

高分解能 GC/Q-TOF による 消防士用防護製品の燃焼生成物の分析

アプリケーションノート

著者

Christiane Hoppe-Jones¹, Shawn Beitel¹,
Sofia Nieto², Nathan Eno², Craig Marvin³, and
Shane Snyder¹

¹ Department of Chemical and Environmental
Engineering, University of Arizona, Tucson, AZ,

² Agilent Technologies, Inc.
Santa Clara, CA

³ Agilent Technologies, Inc
Wilmington, DE

概要

癌は、消防士の疾病率や死亡率の主な要因の1つです [1,2]。消防士は消火中、煙に加えて、家具、カーペットなどから発生する、難燃剤などの高い濃度の有機化学物質やその燃焼生成物などにさらされます。フルスペクトル採取モードの高分解能 MS は、複雑なマトリックス中の環境汚染物質のノンターゲット分析、特に微量化合物の同定に対して非常に有効です。多環芳香族炭化水素 (PAH)、ポリ臭化ジフェニルエーテル (PBDE)、その他の燃焼生成物を同定するために、高分解能 Agilent 7250 GC/Q-TOF を使用しました。



Agilent Technologies

実験方法

サンプル収集と抽出メソッド

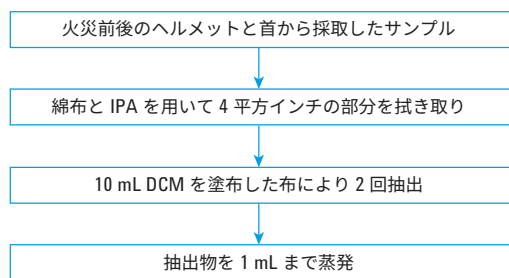


図 1. サンプル収集と抽出ワークフロー

分析

GC/MS 分析には、Agilent 7890B GC システム、新しい高分解能 (m/z 272 において 25,000) Agilent 7250 GC/Q-TOF、および Low-Energy 対応 EI イオン源を組み合わせて使用しました。

表 1 に、分析条件を示します。

表 1. Agilent 7250 GC/Q-TOF 分析条件

パラメータ	設定
カラム	Agilent DB-5MS、 0.25 mm × 30 m、0.25 μm
注入量	1 μL
注入モード	スプリットレス
スプリット/スプリットレス注入温度	280 °C
オープン温度プログラム	50 °C で 3 分、 10 °C/min で 300 °C まで上昇、 7 分維持
キャリアガス	ヘリウム、1.5 mL/min、定流量
トランスファライン温度	300 °C
イオン化モード	標準 EI、70 eV Low-Energy EI、15 eV および 12 eV
イオン源温度、 70 eV/15 eV 以下	240 °C/200 °C
四重極温度	150 °C
質量範囲	50 ~ 1,200 m/z
スペクトル採取レート	5 Hz

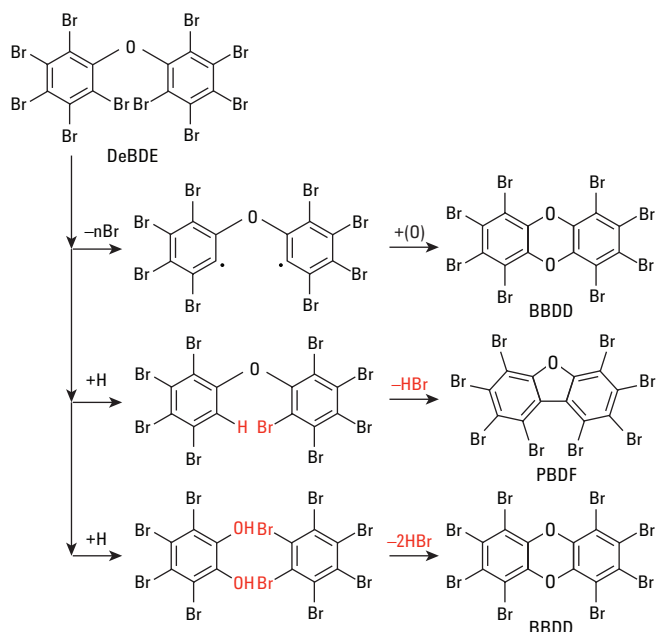


図 2. PBDE の分解、およびダイオキシンとフラン構造の形成

データ解析

データの取り込みには、Agilent 7250 精密質量高分解能 GC/Q-TOF システムを使用しました。最初に、Unknowns Analysis B.08.00 の SureMass 検出アルゴリズム機能を用いてデータを処理しました。最初の化合物同定は NIST14 EI ライブラリとのスペクトル比較により実施し、可能な場合はリテンションインデックス (RI) 照合により確認しました (図 3)。Unknowns Analysis の結果を基に、Agilent MassHunter Quantitative Analysis ソフトウェア B.08.00 で Quant メソッドを作成し、PAH および PAH 様化合物を半定

量しました (図 4)。未知臭素化化合物の PBDE および分子イオンを、Low-Energy EI 化合物スペクトルにより同定しました。MassHunter Qualitative Analysis B.08.00 の Molecular Formula Generator (MFG) を用いて、 m/z の全同位体クラス、相対同位体アバンダンス、および同位体比を評価し、分子イオンを確認しました。

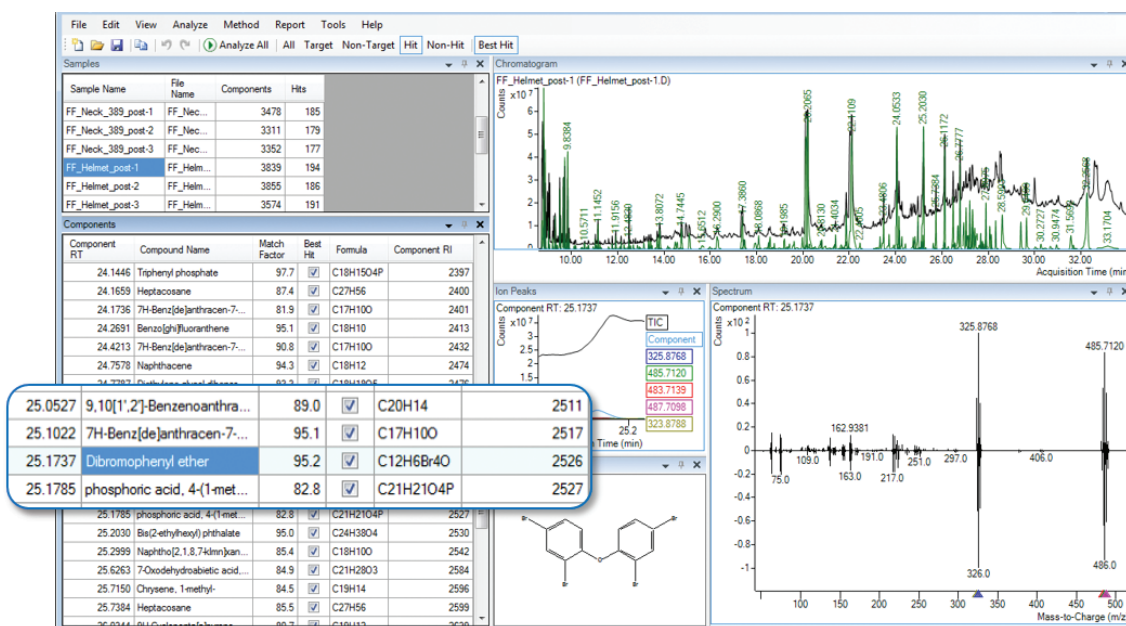


図 3. Unknowns Analysis B.08.00 および NIST14 とのスペクトル比較

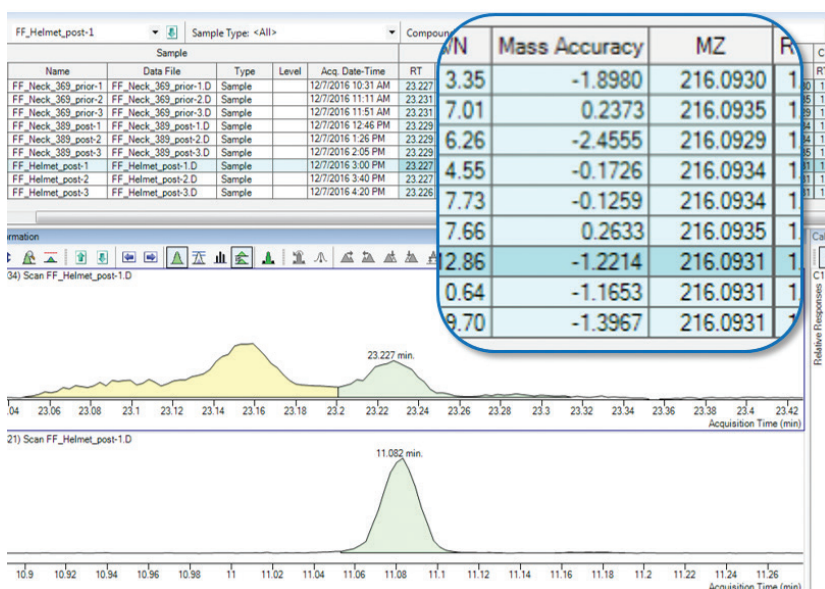


図 4. Agilent MassHunter Quant B.08 を用いた PAH の定量

相対アブダンスを基にした分析の結果、火災後のヘルメットで測定された主な PAH は、フルオランテン、ピレン、および大型の PAH でした。図 5 は、火災後のヘルメットの PAH および PAH 様化合物のアブダンスを示しています。

図 6 は、すべてのサンプル中の PAH、O 含有 PAH、および N 含有 PAH の合計を示しています。火災後のヘルメットの PAH は、皮膚での濃度を超えていました。火災後の皮膚サンプルは、すべてのグループの PAH が高い濃度を示していました。

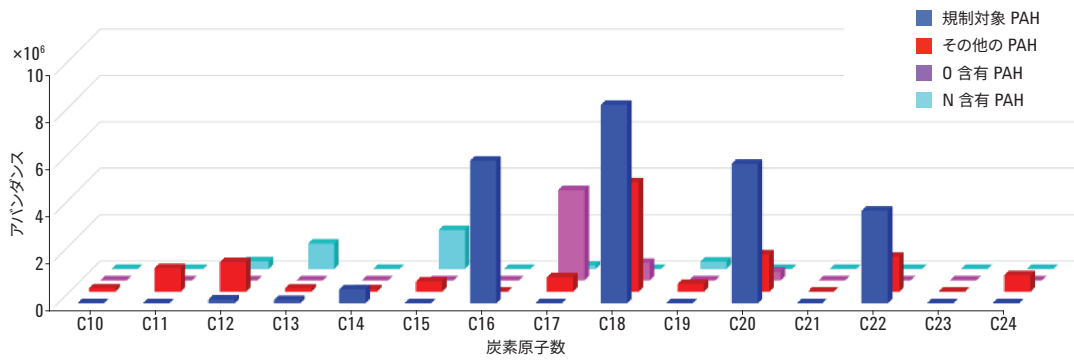


図 5. 火災後のヘルメットの拭き取りで検出された PAH および PAH 様化合物

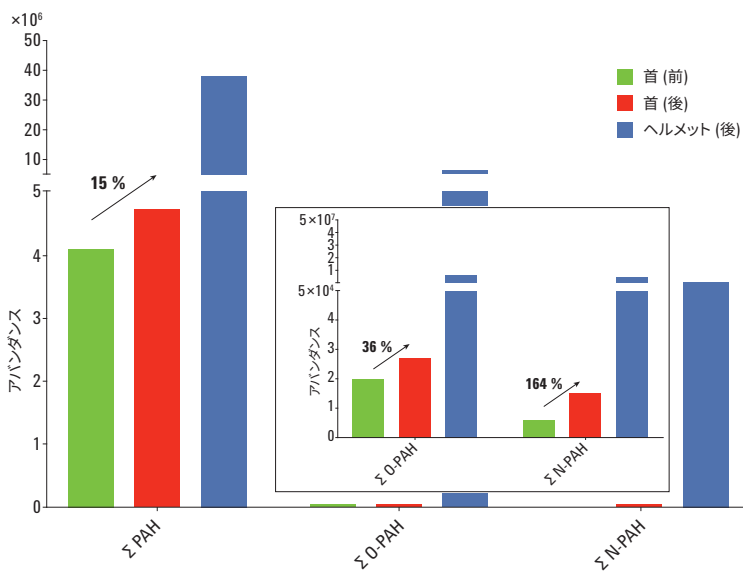


図 6. 火災前後の拭き取りで同定された総 PAH

臭素化化合物

臭素化化合物は、火災後のサンプルでのみ検出されました。これは、サンプルが煙にさらされたことに起因することを示しています。

火災後の首とヘルメットからは、難燃剤を含む燃焼物質に起因するトリ-BDE、テトラ-BDE、ペンタ-BDE、およびヘキサ-BDEの異性体が検出されました。表3に相対アバンダンスを示します。リテンションタイムは、未変性標準を用いて検証しました。

その他のBr含有化合物は火災後のヘルメットのみから検出され、首からは検出されませんでした。これらの化合物は、PBDE燃焼生成物(例えばC₆H₄Br₂O)および臭素化PAH(例えばC₁₀H₆Br)の可能性があります。図7と図8は、異なるイオン化エネルギーでのいくつかの臭素化化合物の質量スペクトルを示しています。Low-Energy EIは、未知化合物の分子イオン同定に有用でした。

表3. 火災後のサンプルで同定されたPBDEおよびその他の臭素化化合物のリスト

分子式	m/z	質量誤差 (ppm)*	分解能	MFG スコア	標準により 検証	リテンション タイム (分)	首: 火災前、 % アバンダンス	首: 火災後、 % アバンダンス	ヘルメット: 火災後、 % アバンダンス
C ₆ H ₄ Br ₂ O	249.8623	1.7	27336	98.34		13.15	n.d.	n.d.	15.26
C ₁₄ H ₂₁ BrO	284.077	0.92	26911	90.92		16.409	n.d.	n.d.	31.17
C ₇ H ₆ Br ₂ N ₂	277.9049	0.22	27495	88.15		19.891	n.d.	n.d.	5.72
C ₇ H ₆ Br ₂ N ₂ O	291.8841	0.99	26072	90.08		20.832	n.d.	n.d.	13.84
C ₁₀ H ₈ BrN ₂	235.9944	1.27	27136	97.41		21.122	n.d.	n.d.	1.53
C ₁₆ H ₉ Br	279.9882	1.69	26187	98.71		24.609	n.d.	n.d.	4.39
C ₁₅ H ₁₄ Br ₂ O ₂	383.9355	0.25	29880	95.36		25.88	n.d.	n.d.	0.32
C ₁₂ H ₇ Br ₃ O	403.8047	0.45	31609	90.67	トリ-BDE	22.687	n.d.	1.1	0.29
		0.23	29157	96.13		23.063	n.d.	1.41	0.4
C ₁₂ H ₆ Br ₄ O	481.7152	1.36	30425	91.87	テトラ-BDE	24.835	n.d.	0.9	0.4
		2.62	31364	95.40		25.175	n.d.	58.84	13.09
		1.15	27322	93.01		25.507	n.d.	0.69	0.3
C ₁₂ H ₆ Br ₅ O	559.6257	2.59	30367	95.05	ペンタ-BDE	26.684	n.d.	8.99	2.74
		2.03	30813	94.57		27.159	n.d.	25.29	9.26
		1.24	29448	91.29		27.974	n.d.	1.1	0.35
C ₁₂ H ₄ Br ₆ O	637.5357	0.7	30817	91.38	ヘキサ-BDE	28.335	n.d.	0.83	0.51
		1.7	31299	94.73		29.058	n.d.	0.85	0.43

* 質量誤差は、全同位体クラスターの重み付け平均質量誤差として計算

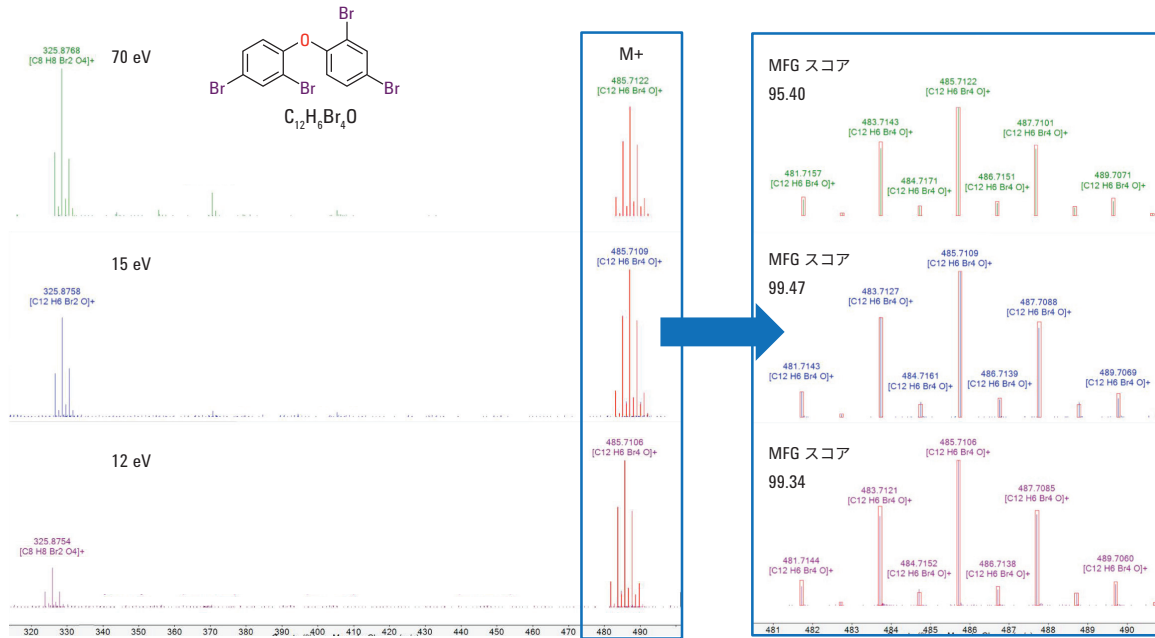


図7. 火災後の首の拭き取りで検出されたPBDEの例。MFGスコアは、質量精度、同位体間隔、および相対同位体アブダンス比を基にして計算

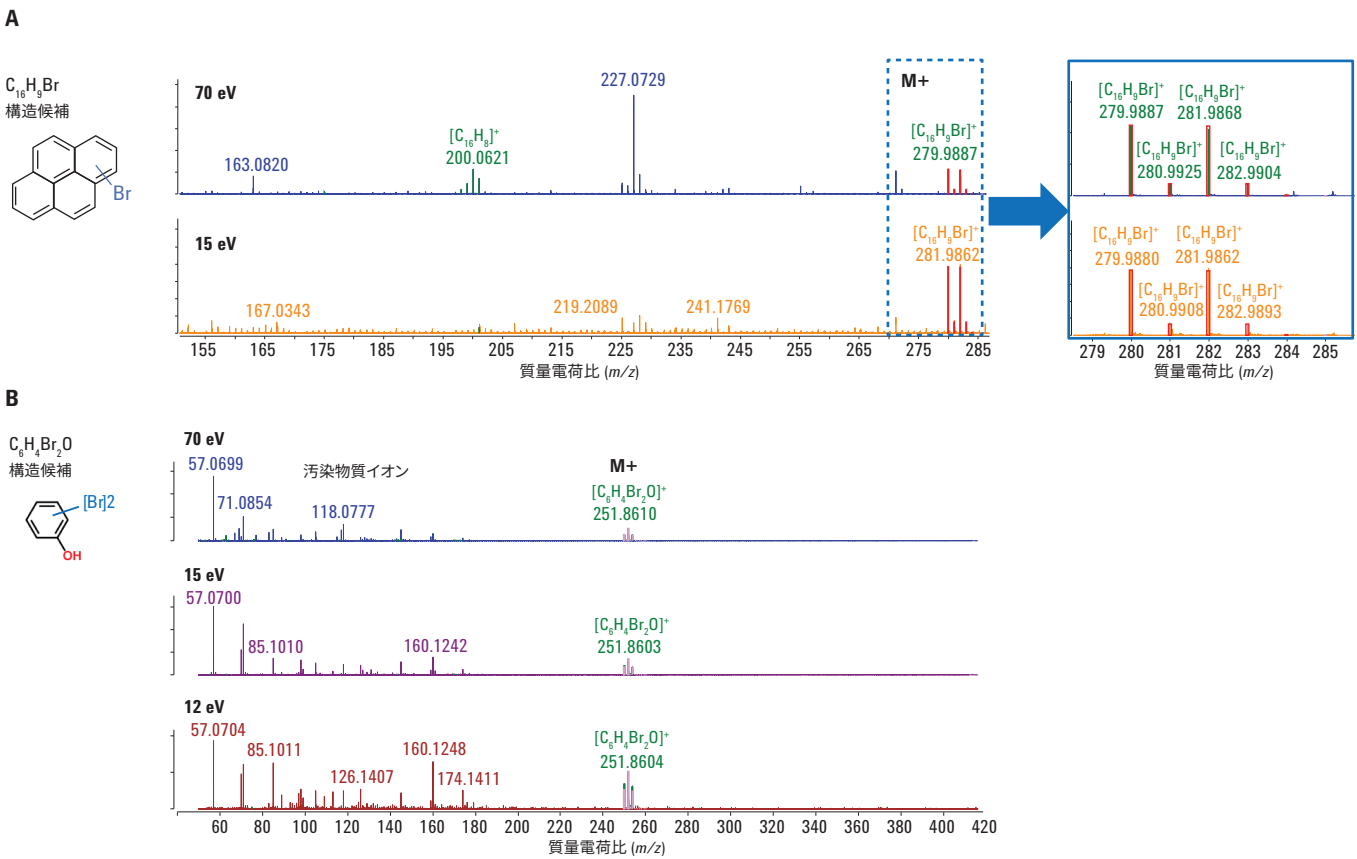


図8. 異なるイオン化エネルギーでの未知臭素化合物スペクトルの例。スペクトルは、MFGツールと Fragment Formula Annotation を用いてアノテートされ、アノテートされていないイオンは、共溶出化合物に起因する汚染物質イオンの可能性あり。左側に示したのは、70 eV および Low-Energy EI スペクトルに基づいた構造候補

結論

火災後に首を拭き取って見たところ、フードは煙関連の汚染物質を完全には遮断できていないことがわかりました。火災後の消防士の首とヘルメットから、PAH、PBDE、およびその他の臭素化化合物が検出されました。臭素化化合物は検出限界が低いため、消防士が煙にさらされたことを示すバイオマーカーとして機能します。

適用した GC/Q-TOF メソッドは、多数の PAH、PBDE、およびその他の臭素化燃焼生成物の検出に対して、非常に高感度で選択性があることが証明されました。

Low-Energy 対応 EI イオン源は、未知臭素化化合物の分子イオン同定に有用でした。

参考文献

1. M. N. Bates. "Registry-based case-control study of cancer in California firefighters" *Am. J. Ind. Med.* **50 (5)**, 339-344 (2007).
2. D. Kang, *et al.* "Cancer incidence among male Massachusetts firefighters 1987-2003" *Am. J. Ind. Med.* **51(5)**, 329-335 (2008).
3. S. Fernando. "Evaluation of firefighter exposure to wood smoke during training exercises at burn houses" *Environ. Sci. Tech.* **50**, 1536-1543 (2016).

詳細

本文書のデータは代表的な結果を記載したものです。アジレント製品とサービスの詳細については、アジレントのウェブサイト www.agilent.com/chem/jp をご覧ください。

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタマコンタクトセンタ

0120-477-111

email_japan@agilent.com

本製品は一般的な実験用途での使用を想定しており、医薬品医療機器等法に基づく登録を行っていません。本文書に記載の情報、説明、製品仕様等は予告なしに変更されることがあります。

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2017

Printed in Japan, July 6, 2017

5991-8197JAJP



Agilent Technologies