

土壌および堆積物中の揮発性有機化合物の測定

Agilent 7697A ヘッドスペースサンプラ、8890 GC、
5977B GC/MSD による分析

著者

Zhang Jie
Agilent Technologies Co. Ltd
Shanghai

概要

汚染された土壌および堆積物中の揮発性有機化合物 (VOC) を正確に検出することが、きわめて重要になっています。土壌および堆積物中の VOC の分析法として、中国環境保護部により、ヘッドスペース GC/MS メソッド HJ642-2013 が策定されています。このアプリケーションノートでは、中国の HJ642-2013 メソッドに従い、このターゲット分析に対する Agilent 7697A ヘッドスペースサンプラ、8890 GC、および 5977B MSD を組み合わせたプラットフォームの優れた機器性能を実証します。

はじめに

VOC は、常気圧下での沸点が 50 ～ 260 °C の有機化合物として定義され、幅広い産業で溶媒または化学中間物として使用されています。土壌や堆積物が汚染された危険物廃棄場では、トリクロロエテンやトルエンなどの VOC が最大の懸念となっていることも少なくありません。土壌修復には多大なコストがかかることから、汚染の深刻さと浄化の重要性の判断基準として、VOC を正確に測定することが不可欠になっています。

土壌および堆積物中の VOC の分析には、サンプル濃度に応じてヘッドスペース法またはパージ & トラップ法が使用されています。ヘッドスペース法には、操作が容易で、良好な再現性が得られるなどの利点があります。また、オートサンプラを使用でき、キャリアオーバーがほとんど生じません。

US EPA メソッド 5021¹ では、ヘッドスペース法による土壌および堆積物中の VOC の前処理に関するガイドラインが定められています。前処理後のサンプルの分析には、EPA メソッド 8260 でも言及されているように、ガスクロマトグラフィー / 質量分析法 (GC/MS) を使用できます。一方、HJ642-2013² は、土壌および堆積物中の VOC 36 種をヘッドスペース GC/MS により測定する手法として中国環境保護部が使用している標準メソッドです。HJ741-2015³ でも、サンプル前処理法としてヘッドスペース法が指定されています。EPA および中国のどちらのメソッドでも、ターゲット分析に適切に対処するために、効果的なサンプル前処理と信頼性の高い機器プラットフォームを使用することが要求されます。

超高感度イオン源 (HES) は、イオンの生成に変革をもたらす革新的な設計により、イオン収率を高め、検出下限を低減します⁴。このアプリケーションノートでは、7697A ヘッドスペースサンプラを装着した 8890 GC と HES 搭載 5977B GC/MSD を組み合わせた新たなプラットフォームを使用し、HJ642-2013 メソッドに従って、クリーンな石英砂および添加土壌サンプル中の VOC を分析しました。この分析を通して、ターゲット VOC 36 種の直線性、再現性、検出下限 (LOD)、および定量下限 (LOQ) と、メソッド精度をテストし、この新たなシステムで達成し得る性能を評価しました。

実験方法

化学物質および標準試料

原液: VOC 36 種の混合物の原液を濃度 1,000 mg/L のメタノール溶液として調製しました。内部標準原液は、濃度 2,000 mg/L のメタノール溶液として調製しました。内部標準物質には、フルオロベンゼン、クロロベンゼン-d₅、および 1,2-ジクロロベンゼン-d₄ を使用しました。また、サロゲートとしてトルエン-d₈ および 4-ブロモフルオロベンゼンを使用し、サロゲート標準溶液を濃度 2,000 mg/L のメタノール溶液として調製しました。

マトリックス修飾剤: 500 mL の有機物フリーの水にリン酸数滴を加えて pH ≤2 に調整し、分析グレードの塩化ナトリウムで飽和させました。

希釈標準溶液: VOC 36 種の原液とサロゲート原液を混合し、メタノールで希釈して 10 mg/L および 1 mg/L の作業溶液を調製しました。また、内部標準原液をメタノールで 100 mg/L および 10 mg/L に希釈しました。

検量線標準溶液の調製: 10 mL のマトリックス修飾剤と 2 g の石英砂を 20 mL ヘッドスペースバイアルに入れました。この修飾剤溶液に VOC 36 種/サロゲート混合液の作業溶液 (10 mg/L) と内部標準溶液をすばやく添加し、直ちにバイアルを密閉しました。最終的な標準溶液は、2、5、10、20、50、および 100 µg/L の各濃度に調製し、どの濃度についても内部標準濃度を 50 µg/L にしました。

また、低濃度サンプルのテスト用に、修飾剤 10 mL で 0.05、0.1、0.2、0.5、1、2、および 5 µg/L の標準溶液を調製し、すべての濃度について内部標準濃度を 5 µg/L にしました。

機器および分析条件

8890 GC には、スプリット/スプリットレス注入口を装着しました。インキュベーション済みバイアルのヘッドスペースから GC へのガスの注入には、バイアル 111 本を収容可能な 7697A ヘッドスペースサンプラを使用しました。ガスは、注入口セプタムを通してフロースルー接続で注入口に導入しました。イオンの生成、スキャン、および検出には、HES 搭載の 5977B GC/MSD を使用しました。

データ採取には、Agilent MassHunter Acquisition ソフトウェアバージョン 10.0 を使用しました。データ解析には、MassHunter Qualitative Analysis バージョン B.08.00 と MassHunter Quantitative Analysis バージョン B.08.00 を使用しました。表 1 に、分析条件を示します。

結果と考察

HJ642-2013 では、MS データの妥当性と信頼性を確保するために、MSD の性能を毎日確認することが定められています。今回使用したシステムでは、**HES チューンモード**を選択することにより、MSD のチューニングが自律的に行われました。チューニング結果が HJ642-2013 の要件に適合していることを確認するために、1 µL の 25 µg/mL プロモフルオロベンゼン (BFB) サンプルを注入しました。表 2 に、チューニングの評価結果を示します。

表 1. 7697A ヘッドスペースサンブラ、8890A GC、および 5977B GC/MSD の分析条件

パラメータ	設定値
注入口温度	250 °C
ライナ	内径 1 mm ウルトライナート (p/n 5190-4047)
カラム流量	定流量、1.2 mL/min
スプリット比	10:1
オープンプログラム	40 °C (2 分間)、 8 °C/min で 90 °C まで昇温 (4 分間)、 6 °C/min で 200 °C まで昇温 (10 分間)
カラム	DB-624、60 m × 0.25 mm、1.4 µm (p/n 122-1364)
MSD トランスファーライン	200 °C
MS イオン源	230 °C/300 °C (300 °C は低濃度サンプルの場合)
MS 四重極	150 °C
MS スキャン範囲	m/z 35 ~ 300
スレッシュホールド	0
A/D サンプル	4
ゲイン係数	0.1/1 (1.0 は低濃度サンプルの場合)
7697A ループサイズ	1 mL
バイアル加圧ガス	He
HS ループ温度	100 °C
HS オープン温度	80 °C
HS トランスファーライン温度	110 °C
バイアル平衡化時間	35 分
バイアルサイズ	20 mL、PTFE/シリコンセプタム
バイアル攪拌	レベル 7、加速度 530 cm/S ² で 136 回/min
バイアル充填モード	デフォルト
バイアル充填圧力	15 psi
ループ充填モード	カスタム
ループ昇圧速度	20 psi/min
ループ最終圧力	9 psi
ループ平衡化時間	0.1 分
キャリアコントロールモード	GC キャリアコントロール
抽出後のバント	オン

表 2. MSD HES チューニング結果の適合性評価

ターゲット質量	基準質量	下限 %	上限 %	相対 アバundance (%)	raw アバundance	合格/不合格
95	95	100	100	100	677,753	合格
96	95	5	9	7.2	48,518	合格
173	174	--	2	0	0	合格
174	95	50	--	84.6	573,269	合格
175	174	5	9	7.9	45,371	合格
176	174	95	105	98	561,620	合格
177	176	5	10	6.9	38,635	合格

MSD データは SIM モードで採取しました。
図 1 は、マトリックス修飾剤 10 mL と石英砂
2 g で調製した 20 µg/L の標準溶液を SIM
モードで分析して得られたトータルイオンクロ
マトグラム (TIC) です。

HJ642-2013 では定量に内部標準 (ISTD) 法
が採用されているため、機器の再現性および
直線性の確認は、ターゲット化合物の絶対レ
スポンスではなく、濃度定量結果にもとづい
て行いました。機器の再現性を評価するため
に、20 µg/L の標準溶液を 6 回連続して分析

しました。VOC 36 種の検出濃度の RSD% は、
7 % だったスチレンを除き、1.7 ~ 4.6 % でし
た。この結果は、機器の定量精度がきわめて
高いことを示しています。

表 3. 標準的な HES-MSD 使用条件下での機器の直線性、LOD、精度、および回収率

名前	RT (分)	CF 式	CF R ²	濃度 RSD%	LOQ (µg/kg)	LOD (µg/kg)	回収率	
							20 µg/L	40 µg/L
塩化ビニル	5.034	$y = 0.101690 * x + 6.290804E-004$	0.996	2.2	4.8	1.4	112.5 %	107.1 %
1,1-ジクロロエテン	7.327	$y = 0.276991 * x - 3.581275E-004$	0.998	2	4.0	1.2	111.5 %	106.8 %
塩化メチレン	8.07	$y = 0.207358 * x + 0.002525$	0.996	2.2	5.1	1.5	102.3 %	104.3 %
trans-1,2-ジクロロエテン	8.503	$y = 0.287113 * x + 0.001344$	0.997	2.1	4.1	1.2	100.6 %	100.3 %
cis-1,2-ジクロロエテン	10.136	$y = 0.276668 * x - 1.884161E-004$	0.999	2.2	3.8	1.1	99.4 %	101.0 %
1,1-ジクロロエタン	9.175	$y = 0.484499 * x + 0.002331$	0.997	2.1	3.7	1.1	109.9 %	106.8 %
クロロホルム	10.672	$y = 0.445198 * x + 0.007469$	0.996	2	4.2	1.3	110.0 %	105.7 %
1,1,1-トリクロロエタン	11.109	$y = 0.491543 * x + 0.001691$	0.998	1.7	3.6	1.1	107.4 %	105.8 %
四塩化炭素	11.454	$y = 0.455046 * x + 0.001120$	0.998	1.8	4.0	1.2	104.6 %	103.5 %
1,2-ジクロロエタン	11.874	$y = 0.255379 * x + 0.011468$	0.996	2.1	4.9	1.5	110.4 %	105.5 %
ベンゼン	11.878	$y = 1.042873 * x + 0.004004$	0.998	2.2	3.5	1.0	106.0 %	104.6 %
トリクロロエテン	13.272	$y = 0.411061 * x - 0.001326$	0.999	2	3.9	1.2	103.0 %	104.3 %
1,2-ジクロロプロパン	13.824	$y = 0.306996 * x - 0.002118$	0.999	2.2	3.3	1.0	107.5 %	107.9 %
ブロモジクロロメタン	14.416	$y = 0.378155 * x - 0.002188$	0.999	2.1	4.1	1.2	106.6 %	106.4 %
トルエン	16.37	$y = 0.889250 * x - 0.010461$	0.999	2.3	4.2	1.2	101.7 %	104.9 %
トルエン-d ₈	16.201	$y = 1.206994 * x - 0.010969$	0.998	2.3	4.1	1.2	101.0 %	105.1 %
1,1,2-トリクロロエタン	17.348	$y = 0.190979 * x - 6.646855E-004$	0.999	1.9	4.6	1.4	107.4 %	105.8 %
テトラクロロエチレン	17.779	$y = 0.389153 * x + 1.166931E-004$	0.999	2	3.9	1.2	100.3 %	100.0 %
ジブロモクロロメタン	18.404	$y = 0.216751 * x - 0.002372$	0.999	2	4.9	1.5	100.3 %	101.7 %
1,2-ジブロモエタン	18.756	$y = 0.135619 * x - 8.135818E-004$	0.999	1.9	4.8	1.5	102.0 %	101.8 %
クロロベンゼン	20.014	$y = 0.990760 * x - 0.002667$	0.999	2.2	3.8	1.1	99.1 %	99.3 %
エチルベンゼン	20.266	$y = 3.093411 * x - 0.049524$	0.998	2.7	3.7	1.1	109.0 %	114.1 %
1,1,1,2-テトラクロロエタン	20.199	$y = 0.649519 * x - 0.006668$	0.999	1.9	5.0	1.5	116.0 %	115.7 %
m,p-キシレン	20.569	$y = 2.458761 * x - 0.043076$	0.997	2.8	4.2	1.3	108.6 %	114.2 %
スチレン	21.663	$y = 1.726545 * x - 0.067283$	0.995	7	8.1	2.4	81.0 %	91.3 %
o-キシレン	21.637	$y = 1.235302 * x - 0.031450$	0.998	2.9	3.9	1.2	100.5 %	110.5 %
ブロモホルム	22.187	$y = 0.239708 * x - 0.004527$	0.998	2	6.8	2.0	104.5 %	106.4 %
4-ブロモフルオロベンゼン	23.032	$y = 0.952233 * x - 0.016871$	0.999	2.4	3.9	1.2	94.6 %	101.4 %
1,2,3-トリクロロプロパン	23.523	$y = 0.490147 * x - 0.002929$	0.999	2.1	6.2	1.9	119.1 %	114.8 %
1,1,2,2-テトラクロロエタン	23.375	$y = 0.606064 * x - 0.007174$	0.999	2	6.1	1.8	113.4 %	111.8 %
1,3,5-トリメチルベンゼン	24.162	$y = 2.577696 * x - 0.080450$	0.996	3.6	5.0	1.5	89.5 %	100.5 %
1,2,4-トリメチルベンゼン	25.17	$y = 2.492454 * x - 0.083100$	0.996	4.6	4.0	1.2	86.8 %	99.1 %
1,3-ジクロロベンゼン	25.951	$y = 1.545224 * x - 0.011240$	0.999	2.4	4.2	1.3	97.0 %	97.5 %
1,4-ジクロロベンゼン	26.181	$y = 1.547282 * x - 0.007234$	0.998	2.3	4.7	1.4	96.4 %	96.3 %
1,2-ジクロロベンゼン	27.18	$y = 1.415233 * x - 0.010719$	0.999	2.5	4.1	1.2	98.1 %	97.9 %
1,2,4-トリクロロベンゼン	31.399	$y = 1.102990 * x - 0.011530$	0.998	2.9	4.7	1.4	82.1 %	80.1 %
ヘキサクロロブタジエン	31.854	$y = 0.825483 * x - 3.454680E-004$	0.998	2.9	4.0	1.2	84.2 %	73.6 %

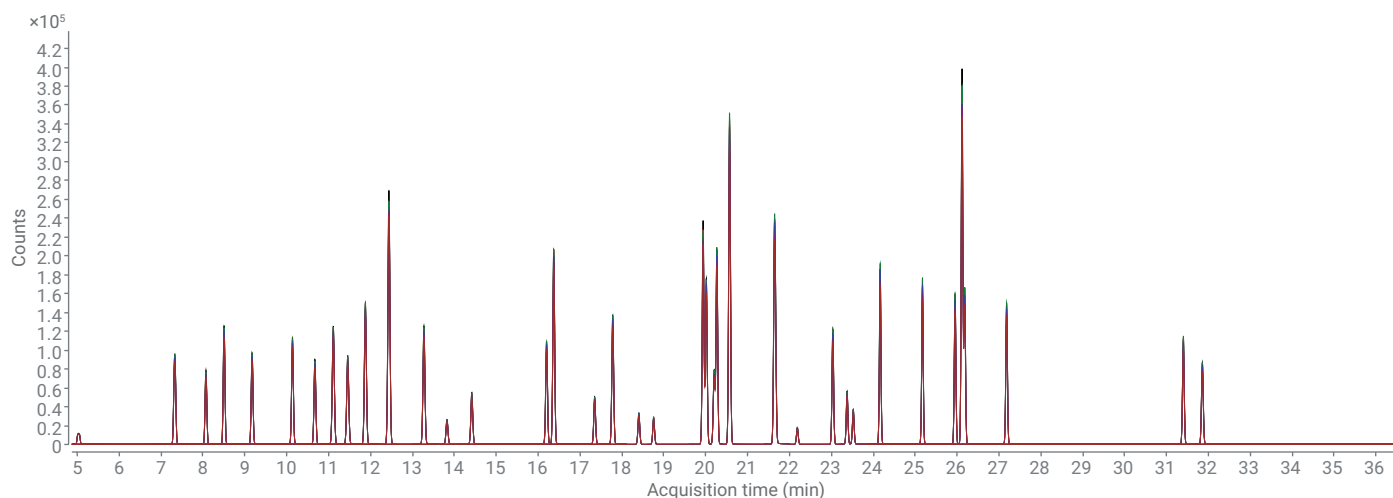


図 1. 20 µg/L サンプルを SIM モードで 6 回繰り返し分析して得られたトータルイオンクロマトグラムの重ね表示

機器の直線性は、マトリックス修飾剤 10 mL で調製した濃度範囲 2 ~ 100 µg/L の標準溶液で評価しました。この濃度は、実際のサンプルでは 10 ~ 500 µg/kg に相当します。すべてのターゲット化合物が良好な直線性を示し、直線回帰式の決定係数 (R^2) は 0.995 を超えました。

メソッドの回収率をテストするために、実際の土壌サンプル 2 g に 10 mg/L の標準溶液を 20 µL および 50 µL 添加したサンプル (土壌サンプル中の VOC 濃度 100 µg/kg および 250 µg/kg に相当) と、添加なしの土壌サンプルを分析しました。添加サンプルと無添加サンプルの差異をもとに回収率を計算しました。20 µL の添加サンプルの回収率は 81 ~ 119 %、50 µL の添加サンプルでは 74 ~ 115 % でした。この結果は、HJ642-2013 メソッドの参照回収率と同等の性能です。

2 種類のサロゲートを含むターゲット VOC 38 種の最小検出下限 (MDL) を定量精度 2 µg/L として求めた後、HJ642-2013 メソッドに従ってメソッドの LOD (µg/kg) および LOQ (µg/kg) に換算しました (表 3)。適用したワークフローで得られた LOD は、1.0 ~ 2.5 µg/kg でした (MSD ゲイン係数を 0.1 に設定)。この値は、HJ642-2013 で要求される、1 桁 µg/kg レベルのターゲット VOC 化合物を検出するのに十分な検出下限です。

このアプリケーションノートでは、イオンの生成および透過に HES を使用しました。その結果を、以前実施した VOC 分析の結果 (同様の四重極および EMV ゲイン係数設定でエクストラクタイオン源を使用) と比較しました。この比較から、同じサンプルに対し、HES で得られた S/N 比がエクストラクタイオン源の約 3 ~ 7 倍であることがわかりました。MSD の検出能力に対する HES の効果をさらに詳しくテストするために、MSD ゲイン係数を 1.0 に設定しました。これは、同様のアプリケーション

ンにおいてエクストラクタイオン源で一般的に使用されている値と同じです。また、イオン源温度を 300 °C に最適化しました。このテスト用に、マトリックス修飾剤 10 mL とクリーンな石英砂 2 g で濃度 50 ng/L ~ 5 µg/L (実際のマトリックスで 0.25 ~ 25 µg/kg に相当) の一連の VOC サンプルを調製しました。50 ng/L の標準溶液を 8 回繰り返し分析し、これにより得られた定量精度にもとづいて新しい分析条件の MDL を計算しました。表 4 に MDL と直線性、定量イオン、確認イオンを示します。図 2 は、50 ng/L のジブロモクロロメタンと 1,2-ジブロモエタンを SIM モードで 8 回繰り返し分析して得られたトータルイオンクロマトグラムを重ね合わせたものです。この結果には、低濃度サンプルに対する機器の優れた再現性が示されています。また、このデータから、今回構成したシステムが、土壌マトリックス中の VOC を高い信頼性と感度で検出できる最適なシステムであり、100 ppt (ng/kg) レベルのサンプルにも十分対応できることが実証されました。

表 4. 最適化された HES-MSD 条件下でのメソッドの LOD、LOQ、および直線性 (50 ng/L ~ 5 µg/L)

	名前	RT (分)	CF 式	CF R ²	LOQ (µg/kg)	LOD (µg/kg)	定量 イオン (m/z)	確認 イオン (m/z)
1	塩化ビニル	5.047	$y = 0.658957 * x - 6.016395E-005$	0.9994	0.142	0.043	62	64
2	1,1-ジクロロエテン	7.327	$y = 2.339186 * x - 2.969010E-004$	0.9992	0.078	0.024	96	61、63
3	塩化メチレン (200 ppt ~ 5 ppb)	8.074	$y = 1.802609 * x + 0.031520$	0.9994	0.267	0.080	84	86、49
4	trans-1,2-ジクロロエテン	8.506	$y = 2.307819 * x - 1.849103E-004$	0.9995	0.096	0.029	96	61、98
5	1,1-ジクロロエタン	10.139	$y = 2.378814 * x - 1.544549E-004$	0.9996	0.094	0.028	63	65、83
6	cis-1,2-ジクロロエテン	9.174	$y = 4.499424 * x - 4.801002E-004$	0.9996	0.122	0.037	96	61、98
7	クロロホルム	10.671	$y = 3.927227 * x + 0.002925$	0.9996	0.109	0.033	83	85
8	1,1,1-トリクロロエタン	11.114	$y = 4.064121 * x - 4.835625E-004$	0.9995	0.139	0.042	97	99、61
9	四塩化炭素	11.453	$y = 3.628096 * x - 4.676820E-004$	0.9995	0.139	0.042	117	119
10	1,2-ジクロロエタン	11.875	$y = 2.527376 * x + 0.025430$	0.9995	0.115	0.035	62	98
11	ベンゼン	11.881	$y = 9.837078 * x + 0.026800$	0.9994	0.143	0.043	78	-
12	トリクロロエテン	13.275	$y = 4.037059 * x - 1.428444E-004$	0.9996	0.081	0.025	95	97、130、132
13	1,2-ジクロロプロパン	13.827	$y = 3.372180 * x - 3.653243E-004$	0.9996	0.114	0.034	63	112
14	ブロモジクロロメタン	14.419	$y = 3.320849 * x + 1.474400E-004$	0.9996	0.119	0.036	83	85、127
15	トルエン-d ₈ (サロゲート)	16.375	$y = 8.946947 * x + 0.004931$	0.9996	0.078	0.024	98	-
16	トルエン	16.204	$y = 14.159816 * x - 5.075302E-004$	0.9996	0.087	0.026	92	91
17	1,1,2-トリクロロエタン	17.347	$y = 1.974437 * x - 1.028654E-004$	0.9997	0.133	0.040	83	97、85
18	テトラクロロエチレン	17.783	$y = 3.351350 * x + 1.908451E-004$	0.9996	0.101	0.030	164	129、131、166
19	ジブロモクロロメタン	18.402	$y = 1.886300 * x - 1.633177E-004$	0.9996	0.117	0.035	129	127
20	1,2-ジブロモエタン	18.758	$y = 1.485851 * x - 1.379536E-004$	0.9997	0.119	0.036	107	109、188
21	クロロベンゼン	20.017	$y = 9.561805 * x + 0.014300$	0.9996	0.322	0.097	112	77、114
22	1,1,1,2-テトラクロロエタン	20.266	$y = 36.572088 * x + 0.001083$	0.9997	0.101	0.031	131	133、119
23	エチルベンゼン	20.205	$y = 5.817481 * x - 0.001149$	0.9995	0.171	0.052	91	106
24	m,p-キシレン	20.570	$y = 27.057635 * x + 0.003155$	0.9995	0.102	0.031	106	91
25	スチレン	21.666	$y = 12.418970 * x - 0.004286$	0.9931	0.241	0.072	106	91
26	o-キシレン	21.640	$y = 13.423336 * x + 0.001023$	0.9997	0.100	0.030	104	78
27	ブロモホルム	22.189	$y = 2.204780 * x - 3.367844E-004$	0.9997	0.172	0.052	173	175、254
28	4-ブロモフルオロベンゼン (サロゲート)	23.036	$y = 11.487625 * x - 7.553560E-004$	0.9996	0.105	0.032	95	174、176
29	1,1,2,2-テトラクロロエタン	23.523	$y = 5.835213 * x - 0.001140$	0.9998	0.134	0.040	83	131、85
30	1,2,3-トリクロロプロパン	23.375	$y = 6.683218 * x - 2.225683E-004$	0.9998	0.206	0.062	75	77
31	1,3,5-トリメチルベンゼン	24.162	$y = 29.367748 * x - 0.006584$	0.9990	0.192	0.058	105	120
32	1,2,4-トリメチルベンゼン	25.173	$y = 26.561166 * x + 2.444729E-004$	0.9990	0.149	0.045	105	120
33	1,3-ジクロロベンゼン	25.954	$y = 15.629264 * x - 0.001070$	0.9996	0.104	0.031	146	111、148
34	1,4-ジクロロベンゼン	26.181	$y = 14.892998 * x - 0.001860$	0.9994	0.091	0.028	146	111、148
35	1,2-ジクロロベンゼン	27.184	$y = 14.968164 * x - 8.822657E-004$	0.9997	0.108	0.033	146	111、148
36	1,2,4-トリクロロベンゼン	31.401	$y = 10.835935 * x - 5.724957E-004$	0.9994	0.158	0.048	180	182、145
37	ヘキサクロロブタジエン	31.856	$y = 7.775980 * x - 7.142012E-004$	0.9997	0.139	0.042	225	223、227

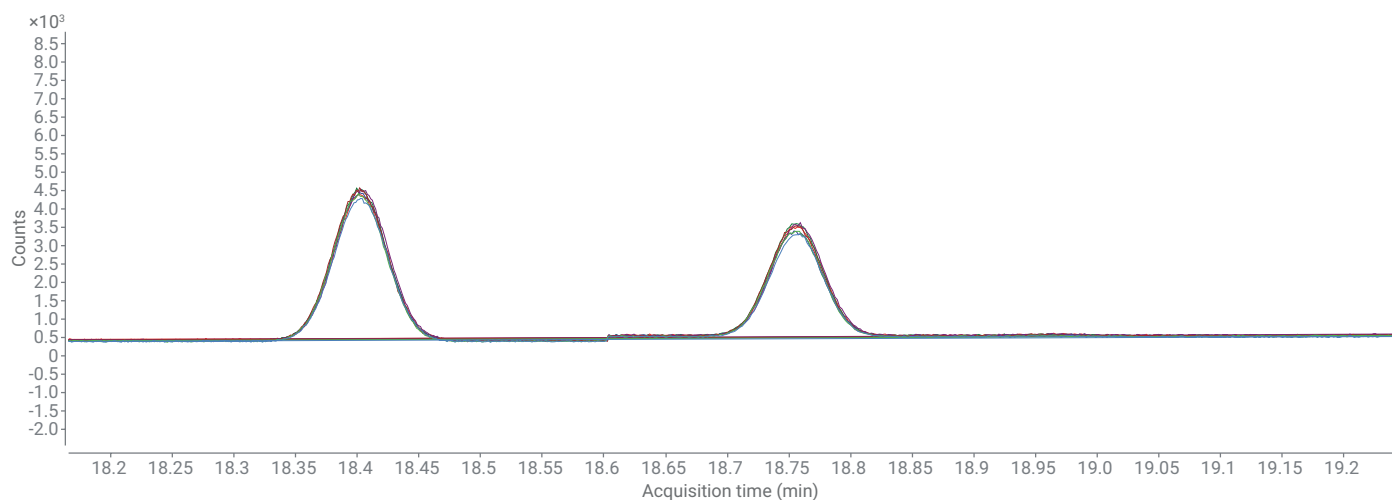


図 2. マトリックス修飾剤 10 mL 中の 50 ng/L ジブロモクロロメタンおよび 1,2-ジブロモエタンを SIM モードで 8 回繰り返し分析して得られたトータルイオンクロマトグラムの重ね表示

この濃度範囲 (50 ng/L ~ 5 µg/L) において、化合物 36 種の決定係数は $R^2 > 0.999$ でした。ただし、塩化メチレンおよびスチレンの 2 種類の化合物は例外で、スチレンの R^2 は 0.993 でした。この値は他の化合物ほど良好ではありませんが、線形キャリブレーションに対する HJ642-2013 の要件を満たしています。塩化メチレンについては、バックグラウンド中の濃度が 100 ng/L を超え、これが低濃度側で直線性が損なわれる原因となっていました。バックグラウンド除去法を適用することで、表 4 に示すように濃度範囲 200 ng/L ~ 5 µg/L の塩化メチレンの直線性が改善されました。

結論

このアプリケーションノートで紹介した調査により、8890 GC および 5977B GC/MSD に 7697A ヘッドスペースサンブラを組み合わせたシステムが、土壌および堆積物中の VOC を高い感度と信頼性で分析するために最適なプラットフォームであることが実証されました。このシステムの定量精度 (1 ~ 5 %)、低い LOD/LOQ (実際の土壌または堆積物サンプルで 1.0 ~ 2.5 µg/kg)、大半の化合物に対して回帰係数 > 0.995 という優れた直線性、および良好なメソッド回収率 (73 ~ 115 %) のすべてが、中国の環境分析標準メソッド HJ642-

2013 の要件を十分に満たしています。また、さらに高い検出感度が必要な場合は、HES 搭載 MSD の動作パラメータを最適化することにより、100 ppt レベルの検出下限と低濃度範囲での良好な直線性が得られます。

参考文献

1. Volatile Organic Compounds in Soils and Other Solid Matrices using Equilibrium Headspace Analysis. *US EPA Method 5021* **1996**, revision 0, US EPA, USA.
2. Soil and Sediment. Determination of Volatile Organic Compounds - Headspace-Gas Chromatography/Mass Method. HJ 642-2013, published by Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China.
3. Soil and Sediment - Determination of Volatile Organic Compounds - Headspace-Gas Chromatography Method. HJ 741-2015 published by Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China.
4. Improved Volatiles Analysis Using Static Headspace, the Agilent 5977B GC/MSD, and a High-efficiency Source. *Agilent Technologies Application Note*, publication number 5991-6539EN, **2016**.

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。