

# シェッフエ・モデルの塗料・ 塗装設計への適用化研究

The Study on Application of Scheffé's Model to Optimization of Paint Formulation and Paint Application



SP 研究所  
鏡山真行  
Masayuki  
Kagamiyama



SP 研究所  
増田 豊  
Yutaka  
Masuda



SP 研究所  
平山 徹  
Tohru  
Hirayama

## Summary

We studied to use a theory of "Experimental with Mixtures" (proposed by H.Scheffé) as one of mathematical experimental methods in order to improve efficiency in product development. This theory is confirmed to optimize the formulation of a mixture, and the usage is easy for it. Consequently, we found that the theory was very effective for designing paint materials. It is significant that the theory can be applied not only in optimization of the paint design but also in optimization of process factors (such as painting conditions), since it is presumed that this theory can effectively be used in quite a wide range of works.

## 要 旨

製品開発の効率化を目指す上で重要な数学的実験方法のひとつとして、「シェッフエの混合理論」の適用を試みた。その結果、本理論が「実験計画法」の一手法として塗料設計に利用価値のあることが判った。特に、塗料の配合組成のみならず、今まで利用実績がなかった塗装条件のようなプロセス因子の最適化に対しても適用できることは、本理論が塗料に関わる様々な実験業務の効率化に対して有用になる点で意義深い。

## 1. はじめに

一般的に、複数成分で構成されている混合物を製品として開発する際、数多くの試作品を作成・評価し、要求項目を満たさない場合、また改良品を作成、そしてまた評価…の繰返しを行うことが多い。改良品の作成には、解析に基づく場合もあれば、経験に基づいた「勘」に頼る時もある。特に後者の場合は、製品開発にかかる工数の観点からすると、個人の技量差に著しく依存しかねない。また、この時の作業によって蓄積されたデータは解析にもとづいていなければ一過性になってしまう恐れがある。したがって、製品開発の効率化においては、データの無用化を防ぐために実験データの数学的解析ができれば有用となる。

現在、実験を数学的見地に基づいて行う手法として「実験計画法」が普及しており、あらゆる分野で広く用いられている。実験計画法の本来の意味は、時間やコストの制約下において、少ない実験でより多くの情報を得るために行う実験計画の方法を指す。また、直交配列での割付や分散分析計算等の固有のテクニックが存在する。そのため、この部分のみを実験計画法とイメージする人もあるが、本来の意はあくまでも効率的な実験を計画する方法である。

その他の数学的実験手法として、「シェッフエの混合理論」(以下シェッフエ・モデル)がある。本理論は1958年にシェッフエが初めて公に発表した理論<sup>1)</sup>であり、日本では、1994年に本理論の解説書<sup>2)</sup>が発表され、実施例を盛り込まれた解説もされている<sup>3) 4) 5)</sup>。本理論は文字通り混合物の配合組成の最適化検討に有効と考えられており、ゴム・インキ業界では既に利用実績がある旨が報告されている<sup>7)</sup>。しかし、多成分混合物が主である塗料業界においてはその例が見当たらない。そこで本理論の塗料設計への適用の可能性を検討した。

## 2. シェッフエ・モデルについて

シェッフエ・モデルとは、対象とする混合物に対して「単体格子理論」を適用し、目的に対する最適組成を求めていくものである。ここでは具体的内容を簡単に示す。

- ①対象とする混合物の総配合比を1.0とし、対象混合物を $q-1$ 次元の単体と見なす( $q$ :成分数)。
- ②各成分に同数の水準を設定する。これにより、対象混合物が取り得る全配合組成が座標を導入した単体内に存在することになり、水準数に応じて格子点が設定される。なお、単体

に対する格子点の数：pは、

$$p = (q+m-1)! / [(q-1)! m!] \quad (m: \text{水準数}) \dots\dots (式1)$$

で決定される。ここでは例として3成分2水準系の単体格子を図1に示す。

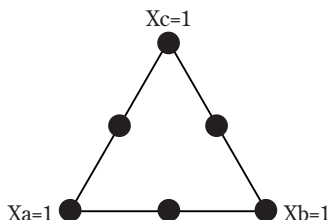


図1 3成分2水準系の単体格子

③混合物の特数値(例えば光沢)は各成分比の関数 $\eta$ で表すこととする。通常、特数値は各成分間において図2の何れかの変化を示すと考えられる。すなわち、特数値 $\eta$ は連続関数であると仮定できるので、テーラー展開により式2で表せる。  
( $\beta$ :特数値係数  $x$ :配合比率  $i, j, k$ :成分)

$$\eta = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_q)$$

$$= \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots$$

ここで  $\sum_{i=1}^q x_i = 1.0$  ( $\beta$ :特数値係数  $x$ :配合比率  $i, j, k$ :成分)

..... (式2)

- ④上記①②で定義された格子点の組成サンプルを作成し、特数値を実測する。当該組成と実測値を式2に代入することにより、特数値に対する $\beta$ 値を算出する。(具体的算出方法については後述する。)
- ⑤式2に④で求めた $\beta$ を代入して求められる式が特数値に対する予測式となる。これを用いて、特数値が要求する範囲を満たす解を求める。この解が最適組成となる。

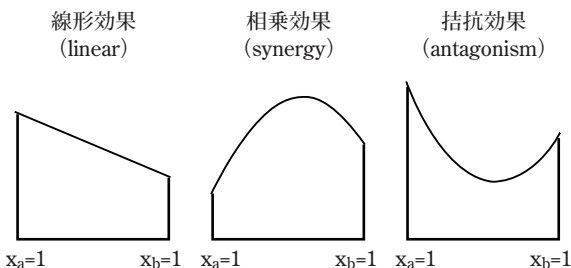


図2 特数値の成分間変化模式図

### 3. 実験

目的が異なる二つの事例を示す。ひとつは塗料の最適配合量を決定する例であり、その他は塗装におけるプロセス因子の最適化への適用例である。

### 3.1 塗料の最適配合量の決定

#### 3.1.1 目標値

粒径が異なるA~Dのアルミペースト(以下ALとする。合計15PHR。PHR:塗料内樹脂100に対するALの量を表す。)を用いて、意匠性、塗料性状および仕上がり肌が良い自動車用ベースコートを作成する。要求項目(特数値)は以下の通りである。

- ・意匠性:IV値<sup>8)</sup> 280以上
- ・塗料性状:沈降安定性(5点満点) 4以上
- ・仕上がり肌:WAVESCAN-LW値(小さいほど良い) 3以下
- ・同 SW値(小さいほど良い) 15以下

#### 3.1.2 実験内容

- ・実験の型:4成分2水準系
  - ・使用塗料:いずれも溶剤系熱硬化型塗料である。  
ベースコート:アクリル/メラミン型(焼付後膜厚約15 $\mu$ m)  
クリアコート:酸/エポキシ型(同 約40 $\mu$ m)
  - ・使用AL:粒径が異なる以下の4種を使用した。ALの粒径が大きいほど意匠性(IV値)は高くても良いが仕上がり肌は劣る。  
・AL-a(平均粒径 約31 $\mu$ m)  
・AL-b(同 約21 $\mu$ m)  
・AL-c(同 約16 $\mu$ m)  
・AL-d(同 約9 $\mu$ m)
  - ・測定項目:上記に示した特数値について以下の機器・方法にて測定を行った。  
・IV値:メタリック感測定器ALCOPE<sup>8)</sup>(関西ペイント製)にて300mm $\times$ 450mmの塗板内を25点測定し、その平均値とした。  
・LW, SW値:仕上がり肌測定器WAVESCAN-PLUS<sup>9)</sup>(BYK-Gardner製)
  - ・沈降安定性:経時での塗料のAL沈降度を目視にて評価した。
- 上記塗料を2C1Bにて同一塗装条件(詳細省略)にて塗装し、特数値評価を行った。サンプル内容は4章に示す。

### 3.2 塗装プロセス因子の最適化

3.1は塗料の配合組成を扱った実験であり、一つの因子を操作すれば必然的に他因子も連動して数値が変動することになり、総和が1.0となるように配合量の設定を行う。これに対して、例えば塗装条件を操作しようとした場合、霧化塗装における霧化圧を操作しても、他の条件値は固定可能であり、本理論には適用できないと考えられる。事実、このようなケースでは本モデルが適用されている例はなく、別法として応答曲面<sup>2)</sup>を利用する方法があるが、非常に複雑であり、最終結果の解釈も困難である。このようなケースに対して、本手法の可能性を探索した。

#### 3.2.1 目標値

自動車用ベースコート(シルバーカラー)をエア-静電霧化自動機で塗装する。塗装条件(霧化圧, 吐出量, フラッシュタイム(以下F. T.):ベースコートを2ステージで塗る際のステージ間の時間)のみを操作して、良好な仕上がり外観を得たい。具体的な要求項

目は以下の通りである。

- ・IV値 160以上
- ・ムラランク (10点満点) 8以上
- ・肌評価値 (大きいほど良い) 5.8以上

### 3.2.2 実験内容

- ・実験の型:3成分2水準系
- ・使用塗料およびAL:前述3.1と同一である。但し、使用ALはAL-dのみ12PHRとした。
- ・測定項目:上記に示した特数値について以下の機器・方法にて測定を行った。
- ・IV値:前述ALCOPEにて300mm×450mmの塗板内を25点測定し、その平均値とした。
- ・ムラ:300mm×450mmの塗板内のIV値を25点測定し、そのバラツキを点数化した。
- ・肌評価値:WAVESCAN-DOI (BYK-Gardner製) による計測値を用いて肌の優劣を点数化した。

### ・塗装条件

#### ・固定要因;

- ・塗装機:エアー静電霧化塗装機 P-901ガン (ABB製)
- ・温湿度:25℃ 70%RH
- ・ガン距離:30cm
- ・印加電圧:-90kV
- ・線速:70m/分

#### ・操作要因;ベースコートのみを操作し、クリアコートは全て同一条件にて塗装した。

- ・霧化圧:1.0~3.0kg/cm<sup>2</sup>
- ・F. T. :0秒~120秒
- ・吐出量:200~400cc/分

本実験において、上記に示した要因は全てプロセス因子である。この条件で2C1Bにて塗装し、特数値評価を行った。サンプル内容については4章に示す。

表1 塗料の最適配合量決定実験の実験サンプルと特数値実測結果

サンプル No.	混合比率				特数値実測結果				備考
	a	b	c	d	IV値	WAVESCAN-LW	同SW	沈降安定性	
1	1.0				336	4.6	26.0	2	$\eta_a$
2		1.0			420	1.8	11.4	3	$\eta_b$
3			1.0		304	1.6	8.0	5	$\eta_c$
4				1.0	207	1.6	7.4	5	$\eta_d$
5	1/2	1/2			370	3.1	20.5	2	$\eta_{ab}$
6	1/2		1/2		316	3.0	20.6	2	$\eta_{ac}$
7	1/2			1/2	236	3.7	23.0	5	$\eta_{ad}$
8		1/2	1/2		355	2.1	9.1	2	$\eta_{bc}$
9		1/2		1/2	265	1.2	8.6	4	$\eta_{bd}$
10			1/2	1/2	250	1.7	7.4	5	$\eta_{cd}$
11	1/3	1/3	1/3		355	2.4	17.3	4	$\eta_{abc}$
12	1/3	1/3		1/3	273	3.2	20.4	5	$\eta_{abd}$
13	1/3		1/3	1/3	255	3.3	17.0	2	$\eta_{acd}$
14		1/3	1/3	1/3	272	2.0	8.2	4	$\eta_{bcd}$
15	1/4	1/4	1/4	1/4	279	3.4	17.2	4	$\eta_{abcd}$
16	7/10	1/10	1/10	1/10	305	3.7	23.6	2	検証
17	1/10	7/10	1/10	1/10	345	2.1	12.4	3	検証
18	1/10	1/10	7/10	1/10	290	2.1	10.5	4	検証
19	1/10	1/10	1/10	7/10	227	2.0	12.0	5	検証

## 4. 結果

### 4.1 塗料の最適配合量の決定

#### 4.1.1 予測式の算出

図1における格子点座標 (●) に相当する組成での特数値を実測する。表1に各サンプルの混合比率および特数値の実測結果を示す。混合比率の15倍が実配合量になる。No.1~10が格子点座

標組成となる。今回は3および4成分交互作用を考慮し、15点で実施した。予め3成分以上での交互作用がないもしくは無視できることが判っていれば省略してもよい。No.16~19は検算のためのサンプルである。ここで、各β値の算出式はテーラー展開式を基に式3のように単純な数式で表現できる。

本実験においてNo.1~15サンプルの実測結果を基に算出されたβ値を表2に示す。各特数値毎にβが算出され、特数値の予測式が完成したことになる。

表2 塗料の最適配合量決定実験のβ値

	IV値	LW値	SW値	沈降安定性
β <sub>a</sub>	336	4.6	26.0	2
β <sub>b</sub>	420	1.8	11.4	3
β <sub>c</sub>	304	1.6	8.0	5
β <sub>d</sub>	207	1.6	7.4	5
β <sub>ab</sub>	-32	-0.4	7.2	-2
β <sub>ac</sub>	-16	-0.4	14.4	-6
β <sub>ad</sub>	-142	2.4	25.2	6
β <sub>bc</sub>	-28	1.6	-2.4	8
β <sub>bd</sub>	-194	-2.0	-3.2	0
β <sub>cd</sub>	-22	0.4	-1.2	0
β <sub>abc</sub>	273	-9.6	0.9	66
β <sub>abd</sub>	-192	14.4	60.0	33
β <sub>acd</sub>	-198	11.7	-28.8	-54
β <sub>bcd</sub>	-303	9.0	0.6	15
β <sub>abcd</sub>	-1040	128.4	253.2	-16

特数値： $\eta = \beta_a X_a + \beta_b X_b + \beta_c X_c + \beta_d X_d$

$+ \beta_{ab} X_a X_b + \beta_{ac} X_a X_c + \beta_{ad} X_a X_d + \beta_{bc} X_b X_c + \beta_{bd} X_b X_d + \beta_{cd} X_c X_d$

$+ \beta_{abc} X_a X_b X_c + \beta_{abd} X_a X_b X_d + \beta_{acd} X_a X_c X_d + \beta_{bcd} X_b X_c X_d$

$+ \beta_{abcd} X_a X_b X_c X_d$

( $X_a, X_b, X_c, X_d$ : 成分 a,b,c,dの配合比率 β:特数値係数)

β 値： $\beta_a = \eta_a \quad \beta_b = \eta_b \quad \beta_c = \eta_c \quad \beta_d = \eta_d$

$\beta_{ab} = 4 \eta_{ab} - 2(\eta_a + \eta_b)$

$\beta_{ac} = 4 \eta_{ac} - 2(\eta_a + \eta_c)$

$\beta_{ad} = 4 \eta_{ad} - 2(\eta_a + \eta_d)$

$\beta_{bc} = 4 \eta_{bc} - 2(\eta_b + \eta_c)$

$\beta_{bd} = 4 \eta_{bd} - 2(\eta_b + \eta_d)$

$\beta_{cd} = 4 \eta_{cd} - 2(\eta_c + \eta_d)$

$\beta_{abc} = 27 \eta_{abc} - 12(\eta_{ab} + \eta_{ac} + \eta_{bc}) + 3(\eta_a + \eta_b + \eta_c)$

$\beta_{abd} = 27 \eta_{abd} - 12(\eta_{ab} + \eta_{ad} + \eta_{bd}) + 3(\eta_a + \eta_b + \eta_d)$

$\beta_{acd} = 27 \eta_{acd} - 12(\eta_{ac} + \eta_{ad} + \eta_{cd}) + 3(\eta_a + \eta_c + \eta_d)$

$\beta_{bcd} = 27 \eta_{bcd} - 12(\eta_{bc} + \eta_{bd} + \eta_{cd}) + 3(\eta_b + \eta_c + \eta_d)$

$\beta_{abcd} = 27 \eta_{abcd} - 108(\eta_{abc} + \eta_{abd} + \eta_{acd} + \eta_{bcd})$

$+ 32(\eta_{ab} + \eta_{ac} + \eta_{ad} + \eta_{bc} + \eta_{bd} + \eta_{cd}) - 4(\eta_a + \eta_b + \eta_c + \eta_d)$

..... (式3)

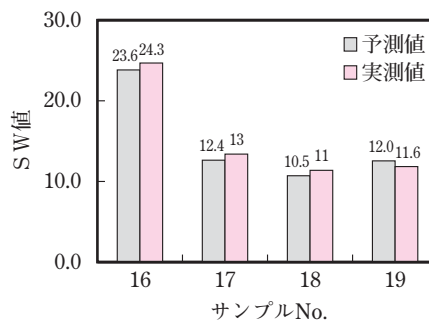
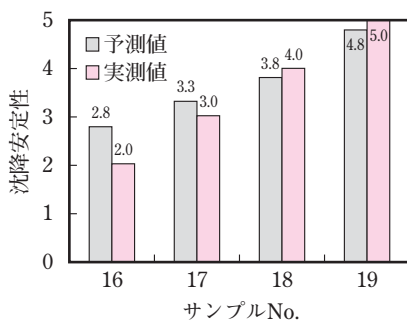
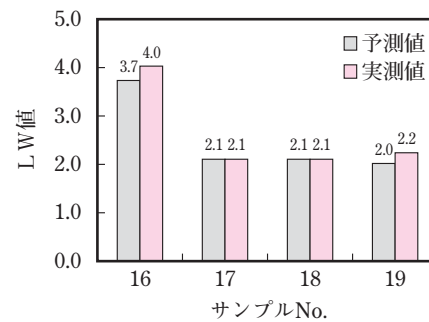
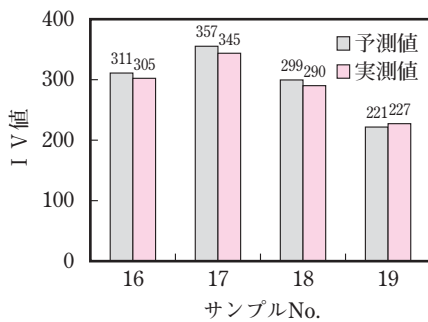


図3 塗料の最適配合量決定実験の予測値と実測値の比較

4.1.2 実測値との対比および最適配合量の決定

4.1.1で求めた式の妥当性をNo.16~19で検証した結果を図3に示す。予測値と実測値がほぼ一致していることから、本式が妥当であると推定できる。そこで、全要求を満たす解を求めた結果を表3および図4に示す。4成分系では全組成の明快な図示は困難であるので、1成分（ここではAL-a）を固定して図示した。このように、シェッフエ・モデルは4成分系での塗料配合設計実験に適用できることがわかった。本モデルは前述のように基本的に何成分でも適用可能であり、実験サンプル配合も格子点の組成を設定すれば良いようにパターン化されている。ただし実際には、式中の項の数が多くなるだけでなく誤差をより生じやすくなるので、多成分系に適用する場合は操作因子を2回以上に分けて行うのが望ましい。

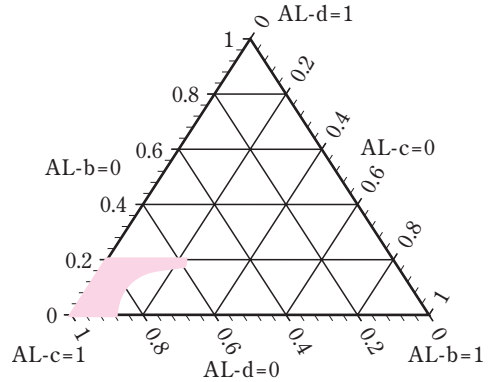


図4 塗料の最適配合量決定実験の全要求を満たす解 (AL-a=0.0時)

表3 塗料の最適配合量決定実験の全要求を満たす解

混合比率 ( $\sum x_i=1.0$ )				予測値			
a	b	c	d	IV	LW	SW	沈降安定性
0.0	0.0	0.8	0.2	281	1.7	7.7	5
0.0	0.0	0.9	0.1	291	1.6	7.8	5
0.0	0.0	1.0	0.0	304	1.6	8.0	5
0.0	0.1	0.7	0.2	283	1.9	7.8	4
0.0	0.1	0.8	0.1	298	1.8	8.0	4
0.0	0.1	0.9	0.0	323	1.8	8.1	4
0.0	0.2	0.6	0.2	287	2.1	8.0	4
0.1	0.0	0.9	0.0	306	1.9	11.1	4
0.1	0.5	0.2	0.3	290	2.4	13.1	4

(小数点1位以下を省略して記載した。)

4.2 塗装プロセス因子の最適化

4.2.1 予測式の算出

基本的手順は3.1と同様である。ただし、ここでは各プロセス因子に上限値・下限値を設定し、上限値を1.0、下限値を0.0に規格化した。これにより、全ての操作因子を同一格子座標の中に包含した状況での操作を行うことが可能になる。

表4にサンプルの混合比率および特数値の実測結果を示す。霧化圧と吐出量は規格化前の下限値を0に設定していないため、サンプル中の実験条件（ここでは実際の霧化圧と吐出量）に0.0は存在しない。No.1~7が格子点座標サンプルでNo.8~9が検証用サンプルになる。本実験においてNo.1~7サンプルの実測結果を基に算出された $\beta$ 値を表5に示す。各特数値毎に $\beta$ が算出され、特数値の予測式が完成する。

表4 塗装プロセス因子最適化実験の実験サンプルと特数値実測結果

サンプル No.	混合比率			実際条件			実測特数値			備考
	a	b	c	a	b	c	IV値	肌評価値	ムラ	
	霧化圧	F.T.	吐出量	霧化圧	F.T.	吐出量				
1	1.0			3.0	0	200	161	5.8	5	$\eta_a$
2		1.0		1.0	120	200	172	5.9	10	$\eta_b$
3			1.0	1.0	0	400	40	4.3	0	$\eta_c$
4	0.5	0.5		2.0	60	200	141	5.2	7	$\eta_{ab}$
5	0.5		0.5	2.0	0	300	147	6.0	10	$\eta_{ac}$
6		0.5	0.5	1.0	60	300	111	5.8	1	$\eta_{bc}$
7	1/3	1/3	1/3	1.7	40	267	162	5.9	9	$\eta_{abc}$
8	0.25	0.5	0.25	1.5	60	250	164	6.0	8	検証
9	0.25	0.25	0.5	1.5	30	300	151	6.1	6	検証



表5 塗装プロセス因子の最適化実験のβ値

	IV値	肌評価値	ムラ
$\beta_a$	161	5.8	5
$\beta_b$	172	5.9	10
$\beta_c$	40	4.3	0
$\beta_{ab}$	-102	-2.6	-2
$\beta_{ac}$	186	3.8	30
$\beta_{bc}$	20	2.8	-16
$\beta_{abc}$	692	3.3	72

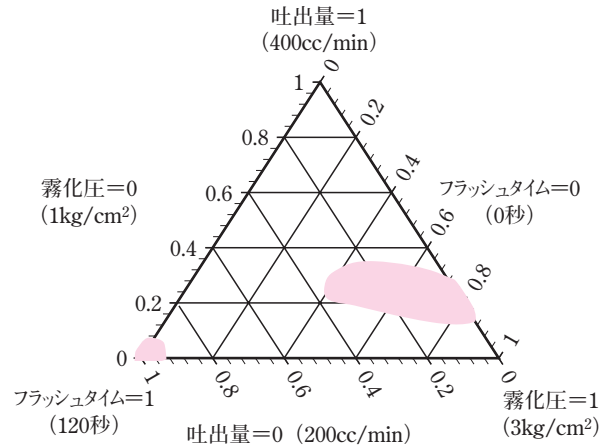


図6 塗装プロセス因子の最適化実験の全要求を満たす解

#### 4.2.2 プロセス因子の最適値の決定

本結果を基に算出した予測式の妥当性を検証した結果を図5に示す。ムラの結果と予測値に差が見受けられるが、整数値での比較ではせいぜい10段階で1~2ランクであることから、予測値と実測値がほぼ一致していると見なせる。

そこで、全ての要求を満たす解を求めた結果を図6に示す。霧化圧が高くてもF. T. が短ければ目的の仕上がり外観は得られないなどの傾向も含め、妥当な結果が得られていることがわかる。このように、塗装条件のようなプロセス因子も制限範囲内では適用可能であることが判った。考えられる制限として、一因子を操作することにより連動してしまう因子を同時に採用しないことが必要である。例えば、膜厚を同一にすることが必要な実験において塗装機の移動速度を変化させる場合は吐出量または塗り重ね回数を同時に変更しなければならない。このような場合に、これらを同時に操作因子として採用することは不適切である。

### 5. 考察

これまでの結果より、本モデルが最適な塗料配合組成や塗装条件を推定する手法として利用できることがわかった。ここで、本手法の使用上の特徴を従来の実験計画法と比較したものを表6に示す。

大きな特徴として、シェッフェ・モデルでは、最終配合組成の推

定は具体的な数値範囲として表現されるが、実験計画法で用いられる手法にはその工程において考慮されている、いわゆる「誤差」を示す部分が見当たらない。つまり、実験の妥当性を評価する有意差検定がない。事実、本モデルは、実験自体の誤差を考慮しない。しかし、よほど精度が高い実験が実施可能であれば別であるが、塗料実験の範疇ではあらゆる個所で誤差を含んでしまうことがあり得る。また、交互作用の有無は成分間βで推測することになり、分散分析計算において検定する方法とは明らかに異なり、既知データを基にフィッティングを行う回帰分析に近い。そこで、重

表6 「シェッフェ・モデル」と実験計画法の特徴比較

	シェッフェ・モデル	実験計画法
操作要因の扱い方	混合物を単体と見なす →操作要因は連動して変動する。	操作要因は独立因子として扱う。
難解度	難解なテクニックは不要	固定のテクニック有り
予測・推定	予測（回帰）式の利用により未実施サンプルについても可能	実施したサンプルのみ推定可能
誤差	考慮していない。	考慮した計画及び計算処理実施

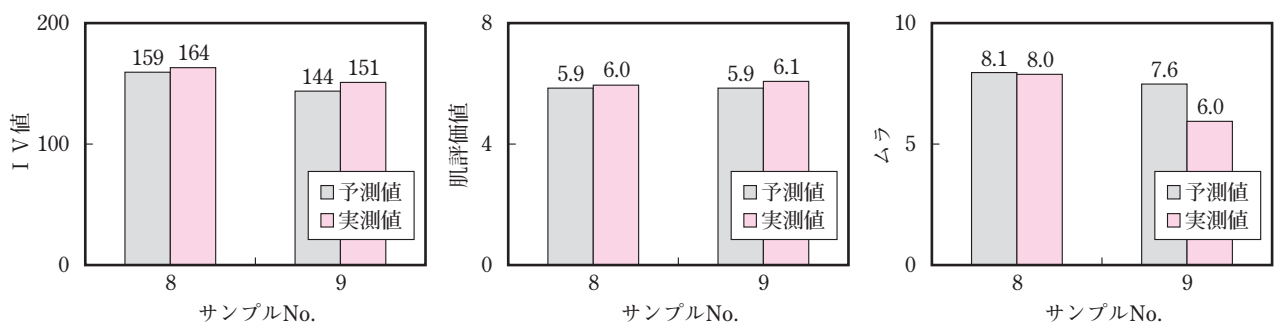


図5 塗装プロセス因子の最適化実験の予測値と実測値の比較

回帰分析による結果と併せながら本モデルでの誤差の扱い方についての考察を行う。

実験3.1のIV値を例にする。この実験で得られたIV値についてNo.1~15のデータを用いて重回帰分析を行うと、AL-bおよびdの配合比を説明変数 $x_b$ および $x_d$ として、

$$\eta \text{ (IV値)} = 86.9x_b - 140.1x_d + 312.8 \quad Ru \text{ (説明変数選択基準)} \\ = 0.85 \quad \dots\dots \text{ (式4)}$$

となる。この式で得られる値と実測値との比較を行うと、表7に示すように最大6%程度のズレとなっている。通常の実験ではこの程度の差は誤差として扱う場合が多い。

表7 塗料の最適配合量決定実験の重回帰分析による予測値と実測値の比較

サンプルNo.	予測値	実測値	誤差*
16	308	305	0.8%
17	360	345	4.3%
18	308	290	6.0%
19	223	227	1.6%

\*誤差：(実測値-予測値) / 予測値

一方、本モデルでの $\beta$ 値の一部を表8に再度示す。3成分系交互作用を表す $\beta_{abc}$ 値が単成分での $\beta$ 値とほぼ同じ値となっている。誤差が全くない状況下においてこの値が0であれば交互作用はないことを表す。大きな交互作用があるようにみえるが、この値は成分a,b,cの3成分が重なった3次値である。そこで3乗根により単成分と同一次数にしてから比較すると、その値は単成分と比較して1.8%程度である。実際の実験で扱われる誤差範囲であることや、分散分析を用いた検定における誤差・推定幅と比較しても、これは誤差の範疇といえよう。このように、交互作用なのか誤差なのかの大まかな判定は $\beta$ 値を見ることで可能である。

表8 塗料の最適配合量決定実験の $\beta$ 値

	$\beta$ 値	次数一致後	対 単独 $\beta^{**}$
$\beta_a$ (=aのIV値)	336	336	/
$\beta_b$ (=bのIV値)	420	420	
$\beta_c$ (=cのIV値)	304	304	
$\beta_{abc}$	273	6.5	1.8%

\*\*対単独 $\beta$ ：次数一致後 $\beta_{abc} / \{(\beta_a + \beta_b + \beta_c) / 3\}$

## 6. 結 論

塗料や塗装実験を数学的に扱う手法として、「シェッフェ・モデル」が、特に最適配合決定または絞り込み実験やシミュレーションの内容の実験への有効性ならびに、これまで適用不可と思われていた塗装条件のようなプロセス因子の最適化実験に適用できることを見出した。

塗料業界において、本モデルが利用されるための難関は「誤差」の取り扱いである。この手法を用いる場合、予測式の精度の観点から、可能な限り正確な実験が必要となるが、塗料業界での実験は誤差を生じやすい。これをどう取り扱っていくかが本手法の本格的利用にあたっての重要ポイントの一つと考える。

また、目視評価のような感応的な評価を定量的な値として測定できないと、本理論で得られる予測式の精度は向上しない。目視評価は、一つの定量的測定項目だけでは十分でない場合が多いので、評価する手段や測定機器を把握してから実験にのぞむ必要がある。

## 参考文献

- 1) H.Scheffé: Journal of the Royal Statistical Society, Series B20, 344-360 (1958)
- 2) 岩崎学：混合実験の計画と解析、サイエンティスト社(1994)
- 3) 松山朝夫：色材、69[2]、102-113 (1996)
- 4) 松山朝夫：色材、69[3]、175-184 (1996)
- 5) 松山朝夫：色材、69[4]、241-250 (1996)
- 6) 高山・松山ら：インキ顔料講座テキスト(配合組成最適化のアプローチ)、印刷インキワニス工業会、色材協会関西支部(1994.9.6)
- 7) 藪田司郎：日ゴム協誌、66、368 (1993)など
- 8) 竹内徹、寺沢秀夫：塗料の研究、No.117、67-72 (1989)
- 9) 石合和夫：塗装工学、30[7]、301-306 (1995)

報  
文