

令和元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

加熱式たばこの副流煙の捕集・分析法に関する検討

研究分担者 稲葉 洋平 国立保健医療科学院  
研究分担者 戸次 加奈江 国立保健医療科学院  
研究分担者 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

研究要旨

2020年4月1日から施行された健康増進法の一部を改正する法律（改正健康増進法）は、「望まない受動喫煙をなくす」、「受動喫煙による健康影響が大きい子ども、患者等に特に配慮」するために、施設の類型・場所ごとに対策を実施することで対応している。この法律において飲食店等は第二種施設に指定され原則屋内禁煙ではあるものの、いくつかの経過措置が取られている。その1つとして「加熱式たばこ」は、専用喫煙室で飲食可能であることが認められている。この対応は、加熱式たばこの受動喫煙による影響が、まだ解明されていない点が多い。そのため、加熱式たばこによる受動喫煙の健康影響を評価する必要がある。そこで、本研究では、まだ確立されていない加熱式たばこ副流煙の捕集法を検討し、副流煙のニコチン分析を行うことを目的とした。

加熱式たばこの副流煙捕集は、喫煙装置と捕集ポンプを組み合わせ実施した。副流煙捕集箇所は、紙巻たばこ用喫煙装置と同様にフィッシュテール、Cambridge filter pad (CFP)、XAD4カートリッジ、インピンジャーの4箇所で行った。粒子成分は、フィッシュテールとCFPで捕集し、ガス成分はXAD4カートリッジとインピンジャーで捕集した。IQOSの副流煙ニコチン量は26.7-29.6  $\mu\text{g}/\text{stick}$  となり、glo proは2.79-2.99  $\mu\text{g}/\text{stick}$  であった。いずれの加熱式たばこも紙巻たばこと比較すると低値であった。また、加熱式たばこのニコチンも紙巻たばこと同様に粒子成分に90%以上が捕集されることが確認された。この分析結果は、先行研究においてIQOSの副流煙ニコチン量は0.09  $\mu\text{g}/\text{stick}$  以下とした報告よりも高値であることから、捕集方法の効率によって影響されることが分かった。今後は、この捕集法を応用し、他の有害化学物質の分析を進めていく計画である。

A. 研究目的

2020年4月1日から施行された健康増進法の一部を改正する法律（改正健康増進法）は、「望まない受動喫煙をなくす」、「受動喫煙による健康影響が大きい子ども、患者等に特に配慮」するために、施設の類型・場所ごとに対策を実施すること

で対応している。この法律において飲食店等は第二種施設に指定され原則屋内禁煙ではあるものの、いくつかの経過措置が取られている(1, 2)。その1つとして「加熱式たばこ」は、喫煙室で飲食可能であることが認められている。これは加熱式たばこから発生した煙が他人の健康を損なう

おそれがあることが明らかでないたばことして厚生労働大臣が指定しているためである (1, 2)。

加熱式たばこは、加工されたたばこ葉を携帯型の装置で加熱することによって発生する煙 (エアロゾル) を吸引するたばこ製品である。特に 2014 年に販売開始された iQOS(現在は IQOS)は、広く喫煙者に普及した。平成 30 年度の国民健康・栄養調査によると加熱式たばこの使用者の比率は喫煙者の 30.6%まで拡大し、加熱式たばこ市場の成長が確認されている (3)。改正健康増進法で経過措置となった加熱式たばこの受動喫煙による健康影響評価は、これから数年のたばこ対策における課題である。その加熱式たばこの受動喫煙評価のアプローチとして 4 つのステップが考えられる。

1. 加熱式たばこから発生する副流煙成分の分析 (発生成分の実態把握)
2. 加熱式たばこ専用室の空気分析 (副流煙、呼出煙、換気の複合効果の関係性の調査)
3. 加熱式たばこ受動喫煙者の生体試料分析 (たばこ成分の曝露成分、健康影響評価マーカーの分析)
4. 1-3 の結果を踏まえつつ、家庭、喫煙室の環境のあり方を提言

そこで本研究では、昨年度作製した加熱式たばこ専用の副流煙捕集用のガラス器具を使用し、副流煙を捕集・ニコチンの分析を目的とした。

## B. 研究方法

### 1. 使用たばこ銘柄と分析対象加熱式たばこ加熱措置

IQOS レギュラー、glo リッチタバコの 2 銘柄を「対象とした。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。

加熱装置は、IQOS3.0 と glo pro を使用した。

### 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, Borgwaldt KC GmbH) を用いて HCI 法を行った。HCI 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 (4, 5) に準拠して行った。すべての喫煙法の IQOS および glo スティック 1 本あたりの吸煙は 12 回とした。たばこは、ISO 3402 (6) 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,  $\phi 44$  mm, Borgwaldt KC GmbH) で捕集した。HCI 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。副流煙の捕集は、LM4E で主流煙を捕集時に、加熱式たばこから発生する副流煙の捕集を 3L/min の流速で行った。なお捕集は、フィッシュテール、CFP、XAD4 カートリッジ、インピンジャーの 4 箇所で行った。粒子成分は、フィッシュテールと CFP で捕集し、ガス成分は XAD4 カートリッジとインピンジャーで捕集した。それぞれの捕集箇所毎にニコチン分析を実施した。比較対象として、紙巻たばこの副流煙も紙巻たばこ専用の捕集装置で実施した。

### 主流煙の分析

ニコチンの分析

捕集後の CFP は、2-プロパノール (15 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 (7) 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。ガスクロマトグラフ水素炎イオン化検出器 (GC/FID) へ供した。GC/FID は、島津製作所製 GC-2014 を使用し、分離カラムはアジレントテクノロジー製 HP-INNOWAX ( $0.25$  mm i.d.  $\times$  30 m,  $0.25$   $\mu\text{m}$ ) を用いた。分析条件はカラム温度  $50^{\circ}\text{C}$  (2 min 保持)  $-50^{\circ}\text{C}$  から  $180^{\circ}\text{C}$  (昇温速度  $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )  $-180^{\circ}\text{C}$  から  $190^{\circ}\text{C}$  (昇温速度  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )

−190°C から 250°C (昇温速度 30°C /min) −250°C (1 min 保持) とした。注入条件は 1 μL, スプリットレスとし、分析時間は 40 分であった。

## C. 結果及び考察

### 1. 紙巻たばこ副流煙に含まれるニコチン

Table 1 は、紙巻たばこに含まれるニコチン分析結果を示している。この分析値の特徴は、主流煙においてニコチン表示量が 0.1 から 1mg と 10 倍の差になっているたばこ銘柄の副流煙分析値が、3.33-4.25 mg の範囲になっていた。この結果から、副流煙の分析値は主流煙のパッケージ表示ニコチン量とは異なり、一定の濃度範囲に収まることが確認された。紙巻たばこのニコチンは、粒子を捕集するフィッシュテールと CFP に 95%以上が検出された。よって、紙巻たばこのニコチンは、粒子に存在していた。

紙巻たばこ副流煙は、紙巻きたばこ専用の副流煙装置によって捕集しており、効率よく副流煙の捕集が可能となっている。一方で、加熱式たばこは副流煙捕集装置が存在せず、肯定法が定まっていない状況にある。

### 2. 加熱式たばこの副流煙に含まれるニコチン

加熱式たばこの捕集は、肯定法が存在しないため、今回、新たに副流煙を捕集するガラス器具を設計し予備検討を行った。副流煙を捕集する箇所は、フィッシュテール、CFP、XAD4 カートリッジ、インピンジャーの 4 箇所で行った。なお粒子成分は、フィッシュテールと CFP で捕集し、ガス成分は XAD4 カートリッジとインピンジャーで捕集した。それぞれの捕集箇所毎にニコチン分析を実施した。また、捕集の条件として加熱装置を水平と斜めに設置し捕集する 2 種類で実施した。

Table 2 に分析結果を示す。IQOS の副流煙は 0.0267-0.0296 mg/stick (26.7-29.6 μg/stick) となり、glo pro は 0.00279-0.00299 mg/stick (2.79-2.99 μg/stick) であった。いずれの加熱式たばこも紙巻

たばこと比較すると低値であった。また、IQOS が glo pro よりニコチン量が高いことが分かった。加熱式たばこの副流煙ニコチンも紙巻たばこ同様に粒子成分に 90%以上が検出されることが確認された。Cancelada らは、捕集方式が異なる手法を採用し、加熱式たばこの副流煙を分析したところ、ニコチン量は 0.09 μg/stick 以下と報告している (8)。我々研究班の捕集法は、ニコチンが吸着しやすい化合物であると判断し、ガラス器具を採用したために分析値が高い値を示したと考えられる。

最後に高い一酸化炭素濃度が計測された IQOS 互換機で IQOS 副流煙分析を行った。ニコチン量は、0.0635 mg/stick (63.5 μg/stick) となり、IQOS3.0 より高値となった。この互換機の副流煙を捕集し、ガスクロマトグラフ質量分析計で含有成分のスクリーニングを調査した。その結果、粒子成分を捕集するフィルターからは、プロピレングリコール、グリセロール、*o*-クレゾール、ニコチン、フェノールが検出された。次にガス成分を捕集する XAD4 カートリッジには、プロピレングリコール、ピリジン、2-フランメタノール、3-エテニルピリジン、フェノール、グアイアコール、ニコチンなどが検出された。Cancelada らの報告によると、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、クロトンアルデヒド、アクロレイン、アセトール、グリシドール、ジアセチル、ブタナール、プロパナール、2-フランメタノール、3-エテニルピリジンなども検出されていることから今後、既に本研究班で確立している主流煙分析法を副流煙に展開し、定量を進めていく計画である。

## 5. 今後の方針

加熱式たばこの副流煙の捕集法を検討し、ニコチン分析を行った。加熱式たばこのニコチン量は、紙巻たばこよりも低いものの、定量可能であった。今後は、ニコチン以外の成分についても捕集法を確認し、カルボニル類、揮発性有機化合物、多環芳香族炭化水素類などと測定項目を拡大し、加熱

式たばこの受動喫煙の指標を評価していく計画である。

#### D. 結論

本研究では、加熱式たばこ IQOS3.0 と glo pro の 2 種類の加熱式たばこ製品の副流煙捕集法の検討を行い、ニコチン分析を行った。その結果、紙巻たばこより低値であるものの、先行研究の分析値より効率的にニコチンの捕集が可能になったと考えられる。今後は、この方法を応用し、測定項目を拡大していく計画である。

#### E 参考文献

- (1) 厚生労働省. 健康増進法の一部を改正する法律 (平成 30 年法律第 78 号) 概要 (<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/00469083.pdf>) 2020 年 3 月 31 日接続
- (2) 厚生労働省. 改正健康増進法の体系 (<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/00489407.pdf>) 2020 年 3 月 31 日接続
- (3) 厚生労働省. 平成 30 年国民健康・栄養調査結果の概要 (<https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/0000615383.pdf>) 2020 年 3 月 31 日接続
- (4) Health Canada Test Method T-115. Determination of the tar, water, nicotine and carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. 1999.
- (5) WHO. Standard operating procedure for intense smoking of cigarettes: WHO Tobacco Laboratory Network (TobLabNet) official method (Standard operating procedure 01). Geneva, World Health Organization, 2012.
- (6) ISO 3402. Tobacco and tobacco products -- Atmosphere for conditioning and testing. 1999.
- (7) ISO 10315. International Organization for Standardization. Determination of nicotine in smoke condensates-gas chromatographic method, second ed. 2000.

- (8) Cancelada L, Sleiman M, Tang X, et al. Heated Tobacco Products: Volatile Emissions and Their Predicted Impact on Indoor Air Quality. *Environ Sci Technol.* 2019; 53: 7866 - 7876.

#### F. 研究発表

##### 1. 論文発表

Oba S, Inaba Y, Shibuya T, Oshima J, Seyama K, Kobayashi T, Kunugita N, Ino T. Changes in oxidative stress levels during two weeks of smoking cessation treatment and their association with nutritional characteristics in Japanese smokers. *Exp Ther Med.* 2019;17:2757-2764.

Uchiyama S, Noguchi M, Sato A, Ishitsuka M, Inaba Y, Kunugita N. Determination of Thermal Decomposition Products Generated from E-cigarettes. *Chem Res Toxicol.*2020;33:576-583.

稲葉洋平. 加熱式たばこの調査研究からわかってきた課題 ビルと環境 2019;165:38-43.

稲葉洋平. たばこの煙の健康影響と受動喫煙のエビデンス 公衆衛生情報 2020;49:8-9.

稲葉洋平 監修 「身近な“?”の科学 加熱式タバコ」雑誌 Newton. 2019.12.114-115.

##### 2. 学会発表

稲葉洋平, 内山茂久, 櫻田尚樹, 牛山明. 加熱式たばこ IQOS 互換機の主流煙に含まれる多環芳香族炭化水素の分析. 第 28 回環境化学討論会. 2019.6.12-14 ; 埼玉. 同プログラム集, P-059.

稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 加熱式たばこから発生する有害化学物質の分析. フォーラム 2019 衛生薬学・環境トキシコロジー. 2019.8.31-9.1 ; 京都. 同講演要旨集. p.286.

稲葉洋平, 内山茂久, 牛山明. 加熱式たばこ及び紙巻たばこの主流煙に含まれる芳香族アミン類の分析. 日本分析化学会第 68 年会. 2019.9.11-13; 千葉. 同講演プログラム集. p.31.

佐藤綾菜, 内山茂久, 石塚美帆, 野口真由美, 稲葉洋平, 樺田尚樹, 牛山明. 電子タバコから発生するカルボニル化合物, オキシド類の分析. 日本分析化学会第 68 年会. 2019.9.11-13; 千葉. 同講演プログラム集. p.491.

石塚美帆, 内山茂久, 佐藤綾菜, 野口真由美, 稲葉洋平, 樺田尚樹, 牛山明. 電子タバコに含まれるプロピレングリコール, グリセロールの熱分解物の分析. 日本分析化学会第 68 年会. 2019.9.11-13; 千葉. 同講演プログラム集. p.492.

稲葉洋平, 内山茂久, 樺田尚樹, 牛山明. 加熱式たばこ互換機および互換スティックを使用によって発生する化学物質の分析. 第 78 回日本公衆衛生学会総会. 2019.10.23-25; 高知. 同抄録集. p.366.

石塚美帆, 内山茂久, 佐藤綾菜, 野口真由美, 稲葉洋平, 樺田尚樹, 牛山明. 非燃焼式タバコから発生する有害物質の分析法の開発. 第 78 回日本公衆衛生学会総会; 2019.10.23-25; 高知. 抄録集 p581.

佐藤綾菜, 内山茂久, 石塚美帆, 野口真由美, 稲葉洋平, 樺田尚樹, 牛山明. 非燃焼式タバコから発生する有害物質の分析結果. 第 78 回日本公衆衛生学会総会; 2019.10.23-25; 高知. 抄録集 p581.

稲葉洋平. 新型タバコの成分分析. シンポジウム 4 新型タバコ時代のタバコ対策の進め方. 第 26 回日本行動医学会学術総会; 2019.12.6-7; 東京.

稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 加熱式たばこ IQOS 互換性の違いによる有害化学物質発生量の比較. 第 56 回全国衛生化学技術協議会年会. 2019.12.5-6; 広島. 同講演集. p.24.

稲葉洋平, 緒方裕光, 井上博雅, 黒澤一, 寒川卓哉, 町田健太郎, 樺田尚樹, 水野雄二, 尾上あゆみ, 大森久光. 加熱式たばこ喫煙者と紙巻たばこ喫煙者のたばこ煙曝露マーカーの比較. 第 90 回日本衛生学会学術総会. 2020.3.26-28; 岩手. 同講演集. P185.

稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 加熱式たばこの加熱温度の違いによる主流煙の化学物質の変化. 日本薬学会第 140 年会. 2020.3.25-28; 京都. Web 講演集.

G. 知的財産権の出願・登録状況  
特になし

Table 1 紙巻たばこ 6 銘柄の副流煙ニコチン量

cigarette brands	Concentration (mg/cigarette)			
	Total	Fishtail	Filter	Impinger
	MEVIUS extralights	3.69 ± 0.30	0.70 ± 0.12	2.75 ± 0.32
MEVIUS super lights	3.46 ± 0.18	0.78 ± 0.15	2.53 ± 0.22	0.15 ± 0.18
Marlboro menthol lights	4.25 ± 0.75	0.83 ± 0.16	3.19 ± 0.72	0.23 ± 0.16
Winston CABIN	3.33 ± 0.19	0.56 ± 0.06	2.37 ± 0.15	0.40 ± 0.08
MEVIUS original	3.76 ± 0.26	0.76 ± 0.10	2.79 ± 0.24	0.20 ± 0.07
Seven Stars	4.00 ± 0.17	0.84 ± 0.13	2.94 ± 0.14	0.23 ± 0.11

Table 2 加熱式たばこ副流煙に含まれるニコチン量

HCI			n=5							
			IQOS 3				glo pro			
			本体を斜めに		本体を水平		本体を斜めに		本体を水平	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Mainstream	粒子	Filter	1.22 ± 0.11	1.73 ± 0.73	1.37 ± 0.17	1.37 ± 0.17				
Sidestream	粒子	Filter	0.0216 ± 0.0105	0.0258 ± 0.0060	0.00148 ± 0.00076	0.00187 ± 0.00096				
		Fishtail	0.0030 ± 0.0013	0.0011 ± 0.0002	0.00053 ± 0.00020	0.00043 ± 0.00011				
	ガス	Cartridge	0.0016 ± 0.0021	0.0022 ± 0.0019	0.00036 ± 0.00014	0.00030 ± 0.00015				
		Impinger	0.0005 ± 0.0000	0.0005 ± 0.0000	0.00041 ± 0.00026	0.00038 ± 0.00159				
Total Sidestream			0.0267 ± 0.0133	0.0296 ± 0.0062	0.00279 ± 0.00093	0.00299 ± 0.00119				