

国立大学法人
信州大学との共同研究状況について

(公財) 日本防災協会 技術部

日本防災協会は、熱溶融性繊維の防災性能試験(以下「コイル法試験」)における燃焼性状について、国立大学法人信州大学繊維学部の若月准教授の研究チームと2016年度より継続して共同研究を行っており、その目的と概要は以下の通りである(防災ニュース No.213、No.223 参照)。

1 研究の目的

コイル法試験については、試験環境や試験要領等、試験結果に影響を及ぼす恐れがある要因について今日まで様々な研究がなされ、統一化に向け精度が高められてきたところである。より高い再現性を得るためには、コイル法試験における試験体の燃焼挙動の検証・解析を進めていく必要がある。

2 研究の状況

コイル法試験の燃焼プロセスの概念図を次頁の図に示す。

2016年～2017年度は、コイル法試験時の1回目着火時の一連の試験体の燃焼・溶融性状の評価を行った。具体的には試験片とバーナー炎との距離が着火に与える影響や、目付に依存した溶融球の性状が試験体の燃焼継続及び消炎に与える影響について検討した(図の赤点線枠)。

2018年～2019年度は、2回目着火の一連の試験体の燃焼・溶融性状の評価を行い、再着火を行うまでのタイミングについて検討した。その結果、2回目の試験体への着火のタイミングは、試験片とバーナー炎の距離に関係するほか、防災生地に含まれる難燃糸の混合率に関係する等の知見を得ることができた(図の青点線枠)。

2020年～2021年度は、試験中に試験機内で生じている供給空気及び燃焼時の排気の気流を数値流体力学により解析すること。規格に定める着火用バーナー燃料を構成する各種成分の試験結果に与える影響に焦点を当て、検証・解析を行っているところである(図の緑点線枠)。

3 研究内容の詳細

今回は、2016年～2017年度の研究内容の詳細について掲載した(次々頁以降)。また、

2018年～2019年度、及び2020年～2021年度の研究内容についても当協会ホームページに順次掲載を予定している。

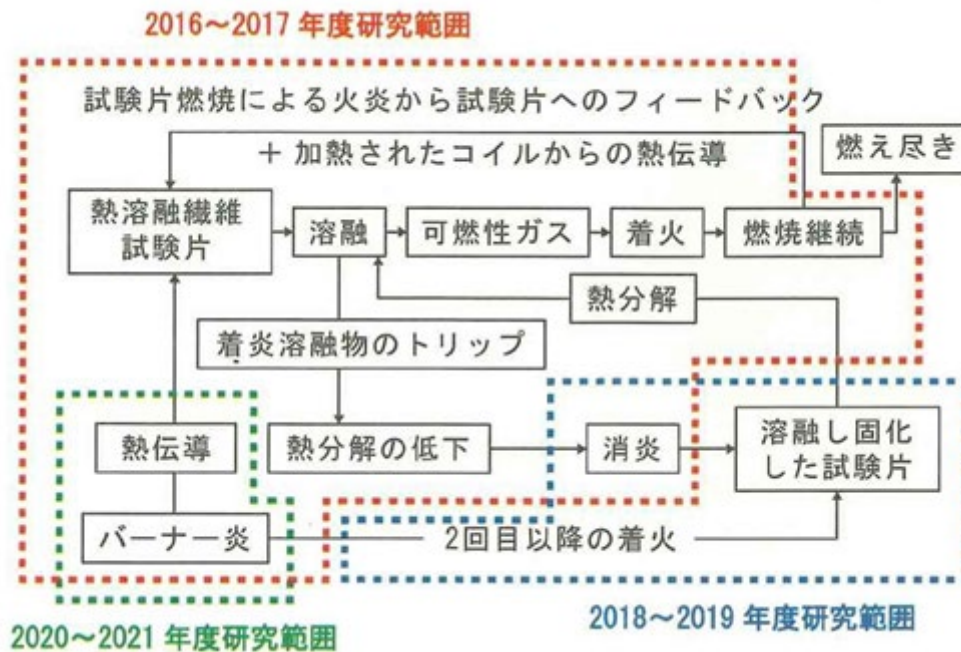


図. 研究対象としているコイル法の繊維燃焼プロセス

熱溶融性繊維の防災性能試験における燃焼性状の研究概要（2016 年度～2017 年度）

Characteristics of Combustion Behavior in Flame Retardancy Test for Polymeric Fabric

1. 緒言

防災性能を有している防災品は、火災の初期段階において、火災の発生を防止・延焼拡大を抑制・阻止する効果がある。日本では、消防法で公共の場でのカーテン、絨毯等の防災対象物品は、基準以上の防災性能を有するものの使用が義務付けされている¹⁾。熱溶融性繊維を用いた防災物品の防災性能試験「コイル法」は、昭和 44 年に採用され、JIS L1091(繊維製品の燃焼性試験方法)に規格化された。近年、試験機・試験室環境、試験実施者の試験機使用法による差、生地の日付(g/m²)の違いなどから、再現性に関する研究を行う必要があることが明らかになった。²⁾。

現在に至るまで、高機能繊維(化繊)の開発等により、防災品を取り巻く社会的環境が大きく変化してきたこともあり、ここで試験方法を検証することも重要と思われる。

本研究の目的は、コイル法における試験片の燃焼プロセスを把握するため、着火時のガスバーナーから試験片への加熱強度、試験中の熱溶融繊維の燃焼性状を解析し、コイル法試験の燃焼性状に影響を与える要素を明らかにすることである。

2. 研究のアプローチ及び実験方法

図 1 に、コイル法における熱溶融性繊維の燃焼プロセス、図 1 の赤色破線枠内は、1 回目着火のプロセスを示す。本研究は、1 回目着火から 2 回目着火に至るまでの間のプロセスに焦点をおき、防災生地の燃焼・溶融性状を調べた。表 1 に実験に用いた生地を示す。1 種の非防災生地(A)と目付の異なる 4 種の防災ポリエステル(PET)生地(B, C, D, E)とを用いた。なお、A は染色堅ろう度試験用添付白布ポリエステル(基準布)である。

2.1 熱重量示差熱分析装置(TG-DTA)による融点の特定

表 1 に示す生地の融点は、熱重量示差熱分析装置(Rigaku 製, Thermo plus TG 8120)を用い、熱重量測定(TG)及び示差熱分析(DTA)によって測定した。TG-DTA の測定では、空気あるいは窒素の雰囲気中で行った。

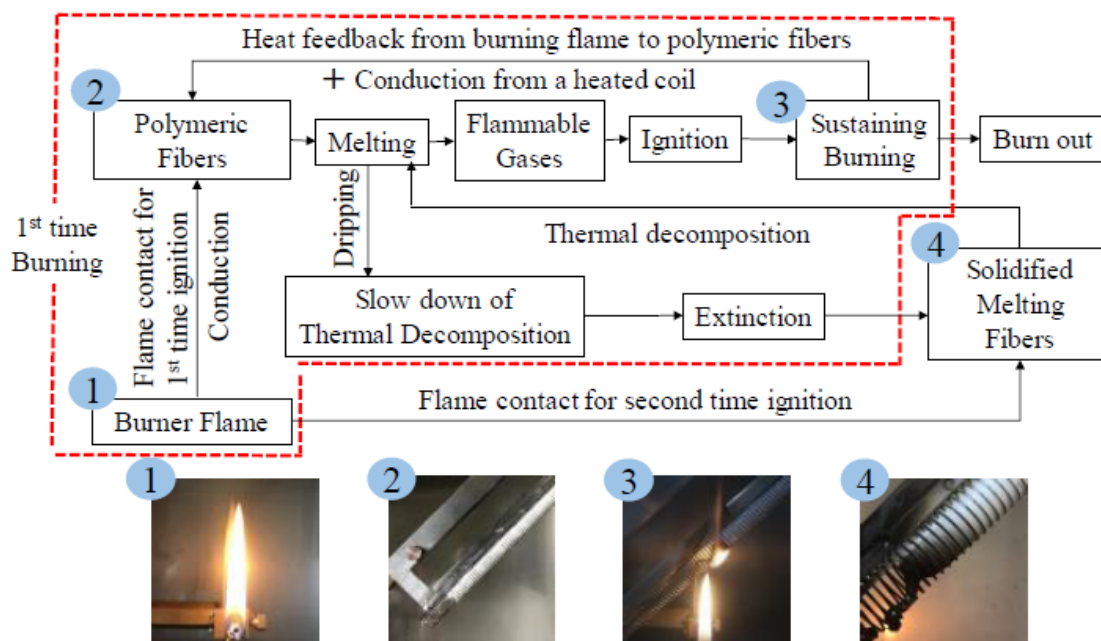


図1 コイル法における熱溶融性繊維の燃焼プロセス

表1 実験に使用した生地

試料	難燃性糸の混合比(%)	生地重量(g/m ²)
A	0	69.2
B	31	100.3
C	23	116.3
D	24	118.8
E	37	132.6

2.2 バーナー炎から試験片への加熱強度の測定

バーナー炎の長さが加熱強度に及ぼす影響を検証するため、バーナー炎を 35, 40, 45, 50, 55mm にセットした。また、バーナー炎と試験片との離隔距離が試験片の加熱強度に及ぼす影響を検証するため、バーナー炎をコイル法に基づき 45mm に設定した後、バーナー炎と銅センサとの距離を 0, 3, 6, 9, 12mm と離れた。図2 に示す ASTM D5207(プラスチック材料の小規模燃焼試験用 20mm 及び 125mm 試験炎校正の標準方法)³⁾を基に自作・校正した銅センサをバーナー軸上に配置し、着炎直後の銅センサの温度変化を測定した。火炎長さに対応するガス流量は試験機に取り付けたマスフローコントローラ(HORIBA, SEC-N112MGRW)で計測した。



図2 温度センサー用銅フラグ

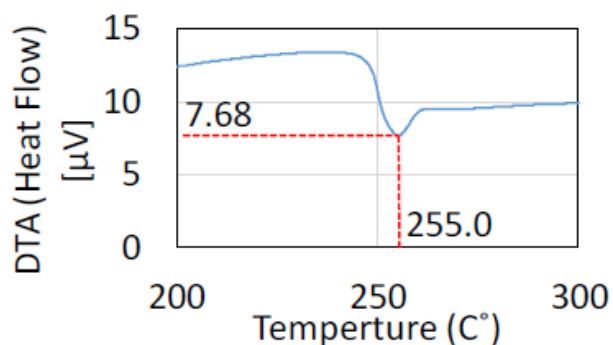


図3 試料AのDTA曲線（雰囲気：窒素）

3. 実験結果及び考察

3.1 TG-DTA を用いた融点の特定

図3に非防災生地(試料A, 雰囲気:窒素)のDTAの測定結果を代表例として示す。生地の溶融点は, 図3に示す吸熱ピークの値とした。表2にTG-DTAの実験結果(平均値)を示す。試料A~Eの融点は, 245°Cから255°Cであり, 本試験で使用した防災生地と非防災生地の融点は, ポリエステルの文献値(255°Cから260°C)⁴⁾とほぼ同じであった。

表2 TG-DTAで測定した平均溶融点

温度	試料				
	A	B	C	D	E
空気(°C)	254.7	254.5	249.8	251.7	249.8
窒素(°C)	254.4	252.5	251.7	250.6	252.5

3.2 コイル法の1回目着火における燃焼・溶融性状

防災の試料B, Eを用いたコイル法試験の1回目着火には, 「燃焼し, 溶融球のドリップにより消炎に至る」「燃焼し, 溶融球がドリップしない」「着火しない」の3つの燃焼・溶融性状が認められた。一方, 非防災の試料Aで同様のコイル法試験を行った結果, 着火後の溶融球のドリップは確認されなかった。図4の3つのグラフは試料Bの結果であり, 「(a)燃焼し, ドリップにより消炎に至る」「(b)燃焼し, ドリップしない」及び「(c)着火しない」場合の温度変化を示す。図4(a)では, 溶融球のドリップにより試験片温度が下がり消炎に至る様子, 図(b)では, 試験中に試験片が炭化することで溶融球のドリップが生じなく長時間燃焼し続ける様子、図4(c)では, 着火せず試験片の溶融が速く広がる様子が認められた。

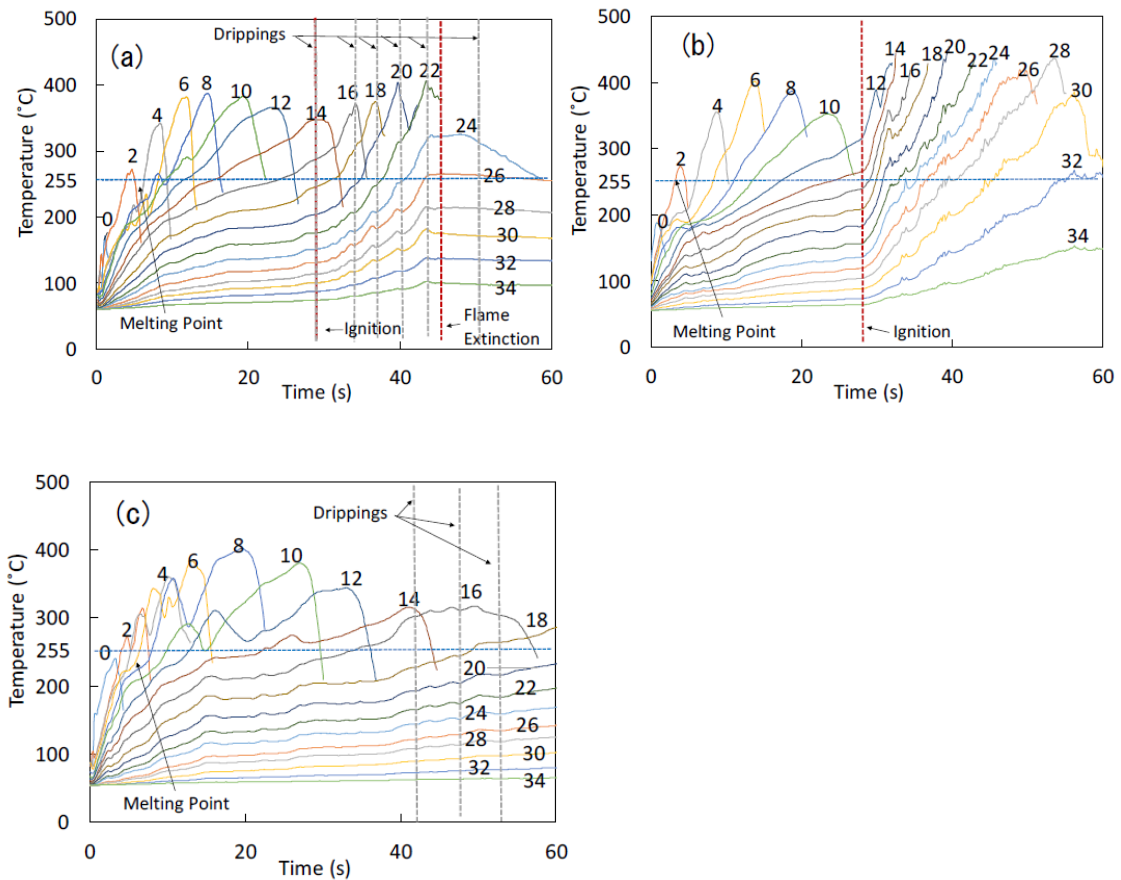


図4 バーナー炎の接触点からの2mm毎の温度変化(試料B)

(a)炎上し、滴下して消炎した(b)炎上したが、滴下せず消炎した(c)炎上も滴下もしない

※各グラフの数字はバーナー炎の接触点からの距離を表す(単位：mm)

これら実験結果から、コイル法1回目着火の燃焼プロセスの検証は、次の4つに分けて行った。

①バーナー炎から試験片への熱伝導のプロセス

図5に、バーナー炎と銅センサの間隔を0~12mmとした場合の銅センサの温度変化を示す。各距離の $\partial T / \partial t$ の最大値より、銅センサとバーナー炎との距離が離れることで、 $\partial T / \partial t$ が大きく減少した。また、「着火しない」場合は、試験片の熔融後、バーナー炎と試験片の距離が大きく離れた。これらから、試験片の加熱位置が離れることは、試験片の着火に影響を及ぼしていると考えられる。

②着火時におけるプロセス

コイル断面から加熱時の試験片の熔融性状を観察すると、試験片は徐々にコイル中心に収縮し、熔融球となった。次に、熔融球は徐々に大きくなり、重みで下へと移動し、バーナー炎が熔融球に着火した。図6は、試料Bの場合の着火直後の熔融球を示す。熔融球の最

大温度は、500 °Cを超えており、試験片の中で最も高い温度を示した。ポリエステルに着火温度は 390 °C⁵⁾であることから、試験片が着火する際、溶融球は最も試験片で着火しやすい部位であると考えられる。

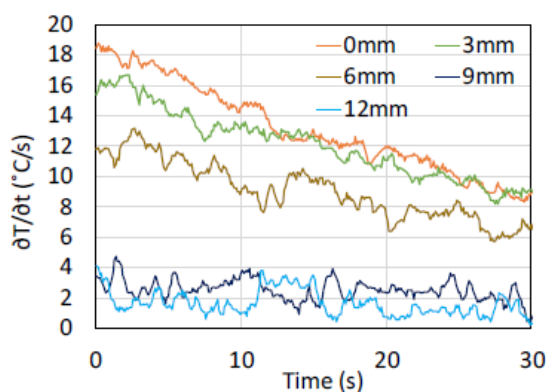


図5 銅センサの $\partial T/\partial t$ 値



図6 着火直後の溶融球(試料 B)

③ 燃焼中及び消炎に至るプロセス

前述したように、図4 (a)の温度履歴は、着火後の溶融球のドリップにより試験片温度が下がり消炎する様子、図4 (b)の温度履歴は、試験片が炭化し、溶融球のドリップがなく長時間燃焼し続ける様子を示している。これらの結果から、溶融球のドリップが生じたことで、残存した溶融部の温度降下により消炎に至ったと考えられる。

④ 消炎後の溶融物の温度変化

図7は、試料Bの1回目着火終了後の溶融球の単位時間あたりの温度変化を示す。 $\partial T/\partial t$ が0になる時間は、実験5回平均100秒となった。実際のコイル法試験では消炎直後に試験片を移動させ2回目の着火を行う。この2回目着火までの待ち時間の違いは次の着火・燃焼に影響を与えると考える。

3.3 目付が試験結果に与える影響

図8に試料A, B, Eの溶融に至る時間と目付の関係を示す。目付の小さいAは、溶融に至る時間が速いが、目付の大きい試料Eは、溶融に至る時間が遅い傾向がみられた。溶融に至る時間が早い生地は、溶融により試験片の加熱位置がバーナー炎から早く離れていき、受熱強度は弱くなることから、目付の差によってコイル法試験の着火条件に差が生じたものと考えられる。

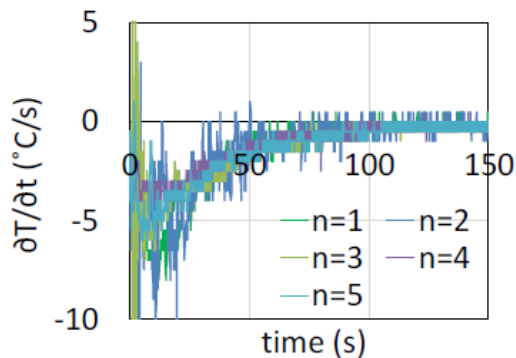


図7 溶融球の温度変化(試料 B)

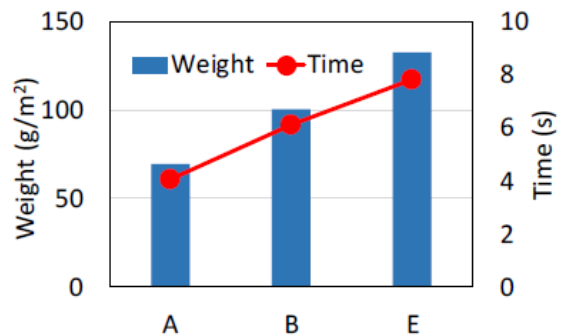


図8 目付毎の溶融に至る時間

4. まとめ

本研究は、熱溶融性繊維の防災試験「コイル法」における試験片の燃焼・溶融性状を明らかにするため、信州大学繊維学部と公益財団法人日本防災協会との共同研究により実施する一連の研究の初年度（2016年～2017年度）の結果となる。

今回の研究は熱画像カメラ、熱電対を用いた試験片の温度測定及び CCD カメラ、デジタルカメラを用いた燃焼状況の評価について行った。

その結果、コイル法試験の1回目着火の一連の燃焼・溶融性状を観察・評価した際、試験片とバーナー炎の距離とバーナー炎の長さは、試験片への着火に影響を与える要素であること。また、目付の違う生地を用いた試験結果から、生地が溶融する時間は試験片生地の目付に依存した。加えて、燃焼により生じる溶融球のドリップは燃焼継続及び消炎する際に大きな要素である事が分かった。

これは、目付が少ないと溶融部は速く拡大するためバーナー炎から大きく加熱部の距離が離れることになる。バーナー炎長さはコイル法試験で規定されており極端に試験者により長さは変わらないと考えるため、目付の大きさが及ぼす溶融部の拡大、すなわち試験片とバーナー炎の距離が離れることが最もコイル法試験の着火時に影響を与える要素と考えられる。

参考文献

- 1) 公益 団法人 日本防災協会, " の知識と実際", 2016
- 2) 公益財団法人 日本防災協会, "熱溶融性繊維の燃焼性試験に関する調査研究報告書", 2015
- 3) ASTM D 5207:2003, Standard Practice for Confirmation of 20-mm (50-W) and 125-mm (500-W) Test Flames for Small-Scale Burning Tests on Plastic
- 4) ポリエステル繊維の特徴
<http://www.toishi.info/sozai/textile/polyester.html>
- 5) 株式会社 クラレ: PET および他樹脂の燃焼特性
<http://www.kuraray-kurapet.com/technology/nensyoutokusei.html>