

洗濯排水におけるファイバーフラグメント放出に関する研究

—— 機械力の影響 ——

A Study of Fiber Fragment Release in Laundry Wastewater
— Influence of Mechanical Forces —

被服学科 美谷 千鶴
Dept. of Clothing Chizu Mitani

抄 録 合成繊維衣料の洗濯におけるマイクロプラスチック (MP) 流出の問題は解決すべき喫緊の課題である。その解決には、清潔志向で毎日行っている洗濯を見直し習慣変容することが不可欠であり、科学的データに基づいたエビデンスベースの情報を提供する必要がある。そこで本研究では、衣料の洗浄性と MP になり得る洗濯によるファイバーフラグメント (FF) 流出による環境負荷低減を総合的に勘案した洗濯条件を見出すことを目的に、洗濯機の洗浄方式および浴比によって機械力を段階的に変化させ、ポリエステルフリース生地から脱落する FF 重量を計測し洗浄率と共に検討した。その結果、攪拌流水による摩擦力の方が、たたき洗いによる衝撃力より、FF を発生し易いことがわかった。国内で汎用される洗濯機は攪拌の流水力方式の縦型洗濯機であることから、現在の洗濯環境下では汚れ除去に必要な機械力以上の過剰な機械作用により、常習的に FF を流出している可能性がある。

キーワード：ファイバーフラグメント、マイクロプラスチック、合成繊維、洗濯、機械作用

Abstract The problem of microplastic (MP) leakage during laundering of synthetic fiber clothing is an urgent issue that must be solved. To solve this problem, it is essential to review and change the daily washing habits of cleanliness-oriented people, and it is necessary to provide evidence-based information based on scientific data. In this study, we measured the weight of FF that was shed from polyester fleece fabrics by changing the machine power step by step according to the washing method and bath ratio, and examined it together with the washing rate, in order to find washing conditions that comprehensively take into account the washability of clothes and the reduction of environmental impact due to fiber fragment (FF) shedding by washing, which can become an MP. The results showed that the weight of FF that fell off from the polyester fleece fabrics was reduced by the use of agitated stream water. The results showed that the frictional force of agitated running water was more likely to generate FF than the impact force of beating. Since most washing machines used in Japan are vertical type with an agitating water flow system, it is possible that FF is habitually discharged due to excessive mechanical action that exceeds the mechanical force required for stain removal under the current washing environment.

Keywords: Fiber fragment, Microplastic, Synthetic fiber, Washing, Mechanical action

1. はじめに

プラスチック汚染は、気候変動や天然資源の乱獲と並んで、人為的な環境への影響が問題視されてきたものの一つである¹⁾。2015年に国連がミレニアム

開発目標に続く2030年までの目標として採択した「持続可能な開発目標」(SDGs)の一つに海洋環境保全があり、2025年までにあらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減することを掲げている。なかでも石油由来の安価ゆえに大量生産・消費・廃棄

されるプラスチックは、生分解されず、徐々に破砕し細分化することはあっても地球に残留し続け、生態系に深刻な影響を与えることが懸念されている²⁾。

海洋プラスチックの大型海洋生物による摂食と悪影響は1970年代以来報告されてきたが³⁾、2004年のサイエンス誌にマイクロプラスチック汚染の影響を問う論文⁴⁾が発表されたことを契機に、マイクロプラスチック（以下、MP）が全地球に広がる汚染物質として認識され、プラスチック汚染は新たな局面を迎えた。そして、最近ではこれが大規模な環境汚染問題として、国際的に緊急に解決すべき課題となっている。

私たちの最も身近な環境である生活環境において、まず考えられるMPは、衣生活における被服素材の合成繊維である。今日の衣生活は合成繊維に依存しているが、合成繊維は、石油ベースの有機ポリマーから作られる繊維状のMPである。

従来の天然素材の欠点を補う形で様々な布に使用されてきた合成繊維は、今や天然繊維の生産量の2倍を超えている⁵⁾。合成繊維は、その製造過程、使用、洗濯、廃棄の各々の段階で環境中に微小の繊維由来の断片であるファイバーフラグメント^{註1)}（マイクロプラスチックサイズの繊維片：以下、FF）を放出するMPの発生源と疑われているものは複数存在するが、微小であるかゆえに、排水処理システムをもすり抜け、河川、海に流れ込む。排水処理システムを通過した排水中に含まれるMPの6割は繊維状であることより、洗濯排水もその1つの汚染源であると考えられている⁶⁾。

これは、私たちの衣服に汎用されているポリエステルなどの合成繊維由来のMPが、生活者の洗濯という行動で、無意識のうちに洗濯排水に混入して日常的に放出される可能性が大きい。しかし、最も身近な環境である衣服を洗濯することは、衛生上、審美上、日常生活において不可欠な行為である。したがって、その発生源をコントロール出来れば、繊維由来のMPの流出を抑制できると考える。

繊維由来のMPによる環境負荷といった観点から、欧米を中心に、すでに洗濯に関しても調査、研究が行われ、60件以上に上っている⁷⁾。しかし、その多くがMP脱離を抑える洗浄方法に関する研究であり、その際の洗浄性能や実際の家庭洗濯改善へ向けたものではなく、家政学的視点に立ったものではない。日本では衣服素材の開発、洗剤や洗濯機の洗浄力向

上などの研究は鋭意進められているものの、生活者の視点を取り入れた、洗濯時のMP流出に関する研究の取り組みはまだ少ない。そのため衛生的な衣生活を送るために洗濯が日常的に行われる一方で、プラスチック袋の規制などに留まるのみで、洗濯から放出されるMPについての調査・研究は、10件にも満たない。

洗濯では、歴史、風土、文化、習慣の違いからくる日常生活の違いが、洗濯行動とひいては洗浄性能に大きく影響するため、環境問題解決のための国際的指標とするには、より詳細な生活者の視点を取り入れた検討が必要であると考え。少なくとも海外で取り組まれている研究での洗濯環境は、全て日本のスタイルとは異なるため、日本の家庭洗濯では異なる結果になる可能性が大きい。

また、洗濯の本来の目的である汚れ除去の観点で衣類洗浄における汚れの除去機構を考える場合、化学的作用と物理的作用の二つの側面からアプローチする必要がある。物理的作用を積極的に活用することは汚れ除去には有効であるが、被洗物の損傷・劣化、それに伴うMP脱落を促す要因となり得る。また化学的洗浄とは界面活性剤である洗剤の使用であり、その環境中への流出は水質汚染といった環境問題を招き兼ねない。これら問題解決には、私たちの増大した清潔志向で毎日行っている洗濯という行為を見直し、習慣変容することが不可欠であるが、そのためには科学的データに基づいたエビデンスベースの情報提供する必要がある。そして、持続可能な社会実現ためには洗濯においても洗浄性は基より環境負荷や資源・エネルギー消費の低減を総合的に勘案した、洗浄効果と繊維脱落、環境負荷の3点を満足させるベストプラクティスを見出す必要があると考える。しかしながら国内外共に洗濯本来の目的である洗浄性とMP脱落の相関を検討したものは見当たらない。

そこで本研究では、これまでの先行研究ではみられなかった洗浄の三要素の一つである機械力に焦点を当て、洗濯機の洗浄方式および浴比の違いにおける洗浄率と洗濯機械力の関係から、MPの発生源になり得る、洗濯時に生じるFFについて考察し、適切な洗濯条件を見出すことを目的とした。

この目的のために、縦型洗濯機とドラム式洗濯機の2パターンの洗浄方式を設定し、浴比による洗浄性の変化をFF脱落量、洗濯機械力、洗浄率、顕微

鏡観察の4つの観点から評価して流出するFFおよび繊維への負荷が少なく、洗浄効果の高い条件について検討した。

2. 実験

2-1 試料

①試験片として、合成繊維の中で生産量が最も多く、パイル素材であるため洗濯時の繊維脱落が容易に起こり易いことからポリエステル100%のフリース生地(濃紺)を選定し、試料とした。

使用生地の諸元は表1に示す通りである。

表1 生地の諸元

色	素材	質量(g/m ²)	厚さ(mm)	含気率(%)
濃紺	ポリエステル	258.5	1.79	86

試験片は、110mm×110mmに採取し、2枚を重ねて100mm×100mmになるように、4辺をポリエステル糸(#80)を使用して、ロックミシン「糸取り物語」BL65EXS((株)ベビーロック製)で端処理を行った。処理後、粘着カーペットクリーナーで試布表面に付着した埃やゴミを除去したのちに、乾燥機に入れて絶乾状態(乾燥条件:105℃で2時間)にした。

②湿式人工汚染布は、JIS C 9606の湿式人工汚染布(株式会社双立)5cm×5cmを1ポットにつき、ターゴトメーターの場合は4枚、ラウンドオメーターの場合は2枚を試験片1枚に1枚縫い付けて使用した。

③機械力測定用布としてデンマーク技術研究所(Danish-Technological Institute Clothing and Textile Institute: D.T.I)のMA布(MA24)を1ポットにつき、ターゴトメーターの場合は1枚、ラウンドオメーターの場合は5等分し、布の周囲をロックミシンで端処理して周囲の糸のほつれを調整し、1穴の状態ですべて1ポットにつき1枚、投入した。

以上、①から③の試験布を1ポットにつき、ターゴトメーターの場合は20g、ラウンドオメーターの場合は10gになるように調整し実験を行った。

2-2 使用機器

洗浄には、攪拌式洗浄試験機ターゴトメーターTM-4(大栄科学精器製作所製)と回転式洗浄試験機ラウンドオメーターLM-8D(スガ試験機(株)製)を使用した。また、洗浄前後の表面反射率を測定するため分光測色計CM-3600d(コニカミノルタセン

シング(株)製)を用いた。

2-3 洗浄方法

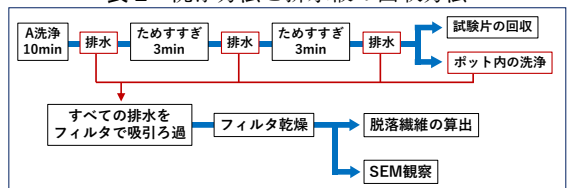
- ・洗浄用水：水道水
- ・洗浄温度：40℃
- ・浴比：1：15・20・30・50
- ・洗剤濃度：使用洗剤の標準使用量
- ・洗浄時間：10分間(回転数：ターゴトメーター120rpm, ラウンドオメーター：40±2rpm)
- ・すすぎ：2回

洗浄方法は、実際の洗濯を想定した手順で、機械力の異なる洗濯試験機、ターゴトメーター(攪拌式洗浄試験機)とラウンドオメーター(回転式洗浄試験機)を用い、洗浄温度40℃、使用水は水道水とし、浴比1：15・20・30・50と変化させて洗浄実験を行った。洗剤は界面活性剤23%含有の市販衣類用コンパクト型粉末洗剤(花王(株)製：品名「洗濯用合成洗剤」、液性「弱アルカリ」)を用い、洗浄時間10分、ためすすぎ3分×2回、脱水は含水率200%以下になるよう手絞りをした。洗濯終了後の被洗物は自然乾燥させ、吸引ろ過に使用したフィルターは105℃の定温乾燥器内で2時間乾燥させた。

2-4 排水回収方法

洗浄工程における排水は、すべて同フィルターで吸引ろ過した。その際のフィルターは広範囲の耐薬品を持つナイロンを原料とする、粒子保持能(最大径)100μmのフィルター(Millipore社製NY1H0900)を用いた。なお、フィルターは、使用前に20℃65%RHの環境下で24時間調湿を行い、計量したものを使用した。残留繊維全てを回収するため、工程ごとにポット内を洗浄する作業をほさみ、その排水も同フィルターで吸引ろ過するようにした。表2に洗浄方法と排水液の回収方法についてのフローチャートを示す。

表2 洗浄方法と排水液の回収方法



2-6 評価方法

①FF 脱離量

洗浄後、使用したフィルターは 105℃の定温乾燥器内で 1 時間乾燥したのち、20℃65%RH の環境下で 24 時間調湿、その質量を分析用電子天秤にて測定することで FF 脱離量を算出した。

$$\text{FF 脱離量 } F \text{ (g)} = \text{使用后フィルター質量} \\ - \text{使用前フィルター質量}$$

②洗浄性評価

分光測色計を用い、湿式人工汚染布の波長 560nm における洗浄前後の表面反射率を表裏一ヶ所ずつ測定し、洗浄率を算出した。洗浄率 D は常法により Kubelka-Munk の式により汚れ量に比例する関数 K/S 値を用いて算出した。

Kubelka-Munk の式

$$K/S = (1-R)^2 / 2R$$

R : 表面反射率 ($0 < R < 1$)

K : 吸光度係数

S : 光の散乱係数

$$\text{洗浄率 } D_{K/S} \text{ (\%)} = \frac{((K/S)_s - (K/S)_w) /}{((K/S)_s - (K/S)_o) \times 100}$$

K/S_s : 汚染布の K/S

K/S_w : 洗浄布の K/S

K/S_o : 原布の K/S

③機械力

被洗物の損傷の度合いを調べるため、D.T.I. の MA (Mechanical Action) 評価法で評価した^{8,9)}。

MA 試験法は直径 35 mm の 5 つの穴を打ち抜いた平織の綿布を被洗物と共に洗濯し、5 つの穴のほつれた糸の総数 (MA 値) によって被洗物に及ぼす機械力を評価する方法である。ラウンドオメーターの場合は、通常の MA 布では使用ポット容量に対してサイズが大きいので、穴に合わせて 5 分割し 1 穴状態で 1 ポットに投入し、各穴のほつれ糸の合計を MA 値とした。

MA 値が大きいほど切れてほつれた糸数が大きくなるため、被洗物に与える機械力が大きいことを示す。

④表面状態観察

顕微鏡観察は、走査電子顕微鏡 SU8200 (株日立) にてフィルター上の残留繊維 (脱落繊維) と洗浄後のフリース生地表面を観察し撮影した。

3. 結果および考察

3-1 MA 値と繊維脱離量

洗濯時の FF 発生における機械力の影響を明らかにするにあたり、MA 値と FF 脱離量の関係について検討した。結果を図 1 に示す。洗浄方式に関わらず MA 値と FF 脱離量の間には、決定係数 0.98 と極めて高い正の相関関係が見られ、MA 値が高くなるに応じて FF 脱離量も増加する傾向が認められた。

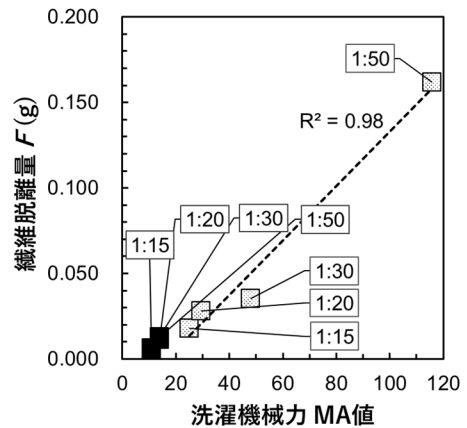


図 1 MA 値とファイバーフラグメント脱離量

洗浄方式の違いによる比較では、ターゲットメーターのほうがラウンドオメーターより MA 値、FF 脱離量共に高い値を示した。MA 値が大きいということは被洗物にかかる機械力が大きいことを示すため、ターゲットメーターのほうがラウンドオメーターより洗濯時の機械力が大きいことが明らかとなった。すなわち、被洗物へ与えるダメージもターゲットメーターの方が大きく、ターゲットメーターのほうがより多くの FF が発生したと考えられる。

そこで機械力と洗浄性の関係について明らかし、FF 発生に及ぼす影響について検討した。

3-2 MA 値と洗浄率

MA 値と洗浄率の関係を図 2 に示す。

ターゲットメーターにおける MA 値と洗浄率の間には、決定係数 0.97 と高い正の相関関係が見られ、

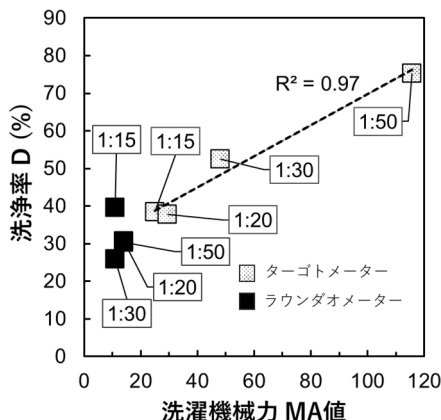


図2 MA値と洗浄率

MA値が大きくなるに伴い、洗浄率も高い値を示した。しかし、1:20以下の低浴比では1:20の洗浄率が誤差範囲とはいえ1:15より低い傾向を示し、正の相関とはならなかった。

浴比の違いによる影響では、前述したように低浴比側の1:15と1:20で洗浄性が低下する傾向を示したが、浴比が高くなるに伴い、MA値、洗浄率共に大きくなった。また、前述のMA値が大きくなるとFF脱落量も増大したという結果から、FF脱落量と洗浄率の間には相関関係が成り立ち、実際にFF脱離量と洗浄率の間には、高い正の相関関係が認められた(図3)。しかし、低浴比側の1:15と1:20では、洗浄率は増加せず、FF脱離量のみが増加を示した。

以上の結果より、1:20以上の浴比では機械力が洗浄性向上には有効であるが、同時にFFも増加し

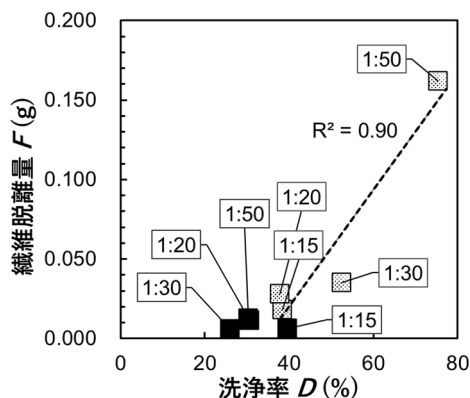


図3 ファイバーフラグメント脱落量と洗浄率

てしまうこと、1:20以下の低浴比では機械力は洗浄性に有効に作用せず、FFのみが増加することが解り、ターゲットメーターでは洗濯時の浴比によって、機械作用が洗浄性に寄与するか否かは異なることが示唆された。

ターゲットメーターは、攪拌による水の流体力によって被洗物の体積力で汚れを落とす仕組みであるため、水流を起こすだけの十分な水量を必要とするが、低浴比の場合、攪拌水流を起こすほどの水量がなく、機械作用は汚れ落ちに寄与するより、体積力による繊維同士の絡み合いを引き起こすことになり、洗浄性は向上せずFf脱落量のみが増大することになると考えられる。

一方、ラウンドオメーターにおけるMA値と洗浄性の間には、ターゲットメーターの場合のような正の相関関係は見られず、MA値は、浴比に関係なく10辺りの値を推移しているが、洗浄率では狭い振幅で1:30<1:20<1:15の順に高くなっており、浴比が小さくなるほど洗浄率が向上する傾向にあった。低浴比側での更なる検討が必要であるが、このような結果となった要因について以下のように考察した。

ラウンドオメーターの場合、試験ポットの最大容量が500mlであり、またフリース生地を両面で縫い合わせた試布を使用しているため、かさ高く、ポリエステル繊維の比重も小さいため、狭い空間内では上手く洗浄液が試布間を通らず、浴比の影響が顕著にとらえられなかったのではないかとということ、あるいは、ラウンドオメーターは、ポットが回転する際に被洗物を持ち上げ、落下する時の力=衝撃力を利用するたたき洗いであるため、ステンレスポット内の空間と被洗物の表面積=空間比が関係し、その空間比は浴比によって変化すると考え、落下する際のポリエステル繊維が水面に到達した際の力積より考察した。繊維と水が同時に持ち上がった時、比重の小さいポリエステル繊維の方が高い位置にあり、落下する際は水が先に着地し、ポリエステル繊維のクッションになったと考えられ、水の多いほど、つまり、浴比が高いほど空間比は小さくクッション性は高くなり、衝撃力が弱くなることで、洗浄性も劣ることになったのではないかとと思われる。今後、比重が大きい、または密度の大きい繊維を使用して同様の実験を行うことや、実際の回転式ドラム洗濯機を用いて検討する必要がある。

ターゲットメーターとラウンドオメーターの比較で

は被洗物に与える機械力が強いとされるターゲットメーターの方が全ての浴比において洗浄性が高く、またFF脱離量も多い結果であった。

浴比1:15では、いずれの試験機でも、35%前後とほぼ同等の洗浄率を得ているが、その際のMA値はターゲットメーターの方が約2倍の高い値を示している。このことより、この洗浄率に要するに必要な機械力としては、ラウンドオメーターによって与えられる機械力程度でも十分であり、ターゲットメーターの攪拌方式では汚れ除去には有効に作用せず、体積力による摩擦によって、余分なFF脱離を引き起こしている可能性が推察された。たたき洗いの衝撃力による汚れ除去を考えた場合、被洗物の体積力より表面力に寄与するところが大きいと想定され、FFとの関係についても更なる検証が必要かと思われる。

以上の結果より、機械力など物理的作用は汚れ除去の観点からは洗浄性向上には有効に働くが、洗浄方式や浴比などの条件によってはFF脱離も惹起することになり、MPを誘発させる要因となっていることが示唆された。

3-3 表面状態観察

図4に走査電子顕微鏡による実験前後の試験布の表面画像を示す。画像より、ターゲットメーターの洗浄後の繊維表面は矢印で示すように激しく劣化しているが、ラウンドオメーターの洗浄後の繊維表面は数か所が損傷している程度であることが観察できた。

洗浄実験の結果より、ターゲットメーターの攪拌による水の流体力の方がラウンドオメーターの衝撃力を利用したたたき洗いより機械力が強く、繊維表面損傷を引き起こしたと考察したが、この観察結果はその考察を支持する結果であった。したがって、ターゲットメーターの方がFF脱離量が多くなった理由として繊維表面の損傷が大きな原因であることが考えられる。

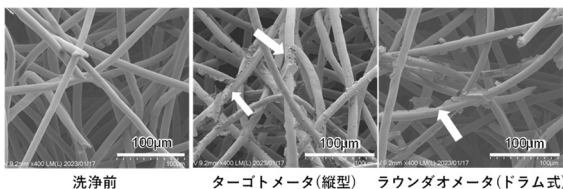


図4 洗濯前後のフリース生地表面の電子顕微鏡写真 (浴比1:15)

3-4 洗浄方式の違いによる影響

以上の結果から、洗浄方式における機械力の違いが洗浄力、FF発生に及ぼす影響について考察した。

ターゲットメーターは攪拌による水流で洗う方式である。したがって、浴比が高いほど水量も増え、全体の総体積は大きくなるため、流体力は増加し、水と洗濯物の衝突回転数が増大することになる。そのため、もみ洗い作用で洗浄力は高くなるが、繊維に与えるダメージも大きくなり、そのためFF脱落を起こしやすくなると考えられる。しかし低浴比では、流体力が作用するほどの十分な水量がないため、洗浄力向上には繋がらず、繊維同士の絡み合いによる摩擦力によって、FF脱落のみを増大させることになると考えられる。

一方、ラウンドオメーターは、洗濯物を持ち上げて落として洗うたたき洗いによる衝撃力を利用した洗浄方式である。浴比に関係なく衝突回数は変わらないため、繊維に与えるダメージは小さく、水の浮力も相まって洗濯の際の機械力の影響は少なくなったと考察した。また、洗浄力はポット内の空間比に依存するところが大きく、水と洗濯物の移動時間と距離の変化より衝撃力は変化するため、浴比が小さいほど洗浄性には有効であると考えられる。

4. 結論

本研究では、洗浄率と機械力の関係から繊維の脱落について考察し、適切な洗濯条件を見出すことを目的に、攪拌式とたたき洗いの洗浄方式が異なる洗濯試験機を用い、機械力を浴比の違いによって変化させて検討した。

その結果、機械力は洗浄性向上に有効であるが、同時にFF脱離量も多くなるため、MPによる環境負荷に繋がることを示唆された。洗浄方式の違いによる影響ではターゲットメーターはラウンドオメーターより機械力が大きく、洗浄性も高かったが、洗浄率向上に伴いFF脱離量も増加した。一方、ラウンドオメーターでは、洗浄性や浴比によるFF脱離量への影響は認められなかった。

またターゲットメーターでは、1:20より高い浴比では浴比が高くなるほど、洗浄性もFF脱離量も増加したが、低浴比側では洗浄性は増加せずFF脱離量のみが増加していた。一方でラウンドオメーターでは、FF脱離量は浴比の違いによる増減はなく、ターゲットメーターの場合より全て低い値を示し、洗浄力は低

浴比側にシフトするほど増加する傾向を示した。

ターゴトメーターは攪拌流水による体積力、ラウンドオメーターの方は叩き洗いによる衝撃力で汚れを除去する方式である。汚れ除去の機械力としては、高浴比では攪拌による流水力を活かした被洗物の体積力が有効であるが、低浴比では水量の低下のため体積力は摩擦による繊維脱離を惹起するのみで洗浄性への寄与は期待できず、低浴比ではラウンドオメーターの叩き洗いによる衝撃力が効果的に作用する可能性が示唆された。

機械力と FF 脱離の関係では、ターゴトメーターの機械力の方がラウンドオメーターより大きく、多くの FF が発生したが、ラウンドオメーターでは、FF 脱離量は低く抑えられていた。MP に繋がる FF の発生を抑えるには、たたき洗いによる衝撃力の作用の方が有用であると考えられる。このことは、走査電子顕微鏡を用いた表面観察結果とも一致した。

国内で汎用される洗濯機は攪拌の流水力方式の縦型洗濯機であることに加え、近年の地球環境問題の高まりから、家庭用洗濯機の大容量化、低浴比の節水型が進んでいる¹⁰⁾。このような現在の洗濯環境下では機械力は洗浄性向上より、過剰な機械作用による損傷を被洗物に与えており、日常的に MP の発生に繋がる FF を流出している可能性がある。

したがって、低浴比による節水型洗浄がますます推奨されることが明確である昨今¹⁰⁾、布の損傷抑制という観点から機械力の寄与を考える場合は、従来の攪拌方式による流体力を利用した洗浄方法を見直し、たたき洗いによる衝撃力の利用を検討することが有効であると考えられる。日本の洗濯機事情では今だ縦型洗濯機が汎用されているが¹¹⁾、洗濯機メーカーは、水量が少なく済むドラム式洗濯機の販売を拡大させる動きもある¹²⁾。また、節水条件下で衝撃力による機械作用に洗浄力の低下が懸念されるが、洗剤による化学的アプローチや洗浄温度などの洗濯条件を見直すことで洗浄性能が一定水準に保てる可能性もある。

地球規模で環境負荷を低減したライフスタイルが希求されている今、日常生活に深く関わる洗濯において、節水、省エネルギーに加えて MP 脱離低減を実現するには適切な機械力の投与が不可欠である。今回の実験条件ではラウンドオメーターにおいて浴比 1:15 が限界であったため、条件を見直し、さらに低浴比側での詳細な検討を行う必要がある。

註

- 1) 洗濯などにより排出する合成繊維の繊維くずは、従来は、マイクロプラスチックファイバーと呼ばれていたが、欧米では、名称をファイバーフラグメントとし、対策・測定方法を確立しつつある。日本における検査機関なども合成繊維の繊維くずの呼び名をファイバーフラグメントとして検査・研究を実施している。本論文においてもファイバーフラグメントの名称を使用した。https://jtf.com/shiryu/CIA%20leaflet_jp_JTF_version%20210416.pdf

謝辞

本紀要の執筆にあたり、本学理学部数物情報科学科の荒木茉莉奈先生には物理化学の分野において貴重なアドバイスをいただき、深く感謝しております。

参考文献

- 1) Haward, M. : Nat. Commun., 9, 667 (2018)
- 2) 高田秀重 : 廃棄物資源循環学会誌, 29, 261 (2018)
- 3) Rothstein, S. I: Condor., 75, 344 (1973)
- 4) Richard C. Thompson, Ylva Olsen, Richard P. Mitchell, Anthony Davis, Steven J. Rowland, Anthony W. G. John, Daniel McGonigle, and Andrea E. Russell : Science , 304, 838. (2004)
- 5) 日本化学繊維協会 : 「内外の化学繊維生産動向 - 2017年 -」, 2018年3月13日 <https://www.jcfa.gr.jp/mg/wp-content/uploads/2018/06/ed0d7cac100ad6f59f4297632c0a77c8.pdf>
- 6) Sherri A. Mason, *American Scientist.*, 107, 284 (2019)
- 7) Beverley Henry, Kirsi Laitala: *Sci. Total Environ.*, 652, 483 (2019)
- 8) 鈴木聡子, 阿部祐子, 舟橋良, 片山倫子 : 日本家政学科誌, 58, 589 (2007)
- 9) 片山倫子, 舟橋良, 藤川尚子, 小澤玲子 : 日本家政学会誌, 54, 477 (2003)
- 10) 日本石鹼洗剤工業会による「洗濯実態調査 2020」
- 11) 鈴木哲, 最近の家庭洗濯環境の変化と消費者の意識行動 実態, 第 38 回洗浄に関するシンポジウム要旨集, 日本油化学会 2006, 89
- 12) 第 42 回 (2023.11.7 オンライン) テーマ : 最近の家庭用洗濯機, 日本繊維製品消費科学会