

# 凍結粉碎による繊維分離方法の開発

安藤正好<sup>\*1</sup>、松浦 勇<sup>\*1</sup>

## Development of Separate Various Fibers Method with Freeze and Crush

Masayoshi ANDOH and Isamu MATSUURA

Owari Textile Research Center, AITEC<sup>\*1</sup>

繊維製品が様々な素材から交織・混紡等されて製品化されていることがリサイクルを妨げる要因のひとつとなっている。本研究では、凍結時に天然繊維が大きく強度低下することを利用して、天然繊維を選択的に粉碎して、合成繊維と分離することを目的とした。毛・ポリエステル混用品を液体窒素で凍結させ、毛とポリエステルの粉碎、分離する技術の検討を行った。

### 1. はじめに

循環型社会を目指し、様々な産業分野においてリサイクルに向けた取り組みが進められている。繊維産業においても繊維製品のリサイクルシステムが立ち上げられている<sup>1)</sup>が、一般的な衣料素材については、天然繊維と合成繊維が混用されているためリサイクル方法が限られ、反毛してウエスにしたり、焼却炉で燃料として利用するのがほとんどである。しかも、処分量が多すぎて、対応しきれないのが現状である<sup>2)</sup>。そこで、本研究では天然繊維が親水性、合成繊維が疎水性であることに注目し、水分を含ませた混用繊維製品を凍結させ、物理的手法で粉碎させ、天然繊維と合成繊維を分離する方法を開発する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 基本物性試験

繊維の吸湿・吸水特性と凍結時の強度の関係を求めるための実験を行った。

##### 2.1.1 吸湿・吸水実験

7種類のJIS添付白布(毛・絹・綿・レーヨン・エステル・ナイロン・アクリル)について、相対湿度98%の平衡吸湿量、マングルによる一定絞り圧時の吸水量を測定した。

##### 2.1.2 強度試験

7種類のJIS添付白布について、標準試料(20、65%RHで調湿した試料)、湿潤試料(絞り率130%の試料)、凍結試料(湿潤試料を液体窒素で凍結した試料)によりJIS L-1096 B法による破裂試験を行った。

#### 2.2 凍結粉碎方法の検討及び粉碎試験機の製作

##### 2.2.1 凍結方法及び粉碎方法の検討

繊維を凍結させる温度について検討した。また、後述

する毛・ポリエステル交織繊維物の凍結試料を使用し、乳鉢による粉碎、ボールミルによる粉碎、油圧プレス機による粉碎等を検討し、粉碎試験機を製作した。

##### 2.2.2 ハンマ速度の測定

高速度カメラを用いて、製作した粉碎試験機のハンマの速度を測定した。

#### 2.3 単一素材繊維物の破砕実験

JIS添付白布の凍結試料について、粉碎試験機で破砕実験を行った。

#### 2.4 複合素材繊維物の粉碎実験

##### 2.4.1 複合素材繊維物の試作

複合素材の粉碎・分離実験の実験用試料とするため、毛とポリエステルの混用(交織・交擦・混紡)繊維物を試作した。

##### 2.4.2 粉碎実験

###### 2.4.2.1 交織繊維物の粉碎

毛・ポリエステル交織繊維物について粉碎実験を行った。

###### 2.4.2.2 交擦繊維物の粉碎

毛・ポリエステル交擦繊維物について粉碎実験を行った。

###### 2.4.2.3 混紡繊維物の粉碎

毛・ポリエステル混紡繊維物について粉碎実験を行った。

#### 2.5 分離試験

複合素材繊維物を粉碎試験後、ボールミル等の処理を行い、毛とポリエステルに分離する実験を行った。

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 基本物性試験

##### 3.1.1 吸湿・吸水実験

天然繊維(羊毛・絹・綿)及び再生繊維(レーヨン)は吸湿性・吸水性に優れている。一方、合成繊維のエステル・ナイロンは吸湿・吸水性とも乏しいが、アクリル

\*1 尾張繊維技術センター 開発技術室

は吸湿性は乏しいが吸水性が大きいという結果が得られた。(図1)

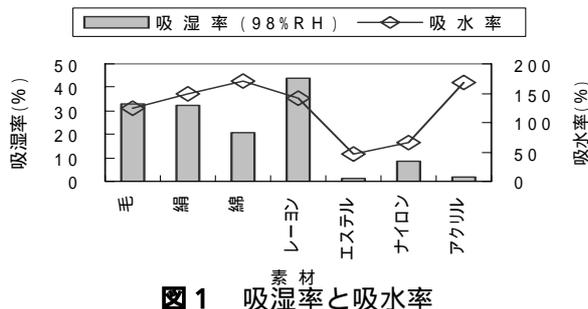


図1 吸湿率と吸水性

### 3.1.2 強度試験

天然・再生繊維は、標準状態の破裂強度に対し、凍結状態で強度低下が大きく、特に毛とレーヨンは強度低下が著しいことが分かった。合成繊維は、強度低下が見られなかった。(図2)

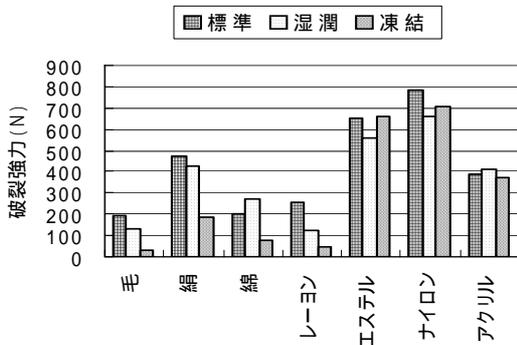


図2 添付白布の破裂強度

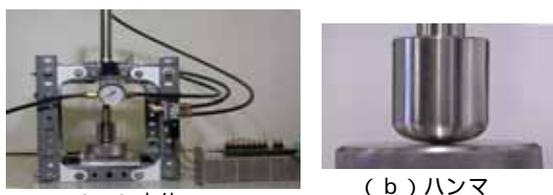
## 3.2 凍結粉砕方法の検討及び試験機の製作

### 3.2.1 凍結方法及び粉砕方法の検討

毛織物を-30、-80、-196で凍結させた時の脆化度合を調べたところ、-30、-80ではほとんど脆化が認められなかった。液体窒素(-196)を用いた凍結方法がもっとも脆化し、粉砕実験に適していることが分かった。

様々な粉砕方法を検討した結果、乳棒のような硬質物体を凍結試料に落下させ、その衝撃力により、毛・ポリエステルを部分的に破壊することが可能であることが解った。

その結果を踏まえて、図3の粉砕試験機を製作した。



(a) 本体

(b) ハンマ

図3 粉砕試験機

製作した粉砕試験機は、エアシリンダの先端に取り付けたステンレスハンマ(b)を上下運動させ、ステンレ

スの試料台に衝突させ、液体窒素で凍結させた試料を破壊させるものである。粉砕の程度は、空気圧・衝突回数等により制御することができる。

### 3.2.2 ハンマ速度の測定

高速度カメラを用いて粉砕試験機のハンマの速度を測定した。空気圧が高くなるほど、速度は大きくなるがその差は小さかった。空気圧 5kg/cm<sup>2</sup>のときの速度は 1.0m/secであった。

## 3.3 単一素材織物の粉砕実験

JIS添付白布の凍結試料の粉砕実験を行った。その結果を図4に示す。粉砕条件は、空気圧力 1kg/cm<sup>2</sup>、衝突回数 10回である。粉砕結果を目視で評価した結果、毛、レーヨン、絹、綿が粉砕され、エステル、ナイロン、アクリルは粉砕されなかった。特に毛とレーヨンが著しく粉砕された。これは、3.1.2で行った破裂試験の結果と一致している。

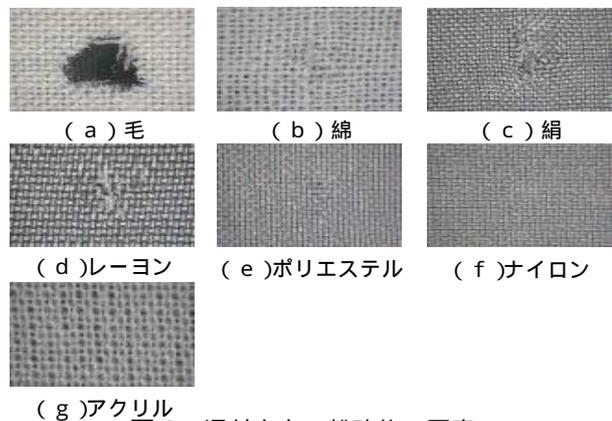


図4 添付白布の粉砕後の写真

## 3.4 複合素材織物の粉砕実験

### 3.4.1 複合素材織物の試作

粉砕実験用に下記織物を試作した。組織はすべて平織である。

- ・毛、エステル交織織物(梳毛糸 2/60、エステル 300D)
- ・毛、エステル交織織物(梳毛糸 1/60×エステル 150D)
- ・毛、エステル混紡織物(毛・エステル混紡糸 2/60、混紡率：毛/エステル：70/30)

### 3.4.2 粉砕実験

#### 3.4.2.1 交織織物

粉砕試験機にて粉砕した毛・ポリエステル交織織物の写真を図5に示す。条件は 5kg/cm<sup>2</sup>、50回である。



(a) 粉砕前

(b) 粉砕後

図5 交織織物の粉砕試験結果

経糸、緯糸ともに毛の部分のみが粉砕されていること

が分かる。破壊された部分の電子顕微鏡写真を図6に示す。(a)は凍結試料の粉碎実験後、(b)は湿潤試料の粉碎実験後である。破断面を比較すると、(a)は、鋭利な刃物で切断されたように垂直に切れていることがわかる。また、(b)は繊維が押しつぶされフィブリル化していることが分かる。また、凍結試料を粉碎した場合、経緯に用いられている毛と毛の組織点で多く切断されていることが認められた。これは、凍結した毛同士が接触した箇所外力が加わり切断したものと考えられる。

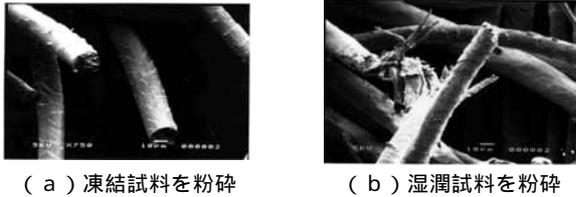


図6 破壊された毛の電顕写真

粉碎試料が1枚の場合、空気圧、衝突回数を変化させて粉碎実験した結果を表1に示す。

表中の記号で、は糸が5本以上切断している、は糸が4本以下切断している、は糸は切れていないが繊維が切断している、×は繊維が切断しなかったことを表している。この結果から、空気圧、衝突回数(衝突条件)を制御することにより、毛のみを選択的に粉碎することが可能であることが分かった。

また、空気圧を5 kg/cm<sup>2</sup>に固定し、試料枚数を増やして粉碎実験の結果を表2に示す。試料枚数を増やすことにより、衝突力を和らげることができ、粉碎の程度を制御できることも分かった。

一般的に物体が衝突するときの力積(衝撃力は)衝突力×衝突時間で求められ、運動量の変化を表す。今回の場合、運動量は、空気圧から求められる力で表すと仮定すると、ハンマが衝突するときの力と時間により、試料の破壊の程度が決まる。したがって、衝突時間が短いと衝突力が大きくなり、衝突時間が長いと衝突力が小さくなるといえる。したがって、試料枚数が増えることにより衝突時間が長くなるため、衝突力が減少していると考えられる。

表1 交織織物の粉碎結果(試料枚数:1)

		ハンマ供給空気圧力 [kg/cm <sup>2</sup> ]							
		7		5		3		1	
素材		毛	PET	毛	PET	毛	PET	毛	PET
衝突回数	100回								
	50回								×
	30回		×		×		×		×
	10回		×		×		×		×

表2 交織織物の粉碎結果(空気圧力 5Kg/cm<sup>2</sup>)

		試料重ね合わせ枚数 [枚]					
		1		2		3	
素材		毛	PET	毛	PET	毛	PET
衝突回数	100回				×		×
	50回				×		×
	30回		×		×		×
	10回		×		×		×

### 3.4.2.2 交擦織物

試料枚数1枚の場合、空気圧、衝突回数を変化させて粉碎実験した結果を表3に示す。その結果、試料枚数1枚では、ほとんどの条件で、毛・ポリエステル両方も切断する結果となった。最も衝突力の弱い(空気圧が低い)場合に、毛の一部が切断していることが分かった。

また、空気圧を5 kg/cm<sup>2</sup>に固定し、試料枚数を増やして粉碎した結果を表4に示す。試料枚数を増やすことにより、衝突力が弱まり毛のみを選択的に粉碎できることが分かった。

表3 交擦織物の粉碎結果(試料枚数:1)

		ハンマ供給空気圧力 [kg/cm <sup>2</sup> ]							
		7		5		3		1	
素材		毛	PET	毛	PET	毛	PET	毛	PET
衝突回数	100回								
	50回								×
	30回								×
	10回								×

表4 交擦織物の粉碎結果(空気圧力 5kg/cm<sup>2</sup>)

		試料重ね合わせ枚数[枚]					
		1		2		3	
素材		毛	PET	毛	PET	毛	PET
衝突回数	100回				×		×
	50回				×		×
	30回				×		×
	10回				×		×

図7に、試料枚数2枚、5 kg/cm<sup>2</sup>、50回で粉碎した結果の写真を示した。試料は粉碎処理後鑑別染料で染色したため、着色しているのが毛である。粉碎後の写真(b)から、毛のみが選択的に粉碎されていることが分かった。



図7 交擦織物の粉碎試験結果

### 3.4.2.3 混紡織物

試料枚数 1 枚の場合の、空気圧、衝突回数を変化させて粉碎した結果を表 5 に示す。その結果、試料枚数 1 枚では、交撚織物と同様、ほとんどの条件で、毛・ポリエステル両方とも切断する結果となった。最も衝突力の弱い（空気圧力が低い）場合に、毛の一部が切断していることが分かった。

また、空気圧を 5 kg/cm<sup>2</sup> に固定し、試料枚数を増やして粉碎した結果を表 6 に示す。試料枚数を増やすことにより、衝突力が弱まり毛のみを選択的に粉碎できることが分かった。

表 5 混紡織物の粉碎結果（試料枚数：1）

		ハンマ供給空気圧力 [kg/cm <sup>2</sup> ]							
		7		5		3		1	
素材		毛	PET	毛	PET	毛	PET	毛	PET
衝突回数	100 回								
	50 回								×
	30 回								×
	10 回					×			×

表 6 混紡織物の粉碎結果（空気圧力 5kg/cm<sup>2</sup>）

		試料重ね合わせ枚数 [枚]					
		1		2		3	
素材		毛	PET	毛	PET	毛	PET
衝突回数	100 回						×
	50 回						×
	30 回				×		×
	10 回			×	×	×	×

図 8 に、試料枚数 2 枚、5 kg/cm<sup>2</sup>、30 回で粉碎した結果の写真を示した。試料は粉碎処理後鑑別染料で染色したため、着色しているのが毛である。粉碎後の写真（b、c）から、毛のみが選択的に切断されていることが分かった。

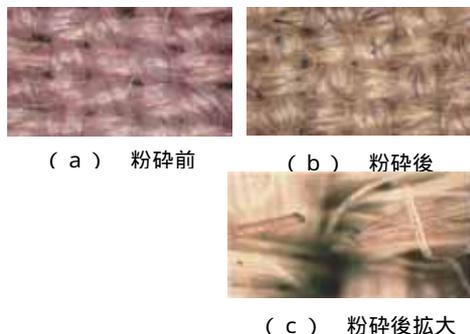


図 8 混紡織物の粉碎試験結果

### 3.5 分離試験

図 9 に交織・交撚織物を凍結粉碎後の試料をボールミルで分離処理した結果を示す。

この試験結果から、交織・交撚織物は、毛とポリエス

テルに分離することが可能と考えられる。一方、混紡織物については、毛は選択的に切断されているが、ポリエステルと絡み合っている



図 9 粉碎後、ボールミルで分離した交織・交撚織物

ため、ボールミルでは分離ができなかった。そこで、粉碎後の織物から糸を採取し開織処理を行った。その結果を図 10 に示す。これから、切断され繊維長の短くなった毛と切断されていないポリエステルが容易に分離できることが分かった。

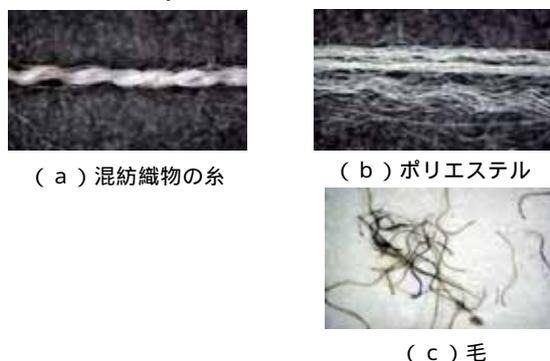


図 10 混紡織物を粉碎後、糸を開織して分離したポリエステルと毛の写真

## 4. 結び

以上の結果をまとめると、次のように要約できる。

- (1) 吸湿率・吸水率の高い毛、絹、綿、レーヨンは凍結時に破裂強度が大きく低下することが分かった。
- (2) 製作した粉碎試験機でも、毛・絹等の天然繊維が、ポリエステル等の合成繊維と比較して、凍結時に粉碎し易いことが分かった。
- (3) 複合素材織物では、粉碎試験機の空気圧、衝突回数、試料枚数を変化させることにより衝突力を制御し、選択的に天然繊維だけを粉碎できることが分かった。
- (4) 交織・交撚織物では、粉碎後にボールミルにより、毛とポリエステルの分離できることが分かった。混紡織物では、繊維がからみあい、ボールミルでは毛とポリエステルを分離することが難しいが、開織処理することにより、分離できることが分かった。

## 文献

- 1) 浅井弘義、「繊維産業における環境・リサイクルに関する取り組みと将来展望」テキスタイル&ファッション, 18, 5, 249(2001)
- 2) 「繊維製品リサイクル懇談会報告書」  
<http://www.meti.go.jp/report/data/g10919aj.html>