

令和4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

加熱式たばこから発生する多環芳香族炭化水素類のガス成分・粒子成分の同時捕集を使用した分析法  
の開発

分担研究者 稲葉 洋平 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  
研究協力者 若井 美樹 明治薬科大学

研究要旨

我々の先行研究によるとガス状の有害化学物質であるホルアルデヒド、アセトアルデヒド、アクロレインなど発生量は低減しているものの多くの成分が加熱式たばこ主流煙から検出されていた。そこで粒子状の成分に関する有害化学物質量は低減しているが、有害化学物質の数はそれほど低下をしていないのではないかと考えている。そこで本研究では、燃焼由来と考えられている多環芳香族炭化水素 (PAHs) の加熱式たばこに適用した主流煙捕集法を確立し、GC/MS/MSによる一斉分析を行うことを目的とした。本研究では、PAH のガス成分を固体捕集にすることで、PAH のガス成分と粒子成分の計 29 成分の同時分析が可能となり、捕集から分析までの効率化を達成した。

紙巻きたばこ 11 銘柄の主流煙を分析したところ、全ての銘柄に 2 環から 6 環までの PAH 計 29 成分を定量できた。加熱式たばこ 8 製品 6 銘柄の主流煙を分析したところ、IQOS3 (銘柄;REGULAR), IQOS ILUMA (TEREA), glo Hyper+ (KENT TRUE TOBACCO), PloomS 2.0 (REGULAR), PloomX(RICH)の 4 製品では PAH23 成分, glo hyper (KENT TRUE TOBACCO)は PAH24 成分を定量した。NOS(REGULAR)及び THERMALOUC(3R4F)は、デバイスによってはそれぞれ PAH29 成分, PAH27 成分を定量できたものもあった。以上の結果から、加熱式たばこの喫煙においても発がん性が認められているベンゾ[a]ピレンの曝露は生じた。基本的に、主流煙の PAH 発生量は「温度」に依存している。本研究法で定量した PAH は、加熱や燃焼によるたばこ葉からの移行によるものと、燃焼によって発生するものの 2 通りが考えられる。紙巻きたばこは、燃焼により発生した PAH 及び、たばこ葉から移行した PAH が主流煙で定量された。一方、加熱式たばこは、たばこ葉に含まれる PAH が加熱により主流煙に移行した可能性もある。また、加熱式たばこは、加熱原理、加熱温度、たばこ葉によって移行率が変動するため製品によって曝露量が異なった。NOS 及び THERMALOUC の一部のデバイスでは、PAH 濃度が高値であることから、加熱温度が高温となり、PAH が発生した可能性も考えられる。今後は、たばこ葉に含まれる PAH 量を分析する必要があると考える。

A. 研究目的

喫煙者は、たばこ煙に含まれる有害化学物質の複合曝露によって健康影響を生じ、日本の年

間 12-13 万人死亡していると推計されている。

紙巻たばこ主流煙は、たばこ葉の燃焼によって発生する一酸化炭素、揮発性有機化合物、カル

ポニル類, 芳香属アミン類, 多環芳香族炭化水素類 (PAH) など多くの有害化学物質が含まれている。

加熱式たばこは, たばこ葉を携帯型の装置を使用して加熱し, たばこ葉から放出されるニコチンをはじめとする化学物質を吸引する新しいたばこ製品となっている。我が国では, 2014年に販売開始された IQOS が広く知られており, それ以外にも glo, Ploom などの製品が展開されている。この加熱式たばこの喫煙者における使用率は, 国民健康・栄養調査によると 28% (男性 20代), 48% (女性 20代) まで普及している。この加熱式たばこから発生する有害化学物質量は, 燃焼によって発生する成分は低減しているとたばこ会社は報告している。しかし, 我々の先行研究によるとガス状の有害化学物質であるホルアルデヒド, アセトアルデヒド, アクロレインなど発生量は低減しているものの多くの成分が加熱式たばこ主流煙から検出されていた。そこで粒子状の成分に関しても有害化学物質量は低減しているが, 有害化学物質の数はそれほど低下をしていないのではないかと考えている。そこで本研究では, 燃焼由来と考えられている多環芳香族炭化水素 (PAHs) の加熱式たばこに適用した主流煙捕集法を確立し, GC/MS/MS による一斉分析を行うことを目的とした。また, PAHs には, ガス成分で存在するナフタレンから粒子成分に含まれるベンゾ[a]ピレンなど複数の成分が存在する。本研究は, これらのガス・粒子成分を固体捕集法とフィルターによる捕集を同時に行い, 同時に前処理することによって分析法の確立を行った。

## B. 研究方法

### 1. たばこ試料

紙巻きたばこは, 国産たばこ 4 銘柄 (Seven Stars, MEVIUS Original, Winston SPARKLING MENTHOL 5 BOX, MEVIUS ONE 100's BOX,

AMERICAN SPIRIT ターコイズ), 海外産たばこ 5 銘柄 (LARK 100 BOX, Marlboro Menthol 8 BOX, Lucky Strike エキスパートカット 6, Marlboro KS BOX, KENT・1・100・BOX), 標準たばこ (1R6F, 3R4F, CM6, CM8), の計 14 銘柄を使用した。

加熱式たばこは, 8 製品 6 銘柄で, PloomS 2.0 は REGULAR, PloomX は RICH, glo hyper 及び glo Hyper+は KENT TRUE TOBACCO, IQOS3 は REGULAR, IQOS ILUMA は TERA, IQOS 互換機の NOS は IQOS の REGULAR, 紙巻たばこ加熱装置の THERMALOUIC は 3R4F 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法は, 加熱式たばこが自動喫煙装置 (LM4E, Borgwaldt KC GmbH), 紙巻たばこが LX20, Borgwaldt KC GmbH を用いて HCl 法を行った。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 (1, 2) 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 (3) 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, φ 44 mm, Borgwaldt KC GmbH) で捕集した。主流煙の粒子成分は, アルミ製のホルダー内にガラス繊維フィルターを設置し捕集し, 同時に主流煙のガス成分を Supelpak™-2 (SUPELCO 製) を 300 mg 充填したカートリッジに捕集した。

### PAHs の分析

試薬; PAH 標準溶液 は 29 種混合溶液を調整し (Naphthalene, Acenaphthylene, Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene,

Anthracene, Fluoranthene, Pyrene, Benzo[*c*]phenanthrene, Benz[*a*]anthracene, Chrysene, Benz[*e*]acephenanthrylene, 7,12-dimethyl-Benz[*a*]anthracene, Benzo[*k*]fluoranthene, Benzo[*j*]fluoranthene, Benzo[*e*]pyrene, Benzo[*a*]pyrene, 3-Methylcholanthrene, Indeno[*1,2,3-cd*]pyrene, Dibenz[*a,h*]anthracene, Benzo[*g,h,i*]perylene, Dibenzo[*a,l*]pyrene, Dibenzo[*a,i*]pyrene, Dibenzo[*a,h*]pyrene) は AccuStandard 社から購入した。1-Methylnaphthalene, 2-Methylnaphthalene は SUPELCO 製を購入した。7H-Benzo[*c*]fluorine は Dr.Ehrenstorfer 製, 5-Methylchrysene, Cyclopenta[*c,d*]pyrene は AccuStandard 製を購入した。次に, PAH-重水素体溶液は, Acenaphthylene-*d*<sub>8</sub>, Benzo[*a*]pyrene-*d*<sub>12</sub>, Benzo[*g,h,i*]perylene-*d*<sub>12</sub>, Fluoranthene-*d*<sub>10</sub>, Naphthalene-*d*<sub>8</sub>, Phenanthrene-*d*<sub>10</sub>, Pyrene-*d*<sub>10</sub>, 5-Methylchrysene-*d*<sub>3</sub>, Dibenz[*a,i*]anthracene-*d*<sub>14</sub> は Cambridge Isotope Laboratories 社から購入した。Anthracene-*d*<sub>10</sub>, Chrysene-*d*<sub>12</sub> は AccuStandard 社から購入した。Benzo[*k*]fluoranthene-*d*<sub>12</sub>, Dibenz[*a,h*]anthracene-*d*<sub>14</sub> は Dr.Ehrenstorfer 製から購入した。トルエン 300 (残留農薬・PCB 試験用), ヘキサン (残留農薬・PCB 試験用), ジメチルスルホキシド (ダイオキシン類分析用) とジクロロメタン (残留農薬・PCB 試験用) は, 富士フィルム和光純薬株式会社から購入した。

### 主流煙 PAHs の前処理及び分析

紙巻きたばこ PAH の分析では, HCl 法を採用し主流煙の捕集を 1 サンプル 2 本で行った。捕集後のガラス繊維フィルター, スチレン・ジビニルベンゼン共重合体及びカートリッジ内フィルターを 10 mL ねじ口試験管に入れ, ヘキサン 9 mL を添加し, 160 rpm で 90 分間振とう抽出した。抽出液 4.5 mL を回収し, PAH-

*d* 体溶液 10  $\mu$  L を添加後, 窒素気流下で (室温) 1 mL に濃縮した。この濃縮液 1 mL を, 無水硫酸ナトリウム 1.4g を充填したカートリッジ及びシリカゲルカラムに供し, 展開溶媒をヘキサン 5 mL, ジクロロメタン/ヘキサン (1/9) 7.5 mL の順に用いて溶出した。それぞれの溶出液を合致し, 窒素気流下 (室温) で約 0.2 mL まで濃縮し, トルエンを 0.5 mL 添加した。再度窒素気流下で濃縮し, 最終的にトルエンを添加して 0.5 mL へ定容した。これを分析用バイアルに移し, GC/MS/MS で PAH の分析を行った。

加熱式たばこ主流煙 PAH の分析では, HCl 法を採用し, 1 サンプルあたり加熱式たばこスティック 6 本分を捕集した。捕集後のガラス繊維フィルター, スチレン・ジビニルベンゼン共重合体及びカートリッジ内フィルターを 10 mL ねじ口試験管に入れ, ヘキサン 9 mL を添加し, 160 rpm で 90 分間振とう抽出した。抽出液 6 mL を回収し, PAH-*d* 体溶液 10  $\mu$  L を添加後, 窒素気流下で (室温) 1 mL に濃縮した。この後の操作は紙巻きたばこと同様である。ただし, THERMALOUIC については, 主流煙の捕集を, HCl 法で 1 サンプル 3 本捕集した。捕集後の操作は加熱式たばこと同様である。双方のサンプルをガスクロマトグラフ/タンデム型質量分析計 (GC/MS/MS, 島津製作所社製) で分析した。分析条件を Table 1, 質量数を Table 2 に示した。

## C. 結果及び考察

### 1. 分析法の検討

標準たばこ 3R4F の PAH 抽出は, ガス成分の捕集にインピンジャーを用いた方法 (先行研究法) とガス成分を固体捕集する方法 (本研究法) の 2 手法から比較検討を行った (n=3)。固体捕集法のガス成分捕集能力を評価するために, 別々に前処理・分析を行い PAH の総濃度を比較

した (Table 3)。その結果、本研究法は先行研究法に対して 1.09 倍高かった。発がん性が報告されているベンゾ[a]ピレン濃度の分析結果 13.4 ng/g (本研究法) は、先行研究法の 12.7 ng/g と比較して 1.06 倍高かった。本研究法から先行研究より粒子成分とガス成分の同時分析が可能となったため、捕集から分析の効率化を達成した。よって、本研究法を採用し、以降の研究を行った。

## 2. 紙巻たばこの分析

全ての銘柄で、分析対象の PAH29 成分を定量した (Table 4)。PAH の分析結果を銘柄ごとに比較すると、PAH の合計量は AMERICAN Spirit が最も多く、9,187ng/cig であった。合計量が最も低かったのは、MEVIUS ONE 100's BOX で、2,725 ng/cig であった。成分ごとに評価すると最も多く含有されている成分はナフタレンであった。次に、ベンゾ[a]ピレンに加えて IARC 発がん性リスク一覧において、Group2A に分類されるジベンゾ[a,h]アントラセン、2B に分類されるナフタレン、ベンゾ[a]アントラセン、ベンゾ[k]フルオランテン、ベンゾ[j]フルオランテン、インデノ[1,2,3-cd]ピレンの合計量を算出したところ、AMERINANSPIRIT ターコイズが最も多く、2236 ng/cig であった。最も少ない製品は MEVIUS ONE 100's BOX で 825ng/cig であり、PAH の合計量と同様の傾向であった。

## 3. 加熱式たばこの分析

加熱式たばこは、IQOS3, IQOS ILUMA, glo Hyper+, PloomS 2.0, PloomX の 4 製品では PAH23 成分, glo hyper は PAH24 成分を定量した (Table 5)。NOS 及び THERMALOUC は、デバイスによってはそれぞれ PAH29 成分, PAH27 成分を定量された。PAH の分析結果を製品ごとに比較すると、PAH の合計量は THERMALOUC(銘柄;3R4F)が最も多く、2,579 ng/cig であった。続

いて合計量が多かったのは NOS (REGULAR) で、1,725ng/cig であった。合計量が最も低かったのは、PloomS 2.0 (REGULAR) で、28.3ng/cig であった。次に、ベンゾ[a]ピレンに加えて IARC 発がん性リスク一覧において、Group2A に分類されるジベンゾ[a,h]アントラセン、2B に分類されるナフタレン、ベンゾ[a]アントラセン、ベンゾ[k]フルオランテン、ベンゾ[j]フルオランテン、インデノ[1,2,3-cd]ピレンの合計量を算出したところ、THERMALOUC (3R4F) が最も多く、771 ng/cig であった。最も少ない製品は PloomS 2.0 で 2.2ng/cig であり、PAH の合計量と同様の傾向であった。この結果から、加熱式たばこであってもベンゾ[a]ピレンのような発がん性が認められている物質の曝露は生じていることがわかった。

## D. 結論

本研究では、PAH のガス成分を固体捕集にすることで、PAH のガス成分と粒子成分の計 29 成分の同時分析が可能となり、捕集から分析までの効率化を達成した。

紙巻きたばこ 11 銘柄の主流煙を分析したところ、全ての銘柄に 2 環から 6 環までの PAH 計 29 成分を定量できた。

加熱式たばこ 8 製品 6 銘柄の主流煙を分析したところ、IQOS3 (銘柄;REGULAR), IQOS ILUMA (TEREA), glo Hyper+ (KENT TRUE TOBACCO), PloomS 2.0 (REGULAR), PloomX(RICH)の 4 製品では PAH23 成分, glo hyper (KENT TRUE TOBACCO) は PAH24 成分を定量した。NOS(REGULAR)及び THERMALOUC(3R4F)は、デバイスによってはそれぞれ PAH29 成分, PAH27 成分を定量できたものもあった。

以上の結果から、加熱式たばこでも、発がん性が認められているベンゾ[a]ピレンの曝露は生じた。基本的に、主流煙の PAH 量は「温度」に依存している。本研究法で定量した PAH は、加

熱や燃焼によるたばこ葉からの移行によるものと、燃焼によって発生するものの2通りが考えられる。紙巻きたばこは、燃焼により発生した PAH 及び、たばこ葉から移行した PAH が主流煙で定量された。一方、加熱式たばこは、たばこ葉に含まれる PAH が加熱により主流煙に移行したと考えられる。また、加熱式たばこは、加熱原理、加熱温度、たばこ葉によって移行率が変動するため製品によって曝露量が異なる。NOS 及び THERMALOUC の一部のデバイスでは、PAH 濃度が高値であることから、加熱温度が高温となり、PAH が発生した可能性も考えられる。今後は、たばこ葉に含まれる PAH 量を分析する必要があると考える。

## E 参考文献

- (1) Health Canada Test Method T-115. Determination of the tar, water, nicotine and carbon monoxide in mainstream tobacco smoke. 1999.
- (2) 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.
- (3) ISO 3402. Tobacco and tobacco products -- Atmosphere for conditioning and testing. 1999.

## F. 研究発表

### 1. 学会発表

1. 稲葉洋平, 若井美樹, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. たばこ主流煙の多環芳香族炭化水素類の捕集および分析法の確立と国内販売銘柄への適用. 第 82 回分析化学討論会 (茨城, 水戸) 2022. 5. 14-15. 同 pdf 要旨集 P2137.

2. 稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 杉田和俊,

鳥羽 陽, 牛山明. 加熱式たばこ製品の主流煙に含まれる多環芳香族炭化水素類の捕集及び分析法の確立. 第 30 回環境化学討論会 (富山) 2022.6.14-16. 同 pdf 要旨集 p540-541.

3. 杉田和俊, 小林 寛, 稲葉洋平. 加熱式タバコの水銀含有量. 第 30 回環境化学討論会 (富山) 2022.6.14-16. 同 pdf 要旨集 p557-558.

4. 齋藤みのり, 清水萌花, 内山茂久, 櫻田尚樹, 稲葉洋平, 牛山明, 小倉裕直. 加熱式タバコ主流煙の化学物質発生量に及ぼす加熱温度の影響. 第 30 回環境化学討論会 (富山) 2022.6.14-16. 同 pdf 要旨集 p464-465.

5. 稲葉洋平, 須藤江里子, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 紙巻たばこ用加熱装置から発生する主流煙に含まれる有害化学物質. フォーラム 2022 衛生薬学・環境トキシコロジー. 2022.8.30-31. (熊本) .同講演抄録集. p.295.

6. 稲葉洋平, 内山茂久, 戸次加奈江, 牛山明. 2020 年から販売された加熱式たばこの成分分析と初期型加熱式たばこの比較. 第 81 回日本公衆衛生学会総会. 2022.10.7-9. (甲府) 同講演抄録集. p322.

7. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 電子たばこの連続使用によって発生する主流エアロゾルの一酸化炭素, フェノール類の分析. 第 59 回全国衛生化学技術協議会年会. 2022.10.31-11.1. (川崎). 同協議会講演集. p.214-215.

8. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 加熱式たばこ副流煙の捕集・分析法の確立 2022 年室内環境学会学術大会. 2022.12.1-2. (東京) 同講

9. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 「シンポジウム 2 「加熱式タバコの最新のエビデンス」 加熱式タバコ, 電子タバコの成分分析 第 32 回日本禁煙推進医師歯科医師連盟学術総会. 2023.2.26. (北九州) 同抄録集. P40.

10. 稲葉洋平, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 新型の加熱式たばこ主流エアロゾルに含まれる有害化学物質の分析 第 93 回日本衛生学会学術総会. 2023.3.2-4. (東京) 同講演集 S213.

11. 稲葉洋平, 須藤江里子, 戸次加奈江, 内山茂久, 牛山明. 紙巻たばこ主流煙に含まれるアクリルアミド分析法の確立と国内販売銘柄の実態調査 日本薬学会第 143 年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.

12. 吉岡響, 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多環芳香族炭化水素キノン類の定量とたばこスティックの比較 日本薬学会第 143 年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.

13. 広田航太郎, 山口大雅, 小宮雅美, 稲葉洋平, 加藤孝一, 戸塚ゆ加里. 加熱式タバコの遺伝毒性評価 日本薬学会第 143 年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.

14. 佐藤光平, 澤麻里恵, 小池伸, 中舘和彦, 服部研之, 稲葉洋平, 牛明, 小笠原裕樹. 加熱式たばこの主流煙暴露によるマウス肺におけるストレス応答の解析 日本薬学会第 143 年会. 2023.3.25-28 (札幌) 同要旨集.

G. 知的財産権の出願・登録状況

**Table 1 GC/MS/MS 分析条件**

GC部	島津製作所社製 GC-TQ 8040
カラム	Rxi-PAH (RESTEK製 30m × 0.25mm, 0.10 μm)
注入方法	スプリットレス 1分
注入口温度	280°C
注入量	1μl
キャリアーガス	ヘリウム
キャリアーガス流量	1.31mL/分
カラムオープン温度	90°C(2分) - 10°C/分 - 270°C(0分) - 4°C/分 - 310°C(0分) - 15°C/分 - 350°C(10分)
MS/MS部	島津製作所社製 GC-TQ 8040
トランスファーライン	330°C
イオン源	EI
イオン源温度	230°C
測定モード	MRM

**Table 2 GC/MS/MS 質量分析条件**

化合物名	CAS Number	保持時間 (分)	Ch1 (m/z)	Ch1CE	Ch2 (m/z)	Ch2CE
Naphthalene-D8	1146-65-2	5.39	136.00>108.10	18	136.00>84.10	24
Naphthalene	91-20-3	5.45	128.00>102.10	21	128.00>78.10	18
2-methyl-Naphthalene	91-57-6	6.93	141.00>115.10	18	142.00>115.10	30
1-methyl-Naphthalene	90-12-0	7.27	141.00>115.10	18	142.00>115.10	27
Acenaphthylene-d8	93951-97-4	9.54	160.00>158.10	18	160.00>132.30	27
Acenaphthylene	208-96-8	9.58	152.00>150.10	27	152.00>126.10	24
Acenaphthene	83-32-9	9.95	154.00>152.20	30	153.00>151.20	27
Fluorene	86-73-7	11.28	165.00>163.20	27	165.00>115.10	24
Phenanthrene-D10	1517-22-2	13.99	188.00>160.00	21	188.00>158.20	33
Phenanthrene	85-01-8	14.06	178.00>176.10	33	178.00>152.10	24
Anthracene-D10	1719-06-8	14.11	188.00>159.90	33	188.00>158.10	30
Anthracene	120-12-7	14.17	178.00>152.10	27	178.00>176.10	33
Fluoranthene-d10	93951-69-0	17.26	212.00>209.90	30	212.00>208.00	45
Fluoranthene	206-44-0	17.32	202.00>200.00	36	202.00>152.20	33
Pyrene-d10	1718-52-1	17.98	212.00>210.00	27	212.00>208.30	45
Pyrene	129-00-0	18.05	202.00>200.10	36	202.00>151.30	33
7H-Benzo[c]fluorene	205-12-9	19.05	215.00>213.00	33	215.00>189.10	24
Benzo[c]phenanthrene	195-19-7	20.78	228.00>226.10	39	227.00>225.30	39
Benz[a]anthracene	56-55-3	21.35	228.00>226.10	30	226.00>224.20	36
Chrysene-D12	1719-03-5	21.47	240.00>236.20	45	226.00>224.20	45
Cyclopenta[cd]pyrene	27208-37-3	21.51	226.00>224.00	45	224.00>222.20	33
Chrysene	218-01-9	21.58	228.00>226.10	33	226.00>224.10	30
5-Methylchrysene-d3	3697-24-3	22.89	244.00>242.10	27	245.00>242.00	39
5-MethylChrysene	3697-24-3	22.95	241.00>239.00	33	242.00>239.00	42
Benzo[j]fluoranthene	205-99-2	25.21	252.00>250.10	36	250.00>248.00	39
Benzo[k]fluoranthene	93952-01-3	25.16	252.00>250.10	45	250.00>248.10	36
Benz[e]acephenanthrylene	57-97-6	25.05	252.00>249.90	36	252.00>224.00	45
Benzo[k]fluoranthene-d12	207-08-9	25.05	264.20>259.90	45	250.00>247.90	33
7,12-dimethyl-Benz[a]anthracene	205-82-3	25.10	256.00>241.20	18	241.00>239.10	12
Benzo[e]pyrene	192-97-2	26.36	252.00>250.10	36	250.00>248.00	39
Benzo[a]pyrene-d12	63466-71-7	26.46	264.00>260.10	45	265.00>260.90	42
Benzo[a]pyrene	50-32-8	26.57	252.00>250.00	36	250.00>247.90	42
3-Methylcholanthrene	56-49-5	27.50	268.00>252.10	36	253.00>251.50	33
Dibenz[a,h]anthracene-d14	13250-98-1	30.69	292.00>288.40	30	293.00>289.30	30
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	193-39-5	30.78	276.00>274.30	36	277.00>274.90	27
Dibenz[a,h]anthracene	53-70-3	30.81	278.00>276.10	39	139.00>112.50	45
Benzo[g,h,i]perylene-d12	93951-66-7	31.65	288.00>286.10	15	288.00>284.10	36
Benzo[ghi]perylene	191-24-2	31.74	276.00>274.10	42	277.00>275.50	39
Dibenzo[a,l]pyrene	191-30-0	34.58	302.00>300.10	30	150.00>148.10	36
Dibenzo[a,i]pyrene-d14	158776-07-9	35.94	316.00>312.20	39	315.00>310.70	45
Dibenzo[a,i]pyrene	189-55-9	36.06	302.00>300.10	45	303.00>300.80	39
Dibenzo[a,h]pyrene	189-64-0	36.36	302.00>300.10	39	151.00>137.90	15

Table 3 主流煙 PAHs 分析法の検討

Compounds	PAHs 3R4F (ng/cig)			
	filter+cartrige		filter+impinger	
	Mean	SD	Mean	SD
Naphthalene	1,677	± 161	1,461	± 347
2-methyl-Naphthalene	1,190	± 129	1,061	± 115
1-methyl-Naphthalene	1,160	± 121	1,057	± 119
Acenaphthylene	227	± 137	216	± 132
Acenaphthene	83.8	± 2.6	84.7	± 7.0
Fluorene	316	± 12.6	319	± 45.7
Phenanthrene	267	± 18.0	273	± 49.7
Anthracene	120	± 7.0	122	± 23.6
Fluoranthene	111	± 7.8	108	± 19.7
Pyrene	118	± 19.7	109	± 28.6
7H-Benzo[c]fluorene	18.0	± 0.9	17.5	± 2.8
Benzo[c]phenanthrene	9.3	± 3.8	10.3	± 2.5
Benz[a]anthracene	33.1	± 3.4	31.9	± 4.9
Cyclopenta[cd]pyrene	37.1	± 29.9	35.4	± 32.7
Chrysene	29.6	± 1.8	28.6	± 4.2
5-MethylChrysene	2.2	± 0.2	1.9	± 0.3
Benz[e]acephenanthrylene	11.9	± 0.5	12.2	± 1.9
7,12-dimethyl-Benz[a]anthracene	14.2	± 0.8	13.0	± 0.5
Benzo[k]fluoranthene	3.6	± 0.2	3.4	± 0.5
Benzo[j]fluoranthene	7.9	± 0.5	7.7	± 1.1
Benzo[e]pyrene	7.3	± 0.4	7.1	± 1.1
Benzo[a]pyrene	13.4	± 0.7	12.7	± 2.9
3-Methylcholanthrene	2.3	± 0.3	2.1	± 0.3
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	6.5	± 0.8	6.4	± 1.3
Dibenz[a,h]anthracene	2.0	± 0.2	2.1	± 0.2
Benzo[ghi]perylene	6.5	± 3.2	5.9	± 3.3
Dibenzo[a,l]pyrene	0.6	± 0.0	0.7	± 0.2
Dibenzo[a,i]pyrene	0.7	± 0.0	0.7	± 0.1
Dibenzo[a,h]pyrene	0.7	± 0.1	0.7	± 0.1

Table4 紙巻たばこ主流煙 PAHs 分析結果

cigarette brands Package Nicotine (mg)	Amounts (ng/cig)																									
	MEVIUS			KENT			WINSTON			LUCKY STRIKE			Menthol			AMERICAN SPIRIT										
	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI	Mean	SD	95% CI								
Naphthalene	780	± 226	875	± 127	815	± 131	1,216	± 117	1,612	± 146	1,738	± 106	2,014	± 281	2,129	± 56.6	2,092	± 339	1,741	± 213	4,036	± 142	3,219	± 209		
2-methyl-Naphthalene	495	± 71.7	843	± 51.8	561	± 85.0	937	± 79.6	1,339	± 88.4	1,339	± 88.4	1,694	± 122	1,402	± 77.6	1,467	± 137	1,311	± 189	2,321	± 110	2,551	± 79.0		
1-methyl-Naphthalene	504	± 59.7	833	± 48.1	530	± 75.4	913	± 63.2	1,276	± 75.2	1,276	± 75.2	1,694	± 134	1,421	± 82.8	1,437	± 131	1,286	± 178	2,341	± 129	2,706	± 127		
Acenaphthylene	190	± 109	136	± 65.5	108	± 6.8	166	± 10.8	153	± 8.6	181	± 8.4	317	± 139	233	± 17.9	209	± 142	227	± 10.2	347	± 18.3	298	± 6.0		
Acenaphthene	40.8	± 3.3	64.7	± 4.9	59.8	± 4.0	78.8	± 5.7	79.6	± 1.4	101	± 4.8	98.4	± 3.4	90.7	± 4.9	113	± 4.6	83.2	± 8.0	157	± 8.3	139	± 6.2		
Fluorene	138	± 18.9	205	± 23.1	205	± 17.7	270	± 29.3	239	± 11.2	337	± 36.8	380	± 40.5	366	± 22.6	396	± 18.3	327	± 37.2	811	± 62.3	667	± 50.5		
Phenanthrene	183	± 20.2	202	± 12.0	230	± 17.8	229	± 15.6	206	± 18.4	288	± 23.6	321	± 34.9	290	± 9.5	334	± 19.6	235	± 72.0	295	± 23.5	603	± 23.8		
Anthracene	74.0	± 10.5	90.8	± 1.9	137	± 13.2	166	± 72.0	100	± 8.7	185	± 19.6	159	± 3.8	182	± 19.0	217	± 15.7	133	± 72.3	185	± 19.6	383	± 26.7		
Fluoranthene	78.3	± 14.2	86.8	± 5.5	112	± 7.2	91.6	± 4.8	86.3	± 4.4	127	± 9.3	137	± 16.9	116	± 6.6	145	± 7.9	104	± 14.2	108	± 11.2	184	± 9.5		
Pyrene	89.9	± 24.7	94.4	± 6.0	105	± 6.9	92.8	± 8.1	81.5	± 4.6	120	± 9.7	151	± 33.5	113	± 6.6	145	± 7.5	110	± 28.0	116	± 14.2	256	± 11.5		
7H-Benzo(C)fluorene	10.5	± 1.4	12.2	± 0.4	16.9	± 1.2	16.3	± 1.3	14.7	± 1.0	19.3	± 1.9	20.0	± 1.4	20.8	± 1.5	21.7	± 1.2	16.5	± 1.2	25.2	± 3.1	47.7	± 2.4		
Benzo(C)phenanthrene	5.8	± 1.4	7.6	± 0.6	8.8	± 1.0	8.9	± 1.2	7.8	± 0.8	10.8	± 1.3	13.4	± 1.8	12.2	± 1.0	12.1	± 0.4	10.0	± 1.1	13.3	± 1.4	50.3	± 5.7		
Benzo(B)phenanthrene	21.6	± 2.7	26.1	± 2.2	28.9	± 2.4	27.0	± 3.3	26.5	± 1.3	36.0	± 4.1	42.2	± 5.0	36.0	± 2.6	41.9	± 5.2	33.5	± 1.8	37.5	± 5.2	134	± 10.7		
Cyclopenta(c)pyrene	42.3	± 32.1	25.7	± 13.0	18.6	± 1.3	18.7	± 3.9	17.3	± 0.9	25.2	± 1.9	69.5	± 45.3	25.0	± 1.1	30.7	± 3.1	40.5	± 4.0	34.1	± 36.2	25.5	± 2.9		
Chrysene	18.1	± 2.6	23.0	± 1.1	24.8	± 2.0	21.7	± 3.2	22.4	± 2.2	32.2	± 3.5	38.0	± 2.2	29.1	± 3.0	39.4	± 5.1	59.6	± 9.0	29.6	± 1.9	85.0	± 11.7		
5-Methylchrysene	1.1	± 0.2	1.3	± 0.1	1.8	± 0.4	1.6	± 0.4	1.7	± 0.5	2.1	± 0.4	2.0	± 0.3	1.6	± 0.4	2.5	± 0.3	2.3	± 0.5	2.0	± 0.5	5.4	± 0.6		
Benzo(a)chrysene	8.3	± 1.1	10.3	± 0.8	9.7	± 0.3	7.9	± 1.1	8.8	± 0.4	11.9	± 1.3	15.0	± 1.8	11.6	± 1.0	13.4	± 1.0	10.2	± 0.9	9.9	± 1.3	22.8	± 2.7		
7,12-dimethyl-Benz(a)anthracene	6.2	± 0.8	7.4	± 0.6	9.3	± 1.4	6.9	± 1.0	9.7	± 3.0	8.8	± 0.4	13.3	± 3.3	9.6	± 3.6	12.8	± 1.1	13.8	± 1.4	12.6	± 1.7	30.5	± 8.3		
Benzo(k)fluoranthene	2.6	± 0.8	3.6	± 0.6	2.8	± 0.4	2.5	± 0.2	2.8	± 0.3	3.8	± 0.5	4.8	± 0.7	3.2	± 0.1	4.0	± 0.3	3.0	± 0.4	2.3	± 0.4	6.4	± 0.9		
Benzo(j)fluoranthene	5.6	± 0.9	6.6	± 0.7	6.5	± 0.3	6.2	± 0.7	5.9	± 0.3	7.7	± 0.8	9.4	± 1.3	7.8	± 0.3	9.1	± 1.0	9.5	± 3.6	7.3	± 0.7	15.6	± 1.3		
Benzo(i)pyrene	9.9	± 2.4	10.0	± 0.9	10.6	± 0.9	9.5	± 1.4	8.7	± 0.4	12.4	± 1.4	15.2	± 2.9	11.7	± 0.7	14.6	± 0.9	12.4	± 1.5	10.8	± 0.6	23.3	± 1.4		
Benzo(e)pyrene	1.2	± 0.1	1.4	± 0.2	1.7	± 0.0	1.5	± 0.2	1.6	± 0.2	1.9	± 0.3	2.2	± 0.2	1.9	± 0.2	2.3	± 0.2	2.3	± 0.2	2.4	± 0.2	4.4	± 0.5		
3-Methylcholanthrene	4.7	± 1.4	4.8	± 0.5	5.2	± 0.2	5.0	± 0.6	4.3	± 0.4	6.0	± 0.5	7.4	± 1.6	6.1	± 0.2	6.8	± 0.3	10.0	± 0.8	5.6	± 1.1	6.7	± 0.8		
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	1.3	± 0.1	1.5	± 0.1	1.7	± 0.1	1.1	± 0.2	1.5	± 0.4	1.8	± 0.2	2.0	± 0.3	1.5	± 0.3	2.1	± 0.2	2.6	± 0.3	1.8	± 0.2	2.2	± 0.1		
Benzo(a,h)anthracene	6.2	± 3.1	5.3	± 1.1	3.6	± 0.2	3.7	± 0.5	3.5	± 0.3	4.2	± 0.2	8.9	± 3.6	4.1	± 0.1	4.7	± 0.3	6.9	± 0.5	5.1	± 2.9	8.3	± 0.7		
Dibenz(a,h)pyrene	0.8	± 0.1	0.8	± 0.0	0.8	± 0.0	0.6	± 0.0	0.9	± 0.1	0.8	± 0.0	1.1	± 0.1	0.7	± 0.1	0.9	± 0.0	0.9	± 0.1	0.7	± 0.1	1.1	± 0.1		
Dibenz(a,i)pyrene	0.6	± 0.1	0.5	± 0.1	0.6	± 0.1	0.5	± 0.1	0.7	± 0.2	0.7	± 0.1	0.7	± 0.1	0.5	± 0.1	0.7	± 0.1	0.7	± 0.1	0.7	± 0.1	0.9	± 0.2		
Dibenz(a,j)pyrene	0.9	± 0.2	0.6	± 0.1	0.6	± 0.1	0.6	± 0.1	0.7	± 0.1	0.7	± 0.1	0.9	± 0.2	0.7	± 0.1	0.9	± 0.1	0.7	± 0.2	0.8	± 0.1	1.0	± 0.1		
<b>Total PAHs</b>	<b>2,725</b>	<b>± 583</b>	<b>3,587</b>	<b>± 322</b>	<b>3,022</b>	<b>± 347</b>	<b>4,307</b>	<b>± 330</b>	<b>5,517</b>	<b>± 351</b>	<b>5,272</b>	<b>± 259</b>	<b>7,138</b>	<b>± 729</b>	<b>6,080</b>	<b>± 262</b>	<b>6,190</b>	<b>± 353</b>	<b>9,187</b>	<b>± 268</b>	<b>6,358</b>	<b>± 622</b>	<b>5,681</b>	<b>± 696</b>	<b>11,350</b>	<b>± 528</b>

Table5 加熱式たばこ主流煙 PAHs 分析結果

compounds	Amounts (ng/cig)																					
	IQOS 3			ILUMA			glo hyper plus			Ploom S 2.0			Ploom X			NOS			THERMALIQ			
	Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		Mean	SD		
Naphthalene	5.8 ± 0.5			5.2 ± 0.5			3.8 ± 0.5			3.6 ± 0.3			1.9 ± 0.1			2.3 ± 0.6			680 ± 1,144			758 ± 770
2-methyl-Naphthalene	10.4 ± 0.4			7.9 ± 0.3			13.3 ± 1.2			12.4 ± 0.8			1.4 ± 0.1			7.6 ± 0.8			332 ± 529			622 ± 560
1-methyl-Naphthalene	39.2 ± 1.9			37.8 ± 1.6			91.0 ± 11.5			82.3 ± 8.2			16.1 ± 1.0			39.1 ± 3.2			392 ± 563			718 ± 518
Acenaphthylene	1.33 ± 0.52			1.12 ± 0.07			2.74 ± 0.67			2.35 ± 0.33			2.28 ± 0.46			3.27 ± 0.50			88 ± 154			88.0 ± 76.9
Acenaphthene	0.64 ± 0.07			0.61 ± 0.03			0.87 ± 0.08			0.77 ± 0.07			0.31 ± 0.02			0.51 ± 0.06			22.1 ± 38.5			30.4 ± 26.1
Fluorene	1.73 ± 1.16			0.92 ± 0.05			1.35 ± 0.59			1.20 ± 0.23			0.56 ± 0.08			1.12 ± 0.33			46.2 ± 79.4			100 ± 95.8
Phenanthrene	3.94 ± 1.17			3.01 ± 0.45			13.58 ± 3.93			10.00 ± 2.46			2.98 ± 0.34			3.87 ± 0.77			63.0 ± 108			109 ± 96.7
Anthracene	1.41 ± 1.12			0.69 ± 0.08			3.23 ± 1.07			2.19 ± 0.59			0.47 ± 0.08			0.89 ± 0.18			30.6 ± 54.2			49.4 ± 49.5
Fluoranthene	3.41 ± 0.13			1.76 ± 0.13			7.30 ± 1.72			5.27 ± 1.34			0.71 ± 0.13			1.58 ± 0.46			16.3 ± 24.5			28.7 ± 23.2
Pyrene	4.09 ± 0.60			1.92 ± 0.19			7.82 ± 2.08			5.45 ± 1.33			0.74 ± 0.09			1.81 ± 0.46			18.4 ± 27.3			30.1 ± 23.7
7H-Benzo[c]fluorene	0.18 ± 0.03			0.12 ± 0.01			0.24 ± 0.05			0.20 ± 0.02			0.09 ± 0.00			0.13 ± 0.03			2.6 ± 4.4			5.6 ± 6.0
Benzo[c]phenanthrene	0.33 ± 0.07			0.15 ± 0.01			0.46 ± 0.11			0.34 ± 0.07			0.04 ± 0.01			0.14 ± 0.03			2.5 ± 4.3			3.8 ± 4.0
Benzo[a]anthracene	0.92 ± 0.08			0.45 ± 0.05			1.41 ± 0.32			1.05 ± 0.23			0.11 ± 0.01			0.40 ± 0.13			6.5 ± 10.4			8.8 ± 8.8
Cyclopenta[cd]pyrene	0.70 ± 0.11			0.40 ± 0.03			1.09 ± 0.36			0.78 ± 0.15			0.17 ± 0.01			0.38 ± 0.09			5.7 ± 9.1			6.7 ± 6.7
Chrysene	0.94 ± 0.06			0.52 ± 0.05			1.52 ± 0.27			1.17 ± 0.22			0.16 ± 0.01			0.45 ± 0.14			7.3 ± 11.9			9.1 ± 9.2
5-Methylchrysene	n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			1.00 ± 0.26			0.9 ± 0.8
Benzo[e]acephenanthrylene	0.37 ± 0.03			0.23 ± 0.03			0.64 ± 0.15			0.45 ± 0.11			0.03 ± 0.00			0.17 ± 0.06			2.0 ± 2.8			2.1 ± 1.9
7,12-dimethyl-Benz[a]anthracene	n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			4.6 ± 4.0			3.6 ± 2.2
Benzo[k]fluoranthene	0.19 ± 0.02			0.12 ± 0.01			0.31 ± 0.08			0.21 ± 0.05			0.029 ± 0.003			0.14 ± 0.12			0.50 ± 0.59			0.60 ± 0.37
Benzo[j]fluoranthene	0.27 ± 0.02			0.18 ± 0.01			0.40 ± 0.08			0.30 ± 0.07			0.050 ± 0.002			0.12 ± 0.01			1.10 ± 1.53			1.32 ± 1.26
Benzo[e]pyrene	0.23 ± 0.01			0.16 ± 0.02			0.40 ± 0.08			0.29 ± 0.07			0.036 ± 0.002			0.12 ± 0.03			1.10 ± 1.56			1.26 ± 1.07
Benzo[a]pyrene	0.32 ± 0.01			0.22 ± 0.02			0.54 ± 0.12			0.38 ± 0.09			0.04 ± 0.003			0.16 ± 0.05			1.56 ± 2.2			1.74 ± 1.6
3-Methylcholanthrene	n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			0.30 ± 0.14			0.39 ± 0.11
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	0.127 ± 0.005			0.097 ± 0.011			0.180 ± 0.063			0.116 ± 0.024			0.025 ± 0.001			0.064 ± 0.015			1.00 ± 1.52			0.80 ± 0.77
Dibenzo[a,h]anthracene	0.037 ± 0.004			0.032 ± 0.003			0.045 ± 0.011			0.034 ± 0.005			0.020 ± 0.001			0.027 ± 0.003			0.30 ± 0.41			0.25 ± 0.23
Benzo[ghi]perylene	0.138 ± 0.009			0.110 ± 0.010			0.186 ± 0.056			0.120 ± 0.022			0.032 ± 0.002			0.074 ± 0.013			0.60 ± 0.88			0.51 ± 0.37
Dibenzo[a,i]pyrene	0.041 ± 0.001			0.040 ± 0.002			0.041 ± 0.001			n.d.			n.d.			n.d.			0.10 ± 0.12			0.12 ± 0.05
Dibenzo[a,j]pyrene	n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			0.20 ± 0.007			n.d.
Dibenzo[a,h]pyrene	n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			n.d.			0.20 ± 0.002			n.d.