令和 7 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）

石英繊維フィルターと粒状活性炭を用いるタバコから発生する揮発性有機化合物，カルボニル化合物，吸着性有機ハロゲン化合物（AOX）の同時分析

内山茂久，稲葉洋平（国立保健医療科学院）

研究要旨 タバコ主流煙中の VOCs，カルボニル化合物，ならびに吸着性有機ハロゲン化合物（AOX: AOF, AOCl, AOBr）を同時に評価可能な分析法を開発し，その適用性を検討した．
石英繊維フィルター–粒状活性炭（QF–ACB）複合カートリッジを用いてタバコ主流煙を捕集し，二相溶出法により VOCs を GC/MS，カルボニル化合物を HPLC で分析した．さらに，同一試料について，二硫化炭素（CS_2）溶出後に残存する吸着剤を燃焼イオンクロマトグラフィー（CIC）で分析することで，高沸点有機ハロゲン化合物（AOX-high）を定量した．また，直接燃焼により全有機ハロゲン化合物（AOX-total）も測定した．
標準ガスを用いた検討では，低沸点フルオロカーボン類は CS_2 パージにより除去される一方，フルオロテロマーアルコール類（FTOHs）は吸着剤上に残存することが確認された．さらに，標準燃焼タバコ（1R6F）および加熱式タバコ（IQOS）の主流煙分析では，既知の VOCs およびカルボニル化合物に加え，AOF，AOCl，AOBr 由来のハロゲン化物イオンが検出された．本手法は，従来の VOCs およびカルボニル化合物分析に加え，毒性評価上重要な高沸点有機ハロゲン化合物を同時に評価可能な新規手法として，タバコ煙曝露評価への応用が期待される．

A. 研究目的

近年，タバコ主流煙に含まれる化学物質による健康影響が広く懸念されている．タバコ主流煙には多種多様な有害化学物質が含まれており，代表的な成分として，ニコチン，1,3-ブタジエン，ベンゼンなどの揮発性有機化合物（VOCs），ならびにアセトアルデヒドやアクロレインなどのカルボニル化合物が報告されている．一方で，タバコ煙中には未同定あるいは十分に評価されていない化学物質も数多く存在すると考えられる．

ペルフルオロアルキルおよびポリフルオロアルキル物質（PFAS）は，その環境残留性および健康影響の観点から大きな社会的関心を集めている．これらの化合物は環境中で極めて安定であり分解されにくいため，生体内への蓄積およびそれに伴う健康影響が懸念されている [1]．ヒトへの曝露経路としては，飲料水，食品，空気，土壌，および消費者製品との接触などが報告 [2] されているが，喫煙による曝露の可能性については十分に検討されていない．

吸着性有機フッ素化合物（AOF, Adsorbable Organic Fluorine）は，環境試料中に存在する有機フッ素化合物の総量を評価するための指標として用いられている．特に，水試料を活性炭に吸着させた後，燃焼イオンクロマトグラフィー（CIC）によりフッ素を定量する方法は，US EPA により公定法として採用されている [3]．一方，気体試料中の AOF 測定に関する報告はほとんどない．

しかし，我々が開発してきた VOCs，カルボニル化合物分析用の固体捕集／二相溶出法 [4-6] に用いる固体捕集管を，水試料と同様に高温燃焼し，生成した燃焼ガスを純水に吸収させた後，イオンクロマトグラフィーでフッ化物イオンを分析することで，気体試料への AOF 測定への適用が可能であると考えられる．さらに，本手法は VOCs およびカルボニル化合物との同時分析への展開も期待される．

そこで本研究では，タバコ主流煙中に含まれる VOCs，カルボニル化合物，および AOF を同時に測定可能な分析手法の開発および適用性の評価を行った

B. 実験

燃焼イオンクロマトグラフィー（CIC）

AOX の測定には，試料燃焼装置（AQF-5000H；日東精工アナリテック株式会社）を使用した．装置の概略図を Fig. 1 に示す．

イオンクロマトグラフィー（IC）分析

陰イオン分析には，電気伝導度検出器を備えたイオンクロマトグラフィー（IC）システム（Dionex ICS-2100 Integrated Reagent-Free；Thermo Fisher Scientific）を使用した．分離カラムには DX IonPac AS11-HC（250 mm × 4 mm i.d.）を，ガードカラムには AG11-HC（50 mm × 4 mm i.d.）を用いた．サプレッサーには ASRS 300（4 mm）RFIC 自己再生型サプレッサーを接続した．溶離液は，Dionex 自動溶離液生成装置（EGC 500 KOH）

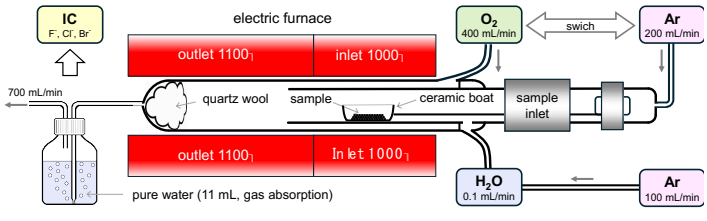


Fig. 1. Overview of the combustion system.

により生成した水酸化カリウム溶離液を用い，グラジエント溶出を行った．グラジエント条件は，2 mM KOH を 2 分間保持後，20 分間で 11 mM まで昇濃し，さらに 5 分間で 35 mM まで昇濃した後，35 mM を 13 分間保持した．注入量は 25 µL，流量は 1.0 mL/min とした．

ガスクロマトグラフィー質量分析（GC/MS）

GC/MS は島津製作所製 QP2010 Ultra を使用した．分離カラムは GL Sciences 社製 InertCap AQUATIC-2（60 m × 0.25 mm i.d.，1.4 µm）を用い，カラム温度 40℃を 6 分間保持した後，250℃まで 35 分間で昇温（6℃/min）した．キャリアガスにはヘリウムを用い 0.61 mL/min の流速で分析した。注入量は 1 µL（スプリットインジェクション，スプリット比 10：1，セプタムパージ 1 mL/min）で，インジェクター温度は 240℃とした．質量分析の条件は，m/z 40－500 のフルスキャンモードおよび SIM モード，イオン化電圧は 70 eV である．

高速液体クロマトグラフィー（HPLC）

HPLC は，LC-20AD 送液ポンプを 2 台，SIL-20AC オートサンプラーと SPD M20A フォトダイオードアレー検出器を備えた島津製作所製 Prominence LC-20 を使用した．分離カラムは Ascentis RP-Amide（3 µm particle size，150 mm × 3 mm i.d.，Supelco 社製）を用い，カラムオーブン温度 30℃，注入量 10 µL とした．グラジェントモードの HPLC 分析には，移動相に 10 mmol/L の酢酸アンモニウムを含むアセトニトリル（50%）と水（50%）の混合溶液（A 溶液）と，アセトニトリル（80%）と水（20%）の混合溶液（B 溶液）を用いた．カラム流量 1 mL/min で A 溶液 100%を 5 分間保ち，50 分間で B 溶液を 100%にした後，10 分間 B 溶液 100%を保った。

粒子状物質および気体成分捕集用カートリッジの作製

260 mg のアクティブカーボンビーズ（ACB）をガラス管に秤量し，純窒素（50 mL/min）を流しながら，チューブコンディショナー（TC-20，Markes 社，UK）を用いて 380 ℃で 5 時間コンディショニングした．室温まで冷却後，処理した活性炭を両端にフリットを備えた空のポリエチレン製固相抽出（SPE）チューブ（3 mL，Supelco 社，USA）に充填し，ACB カートリッジ[7]を作製した．

石英繊維フィルター（QF）はメタノールで洗浄後，100 ℃で乾燥させ，さらに電気炉中で 1000 ℃，60 分間コンディショニングした．乾燥後，QF を直径 9 mm の円形に打ち抜き，ACB カートリッジの入口側に設置すること

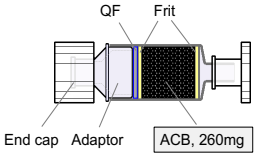


Fig. 2. Outline of the PSD-ACB and QF–ACB cartridge.

で，QF–ACB 複合カートリッジ[4]を作製した．作製した QF–ACB カートリッジの概略図を Fig. 2 に示す．さらに，QF–ACB カートリッジと同様に 260 mg の ACB を充填した受動喫煙測定用拡散サンプラーPSD-ACB[7,8]も使用した．

タバコ主流煙の捕集

主流煙の捕集の概要を Fig. 3 に示す．QF-ACB カートリッジをホルダーにセットした後，自動喫煙装置に取り付けバコ主流煙を捕集した．自動喫煙装置の喫煙プロトコールは，Canadian Intense Regime（HCI 法）に準拠し，吸煙量は 55 mL，2 秒に設定した．

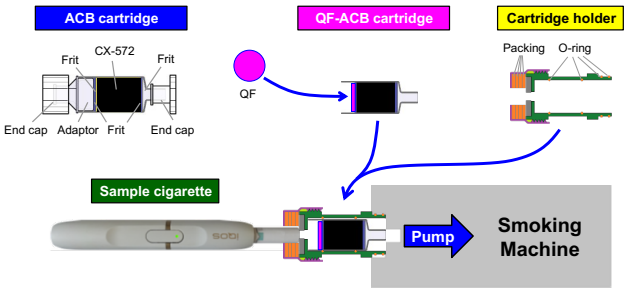


Fig. 3. Schematic of the mainstream smoke collection system using a QF-ACB cartridge.

分析方法

本研究における分析の概要とフローチャートをそれぞれ Fig. 4, Fig. 5 に示す．

method A（VOC，カルボニル化合物および高沸点有機ハロゲン化合物）

VOC，カルボニル化合物：サンプラーから半分量（130 mg）の ACB および半分にカットした QF を 2.5 mL バイアルに移し，二硫化炭素（CS_2）0.5 mL を添加し，5 分間静置する．メタノールを 2 mL 添加し振盪する．0.5 mL を 1.5 mL バイアルに分取し GC/MS で VOCs を分析する．この溶液に濃縮 DNPH を 50 µL 添加しカルボニル化合物を誘導体化する．アクロレイン誘導体の分解を防ぐためにエタノールを 2 mL 添加した後 HPLC でカルボニル化合物誘導体の分析を行った．

method B（高沸点有機ハロゲン化合物，AOX-high）：VOC，カルボニル化合物分析用に分取（0.5 mL）した残りの溶出液（2 mL）を自然蒸発により除去し乾固させる．その後，残存する ACB および QF をセラミック製燃焼ボートに移し，試料燃焼装置を用いて約 1000 ℃で燃焼させた．燃焼ガスは 11 mL の純水に捕集し，溶液中のフッ化物イオンを含む陰イオンを IC により定量した（Fig. 4, method A）．

method B（全有機ハロゲン化合物，AOX-total）：サンプラーから半分量（130 mg）の ACB および半分にカットした QF を磁製燃焼ボートに移し，1000 ℃で燃焼させる．燃焼により発生したガス成分を 11 mL の吸収液に捕集し，溶液中のフッ化物イオンを含む陰イオンをイオンクロマトグラフィー（IC）により定量する（Fig. 4, method B）．

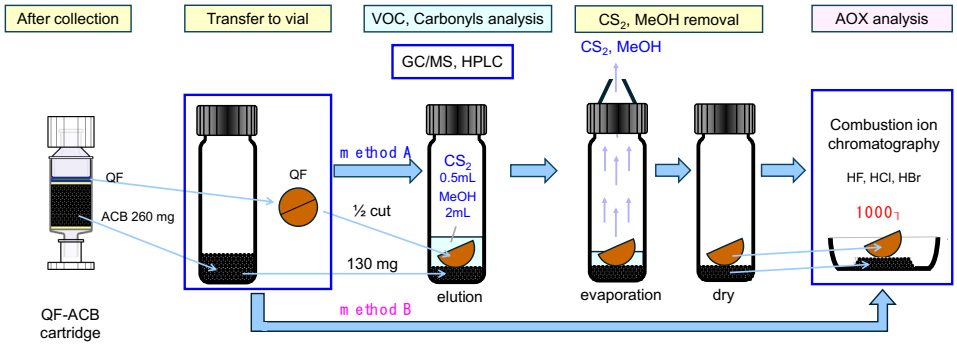


Fig. 4. Schematic diagram of AOF analysis by QF-ACB cartridge using method A and method B.

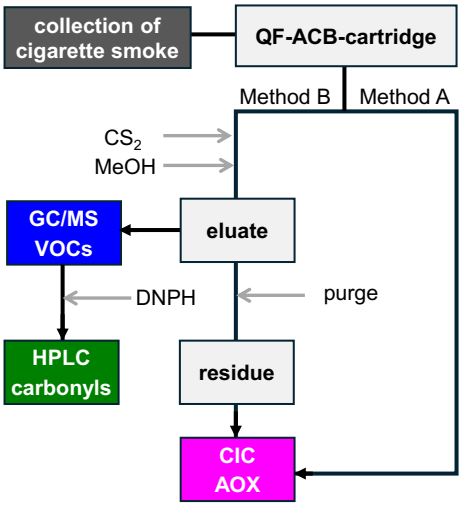


Fig. 5. Analytical flowchart for the simultaneous determination of VOCs, carbonyl compounds, and AOX using a QF–ACB cartridge.

C. 結果と考察

フロン類および VOCs

TO-14 標準ガスを流量 20 mL/min で 100 分間，QF–ACB カートリッジに通気した．method A に従い，ACB 130 mg を 1.5 mL オートサンプラーバイアルに移し，VOCs を溶出させるため二硫化炭素（CS_2）0.5 mL を添加した．得られた溶出液を GC/MS により分析した．

Fig. 6 上段に示すように，CFC-12 からヘキサクロロ-1,3-ブタジエンに至るすべての VOCs は ACB に効率的に吸着され，CS_2により良好に溶出されることが確認された．

その後，残存する CS_2を自然蒸発により完全に除去した．乾燥後，同試料に再度 CS_2を添加して溶出し，GC/MS により分析した（Fig. 6 下段）．そのクロマトグラムから，トルエンより保持時間の短い化合物において回収率が著しく低下していることが明らかとなった．特に，CFC-12，CFC-114 および CFC-11 などのフロン類はすべて揮発し，これらのピークは検出されなかった．

Fig. 7 に保持時間と VOC 回収率の関係を示す．CS_2パージ後の VOCs 回収率は，パージ前後のピーク面積比から算出した．その結果，VOC 回収率は各化合物の保持時間に強く依存することが示された．本研究で使用した AQUATIC-2 のような非極性分離カラムでは，分離機構は主として分配（蒸気圧）に支配され，沸点の高い物質ほど保持時間が長くなる傾向にある．Fig. 8 に示すように，VOCs の保持時間と沸点の間には良好な相関関係が認められた．

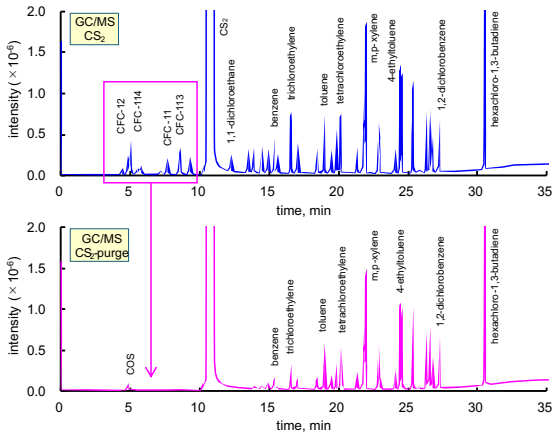


Fig. 6. GC/MS chromatograms of CS_2 eluate (upper) and CS_2-purge (lower).

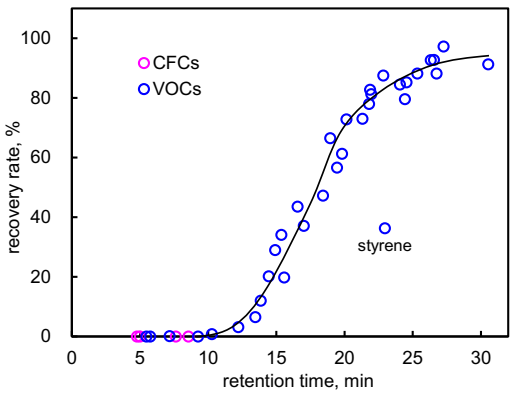


Fig. 7. Relationship between the retention time of each VOC and its recovery rate.

CIC 分析

TO-14 標準ガスを流量 20 mL/min で 100 分間，QF–ACB カートリッジに通気した後，method A（CS_2溶出・

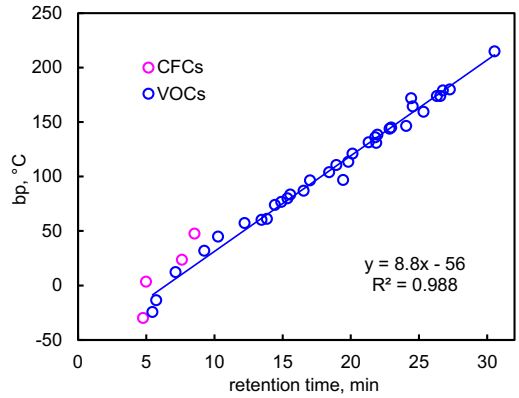


Fig. 8. Relationship between the retention time of each VOC and its boiling point.

蒸発後燃焼）および method B（直接燃焼）に従って AOX を分析した．両方法により得られたイオンクロマトグラムを Fig. 9 に示す．

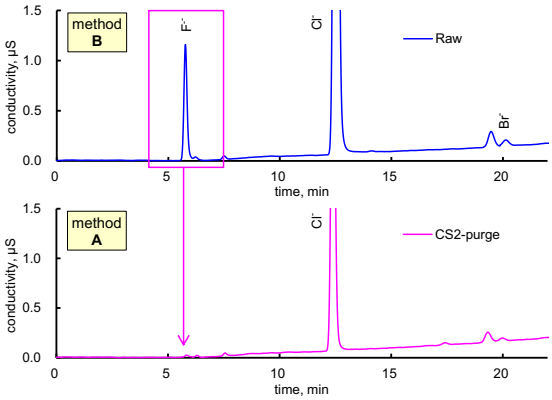


Fig. 9. CIC chromatograms of the TO-14 reference gas obtained by Method A (upper) and Method B (lower).

method A による分析では，フルオロカーボン類に由来する大きなフッ化物イオンピークが観測されたが，CS_2を添加し，パージを行った method B は，フッ素イオンのピークはほぼ完全に消失していることが確認された．

TO-14 標準ガスの濃度および ACB カートリッジへの通気時間に基づいて F，Cl，Br の添加量を算出し，CIC による分析値と比較した．その結果を Table 1 に示す．分析値と理論値は良好に一致しており，本研究で用いた CIC 分析法が高い精度を有することが確認された．

Table 1. Theoretical amounts of fluorine, chlorine, and bromine adsorbed onto the ACB using this standard gas and the analytical values obtained by CIC. (µg)

Amount of halogens	F	Cl	Br
Theoretical value	16	210	20
Analytical value by CIC	16	250	22

フルオロカーボン類（フロン類）は 1995 年末に製造および使用が禁止されているにもかかわらず，現在も地球対流圏中にバックグラウンド濃度で残存している．日本においては，2020 年に測定された大気中濃度が，CFC-11 で 1300 ng/m³，CFC-12 で 2500 ng/m³であり，CFC 類の総バックグラウンド濃度は約 5600 ng/m³と報告されている．これらの化合物は，AOF，AOCl として検出される可能性がある．

しかしながら，本研究の結果から，ACB に吸着した VOCs を CS_2で溶出し，続いて CS_2パージを行った場合，CFC-12，CFC-114，CFC-11，および CFC-113 といった低沸点のフルオロカーボン類は，CS_2とともに揮発し，ACB 上には残存しないことが明らかとなった．これらのフルオロカーボン類は毒性学的観点からの重要性が比較的低いことを考慮すると，AOF，AOCl の定量対象から除外することは妥当であると考えられる．

フルオロテロマーアルコール類（FTOHs）

FTOHs は，大気中に存在するガス状 PFAS として報告されている重要な物質である．本研究では，4:2 FTOH，8:2 FTOH，6:2 FTOH，4:3 FTOH，6:3 FTOH，および 4:8 FTOH をそれぞれ 5 µg ずつ，130 mg の ACB に吸着させ，フロン類と同様の手順で実験を行った．

CS_2 パージ前後に得られた GC/MS クロマトグラムを Fig. 10 に示す．その結果，大部分の FTOHs は CS_2パージ後も揮発せず，ACB 上に吸着したまま残存することが確認された．

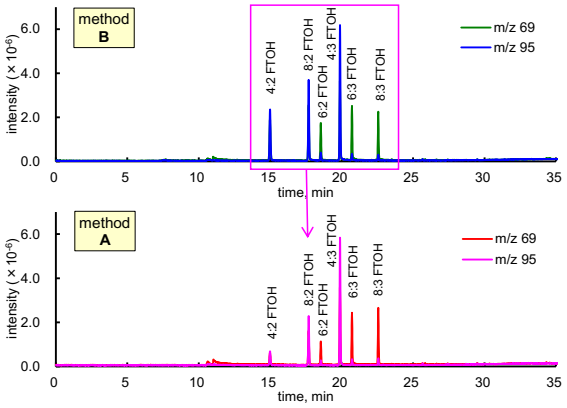


Fig. 10. GC/MS chromatograms of FTOHs obtained by Method A (upper) and Method B (lower).

method B では，まず PSD-ACB 抽出液中の VOCs を GC/MS により定量する．その後，抽出液中の CS_2を自然蒸発により除去し，残存する ACB を後日 AOF 分析用試料として保管することが可能である．本手法により，VOC 分析後の試料を活用して AOF の追加分析を行うことができ，分析時期に柔軟性を持たせつつ，データ品質を損なうことなく AOF を定量できることが確認された．

タバコ主流煙の分析

本研究で開発した method A と method B を用いて標準燃焼タバコ（1R6F）と加熱式タバコ（IQOS）主流煙の分析を行った．GC/MS，HPLC，CIC クロマトグラムをそれぞれ Fig. 11，Fig. 12，Fig. 13 に示す．GC/MS で分析された主要な VOCs は 1,3-ブタジエン，ベンゼン，トルエ

ン，グリセロール，トリアセチン，ニコチン等であるが，我々が行ってきた固体捕集／二相溶出法と同等のピークパターンである．

HPLC により分析された主要なカルボニル化合物は，ホルムアルデヒド，アセトアルデヒド，アセトン，アクロレイン，プロパナール，クロトンアルデヒド，2-ブタノン，メタクロレインなどであり，そのクロマトグラムのピークパターンは，我々がこれまでに報告してきた固体捕集／二相溶出法による結果 [4-6] と概ね一致した．

CIC 分析については，method B による直接燃焼で得られたクロマトグラム（Total）と，method A による CS_2溶出および溶媒除去後に得られたクロマトグラム（High）に分けて示した．

その結果，フッ化物イオン，塩化物イオン，臭化物イオン，および硫酸イオンが検出された．ACB には微量の硫黄成分が含まれている可能性があるため，燃焼過程において硫酸イオンが生成したものと考えられる．また，method A では溶出溶媒として二硫化炭素（CS_2）を使用している

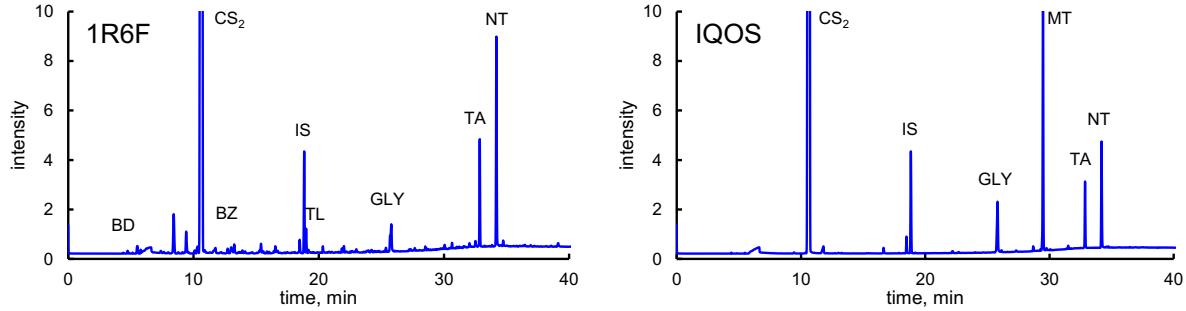


Fig. 11. GC/MS chromatograms obtained from mainstream smoke of 1R6F and IQOS by method B. BD, 1,3-butadiene; BZ, benzene; TL, toluene; GLY, glycerol; MT, menthol; TA, triacetin; NT, nicotine

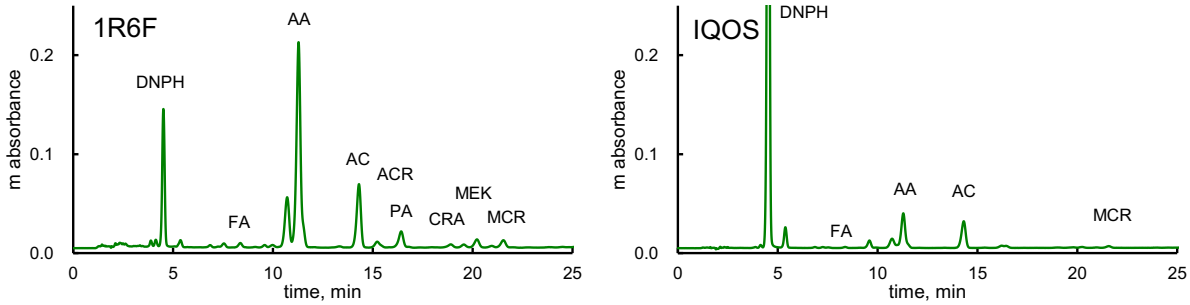


Fig. 12. HPLC chromatograms obtained from mainstream smoke of 1R6F and IQOS by method B. FA, formaldehyde; AA, acetaldehyde; AC, acetone; ACR, acrolein; PA, propanal ; CRA, crotonaldehyde; MEK, 2-butanone; MCR, methacrolein

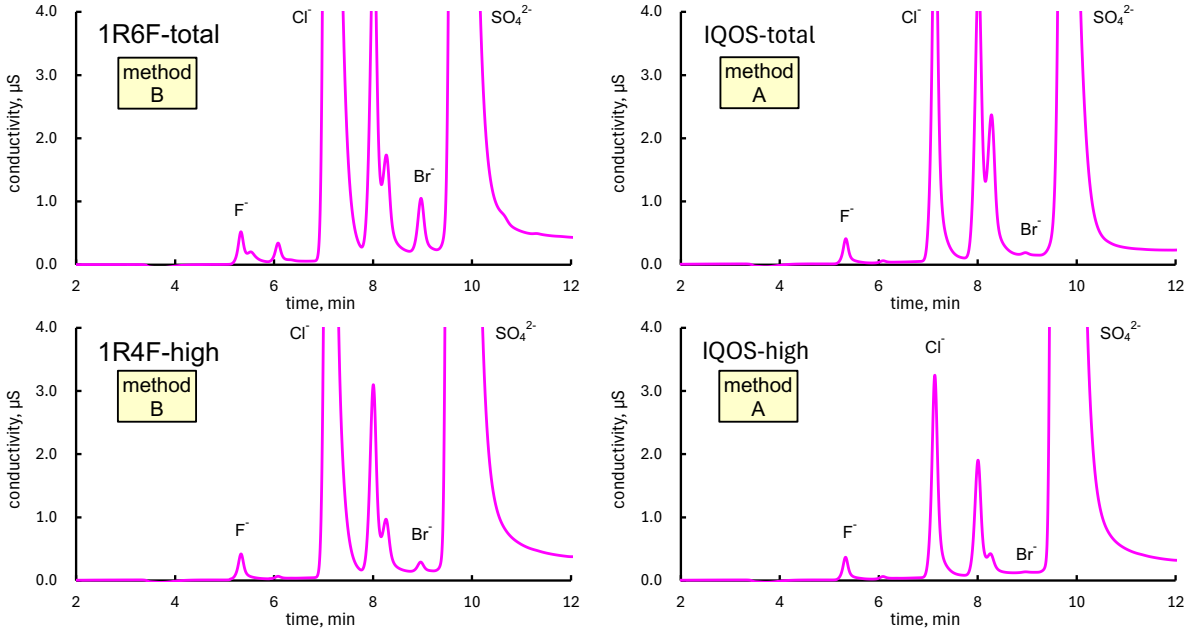


Fig. 13. CIC chromatograms obtained from mainstream smoke of 1R6F and IQOS by method A and method B.

ことから，残存する CS_2が燃焼時に酸化され，硫酸イオンの生成量が増加した可能性も考えられる．

クロマトグラム上で検出されたフッ化物イオン，塩化物イオン，および臭化物イオンは，それぞれ AOF，AOCl，および AOBr に由来するものと解釈される．Method A により得られる高沸点 AOX 画分には，毒性が比較的低いクロロフルオロカーボン（CFCs）などの低分子揮発性ハロゲン化合物が含まれないため，毒性評価やリスク評価において有用な指標となる可能性がある．

分析された VOCs，カルボニル化合物，AOX の量を Table 2 に示す．参考として，HQ-ACB カートリッジを用いて室内空気を測定した時の濃度（μg/m^3）も併せて表記した．

AOF について，燃焼タバコ（1R6F）からは AOF-total（全有機フッ素化合物）が 0.11 μg/cig，AOF-high（高沸点有機フッ素化合物）が 0.08 μg/cig 検出された．一方，加熱式タバコ（IQOS）からは，AOF-total が 0.10 μg/cig，AOF-high が 0.09 μg/cig 検出され，両者で同程度の濃度を示した．室内空気中の AOF-total および AOF-high はそれぞれ 0.44 および 0.02 μg-F/m³ であり，低沸点有機フッ素化合物が大部分を占めていた．前述のとおり，低沸点有機フッ素化合物としては，大気中にバックグラウンドレベルで存在する CFCs の寄与が推測される．一方，タバコ主流煙の捕集では，12 puff におけるガス捕集量が約 660 mL と比較的少ないため，周囲空気中のバックグラウンド由来成分の影響は限定的であったと考えられる．

AOF の発生源は明確ではないが，タバコ葉の乾燥・加工工程，包装材，あるいは製造設備由来のフッ素含有化合物の移行が一因である可能性が考えられる．

Table 2. Amount of AOX, VOCs, and carbonyl compounds in mainstream cigarette smoke and indoor air.

compounds	1R6F	IQOS	Indoor air (μg/m^3)
AOF-total (μg-F/cig)	0.11	0.10	0.44
AOF-high (μg-F/cig)	0.08	0.09	0.02
AOCl-total (μg-Cl/cig)	34	2.5	0.20
AOCl-high (μg-Cl/cig)	16	1.3	0.11
AOBr-total (μg-Br/cig)	0.82	0.03	0.04
AOBr-highl (μg-Br/cig)	0.14	0.01	n.d.
1,3-butadiene (μg/cig)	90	0.35	n.d.
isoprene (μg/cig)	1200	2.0	n.d.
acrylonitrile (μg/cig)	30	0.15	n.d.
benzene (μg/cig)	120	0.74	0.74
acetol (μg/cig)	58	0.81	n.d.
propylene glycol (μg/cig)	270	360	n.d.
toluene (μg/cig)	210	2.0	4.8
furfural (μg/cig)	160	35	n.d.
glycerol (μg/cig)	50	5000	n.d.
menthol (μg/cig)	4.6	1900	n.d.
nicotine (μg/cig)	2100	1100	n.d.
formaldehyde (μg/cig)	29	3.7	21
acetaldehyde (μg/cig)	1600	280	21
acetone (μg/cig)	510	220	9.9
acrolein (μg/cig)	140	8.0	0.6
propanal (μg/cig)	160	16	26
crotonaldehyae (μg/cig)	29	3.8	0.2
2-butanone (μg/cig)	88	6.9	1.7
methacrolein	14	1.7	n.d.

AOCl について，燃焼タバコ（1R6F）からは AOCl-total（全有機塩素化合物）が 34 μg/cig，AOCl-high（高沸点有機塩素化合物）が 16 μg/cig 検出された．一方，加熱式タバコ（IQOS）からは AOCl-total が 2.5 μg/cig，AOCl-high が 1.3 μg/cig 検出された．AOCl はいずれの試料においても，有機ハロゲン化合物の中で最も高濃度であった．

燃焼タバコにおいて高濃度を示した要因として，タバコ葉の栽培過程で使用された有機塩素系農薬の残留が関与している可能性がある．これらの化合物は葉中に残留し，燃焼あるいは熱分解過程で主流煙中へ移行することが報告 [9] されており，農薬由来の寄与が示唆される．

AOBr について，燃焼タバコ（1R6F）からは AOBr-total（全有機臭素化合物）が 0.82 μg/cig，AOBr-high（高沸点有機臭素化合物）が 0.14 μg/cig 検出された。一方，加熱式タバコ（IQOS）からは AOBr-total が 0.03 μg/cig，AOBr-high が 0.01 μg/cig と著しく低い濃度であった．この結果は，臭素含有有機化合物の生成または放出が，燃焼過程に強く依存している可能性を示唆している．

AOBr の発生源としては，タバコ葉中に微量含有される臭素化化合物，あるいは難燃剤など臭素系添加剤由来成分の熱分解生成物の寄与が考えられるが，現時点では詳細は不明であり，個別化合物レベルでの同定が今後の課題である．

D. まとめ

本研究では，HQ-ACB カートリッジ／溶媒除去法を開発し，単一のタバコ試料から吸着性有機ハロゲン化合物（AOX），揮発性有機化合物（VOCs），およびカルボニル化合物の３種類の化学種を同時に分析できることを明らかにした．さらに，溶媒蒸発法を組み合わせることで，AOF について，比較的毒性の低い chlorofluorocarbons などの低沸点有機フッ素化合物と，毒性学的懸念の高い per- and polyfluoroalkyl substances に代表される高沸点有機フッ素化合物を区別して評価できることを示した．

本手法は，タバコ煙中に含まれる多様な有害化学物質の包括的評価に有用であり，タバコ製品由来の曝露評価および健康リスク評価への応用が期待される．

文　献

1. Sunderland EM, Hu XC, Dassuncao C, Tokranov AK, Wagner CC, Allen JG. A review of the pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs) and present understanding of health effects. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. Mar 2019;29(2):131-147. doi:10.1038/s41370-018-0094-1

2. Fromme H, Tittlemier SA, Völkel W, Wilhelm M, Twardella D. Perfluorinated compounds--exposure assessment for the general population in Western countries. *Int J Hyg Environ Health*. May 2009;212(3):239-70. doi:10.1016/j.ijheh.2008.04.007

3. EPA U. Method 1621 Determination of Adsorbable Organic Fluorine (AOF) in Aqueous Matrices by Combustion Ion Chromatography (CIC), January 2024 2024;

4. Uchiyama S, Noguchi M, Takagi N, et al. Simple Determination of Gaseous and Particulate Compounds Generated from Heated Tobacco Products. *Chem Res Toxicol*. 2018/07/16 2018;31(7):585-593. doi:10.1021/acs.chemrestox.8b00024

5. Uchiyama S, Tomizawa T, Inaba Y, Kunugita N. Simultaneous determination of volatile organic compounds and carbonyls in mainstream cigarette smoke using a sorbent cartridge followed by two-step elution. *Journal of Chromatography A*. 2013;1314(0):31-37. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2013.09.019

6. Uchiyama S, Hayashida H, Izu R, Inaba Y, Nakagome H, Kunugita N. Determination of nicotine, tar, volatile organic compounds and carbonyls in mainstream cigarette smoke using a glass filter and a sorbent cartridge followed by the two-phase/one-pot elution method with carbon disulfide and methanol. *Journal of Chromatography A*. 2015;1426:48-55. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2015.11.058

7. Uchiyama S, Tomizawa T, Tokoro A, et al. Gaseous chemical compounds in indoor and outdoor air of 602 houses throughout Japan in winter and summer. *Environmental Research*. 2015;137(0):364-372. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.005

8. Uchiyama S, Noguchi M, Hishiki M, et al. Long-term monitoring of indoor, outdoor, and personal exposure to gaseous chemical compounds. *Science of The Total Environment*. 2024/01/01/ 2024;906:167830. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167830

9. Hoffmann D, Rathkamp G. Chemical Studies on Tobacco Smoke: V. Quantitative Determination of Chlorinated Hydrocarbon Insecticides in Cigarette Tobacco and its Smoke. *Contributions to Tobacco & Nicotine Research*. 1968;4(5):201-214. doi:10.2478/cttr-2013-0186

本研究に関する研究発表

学会発表

内山茂久, 堀田哲男, 稲葉洋平, 小倉裕直, 磯部友彦，中山祥嗣　石英繊維フィルターとアクティブカーボンビーズを用いる空気中吸着性有機フッ素化合物（AOF）の分析　第 34 回環境化学討論会, 2025 年 7 月 15 日～7 月 18 日, 山形

内山茂久，戸次加奈江，高口倖暉，江口哲史，稲葉洋平，磯部友彦，中山祥嗣　拡散サンプラー PSD-BPE/DNPH, PSD-DBA を用いる空気中二酸化窒素の同時分析　第 34 回環境化学討論会，2025 年 7 月 15 日～7 月 18 日，山形

斎藤みのり，内山茂久，稲葉洋平，金勲，小倉裕直，牛山明，林基哉，篠原直秀　拡散サンプラーを用いた仮設住宅の空気汚染調査 ― 新築，既存住宅との比較 ―　第 34 回環境化学討論会，2025 年 7 月 15 日～7 月 18 日，山形

内山茂久，堀田哲男，稲葉洋平　石英繊維フィルターと粒状活性炭を用いるタバコから発生する吸着性有機フッ素化合物（AOF）の分析　分析化学会第 74 年会　2025 年 9 月 24 日（水）～26 日（金），北海道大学

稲葉洋平，伊原圭祐，内山茂久，牛山 明　尿中 DNA/RNA 損傷体の分析法の確立　分析化学会第 74 年会　2025 年 9 月 24 日（水）～26 日（金），北海道大学

稲葉洋平，内山茂久，戸次加奈江，楠瀬翔一，牛山明　電子たばこ主流煙に含まれる多環芳香族炭化水素類，一酸化炭素の分析　第 62 回全国衛生化学技術協議会年会

稲葉洋平，内山茂久，戸次加奈江，楠瀬翔一，牛山明　加熱式たばこはニコチン依存性が低いのか？たばこ葉から主流煙への移行率からの評価　日本公衆衛生学会　2026 年 10 月 29 日～31 日，静岡県コンベンションアーツセンター

戸次加奈江，内山茂久，稲葉洋平，楠瀬翔一，牛山明，篠原直秀　能登半島地震後の仮設住宅における室内空気質の評価と改善策の提案　日本公衆衛生学会，2026 年 10 月 29 日～31 日，静岡県コンベンションアーツセンター

K. Ito-Bekki1, S. Uchiyama1, Y. Inaba1, S. Kusunose1, A. Ushiyama1　Development of a Novel Monitoring Method for Exposure Assessment of Nitrogen-Containing Organic Compounds International Society for Environmental Epidemiology　ISES-ISEE Annual Meeting August 17-20, 2025, Atlanta

内山茂久，堀田哲男，稲葉洋平，小倉裕直，磯部友彦，中山祥嗣　石英繊維フィルターと粒状活性炭を用いる空気中吸着性有機フッ素化合物（AAOF）と揮発性有機化合物（VOC）の同時分析　2025 年室内環境学会学術大会，2025 年 12 月 2 日～12 月 5 日，北九州国際会議場

関口志保，戸次加奈江，内山茂久，稲葉洋平，楠瀬翔一，牛山明　イソシアネートの個人曝露モニタリングを目的とした拡散サンプリング法の開発　，日本薬学会第 147 年会（東京），20266 年 3 月 26 日～3 月 29 日，関西大学

戸次加奈江，稲葉洋平，内山茂久，楠瀬翔一，牛山明　加熱式たばこの使用が室内空気質に及ぼす影響とその評価手法の検討，日本薬学会第 147 年会（東京），2026 年 3 月 26 日～3 月 29 日，関西大学

加熱式たばこ主流煙中 PAHs の銘柄差・ブランド差および過去製品との時系列的変化　稲葉洋平，杉田和俊，内山茂久，戸次加奈江，楠瀬翔一，三宅祐一，鳥羽陽，牛山明，日本薬学会第 147 年会（東京），2026 年 3 月 26 日～3 月 29 日，関西大学