.28	16	2	1	19	25.575	-4.523	4	5	6	0.667	3.010	
15	◎	◎	▲	◎	◎	◎	4	4	2	4	4	4	5	1	0	20	2	0	13.01	11.25	10.28	20	2	0	22	26.848	-1.761	5	6	6	0.833	6.990	
16	◎	◎	×	◎	◎	◎	4	4	0.2	4	4	4	5	0	1	20	0	0.2	6.57	10.39	-6.25	20	0	1	21	26.444	-3.680	5	5	6	0.833	6.990	
17	▲	×	◎	×	◎	×	2	0.2	4	0.2	4	0.2	2	1	3	8	2	0.6	-1.36	4.05	-10.99	8	2	3	13	22.279	-7.404	2	3	6	0.333	-3.010	
18	◎	×	◎	×	◎	×	4	0.2	4	0.2	4	0.2	3	0	3	12	0	0.6	-0.70	5.67	-10.98	12	0	3	15	23.522	-6.990	3	3	6	0.500	0.000	
BM1	▲	×	×	×	▲	×	0.2	2	0.2	0.2	0.2	2	0	2	4	0	4	0.8	-2.41	-3.05	-12.24	0	4	4	8	18.062	-8.653	0	2	6	0.000	-9.990	

点数化合計

点数合計の望大特性:  $-10 \log(1 / (\text{総合点}^2))$   
 ◎: 1点  
 ▲: 2点  
 ×: 3点

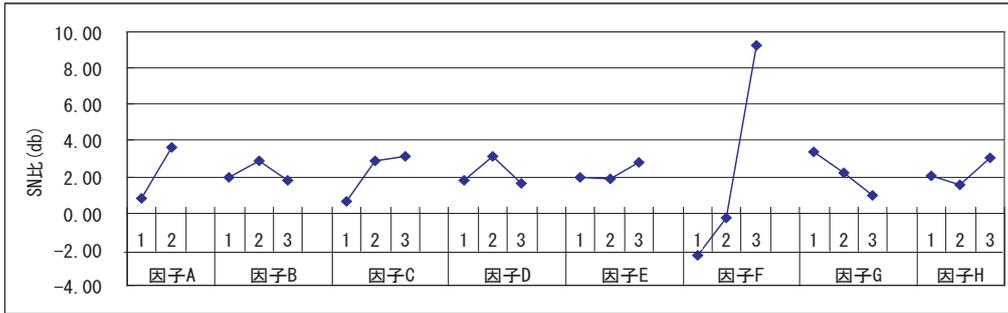


図3 望目特性による要因効果 (SN比)

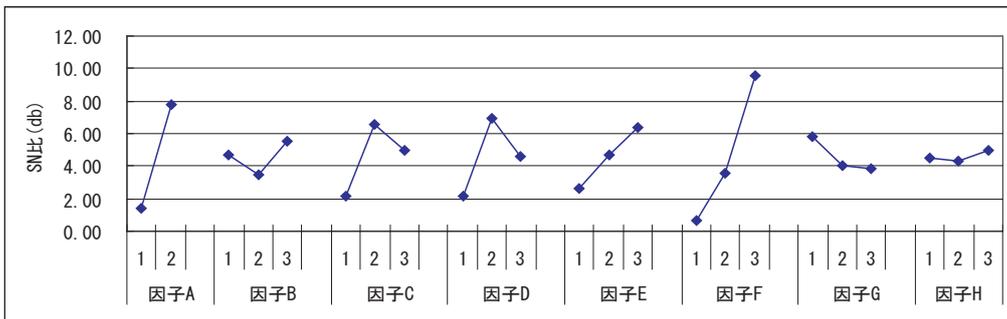


図4 望目特性による要因効果 (感度)

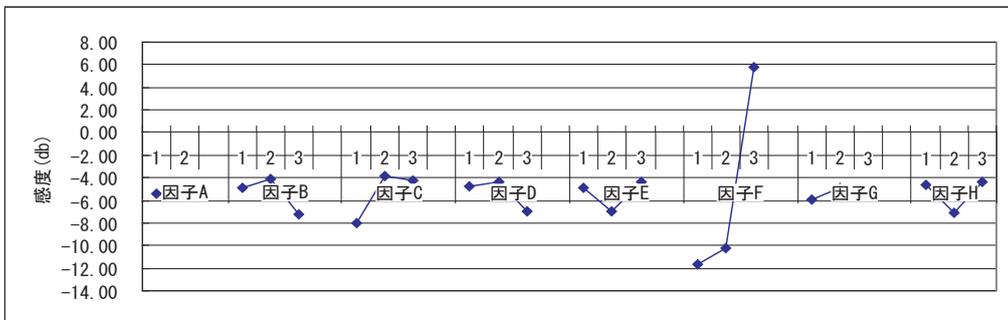


図5 望大特性による要因効果 (SN比)

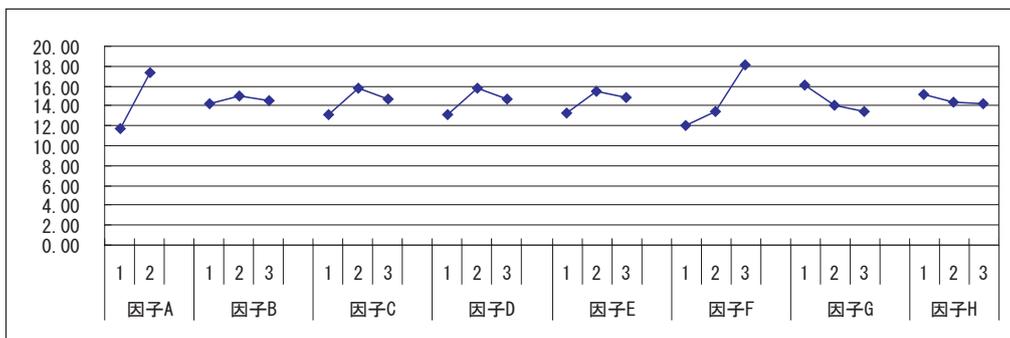


図6 単純総和による要因効果

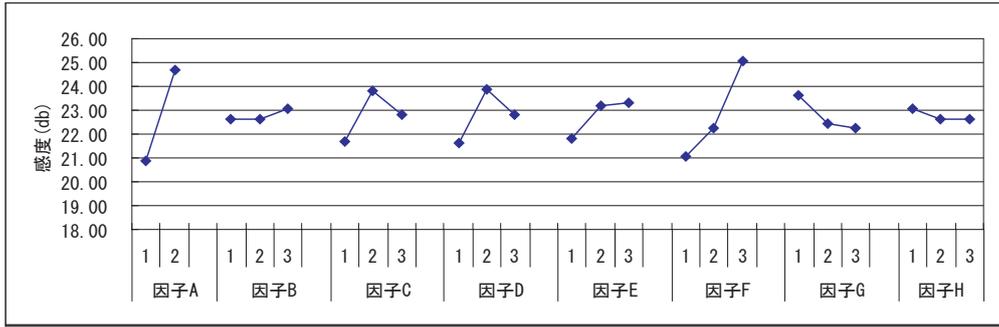


図7 単純総和望大特性による要因効果 (SN比)

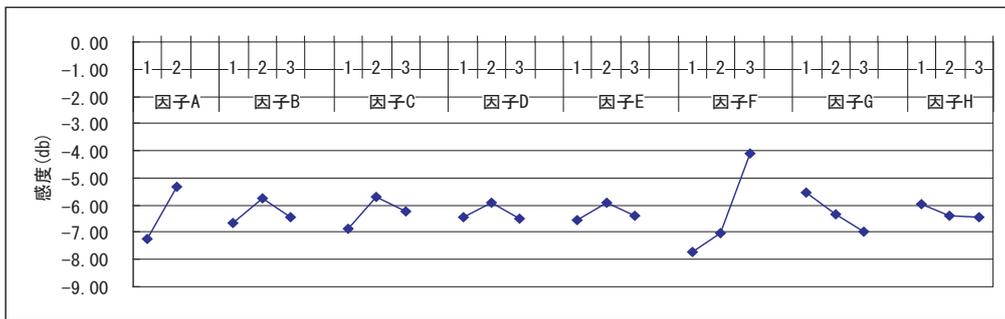


図8 田口分類SN比による要因効果 (SN比)

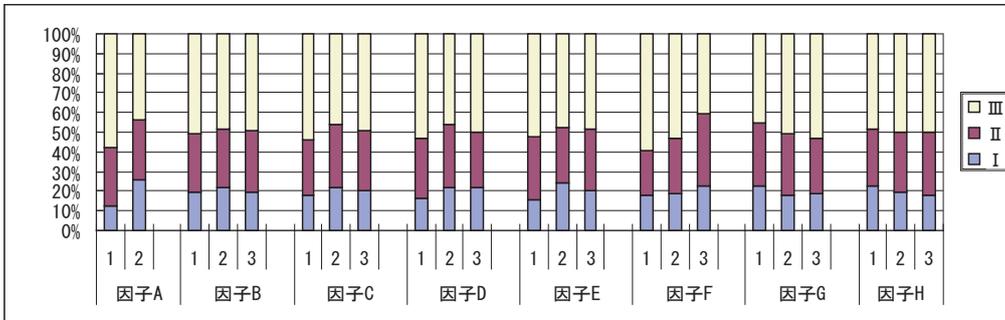


図9 累積法による要因効果

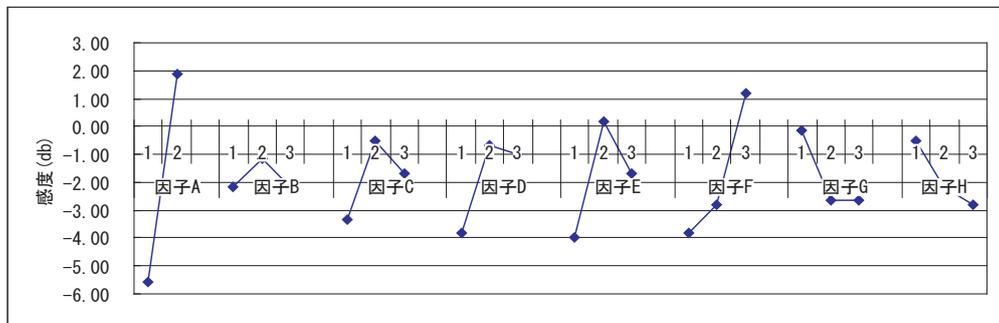


図10 百分率による要因効果 (SN比)

表5 L4 確認実験の制御因子と水準

記号	制御因子	水準 1	水準 2
B	液濃度	3.50%	5.00%
C	液温	32.0°C	40.0°C
D	Dip時間	150sec	300sec

3.6 最適条件候補と確認実験

最適条件を絞るに当たって 表5 に示す L4 確認実験を計画した。確認実験の因子 / 水準選定理由は以下のとおりである。

- (1) 因子 B(液濃度) は, L18 実験においてメーカー推奨濃度の下限, 中央, 上限で SN 比, 感度が逆に働いていることを再確認する。
- (2) 因子 C(液温) は, SN 比, 感度の要因効果から第 2 水準が最適候補であるが, 感度が山型を示しているため再確認する。
- (3) 因子 D(Dip 時間) は, SN 比, 感度とも第 2 水準(150sec)が高かったが, SN 比, 感度とも山型を示しているためその効果を再確認する。

上記 3 因子以外は「A2E3F1G3H3」を選定した。その理由は図 3, 4 の要因効果図より

- (1) 因子 A・E に関しては SN 比, 感度共に高い水準である。

(2) 因子 F に関しては水準間の差は大きかったものの, 2-2(1) で記述したように標示因子であり, 水準 1(背面板)での効果に最も関心があったためである。

(3) 因子 G に関しては水準間の差異が少なく, 最も注目する水準を選択した。

(4) 因子 H に関しても水準間の差異が少なく, 現行条件を選択した。

L4 確認実験の「No.1」の行には, L18 実験で評価の高かった水準を割り付け実験し, その結果を表 6 に示す。SN 比, 感度の計算値を表 7, これらの要因効果図を図 11, 12, 13 に示す。

3.7 再現性 / 加法性の確認と利得

SN 比, 感度に対し L4 確認実験の最適条件 No. 4 である「A2B1C1D2E3F1G3H3」の組み合わせと L18 実験と同時に作成した BM 相当の「A1B2C3D3E3F1G2H1」の組み合わせに対し, 推定値と実験値を比較し実験の再現性を評価したところ, 表 8 に示すように利得の差異は SN 比で 0.39db, 感度が -0.30db と共に小さく, 再現性は高かった。

また確認実験において SN 比が 11.06db, 感度が 12.49db と大きな洗浄改善効果を得ることができた。

L18 実験の No. 1, 3, 15 を使って, 官能評価の数値変換手法による加法性確認を比較した結果を表 9 に

表6 L4直交表と実験結果

実験No.				評価方法					
				目視		呼気		濡性	
	B	C	D	N1	N2	N1	N2	N1	N2
1	1	1	1	◎	◎	▲	×	◎	▲
2	1	2	2	◎	×	◎	×	◎	×
3	2	1	2	◎	▲	◎	×	◎	▲
4	2	2	1	◎	▲	◎	▲	◎	▲

表7 望目SN比ηと感度S, 望大SN比η

No.	望目特性		望大特性
	SN比 η	感度 S	SN比 η
1	4.47	8.38	6.32
2	-0.70	5.67	10.98
3	4.47	8.38	6.32
4	8.65	9.44	-8.06

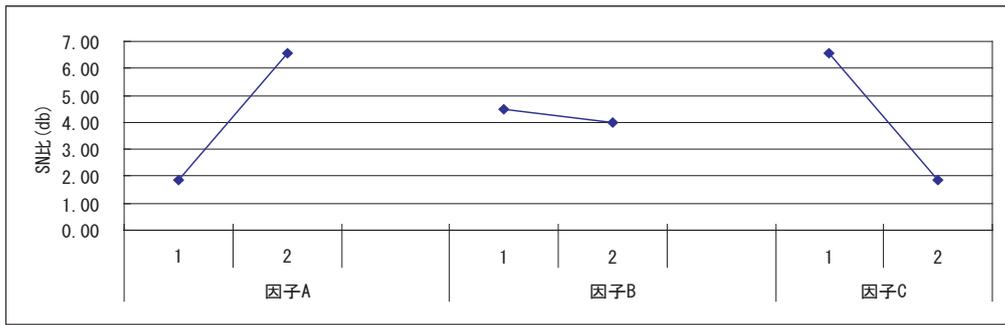


図 11 L4 確認実験：望目特性による要因効果 (SN 比)

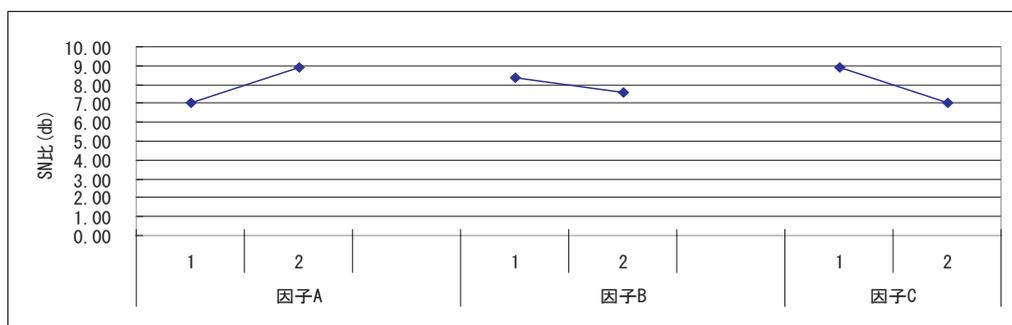


図 12 L4 確認実験：望目特性による要因効果 (感度)

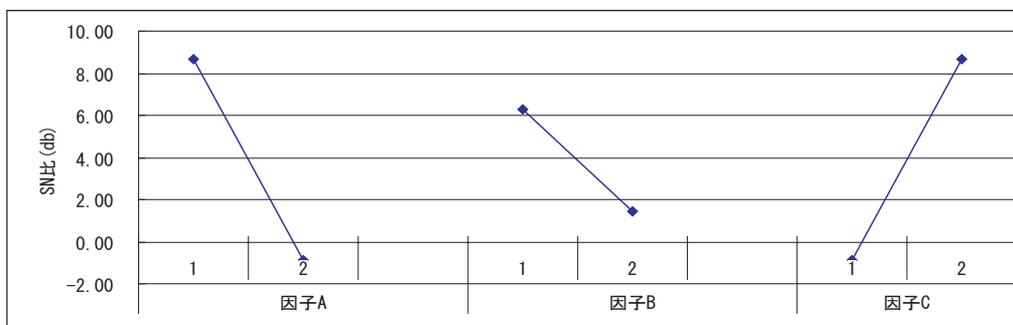


図 13 L4 確認実験：望大特性による要因効果 (SN 比)

表 8 初期条件と最適条件での利得対比表

条件	S N 比 (db)		感度 (db)	
	推定値	実験値	推定値	実験値
初期BM1	-2.31	-2.41	-1.93	-3.05
最適 (L 4 No.4)	9.14	8.65	10.26	9.44
利得	11.45	11.06	12.19	12.49

示す。望大特性，田口分類 SN 比の差異が小さいことから SN 比による比較が妥当といえる。

初期 BM と最適条件を◎ 10 点，▲ 5 点，× 0 点とし，

誤差因子タンパク質，OIL で点数を平均化した結果を表 10，図 14 に示す。タンパク質，OIL 共に洗浄効果が大きく改善されたことが分かる。

表 9 種々の評価方法による加法性の確認

No.	最適条件 (A2B2C2D2E2F3G1H1)			加法性の確認 (A C D F Gを推定使用)			
	官能評価	判定	実験No.	実験値	推定値	差異	
1	単純総和	良くない (×)	1	7	8.056	-1.056	
			3	14	14.556	-0.556	
			15	22	19.111	2.889	
2	単純総和 望大特性	最良 (◎)	1	16.902	17.753	-0.851	
			3	22.923	22.735	0.187	
			15	26.848	25.480	1.368	
3	田口分類 SN比	最良 (◎)	1	-9.120	-8.657	-0.463	
			3	-4.771	-4.832	-0.061	
			15	-1.761	-3.090	1.329	
4	累積法	現在 使用 して いな い	1	I	0	0.222	-0.222
					1	1.611	-0.611
					9	9	0
			3	II	2	2.222	-0.222
					4	4.111	-0.111
					9	9	0
			15	III	5	3.611	1.389
					5	5.889	-0.889
					9	9	0
5	百分率	良くない (×)	1	-9.990	-9.377	-0.612	
			3	-3.000	-2.388	-0.612	
			15	6.996	2.218	4.772	

表 10 初期 BM と最適条件の比較

	評価方法													
	結果						点数化							
	目視		呼気		濡性		目視		呼気		濡性		平均化	平均化
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	タンパク質	OIL
L4 No.4	◎	▲	◎	▲	◎	▲	10	5	10	5	10	5	10	5
初期BM	▲	×	×	×	▲	×	5	0	0	0	5	0	3	0

注：◎：10点，▲：5点，×：0点

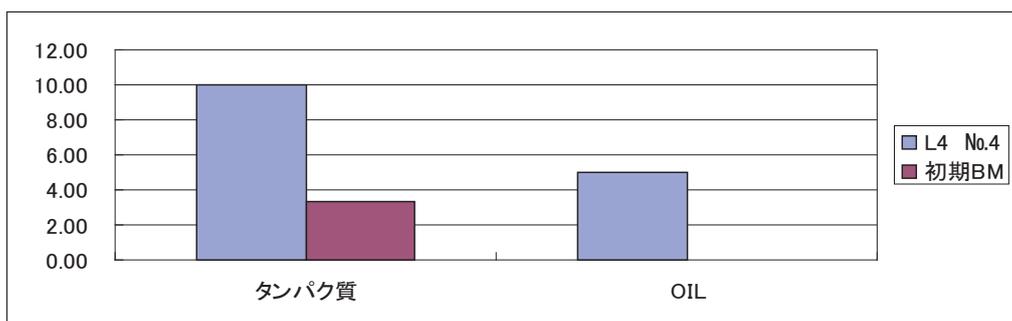


図 14 初期 BM と最適条件の比較

#### 4. まとめ

ガラス基板洗浄時の条件を品質工学的手法で最適化することにより、当初の条件に比べてばらつき、清浄度とも大幅に改善することができた。

また官能検査の結果を7種類の方法で評価し、実験値と推定値の差異を比較すると、単純総和など従来方法に対して望目特性、望大特性、分類SN比による差異が少なく品質工学の有効性が実証できた。

ただし、いかなる結果においても最適条件はほぼ同じだった。

今回の実験を元に品質工学を今後、業務課題に展開していきたい。

#### 5. 謝辞

本実験を行うにあたり、丁寧なご指導を頂いた森技術士事務所 森輝雄先生に深く感謝いたします。

#### 参考文献

最適化学講座 (5) 「タグチメソッドの応用と数理」  
(2005) 森輝雄 (トレンドブック / 森技術士事務所)

#### 筆者紹介

石原 孝之 (いしはら たかゆき)  
PDP パネル開発統括部/パネル試作課  
熊坂 治 (くまさか おさむ)  
PDP パネル開発統括部/パネル試作課