

実験計画法を用いたオリジナルプリントTシャツの品質最適化

* 枝松 哲朗, 後藤 正幸(武蔵工業大学)
渡邊 法比古, 園部 祐希 (株)デンエンチョウフ・ロマン

1. 研究目的

某企業(以下 A 社)において,ポリマー染色色という新たな染色技術が開発された.これは特殊なポリマー溶液を生地に含浸させることにより,顔料インクジェットプリンターによる染色加工を可能とした技術である[1].その技術を活かし,A社ではTシャツに写真やデザインをプリントするサービス(オリジナルプリントTシャツ)を開始した.

しかしながら,研究機関による染色の堅牢度テストやサンプル段階では順調であったが,実際に販売された商品において,注意書きどおりに使用・洗濯しても「プリント部分が黄ばむ」、「色落ちが発生する」という重大な問題が発生した.

本研究では,この問題の改善を図ることを目的とする.A社との確認作業の結果,問題は作業工程や溶液濃度,洗濯方法など様々な要因にあるという結論に達した.この問題を改善するためには,各要因の効果を分析し,最適な条件の組み合わせを明らかにする必要がある.しかし,要因数が多いため,すべての条件の組み合わせについてTシャツを製作し評価するには,多くの時間とコストが必要になる.そこで,直交表を用いることで,実験数を減らし,効率的に実験と評価を行う.また,この問題は,定量的評価がしやすい実験と異なり,黄ばみ,色落ちの許容性といった感性特性を扱うことになる.本研究では複数の被験者による視覚評価の数量化を導入し,分散分析による要因の分析を行う.この結果から最適な要因の組み合わせを示し,プリント品質の向上を図る.

2. 実験概要

2.1 因子と水準

まず A 社との議論により,黄ばみと色落ちに影響を与える要因を全て列挙した.その結果,多くの要因が挙げられた.それら要因の中から操作可能なものを選択し,各因子の実験水準を決定した(表1).また,A社が操作可能な要因を内的要因,ユーザが操作可能なものを外的要因と表した.内的要因については製造段階で制御可能であるが,外的要因については,ユーザに「注意事項」として使用条件を明示するなどの対応が必要である.

表1 因子と水準

		水準1	水準2	水準3
内的要因	含浸液の付け方	霧吹き	浸す	
	含浸液の濃さ	薄い	濃い	
	生地の種類	白	淡色	
	含浸液	新液1	新液2	旧液
外的要因	洗濯ネット	使用	不使用	
	洗剤	弱アルカリ性	中性	
	乾燥機	不使用	使用	
	使用方法	運動着	普段着	

2.2 実験計画法~直交表 L₁₈~

今回は,実験計画法の手段の一つである直交表を用いて各要因の水準を組み合わせた.用いた直交表は L₁₈ 直交表である.直交表の利用により,本来 384 通りの実験を 18 通りに減らすことが可能となった.18 通りの条件を決定したのち,各条件に応じたプリントTシャツを 1 通りの条件につき 2 枚,計 36 枚作成した.これは製作段階での製品品質のばらつきを考慮するためである.これらを実験協力者 36 人に 1 人 1 枚,計画にある 18 通りの条件別で使用(洗濯を含む)してもらった.また,従来問題が起きたTシャツでは,約一週間ほどで黄ばみが発生し始めていたため,実験期間は 3 週間,実際の使用と洗濯は週 2 回とした.その後,Tシャツを回収し,問題の発生状況を統計的に分析することにより,最適なTシャツ作成条件を求める.ここで注意すべきことは,実験計画法及びその統計的分析手法である分散分析では,量的データを扱っていることである.黄ばみ,色落ちの許容性といったデータは,人の感性が影響してくる質的データである.本研究では,評価基準を「問題なし・10点」、「よく見るとわかる・7点」、「人前では着られない・4点」、「返品・1点」という 4 段階に設定し,質的データから量的データへの変換により,各条件の評価を行った.評価方法は,50 人の協力者に T シャツを一枚ずつ視覚評価してもらい,黄ばみ,色落ちについて,それぞれ点数を出してもらい.そして,その 50 人の評価数値の平均を各組み合わせで実現値とし,分散分析を行うことで,結果に影響を与える要因を抽出すると共に,最適条件を探求する.主な顧客は学生であることから,評価対象は学生に絞り,評価を行った.

3. 分析結果

分析の結果、黄ばみに関しては、要因「液の濃さ」が有意水準 1%で有意、「生地の種類」、「乾燥機」が有意水準 5%で有意であることが判明した。それぞれの寄与率は 28.6%、12.5%、10.7%であった(表 2)。全体のばらつきの 51.8%をこれら 3 つの要因で説明できることが明らかとなった。

色落ちに関しては、要因「液の種類」が有意水準 1%で有意、「液の付け方」、「液の濃さ」が有意水準 5%で有意であり、それぞれ寄与率は 21.9%、6.8%、8.2%であった(表 3)。これは、全体のばらつきの 36.9%が、これら 3 つの要因による影響であることを示している。

分析の結果、オリジナルプリントTシャツでの、最適と思われる作成条件は次のようになった。

淡色のTシャツに、薄めの新液 2 を
 浸して付けTシャツを作成。
 ただし乾燥機は使用不可とする。

4. 考察

今回の結果より A 社に対して以下の提案を行うことができた。

今後は、薄めの新液 2 を浸して付けてプリントを行い、顧客に対し極力淡色の生地の使用を提案する。さらに注意書きの中に乾燥機の使用不可の項目を追加する。

今回の結果の確認実験、有意とならなかった因子を含めた交互作用の実験を行う。

実験の結果、当初の予想とは若干異なる結果が現れた。内的要因に関しては、ほぼ予想通りの結果が得られたが、外的要因に関しては「ネットの使用」「洗剤の種類」が影響を及ぼすと考えられたが今回の実験では有意とならなかった。この結果を検証するための実験が必要である。確認が取れるまでは、これまでの外的要因に関する注意書きは残しておくべきである。

また、今回の実験では実験単位内誤差が 48.2%、63.1%と大きくなった。本稿の実験では、製作段階でのばらつきと、ユーザの視覚評価による評価誤差の混入が考えられる。すなわち、誤差は次のように分解して考えることができる。

$$V_e = V_t + V_u \quad (1)$$

ただし、 V_e は実験誤差の分散、 V_t は製作段階でのばらつきによる分散、 V_u はユーザの視覚評価による誤差の分散である。ここで、表 2、3 より、 $V_e = 1.1, 1.5$ がわかる。また、分析データより、各条件における 50 人分の評価値の分散の平均を計算すると、3.9 になる。これより、50 人の平均値の分布の分散を計算すると、 $V(x) = \frac{2}{n}$ より、 $V_u = 0.08$ となる。よって(1)式より、 $V_t = 1.02, 1.42$ と実験誤差の大部分は、製作段階における品質のばらつきであることがわかる。さらに、詳細なばらつきの発生原因を調

表 2 分散分析の結果(黄ばみ)

要因	平方和 S	自由度 f	分散 V	分散比 F_0	寄与率 P (%)
含浸液の付け方	2.5	1.0	2.5	2.2	
含浸液の濃さ	24.1	2.0	12.1	10.6 **	28.6
生地の種類	11.8	2.0	5.9	5.2 *	12.5
含浸液の種類	0.2	2.0	0.1	0.1	
ネットの使用, 不使用	1.9	2.0	1.0	0.8	
洗剤の種類	0.3	2.0	0.2	0.1	
使用方法	0.8	2.0	0.4	0.4	
乾燥機の使用, 不使用	10.4	2.0	5.2	4.6 *	10.7
一次誤差 e_1	4.3	2.0	2.2	1.9	
実験単位内誤差 e_w	20.4	18.0	1.1	-	48.2
計	76.7	35.0	-	-	100.0

分散比 F_0 の * は有意水準 5% で有意, ** は 1% で有意を意味する

表 3 分散分析の結果(色落ち)

要因	平方和 S	自由度 f	分散 V	分散比 F_0	寄与率 P (%)
含浸液の付け方	8.1	1.0	8.1	5.5 *	6.8
含浸液の濃さ	11.0	2.0	5.5	3.8 *	8.2
生地の種類	9.7	2.0	4.9	3.3	
含浸液の種類	24.3	2.0	12.2	8.3 **	21.9
ネットの使用, 不使用	2.4	2.0	1.2	0.8	
洗剤の種類	0.3	2.0	0.2	0.1	
使用方法	8.2	2.0	4.1	2.8	
乾燥機の使用, 不使用	6.1	2.0	3.1	2.1	
一次誤差 e_1	0.7	2.0	0.4	0.2	
実験単位内誤差 e_w	26.3	18.0	1.5	-	63.1
計	97.1	35.0	-	-	100.0

分散比 F_0 の * は有意水準 5% で有意, ** は 1% で有意を意味する

べる必要がある。

5. まとめ

本研究では、A 社が提供するオリジナルプリントTシャツで発生した「黄ばみ」、「色落ち」という問題に対し、実験計画法を用いて実験を行い、ユーザの視覚評価による分析を行った。実験結果の分析により、現段階における最適条件を導き出すことができ、サービスを提供し続けられるだけの結果を出せた。

今後の課題として、製作段階でのばらつきをなくすため、作業マニュアルの作製等が必要と思われる。また、ユーザの視覚評価による誤差は新たな評価方法やユーザのセグメント化などにより、精度向上を図らなければならない。使用者の汗の質や細かい使用状況など、今回要因として取り上げなかったものも、誤差要因であり、その大きさを把握する必要がある。

参考文献

[1] 渡邊一枝, 「経営者会報」, 日本実業出版社, (2003)