

品質工学MTシステムによる感光性組成物の故障診断

小野 司*, 岡本 潤**, 高橋 秀知***, 南 一守****

Trouble Diagnosis of Photosensitive Compositions Defect by MT System in Taguchi Method

Tsukasa ONO*, Jun OKAMOTO**, Hidenori TAKAHASHI***, and Kazumori MINAMI****

Abstract

Starting with trouble diagnosis, we have succeeded in consistent manufacture of a high sensitivity dry film resist by adopting the MT system in Taguchi Method for the analysis of the accumulated data relevant to this product without conducting any new experiment. First, we studied data processing methods to calculate determinants. Next, we analyzed the accumulated data to design a high sensitivity dry film based on the MT system.

Through such an approach, the term required for product development was greatly curtailed with a reduced development cost.

1. はじめに

2005年6月、当社はプリント基板用デジタル露光システム「INPREX」を開発した¹⁾。これと当社開発のドライフィルムレジストを組み合わせ、デジタル露光システムで世界最速のタクトタイムを実現した。そのキー技術の一つは、レジストフィルムの高感度化技術である。

ドライフィルムレジストの構成物である感光性組成物は、目標とする性能を満足するために多くの化合物から構成されている。一般に、組成物中の化合物や配合割合を変更すると、性能Aは改善するが、性能Bは悪化してしまうなどの問題がある。

本研究は、このような課題がある故障診断に、品質工学のMTシステム²⁾を適用したものである。これまで、当社では、品質工学のMTシステムによる診断技術の先駆的研究を行ってきた^{3), 4)}。この研究を進展させ、感光性組成物の故障診断に活用した⁵⁾。

結果として、故障原因が化合物Cの合成時に使用し

ている原材料であることを特定できた。さらに、対策を実施し、化合物の合成と感光性組成物の安定化製造を実現した。また、MTシステムを用いることにより、新たに実験を行なうことなく、既存のデータを活用できた。最終的に、納期短縮、および開発経費削減に成功した。その研究結果を報告する。

2. 感光性組成物の概要

本報告における感光性組成物は、主に、バインダー/モノマー/光重合開始剤/添加剤などから構成されている。いわゆる、ネガ型の感光性組成物である。その機能は、露光部分を重合させることで硬化させ、未露光部をアルカリ現像処理で除去する。これにより像を形成する。

求められる重要な機能の一つは、感度である。感度とは、像を形成させるために必要なエネルギー量を示す。生産性向上の観点から、感光性組成物に対する、高感度化の顧客ニーズは大きい。

本誌投稿論文（受理2005年11月24日）

- * 富士写真フイルム（株）R&D統括本部
機器開発生産本部
〒258-8538 神奈川県足柄上郡開成町宮台798
- * Equipment Development and Production Division
Research & Development Management Headquarters
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Miyanodai, Kaisei-machi, Ashigarakami-gun, Kanagawa
258-8538, Japan
- ** 富士写真フイルム（株）経営企画部
富士フイルムウエイ推進室
〒250-0193 神奈川県南足柄市中沼210
- ** Fujifilm Way Management Innovation Office
Corporate Planning Division, Fuji Photo Film Co., Ltd
Nakanuma, Minamiashigara, Kanagawa 250-0193, Japan

- *** 富士写真フイルム（株）R&D統括本部
有機合成化学研究所
〒418-8666 静岡県富士宮市大中里200
- *** Synthetic Organic Chemistry Laboratories
Research & Development Management Headquarters
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Oonakazato, Fujinomiya, Shizuoka 418-8666, Japan
- **** 富士写真フイルム（株）R&D統括本部
材料研究本部
〒418-8666 静岡県富士宮市大中里200
- **** Materials Research Division
Research & Development Management Headquarters
Fuji Photo Film Co., Ltd.
Oonakazato, Fujinomiya, Shizuoka 418-8666, Japan

3. 背景と目的

感光性組成物中のある化合物Cの製造化準備のために、スケールアップを進めていた。この時、化合物Cのロットによって感光性材料の感度が低下する故障が発生した。その故障解析は、以下の点で困難な状況であった。

- ①製造化段階であるため、ラージスケールの実験は、費用面、日数面で制約が多いこと
- ②他性能の向上を目的とした組成物中の化合物や、配合を変える研究も並行して進める必要があり、実験水準数にも制約があること
- ③固有技術的に故障解析自体がむずかしいこと
 - ・テストピースレベルの一因子実験においても、結果にばらつきが大きく、明らかな傾向はみられなかったこと
 - ・これまでの経験から、化合物Cの感度への影響は低いと思われること

一方、研究開発過程においては、組み合わせ効果が大きいことから、比較的多くの条件で実験が行なわれている。これらのデータを用いて、MTシステムによる故障解析を行なった。また、新たに実験を行なうことなく、短納期、低コストで、故障解析を行なうことをねらいとした。

4. MTシステムによる解析結果

4.1 MTシステムによる解析法

MTシステムは、正常かつ既知な母集団のデータ（以下、単位空間）から、①未知なサンプルの結果を推定すること（予測）、②異常かつ既知な母集団の異常項目を検出すること（診断）を目的とする情報システム技術である。

従来のMTシステムの手法である「MT法」は、計算過程で逆行列を計算している。このため、データ形式により、行列式の計算ができず、解析できない問題点がある。このため、生データの処理方法が重要な解析技術の一つになる。一方、2005年田口玄一博士より、逆行列を用いず、汎用性の高い新たなMTシステムの手法「T法」が発表された⁶⁾。

本報告では、①従来のMT法と新たなT法の「予測」精度の比較研究、②MT法による「診断」研究結果、③感光性組成物の改善結果の3つを報告する。

4.2 解析用データ

解析用データは、それまで蓄積された感光性組成物中の化合物Cの合成原材料種別、合成条件、化合物の物性値、感光性組成物中の他化合物との配合比率などのデータを用いた。その特徴は以下である。

- ①特性値：感度レベル（ランク）
露光量を3水準変化させ、水準ごとに感度の変化量をランク付けする。さらに、これらを統合して総

合ランクとした。ランク付け基準をTable 1に示す。

Table 1 Criteria for Sensitivity Ranking.

ランク	感度変化量
1	上昇；20%以上
2	現行同等；±20%以内
3	やや低下；-40～-20%
4	低下；-100～-40%
5	かなり低下；-100%以下

- ②対象数：66個
ランクごとの対象数はTable 2の通りである。

Table 2 Rank Value Distribution.

ランク値	1	2	3	4	5	計
対象数	5	31	4	5	21	66

*単位空間；ランク1,2の計36個

- ③項目数：28
計量値データ7項目、分類データ21項目。

4.3 分類データの処理方法

本解析の項目における分類データ21項目を、

- ①計量値、計数値として扱いMT法を適用する場合；条件1
- ②0,1バイナリーデータとして扱い、T法を適用する場合；条件2

の2条件について比較解析を行なった。

(1) 条件1；計量値、計数値のデータ処理法

- ①計量値への変換方法；
感度に影響を及ぼす特徴量に着目し、その値を用いた。例えば、化合物に含有されるある素材の配合率などである。
- ②計数値への変換方法；
経験に基づいて順位付けを行ない、この値を用いた。例えば、合成原料のメーカーなどである。

(2) 条件2；0,1バイナリーデータのデータ処理法

0,1バイナリーデータ化においては、項目ごとの水準数nに対し、項目数n-1とした。

分類データをバイナリーデータ化した場合、従来のMT法活用時の課題を以下に示しておく。

- ①項目数が増える。このため、データ数と項目数が比較的同等数の場合、項目数がデータ数を上回り、項目削減、またはマルチ化が必要となる。
- ②単位空間においては、項目データが均一になりやすい。このため、ランク落ちの発生が多い。例えば、Table 3で、項目Aのデータ123、項目Bのデータ122の場合、Table 4形式に変換すると、項目Aの1、項目Bの1、ともに100と同じになる。よって、カテゴリーデータを扱う場合、逆行列を計

算できないことが多くなる。そのため、新手法T法の活用技術が重要となる。

Table 5に分類データ処理後の計算条件を示す。

Table 3 Classification Data.

	項目 A	項目 B	項目 C
対象 No.1	1	3	1
対象 No.2	2	2	1
対象 No.3	3	1	2

Table 4 Binary Data.

	項目 A の 1	項目 A の 2	項目 B の 1	項目 B の 2	項目 C
対象 No.1	1	0	0	0	1
対象 No.2	0	1	0	1	1
対象 No.3	0	0	1	0	0

Table 5 Calculating Conditions.

	条件 1	条件 2
項目数	21	47
分類データの 処理方法	計量値, 計数値	0, 1 バイナリデータ
解析法	MT法	T法
項目選択方法	①多重共線性のある項目を形式的に削除。 28 → 21 項目 ②マハラノビス距離を用いて SN 比を算出。	①項目 28 をバイナリ化し項目数を 47 に増加。 ②ランクの予測値を用いて SN 比を算出。

4.4 予測結果

Table 5 の 2 条件について、MT法を用いた条件 1 ではマハラノビス距離を、T法を用いた条件 2 では予測値を算出した。予測精度の比較には、ゼロ点比例の SN 比を用いた。SN 比算出においては、信号 M に Table 1 のランク値を真値として用いた。

また、条件 1, 2 の真値とマハラノビス距離、予測値の分布を Fig. 1, Fig. 2 に示す。SN 比で比較すると、条件 2 の方が 26.23db 改善され、最新の T 法の方が予測精度が高い。

4.5 診断結果

Table 5, 条件 1 のデータを用いて、項目診断を行ない、特性値低下に起因しているパラメータを特定する。感度が低下しているランク 5 のデータを信号として、項目診断を実施した。項目特性の SN 比により要因効果を求めた結果が Fig. 3 である。なお、直交表は、L32 を用いた。

以下に、要因効果図の結果について考察する。

2 水準型の要因効果図において、第一水準（有）の SN 比が高く、第二水準（無）の SN 比が低い、その差の大きいものが影響度の高い項目である。項目水準の有無で SN 比差が 1.3db 以上のものは項目 2, 14, SN 比差が 0.8db 以上のものは項目 12, 7, 3 であった。

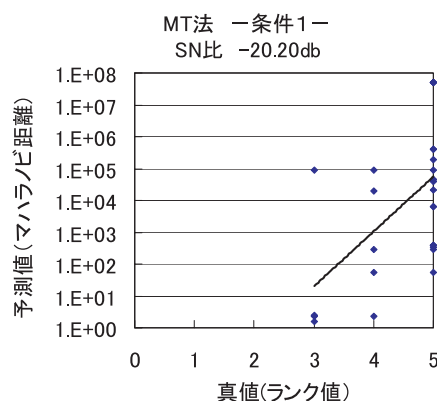


Fig. 1 Truth value and Mahalanobis Distance.

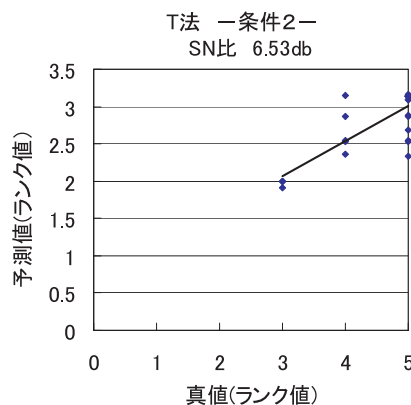


Fig. 2 Truth value and estimation value.

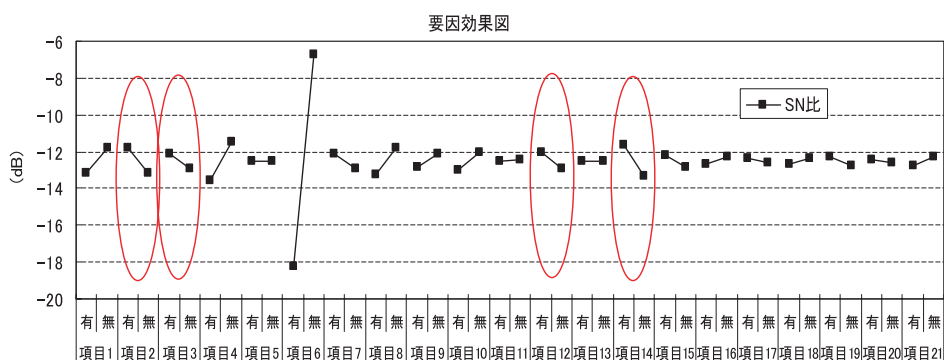


Fig. 3 Graphs of factorial effects.

①項目2；この項目は、化合物Cの合成原材料となる化合物であり、実験前に予想していたものと一致している。研究開発段階において、この化合物について一因子実験を含めいくつかの実験を行なっている。しかし、この要因の効果が現われる場合と、そうでない場合があった。

②項目14；この項目は、化合物Cのベース原材料となる化合物である。項目2と同様、感度に影響を与えることに技術的な説明がつけられる。

また、項目3, 12についても技術的な説明がつけられる。一方、項目7は、化学的に化合物Cを特徴づける特性値ではない。そのため、特性値への影響は少ない。

なお、項目診断はMT法のみ実施している。最新のT法による項目診断は今後の研究課題である。

4.6 改善結果

先のドライフィルムレジストの故障改善のために、項目2を中心に水準を変え、改良品を試作した。その結果をFig. 4に示す。改善後、感度レベルが目標のランク4から2に改善した。

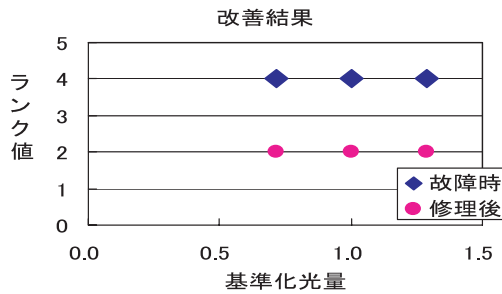


Fig. 4 Improvement by MT method.

5. 考察

品質工学では、事前に故障を起こさないようにL18直交表などによるパラメータ設計を実施している。しかし、①組み合わせ効果の大きい場合、②製造など実験スケールが大きくなる場合は、パラメータ設計の実験制約が大きくなり適さない。よって、MTシステムによ

る問題解決型のアプローチが必要かつ重要になる。

このような問題解決型課題の「新たに実験を行わない」アプローチを、本研究では試みている。そのため、①MTシステム活用技術の向上、②それまでのデータの管理・蓄積が必要条件となる。この場合、本研究のように分類データが多くなるケースがあり、①分類データの処理法と、②T法による実用化研究の向上が重要になる。

6. まとめ

- (1) 故障に寄与している故障要因を、MT法により、「新たに実験を行なうことなく」「短期間」に特定できたことは大きな成果となった。
- (2) T法はMT法よりSN比が大きい。これは、①標準偏差ゼロ、②多重共線性の項目データを採用できたことも予測精度向上の要因の一つと思われる。
- (3) 化合物の故障解析は、組み合わせ効果が大きいため技術的経験によるアプローチが少なくない。MTシステムを適用することにより、システムティックに解析できる見通しを得た。

参考文献

- 1) 沢野充. 電子材料. 44 (10), 141 (2005).
- 2) 田口玄一. 品質工学応用講座 MTシステムにおける技術開発. 日本規格協会, 2002.
- 3) 金沢幸彦, 岡本潤ほか. MTSによる処理液診断システムの構築. 品質工学会誌. 6 (6), 47-52 (1998).
- 4) 石井善雄, 岡本潤ほか. マハラノビス距離を用いた乳化分散物処方の健康診断. 品質工学会誌. 10 (4), 40-45 (2002).
- 5) 小野司, 高橋秀知, 南一守. 第13回品質工学研究発表大会論文集. 298-301 (2005).
- 6) 田口玄一. MTシステムによる予測と推定. 標準化と品質管理. 58 (8), 72-76 (2005).

(本報告中にある“INPREX”は富士写真フイルム(株)の商標です。)