

タオル製造工程で発生する廃棄物の活用（第2報）

—染料を再利用して染色したタオル製品—

檜垣誠司 山口真美 久保那菜子 橋田 充 石丸祥司

Utilization of waste generated at towel manufacturing factories (Part 2)
-Towel products made from recycled dyes -

HIGAKI Seiji, YAMAGUCHI Mami, KUBO Nanako, HASHIDA Mitsuru and ISHIMARU Shoji

近年、繊維製品、特に衣料廃棄物を中心に繊維原料をリサイクルする取組みが進んでいる。一方、加工剤、特に染料の再利用については技術的な背景もなく、使用した染料は廃水浄化するのみで再利用は行われていない。このため、綿糸を改質することによって、廃液中の染料を再利用した染色加工における課題解決に取組んだ。その結果、改質した綿糸を用いて染色廃液中の反応染料を再利用することによって廃棄染料を大幅に抑えることができた。また、廃棄染料を活用した着色によって濃淡柄のタオル製品及び廃棄繊維製品から再生した綿糸と染色廃液中の染料を再利用した染色加工を組合せたバスタオルを試作することができた。

キーワード：タオル、廃棄物、改質綿糸、反応染料

はじめに

繊維染色業に関わる廃水は着色していることから汚濁感が強く、廃水の色度については国の規制はないものの、環境に対する認識の高まりから問題視されるようになっている。一方、廃水の脱色方法についてはオゾン処理¹⁾など有効な技術も確認されているが、脱色に係る新たな経費が必要なことから普及が進んでいない。また、繊維製品、特に衣料品を中心に循環型社会形成のためのリサイクル化の動き²⁾が顕著になり、衣料廃棄物を極力抑える反毛技術を活用した再生綿糸の利用や、新たに色に着目したアップサイクル³⁾の動きもみられるようになった。

今治タオル産地では地球環境に配慮したタオルブランド力向上を目的に、再生綿糸の活用⁴⁾について取組んでいるが、さらに本研究では染色廃液中の染料をも再利用するための課題を抽出し、これら活用技術の確立に取り組んだ。

実験方法

1. 染色試験

(1) 試料

綿糸 (KB ツヅキ(株)製 TS 20/1^s) を常法で精練漂白し、染色用試料とした。

(2) 反応染料による染色

反応染料は Remazol Yellow RU-N、Red RU-N、Blue RU-N (DyStar 製) をそのまま用い、赤外線加熱式ポット染色試験機 (㈱テクサム技研製 UR-MINI-COLOR) にて、浴比 1 : 10、60°C、60 分間染色を行った。なお、染色助剤として中性無水芒硝を 50g/l、アルカリ剤としてエスボロン R-201 (ライオン(株)製) を染料濃度ごとの推奨量を添加した。

(3) 綿糸の改質 (カチオン化)

所定濃度のカチオノン KCN (ライオン(株)製) と水酸化ナトリウム (カチオノンに対し 15%(w/w)) の溶解液で、高温高压チーズ染色機 (㈱日阪製作所製 HUHT-250/650) により 80°C、60 分間処理した。

(4) 染色廃液の染料濃度及び染色物の K/S (Kubelka-Munk 関数)

この研究は、「タオル製造工程で発生する廃棄物活用技術の開発研究」の予算で実施した。

分光光度計（㈱島津製作所製 UV-3600plus）にて染色廃液の吸光度を測定し、検量線によって残液中の染料濃度を算出した。また、染色物の K/S 測定は積分球を用いた反射率測定後、最大吸収波長における K/S を算出し、色表示はマンセル表色系を用いた。

(5) 染色堅ろう度試験

JIS L 0844 洗濯に対する染色堅ろう度試験（A-2 号）、JIS L 0846 水に対する染色堅ろう度試験、JIS L 0849 摩擦に対する染色堅ろう度試験（摩擦試験機 II 形）を行った。

2. 染料を再利用した製品試作

(1) 染色廃液中の染料を再利用した後染バスタオル

コンセプトは「循環する」、モチーフは「植物」とし、パイル糸に綿糸と改質綿糸を組合せた後染による柄出しを行うジャカード柄（図 1）を作成した。後染タオルの試作は、精練漂白した綿糸と改質綿糸をチーズ糊付した後、サンプル整経機（有）スズキワーパー製 NAS140CS-2750）を用いて整経し、グリッパー織機（スルザー製 P7100）にて表 1 の条件でバスタオルを試織した。さらに、染色後に回収した廃液を再利用し、糊抜した試織バスタオルを染色することによって、柄表現のある後染タオルを試作した。



図 1 後染タオル用ジャカード柄

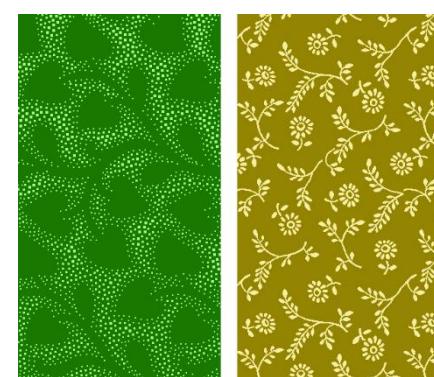


図 2 先染タオル用ジャカード柄

表 1 バスタオルの試織条件

織機	グリッパー織機 P7100	
使用糸	パイル糸	綿糸、改質綿糸 20/1 ^s
	地たて糸	綿糸 40/2 ^s
	よこ糸	綿糸 20/1 ^s
密度	筘	48羽／3.79cm
	よこ糸密度	48本／2.54cm
筘引込	G P	G P
パイル長	10mm	
組織	3ピックパイル(2色毛違い)	

(2) 再生綿糸と再利用染料を活用した先染バスタオル

廃棄繊維製品から再生した綿糸（倉敷紡績㈱製 L∞PLUS・20/1^s・反毛繊維割合：30%）を精練漂白、染色しパイル糸として先染バスタオルを試作した。なお、使用糸は常法により染色した再生綿糸と更に改質後にこの染色廃液で再染色（30°C、30 分）した再生綿糸で、サイジングワインダー（㈱ヤマダ製 YS-6 型）にて糊剤 C-400L（㈱松本油脂製薬製）により糊付、整経後、この両者を組合せた濃淡ジャカード柄（図 2）の先染タオルを試織した。製織条件は表 1 と同様としたが、パイル長は 7mm に変更した。

結果と考察

1. 染色試験

(1) 染色後の染料残濃度

反応染料は 10~50%程度が固着されず廃液中に残留される⁵⁾といわれているが、染色装置、染色条件、使用染料など様々な要因によって大きく異なる。従って、実際に染料がどの程度残留するか把握するため、単独染料で 1、2、3% (owf) にて綿糸を染色後、染色廃液中に残留した染料濃度を求めた(図 3)。

高濃度で染色するほど廃液中の残留染料が多くなることが確認できた。今回選定した染料は配合用 3 原色染料で染色特性の揃った染料を用いたが、残留比率は種類・濃度ごとに大きく異なり再現性も低かった。反応染料は直接性や固着速度など個々の染料特有の性能をもち、また染料を配合する際に染料間の相互作用も発生し、実際の染色においても処理条件等適時変更されることもある。従って、正確に廃液中の残留染料濃度を予測することは困難で、改質綿糸の再染色に際し大まかな染着濃度、色相の予測程度になると考えられる。

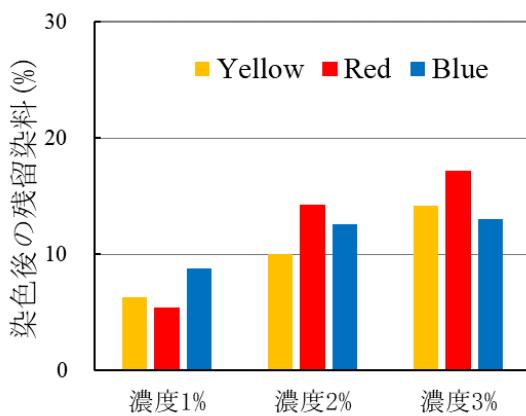


図 3 染色後の残留染料

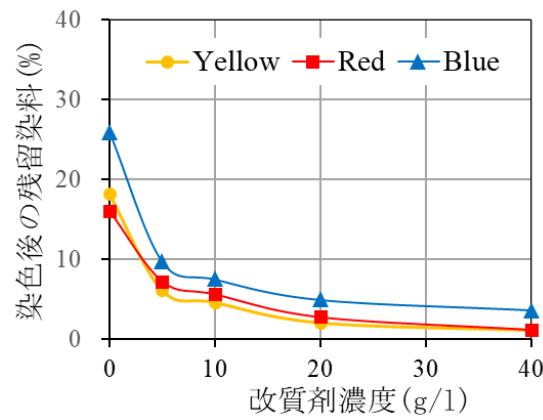


図 4 改質綿糸の染色時の残留染料

(2) 改質綿糸の染着特性

i) 模擬染色廃液による改質綿糸の染色試験

改質綿糸の染色廃液に対する染着性を確認するため、0.045% (w/v) 単独染料の溶液に被染色物を入れないで助剤投入後、所定時間加熱した廃液(模擬染色廃液)により、改質綿糸を 30°C、30 分間染色した。廃液中に残留した染料濃度を図 4 に示す。

改質した綿糸は回収した染色廃液により染色できることが確認され、改質剤濃度 20 g/l で廃液の着色もほぼ認められない程度となった。また、青色染料は黄・赤色より改質綿糸への染着性が悪い傾向があったが、これは染料構造の違いによるものと思われる。一方、改質していない綿糸においても染料残は 20% 前後となつたが、洗浄後には綿糸の着色もないことから無機塩等で高めた染料の直接性による一時的な吸着によるものと思われ、染料中の反応基は既に加水分解されている。

ii) 染色後の廃液を用いた染色試験

染料濃度 0.5、1、2、3% (owf) にて(初回) 染色した廃液を用い、20 g/l で改質処理した綿糸を再染色した際の廃液中染料濃度差から求めた染料利用率を、染料濃度、染料別に示す(図 5)。

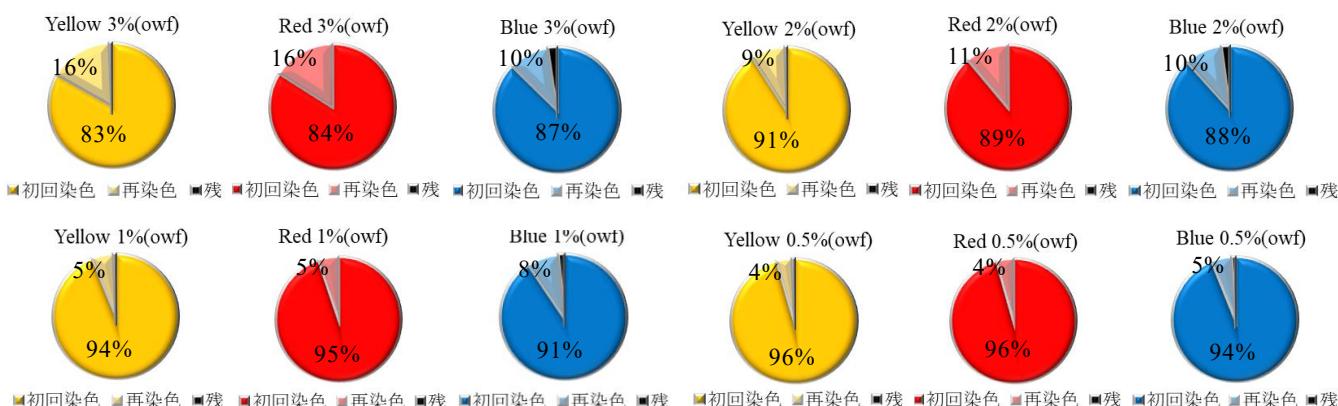


図 5 初回染色、再染色における染料利用率

初回染色と再染色における染料利用率を染料濃度別の 3 染料平均値で比較すると、濃度 3% で初回染色時 85% と再染色時 14%、濃度 2% ではそれぞれ 89% と 10%、濃度 1% では 93% と 6%、濃度 0.5%

では 95%と 4 %となって、初回染色が濃色ほど染料利用率は低下し再染色の利用率はその反面高くなつた。さらに、再染色後の最終廃液中の染料は平均すると各濃度いずれも初回染色前濃度の 1 %以下となり、再染色することによって大幅に染色廃水の着色を低減することが可能となつた。また、前項で述べたように染料別では青色染料の染着性が初回染色、再染色ともに悪く、実際の染色では常に複数の染料を配合して使用することから、再染色の際には濃淡以外にも色相が異なつてくることも考慮する必要がある。

次に、2 %と 0.5%染料濃度で初回染色した廃液を用い各改質剤濃度で処理し再染色した綿糸の K/S を図 6 に示した。

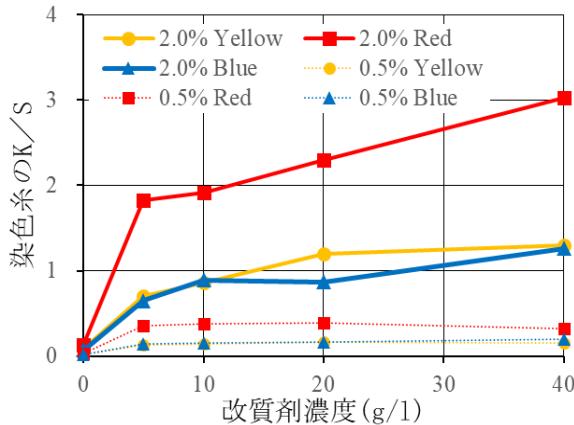


図 6 改質綿糸による再染色糸の K/S

初回染色濃度 2 %では廃液中の染料濃度が高いことから改質による差（改質濃度が大きいほど K/S も大きい）が発生したが、初回染色濃度 0.5%では再染色に供される染料濃度が低く改質剤濃度の影響もなく、染色糸の K/S も 0.2 程度と着色も僅かであった。さらに、再染色における染料利用率と染色糸の K/S 結果の考察から、綿糸を改質してある程度の着色が確認できる再染色を行うためには、少なくとも初回染色濃度が 0.5%以上は必要であると思われる。

(3) 染色堅ろう度

染料・繊維間の結合様式は通常の反応染料では共有結合によるが、回収した染料廃液にて改質綿糸を再染色するとイオン結合となるので染色堅ろう度の低下が懸念される。このため洗濯、水、摩擦に対する染色堅ろう度試験を行った結果を表 2 に示す。試験布は同程度の染料着色濃度に揃えるため、前項の染色試験で近似した 0.5%(owf)初回染色布と 3.0%(owf)染色後の廃液を用いた再染色布にて比較した。

表 2 通常染色布と再染色布の染色堅ろう度

染料	染色区分	洗濯堅ろう度試験		水堅ろう度試験		摩擦堅ろう度試験	
		変退色	汚染	変退色	汚染	乾燥	湿潤
Yellow	0.5%初回染色	4-5級	4級	4-5級	4級	4-5級	4級
	3.0%再染色	4-5級	4級	4-5級	4級	4-5級	4級
Red	0.5%初回染色	4-5級	4級	4-5級	4級	4-5級	3-4級
	3.0%再染色	4-5級	4級	4-5級	4級	4-5級	3-4級
Blue	0.5%初回染色	4-5級	4級	4-5級	4級	4-5級	3-4級
	3.0%再染色	4-5級	4級	4-5級	4級	4-5級	4級

各試験結果から、通常染色と再染色との染色堅ろう度の差はなく、改質綿糸を用いた再染色においても染色堅ろう度に問題ないことが確認できた。このことから、改質綿糸と加水分解した反応染料とのイオン結合染色物も高い堅牢性を示すことが分かった。

2. 製品試作

(1) 染色廃液中の染料を再利用した後染バスタオル

パイル糸の一部を改質綿糸として交織した後、染色後の廃液を用いた再染色によって柄表現のある後染バスタオルが試作できた（写真 1、2）。なお、再染色はそれぞれ写真中央・左の染色タオルの廃液を再利用したもので、その合計染料濃度は 0.25%から 1.19%の異なる濃度であり、6 種類（2 柄、3 色）の染色後の廃液で後染を行つた。染料の吸着率が異なることで初回染色と色相が異なるものもある

ったが、目的とするジャカード柄を後染によって表現することができた。また、再染色後の廃液は目



写真 1 染料を再利用して試作した後染バスタオル 1

(左) 染色タオル
(右) 再染色タオル
(左) 染色廃液
(右) 再染色廃液



写真 2 染料を再利用して試作した後染バスタオル 2

(左) 染色タオル
(右) 再染色タオル
(左) 染色廃液
(右) 再染色廃液

視でほとんど着色がなく、染料利用の高効率化、染色廃水の着色低減にも繋がった。

(2) 再生綿糸と再利用染料を活用した先染バスタオル

再生綿糸を染色した糸とさらにこの染色廃液を再利用して染色した再生糸（写真3）を用い、ジャカード柄のバスタオルを2柄2色試作した（写真4）。



写真 3 再生綿糸の染色

表 3 染色糸のマンセル色表示

染色区分	マンセル表示	
	色相	明度／彩度
赤染色	初回染色	2.5R
	再染色	9.4RP
青染色	初回染色	6.2B
	再染色	5.0B
緑染色	初回染色	5.5GY
	再染色	3.2GY
橙染色	初回染色	9.3YR
	再染色	7.9YR



写真 4 再生綿糸と再利用染料を活用して試作した先染バスタオル

再生糸のマンセル色表示は 5.0R 7.8/0.6 と既に灰色調に着色していたが、赤、青、緑、橙色に初回染

料合計濃度 0.35～0.56%(owf)で染色し、これら廃液を活用して再染色した。表 3 は染色糸を測色後、マンセル表示したものである。初回染料合計濃度が低く、しかも再生綿糸が既に着色されているので再染色糸は明度、彩度とも殆ど変化なかった。しかし、初回染色糸と再染色糸の色相はそれぞれ近似されており、試作品の柄は濃淡の組み合わせとしたことで落ち着いた配色となった。

ま　と　め

染色廃液中の染料を再利用した製品開発のため、改質した綿糸における染色廃液中の染料濃度と染着試験や染色堅ろう度試験などを行った結果、以下のことが分かった。

1. 高濃度で染色するほど廃液中の染料濃度が高くなつた。一方、染色特性の揃つた 3 原色染料でも残留比率は大きく異なり再現性も低かつた。
2. 改質した綿糸での廃液中染料を活用した再染色では、初回染色濃度 0.5%(owf)以上で染色した廃液を利用すると着色が十分確認できる濃さとなつた。しかし、染料によっては染着性の差異がみられるので、配合色では初回染色との色相変化が発生する可能性もある。
3. 染色廃液を用いた再染色と初回染色の染色堅ろう度について比較した結果、洗濯、水、摩擦堅ろう度試験で差がないことが分かつた。
4. 染色廃液中の染料を利用したタオルとして後染タオルと先染タオルを試作した。後染タオルは改質綿糸を併用して製織した後、染色廃液により再染色して柄表現を行つた。また、纖維廃棄物を活用した再生綿糸を染色し、更にこの廃液を用いて再染色した糸を組合せ製織し、濃淡柄の先染バスタオルも試作した。

文　　獻

- 1)松岡宏昌：産業廃水におけるオゾン処理技術,環境技術,3-10,735-746(1974).
- 2)木村照夫：衣類の消費と廃棄・循環の実態と課題,廃棄物資源循環学会誌,21-3,140-147(2010).
- 3)内丸もと子：色で素材を循環する“Colour Recycle System”新しい纖維リサイクルのかたち,纖維学会誌,80-4,129-131(2024).
- 4)山口真美,檜垣誠司,橋田充,石丸祥司,田中克典：タオル製造工程で発生する廃棄物の活用（第 1 報）,愛媛県産業技術研究所研究報告,62,78-83(2024).
- 5)朝田昭,尾崎勝康,大田行孝：違った角度から見る反応染料の染色,染織経済新聞社,69-74(1995).