

ポリエステル～綿引き揃え糸の燃焼性

石久保 鈴子

(昭和54年9月29日受理)

Flammability Properties of Cotton and Polyester (PET) Paralleled Yarns

Reiko ISHIKUBO

(Received September 29, 1979)

緒言

著者は本研究第1報¹⁾でポリエステル～綿混紡糸の燃焼速度の逆数を燃焼抵抗とした場合、これらの単糸の燃焼抵抗は綿30～70%の範囲内では両者の100%燃焼抵抗の並列モデルで表わすことができることを報告した。第2報²⁾で各100%単糸を目的の混合比になるように合燃し、これらの一方のみ防災加工した場合および両者を加工した場合の合燃糸の燃焼抵抗は直列～並列モデルの組合せで表わすことができた。直列抵抗 X は混合比によって変化し、 X は両糸の相互作用によるもので、加工糸からの防災剤の熱移動が主なるものであることを確認した。そこで本報では、これらの引き揃え糸中の一方のみ防災加工した場合、どんな影響があらわれるか知るため単糸を目的の混合比になるように引き揃えてその燃焼性を、更に各100%単糸あるいは混紡糸(綿50%, PET 50%)を目的の加工糸混合比になるように引き揃えて、その燃焼性を試験した結果興味ある結果が得られたので第3報として報告する。

試料および実験方法

1 試料の作製

30^s 綿糸(燃数6回/cm)と24^sポリエステル糸(燃数6～7回/cm, 以下PET糸とする)と36^s混紡糸(燃数6回/cm, 綿50%～PET 50%, 以下混紡糸とする)を次に示す方法で防災加工した糸を使用して、一方を加工糸、他方を未加工糸の状態を目的とする各種混合比に

なるように引き揃えた糸を試料とした。

2 防災加工方法

綿糸の加工：次の第1～2浴を室温で混合した液中に総状綿糸を30分浸漬し、絞率100%で85℃～45分乾燥した後、140℃～4.5分キュアした。この場合の樹脂の付着量は約20%である。

第1浴	{ THPC.....17 g (Tetrakis Hydroxymethyl Phosphonium Chloride) エタノールアミン.....3 g 水.....100 ml	第2浴	尿素	15 g
			水	45 g

PET糸の加工：次の浴中に30℃～30分浸漬した後、絞率100%で75℃～45分乾燥した(樹脂付着量約20%)。

{ ポリ塩化ビニル (53%エマルジョン)60 g 酸化アンチモン (Sb ₂ O ₃) 3g 水100 ml

混紡糸(綿50%, PET50%)の加工：綿糸の加工およびPET糸の加工同様に処理した。(共に樹脂付着量約20%)

3 燃焼速度の測定

燃焼方法は第1報、第2報と同様に50cmの長さの下端に約4cm²の薄紙を取付け、これに着火して糸が燃焼し終る時間を測定して燃焼速度を求めた。また、途中で自己消火する試料は消火迄の燃焼長を測定してその速度を求めた。なお、試料の番手換算は前報と同様に燃焼速度は番手に比例するものと仮定して引き揃え糸6^sの場合に換算した。なお実験は各混合比のもの30本についておこない、引き揃え糸の番手は次式によった。

$$N = 1 / \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_3} + \dots \right) \dots\dots 1)$$

ここで、Nは引き揃え糸の番手、n₁, n₂, n₃...は各引き

衣料管理研究室

ポリエステル～綿混紡糸の燃焼性(第3報)

揃えた単糸の番手を示す。

4 熱分解

引き揃え糸の熱分解曲線（以下TG曲線とする）は糸を粉碎し、その5mgについて島津製熱天秤で重量減少を自記記録した（N₂気流中）。なお熱分解の見掛けの活性化エネルギーは前報と同様 Freeman 法²⁾によって計算した。

実験結果および考察

1 混合比と自己消火の関係

図1は綿～PET 混合比の異なる試料30本中の自己消火した本数(%)と混合比の関係を示すものである。図中の曲線②は綿糸を加工し、PET 糸未加工の場合の引き揃えた場合で、綿60%～PET 40%の混合比の所が自己消火本数が最小となった。PET 加工糸と綿未加工糸の場合は、図中の曲線③で綿糸の本数が増える程燃焼し易くなった。また図中の曲線①は両者未加工の場合で綿未加工～PET 加工の場合と同様に綿糸の本数が増えるに従って燃焼し易くなった。一般に綿混合の少ない方が自己消火本数は増加した。この場合、糸の加工斑がかなり影響するが、PET のみ加工した場合の方が綿のみ加工した場合よりもその効果の程度は多かった。綿糸

はPET 糸に比較して燃焼し易いから、綿未加工の場合はPET 糸の方を十分加工しておく必要がある。この結果から燃焼中での両者の相互作用を十分考慮しなくてはならない。

図2は加工糸の混合比の場合で、図中の曲線②はPET 糸では未加工糸と加工糸混合比がいずれの場合でも自己消火性が100%であることを示す。図中の曲線①の綿糸は加工糸混合100%の場合のみ自己消火性93%を示し、曲線③は混紡糸をTHPC加工して混合した場合でいずれの混合比でも自己消火性0%になり、曲線④は混紡糸をPVC加工した場合で加工糸混合100%の時、自己消火性50%を示した。これらの結果から、各自の自己消火性を得るためにはPET 糸を除き、綿糸の場合THPC、混紡糸の場合PVCエマルジョンで100%完全に加工される必要がある。

2 混合比と燃焼抵抗の関係

図3は50cm燃焼した糸のみの燃焼抵抗（以下抵抗とする）と混合比の関係を示す。自己消火して途中で消火した場合は、その時の燃焼長から抵抗を求めた。これらの結果を見ると両者未加工の場合（曲線①）は綿80%、PET 20%付近の燃焼抵抗が最小であって、燃焼し易く、本研究第1報の結果と同様である。また、綿を加工し、

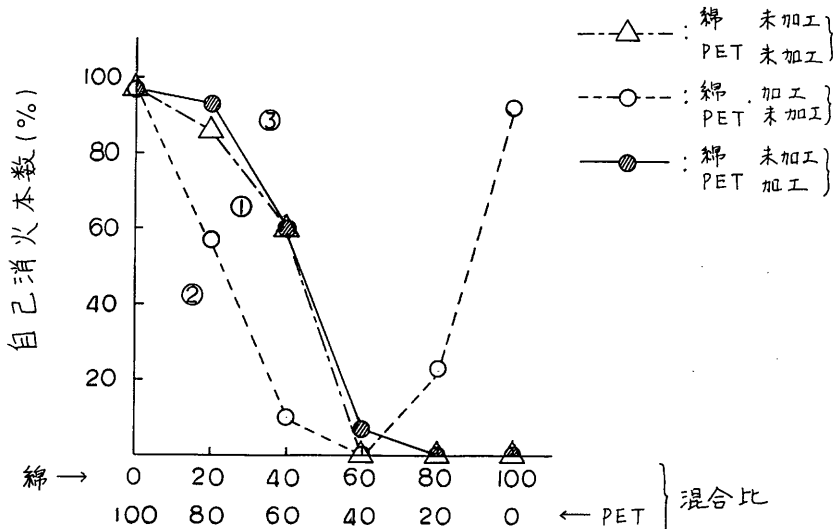


図1 混合比と自己消火本数の関係

PET 未加工の場合 (曲線②)も同様に PET 混合量の減少と共に低下し、20% PET 付近で最小となった。また、逆に綿未加工、PET 加工の場合 (曲線③)は綿の混合量の増加と共に抵抗は減少して燃焼し易い結果となった。

図4は綿、PET および、綿～PET50%混紡糸の一部をそれぞれ加工し、残部は未加工のまま引き揃えた場合

の燃焼抵抗の変化を示す。これらの結果、何れも加工糸の本数が大きい程抵抗は増大した。

次にこれら引き揃え糸の燃焼抵抗は並列モデルで表示されるものと仮定して、2)式を使用して計算した結果は表1の如く、計算値は実測値の約1/2程度であった。従って、この場合4)式のように直列・並列型モデルを考え

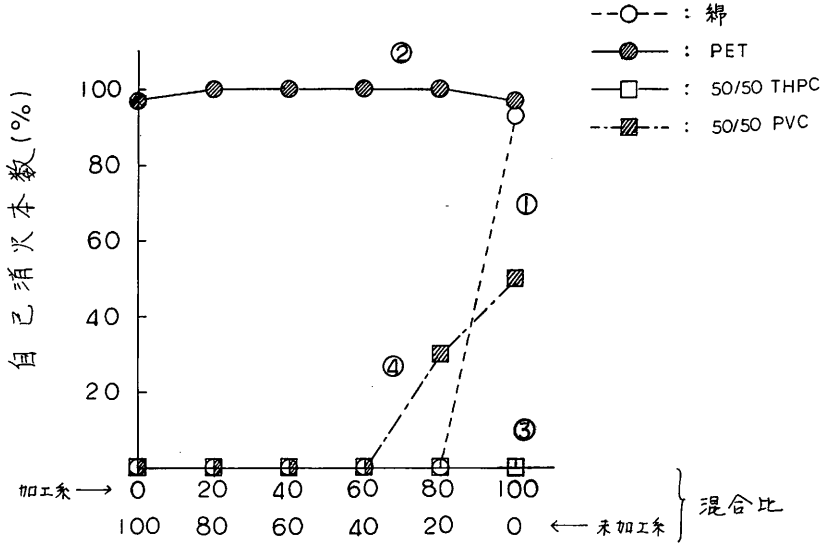


図2 加工糸混合比と自己消火本数の関係

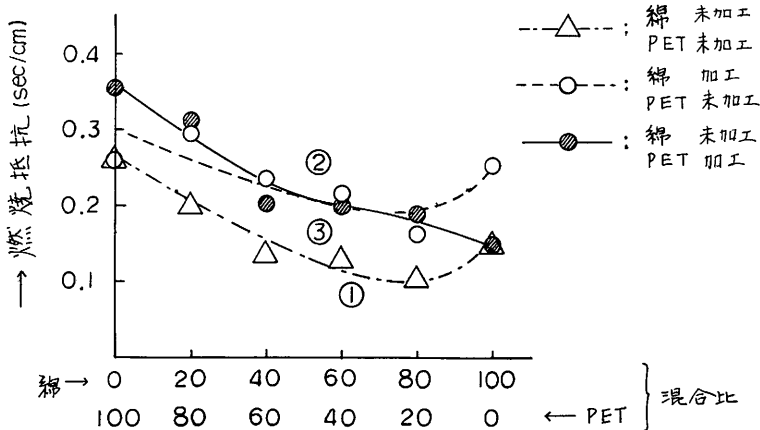


図3 混合比と燃焼抵抗の関係 (50 cm 燃焼した場合)

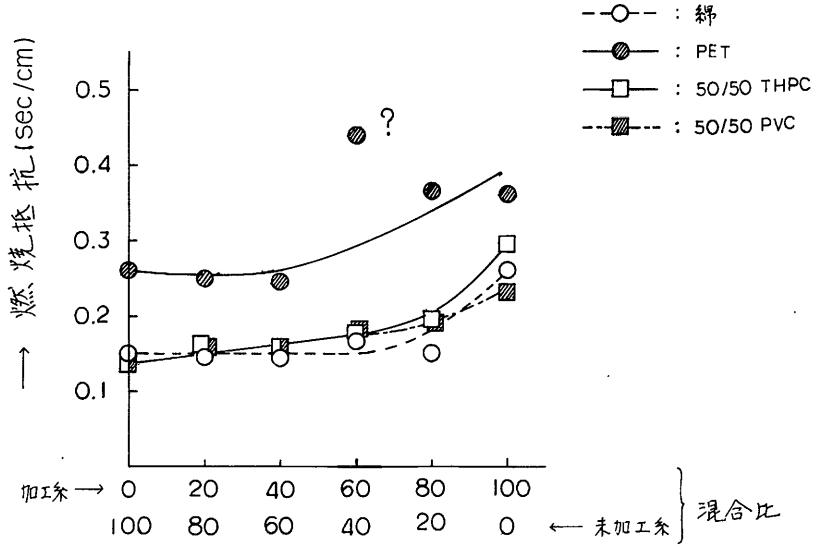


図4 加工糸混合比と燃焼抵抗の関係

表1 燃焼抵抗に対する実験値と理論的計算値の関係

(綿 THPC 加工 ~ PET 未加工)

試料	実験値 (sec/cm)	並列モデル 計算値 (sec/cm)	相互作用値 X	直列モデル 計算値
綿 20% PET 80%	0.297	0.082	0.215	0.26
綿 40% PET 60%	0.237	0.124	0.113	0.26
綿 50% PET 50%	—	(0.129)	—	0.26
綿 60% PET 40%	0.218	0.125	0.093	0.26
綿 80% PET 20%	0.164	0.083	0.081	0.26

$$\text{並列モデル計算式: } R_p = \frac{2m(1-m)R_c R_e}{mR_c + (1-m)R_e} \quad \text{--- 2)}$$

こゝでは $R_c = 0.256, R_e = 0.262$

$$\text{直列モデル計算式: } R_p = mR_c + (1-m)R_e \quad \text{--- 3)}$$

$$\text{直列並列モデル計算式: } R_p = X + \frac{2m(1-m)R_c R_e}{mR_c + (1-m)R_e} \quad \text{--- 4)}$$

() : 計算値のみ示す

る必要がある。4)式のXは相互作用値を示すものでこれが何に起因するかは本研究第2報で報告した如く、防炎剤の熱移動が主なる原因であると思われる。同様に綿未加工～PET加工の場合は表2の如く並列モデルよりも直列モデルで計算した値に近似した。この事実は如何に解釈すべきか明らかでないが、PVCの移動という現象でなく脱塩酸反応による綿の加水分解が大きな影響もっているのではないかと推定される。

次に本研究第2報の場合の合燃糸と引き揃え糸の場合を比較した結果は図5、6に示すように抵抗値の最大は

なくなり、一般的に引き揃え糸の方が抵抗が小さいことは糸中の空気量の増大によるものと思われる。

3 混合物の熱分解 (TG 曲線)

綿～PET 引き揃え混合糸の一方のみ加工し、他方未加工の場合と、同一引き揃え混合糸の一方のみ加工し、他方未加工の場合の熱分解に対する影響を知るため、各糸を粉碎して目的の混合比に混合したものに付き熱天秤によりTG曲線を求めた結果は図7～11に示す。

図7は加工綿に未加工PETを混合した場合で、PET

表2 燃焼抵抗に対する実験値と理論的計算値の関係

(綿未加工 PET PVC加工)

試料	実験値 (sec/cm)	並列モデル 計算値 (sec/cm)	相互作用値 X	直列モデル 計算値 (sec/cm)
綿 20% PET 80%	0.312	0.068	0.244	0.32
綿 40% PET 60%	0.202	0.095	0.108	0.28
綿 60% PET 40%	0.202	0.111	0.091	0.24
綿 80% PET 20%	0.190	0.091	0.10	0.19

直列及び並列モデル計算: $R_c = 0.151$, $R_e = 0.362$ を用いる。

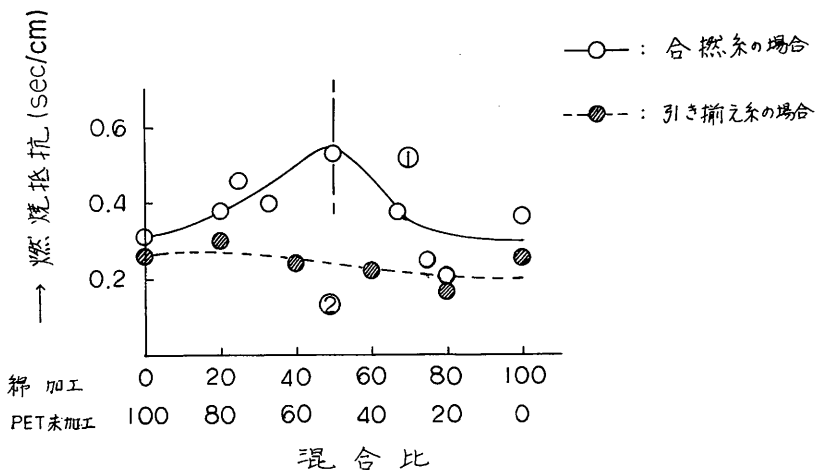


図5 混合比と燃焼抵抗の関係 ($R_p: 6/s$ に換算)
(綿 THPC加工～PET未加工)

の量が増加する程初期分解温度は高温側に移動し、2段階の分解を示す(310~430°C)。なお加工綿の多くなる程初期分解温度は低温に移動する。図8は加工PETに未加工綿を混合した場合を示し、前回同様未加工綿が増加する程初期分解温度は低温側に移動し、加工PETが

増加する程最終分解温度は高温側に移動している。次に図9はPET 100%のものの未加工品と加工品を混合した場合であって、未加工糸が増加する程初期分解温度は高温側に移動し、加工糸が増加する程最終分解温度はわずかに高温側に移動するが、曲線③加工糸40%、未加工

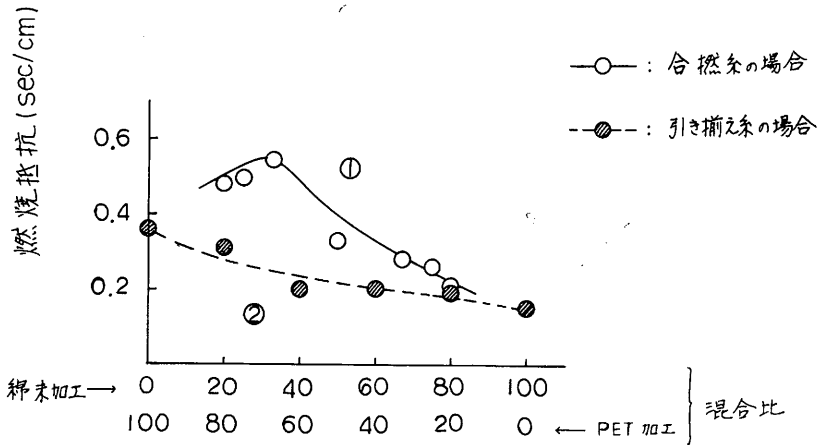


図6 混合比と燃焼抵抗の関係 ($R_p: 6/s$ に換算)
(綿未加工~PET PVC加工)

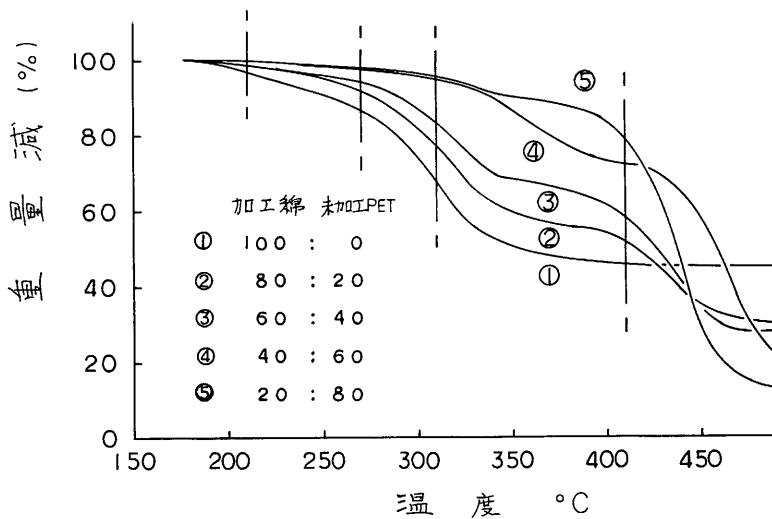


図7 綿加工~PET 未加工混合の TG 曲線

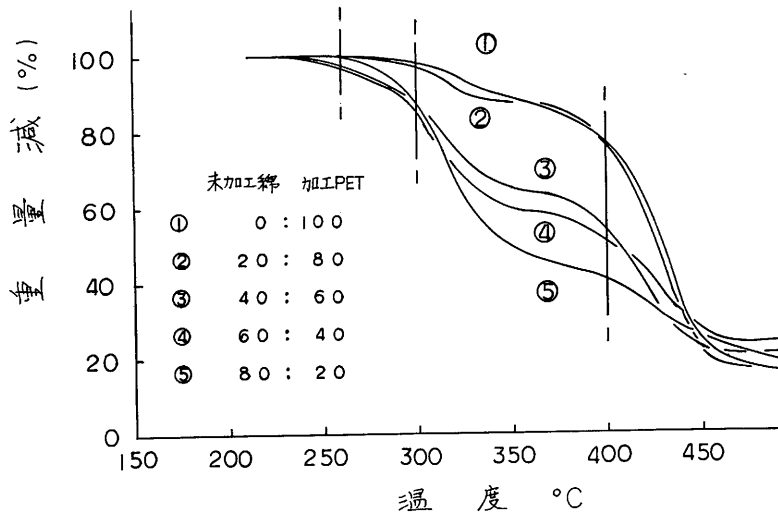


図8 綿未加工～PET 加工混合の TG 曲線

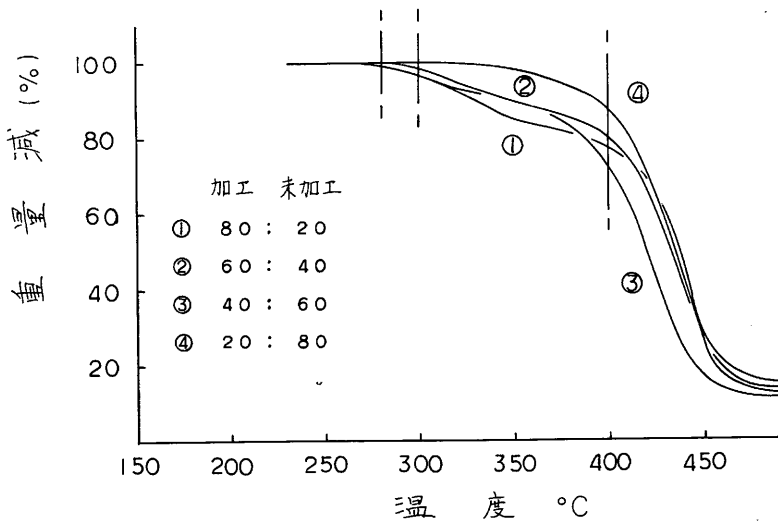


図9 PET の加工糸混合の TG 曲線

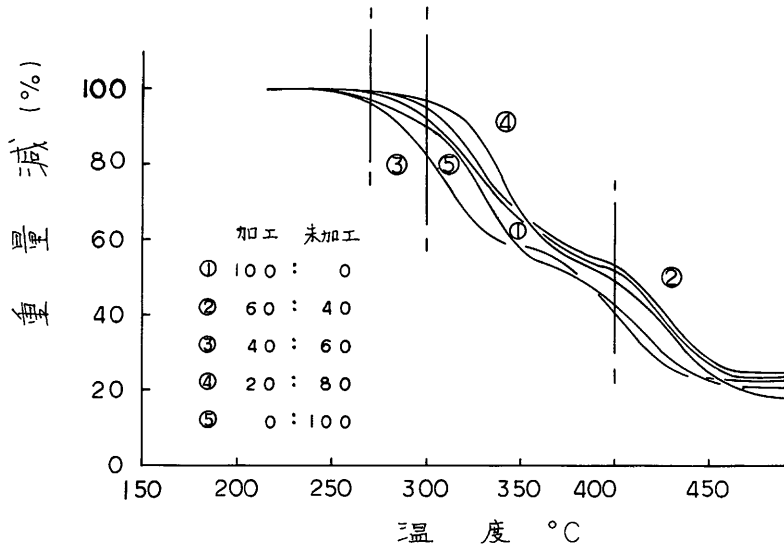


図10 綿 50-PET50 PVC 加工系混合の TG 曲線

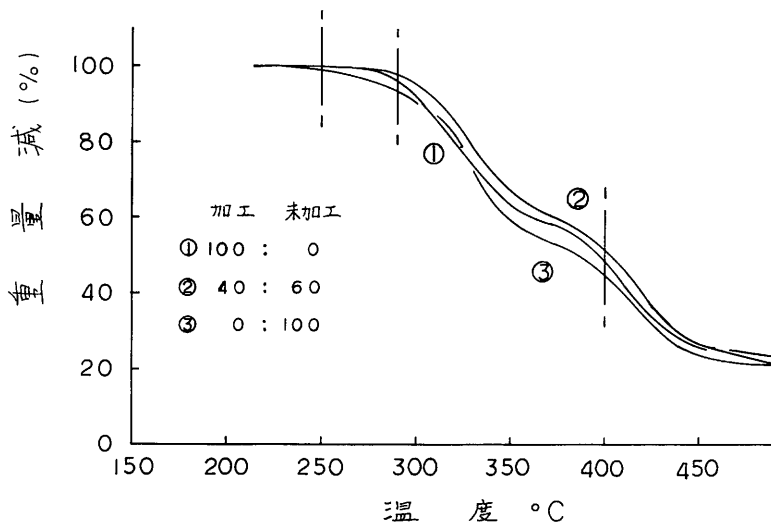


図11 綿 50-PET50 THPC 加工系混合の TG 曲線

糸60%の混合の時、最終分解温度は他の混合よりも低温側に移動し、他とは少し異なる結果となった。図10は混紡糸を未加工、あるいはPVCエマルジョン加工して混合した場合で、加工糸の増加する程初期分解温度は低温側へ移動するが、最終分解温度は加工糸混合40%未加工糸100%以外高温側へ移動している。初期分解温度、最終分解温度では共に同図中の曲線③加工糸混合40%が曲線⑤未加工糸100%よりも低温側へ移動している。図11の曲線②THPC加工糸混合40%の場合、最終分解温度では他の混合の場合よりも高温側へ移動している。混紡糸のTHPC加工糸100%は混紡糸PVC加工糸100%よりも全体的に各分解温度が低温側に移動している。

そこで分解が急激に起こり始める温度270°C～410°C付近の見掛けの活性化エネルギーEを前報と同様にFreeman法で計算した結果を図12および表3に示す。

この結果から未加工綿の増加に従ってEの値は減少を

示し、前述の燃焼抵抗値とよい一致を示す。今、各分解温度の時のEの値を図示すると図12のAのようである。この内Aは表3の結果を図示したもので、280°C～400°C何れの場合もEの値は未加工綿の増加に伴ないEの値は減少している。図中のBはPET未加工と綿のみ加工した場合で、加工綿の量が増加しても300°C付近では混合比にあまり関係なくEの値は約25 kcal/mol前後の範囲内にあり、400°C付近の分解では加工綿40%混合付近にEの最大値があるが、この原因については尚不明である。

図13のAは綿100%の未加工品と加工品を混合した場合で、いずれの加工糸混合比の場合でも余り関係なくEの値は19～20 kcal/molの範囲内にある。図中のBはPET100%の未加工品と加工品を混合した場合で、加工糸混合比が増加する程300°C付近の分解ではEは増加しているが、400°C付近の分解では混合比にはあまり関係なくEの値は30～38 kcal/molの範囲内にある。

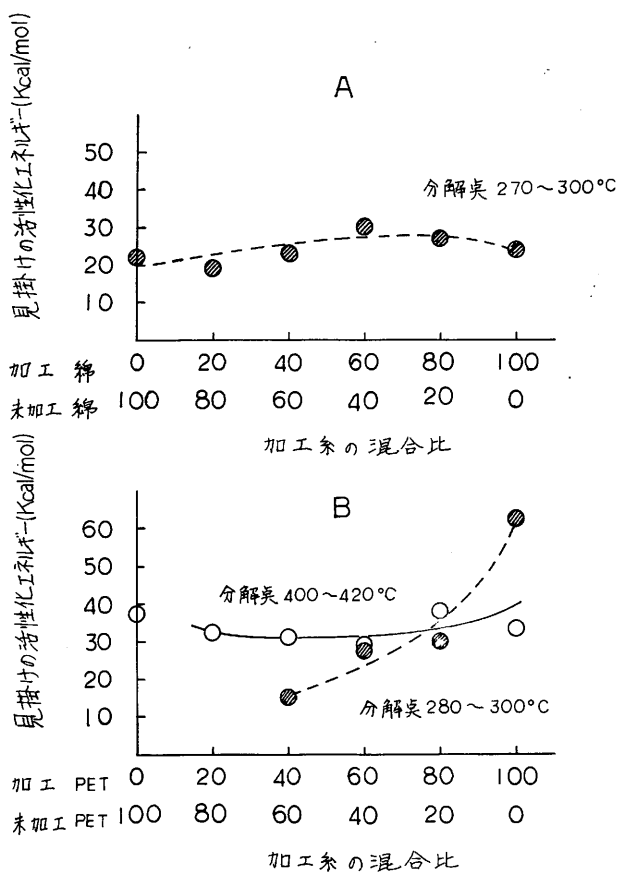


図13 加工糸混合比と見掛けの活性化エネルギーの関係

表3 混合物の分解温度と見掛けのE値

(綿未加工 PET PVC 加工)

試料	1 段分解 温度 °C	E (Kcal/mol)	2 段分解 温度 °C	E (Kcal/mol)
加工 PET 100%	300	62.5	410	33.3
未加工 綿 20% 加工 PET 80%	300	47.8	405	47.1
未加工 綿 40% 加工 PET 60%	280	30.0	400	24.8
未加工 綿 60% 加工 PET 40%	290	22.3	400	29.7
未加工 綿 80% 加工 PET 20%	295	37.9	380	14.7
未加工 綿 100%	280	23.1	385	23.6

$$-\frac{dW}{dt} = KW^n, \quad K = A e^{-\frac{E}{RT}}, \quad \ln\left(-\frac{dW}{dt}\right) = \ln A + n \ln W - \frac{E}{RT}$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dT} \cdot \frac{dT}{dt} = 0.17 \frac{dW}{dT}$$

ここでは W : 元の重量, K : 熱分解恒数, E : 見掛けの活性化エネルギー,
R : ガス恒数, T : 絶対温度

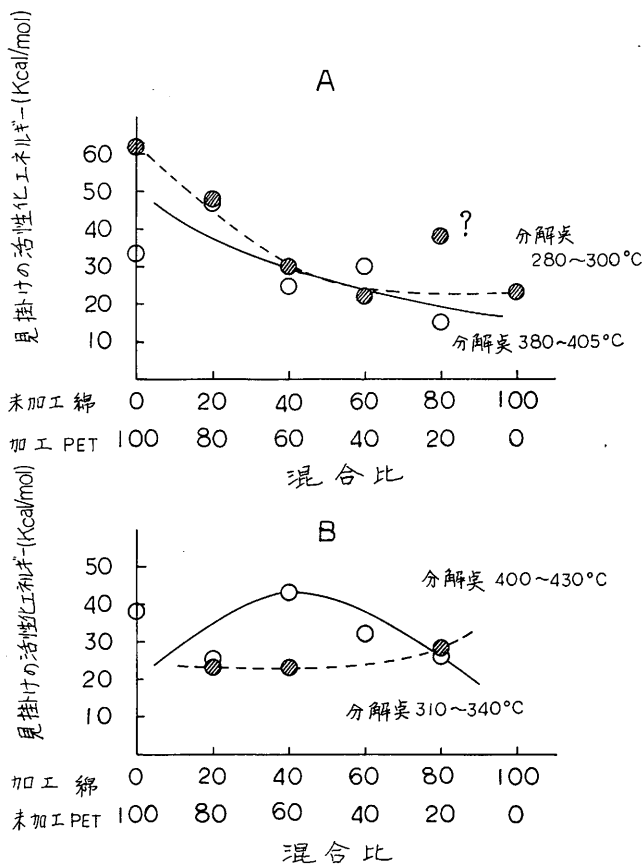


図12 混合比と見掛けの活性化エネルギーの関係

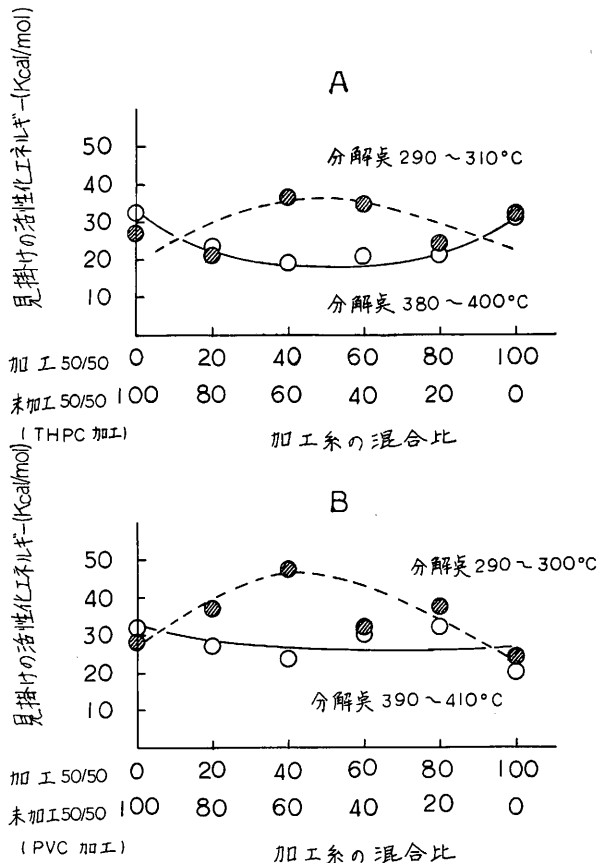


図14 加工糸混合比と見掛けの活性化エネルギーの関係

図14は混紡糸(50/50)を未加工のものとこれを加工して混合した場合のEの値で、Aは THPC 加工糸を混合した場合、Bは PVC 加工糸を混合した場合を図示したものである。300°CではA、B 何れの場合もEの値は加工糸混合40%の時が最大となっているが、この原因については尚不明であって、400°CでA図では40%付近が最小値となっている。BのPVCエマルジョン加工糸混合の場合のEの値は、290°C~300°Cでは加工糸40%付近で最大となった。加工剤の効果としては、300°C~400°Cの場合THPCよりもPVCの方がEの値は5~10 kcal/mol 大きな値を示しその効果は高かった。

総 括

綿糸、PET糸、混紡糸(綿50~PET 50)を目的の

混合比に引き揃えた場合、その内の防災加工糸の混合割合を変化させた時、これが燃焼にどのような影響を与えるかを知るため引き揃え糸の自己消火性、燃焼長、熱分解等について実験し、次の結果を得た。

1) 綿~PET 混合引き揃え糸の自己消火性は次の順であった。

PET のみ加工 > 両者未加工 > 綿のみ加工

何れの場合も未加工綿の増加に伴ない、防災効果は減少するが、綿加工~PET 未加工の場合のみ綿60%混合時に最少値を示した。

PET 糸のみの加工糸および未加工糸の混合ではいずれの混合でも殆んど自己消火する。綿糸のみの加工糸と未加工糸の混合の場合は、未加工糸が存在すると自己消火性は失われる。混紡糸(50/50)を前記同様にPVCで加

工した場合は、加工糸が80%以上で自己消火性がでる。
なお THPC 加工の時ではいずれの場合でも自己消火性は
ない。これらの自己消火性は次の順であった。

PET>綿>混紡 PVC>混紡 THPC

2) 燃焼長から燃焼速度を求め、その逆数を燃焼抵抗と
した場合、この抵抗値 (R_p) は一般的には直列~並列モ
デルの組合せで表わすことができるが、綿未加工、PET
加工の場合は直列モデルの方が実測値とよい一致を示し
た。

$$R_p = X + \frac{2m(1-m)R_c R_e}{mR_c + (1-m)R_e}$$

$$R_p = mR_c + (1-m)R_e$$

綿糸~PET 糸の引き揃え糸の燃焼抵抗は次の順であっ
た。

PET のみ加工>綿のみ加工>両者未加工

3) 同一糸の加工、未加工糸の混合引き揃えの場合の燃
焼抵抗は、PET 糸のみ加工して混合した時は混合比の
増大に伴ない、 R_p は増加を示すが、綿糸の加工、未加
工糸では混合比によって変化しない。混紡糸 (50/50) で
はやや増加を示す。

4) 加工糸と未加工糸間の糸の間隔の増加する程、燃焼
抵抗の減少を示し、同時に防炎剤の熱移動が少なくなる
と思われる。

要 旨

前報でポリエステル~綿混紡糸の燃焼速度の逆数を燃

焼抵抗とした場合、これらの単糸の抵抗の直列~並列組
合せモデルで示されることを報告したが、これらの一方
のみ防炎加工した場合、あるいは各単糸および綿 50/ポ
リエステル 50混紡糸を防炎加工した場合にはどんな影響
があらわれるかを知るため、目的の混合比に引き揃えて
燃焼性を試験した結果、次の成果を得た。

1) 引き揃え糸の自己消火性は、綿の増加に伴ない燃え
易くなるが、加工綿~未加工 PET の場合のみ、綿60%
~PET 40%の時に最小値を示した。

2) ポリエステル~綿引き揃え糸の燃焼抵抗は直列~並
列モデルの組合せで表わすことができる場合、直列モデ
ルの方が実験値と一致する場合もある。

3) 糸と糸との間の距離空間の増加は、燃焼抵抗の減少
に大きく影響した。

4) ポリエステル~綿混紡糸の防炎の目的には、ポリエ
ステル繊維を PVC エマルジョン加工した場合の時の方
が防炎効果が得られた。

本研究にあたり、ご指導いただきました本学教授長野
正満博士に深謝申し上げます。

文 献

- 1) 石久保鈴子、長野正満：織消誌，**18**，41 (1977)
- 2) 石久保鈴子、長野正満：織消誌，**20**，36 (1979)
- 3) E. S. Freeman, and B. C. Carroll : *J. Phy. Chem.*,
62, 394 (1958)

Summary

In the part II of this study, the flammability of the blended yarns was represented by the series and parallel model of the burning resistance (i. e., reverse of burning rate) of each single fibers.

This paper describes the flame-retarded effects of the yarn finished with flame retardants (cotton finished with THPC, polyester finished with polyvinylchloride, cotton and polyester blended (50/50) finished with THPC and with polyvinylchloride) on the flammability properties of these paralleled yarns. The experiment was carried out by the direct ignition method, thermogravimetry and following conclusions were obtained.

1) The degree of self-extinction of paralleled yarns when exposed under an ignition source was decreased with increasing cotton content. However, in the case of the blended yarn (finished cotton and unfinished polyester), it showed minimum at the 60% cotton mixing ratio.

2) The burning resistance of the paralleled yarns was represented by the series and parallel model of the burning resistance of each single yarn.

3) The burning resistance of yarns substantially tend to decrease with increasing the looseness

between the yarns.

4) The flame-retarded effects of the polyester and cotton blended yarn appeared to have the better effect on the polyvinylchloride finish rather than the THPC finish.
