

# 繊維製品の発熱性について(第1報)

## — 繊維の発熱における蓄熱効果 —

Study on the Exothermic Properties of Textiles  
(Series 1)—Effect of the Mass on the Exothermic Reaction  
of Fiber Fabric—

内 田 稔 \*  
長 嶋 敏 昭 \*  
神 庭 秀 明 \*  
脇 田 邦 夫 \*\*

The exothermic properties of three kinds of blanket and their components: vinylon, cotton, rayon and acrylic fiber, were investigated. Samples were prepared by winding textile cylindrically, and measured a temperature at the center of it during the heating in a thermostat.

Vinylon showed the most remarkable exothermic tendency, and it was followed by acrylic fiber, rayon and cotton at last. The blanket, mixed spinning of these fabrics, was more combustible than any component. Therefore, this fact suggests that mixing of fabrics increases the exothermic hazard of textile.

Increment in the mass of textile reduced the introduction period between the time when the temperature of the whole sample has reached the setting temperature and the time when the remarkable exothermic reaction has occurred, and also reduced the lowest atmosphere temperature to cause the exothermic phenomenon of the textile. Finally, it must be mentioned that the exothermic phenomenon was always attended by dimensional contraction of the fiber fabric to a considerable extent.

### 1. はじめに

現在まで、加熱乾燥後、放置された衣類より出火した事例が多数あるが、その原因は大別して二通りある。第一に、衣類にしみや汚れとして付着していた動植物油の酸化によって発熱した場合、そして第二に、繊維そのものが発熱した場合である。第一の場合は、繊維自体の発熱性に直接依存しないので、第二の場合についてのみ検討する。

繊維自体の低温発熱としてはポリプロピレン繊維の研究がある<sup>(1)</sup>。ポリプロピレンは、熱的安定性が悪く、100~120℃で酸化されて熱劣化を起こすため<sup>(2)</sup>、酸化防止剤が配合されているが、洗濯や乾燥を繰返すうちに、日光、あるいは、洗濯の際

に漂白剤として用いる次亜塩素酸によって、酸化防止剤が劣化するために、熱的安定性が次第に失われ、低温で発熱するようになるとされている。これに対し、綿やレーヨン等、他の繊維は、熱に対して比較的安定であるため、低温発熱に関する研究はほとんど行われていない。

しかし、繊維の発熱性は、繊維自体の化学的構造及び性質に依存するだけでなく、繊維の量や密度などの物理的要因によることは、木材セルロースの長期低温加熱発火に関する研究結果<sup>(3)</sup>から容易に推定される。つまり、熱的条件によっては、通常、熱的にかかなり安定な繊維でも、比較的低温の雰囲気中で発熱することがあり得るということである。

実際、綿—ビニロン繊維の下着等約40ℓを90℃で乾燥直後に、ポリエチレン容器に詰込み放置し

• 第二研究室 • 新宿消防署

たところ、160分後に中心の温度が160℃まで上昇したという報告もある。<sup>(4)</sup>

昨年暮に、ふとん乾燥設備によって乾燥中の毛布が、乾燥開始後40分で燻焼燃焼するという事故があった。この場合、乾燥設備の温度は、100～120℃に設定されていたが、吊るしてあった毛布が熱気流の噴出口付近に落下したため、その部分の温度が上昇して、発熱、発煙に至ったと推定された。このような事故は、偶発的な要素をもちろん含むが、一方では、繊維の蓄熱による低温発熱という本質的な問題を含んでいる。

本研究は、繊維製品の発熱性に関する研究の一環として、乾燥設備で燃焼した毛布の発熱性を、特に大きさ（重量）との関連において検討することを目的として行った。

## 2. 実 験

### (1) 試料

実験に使用した繊維は、次のとおりである。

ア、市販毛布A（縦糸：ビニロン50%、綿50%、横糸：ビニロン60%、アクリル40%）

イ、市販毛布B（縦糸：レーヨン100%、横糸：レーヨン50%、ビニロン50%）

ウ、市販毛布C（縦糸：綿100%、横糸：アクリル50%、レーヨン50%）

エ、ビニロン（JIS L0803 準拠）

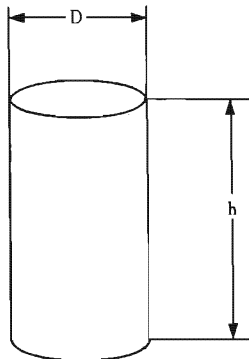
オ、アクリル（JIS L0803 準拠）

カ、綿（JIS L0803 準拠）

試料として、帯状の布を円柱状に巻き、その大きさを表1のとおり相似形となるように

表1 試料の形状

試料重量 (g)	試料の高さ h, (cm)	試料の直径 D, (cm)
250	14.0	12.1
200	13.0	11.3
160	12.0	10.5
120	10.9	9.5
80	9.53	8.3
40	7.56	6.6
20	6.00	5.2
10	4.76	4.2
5	3.78	3.3
2.5	3.00	2.6
1.25	2.38	2.1



調製した。(写真1)ただし、前エ、オ、カについては、試料重量を20gとし、そのまわりに脱脂綿を20g巻き、総重量を40gとした。

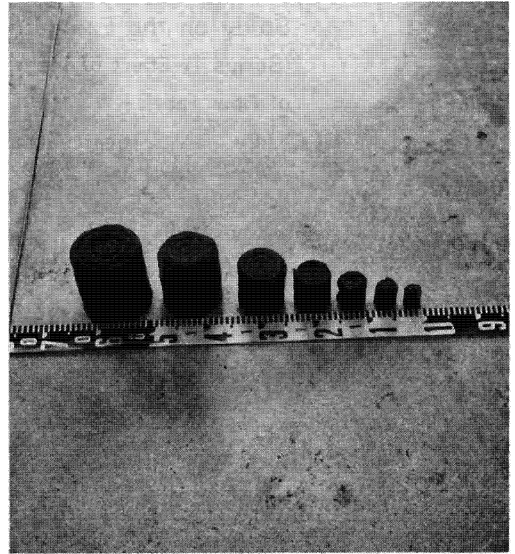


写真1 試料の形成

### (2) 実験装置

最高200℃まで設定できる、容積150ℓの熱風循環式恒温槽を使用した。(写真2)恒温槽の内部温度分布は、設定温度200℃に対し、±5℃以内、160℃に対して±4℃以内である。また、設定温度に達した後の経時変化は±1℃以内である。

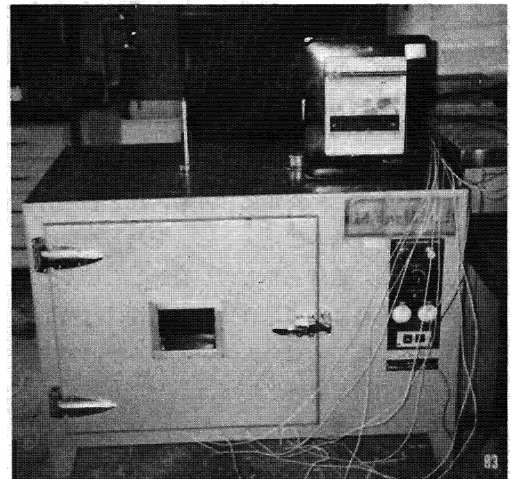


写真2 試験装置の外観

### (3) 実験方法

試料を円柱状に堅く巻き、その中心部に熱

電対 (CA線, 6 mmφ) を挿入し, 恒温槽内に自立させて置いた。恒温槽の温度を140 ~ 200℃に設定し, 試料中心温度を測定した。加熱時間は最高48時間とし, 試料中心温度が300℃に達した時点で恒温槽から取り出した。また, 試料の微視的熱特性を調べるため, 熱重量分析, 示差熱分析を行った。

### 3. 結果及び考察

#### (1) 毛布の発熱性

まず3種類の毛布A, B, Cの発熱性の比較を行った。試料重量は80 gとし, 恒温槽温度を180℃に設定した。試料が発熱して, 中心温度が300℃に達した時間は表2に示すように, 毛布の種類によって非常に異り, A, C, Bの順に発熱しやすいことがわかった。

表2 雰囲気温度180℃における各毛布(80 g)の発熱時間

試料	発熱時間
毛布A	2時間44分で300℃に達した
毛布B	24時間でやや発熱したが300℃に達しなかった
毛布C	9時間35分で300℃に達した

そこで次に毛布Aについて浴温を変えて実験した。恒温槽内に置いた試料の中心温度の経時変化を図1に示す。これは重量250 gの毛布Aを140℃, 150℃, 170℃, 200℃の各温度雰囲気中に置いたときの結果である。

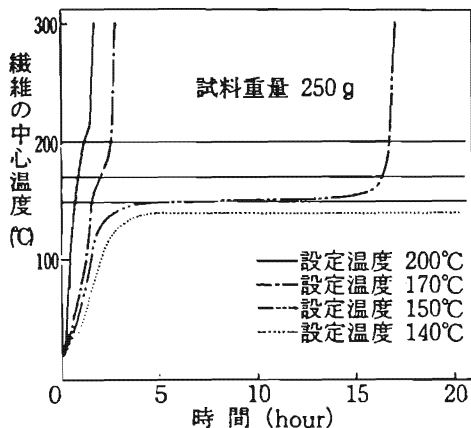


図1 毛布Aの発熱に及ぼす雰囲気温度の影響

雰囲気温度170℃以上の場合では, 試料の

中心温度が雰囲気温度に達した後もそのまま上昇しており, 雰囲気温度に達する以前に試料中心部で酸化反応が始まり, 自己発熱していることを示唆している。実際に, 発熱した試料を途中で恒温槽から取り出して調べてみると, 発熱はほとんどの場合, 試料の中心部から始まり, その際かなりの収縮を伴うことがわかった。一例を写真3に示す。このような試料の中心部分の発熱と収縮の間には, 当然因果関係があると思われるが, 現時点ではまだ明らかでない。

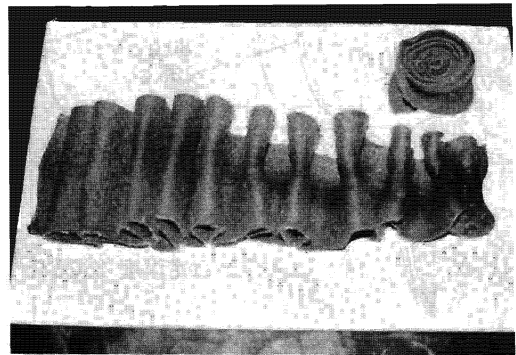


写真3 繊維の収縮状態

雰囲気温度150℃の場合には, 試料中心温度が雰囲気温度に達した時点から, 一時温度上昇が止まる。この期間は, いわゆる酸化誘導期間に相当し, 周囲からの熱の吸収と周囲への熱の放出が釣り合い, 見かけ上, 繊維の発熱反応は起こっていないが, この間にわずかながら酸化反応が進行して, 発生した熱が蓄積し, 雰囲気温度に達してから約10時間後, 加速的な発熱に至った。

しかし, 雰囲気温度140℃の場合には, 48時間内で, このような発熱現象は現れなかった。

#### (2) 繊維の重量と発熱性との関係

図2は, 雰囲気温度180℃及び200℃における毛布Aの中心温度を示したものである。

雰囲気温度180℃では, 中心温度が雰囲気温度に到達するまでの時間は, 試料が小さいほど短い, 到達後, 発熱に至る時間は, 逆に試料が小さいほど長くなる。これは酸化誘導期に発生したわずかな熱が, 試料が小さくなると蓄熱されにくくなるためである。

雰囲気温度200℃の場合にも, ほぼ同様の傾

向が見られるが、10gと20gの間で順序が逆転している。これは20gの試料が雰囲気温度に達する以前に、10gの試料内部で発熱反応が起こったため、伝熱速度に比べて発熱速度が大きくなる場合には、蓄熱に必要なある程度の大きさがあれば、むしろ小さい方が加熱されやすく、早く発熱することになる。また、伝熱速度より周囲からの加熱速度が速くなれば、中心からでなく、周辺部から発熱すると考えられる。

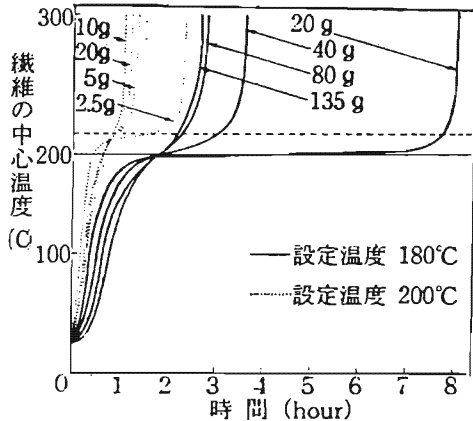


図2 毛布Aの発熱に及ぼす重量の影響

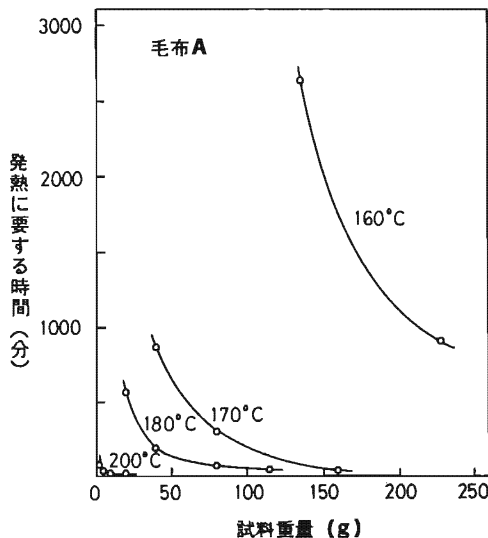


図3 各雰囲気温度における毛布Aの重量と発熱に要する時間との関係

図3は、試料温度が、設定された雰囲気温度に到達してから、発熱に至るまでの時間を一次近似によって求め、各重量に対してプロ

ットしたものである。この場合には、試料が加熱されて雰囲気温度に達する時間が含まれないので、前述の逆転は起こらず、蓄熱効果のみによって発熱性が決定されるため、試料が大きいほど短時間で発熱する。

しかし、このような蓄熱効果は、160°Cのように雰囲気温度の低い場合には顕著であるが、200°Cのように高い場合には、試料の大きさが、ある程度以上あると、その寄与は一定になる。ただし、この場合でも、試料が小さくなると、蓄熱効果が急激に減少するため、発熱に要する時間は非常に長くなるか、あるいは発熱現象が認められなくなる。

このように、試料の大きさが大きければ大きいほど、雰囲気温度に達するまでの時間は長くなるが、その後の発熱までの時間は短くなり、また、低温で発火する可能性も高くなる。

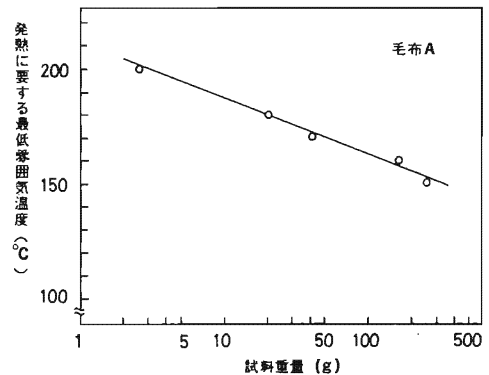


図4 毛布Aの重量と発熱条件としての最低雰囲気温度との関係

そこで、発熱までの時間を48時間以内と限定した場合の試料重量と、発熱現象を生じさせる最低雰囲気温度との関係を調べたところ、図4に示す結果が得られた。この結果から、発熱に要する最低雰囲気温度 $T_0$ と、試料重量 $W$ の間には次の関係のあることがわかる。

$$T_0 = A - K \ln W, \quad A, K \text{ は定数}$$

(毛布Aについては、 $A = 211, K = 10.6$ )

また、この式から、試料重量が1kgのときには138°C、10kgのときには114°Cで発熱する可能性のあることが示唆される。

### (3) 繊維の発熱性

毛布A, B, Cのいずれについても、試料

表3 各雰囲気温度における繊維の発熱時間

試料	発熱時間		
	200℃	180℃	170℃
ビニロン	1時間05分	1時間54分	2時間40分
アクリル	39分	7時間17分	*
レーヨン	41時間	*	*
綿	*	*	*

\* : 48時間以内で発熱せず

が大きくなるほど蓄熱効果は大きくなり、低温で発熱する可能性が高くなる。

しかし、大きさ及び雰囲気温度の条件を同一にした場合には、前述のように毛布Aが最も発熱しやすく、次いで毛布C、Bの順になる。この差は毛布の成分の違いによると考え、成分分析を行った結果、毛布Aはビニロン59%、アクリル35%、綿6%、毛布Bはレーヨン56%、ビニロン44%、毛布Cはアクリル40.5

%、レーヨン40.5%、綿19%であった。そこで、これらの繊維の発熱性について検討した。

結果は表3に示すように、ビニロンが最も低温で発熱し、次いでアクリル、レーヨン、綿の順であった。この結果より、毛布Aが最も発熱しやすいことは説明できるが、毛布Bより毛布Cが発熱しやすいことは説明できない。したがって、混紡繊維は、単独の繊維の熱的特性とは異った特性を持っていると考えられる。

そこで、各成分の示差熱分析を行って比較したところ、図5に示す結果を得た。毛布Aは180℃付近に吸熱ピーク、270℃付近に発熱ピークがあるが、どちらのピーク温度もその成分繊維に対する値よりも低い。このことから、混紡によって繊維の発熱性が増大することが示唆される。

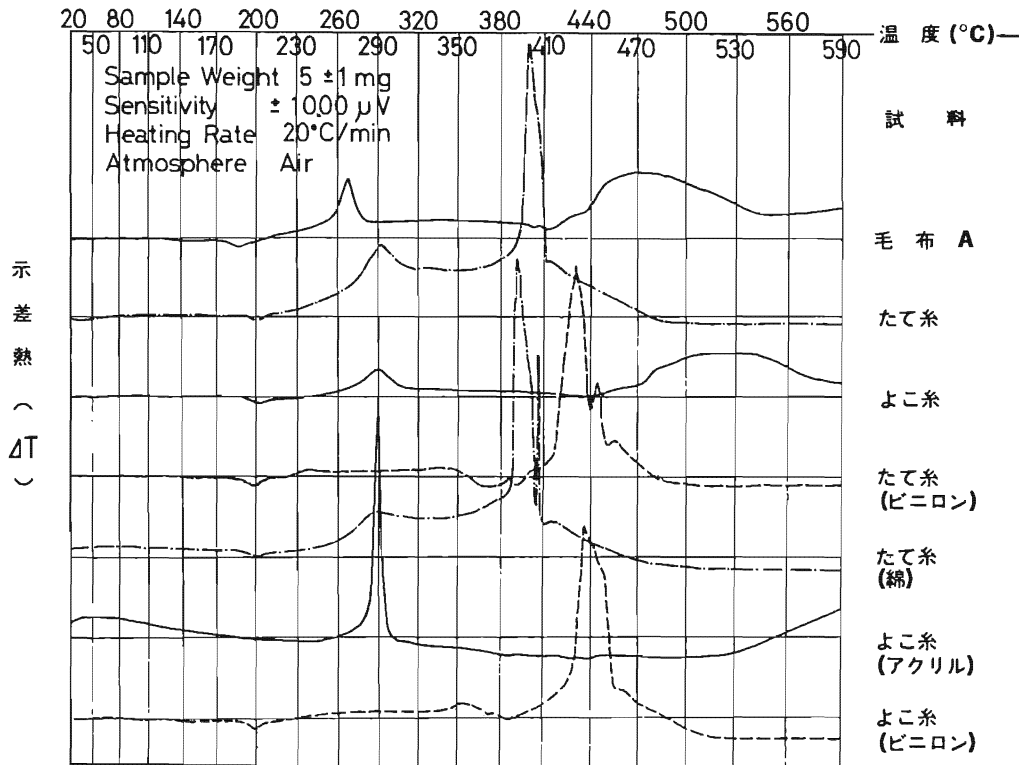


図5 毛布A及びその成分繊維の示差熱分析

#### 4. おわりに

実験に用いた毛布の低温加熱による発熱性は、主に、その成分であるビニロンの発熱性に依存していると思われるが、ビニロン単独の場合に比べて、より低温で発熱している。このことは、他の繊維との混紡によって、発熱危険が増大したものと考えられる。

繊維製品の発熱性は、材質によって異なるだけでなく、その大きさ及び密度によって大きく影響を受ける。大きくなればなるほど、蓄熱効果が大きくなり、わずかな反応熱であっても蓄熱され、中心部分から発熱する危険性が高くなることがわかった。

繊維の発熱は、同時に、かなりの収縮を伴うことがわかったが、収縮と発熱の因果関係及び収縮による密度変化、比熱変化などの要因が、繊維の発熱に及ぼす影響については今後の課題としたい。

コインランドリーや家庭用乾燥機の普及に伴い、今後ますます衣類等の低温発火による火災が増大すると懸念されるため、加熱乾燥した衣類等は、そのまま、まとめて放置することなく、一度広げて分散して置く、などの放熱処置を講じる必要がある。

#### 5. 参考文献

- (1) 内田稔、関根弘、"ポリプロピレンの発熱性について"、消防科学研究所報、Vol.8, p.47, 1971
- (2) H. C. Beachel et al., J. Polym. Sci., (Part A) 3, p.457, 1965
- (3) 半田隆、鈴木弘昭、高橋惇、森田昌宏、"木材の長期加熱発火による火災発生の可能性の検討(II)"、日本火災学会論文集、Vol.21, No.1, p.9, 1971
- (4) 京都市消防局、"乾燥後の衣類の蓄熱発火について"、火災、Vol.21, No.1, p.60, 1971