

洗濯によるタオルの硬化に関する研究

—硬水地域でのタオル硬化要因について—

山口真美 小平琢磨

Research on hardening of towels by washing
— Factors for hardening towels in hard water areas—
YAMAGUCHI Mami and KOHIRA Takuma

硬水地域でのタオル硬化要因を調査するため、硬水を用いたタオルの洗濯等により評価したところ、タオル硬化の大きな要因は繊維のフィブリル化による水素結合の強まりによるもので、柔軟剤や洗濯ネットの使用によりタオルを柔らかく保つことが可能であることが分かった。また、硬水に由来する析出物の発生防止のためには合成洗剤を使用することや熱水では洗濯しないこと、付着防止のためにはポリエステル製の洗濯ネットを使用することが有効であることが分かった。

キーワード：タオル、硬化、硬水、洗濯

はじめに

硬水地域は軟水地域に比べて洗濯によりタオルが硬くなりやすいと言われているが、これまでその原因については詳細な検討がなされて来なかった。そこで、タオルの硬化原因を解明することで、今治タオルの海外展開の推進につなげることを目的とした。

実験方法

1. 硬水の影響

(1) 硬水と洗剤（合成洗剤・石鹼）の混合試験

ミネラルウォーター（Danone S.A.製 evian 公称硬度 304mg/l 以下、「硬水（evian）」とする。）80ml に、洗濯用石鹼（サラヤ(株)製 arau) 120 μ l 又は合成洗剤（花王(株)製 アタック高浸透バイオジェル）80 μ l を加え、40 $^{\circ}$ C の水浴で 30 分加熱した後、0.45 μ m のメンブレンフィルターでろ過することにより固形物を捕捉した。105 $^{\circ}$ C に設定した定温乾燥機（アズワン(株)製 EOP-450B）で 2 時間乾燥した後に固形物の質量を測定した。

(2) 硬水の加熱試験

i) 析出物の発生量の比較

ミネラルウォーター（Nestle Waters Marketing & Distribution 製 Contrex、公称硬度約 1,468mg/l 以下、「硬水（Contrex）」とする。）を 100ml ずつ採取し、表 1 の操作を行った後に 0.45 μ m のメンブレンフィルターを用いて析出物を捕捉し、105 $^{\circ}$ C に設定した定温乾燥機で 2 時間乾燥した後に質量を測定するとともに、顕微赤外分光光度計（Perkin Elmer 製 Frontier）によるスペクトル測定及び卓上走査型電子顕微鏡（日本電子(株)製 JCM-6000）による表面観察・元素分析を実施した。

表 1 硬水の加熱条件

表記	加熱方法
加熱なし	—
40 $^{\circ}$ C	40 $^{\circ}$ C の水浴で 30 分加熱し、1 時間静置
沸騰	沸騰するまで加熱し、1 時間静置

この研究は、「不織布タオル等製造効率化技術開発」の予算で実施した。

ii) 素材による析出物付着量の比較

素材の違いによるカルシウム付着量を調べるため、沸騰するまで加熱した硬水 (evian) に綿及びポリエステル糸を 10 分間浸漬した。取り出した糸は、強制対流方式定温乾燥機 (アズワン(株)製 OFW-600B-R) を用いて 60°C で 20 分間乾燥した後、卓上走査型電子顕微鏡で表面を観察した。

iii) 析出物のタオルへの付着

タオルへの析出物の付着量を調べるため、表 2 のタオルについて表 3 の加熱操作を行った。硬水 (Contrex) は 500ml/回、加熱はステンレス製の鍋、脱水は二槽式小型洗濯機 (株アルミス製 AST-01)、乾燥は強制対流方式定温乾燥機、洗濯ネット (ポリエステル 100%、細目) を使用した。次に、卓上走査型電子顕微鏡でタオル及び洗濯ネットの表面を観察した。

表 2 試験用タオル

織機	小幅シャトル織機
箆	50 羽/3.79cm
よこ糸密度	48 本/2.54cm
パイル糸	20/1 ^S
地たて糸	40/2 ^S
よこ糸	20/1 ^S
パイル長	10mm
箆引き込み	GP GP
サイズ	約 20×17cm
質量	約 15g

表 3 硬水中でのタオルの加熱条件

表記	加熱・脱水・乾燥
煮沸 5 回 (硬水)	「硬水に浸漬し 1 時間煮沸→3 分脱水→60°C・2 時間乾燥」× 5 回
煮沸 5 回 (硬水+ネット)	「硬水に浸漬し 1 時間煮沸 (洗濯ネットを使用) →3 分脱水→60°C・2 時間乾燥」× 5 回

2. タオルの柔らかさの評価

タオルの硬化要因を調査するため、表 2 のタオルについて表 4 の洗濯操作を行った。なお、洗濯にはミニ洗濯機 (ウィナーズ(株)製 RWM-1)、脱水は二槽式小型洗濯機、乾燥は強制対流方式定温乾燥機を使用し、常温の水道水 (硬度 33mg/L) 又は硬水 (Contrex)、柔軟剤 (花王(株)製 ハミング素肌おもい) をそれぞれ使用した。

次に、タオルの柔らかさを評価するため、表 4 の 6 枚のタオルについて、触り心地による順位付けをし、柔らかいものから順に点数 (5 点→0 点) を付け、11 名の平均値で表した。

表 4 タオルの洗濯条件

表記	洗濯・脱水・乾燥
ブランク	—
10 回洗濯 (水道水)	「水道水を用いて洗濯→3 分脱水→60°C・2 時間乾燥」× 10 回
10 回洗濯 (硬水)	「硬水を用いて洗濯→3 分脱水→60°C・2 時間乾燥」× 10 回
50 回洗濯 (水道水)	水道水を用いて 50 回洗濯→3 分脱水→60°C・2 時間乾燥
50 回洗濯 (水道水)+柔軟剤	水道水を用いて 50 回洗濯→柔軟剤に 10 分浸漬→3 分脱水→60°C・2 時間乾燥
50 回洗濯 (水道水+ネット)	水道水を用いて 50 回洗濯 (洗濯ネットを使用) →3 分脱水→60°C・2 時間乾燥

結果と考察

1. 硬水の影響

(1) 硬水と洗剤（合成洗剤・石鹼）の混合試験

捕捉した固形物量を図1に示す。合成洗剤では0.2mgであったが、石鹼では27.2mgと多くの固形物（石鹼かす）が発生した。

(2) 硬水の加熱試験

i) 析出物の発生量の比較

捕捉した析出物量を図2に、FT-IR スペクトルを図3に、電子顕微鏡画像及び元素分析結果を図4に示す。40°Cで30分加熱した場合の析出物は加熱しない場合の約2倍であるのに対し、沸騰するまで加熱した場合は約24倍となり、熱水にすることで多くの析出物が発生することが分かった。図3で CO_3^{2-} (1396cm^{-1}) と SO_4^{2-} (1127cm^{-1}) に基づく吸収が見られること、図4でカルシウム、炭素及び硫黄が検出されていることなどから、析出物は主に炭酸カルシウム (CaCO_3) と硫酸カルシウム (CaSO_4) であると推察される。

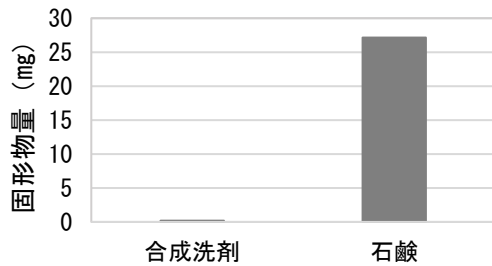


図1 洗剤との混合で発生した固形物

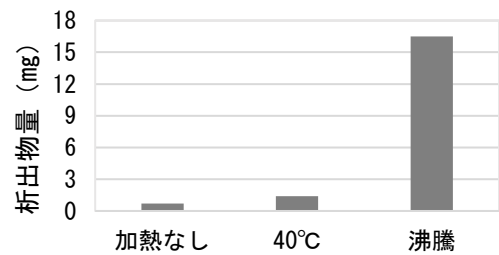


図2 加熱により発生した析出物

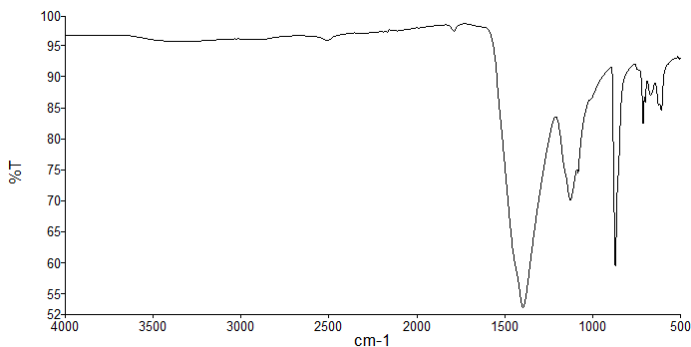


図3 析出物のFT-IRスペクトル

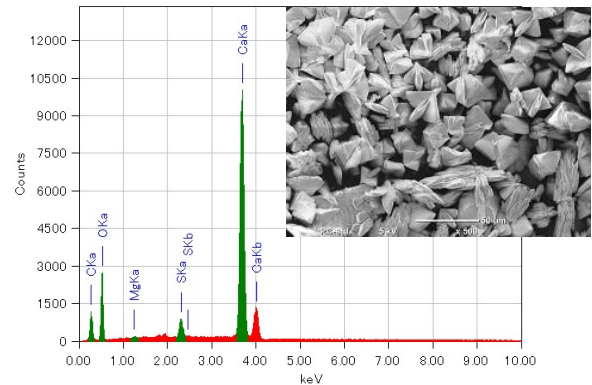


図4 析出物の電子顕微鏡画像及び元素分析結果

ii) 素材による析出物付着量の比較

電子顕微鏡観察画像を図5に示す。綿よりもポリエステルに多くの析出物が付着していることが分かった。これは、親水性である綿よりも疎水性であるポリエステルの方が析出物との親和性が高いためと推察される。

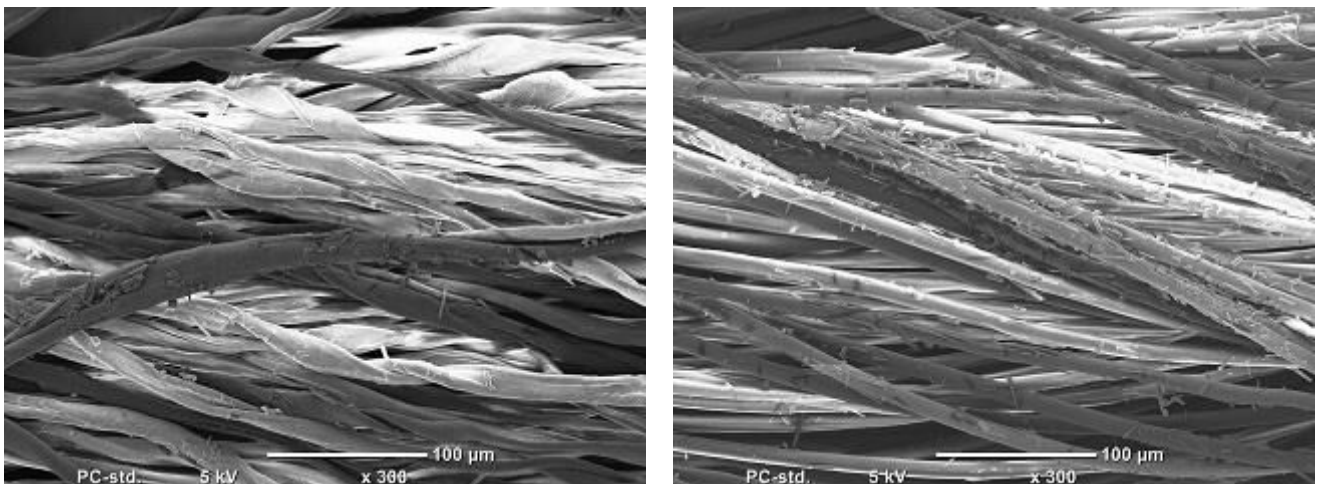


図5 糸に付着した析出物の電子顕微鏡画像（左：綿、右：ポリエステル）

iii) 析出物のタオルへの付着

電子顕微鏡観察画像を図6に示す。洗濯ネットを使用していないタオルは使用したものに比べて綿繊維上に多くの析出物が付着していること、また、洗濯ネットの内側と比べて外側に多くの析出物が付着していることが分かった。このことから、析出物は繊維上で成長するのではなく、内壁などで発生しタオルが擦れるなどして付着したものと推察される。

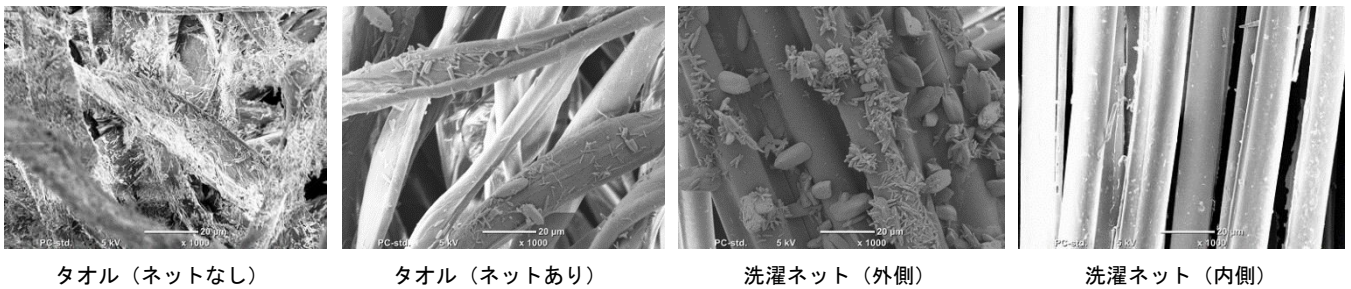


図6 タオル及び洗濯ネットに付着した析出物の電子顕微鏡画像

2. タオルの柔らかさの評価

触り心地によるタオルの柔らかさの評価結果を図7に示す。水道水又は硬水を使用して10回洗濯したものを比較すると、硬水による硬化の優位性は認められなかった。水道水で50回洗濯したものは一度も洗濯していないブランクと比べて大きく点数が下がったが、柔軟剤や洗濯ネットを使用したものはブランクに近い点数となった。

50回洗濯後のタオルから採取したパイル糸の電子顕微鏡観察画像を図8に示す。そのまま洗濯したものは繊維が傷んで微細化(フィブリル化)しているが、洗濯ネットを使用したものは傷みが少ないことが分かった。このことと触り心地評価の結果から、洗濯による繊維のフィブリル化の進行で水素結合が強まり、隣り合う繊維との結合力が強くなることによってタオルが硬くなると考えられる。柔軟剤を使用した場合は水素結合が弱まることで、洗濯ネットを使用した場合はフィブリル化が抑制されることでタオルを柔らかく保つことができると考えられる。

欧州ではドラム型洗濯機の使用が多く洗濯時間も長いことから、繊維のフィブリル化の進行が早く硬く感じられるものと推察される。

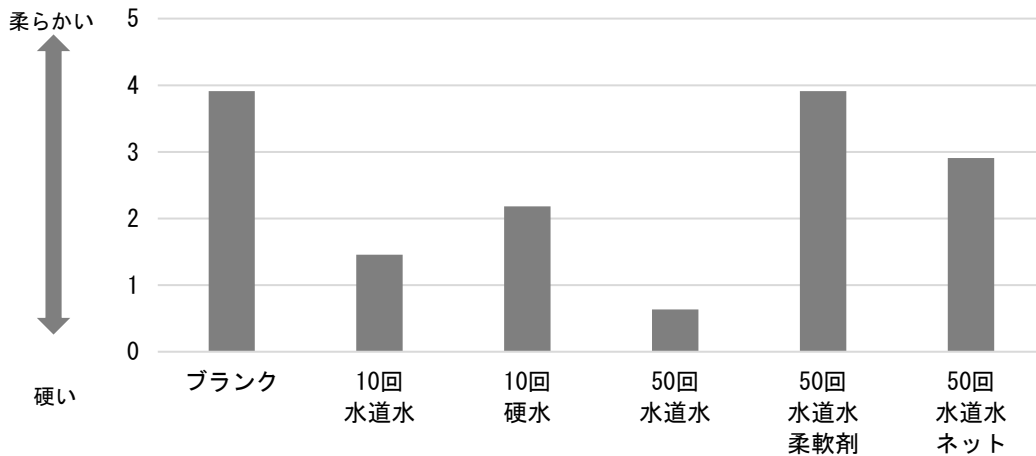
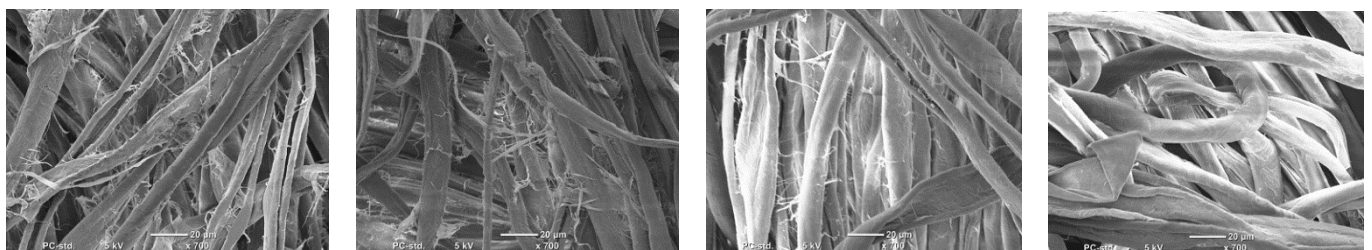


図7 タオルの柔らかさの評価結果



50回洗濯 (水道水) 50回洗濯 (水道水+ネット)

図8 50回洗濯後のパイル糸の電子顕微鏡画像

ま と め

硬水地域でのタオルの硬化原因を特定するため、硬水を用いた評価試験を実施し、以下のことが分かった。

1. 硬水と石鹼を混合した場合は合成洗剤よりも多くの石鹼かすが発生する。
2. 硬水を熱水にすることにより多くの析出物が生じるが、40℃程度の温水であれば影響は小さい。
3. 綿とポリエステルを比較するとポリエステルの方が析出物は付着しやすく、ポリエステル製の洗濯ネットを使用することによりタオルへの析出物の付着を抑制できる。
4. タオルの硬化の大きな原因は繊維のフィブリル化による水素結合の強まりによるもので、柔軟剤や洗濯ネットを使用することでタオルを柔らかく保つことが可能である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、海外で使用されたタオルを参考試料としました。提供及び収集にご協力頂いた方々に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 五十嵐崇子, 中村浩一: 衣料用柔軟剤の効果発現メカニズム, オレオサイエンス, 第 13 巻第 11 号, 3-8 (2013).