アプリケーションノート

環境

水素キャリアガスと Agilent HydroInert イオン源を用いた EPA TO-15 分析

シングル四重極質量分析計（GC/MS）と水素キャリアガスを組み合わせた冷媒不要の加熱脱着とガスクロマトグラフィーによる環境大気試験

著者

Laura Miles, Hannah Calder, and Helen Martin
Markes International Ltd.
Llantrisant, UK

Tarun Anumol, Amanda McQuay, and Angela Smith Henry
Agilent Technologies, Inc.
Wilmington, DE, USA

概要

環境大気モニタリングの分析では一般的に、ガスクロマトグラフィー /質量分析（GC/MS）とヘリウムキャリアガスが用いられます。最近はヘリウムの入手が困難になっているため、ラボでは水素キャリアガスについての積極的な調査が求められていますが、大部分の GC/MS 分析では、イオン源における感度、水素化、または脱塩素反応が低下してしまいます。このアプリケーションノートでは、加熱脱着予備濃縮に冷媒不要のシステムを使用した、相対湿度（RH）100 % における加湿キャニスターの「大気毒性」サンプルの GC/MS 分析での、水素キャリアガスと Agilent HydroInert イオン源の使用方法について説明します。また、プロペンからナフタレンまでに及ぶ、広い範囲の揮発性を持つ 65 種類のターゲット化合物の検出についても示します。この結果は、11 pptv という低いメソッド検出限界（MDL）を含む、米国環境保護庁（EPA）メソッド有害有機物-15（TO-15）で規定されている基準内に十分に収まっている、優れたピーク形状と性能を達成しました。

はじめに

環境大気中の化学物質のモニタリングでは、これらの物質が環境と地球全体の気候に与える影響について明らかにする必要があります。このモニタリングにより、主に環境（特に都市部の）大気、産業排出ガス、および埋立地ガス中の有害な可能性のある揮発性有機化合物（VOC）に関する懸念の高まりに応じて、各国の規制や国際的な規制の策定が推進されています。

これらの VOC の分析はいくつかの標準メソッドに従って実施されます。そしてこの分析では、吸着剤チューブ（ポンプ式またはパッシブ式）、キャニスター、またはオンライン手法のいずれかを使用する必要があります。各メソッドは、独自のメリットおよび一定範囲の適用性を備えていますが、米国や中国ではキャニスターサンプリングが最も一般的です。このアプローチを使用して必要な検出限界を達成するには、分析対象の成分に注目してバルク成分を選択的に除去するための予備濃縮が必要になります。このアプローチは、キャニスターで使用される最も一般的な標準メソッドである U.S. EPA メソッド TO-15 内で規定されています。[1]

キャニスターサンプリングは一般的であるにもかかわらず、対象となる成分と濃度の範囲がますます増大しているため、従来のキャニスター予備濃縮技術では対応が困難になっています。サンプリング位置での温度と湿度の範囲も問題になります。分析機器に水分が侵入すると、成分のレスポンスと再現性に悪影響を与えると同時に、カラムと検出器の寿命を縮める可能性があるため、高い湿度での操作は困難です。

ヘリウムの入手性はここ数年にわたる懸念事項であり、水素のような代替キャリアガスへの移行に対する関心が大きく高まっています。ただし、既存の MS システムには、高度に塩素化された化合物の脱塩素反応に関する問題が存在します。これらの問題は、トータルイオンクロマトグラム（TIC）内のピークの質量スペクトルに影響を与え、化合物の誤同定を引き起こす可能性があります。Agilent HydroInert イオン源は、Agilent 5977B イナートプラス GC/MSD 用に新しく設計されたエクストラクタイオン源です。水素に関連するこれらの問題に対応しており、GC/MS における水素キャリアガスの性能向上に効果があります。水素キャリアガス用の HydroInert イオン源は、質量スペクトルの正確さを維持しています。また、引き続き既存のヘリウムベースの質量スペクトルライブラリと定量メソッドを使用することもできます。

このアプリケーションノートでは、キャニスターオートサンプラ、革新的なトラップベースの脱水装置、および加熱脱着-ガスクロマトグラフィー /質量分析（TD）GC/MS を、水素キャリアガスおよび HydroInert イオン源と組み合わせて使用する方法について説明します。これにより、U.S. EPA メソッド TO-15 に従い、RH 100 % においてキャニスターのさまざまな揮発性「大気毒性」物質を分析できるようになります。「TO-15」という用語を使用して、一般的なキャニスターサンプリングについて説明しますが、今回の実験で重視している点は、メソッドの特定の要件の順守です。

U.S. EPA メソッド TO-15 の概要

主な操作を下に示します。

1. **サンプリング：**キャニスターをクリーニングして排気したら、サンプリング場所に移動させます。キャニスターバルブを開き、フローコントローラによりフィルタを通してキャニスターに空気を引き込みます。設定した定流量に対応するサンプリング時間に達したら、キャニスターバルブを閉じてキャップで密閉します。
2. **保管：**サンプルは室温で保管して、サンプリング後 20 日以内の可能な限り早い時点に分析する必要があります。
3. **サンプル分析：**既知量のサンプルを、脱水ユニットを通してキャニスターオートサンプラに接続されているキャニスターから、コンセントレータシステム内のマルチ吸着剤フォーカシングトラップに移します。脱水ユニットによりサンプルからほぼすべての水を除去し、トラップをパージしてサンプル内に残されている水蒸気をさらに減少させます。濃縮および乾燥ステップの完了後、VOC を加熱脱着し、キャリアガス流内に入れて、GC カラムに移してから分離します。
4. **化合物の同定と定量：**メソッド TO-15 では GC/MS を使用して、サンプルを定性および定量分析します。リニア四重極 MS では、広い *m/z* 範囲のモニタリング（スキャンモード）、またはイオン選択スキャン（SIM モード）パターンを使用して、関連するターゲット化合物をモニタリングすることができます。TIC 内の個別のピークの質量スペクトルを調査し、定量および定性イオンの強度に基づいて VOC を同定します。次に、取り込んだ質量スペクトルをライブラリスペクトルと比較して（同様の条件下で実施）、化合物を同定します。指定した化合物に対して、定量イオンのアバンダンスを既知濃度の化合物のアバンダンスと比較し、サンプル中の化合物の濃度を決定します。

実験方法

装置構成

この実験で使用した分析システムでは、マルチガス CIA Advantage-xr キャニスターオートサンプラと Kori-xr 脱水装置および UNITY-xr 加熱脱着装置を、Agilent 8890B GC、および HydroInert EI イオン源と 6 mm レンズ（部品番号 G3870-20448）を搭載した Agilent 5977B シングル四重極 GC/MSD システムと組み合わせました。

表 1 と 2 に、キャニスター、TD、GC、MS のパラメータを示します。

標準の前処理

特に記載がない限り、1 ppm で 65 種類の「大気毒性」化合物を含む 1 ppm の標準を、窒素バランスガスにより 6 L のキャニスターに希釈して 10 ppbv にしました。適切な量の水をキャニスターに注入して、RH を 100 % にしました。

結果と考察

結果のリストを表 A1 に示します（付録を参照）。

クロマトグラフィー

図 1 に、RH 100 % における 10 ppbv TO-15 標準の代表的な分析結果を示します。また図 2 に、広い範囲の揮発性を持つ 16 種類の成分について、抽出イオンクロマトグラム（EIC）を示します。特に、軽い VOC において優れたピーク形状を示しており、これは RH 100 % での成分トラップ前の脱水に使用した Kori-xr モジュールが効果的であったことを実証しています。

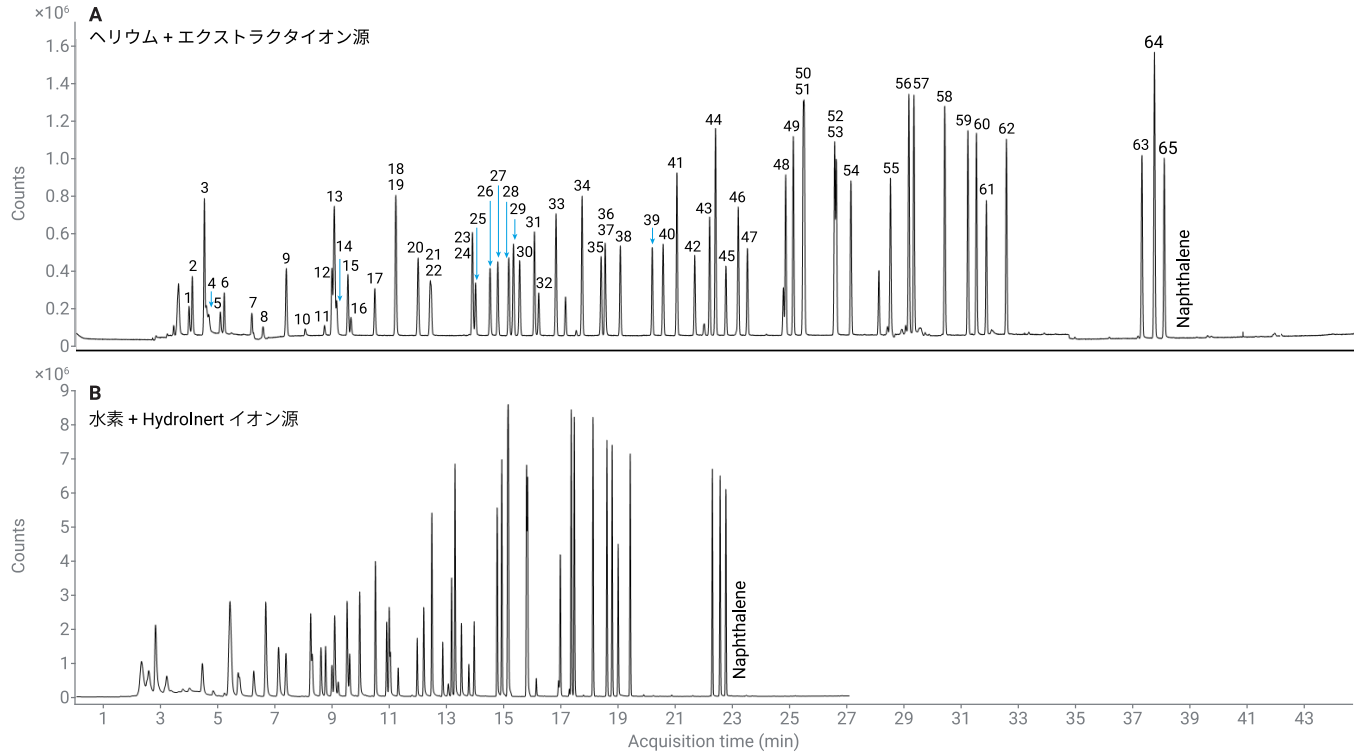
別の注目すべき点として、水素キャリアガスが GC サイクルタイムを 40 % 縮めていることがあります（45 分から 27 分に短縮）。これは、ナフタレンのリテンションタイムが 38 分から 23 分に短縮されていると同時に、すべての化合物においてリテンションタイムの順序が維持されていることにより示されています。クロマトグラフィーが高速化したことにより、サンプルスループットが大幅に向上しています。

表 1. GC と TD のパラメータ

パラメータ	値
ガスクロマトグラフ	Agilent 8890B GC
カラム	Agilent J&W DB-624、60 m × 0.25 mm、1.40 µm （部品番号 123-1364）
注入口	スプリットレス
注入口温度	120 °C
オーブン温度プログラム	30 °C（3 分間） 8.3 °C /min で 230 °C まで昇温（0 分間）
合計分析時間	27 分
MS トランスファーライン温度	230 °C
注入量	NA
キャリアガス	水素、2.0 mL/min 定流量
キャニスターサンプリング	
機器	CIA Advantage-xr（Markes International）
サンプル量	最大 400 mL（RH 50 ～ 100 % のサンプル用）
脱水	
機器	Kori-xr（Markes International）
トラップ温度	−30 °C /+300 °C
TD	
機器	UNITY-xr（Markes International）
フローパス	120 °C
スタンバイスプリット	10 mL/min
サンプル流量	50 mL/min
トラップパージ	1.0 分間、50 mL/min
トラップ脱着	2.0 分間、4 mL/min スプリット流量
コールドトラップ	フォーカシングトラップ：Air Toxics Analyzer （部品番号 U-T15ATA-2S）

表 2. MS パラメータ

パラメータ	値
イオン源	HydroInert イオン源
モード	電子イオン化、70 eV
イオン源温度	300 °C
四重極温度	200 °C
スキャン範囲	*m/z* 30 ～ 300



1. プロペン
2. ジクロロジフルオロメタン
3. ジクロロテトラフルオロエタン
4. クロロメタン
5. 塩化ビニル
6. ブタジエン
7. ブロモメタン
8. クロロエタン
9. トリクロロフルオロメタン
10. エタノール
11. アクロレイン
12. 1,1-ジクロロエテン
13. 1,1,2-トリクロロ-1,2,2-トリフルオロエタン
14. アセトン
15. イソプロパノール
16. 二硫化炭素
17. ジクロロメタン
18. 1,2-ジクロロエテン
19. *tert*-ブチルメチルエーテル
20. ヘキサン
21. 1,1-ジクロロエタン
22. 酢酸ビニル
23. *trans*-1,2-ジクロロエテン
24. メチルエチルケトン
25. 酢酸エチル
26. クロロホルム
27. テトラヒドロフラン
28. 1,1,1-トリクロロエタン
29. シクロヘキサン
30. テトラクロロメタン
31. 1,2-ジクロロエタン
32. ベンゼン
33. ヘプタン
34. トリクロロエテン
35. 1,2-ジクロロプロパン
36. メタクリル酸メチル
37. *o*-ジオキサン
38. ブロモジクロロメタン
39. *cis*-1,2-ジクロロプロペン
40. 4-メチルペンタン-2-オン
41. トルエン
42. *trans*-1,3-ジクロロプロペン
43. 1,1,2-トリクロロエタン
44. テトラクロロエテン
45. メチル *n*-ブチルケトン
46. クロロジブロモメタン
47. 1,2-ジブロモエタン
48. クロロベンゼン
49. エチルベンゼン
50. *m*-キシレン
51. *p*-キシレン
52. *o*-キシレン
53. スチレン
54. トリブロモメタン
55. 1,1,2,2-テトラクロロエタン
56. 4-エチルトルエン
57. 1,3,5-トリメチルベンゼン
58. 1,2,4-トリメチルベンゼン
59. 1,2-ジクロロベンゼン
60. 1,4-ジクロロベンゼン
61. 塩化ベンジル
62. 1,3-ジクロロベンゼン
63. 1,2,4-トリクロロベンゼン
64. ヘキサクロロブタジエン
65. ナフタレン

図 1. ヘリウム（A）および水素（B）ガスを使用した、RH 100 % における 400 mL で 10 ppbv の 65 種類の成分の TO-15 標準の分析結果。
ナフタレンのリテンションタイムが 38 分から 23 分に短縮され、GC サイクルタイムが 40 % 縮まったことを示しています。

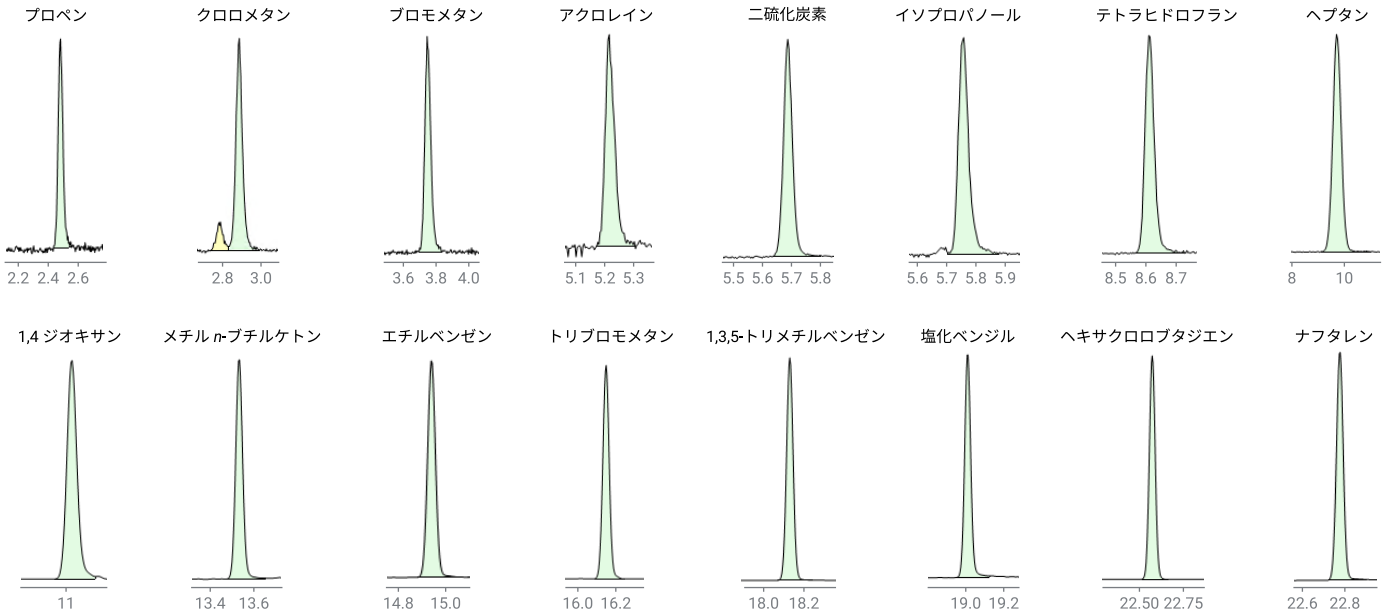


図 2. 選択した 16 種類の化合物を水素ガスを使用して 2.5 ppbv で分析した際の EIC の優れたピーク形状

スペクトルの正確さ

HydroInert イオン源では、水素キャリアガスの使用で発生する可能性のある水素化およびその他の反応を防止することにより、スペクトルの正確さを維持しています。65 種類の成分混合物中のすべての成分におけるライブラリ一致スコア（LMS）は、90 % を十分に上回っており、これはイオン源での不要な反応が防止されていたことを示しています。図 3 に、米国国立標準技術研究所のヘリウムライブラリ（NIST20）に対する一致スコアが高かった 2 つの例を示します。

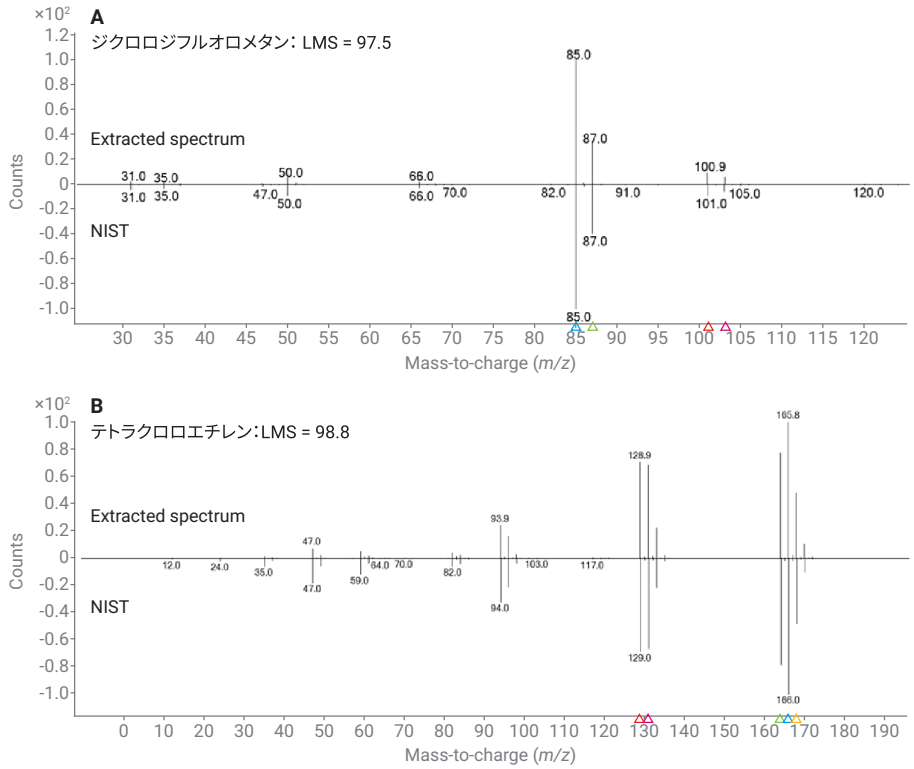


図 3. LMS およびジクロロジフルオロメタン（A）とテトラクロロエチレン（B）の抽出スペクトルと NIST スペクトルの比較。スペクトルの正確さは維持されています。

直線性

濃度の直線性を、0.5、1.25、2.5、5、7.5、および 10 ppbv で算出しました。

RH 100 % で優れたシステム直線性が得られており（表 A1）、0.50 ～ 10 ppbv での平均 R^2 値は 0.999 でした。図 4 は、広い範囲の揮発性を持つ 14 種類の化合物における、RH 100 % サンプルの直線性プロットを示しています。

メソッド検出限界

MDL は、0.1 ppbv でのサンプルの 7 回の繰り返し分析に基づいて算出しました。[2]メソッド TO-15 に適合するには、MDL が ≤ 0.5 ppbv である必要があります。

水素キャリアガスを用いた計算では、分析した 28 種類の化合物の平均 MDL は 28 pptv でした（表 3）。これはメソッド基準内に十分収まっており、メソッドコンプライアンスの達成が可能で、HydroInert イオン源を用いた TO-15 で優れた結果が得られることが確認されました。MDL 値は、4-エチルトルエンの 11 pptv から二硫化炭素の 53 pptv の範囲でしたが、唯一の外れ値はプロペンの 113 pptv でした。これらの値はすべて、要件である ≤ 0.5 ppbv を大幅に下回っています。

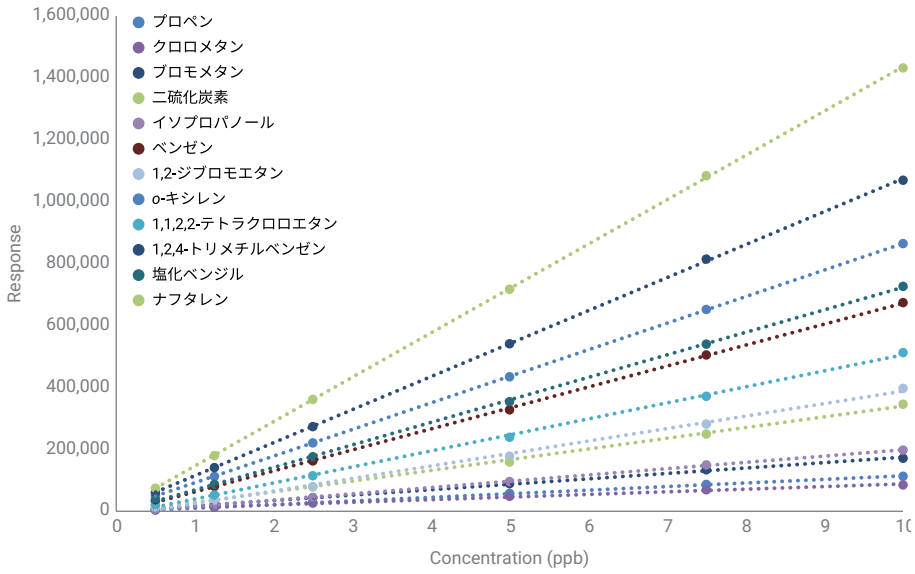


図 4. RH 100 % サンプルの広い範囲の揮発性を持つ 14 種類の化合物の 0.5 ～ 10 ppbv での直線性

表 3. RH 100 % サンプルの 0.1 ppbv での 28 種類の化合物の MDL 値

No.	化合物	水素 MDL（pptv）
1	プロペン	113
2	ジクロロジフルオロメタン	38
3	塩化ビニル	29
4	ブタジエン	33
5	1,1-ジクロロエテン	24
6	1,1,2-トリクロロ-1,2,2-トリフルオロエタン	25
7	二硫化炭素	53
8	ジクロロメタン	29
9	tert-ブチルメチルエーテル	16
10	酢酸ビニル	23
11	メチルエチルケトン	42
12	テトラクロロメタン	17
13	ベンゼン	19
14	ヘプタン	13

No.	化合物	水素 MDL（pptv）
15	メタクリル酸メチル	34
16	ブロモジクロロメタン	34
17	トルエン	14
18	テトラクロロエテン	13
19	1,2-ジブロモエタン	28
20	クロロベンゼン	14
21	エチルベンゼン	14
22	スチレン	23
23	1,1,2,2-テトラクロロエタン	16
24	4-エチルトルエン	11
25	1,3,5-トリメチルベンゼン	14
26	1,2-ジクロロベンゼン	17
27	ヘキサクロロブタジエン	23
28	ナフタレン	50
	平均	28

再現性

メソッド TO-15 では、キャリブレーションテーブル内の各化合物の相対レスポンス係数（RRF）の算出相対標準偏差（RSD）が 30 % 未満で、例外は多くても 2 つまで、その最大制限値は 40 % とするように要求しています。結果は、RH 100 % でのメソッド TO-15 の要件内に十分に収まっており、RSD は 7.47 % でした。さらに、RH 100 % における 10 ppbv での 10 回の繰り返し分析の平均面積 RSD は 1.22 % でした。RH 100 % での幅広い濃度にわたる 50 回の注入について、その平均リテンションタイム RSD は 0.09 % でした。基準には変動 < 1 % と記載されています（図 5）。UNITY-Kori-CIA Advantage-xr を使用して水を効率的に管理することにより、水素キャリアガスを使用した場合でも、安定したリテンションタイムおよび再現性の高いピーク面積レスポンスを実現できます。

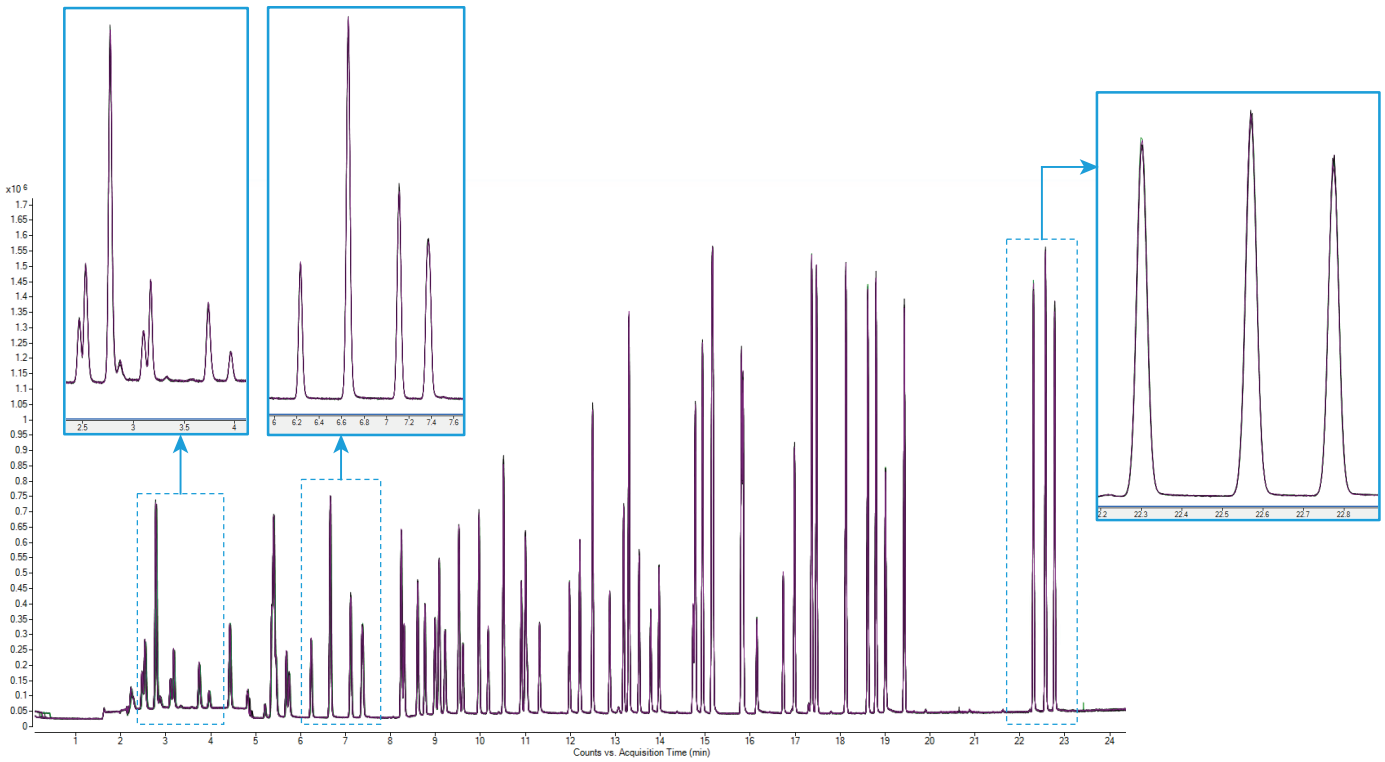


図 5. RH 100 % サンプルの濃度 10 ppbv での 10 回の繰り返し分析の重ね表示。平均リテンションタイム RSD は 0.09 % です。

実際の大気サンプル

実際の大気サンプルでのシステム性能を示すために、上述したものと同じ条件下で 400 mL のラボの空気を分析しました。TO-15 リストの 65 種類の成分のうち 7 種類が定量可能なレベルでした（図 6）。

ピーク番号	リテンションタイム（分）	化合物	濃度（ppb）
1	2.559	ジクロロジフルオロメタン	0.48
2	5.472	アセトン	1.47
3	5.765	イソプロパノール	1.66
4	10.966	メタクリル酸メチル	0.19
5	11.034	1,4-ジオキサン	0.43
6	12.498	トルエン	0.03
7	14.779	クロロベンゼン	0.01

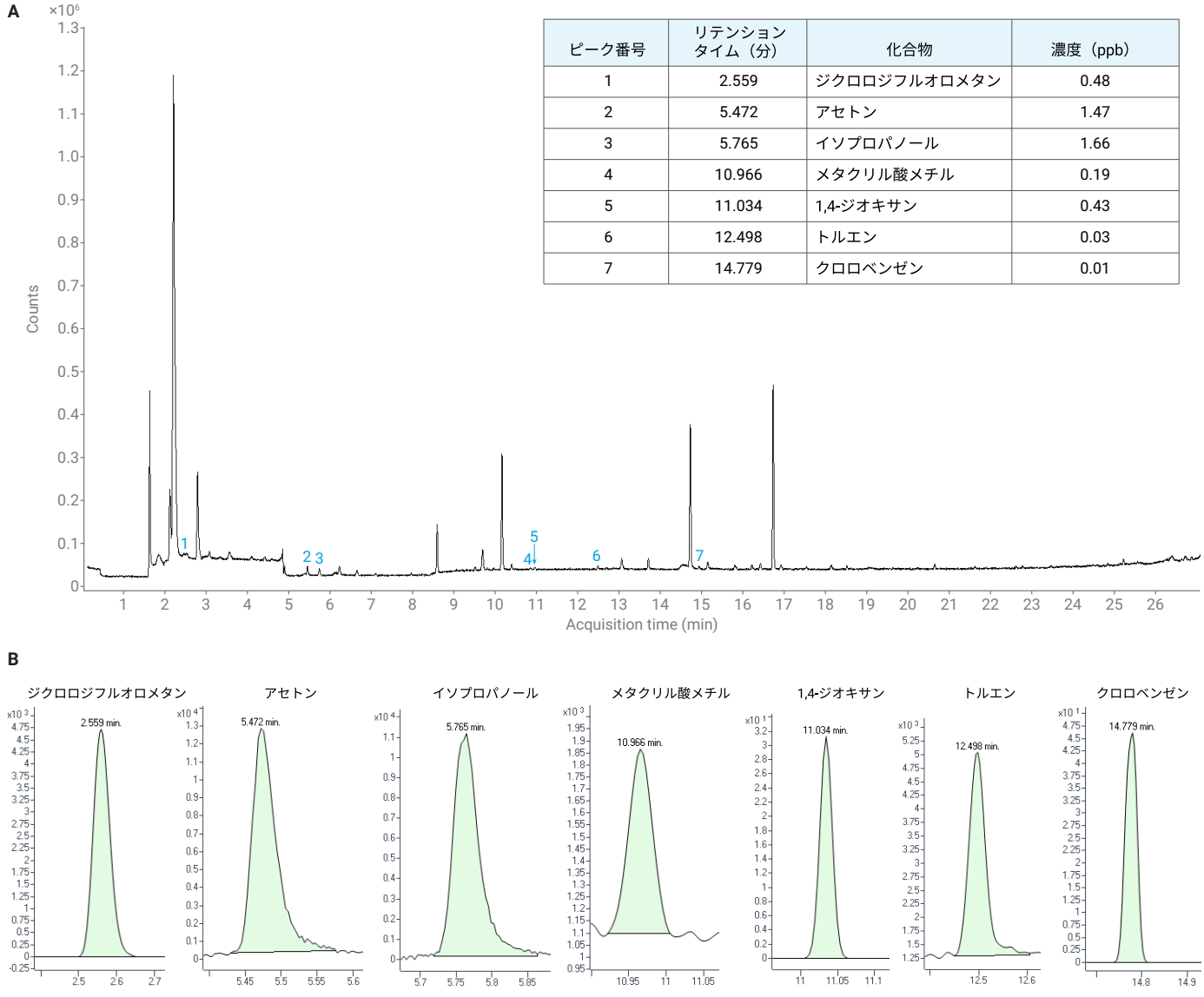


図 6.（A）上述した条件を使用して、400 mL の田舎の大気の分析から生成した実際のサンプルクロマトグラム。TO-15 リストの化合物を示しています。
（B）TO-15 リストから検出された 7 種類の化合物の拡大図

結論

Agilent 8890 GC を、Agilent 5977B シングル四重極 MS および水素キャリアガスを使用した CIA Advantage–Kori-xr–UNITY-xr 予備濃縮システムと組み合わせることにより、U.S. EPA メソッド TO-15 に従って、高湿度環境中の「大気毒性」物質を高い信頼性で分析できます。

結果の主な特長として、相対湿度 100 % での 65 種類の成分の TO-15 混合物（プロペンからナフタレンまで）の分析における、優れたクロマトグラフィー性能があります。性能はメソッド TO-15 の要件内に十分に収まっており、メソッド検出限界は 11 pptv という低い値です。

決定的なのは、TO-15 混合物中の特に揮発性の高い成分に対して、この性能が達成されたことです。その理由は、VOC および極性物質の分析に影響を与えずに、高湿度の空気流から水を効率的かつ選択的に除去したためです。さらに、電気式トラップ冷却を使用することにより、液体冷媒に関連するコストと手間を低減しています。Agilent HydroInert イオン源と水素キャリアガスは、質量スペクトルの正確さを維持しています。また、引き続き既存のヘリウムベースの質量スペクトルライブラリと定量メソッドを使用できます。GC/MSD の高い堅牢性と信頼性を活用することにより、システムを長期にわたって稼働できると同時に、U.S. EPA TO-15 の要件に適合したデータを生成できます。

参考文献

1. Compendium Method TO-15: Determination of Volatile Organic Compounds (VOCs) in Air Collected in Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), Compendium of Methods for the Determination of Toxic Organic Compounds in Ambient Air (second edition), *US EPA* **1999**. www.epa.gov/homeland-security-research/epa-air-method-toxic-organics-15-15-determination-volatile-organic
2. Chinese EPA Method HJ 759, Ambient Air – Determination of Volatile Organic Compounds – Collected by Specially-Prepared Canisters and Analyzed by Gas Chromatography/Mass Spectrometry, *Chinese Ministry of Environmental Protection* **2015**. http://kjs.mep.gov.cn/hjbhbz/bzwb/dqhjbh/jcgfffbz/201510/t20151030_315940.htm

付録

キャニスター分析用の従来のシステムの多くでは、液体冷媒を使用して VOC をトラップしています。Markes 社のシステムでは、代わりに電気式（ペルチェ式）冷却を使用して、液体冷媒によるコストを発生させずに、大容量サンプルの大部分の VOC を定量的に保持しています。

メソッド TO-15 には、クリーンであることを検査していないキャニスター（ターゲット VOC が 0.2 ppbv 未満の加湿ゼロ空気の直接分析と比較）は使用すべきでないと記載されています。

7 つの値に対して、99 % の信頼度で MDL を算出しました（MDL = 3.143 × 標準偏差 × 濃度）。

表 A1. ヘリウムおよび水素キャリアガスを使用し、RH 100 % での TO-15 標準で得られた分析結果データの比較。直線性（R^2）値は、ヘリウムキャリアガスを使用した分析では濃度範囲 0.22 ～ 10 ppbv、水素キャリアガスを使用した分析では 0.5 ～ 10 ppv で生成しました。

No.	化合物	ヘリウムキャリア（RH 100 %）			水素キャリア（RH 100 %）		
		RT（分）	RRF RSD（%）	RRF RSD（%）	RT（分）	RRF RSD（%）	RRF RSD（%）
1	プロペン	4.894	0.9997	6.3	2.47	0.9994	12.4 %
2	ジクロロジフルオロメタン	5.032	0.9998	5.6	2.53	1.0000	8.4 %
3	ジクロロテトラフルオロエタン	5.500	0.9997	7.7	2.77	0.9999	4.2 %
4	クロロメタン	5.686	0.9808	11.0	2.88	0.9929	9.3 %
5	塩化ビニル	6.122	0.9994	4.6	3.10	0.9997	10.1 %
6	ブタジエン	6.276	0.9998	2.0	3.17	0.9999	12.4 %
7	ブロモメタン	7.346	0.9988	14.4	3.74	0.9988	10.3 %
8	クロロエタン	7.723	0.9870	9.1	3.95	0.9999	5.2 %
9	トリクロロフルオロメタン	8.646	0.9999	6.2	4.42	0.9996	5.6 %
10	エタノール	9.299	0.9997	24.4	4.80	0.9990	20.9 %
11	アクロレイン	9.925	0.9993	9.3	5.20	0.9988	18.9 %
12	1,1-ジクロロエテン	10.258	0.9998	1.2	5.35	0.9999	13.2 %
13	1,1,2-トリクロロ-1,2,2-トリフルオロエタン	10.337	1.0000	4.8	5.40	0.9998	2.2 %
14	アセトン	10.401	1.0000	2.7	5.45	0.9999	5.1 %
15	イソプロパノール	10.868	0.9981	18.8	5.74	0.9996	14.2 %
16	二硫化炭素	10.884	0.9999	0.9	5.67	0.9984	5.6 %
17	ジクロロメタン	11.657	0.9998	2.0	6.23	0.9995	8.7 %
18	1,2-ジクロロエテン	12.461	0.9999	1.6	6.65	0.9997	11.8 %
19	*tert*-ブチルメチルエーテル	12.513	0.9997	4.2	6.65	0.9999	3.4 %
20	ヘキサン	13.285	0.9956	13.6	7.11	0.9999	2.3 %
21	1,1-ジクロロエタン	13.578	1.0000	5.5	7.36	0.9996	10.1 %
22	酢酸ビニル	13.737	0.9998	1.5	7.39	0.9981	12.5 %
23	*trans*-1,2-ジクロロエテン	15.112	0.9998	3.6	8.24	0.9997	11.4 %
24	メチルエチルケトン	15.127	0.9998	9.2	8.23	0.9998	6.9 %
25	酢酸エチル	15.314	0.9999	5.5	8.30	1.0000	4.7 %
26	クロロホルム	15.904	0.9999	5.5	8.76	0.9984	8.6 %
27	テトラヒドロフラン	15.912	0.9998	9.2	8.60	0.9997	6.8 %
28	1,1,1-トリクロロエタン	16.447	0.9999	8.2	8.99	0.9969	7.9 %
29	シクロヘキサン	16.637	0.9999	8.8	9.08	0.9997	2.6 %
30	テトラクロロメタン	16.902	1.0000	7.4	9.21	0.9942	11.1 %
31	1,2-ジクロロエタン	17.378	1.0000	3.5	9.61	0.9999	5.6 %
32	ベンゼン	17.390	0.9999	6.1	9.52	0.9998	2.0 %
33	ヘプタン	18.075	0.9995	19.0	9.97	0.9998	2.8 %
34	トリクロロエテン	19.022	0.9999	5.1	10.51	0.9990	10.0 %
35	1,2-ジクロロプロパン	19.557	0.9999	7.1	10.91	0.9990	4.9 %
36	メタクリル酸メチル	19.822	0.9989	2.9	11.00	0.9997	2.8 %
37	*p*-ジオキサン	19.914	0.9998	12.6	11.01	0.9981	15.6 %
38	ブロモジクロロメタン	20.227	0.9999	6.2	11.32	0.9953	11.9 %
39	*cis*-1,3-ジクロロプロペン	21.399	1.0000	4.5	11.98	0.9961	12.9 %
40	4-メチルペンタン-2-オン	21.760	0.9999	2.8	12.21	0.9996	5.6 %
41	トルエン	22.326	0.9999	16.3	12.50	1.0000	4.1 %
42	*trans*-1,3-ジクロロプロペン	22.810	0.9997	2.9	12.88	0.9973	13.1 %
43	1,1,2-トリクロロエタン	23.305	1.0000	7.9	13.19	0.9990	6.3 %

No.	化合物	ヘリウムキャリア（RH 100 %）			水素キャリア（RH 100 %）		
		RT（分）	RRF RSD（%）	RRF RSD（%）	RT（分）	RRF RSD（%）	RRF RSD（%）
44	テトラクロロエテン	23.828	1.0000	8.8	13.31	0.9996	2.9 %
45	メチル *n*-ブチルケトン	23.959	0.9998	2.5	13.53	0.9942	17.0 %
46	クロロジブロモメタン	24.398	0.9999	4.7	13.79	0.9973	12.6 %
47	1,2-ジブロモエタン	24.735	1.0000	4.4	13.98	0.9973	14.2 %
48	クロロベンゼン	26.102	1.0000	11.9	14.78	0.9998	2.2 %
49	エチルベンゼン	26.407	0.9999	20.2	14.94	1.0000	4.6 %
50	*m*-キシレン	26.732	1.0000	20.8	15.16	0.9999	4.7 %
51	*p*-キシレン	26.732	1.0000	20.8	15.16	0.9999	4.7 %
52	*o*-キシレン	27.837	1.0000	25.2	15.81	1.0000	5.7 %
53	スチレン	27.857	0.9999	10.3	15.84	1.0000	4.1 %
54	トリブロモメタン	28.376	0.9998	4.4	16.15	0.9976	6.8 %
55	1,1,2,2-テトラクロロエタン x	29.624	0.9999	6.8	16.99	0.9990	8.1 %
56	4-エチルトルエン	30.385	0.9999	6.3	17.37	1.0000	4.1 %
57	1,3,5-トリメチルベンゼン	30.551	1.0000	19.6	18.13	1.0000	4.5 %
58	1,2,4-トリメチルベンゼン	31.653	1.0000	10.4	17.48	0.9999	4.6 %
59	1,2-ジクロロベンゼン	32.485	0.9999	3.9	18.62	1.0000	1.0 %
60	1,4-ジクロロベンゼン	32.738	0.9999	3.3	18.80	0.9999	2.4 %
61	塩化ベンジル	33.107	0.9998	2.3	19.01	0.9998	2.0 %
62	1,3-ジクロロベンゼン	33.840	0.9999	7.4	19.43	0.9999	3.8 %
63	1,2,4-トリクロロベンゼン	38.594	0.9965	18.9	22.30	0.9998	2.2 %
64	ヘキサクロロブタジエン	39.121	0.9997	9.4	22.57	0.9988	7.5 %
65	ナフタレン	39.315	0.9975	19.7	22.78	1.0000	1.6 %
	平均値		0.9992	8.5		0.9990	7.5 %

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスト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おりません。
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。

DE14855333

アジレント・テクノロジー株式会社

© Agilent Technologies, Inc. 2022

Printed in Japan, September 27, 2022
5994-5359JAJP

Agilent
Trusted Answers