

# 「たばこ」火災に関する基礎的検証

飯田 明彦\*, 金子 公平\*, 田沼 宏志\*\*

## 概 要

「たばこ火災」に関する実験的検証は、消防技術安全所においても昭和44年度（当時は消防科学研究所）に行われ、種々の銘柄のたばこの熱的性状や可燃物に対する着火燃焼性に関する結果は、火災調査教本等に掲載されている。しかし、現在のたばこは品質改良により、当時のデータとは燃焼性状等が異なる可能性があり、販売が終了した銘柄もあることから、これらのデータを見直す必要がある。

本検証は、従前行われた「たばこ火災」に関する検証から得られた結果を見直し、新たな知見を得ることを目的として行った。その結果、現行のたばこは当時のものに比べて、総発熱量は減少し、一定の燃焼速度で燃焼する傾向等を確認することができた。

## 1 はじめに

たばこは、古くから出火原因の上位を占めている。住宅火災（共同住宅を含む）についてみると、その原因別火災件数では「ガステーブル等」に次いで第2位となっており、防火対策上、「たばこ火災」の抑制が有効であると考えられる。

そのためには、たばこの燃焼速度や燃焼熱量等の基礎物性、そして可燃物に対する着火性状等に関する知見が必要と考えられる。「たばこ火災」に関する実験的検証<sup>1)</sup>は、当消防技術安全所でも前身である消防科学研究所であった昭和44年度に行われており、種々の銘柄のたばこに対する熱的性状や可燃物に対する着火燃焼性状について、測定結果が示され、現在も新火災調査教本<sup>2)</sup>等に掲載活用されている。しかし、それらのデータは、検証当初のものであり、対象としているたばこの種類・銘柄には、現在発売されていないものも見受けられる。また、現行品であっても、製造者側で品質改善を行っており、必ずしも当時のデータが当てはまるとは限らない。

本検証では、従前行われた「たばこ火災」に関する検証（以下、「前報告」という。）から得られた結果を見直し、新たな知見を得ることを目的とする。

## 2 たばこについて<sup>2,3)</sup>

一般に販売されているたばこはほとんどが紙巻きたばこである。当報告においては、検証に使用した「紙巻きたばこ」を以降、「たばこ」という。

### (1) 各部分名称

たばこの各部の名称は図1に示すとおり、たばこは、葉たばこ部分の刻（きざみ）、巻紙（まきし）、フィルタ

ー、チップペーパーから構成される。

### ア 刻（きざみ）

乾燥した様々な葉たばこをブレンドし、香料を加えることで銘柄ごとに特有の味が作り出されている。

### イ 巻紙（まきし）

刻を包む紙で、主成分がセルロースの麻を主体とした素材を多く使用しており、高通気性を有している。

### ウ フィルター

煙を濾過してタールやニコチンを減らす作用がある。

### エ チップペーパー

刻とフィルターを併せるもので、通気性がない。主に木材（パルプ）を原料としている。

### (2) たばこの燃焼性状<sup>2)</sup>

たばこは一度着火すれば

表面燃焼部及び未燃焼部の巻紙部分から酸素の供給を受けて、常温で燃焼を継続する。最も多くの酸素の供給を受けているところは先端であり、巻紙部分の燃焼に大きく影響している。

たばこの先端を点火すると、葉たばこは無炎燃焼をする。この時、生じた熱

はこれに接した未燃焼のたばこの葉を加熱する。この部分でたばこの葉が熱分解を起し、ガス状の分解生成物を

発生する。通常、喫煙時はこのガスを非燃焼側から吸引

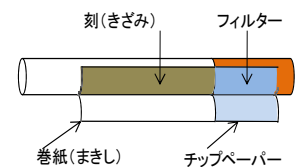


図1 一般的なたばこの各部名称

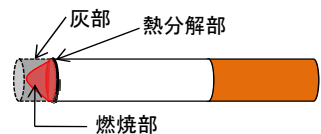


図2 たばこの燃焼時の状況

し、無炎燃焼を継続させる。

### 3 試料と基礎データ

本検証において使用した試料は、平成 23 年度第 1 四半期の国内売上高上位 10 銘柄<sup>3)</sup>及び前報告において用いられた銘柄のうち現在も市販されている番外のたばこ K、たばこ L、たばこ M の 3 銘柄の計 13 銘柄を試料とした。仕様と寸法の測定値を表 1 にまとめた。

表 1 本検証に使用したたばこ試料の基礎データ

| たばこの銘柄 | 平均長さ (mm) | 平均直径 (mm) | 平均質量 (g) | タール量 (mg) | ニコチン量 (mg) | 長さ当たりの質量 (mg/mm) | フィルターを除く長さ (mm) |
|--------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|------------------|-----------------|
| たばこA   | 84.17     | 8.03      | 0.85     | 6         | 0.5        | 11.0             | 56.97           |
| たばこB   | 83.83     | 8.13      | 0.99     | 14        | 1.2        | 12.9             | 58.93           |
| たばこC   | 84.17     | 7.90      | 0.94     | 8         | 0.7        | 12.3             | 57.33           |
| たばこD   | 84.00     | 8.07      | 0.94     | 10        | 0.8        | 12.2             | 59.07           |
| たばこE   | 84.33     | 7.77      | 0.87     | 8         | 0.6        | 11.7             | 57.37           |
| たばこF   | 84.23     | 8.10      | 0.86     | 3         | 0.3        | 10.8             | 57.37           |
| たばこG   | 84.13     | 7.80      | 0.89     | 12        | 1          | 10.8             | 63.20           |
| たばこH   | 98.50     | 8.07      | 0.93     | 1         | 0.1        | 9.7              | 68.60           |
| たばこI   | 96.93     | 7.70      | 0.99     | 1         | 0.1        | 10.0             | 69.83           |
| たばこJ   | 84.07     | 8.00      | 0.97     | 9         | 0.8        | 11.8             | 63.37           |
| たばこK   | 70.70     | 8.20      | 0.87     | 14        | 1.1        | 13.6             | 53.80           |
| たばこL   | 84.47     | 8.00      | 0.97     | 17        | 1.4        | 12.3             | 62.47           |
| たばこM   | 84.03     | 7.90      | 1.01     | 21        | 1.9        | 14.2             | 58.93           |

### 4 実験方法

本検証では、たばこの基礎燃焼性を捉えることから、以下の条件と項目についてデータを取得する。なお、たばこの吸引時の条件は検討せず、たばこを放置した時と同様の自然燃焼時の燃焼性状を検証し、過去のデータと比較した。

#### (1) たばこ燃焼時の状態と用語

本検証では、たばこを着火後、放置した自然燃焼状態で扱う。また、用語については次のとおりとする。

ア 「全長燃焼」は、フィルターの直前まで、刻部分が全て燃焼した状態とする。

イ 「立ち消え」は、全長燃焼に至る前に燃焼が停止することとする。

ウ 「燃焼時間」は、先端から 15mm 部分を燃焼させた時点からフィルター直前までの全長燃焼した時の燃焼時間とする。前報告では点火してからの時間としているため、これらと比較する時は先端の 15mm 部分を考慮して算出する。

エ 「燃焼速度」は、前報告と同様、単位時間 (秒) 当たりの燃焼による刻の燃焼部分の長さ (mm) とする。

#### (2) 試料の処理

ア 試料に用いるたばこは全てデシケーター内で、24 時

間以上乾燥状態に置いた後のものを用いた。

イ たばこに着火する際は、ライター等で着火側から 5mm の位置を超えないように、水平に保持しながら着火させた後、垂直に固定し、15mm の位置まで安定に燃焼することを確認後、それぞれの実験に使用した。

#### (3) 測定項目

##### ア 総発熱量

総発熱量の測定には、ポンプカロリメーター (図 3) 吉田製作所製 YM-燃研式デジタル熱量計) を使用した。試料は、たばこの刻部分を粉碎し、約 1g を純酸素 15 気圧の雰囲気内で燃焼させた時の温度上昇から総発熱量を得た。



図 3 ポンプカロリメーター

##### イ 無風条件下での空中保持自然燃焼における燃焼速度及び質量減少率

図 4 のとおり、試料のたばこを空中に水平に保持した状態で燃焼速度、質量減少率を測定した。

燃焼速度は、前(2)のとおり燃焼してから、図 4 に示す実験時の様子をビデオカメラで撮影し、映像からたばこの長さを記録した。質量減少は、100 分の 1g まで測定できる電子秤の上に蒸発皿をのせ、蒸発皿の中に針金をたばこを固定できるように設定し、測定した。

なお、前報告との比較のために、たばこ K、たばこ L、たばこ M の 3 銘柄は垂直に保持した時の燃焼方向上向き及び下向きの燃焼速度を測定した。

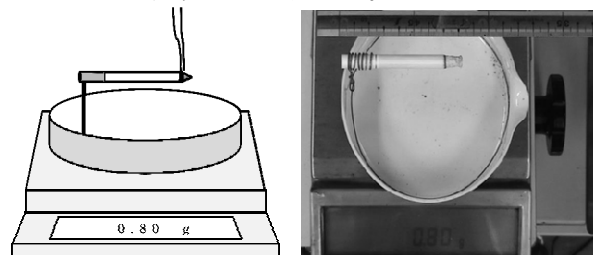


図 4 空中保持自然燃焼実験時の状況

##### ウ 空中保持、自然燃焼時の温度変化

###### (ア) 空中燃焼時の外周温度

外周温度は、熱画像カメラ (NEC/AVIO 社製 H2600) を使用し、放射率を 1.0 として測定した。各測定間隔において、最高温度部分を表示した部位の温度を記録した。

(イ) 前報告との比較のための内部温度及び外周温度等の測定

前報告で示している内部温度と同様の条件で比較するために、内部温度及び周辺温度を測定した。

内部温度は、たばこ横断面中心部で、たばこ末端から5mmの位置に熱電対（K型、素線径70μm）を差し込んで測定した。周辺温度は、たばこ先端から25mm離れた箇所外周部から深さ1mmの位置に差し込んで測定した。



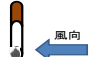


エ 送風条件の空中自然燃焼時の燃焼速度等

たばこを空中に水平に保ち、表2に示すように燃焼部に対して、1. 「向い風」（風上方向）、2. 火源に対して「追い風」（風下方向）、3. 火源に対して「横風」とした送風をした場合について、それぞれ1m/s、2m/s、3m/sの風速条件の下、燃焼速度を測定した。

この時、各条件で3本ずつ測定を行い、立ち消え率の有無も確認した。燃焼速度は、この様子をビデオカメラで撮影し、記録した映像からたばこの長さを計測して求めた。

また、たばこK、たばこL、たばこMの3銘柄については前報告との比較のため、各風速条件で、4. 火源部を上にした下方向の燃焼、5. 火源部を下にした上方向の燃焼（表2下）での、たばこを垂直に保持した時の燃焼速度及び立ち消え率を測定した。

表2 送風時の空中自然燃焼時のたばこ燃焼速度測定における風向きと固定位置の関係

| たばこの保持方向 | 風向<br>(燃焼方向との関係)  |
|----------|---|
| 1 水平保持   | 向い風<br>(燃焼方向)      |
| 2 水平保持   | 追い風<br>(燃焼方向の逆向き)  |
| 3 水平保持   | 横風<br>(燃焼方向に直交)    |
| 4 垂直保持   | 横風 上<br>燃焼方向は下向き   |
|          | 横風 下<br>燃焼方向は上向き   |

※表中の垂直保持の燃焼速度の測定は、前報告と同じ3銘柄で行う。

## 5 実験結果と考察

### (1) 形状・寸法

前報告に示されているたばこ銘柄のうち現在販売されている現行品のデータを表3に示す。表1と比較すると同一銘柄においても、たばこ1本あたりの質量は減少し、タール、ニコチンの含有量は減少している。

しかし、前報告のたばこのデータでは可燃部分である刻の質量や密度、長さ等の各部分の寸法・形状が不明なため、詳細な比較は困難である。

表3 前報告のたばこの寸法・形状等

| たばこの銘柄 | 長さ (mm) | 直径 (mm) | 質量 (g) | タール (mg) | ニコチン (mg) |
|--------|---------|---------|--------|----------|-----------|
| たばこB   | 80      | 8       | 0.97   | 16       | 1.4       |
| たばこK   | 70      | 8       | 0.86   | 20       | 1.6       |
| たばこL   | 80      | 8       | 0.86   | 22       | 1.7       |
| たばこM   | 70      | 8       | 1.02   | 28       | 2.7       |

### (2) 総発熱量

現行品の13銘柄について、総発熱量を測定した結果は表4に示すとおりである。たばこの総発熱量はほぼ15~16 kJ/gの範囲に収まり、たばこI、たばこJのみが16.00 kJ/gを若干超える。

表4 総発熱量  
(現行品)

| たばこの銘柄 | 総発熱量  |
|--------|-------|
|        | kJ/g  |
| たばこA   | 15.09 |
| たばこB   | 15.30 |
| たばこC   | 15.17 |
| たばこD   | 15.42 |
| たばこE   | 15.92 |
| たばこF   | 15.44 |
| たばこG   | 15.86 |
| たばこH   | 15.65 |
| たばこI   | 16.15 |
| たばこJ   | 16.03 |
| たばこK   | 15.98 |
| たばこL   | 15.95 |
| たばこM   | 15.82 |

表5 総発熱量  
(前報告のデータ)

| たばこの銘柄 | 総発熱量  |
|--------|-------|
|        | kJ/g  |
| たばこB   | 15.98 |
| たばこK   | 17.55 |
| たばこL   | 16.97 |
| たばこM   | 17.54 |

表4の現行品の総発熱量の結果及び表1の形状・寸法からは相関は認められなかったが、前報告の総発熱量のデータ(表5)に比べて、現行品のたばこは、全体的に総発熱量が低くなっており、銘柄ごとの数値の差が小さかった。

また、調査教本上ではタール、ニコチン含有量との相関があると述べているが、本検証においては、特に関連性は認められなかった。

### (3) 無風条件での空中保持自然燃焼

無風条件の空中保持、自然燃焼時のたばこの長さの変化量、質量変化を30秒ごとに測定した。結果を図8、図9に示した。これらの数値から燃焼速度、質量減少率、燃焼時間を表4にまとめた。表4の燃焼時間はたばこの先端から15mmまで燃焼した時点から、刻部分の燃焼が終了するまでの時間を示した。

燃焼時間は、最短のもので、たばこA、たばこFの300秒から、最長のもので、たばこL、たばこMの570秒であった。最長と最短時間の差は約2倍である。

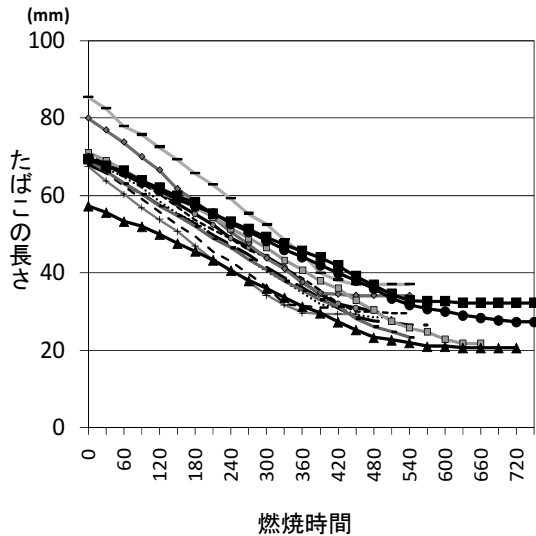


図8 無風条件、空中保持自然燃焼時の各銘柄の長さの変化

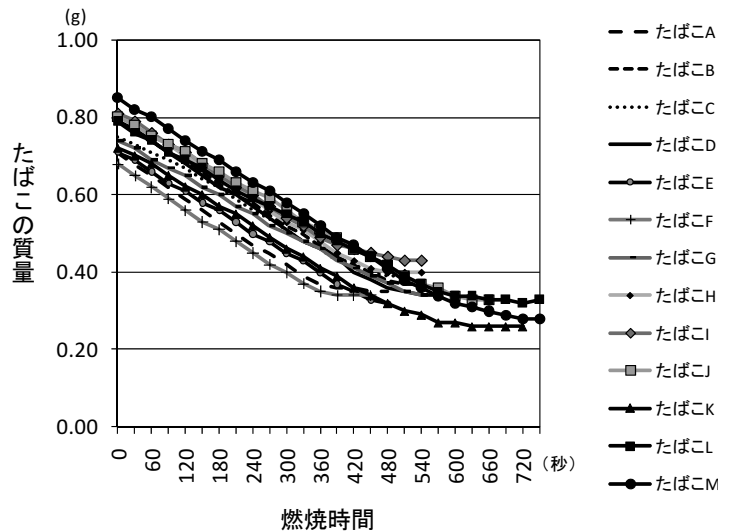


図9 無風条件、空中保持自然燃焼時の各銘柄の質量変化

たばこLを例にあげると、540秒まではほぼ均等に短くなっているが、フィルター付近では燃焼速度（長さの変化量）が次第に遅くなり、約600秒でほぼ0 mm/sとなって燃焼が終了した。他の銘柄でも刻の長さの違いがあるため、グラフ上の変化は様々であるが、同様の経過をたどり、燃焼速度は燃焼中、ほぼ一定の速度で推移した。たばこの燃焼速度は、たばこA、たばこF、たばこH、たばこIについては、他に比べて速く、たばこK、たばこL、たばこMは比較的遅かった。これは表6に示すとおりである。

図9に示す質量変化については、たばこLの傾きが他と比較して小さいこと以外、全銘柄はほぼ同程度である。たばこAが0.97 mg/sと高い数値となり、たばこG、たばこLが0.77 mg/sと低い数値が測定されたこと以外では、ほぼ0.80~0.95 mg/sの範囲に収まる数値が得られ

た。燃焼速度と同様に燃焼部分がフィルターに近づくると燃焼速度が遅くなるため、燃焼が安定している300秒までの質量減少率を見ると、表6のとおり、全銘柄の数値は、0.80~0.97 mg/sのより狭い範囲に収まった。

以上の結果について、無風条件、自然燃焼で燃焼速度及び質量減少率を測定した結果について考察する。全体として、燃焼が安定してから300秒程度はどの銘柄についても均等な燃焼速度、質量減少率で変化した。熱分解部がフィルターに近づくると急激に質量減少率、燃焼速度は減少する。図8に示すとおり、たばこの長さの減少率から、巻紙から酸素が供給されていて、チップペーパーからは供給されないという、自然燃焼時の燃焼性の変化を示していると考えられる。

たばこA、たばこF、たばこH、たばこIは他のものに比べ、燃焼速度（長さの変化量）が大きい。これらは、タール量が少なく、いわゆる軽いたばこで、表1に示す刻部分の単位長さ当たりの重量が10 mg/mm以下と低いことがわかる。この4銘柄については、燃焼速度が速く、立ち消えしにくい銘柄といえる。

また、自然燃焼時の質量減少は、ほぼ全銘柄の数値が同じことから、燃焼速度に与える効果としては、刻の充填率または密度が低いことが影響している可能性がある。

表6 無風、空中自然燃焼時の燃焼時間等(300秒まで)

| たばこの銘柄 | 燃焼時間 (s) | 燃焼速度 (mm/s) | 質量減少率 (mg/s) |
|--------|----------|-------------|--------------|
| たばこA   | 300      | 0.11        | 0.97         |
| たばこB   | 420      | 0.09        | 0.90         |
| たばこC   | 390      | 0.10        | 0.80         |
| たばこD   | 420      | 0.09        | 0.93         |
| たばこE   | 390      | 0.09        | 0.87         |
| たばこF   | 300      | 0.11        | 0.93         |
| たばこG   | 480      | 0.09        | 0.80         |
| たばこH   | 420      | 0.11        | 0.93         |
| たばこI   | 360      | 0.12        | 0.90         |
| たばこJ   | 540      | 0.08        | 0.80         |
| たばこK   | 540      | 0.07        | 0.87         |
| たばこL   | 570      | 0.06        | 0.87         |
| たばこM   | 570      | 0.07        | 0.80         |

表7 無風条件、垂直保持での燃焼速度と立ち消え率

| たばこの銘柄 | 燃焼方向: 下向き             |           |                 | 燃焼方向: 上向き             |           |                 |
|--------|-----------------------|-----------|-----------------|-----------------------|-----------|-----------------|
|        | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) |
| たばこK   | 0.09                  | 0/3       | 375             | 0.09                  | 0/3       | 303             |
| たばこL   | 0.08                  | 1/3       | 475             | 0.07                  | 0/3       | 361             |
| たばこM   | 0.08                  | 0/3       | 522             | 0.07                  | 0/3       | 393             |

注) 立ち消え率は「立ち消えした本数/試験本数」で示す。



また、この条件で、前報告のものとの比較のため、表 7 のとおり、垂直保持条件で、燃焼方向下向き及び燃焼方向上向きの燃焼速度、立ち消え率、燃焼時間を求めた。燃焼方向下向きでは、たばこ K が 1 本立ち消えた。燃焼速度は、0.07~0.09 mm/s で水平保持のものとは比べ、ほぼ同程度か、やや速くなった。

#### (4)温度測定

##### ア 外周部の温度変化

無風条件、空中保持、自然燃焼時のたばこ外周部の温度を、熱画像カメラにより測定した(表 8)。ここでは 3 分毎に最高温度を記録し、平均値を示した。たばこは燃焼時、灰部を形成していくが、灰部が落下した瞬間、灰内部にあった燃焼部が露出した時の最高温度も記録した。

降灰時の温度は瞬間最大で 800℃のものがあった。外周温度は高温の燃焼部が灰に覆われているため、熱画像カメラの測定では、各銘柄の平均値は 600℃台の温度が測定された。降灰時の瞬間温度が高いものほど外周部の温度も高い傾向がある。

表 8 空中保持、自然燃焼時の外周温度(℃)

| たばこの銘柄 | 測定外周部最高温度(3分毎に熱画像装置の最高温度を記録) |       |       |       |       |       | 灰落下時に瞬間的に表示された最高温度 |       |
|--------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------|-------|
|        | 1回目                          | 2回目   | 3回目   | 4回目   | 5回目   | 6回目   |                    | 平均値   |
| たばこA   | 650.0                        | 655.8 | 659.5 | 660.1 |       |       | 656.4              | 800.7 |
| たばこB   | 648.0                        | 651.6 | 655.6 | 629.5 |       |       | 646.2              | 691.2 |
| たばこC   | 651.6                        | 674.0 | 659.0 | 666.0 |       |       | 662.7              | 786.5 |
| たばこD   | 635.0                        | 657.5 | 624.1 | 653.2 |       |       | 642.5              | 766.8 |
| たばこE   | 639.2                        | 653.2 | 635.5 | 619.8 |       |       | 636.9              | 694.8 |
| たばこF   | 652.2                        | 653.2 | 654.3 |       |       |       | 653.2              | 706.3 |
| たばこG   | 631.7                        | 636.0 | 639.8 | 643.1 |       |       | 637.7              | 639.2 |
| たばこH   | 627.4                        | 644.1 | 644.6 |       |       |       | 638.7              | 665.0 |
| たばこI   | 620.3                        | 637.7 | 628.0 |       |       |       | 628.7              | 628.5 |
| たばこJ   | 632.8                        | 663.8 | 624.6 | 646.3 |       |       | 641.9              | 718.1 |
| たばこK   | 630.7                        | 628.1 | 632.2 | 648.2 | 651.3 | 656.5 | 641.2              | 786.3 |
| たばこL   | 608.7                        | 614.5 | 644.1 | 647.2 | 621.3 | 633.3 | 628.2              | 738.8 |
| たばこM   | 620.1                        | 629.2 | 621.3 | 621.3 | 621.3 | 623.4 | 622.8              | 671.8 |

注) 表中の空欄は、以降において燃焼が終了したことを示す。

外周温度(表 8)について、たばこの銘柄と各仕様(表 1)に示される条件との相関は認められないが、外周温度は、灰部で覆われている燃焼部の温度の影響が大きいと考えられる。

##### イ たばこ K、たばこ L、たばこ M の 3 銘柄の中心部温度及び周辺部温度

前報告で示された、たばこ K、たばこ L、たばこ M の 3 銘柄について、当時と同じ方法で、中心部温度及び周辺部温度を測定した結果は、表 9 のとおりである。

表 9 現行品のたばこ銘柄の温度測定

| たばこの銘柄 | 燃焼温度(℃)     |             |
|--------|-------------|-------------|
|        | 中心部         | 周辺部         |
| たばこ K  | 593.9~645.2 | 333.7~413.0 |
| たばこ L  | 571.9~623.3 | 370.8~452.2 |
| たばこ M  | 617.4~667.8 | 383.2~422.5 |

表 10 では、前報告のたばこ K、たばこ L、たばこ M の中心部温度、周辺部温度を示す。中心部の温度は表 9、表 10 のとおり、各銘柄とも温度範囲が重なる部分があるが、周辺部温度は本検証による測定値とほとんど一致せず、本検証で扱った現行品のたばこの方が高い温度を示す結果となった。このことは、測定に用いた熱電対の素線径が違うことが影響していると考えられる。

表 10 自然燃焼時の温度(前報告から)

| たばこの銘柄 | 燃焼温度(℃) |         |
|--------|---------|---------|
|        | 中心部     | 周辺部     |
| たばこ K  | 560~590 | 280~330 |
| たばこ L  | 550~570 | 300~310 |
| たばこ M  | 610~620 | 320~340 |

##### (5) 送風条件の空中保持燃焼時の燃焼速度と立ち消え率

たばこを空中に保持し、それぞれ 1m/s、2m/s、3m/s の風速を与え、自然燃焼させた時に各方向から送風した場合の燃焼速度の変化について測定した結果を表 11、13、15 に示す。また、前報告の結果との比較のために、垂直保持時の燃焼方向上向き、下向きの燃焼速度、立ち消え率の測定した結果を表 12、14、16 に示し、それぞれの条件で比較・検討した。

##### ア 風速 1m/s の時の燃焼速度と立ち消え率

風速 1m/s の時の燃焼速度については、表 11 に示すとおりである。無風条件の燃焼速度(表 6)と比較すると、向い風条件の時のものは 1.5~2.0 倍程度の数値となった。特に、たばこ A、たばこ F、たばこ H、たばこ I には顕著に表れている。追い風及び横風条件では、無風条件のものとはほとんど変わらなかった。また、たばこ K、たばこ L、たばこ M は、全体の中では、風向の条件に関わらず、最小値となった。

表 11 風速 1m/s 条件、各銘柄の燃焼速度(風速 1m/s では立ち消えたたばこはなし)

| たばこの銘柄 | 向い風燃焼速度の平均値(mm/s) | 追い風燃焼速度の平均値(mm/s) | 横風燃焼速度の平均値(mm/s) |
|--------|-------------------|-------------------|------------------|
| たばこA   | 0.11              | 0.15              | 0.11             |
| たばこB   | 0.09              | 0.13              | 0.08             |
| たばこC   | 0.09              | 0.15              | 0.09             |
| たばこD   | 0.08              | 0.13              | 0.09             |
| たばこE   | 0.09              | 0.14              | 0.09             |
| たばこF   | 0.11              | 0.18              | 0.10             |
| たばこG   | 0.10              | 0.14              | 0.08             |
| たばこH   | 0.13              | 0.17              | 0.12             |
| たばこI   | 0.13              | 0.21              | 0.11             |
| たばこJ   | 0.08              | 0.12              | 0.08             |
| たばこK   | 0.08              | 0.12              | 0.07             |
| たばこL   | 0.05              | 0.10              | 0.07             |
| たばこM   | 0.07              | 0.11              | 0.07             |

表 12 風速 1m/s 条件、垂直保持での燃焼速度と立ち消え率

| たばこの<br>銘柄 | 燃焼方向:下向き              |               |                 | 燃焼方向:上向き              |               |                 |
|------------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------|
|            | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) |
| たばこ K      | 0.09                  | 0/3           | 351             | 0.09                  | 0/3           | 342             |
| たばこ L      | 0.08                  | 1/3           | 427             | 0.07                  | 0/3           | 472             |
| たばこ M      | 0.08                  | 0/3           | 424             | 0.07                  | 0/3           | 536             |

注) 立ち消え率は「立ち消えた本数/試験本数」で示す。

表 12 に示すとおり、垂直保持にした時の風速 1m/s 条件での燃焼速度の平均値は、無風条件の時と同じ数値がえられているが、たばこ L のみ 3 本のうち 1 本が立ち消えた。

イ 風速 2m/s 条件の燃焼速度と立ち消え率

表 13 風速 2m/s 条件、各銘柄の燃焼速度と立ち消え率

| たばこの<br>銘柄 | 向い風<br>燃焼速度の<br>平均値<br>(mm/s) |               | 追い風<br>燃焼速度の<br>平均値<br>(mm/s) |               | 横風<br>燃焼速度の<br>平均値<br>(mm/s) |               |
|------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
|            | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s)         | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s)         | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s)        | 立ち<br>消え<br>率 |
| たばこ A      | 0.25                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 0.14                         | 1/3           |
| たばこ B      | 0.16                          | 0/3           | 0.08                          | 3/3           | 0.10                         | 1/3           |
| たばこ C      | 0.18                          | 0/3           | 立ち消え                          | 2/3           | 0.14                         | 1/3           |
| たばこ D      | 0.18                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 0.12                         | 1/3           |
| たばこ E      | 0.21                          | 0/3           | 0.11                          | 3/3           | 0.15                         | 2/3           |
| たばこ F      | 0.24                          | 0/3           | 立ち消え                          | 0/3           | 0.14                         | 0/3           |
| たばこ G      | 0.17                          | 0/3           | 0.13                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ H      | 0.24                          | 0/3           | 立ち消え                          | 0/3           | 0.16                         | 0/3           |
| たばこ I      | 0.25                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 0.15                         | 1/3           |
| たばこ J      | 0.15                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ K      | 0.13                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ L      | 0.12                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ M      | 0.12                          | 0/3           | 0.11                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |

注) 立ち消え率は「立ち消えた本数/試験本数」で示す。

表 13 に示すとおり、向い風では 1m/s (表 11) のものより、燃焼速度は速くなり、全てが全長燃焼した。追い風条件では、立ち消え率が増加し、たばこ C、たばこ F、たばこ H 以外では全て立ち消えた。

横風条件では、立ち消え率が発生しているが、全長燃焼したものは無風条件、1m/s 条件のものに比べ燃焼速度は大きい値となった。

また、たばこ K、たばこ L、たばこ M の 3 銘柄は、追い風及び横風条件では全て立ち消えた。これらのたばこは、表 14 に示すとおり、垂直保持にした時の風速 2m/s 条件での燃焼速度の計測は、全ての条件で 3 本とも立ち消えた。

表 14 風速 2m/s 条件、垂直保持での燃焼速度と立ち消え率

| たばこの<br>銘柄 | 燃焼方向:下向き              |               |                 | 燃焼方向:上向き              |               |                 |
|------------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------|
|            | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) |
| たばこ K      | 立ち消え                  | 3/3           | —               | 立ち消え                  | 3/3           | —               |
| たばこ L      | 立ち消え                  | 3/3           | —               | 立ち消え                  | 3/3           | —               |
| たばこ M      | 立ち消え                  | 3/3           | —               | 立ち消え                  | 3/3           | —               |

注) 立ち消え率は「立ち消えた本数/試験本数」で示す。

ウ 風速 3m/s 条件の燃焼速度と立ち消え率

表 15 に示すとおり、向い風条件の燃焼速度は、前(イ)風速 2m/s と同程度かやや速くなる傾向があるが、たばこ L では 3 本全て立ち消えた。

追い風ではたばこ D、たばこ F、たばこ H、たばこ I 以外は全て立ち消えた。

表 15 風速 3m/s 条件、各銘柄の燃焼速度と立ち消え率

| たばこの<br>銘柄 | 向い風<br>燃焼速度の<br>平均値<br>(mm/s) |               | 追い風<br>燃焼速度の<br>平均値<br>(mm/s) |               | 横風<br>燃焼速度の<br>平均値<br>(mm/s) |               |
|------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|------------------------------|---------------|
|            | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s)         | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s)         | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s)        | 立ち<br>消え<br>率 |
| たばこ A      | 0.23                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 0.14                         | 2/3           |
| たばこ B      | 0.26                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ C      | 0.20                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 0.12                         | 2/3           |
| たばこ D      | 0.21                          | 0/3           | 0.10                          | 2/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ E      | 0.22                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ F      | 0.26                          | 0/3           | 0.12                          | 2/3           | 0.14                         | 0/3           |
| たばこ G      | 0.15                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ H      | 0.29                          | 0/3           | 0.13                          | 0/3           | 0.16                         | 0/3           |
| たばこ I      | 0.24                          | 0/3           | 0.12                          | 1/3           | 0.16                         | 1/3           |
| たばこ J      | 0.19                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ K      | 0.13                          | 0/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ L      | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                          | 3/3           | 立ち消え                         | 3/3           |
| たばこ M      | 0.14                          | 0/3           | 0.07                          | 2/3           | 0.08                         | 2/3           |

注) 立ち消え率は「立ち消えた本数/試験本数」で示す。

横風条件では追い風条件より立ち消え率は少ないがほとんどの銘柄に立ち消えが認められるようになった。

なお、追い風、横風の条件下で全長燃焼したものは、無風の時の燃焼速度とほぼ同じか、やや速くなっている。

表 16 風速 3m/s 条件、垂直保持での燃焼速度と立ち消え率

| たばこの<br>銘柄 | 燃焼方向:下向き              |               |                 | 燃焼方向:上向き              |               |                 |
|------------|-----------------------|---------------|-----------------|-----------------------|---------------|-----------------|
|            | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) | 燃焼速度<br>平均値<br>(mm/s) | 立ち<br>消え<br>率 | 燃焼<br>時間<br>(s) |
| たばこ K      | 立ち消え                  | 3/3           | —               | 立ち消え                  | 3/3           | —               |
| たばこ L      | 立ち消え                  | 3/3           | —               | 立ち消え                  | 3/3           | —               |
| たばこ M      | 立ち消え                  | 3/3           | —               | 0.08                  | 2/3           | 728             |

注) 立ち消え率は「立ち消えた本数/試験本数」で示す。

たばこLは全てのケースで立ち消えし、たばこMは追い風及び横風条件で各1本が全長燃焼した。

表16に示すとおり、垂直保持にした時の風速3m/s条件での燃焼速度の計測は、たばこMの燃焼方向上向きのみ1本が全長燃焼した以外は、全て立ち消えした。

#### エ 風速条件別の燃焼速度の比較

自然燃焼時、各保持状況、風向・風速については、表6、表7、表11～16を考慮し、それぞれ無風、1m/s、2m/s、3m/sの条件を検討する。

向い風の場合、無風よりも風速があった方が燃焼速度が速く、無風に対し、1m/sの時は、燃焼速度は1.5～2.0倍程度となる。2m/s、3m/sとなると、より燃焼速度は速くなるが、増加率は低くなる。

追い風の場合、水平保持の燃焼速度は、いずれの風速条件でもほぼ同じ数値となる。しかし、2m/s以上では、立ち消え率が高くなる。

横風の場合、水平保持の燃焼速度は、1m/sいずれの風速条件でもほぼ同じ数値となる。2m/s以上では、立ち消え率が高くなるが、全長燃焼したものは、燃焼速度は速くなり、1.3～1.5倍程度になる。

全体を通して、立ち消えしなかった銘柄はたばこA、たばこF、たばこH、たばこIで、タール量が少ない、いわゆる軽いたばこであった。立ち消え率が高いのは、たばこK、たばこL、たばこMの3銘柄であった。

たばこK、たばこL、たばこMの送風条件、垂直保持での燃焼速度と立ち消え率においては、無風条件、風速1m/s水平保持、自然燃焼時の燃焼速度より若干速くなる傾向があり、無風、風速1m/sはどちらもほぼ同じ速度であった。燃焼方向上向きの方が燃焼速度が速いが、2m/s以上になると、ほとんどの場合、立ち消えしてしまった。

オ 前報告と現行品の同一銘柄の各風速条件等による燃焼時間の比較（たばこK、たばこL、たばこM）

前報告において、たばこK、たばこL、たばこMの3銘柄については、各風速条件、各保持方向での燃焼時間、立ち消え率が示されている。現行品と前報告の燃焼時間等の比較のため表17を引用し、表18には本検証による測定結果を示した。表18は、表11～16までの結果からまとめたものである。

このことから、たばこLは特徴的で、どの条件においても、立ち消え率が高かった。向い風の時は、燃焼時間は短くなり、風速が0～1m/sであるところの銘柄、条件でも全体的に、現行品は燃焼時間が短くなっている。

風速が遅い（1m/s以下）時は、前報告のものに比べ現行品は立ち消え率が低く、たばこの火持ちがいいといえる。全体的に風速2m/s以上になると、いずれも立ち消え率が高くなった。

#### 6 おわりに

本検証で、対象とした銘柄について検証した結果、以下のとおりまとめることができる。

- (1) 現行のたばこの総発熱量は、前報告のたばこと比較して減少している。また、総発熱量とタール、ニコチンの成分との関連は認められない。
- (2) 現行のたばこは、風速0～1m/sでは、立ち消えすることなく全長燃焼する。また、燃焼時間が前報告のたばこより短くなっている。
- (3) たばこの自然燃焼に対して、風速2m/s以上で立ち消え率が高くなる。
- (4) 風向が向い風（風向きと燃焼方向が同じ）の時は、燃焼速度が速くなり、現行のたばこは前報告のたばこと比較して、その傾向が特に顕著になる。
- (5) 無風条件の自然燃焼における質量減少率は、同じ条件であれば、全銘柄でほぼ同じ数値となる。

#### [参考文献]

- 1) 樫村ほか：「たばこの着火機構について」、消防科学研究所報第7号（1970）
- 2) 東京消防庁予防部調査課編：新火災調査教本第6巻（2002）
- 3) <http://www.jti.co.jp>（JT、HPから）

表17 たばこK、たばこL、たばこMの3銘柄の平均燃焼時間及び立ち消え率（前報告）

| 固定方向と風向             | 風速<br>m/s | たばこK      |       | たばこL      |       | たばこM      |       |
|---------------------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                     |           | 平均燃焼時間(s) | 立ち消え率 | 平均燃焼時間(s) | 立ち消え率 | 平均燃焼時間(s) | 立ち消え率 |
| 水平保持<br>向い風         | 0         | 917       | -     | 1028      | -     | 1008      | -     |
|                     | 1         | 597       | -     | 737       | -     | 737       | -     |
|                     | 2         | 582       | -     | -         | (3/3) | 657       | -     |
|                     | 3         | 750       | (2/3) | -         | (3/3) | 687       | -     |
| 水平保持<br>追い風         | 1         | 1117      | -     | 1155      | (1/3) | 903       | -     |
|                     | 2         | 967       | (1/3) | -         | (3/3) | 905       | -     |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |
| 水平保持<br>横風          | 1         | 973       | -     | -         | (3/3) | 875       | -     |
|                     | 2         | 870       | (2/3) | -         | (3/3) | 897       | -     |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | 870       | (2/3) |
| 垂直保持<br>燃焼方向<br>下向き | 0         | 990       | -     | 1150      | -     | 930       | -     |
|                     | 1         | 815       | -     | -         | (3/3) | 852       | -     |
|                     | 2         | 903       | (1/3) | -         | (3/3) | 843       | -     |
|                     | 3         | 1040      | (2/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |
| 垂直保持<br>燃焼方向<br>上向き | 0         | 840       | -     | 713       | -     | 742       | -     |
|                     | 1         | 868       | -     | 900       | -     | 843       | -     |
|                     | 2         | 825       | -     | 838       | -     | 803       | -     |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | 790       | (1/3) |

表18 たばこK、たばこL、たばこMの3銘柄の平均燃焼時間及び立ち消え率（本検証）

| 固定方向と風向             | 風速<br>m/s | たばこK      |       | たばこL      |       | たばこM      |       |
|---------------------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|                     |           | 平均燃焼時間(s) | 立ち消え率 | 平均燃焼時間(s) | 立ち消え率 | 平均燃焼時間(s) | 立ち消え率 |
| 水平保持<br>向い風         | 0         | 822       | -     | 971       | -     | 861       | -     |
|                     | 1         | 468       | -     | 601       | -     | 549       | -     |
|                     | 2         | 404       | -     | 535       | -     | 505       | -     |
|                     | 3         | 425       | -     | -         | (3/3) | 423       | -     |
| 水平保持<br>追い風         | 1         | 642       | -     | 1140      | -     | 796       | -     |
|                     | 2         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | 842       | (2/3) |
| 水平保持<br>横風          | 1         | 769       | -     | 951       | -     | 880       | -     |
|                     | 2         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | 737       | (2/3) |
| 垂直保持<br>燃焼方向<br>下向き | 0         | 631       | -     | 779       | -     | 750       | -     |
|                     | 1         | 596       | -     | 753       | (2/3) | 752       | -     |
|                     | 2         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | 728       | (2/3) |
| 垂直保持<br>燃焼方向<br>上向き | 0         | 472       | -     | 573       | -     | 560       | -     |
|                     | 1         | 571       | -     | 835       | -     | 865       | -     |
|                     | 2         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |
|                     | 3         | -         | (3/3) | -         | (3/3) | -         | (3/3) |