

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 IQOS ILUMA 互換機の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 緒方 裕光 女子栄養大学
研究協力者 内山 茂久 国立保健医療科学院

背景と目的：加熱式たばこ IQOS の普及に伴い、IQOS 専用スティックを使用可能な互換機が低価格や連続喫煙の利便性を謳って市場投入されている。しかし、これらの非正規加熱装置の安全性については十分な検証が行われていない。本研究は、IQOS ILUMA 純正機器と複数の互換機を比較し、主流煙の化学成分を定量分析することで、IQOS 互換機使用に伴う潜在的健康リスクを科学的に評価することを目的とした。

方法：IQOS ILUMA (純正品) と市販の IQOS ILUMA 互換機 8 製品を分析対象とした。各互換機 5 台ずつを用いて自動喫煙装置により HCI 法に準拠した主流煙捕集を実施し、WHO TobLabNet SOP に基づいてタール、ニコチン、一酸化炭素、たばこ特異的ニトロソアミン 4 成分を分析した。また、極細 K 熱電対を用いて各機器の加熱温度を測定した。

結果と考察：純正品のニコチン量 0.88 ± 0.06 mg/本に対し、互換機では $0.56 \sim 1.68$ mg/本と大きな幅を示した。互換機 G は 350°C でニコチン量 0.56 mg/本、互換機 I は 280°C と低温にも関わらず 1.68 mg/本を示し、温度とニコチン発生量の関係が単純でないことが判明した。タール量は純正品 10.2 ± 1.23 mg/本に対し互換機 $6.84 \sim 16.8$ mg/本で、フィルター観察により一部互換機で燃焼由来のタール状物質発生が示唆された。燃焼指標の一酸化炭素は純正品 0.43 ± 0.01 mg/本に対し互換機 $1.15 \sim 10.3$ mg/本を示した。特に互換機 I では 10.3 mg/本と純正品の約 24 倍に達し、 $473 \pm 82.0^{\circ}\text{C}$ という高温加熱が燃焼由来化学物質の大量発生原因と考えられた。たばこ特異的ニトロソアミン類は純正品 12.8 ± 0.77 ng/本に対し互換機 $13.3 \sim 36.8$ ng/本であった。TSNAs はたばこ葉含有物質の移行と考えられるため、燃焼由来 CO と異なり温度による増加は約 3 倍程度に留まった。

結論：IQOS ILUMA 互換機は純正品と比較して有害化学物質発生量に大きなばらつきがあり、特に高温加熱により燃焼由来有害物質が発生する可能性が示された。そしてこの結果は、加熱式たばこであっても紙巻たばこと同等に燃焼由来の有害化学物質の発生が生じるため、健康リスクは紙巻たばこと同様に考える必要がある互換機も存在していた。また、同一製品でも分析値変動が大きく、互換機の品質にばらつきが認められた。現在、日本の法律では加熱式たばこの製品結果に規制などはないため喫煙者は加熱式たばこ互換機を使用するためには有害化学物質の発生量に留意する必要がある。

A. 研究目的

加熱式たばこ (Heated Tobacco Products: HTPs) は、2014 年に日本で販売開始された IQOS をはじめと

する新しいタイプのたばこ製品である。特に、フィリップモリス社が開発した IQOS は我が国の加熱式たばこ市場において最も高いシェアを占め

ており、国内の多くの喫煙者に利用されている。IQOS の普及に伴い、IQOS 専用のたばこスティックを使用可能な「IQOS 互換機」が複数のメーカーから販売されるようになった。これらの互換機は、低価格、連続喫煙の利便性、さらには IQOS 純正品で使用済みのスティックによる二次喫煙可能性などを宣伝文句として市場に投入されている。

しかしながら、これらの IQOS 互換機は非正規の加熱装置であり、その加熱温度や発生する煙成分の安全性および一貫性については十分な検証結果が報告されていない。そこで本研究では、IQOS 純正機器と複数の互換機を比較し、実際に生成される主流煙の化学成分（タール、ニコチン、一酸化炭素、たばこ特異的ニトロソアミン 4 成分）を定量分析した。さらに、各機器の加熱温度についても測定を行い、IQOS 純正品との比較検討を実施した。本研究の最終目的は、IQOS 互換機使用に伴う潜在的な健康リスクを科学的に評価することにある。

B. 研究方法

1. 分析対象 IQOS 互換機

使用した加熱式たばこ装置と IQOS スティック
本研究では、IQOS ILUMA（純正品）と市販の IQOS 互換機 8 製品を分析対象とした。たばこスティックとしては、TEREA Regular を使用した。IQOS スティックは、主流煙捕集前に 48 時間から 10 日間、温度 $22 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 3\%$ の条件下で恒温・恒湿化処理を行った (1)。各互換機はブランドごとに 5 台ずつ購入し、1 台あたり 1 サンプルとして測定を行い、5 台の捕集・分析結果から平均値を算出した。

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は、自動喫煙装置 (LM5E, Körber AG.) を用いて HCI 法 (Health Canada Intense protocol T-115) に準

拠して実施した。HCI 法の条件は、一服につき 2 秒間で 55 mL 吸引、30 秒毎に一服、通気孔は全封鎖状態で行った。本実験では、加熱式たばこスティック 1 本あたりの吸煙回数を 12 回に統一するため、パフ間隔を調整して実施した。加熱式たばこ主流煙中の総粒子状物質 (total particle matter; TPM) は Cambridge filter pad (CFP, ϕ 44 mm, Borgwaldt KC GmbH) で捕集した。HCI 法では 1 枚のフィルターにつき、たばこ 3 本分の主流煙を捕集し、1 試料とした。各 IQOS 互換機製品について 5 試料を調製し、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

主流煙中のタール、ニコチン、一酸化炭素の分析は、WHO たばこ研究室ネットワーク標準作業手順書 10 (WHO TobLabNet SOP10) に基づいて行った (4)。具体的には、捕集後の CFP に 2-プロパノール (20 mL) を添加し、室温で 20 分間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 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) により分析した (4, 5)。タールとは主流煙から捕集された粗タール凝縮物 (全粒子成分) から、水分量とニコチン量を除去した「粒子成分」を指す。一酸化炭素 (CO) は、ISO 8454 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 (4,6)。

TSNAs の分析

たばこ特異的ニトロソアミン (TSNAs) 4 成分 (N'-nitrosornicotine (NNN)、4-(Methylnitrosamino)-1-(3-pyridyl)-1-butanone (NNK)、N'-nitrosoanatabine (NAT)、N'-nitrosoanabasine (NAB)) の分析は、WHO TobLabNet SOP 3 の手法を採用した (7, 8)。捕集後の CFP を振とう抽出し、得られた抽出液を固

相抽出処理した後、LC/MS/MSにより分析を行った。

3.加熱式たばこの加熱温度測定

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。使用した極細 K 熱電対は、シース部がステンレス (SUS316) となっており、たばこスティック側面からスティック内部に設置した後、測定を行った。

C. 結果及び考察

1.ニコチン、タール

IQOS ILUMA 主流煙ニコチン量の分析結果は 0.88 ± 0.06 mg/本であった。一方で各 IQOS ILUMA 互換機ブランドのニコチン含有量の範囲は 0.56 から 1.68 mg/本であった。0.56 mg/本のニコチン量の互換機 G は販売時の加熱温度は 350°C であった。これに対し、互換機 I の加熱温度は 280°C と記載されており、G よりも低い加熱温度であるものの 1.68 mg/本と高いニコチン量であった (Table 1)。

次にタールの分析結果は IQOS ILUMA が 10.2 ± 1.23 mg/本に対して、IQOS ILUMA 互換機ブランドのタール含有量の範囲は 6.84 から 1.68 mg/本であった。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 19.5 mg/本であった。タールの分析結果を比較すると IQOS ILUMA と互換機の最大値の値は 3 倍である。しかし、この結果を捕集した主流煙のフィルター写真で比較すると明らかに IQOS ILUMA 互換機のフィルターに多くのタールが捕集されている様に観察できる (Fig. 1)。一部の互換機では、多くの燃焼由来のタール状物質が発生している可能性がある。

2.一酸化炭素 (Carbon monoxide; CO)

燃焼由来のタール状物質の発生を示す指標の化学物質として一酸化炭素 (CO) が考えられる。そこで、CO の結果を比較したところ、IQOS ILUMA

が 0.43 ± 0.01 mg/本に対して、IQOS ILUMA 互換機ブランドのタール含有量の範囲は 1.15 から 10.3 mg/本であり、互換機 A、B、C、D、E、G、H の 7 ブランドは定量下限値以下であった。最も高い CO 濃度は互換機 I で、写真で示した燃焼由来のタールの発生が考えられた互換機と一致していた (Table 1)。

3.たばこ特異的ニトロソアミン類 (TSNAs)

4 種類の TSNAs 合算量は 12.8 ± 0.77 ng/本であった。一方で各 IQOS ILUMA 互換機ブランドの TSNAs 含有量の範囲は 13.3 から 36.8 ng/本であった (Table 1)。主流煙 TSNAs は、たばこ葉に含有される TSNAs が主流煙に移行すると考えられている。そのため、燃焼によって発生する CO とは異なり、主流煙ニコチンと同様に温度による発生量の増加も大きくは上昇せず 3 倍程度に止まっていると考えられる。今後、燃焼によって発生する多環芳香族炭化水素類、芳香族アミン類など発がん性物質を含む成分の調査が必要であると考えられた。

4.熱分析結果

次に今回分析対象とした IQOS ILUMA 互換機の温度分析の結果を示す (Table 2)。IQOS ILUMA の最大加熱温度は $343 \pm 16.9^{\circ}\text{C}$ であった。IQOS ILUMA 互換機の最大加熱温度は、215 から 473°C であった。最も高い温度は互換機 I の $473 \pm 82.0^{\circ}\text{C}$ となった。今回の加熱温度の結果から互換機 I は加熱温度が IQOS ILUMA 純正品よりも 100°C 以上高いために、燃焼由来の化学物質である CO の発生量が高いことが確認された。

5.互換機分析結果の総合評価

IQOS 互換機と IQOS ILUMA 純正品と比較したところ分析結果が低い製品、高い製品が確認された。すべての互換機の販売サイトおよび説明書には、実際に IQOS ILUMA スティックを喫煙させて各種有害化学物質の分析を行なった報告は確認

されなかった。次に、分析結果が高い互換機 I においても加熱装置を 5 台購入して主流煙の捕集を行ったところ、分析値が変動するためばらつきの大きい製品であることも確認された。

我が国の法律では加熱式たばこ装置（デバイス）から発生する有害化学物質の分析・報告義務が販売者側に課せられていない。そのため、今回のような高い有害性が疑われる分析結果が得られたとしても、販売者による継続的な健康影響評価が行われないまま流通し得るのが現状である。

以上のことから、加熱式たばこ加熱装置の使用にあたっては、製品によっては紙巻たばここと同等の有害化学物質に曝露されるリスクがあることを踏まえ、利用者はその安全性について十分に留意する必要がある。

D. 結論

本研究では、IQOS 純正品と 8 つの互換機を比較分析した結果、互換機は純正品と比べて有害化学物質の発生量にばらつきがあることが確認された。特に互換機 I は加熱温度が 473℃と純正品より 100℃以上高く、一酸化炭素量が 10.3 mg/本と純正品の約 24 倍に達した。ニコチン量は 0.56～1.68mg/本、タール量は 6.84～16.8mg/本と製品間で大きく異なり、たばこ特異的ニトロソアミン類も純正品の約 3 倍まで検出された。今回、分析対象とした互換機は同一製品でも分析値のばらつきが大きく、IQOS スティックを使用しても燃焼由来の有害化学物質が発生する可能性が示された。現在の我が国の法律では互換機の有害化学物質分析報告義務がないため、継続使用による健康影響評価が困難である。一方で加熱式たばこ互換機使用者は、紙巻たばここと同等の有害化学物質量が曝露される可能性に留意する必要がある。

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) WHO. Standard operating procedure for determination of nicotine and carbon monoxide in mainstream cigarette smoke under intense smoking conditions(Standard operating procedure 10).
- (5) ISO 10315. International Organization for Standardization. Determination of nicotine in smoke condensates-gas chromatographic method, second ed. 2000.
- (6) ISO 8454. Cigarettes -- Determination of carbon monoxide in the vapour phase of cigarette smoke -- NDIR method. 2007.
- (7) 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.
- (8) 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, p. 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气中二酸化窒素, 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气中二酸化窒素, 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ヒドロキノン類とベンゾキノン類の濃度比較. 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

