

令和6年度厚生労働行政推進調査事業費補助金
(循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業)
分担研究報告書

加熱式たばこ及び紙巻たばこ主流煙から発生するニコチン、一酸化炭素、たばこ特異的ニトロソアミンの分析と比較

分担研究者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院
分担研究者 牛山 明 国立保健医療科学院
研究協力者 内山 茂久 国立保健医療科学院

背景・目的：我が国では2014年の加熱式たばこ販売開始から10年が経過し、令和5年国民健康・栄養調査では男性喫煙者の38.4%、女性喫煙者の42.3%が使用している。たばこ産業は「有害化学物質90%削減、タール発生なし」と広告しているが、この主張の科学的妥当性は検証が必要である。本研究では国内販売されている加熱式たばこと紙巻たばこの主流煙成分を分析し、90%削減の真偽を検証した。

方法：加熱式たばこ68銘柄（IQOS ILUMA 20 銘柄、glo HYPER pro 24 銘柄、Ploom X ADVANCED 24 銘柄）と紙巻たばこ20銘柄を対象とした。自動喫煙装置を用いて Health Canada Intense 法により主流煙を捕集し、ニコチンはGC/FID法、一酸化炭素はNDIR法、たばこ特異的ニトロソアミン類(TSNAs)はLC/MS/MS法で分析した。加熱・燃焼温度も測定した。

結果及び考察：ニコチン量は加熱式たばこ0.41-2.36 mg/本（IQOS ILUMA 平均0.75 mg、glo HYPER pro 平均1.55 mg、Ploom X ADVANCED 平均1.02 mg）、紙巻たばこ平均1.75 mgで大幅な削減は認められなかった。これはニコチンが依存物質であり、製品満足度や売上に直結するため削減されていないと考えている。一酸化炭素は加熱式たばこ0.17-0.44 mg/本、紙巻たばこ平均24.1 mg/本で約100分の1に削減された。これは燃焼温度の違い（加熱式254-343°C vs 紙巻き750°C以上）による燃焼由来物質の明確な削減効果が確認された。TSNAs合算量は加熱式たばこ6.87-111 ng/本、紙巻たばこ平均240 ng/本であったが、一部の加熱式たばこでは紙巻たばこと差が認められない銘柄も存在した。これは、燃焼を伴わない加熱温度条件下であっても、たばこ葉に含まれるTSNAsが主流煙へと効率的に移行していることを示すものである。

結論：「有害化学物質90%削減」は比較対象や成分により大きく異なる。一酸化炭素は大幅削減されるが、ニコチンは紙巻たばこと同等レベルを維持し、TSNAsの削減率は0-90%と変動した。たばこ産業が比較に用いる標準たばこ3R4Fは市販品より有害物質含有量が多く、削減効果が過大評価されている可能性を否定できない。加熱式たばこは燃焼由来の有害物質は削減するが、たばこ葉由来の化学物質は254-343°Cの加熱温度でも主流煙に移行する。したがって加熱式たばこは紙巻きと比較して必ずしも安全とはいえ、喫煙者には科学的根拠に基づく正確な情報提供が必要である。

A. 研究目的

我が国は、2014年に加熱式たばこiQOS(現IQOS)が販売開始されてから10年が経過した。この加

熱式たばこを使用する喫煙者は増加してきており、令和5年国民健康・栄養調査の喫煙者のたばこ使用の割合は、男性喫煙者の38.4%、女性喫煙

者の42.3%と報告されている。特に20から30代喫煙者は、加熱式たばこの使用率が50%以上であった。このような急速な普及の背景には、加熱式たばこの主流煙に含まれるニコチン量が紙巻たばこと遜色ない水準にあり、喫煙者の満足度（吸い応え）を十分に満たしているという要因が考えられる。また、たばこ産業の広告では「有害化学物質は90%削減しておりタールは発生しない」とされている。この広告が事実であるのかは研究結果から確認する必要があると考えている。そこで本研究では、国内で販売されている加熱式たばこ68銘柄と紙巻たばこ20銘柄の主流煙ニコチン、一酸化炭素と発がん性物質であるたばこ特異的ニトロソアミン類の分析を行い、90%削減が事実であるのか？検証を行った。

B. 研究方法

1. 分析対象加熱式たばこ、紙巻たばこ

IQOS ILUMA (20銘柄)、glo HYPER pro (24銘柄)、Ploom X ADVANCED (24銘柄)とした。紙巻たばこは日本たばこ協会が発表している売上上位10銘柄の国産たばこ産業販売銘柄と海外たばこ産業売上上位10銘柄の計20銘柄とした。なお、試料は主流煙捕集前48時間から10日間、温度 $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60\pm 3\%$ で恒温・恒湿化を行った(1)。この各たばこ銘柄に対応する加熱装置をブランド毎に5台ずつ購入した。各主流煙の捕集は、1台あたり1サンプルとし、5台による捕集・分析結果を平均値とした。

2. たばこ主流煙の化学物質の分析

たばこ主流煙の捕集

たばこ主流煙の捕集方法は、自動喫煙装置(LM4E、Körber)を用いてHCl法を行った。次に紙巻たばこ主流煙の捕集はLX20 (Körber)を使用して行った。HCl法は、(一服につき2秒間で55 mL吸引、30秒毎に一服させ、通気孔は全封鎖状態)はHealth Canada Intense protocol

T-115 (2, 3)に準拠して行った。すべての喫煙法のIQOS 1本あたりの吸煙は12回とした。たばこは、ISO 3402 (1)に従って捕集前に恒温恒湿化を行い、たばこ主流煙中の総粒子状物質(total particle matter ; TPM)はCambridge filter pad (CFP、 $\phi 44\text{ mm}$ 、Borgwaldt KC GmbH)で捕集した。HCl法では1枚につき、たばこ3本分の主流煙を捕集し、1試料とした。たばこ銘柄ごとに5試料調製し、それぞれ測定に供した。

主流煙の分析

ニコチン、一酸化炭素の分析

捕集後のCFPは、2-プロパノール(20 mL)を添加し、室温で20 minの振とう抽出を行った。2-プロパノール抽出液中のニコチン濃度はISO 10315 (4)に準じて、ガスクロマトグラフ水素炎イオン化検出器(GC/FID)により分析を行った。COは、ISO8454 (5)に準じて、非分散型赤外線分析計(Non-dispersive infrared ; NDIR、IR200、横河電機製)を用いて分析した

TSNAs

4成分のTSNA (*N'*-nitrosonornicotine (NNN)、4-(Methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK)、*N'*-nitrosoanatabine (NAT)、*N'*-nitrosoanabasine (NAB))は、WHO TobLabNet SOP 3の分析を採用し(6,7)、CFPを振とう抽出後、得られた抽出液を固相抽出後にLC/MS/MSで分析した。

3. 加熱式たばこの加熱温度、紙巻たばこの燃焼温度の分析

加熱式たばこの加熱温度と紙巻たばこの燃焼温度は、Pico Log (Pico Technology社)を使用して行った。

C. 結果及び考察

1. ニコチン

加熱式たばこ主流煙ニコチン量の分析結果は

0.41 から 2.36 mg/本であった (Fig. 1)。また各ブランドのニコチン平均値は IQOS ILUMA が 0.75 ± 0.09 mg/本、含有量の範囲は 0.62 から 0.9 mg/本、glo HYPER pro は 1.55 ± 0.36 mg/本、含有量の範囲は 0.79 から 2.36 mg/本となり、Ploom X ADVANCED は 1.02 ± 0.42 mg/本、含有量の範囲は 0.41 から 1.92 mg/本であった。これに対し、紙巻たばこのニコチン平均値は 1.75 ± 0.58 mg/本であり含有量の範囲は 0.96 から 2.96 mg/本であった。主流煙ニコチン量の平均値で加熱式たばこと紙巻たばこを比較すると glo HYPER pro の平均値 1.55 mg/本と紙巻たばこの平均値は 1.75 mg/本と 0.2 mg の違いであった。IQOS、Ploom は 0.75 と 1.02 mg/本となり、紙巻たばこよりも低い値であった。これは、ニコチン量がたばこ産業の広告に示している 90%削減とはならなかった。それは、ニコチンが削減対象の成分ではないと考えられるためである。ニコチンは喫煙者のたばこの依存物質として理解されている。この主流煙ニコチンを削減することは、たばこ製品の売上、使用率に影響するために削減ができないと考察している。また、たばこ葉のニコチンは、 150°C の加熱温度であれば主流煙に移行するため、ニコチン量を削減するためには加熱温度を 150°C 以下にする必要がある。これまでに加熱温度 150°C 以下の加熱式たばこは Ploom TECH であるが販売中止となっている。

2. 一酸化炭素 (Carbon monoxide; CO)

加熱式たばこ主流煙 CO 量の分析結果は 0.17 から 0.44 mg/本であった (Fig. 1)。また各ブランドの CO 平均値は IQOS ILUMA が 0.36 ± 0.06 mg/本、含有量の範囲は 0.26 から 0.44 mg/本、glo HYPER pro は 0.36 ± 0.05 mg/本、含有量の範囲は 0.17 から 0.43 mg/本となり、Ploom X ADVANCED は 0.19 ± 0.02 mg/本、含有量の範囲は 0.17 から 0.22 mg/本であった。これに対し、紙巻たばこの CO 平均値は 24.1 ± 4.79 mg/本であり含有量の範囲は 12.1 から 31.1 mg/本であった。主流煙 CO 量の平均値で

加熱式たばこと紙巻たばこを比較すると、加熱式たばこの平均値が 0.19-0.36 mg/本と紙巻たばこの平均値は 24.1 mg/本と 100 倍ほどの違いであった。この結果からも分かるように燃焼で発生する CO は加熱式たばこが大きく削減されていた。

3. たばこ特異的ニトロソアミン類 (TSNAs)

主流煙中 TSNAs 量を Fig.3 に示した。4 種類の TSNAs 合算量は 6.87 から 111 ng/本であった。また各ブランドの TSNAs 平均値は IQOS ILUMA が 12.8 ± 3.27 ng/本、含有量の範囲は 6.87 から 21.2 mg/本、glo HYPER pro は 61.8 ± 29.3 ng/本、含有量の範囲は 25.7 から 111 ng/本となり、Ploom X ADVANCED は 22.1 ± 11.3 ng/本、含有量の範囲は 7.2 から 43.8 ng/本であった。これに対し、紙巻たばこの TSNAs 平均値は 240 ± 122 ng/本であり含有量の範囲は 100 から 540 ng/本であった。発がん性物質の NNN、NNK を含む TSNAs の削減は比較するたばこ製品によって 0%にも 90%にもなることが示された。これまでたばこ産業の広告などでは、加熱式たばこを標準たばこ 3R4F という分析法の標準化をするためのたばこで比較していた。標準たばこは比較的有害化学物質の含有量が多く、加熱式たばこと比較すると 90%削減されているようになっていた。しかし、日本人喫煙者が使用する紙巻たばこ製品群と比較すると削減量は異なることが今回の研究では確認された。

4. 熱分析結果

加熱式たばこ IQOS ILUMA、glo HYPER Pro、Ploom X ADVANCED の 3 製品と紙巻たばこの熱分析を行った結果を示す (Table 1, 2)。IQOS ILUMA の最高加熱温度の平均値は $343 \pm 17.0^{\circ}\text{C}$ 、glo HYPER Pro が $266 \pm 2.63^{\circ}\text{C}$ 、Ploom X ADVANCED が $254 \pm 0.70^{\circ}\text{C}$ であった。一方で紙巻たばこの燃焼温度は $759 \pm 77.1^{\circ}\text{C}$ 以上であり、燃焼によって発生する有害化学物質が発生することが想定され、一酸化炭素含有量も加熱式たばこより高いことが確認された。一方で、加熱式たばこの加熱温度でも

紙巻たばこと同等レベルのニコチン量が担保されることがわかった。そして TSNAs 量は全般的に紙巻たばこが加熱式たばこよりも高い傾向ではあったが、一部の加熱式たばこと紙巻たばこを比較すると含有量に差が認められなかった。この結果からたばこ葉に含有される TSNAs も加熱式たばこの加熱温度で主流煙に移行する事が確認された。

D. 結論

本研究では、国内で販売されている加熱式たばこ 68 銘柄と紙巻たばこ 20 銘柄について、主流煙中のニコチン、一酸化炭素、およびたばこ特異的ニトロソアミン類 (TSNAs) の分析を実施し、たばこ産業の広告で謳われている「有害化学物質 90%削減」の妥当性を検証した。

1. ニコチン含有量について

加熱式たばこの主流煙ニコチン量は 0.41-2.36 mg/本の範囲にあり、紙巻たばこ (0.96-2.96 mg/本) と比較して大幅な削減は認められなかった。特に glo HYPER Pro の平均値 (1.55 mg/本) は紙巻たばこの平均値 (1.75 mg/本) とわずか 0.2 mg の差にとどまった。これは、ニコチンが喫煙者の依存性に関わる重要な成分であり、製品の満足度や売上に直結するため、意図的に削減されていないことを示唆している。

2. 一酸化炭素の削減効果

一酸化炭素については、加熱式たばこ (0.17-0.44 mg/本) が紙巻たばこ (12.1-31.1 mg/本) と比較して約 100 分の 1 に大幅削減されていることが確認された。これは燃焼温度の違い (加熱式: 254-343°C vs 紙巻き: 750°C 以上) に起因する明確な効果であると考えられる。

3. 発がん性物質 (TSNAs) の実態

TSNAs 合算量において、加熱式たばこは 6.87-111 ng/本、紙巻たばこは 100-540 ng/本の範囲を示した。しかし、削減率は比較対象によって 0% から 90% まで大きく変動することが明らかになった。たばこ産業が比較に用いる標準たばこ 3R4F は相対的

に有害化学物質含有量が多く、実際の市販製品との比較では削減効果が過大評価されている可能性が示唆された。

まとめ

本研究の結果、たばこ産業の広告で謳われている「有害化学物質 90%削減」は、比較対象となる製品や成分によって大きく異なることが判明した。一酸化炭素については確実な削減効果が認められるものの、ニコチンの含有量は紙巻たばこと同等であり、発がん性物質である TSNAs についても削減効果は限定的である。

加熱式たばこは燃焼を伴わないため、燃焼由来の有害物質については削減効果があるが、たばこ葉由来の有害化学物質は加熱温度 (254-343°C) でも主流煙に移行することが確認された。従って、加熱式たばこは紙巻たばこと比較して必ずしも安全とはいえず、消費者に対してより正確で科学的根拠に基づいた情報提供が必要である。

今後は、実際の使用実態を反映した長期的な健康影響評価や、より幅広い有害化学物質についての包括的な分析が求められる。また、たばこ産業による広告表現について消費者が正しい判断を行うための客観的な情報提供体制の構築が重要である。

E 参考文献

- (1) ISO 3402. Tobacco and tobacco products -- Atmosphere for conditioning and testing. 1999.
- (2) Health Canada Test Method T-115. Determination of the tar, water, nicotine and carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. 1999.
- (3) WHO. Standard operating procedure for intense smoking of cigarettes: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 01).
- (4) ISO 10315. International Organization for Standardization. Determination of nicotine in smoke condensates-gas chromatographic method, second ed. 2000.

- (5) ISO 8454. Cigarettes -- Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke -- NDIR method. 2007.
- (6) WHO. Standard operating procedure for determination of tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke under ISO and intense smoking conditions: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 03). Geneva, World Health Organization, 2014
- (7) 杉山晃一、稲葉洋平、大久保忠利、内山茂久、高木敬彦、櫻田尚樹. 国産たばこ主流煙中たばこ特異的ニトロソアミン類の異なる捕集法を用いた測定. 日本衛生学雑誌 2012;67: 423-430.

F. 研究発表

1. 論文発表

稲葉洋平. 「新しいタバコに関する知識とエビデンス」加熱式タバコの有害化学物質と健康への影響. 調剤と情報 2024;30:1588-1594.

2. 学会発表

1. 内山茂久, 稲葉洋平, 磯部友彦, 中山祥嗣. rans-1,2-ビス(2-ピリジル)エチレンと 2,4-ジニトロフェニルヒドラジンを用いる空気中二酸化窒素, オゾン, カルボニル化合物の同時分析. 第3回環境化学物質合同大会、広島、2024.7.3-5 ; 同 Web 抄録集.
2. 齋藤みのり, 内山茂久, 稲葉洋平, 小倉裕直, 牛山明, 林基哉. 夏期と冬期における室内空气中ガス状化学物質の動態. 第3回環境化学物質合同大会、広島、2024.7.3-5 ; 同 Web 抄録集.
3. 稲葉洋平, 磯部秀太, 飯島健太郎, 楠瀬翔一, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 加熱式たばこ IQOS 互換機から発生する主流煙芳香族アミン類の分析. 日本分析化学会第73年会、名古屋、

2024.9.11-13 ; 同講演要旨集 P3121.

4. 内山茂久, 稲葉洋平, 牛山明. 電子タバコから発生する熱分解物質 (アルデヒド類) の発生メカニズム. 第83回日本公衆衛生学会総会、札幌、2024.10.29-31 ; 同講演抄録集 p608.

5. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 加熱式たばこ主流煙に含まれるアクリルアミドの実態調査. 第61回全国衛生科学技術協議会年会、大阪、2024.11.21-22 ; 同講演集 p194-195.

6. 内山茂久, 高口倅暉, 江口哲史, 稲葉洋平, 磯部友彦, 中山祥嗣. BPE/DNPH 含侵シリカゲルを用いる空気中二酸化窒素, オゾン, カルボニル化合物の同時分析. 2024年室内環境学会学術大会. 札幌、2024.11.30-12.1 ; 同講演要旨集 p115-116.

7. 齋藤みのり, 内山茂久, 稲葉洋平, 金勲, 小倉裕直, 牛山明, 林基哉. 拡散サンプラーによる仮設住宅と一般住宅におけるガス状化学物質のモニタリング. 2024年室内環境学会学術大会. 札幌、2024.11.30-12.1 ; 同講演要旨集 p121-122.

8. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 紙巻たばこ・加熱式たばこ主流煙に含まれるアクリルアミドの分析と比較. 2024年室内環境学会学術大会. 札幌、2024.11.30-12.1 ; 同講演要旨集 p243-244.

9. 稲葉洋平. 「シンポジウム8 メディカルスタッフが知っておきたい禁煙支援と加熱式タバコや電子タバコの有害性」日本の加熱式タバコと電子タバコの有害成分と喫煙者への曝露成分の実態調査. 第54回日本口腔インプラント学会学術大会、京都、2024.11.1-3. Web 講演集.

10. 稲葉洋平. 「セッション1 加熱式たばこは生活習慣病のリスクを上げるか?」「加熱式タバコそ

のものの有害性（成分分析と曝露評価）」第6回
禁煙推進学術ネットワーク学術会議、東京、
2024.11.16；同抄録集 p6.

11. 稲葉洋平、戸次加奈江、楠瀬翔一、内山茂久、
牛山明. 加熱式たばこ主流煙の分析—有害化学物
質 90% 削減は本当なのか？— 第 95 回日本衛
生学会学術総会、埼玉、2025.3.19-21;同講演要旨
集.S213.

12. 稲葉洋平. シンポジウム「販売開始から 10 年
経過した加熱式たばこの実態から禁煙支援を考
える」 加熱式たばこは本当に有害性が低減され
ているのか？ 第 34 回日本禁煙推進医師歯科医
師連盟学術総会、埼玉、2025.3.1-2;同講演抄録集.
P14.

13. 稲葉洋平、内山茂久、戸次加奈江、楠瀬翔一、
牛山明. 国内販売の加熱式たばこ 50 銘柄の主流
煙成分の比較による加熱式たばこの評価 日本
薬学会第 145 年会、福岡、2025.3.26-29;同講演要
旨集. P2258.

14. 多良春希、吉田さくら、安孫子ユミ、戸次加奈
江、稲葉洋平、鳥羽陽. 加熱式たばこ製品の主流
煙に含まれるハイドロキノロン類とベンゾキノ
ロン類の濃度比較. 日本薬学会第 145 年会、福岡、
2025.3.26-29;同講演要旨集. P4283.

G. 知的財産権の出願・登録状況
特になし

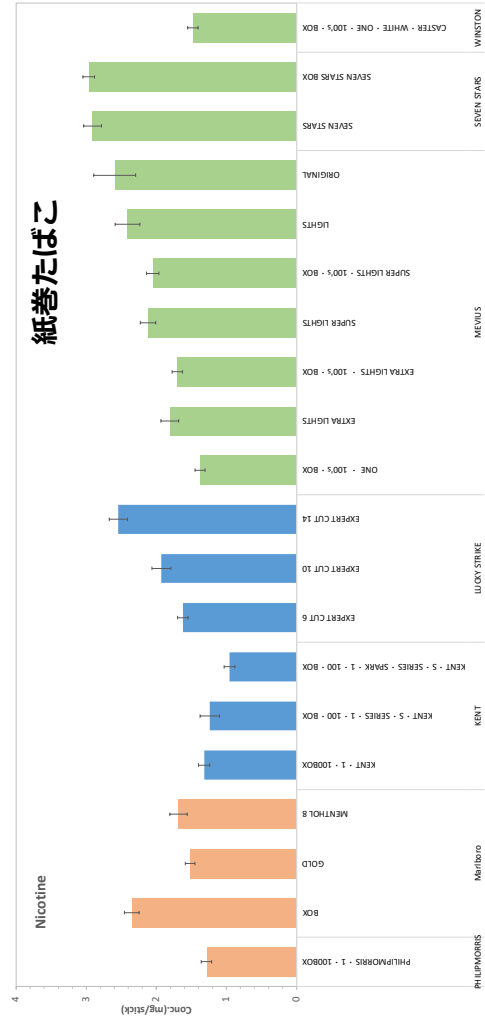
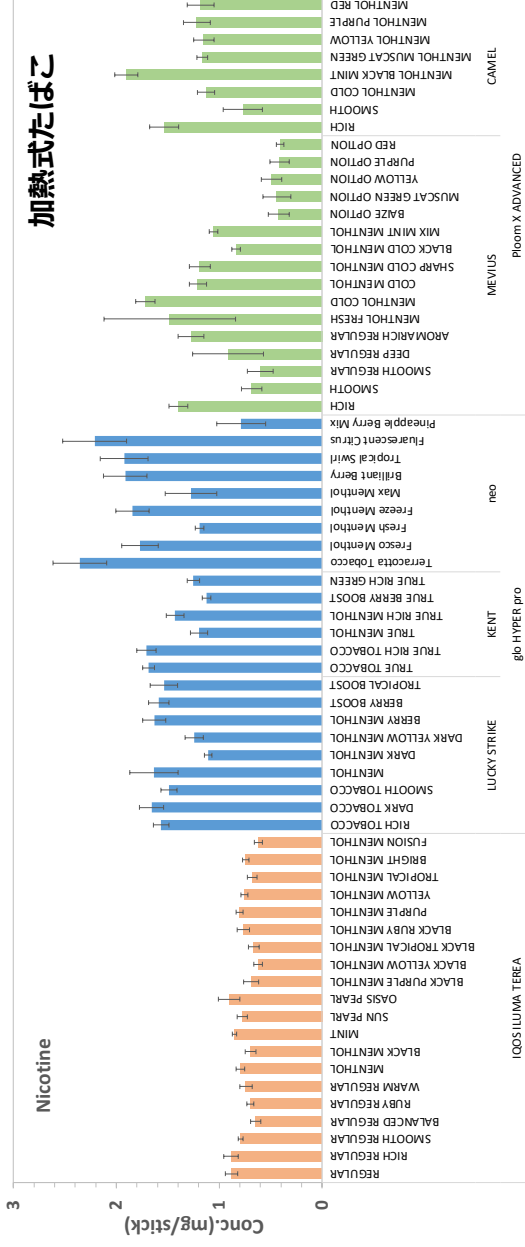


Fig. 1 加熱式たばこと紙巻たばこ主流煙ニコチン分析結果

Table 1 加熱式たばこの喫煙時における加熱装置内部の最高加熱温度

装置Lot	最高温度(°C)		
	IQOS ILUMA 記載なし	glo HYPER pro (BOOSTモード) 260~280°C	Ploom X ADVANCED 320°C
1	366	268	254
2	327	265	255
3	325	270	254
4	347	266	253
5	349	263	253
Ave.	343	266	254
SD	17.0	2.53	0.70

Table 2 紙巻たばこの喫煙時における燃焼部の最高温度

たばこ銘柄	最高燃焼温度 (°C)
3R4F	861
MEVIUS ONE	754
MEVIUS BLACK MENTHOL	604
LUCKY STRIKE	744
ラッキーストライク エキスパートカット 6	715
Marlboro KS BOX	801
PHILIPMORRIS・1・100・BOX	883
KENT・1・100・BOX	775
KENT・S-SERIES・1・100・BOX	759
Mean	759
SD	77.1