



小型濃縮デバイスを用いた 揮発性有機化合物の分析

植田 郁生

山梨大学 工学部 応用化学科



演者紹介

氏名 植田 郁生 (うえた いくお)
所属 山梨大学工学部応用化学科 (助教)

略歴

2003年3月 神戸市立神戸工業高等専門学校応用化学科 卒業
2005年3月 豊橋技術科学大学工学部物質工学課程 卒業
2007年3月 豊橋技術科学大学大学院工学研究科物質工学専攻 修士課程 修了
2010年3月 豊橋技術科学大学大学院工学研究科機能材料工学専攻 博士課程 修了

2009年4月 日本学術振興会特別研究員 (DC2)
2010年4月～
2010年9月 日本学術振興会特別研究員 (PD)
2010年10月 山梨大学工学部応用化学科 助教 (現職)

研究分野

VOC濃縮デバイスの開発

揮発性有機化合物(VOCs)

・常温、常圧で大気中に揮発する有機化合物

・世界保健機構(WHO)による分類

沸点

～ 50(100)°C **高揮発性有機化合物(VVOC)**

(ホルムアルデヒド・ジクロロメタン等)

50(100)～250°C **揮発性有機化合物(VOC)**

(ヘキサン・トルエン等)

250～400°C **半揮発性有機化合物(SVOC)**

(殺虫剤・多環芳香族炭化水素(PAH)等)

溶剤・燃料等として幅広く使用



人の健康に**悪影響**(シックハウス症候群、発がん性)

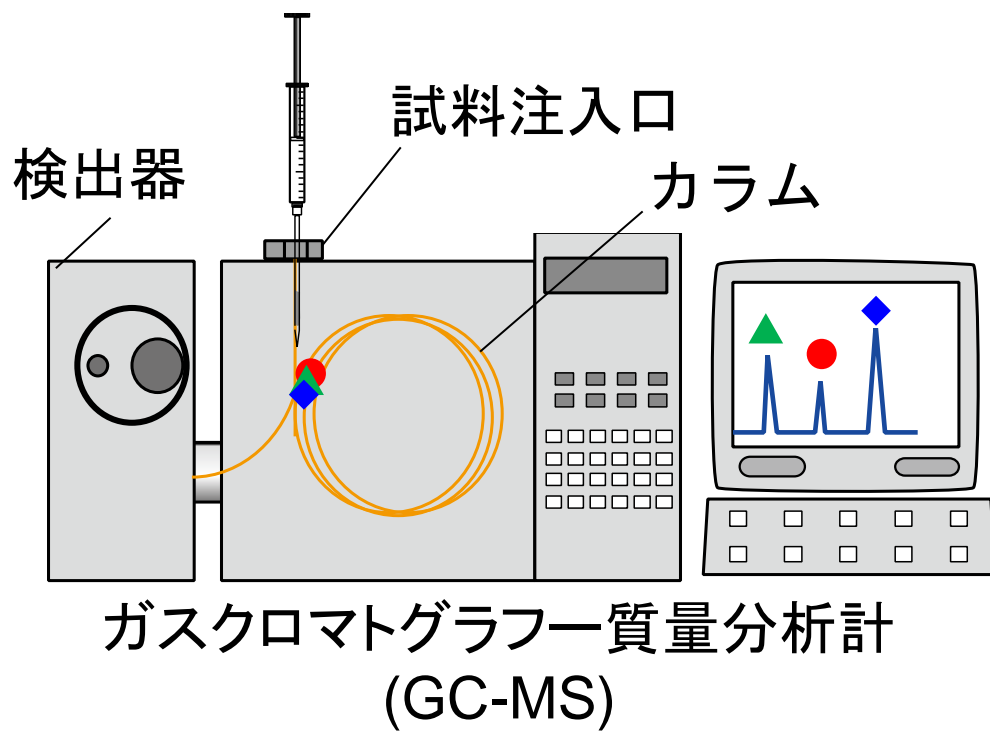
ガスクロマトグラフィーを用いるVOCs分析

ガスクロマトグラフィー (GC):
揮発性有機化合物(VOCs)の
分離・分析に適した分析手法

- ・ 高感度
- ・ 高選択性
- ・ 高再現性



- ・ 環境分析
- ・ 食品、飲料品分析
- ・ 農薬分析
- ・ 生体試料分析
- ・ 高分子分析
- ・ 石油化学
- ・ …



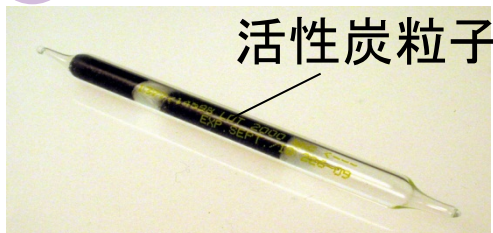
微量VOCsの分析

➡ 試料濃縮が必要

ガスクロマトグラフィーを用いるVOCs分析

固相吸着／溶媒抽出法

固相吸着／加熱脱着法



固相マイクロ抽出 (SPME)



試料採取

固相を容器に採取

CS₂で抽出

数時間～十時間

GC分析

抽出管の再利用：
不可

煩雑・長時間な
脱着操作

試料採取

専用装置で加熱脱着

GC分析

専用装置で長時間
エージング

高価な専用脱着
装置が必要

試料採取

GC注入口で加熱脱着

GC分析

エージング

簡便・安価・低い再現性・
キャリーオーバー

ガスクロマトグラフィーを用いるVOCs分析

揮発性有機化合物(VOCs)の試料前処理

- 溶媒抽出法 :
- 有機溶媒(CS₂等)を使用
 - 時間と手間を要する
 - 溶媒ピークが試料測定に影響

- 加熱脱着法 :
- 高価な専用装置が必要

- 固相マイクロ抽出 :
(SPME)
- 再現性が低い
 - キャリーオーバーがある
 - 試料負荷量が低い



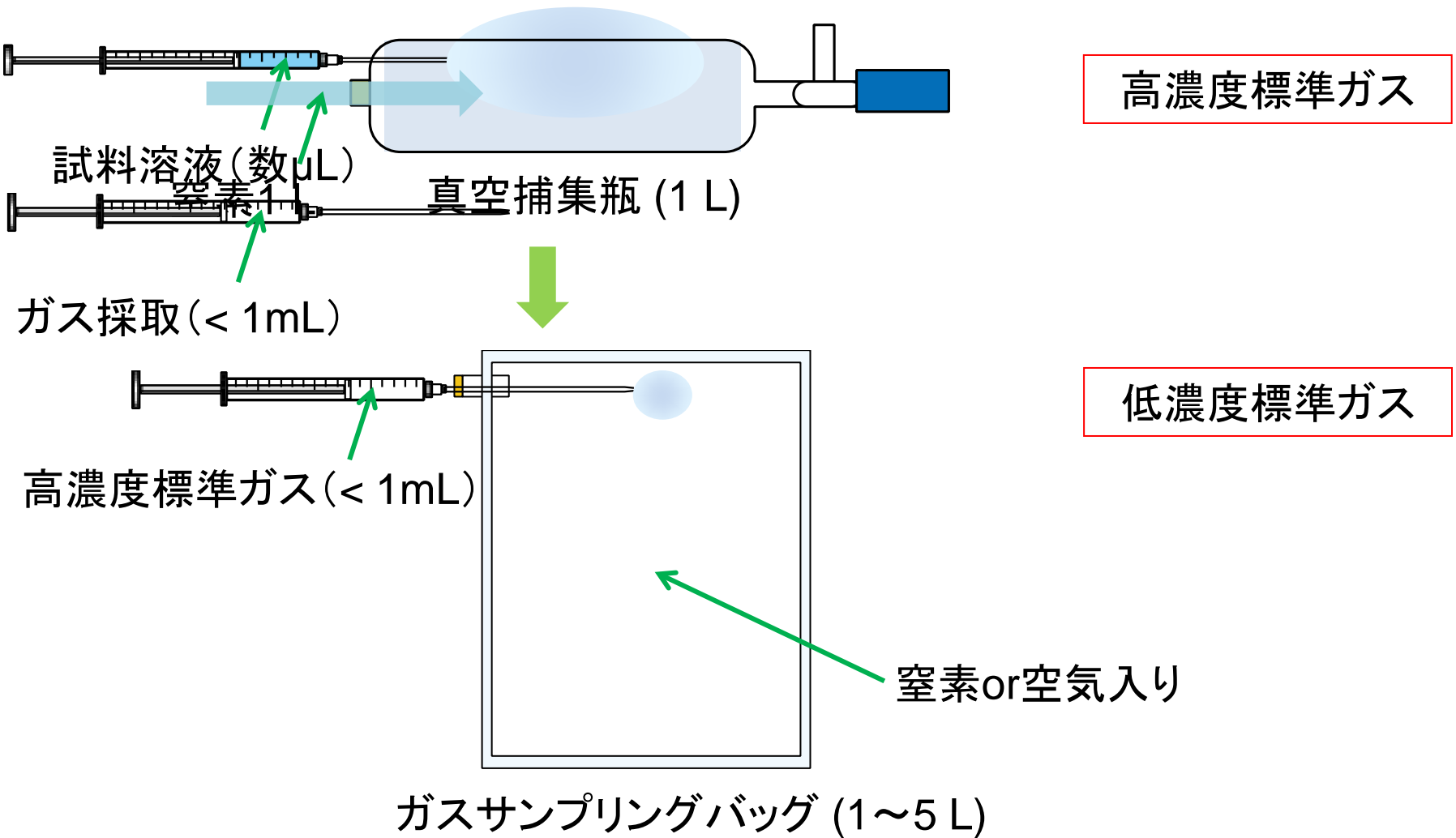
針型試料前処理デバイスを開発



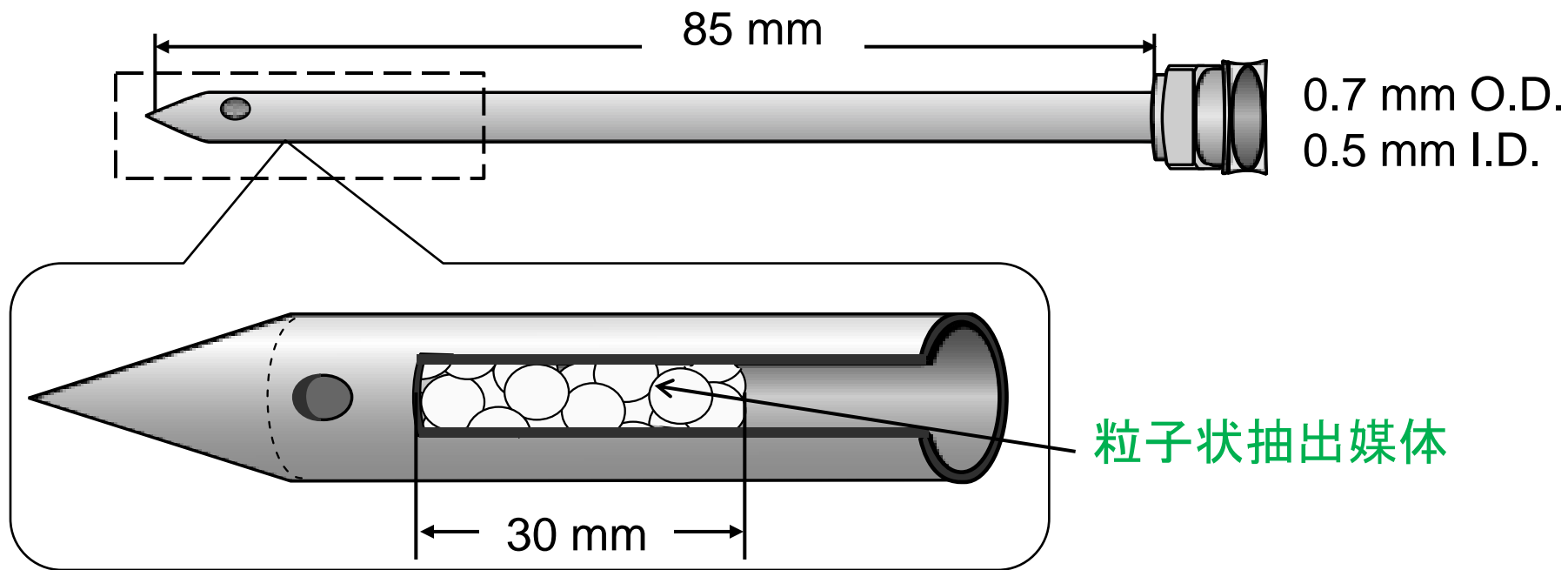
小型濃縮デバイスを用いた揮発性有機化合物の分析

- **粒子充填型濃縮針**を用いた気体中VOCsの高感度分析
- **針型濃縮デバイス**を用いる水中VOCs分析
- **分配型抽出デバイス**による空気中の半揮発性有機化合物の分析

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～標準ガスの調製法



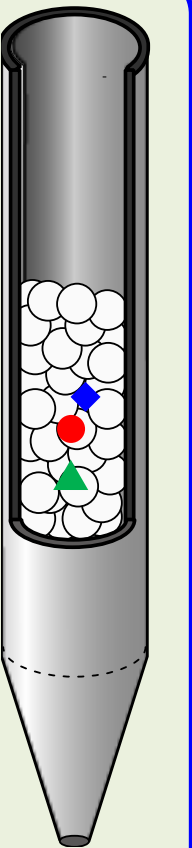
粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析



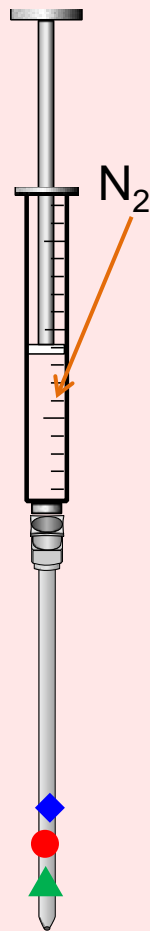
粒子径: 150 - 180 μm (60 / 80 メッシュ)

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析

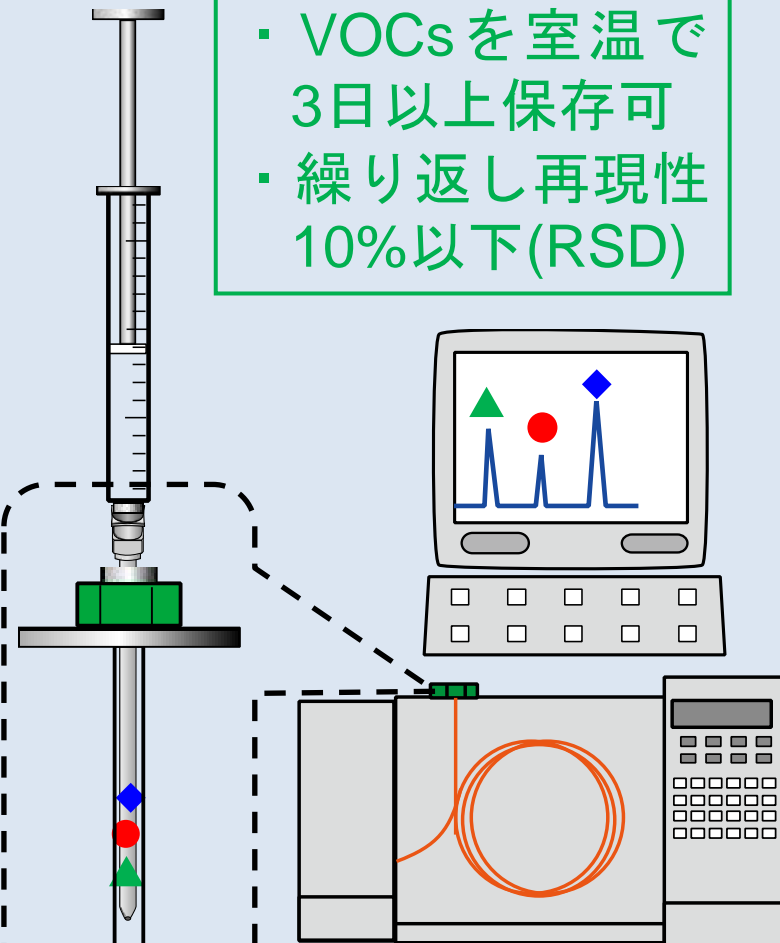
ガス
採取器



50 mL
約5分



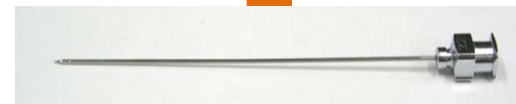
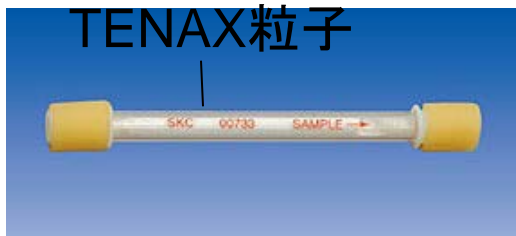
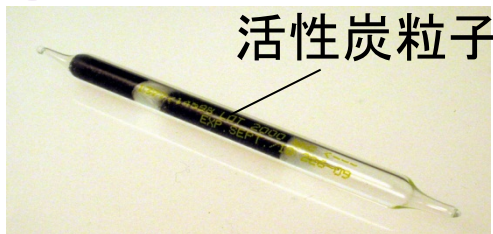
- ・ 繰り返し使用可 (100回以上)
- ・ VOCsを室温で3日以上保存可
- ・ 繰り返し再現性 10%以下(RSD)



GC-MS

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析

固相吸着／溶媒抽出法 固相吸着／加熱脱着法 針型抽出デバイス



試料採取

試料採取

試料採取

固相を容器に採取

~~CS₂で抽出~~

~~数時間～数十時間~~

GC分析

~~専用装置で加熱脱着~~

GC分析

GC注入口で加熱脱着

GC分析

抽出管の再利用：
不可

~~専用装置で長時間
エージング~~

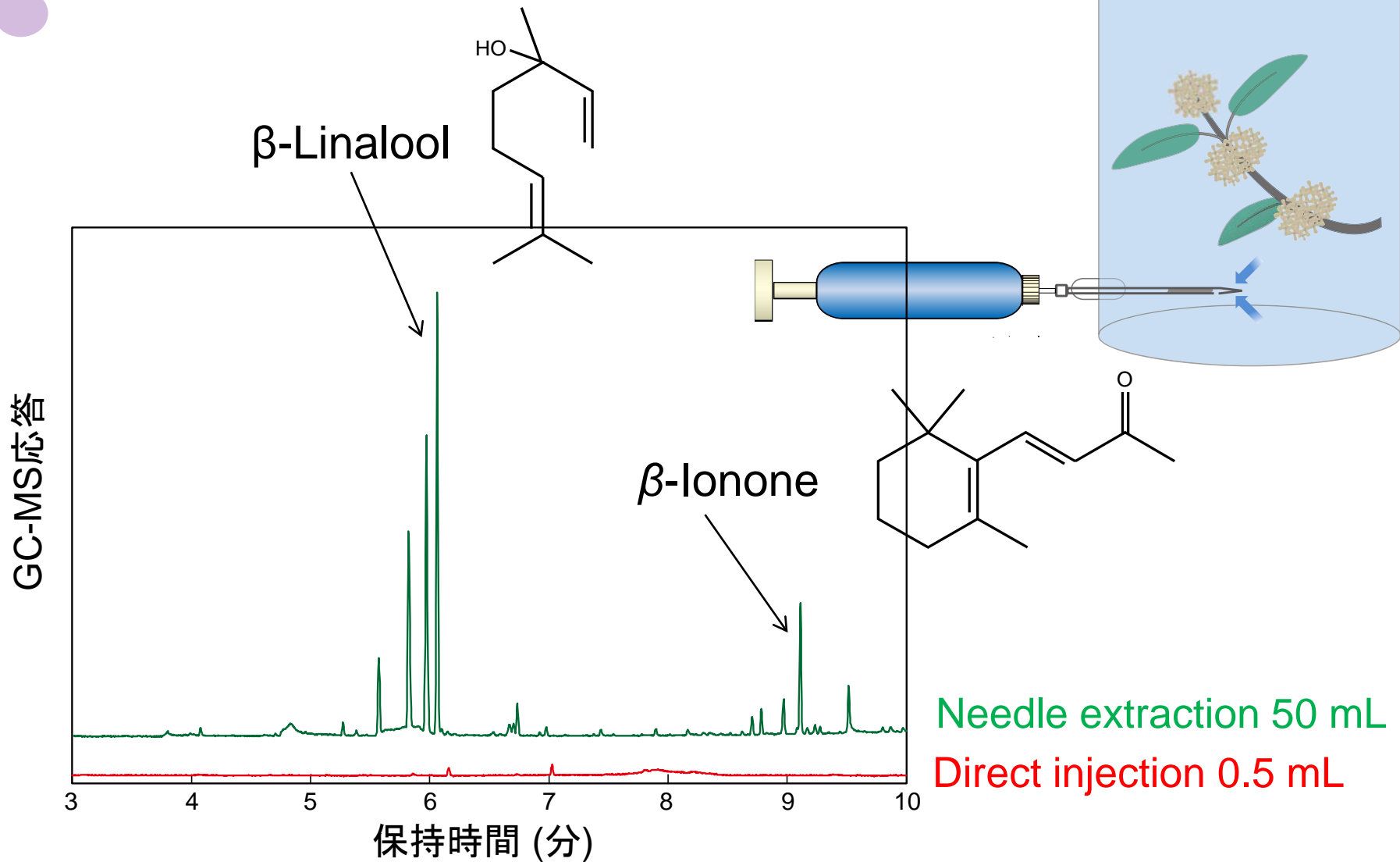
洗浄不要・
GC注入口で加熱洗浄

煩雑・長時間な
脱着操作

高価な専用脱着
装置が必要

簡便・迅速・安価

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析



抽出媒体: メタクリル酸(MA)–エチレングリコールジメタクリレート(EGDMA)共重合体粒子

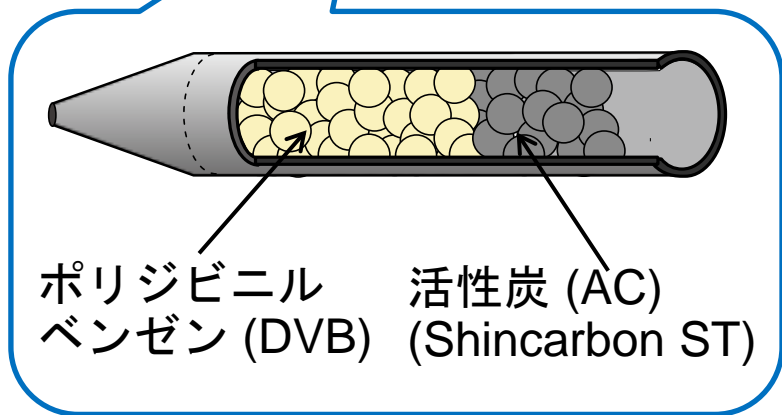
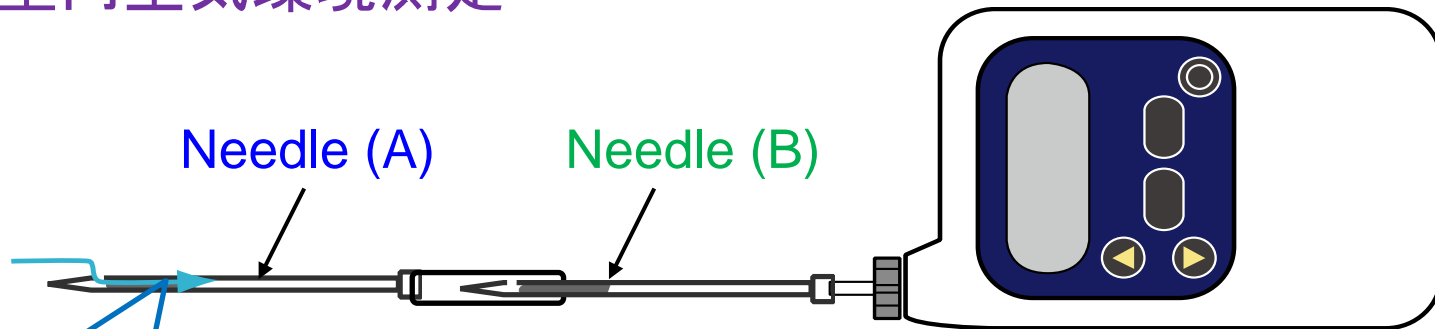
粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～室内空気環境測定

室内空气中VOCsの基準値（厚生労働省(MHLW)）

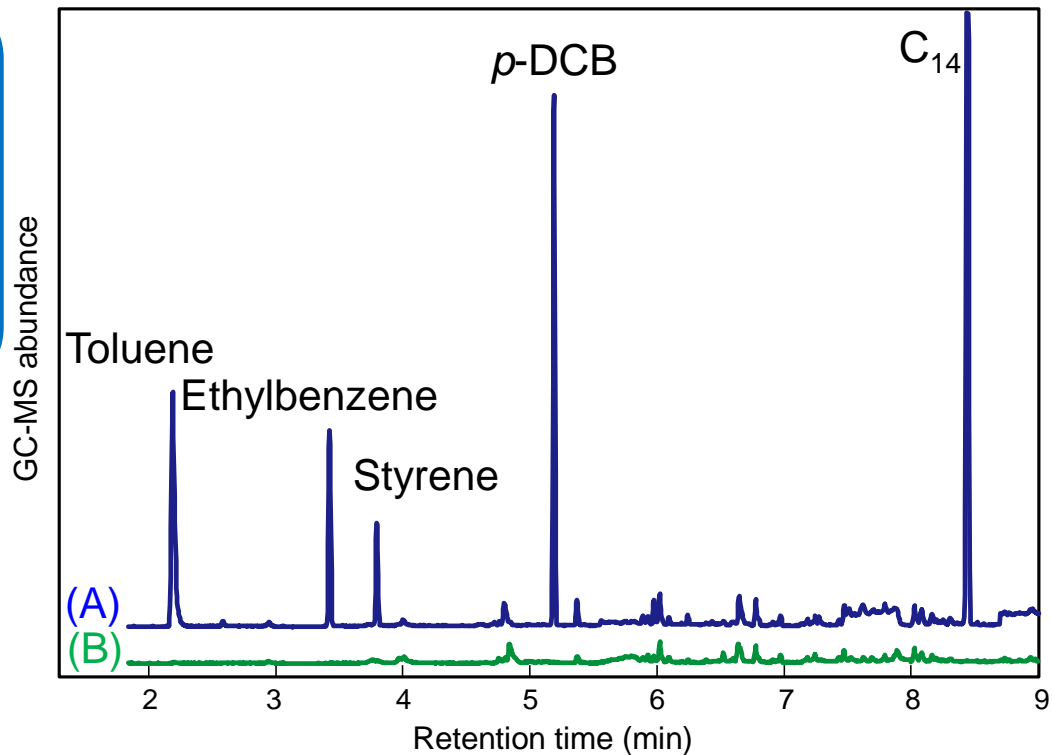
VOCs	基準値
ホルムアルデヒド	100 ng/L (0.08 ppm)
アセトアルデヒド	48 ng/L (0.03 ppm)
トルエン	260 ng/L (0.07 ppm)
キシレン	870 ng/L (0.02 ppm)
<i>p</i> -ジクロロベンゼン	240 ng/L (0.04 ppm)
エチルベンゼン	3800 ng/L (0.88 ppm)
スチレン	220 ng/L (0.05 ppm)
テトラデカン	330 ng/L (0.04 ppm)

* **30分**平均値

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～室内空気環境測定

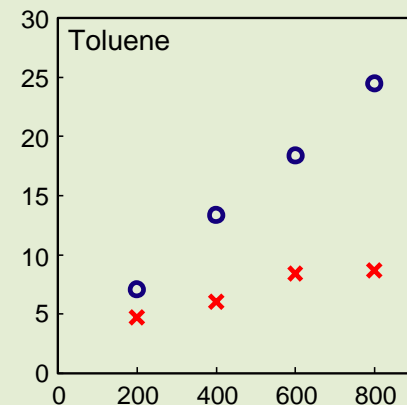
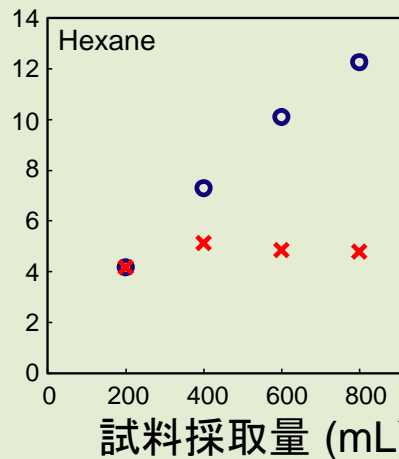
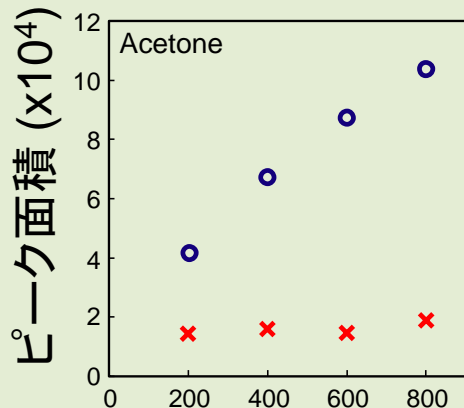


抽出効率: > 99%

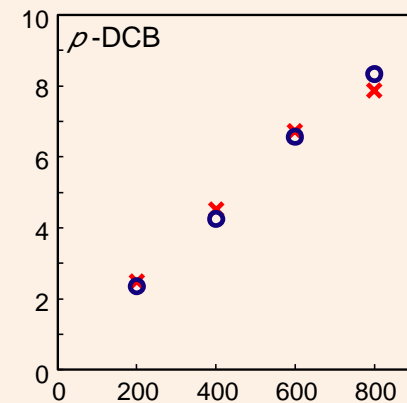
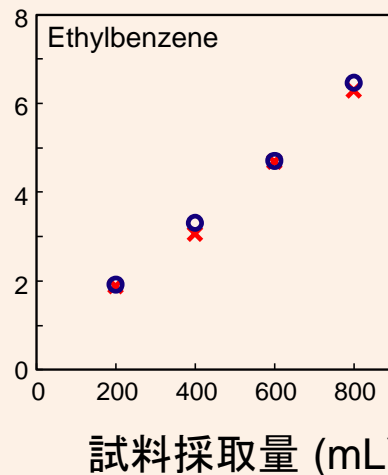
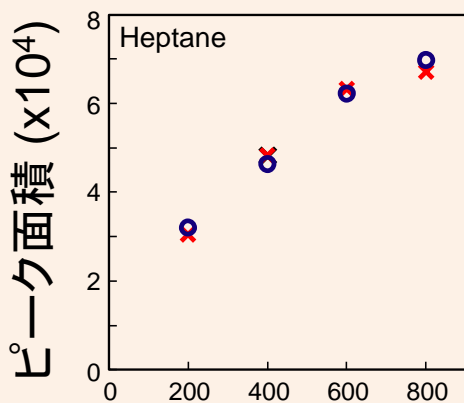


粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～室内空気環境測定

AC層に抽出



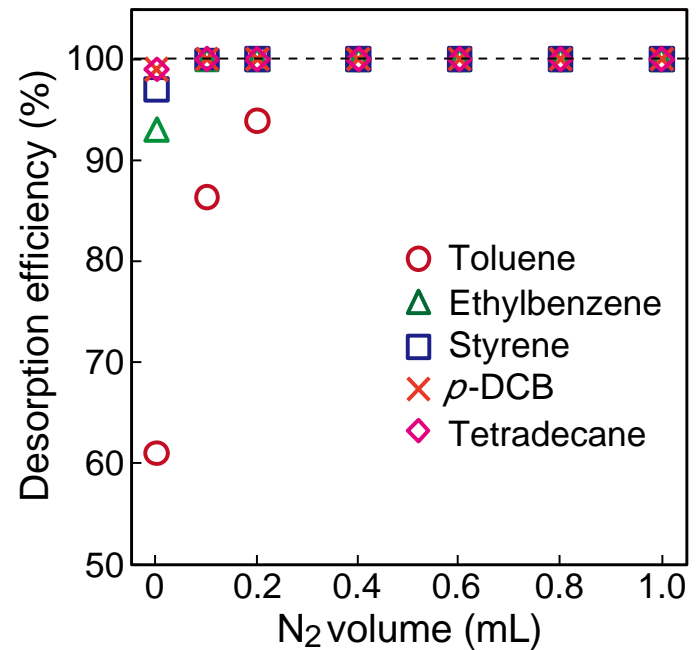
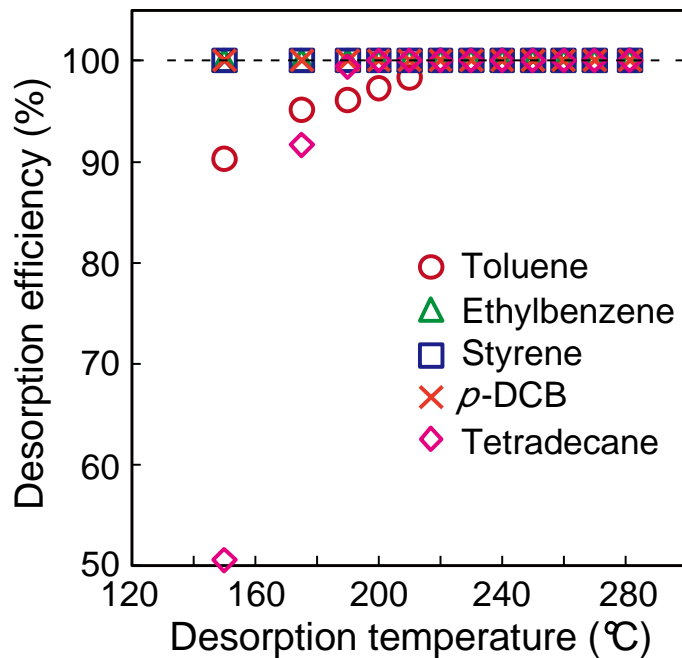
DVB層に抽出



○: DVB + AC, ×: DVB

試料採取: 30分 (20 mL/分)

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～室内空気環境測定



Extraction needle: DVB / AC

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～室内空気環境測定

	定量下限 (ng/L)	基準値 (ng/L)
ベンゼン	0.1	-
トルエン	0.1	260
エチルベンゼン	0.05	3800
キシレン	0.05	870

試料採取量: 600 mL (20 mL/分 × 30分).
測定モード: TIC (*m/z*: 46-250).

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析

～室内空気環境測定

新築オフィス

Room	トルエン (ng/L)		エチルベンゼン (ng/L)		キシレン (ng/L)		スチレン (ng/L)	
	Needle	Solvent	Needle	Solvent	Needle	Solvent	Needle	Solvent
1	1,353	416	81.1	72.0	40.4	42	10.5	7.0
2	559	353	222	245	150	144	8.0	8.0
3	365	296	624	447	342	349	21.8	12.0
4	206	182	164	157	82.2	82.0	7.2	4.0
5	31.4	29.0	溶媒抽出中に揮発？		13.1	8.0	8.9	4.0
6	39.9	32.0	17.8	15.0	15.4	10.0	4.9	4.0
7	30.9	27.0	15.0	13.0	12.8	9.0	4.4	1.0
8	150	141	52.0	46.0	33.6	26.0	2.7	3.0
9	167	162	57.4	55.0	37.5	31.0	8.7	3.0
10	145	146	51.2	48.0	33.3	28.0	3.1	3.0
11	143	156	51.7	52.0	33.1	29.0	2.8	3.0

Needle: 針型抽出デバイス. Solvent: 溶媒抽出.

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～火災現場分析

燃焼前



燃焼後

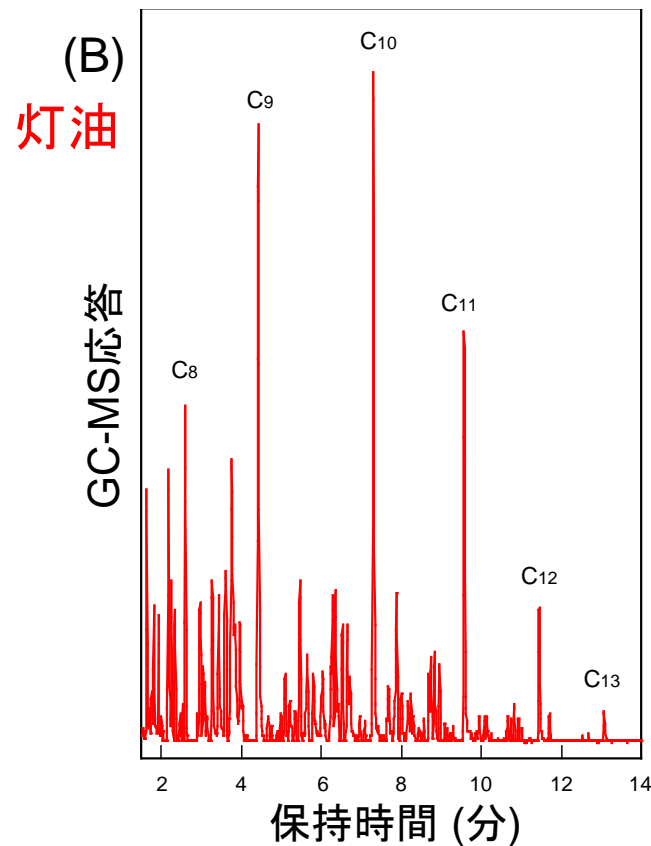
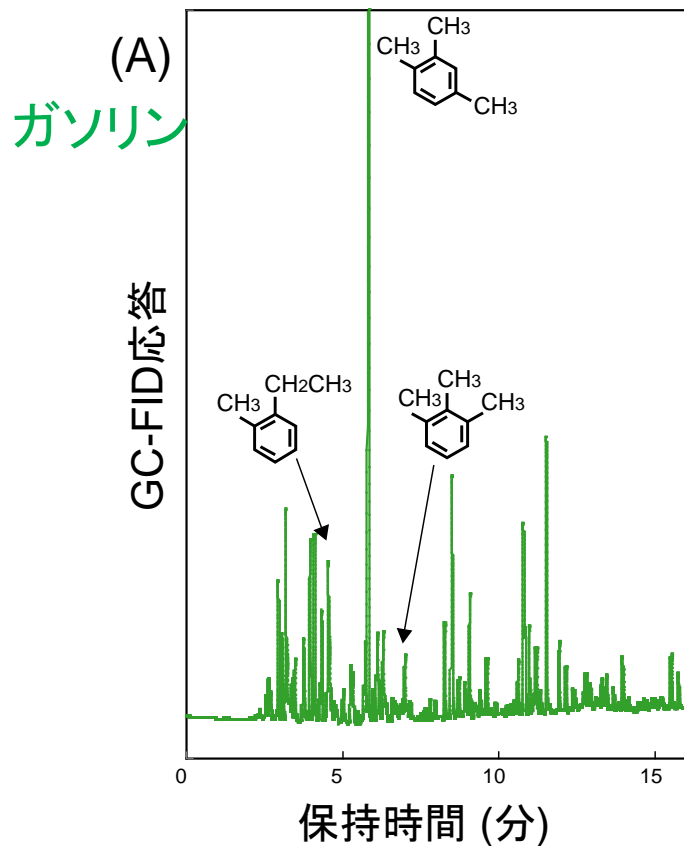


空気採取



抽出針

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～火災現場分析



Sample: Simulated fire in rooms of 15.1 m³ (2.7 m (W) x 2.0 m (H) x 2.8 m (D)), (A) simulation of a misfueling of gasoline into a kerosene heater, (B) assumed to be an arson fire with 4 L of kerosene; Sampling volume: 100 mL; Desorption temp.: 280°C; Column: fused-silica capillary, HR-1 (0.25 mm i.d. x 30 m, d_f 0.25 μm); Column temp.: 50°C (5 min) to 250°C at 10°C/min; Monitoring mode: (A) FID, (B) MS TIM mode (*m/z* 50-250).

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析

～呼気分析

糖尿病

インシュリンの機能低下

グルコースの体内摂取量が低下

脂肪酸の β 酸化

アセトン, アセト酢酸, 3-ヒドロキシ酪酸が生成
ケトン体

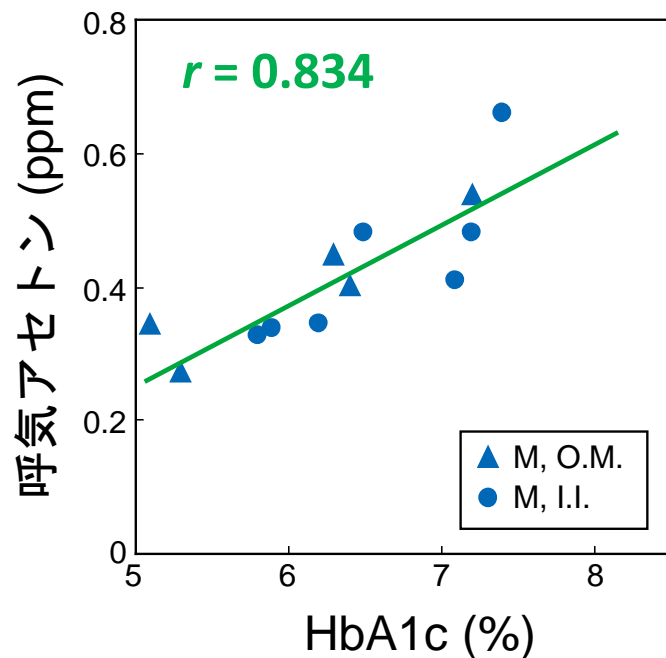
呼気から排出

ケトン体検査紙

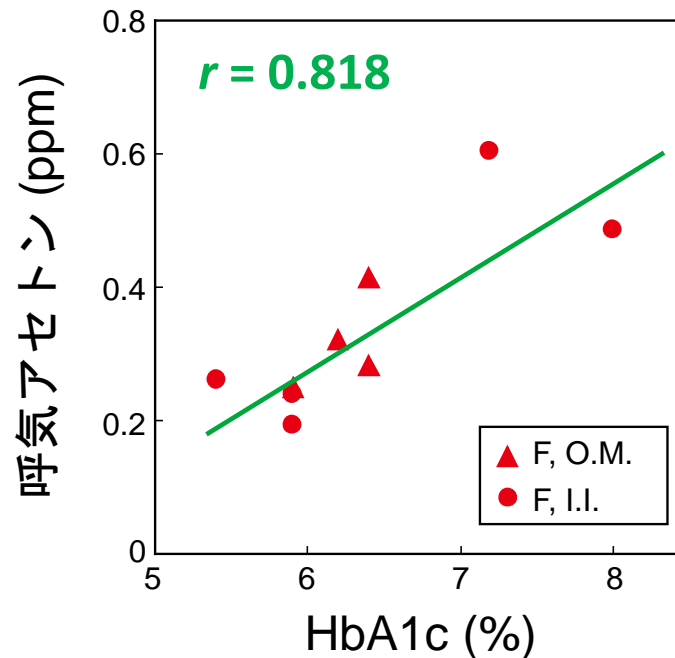


粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～呼気分析

男性患者

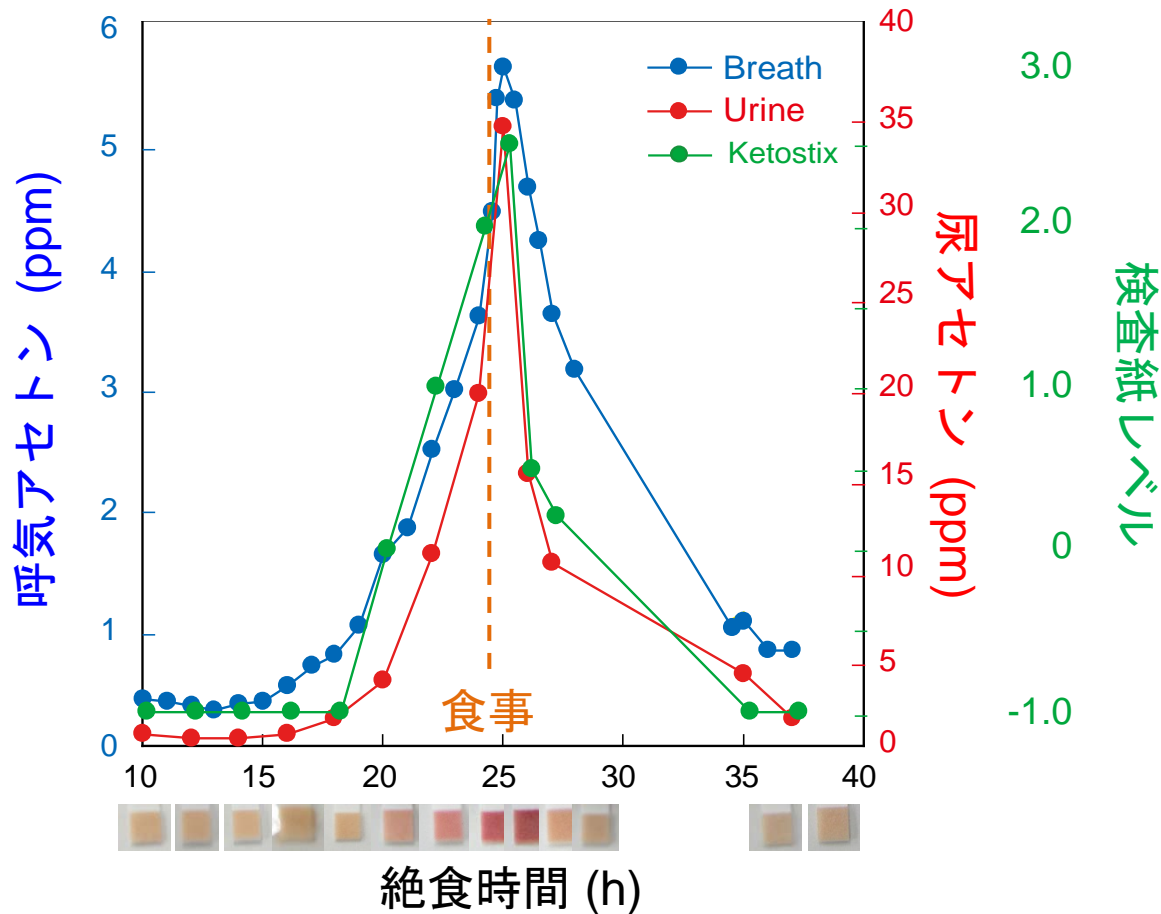


女性患者



呼気アセトン: 呼気試料50 mLをMA/EGDMA粒子充填型針を用いて抽出後にGC-MS測定.

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～呼気分析



被験者: 男性, 25歳

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～呼気分析

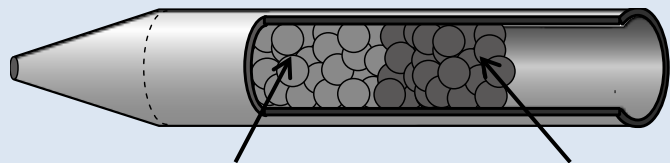
	アセトアルデヒド	イソプレン	ペンタン	アセトン	エタノール
検出限界, ppb (ng/L)	4.1 (7.3)	0.5 (1.4)	0.5 (1.5)	0.5 (1.2)	0.8 (1.5)
定量限界, ppb (ng/L)	8.0 (14.2)	1.5 (4.0)	1.5 (4.4)	1.3 (3.0)	1.6 (3.0)
RSD (%)	6.5	1.7	2.3	2.8	2.5

試料採取量: 50 mL

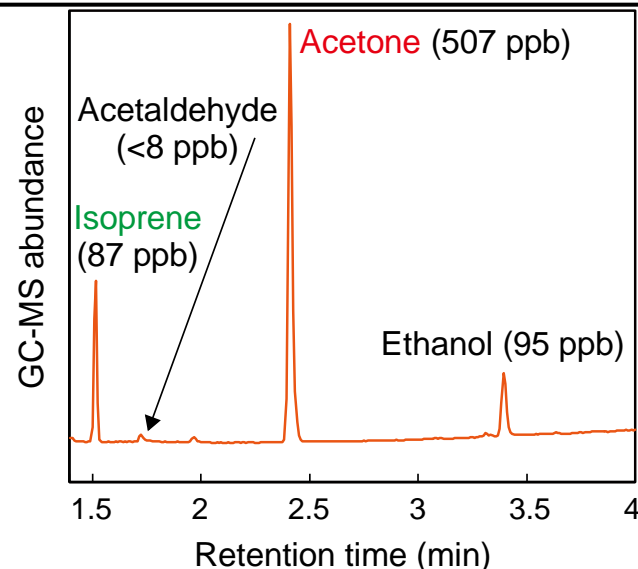
RSD: ピーク面積の相対標準偏差値 ($n = 5$)

呼気中の一般的な濃度

- **イソプレン**: 50 ppb ~ 500 ppb程度
- **アセトン**: 100 ppb ~ 700 ppb程度

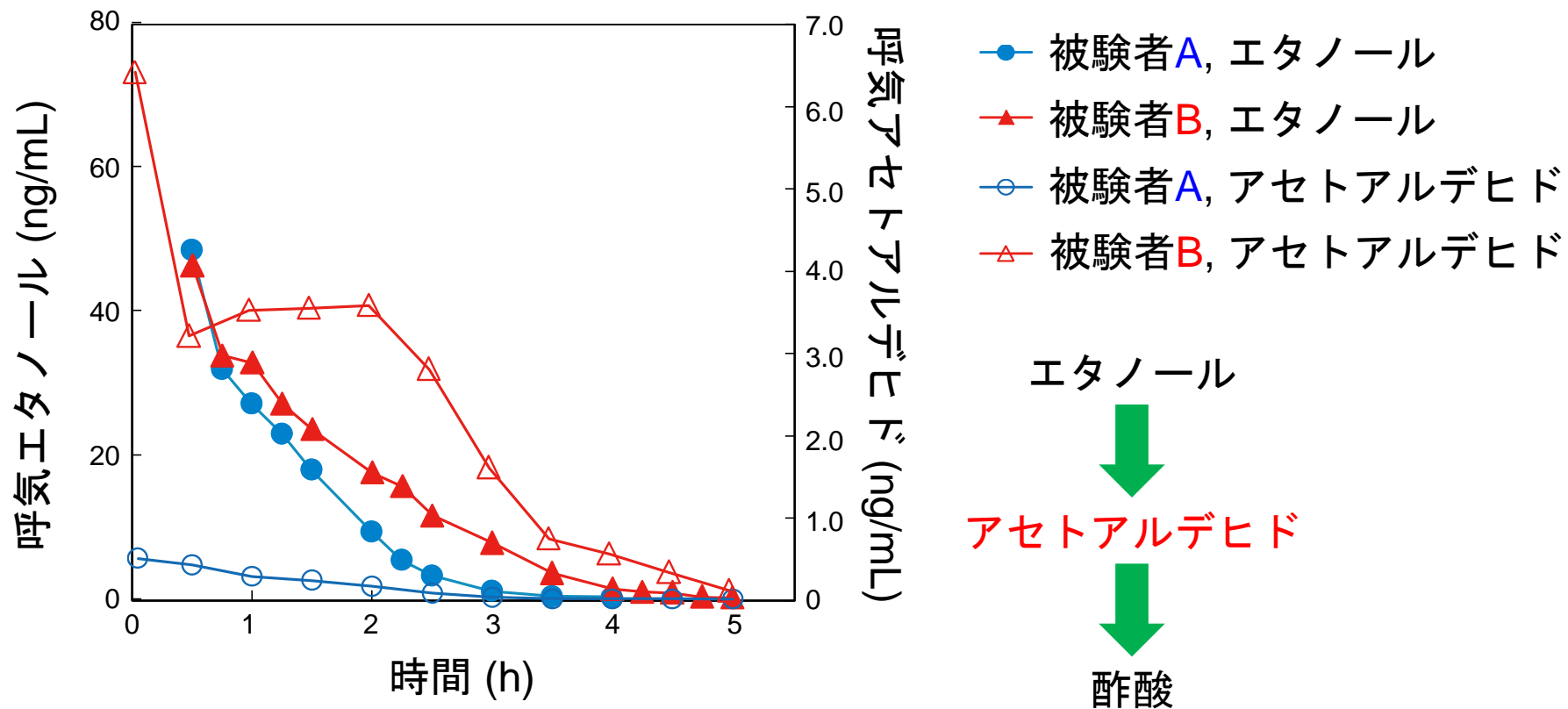


Carbopack X (15 mm)
カーボンモレキュラーシーブ (CMS) (15 mm)



GC-MS conditions: head pressure; He 100 kPa, split ratio; 50, column; HP-INNOWAX (0.2 mm i.d. x 30 m, 0.4 μ m d_f), column temperature; 40°C (1.5 min) to 90°C at 20°C/min, monitoring mode; SIM (m/z 44, 46, 58 and 67).

粒子充填型濃縮針を用いた気体中VOCsの高感度分析 ～呼気分析



試料: アルコール濃度5.5%ビール摂取後の呼気



小型濃縮デバイスを用いた揮発性有機化合物の分析

- **粒子充填型濃縮針**を用いた気体中VOCsの高感度分析
- **針型濃縮デバイス**を用いる水中VOCs分析
- **分配型抽出デバイス**による空気中の半揮発性有機化合物の分析

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

水道水中VOCs: 厚生労働省(MHLW)が**水質基準項目**およびそれらの**基準値**、測定法を公表.



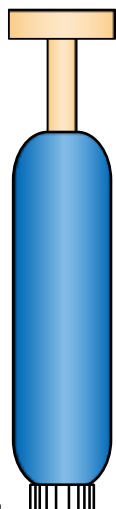
パージ・トラップ(PT)抽出後に、
ガスクロマトグラフ-質量分析計(GC-MS)で分析

市販のPT装置: **高感度**、**自動化**
高価

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

サンプリング

HS 100 mL
約9分



水試料
(20 mL)

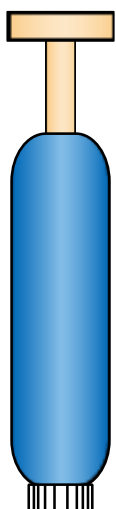
ホットス
ターラー

水浴

濃縮針

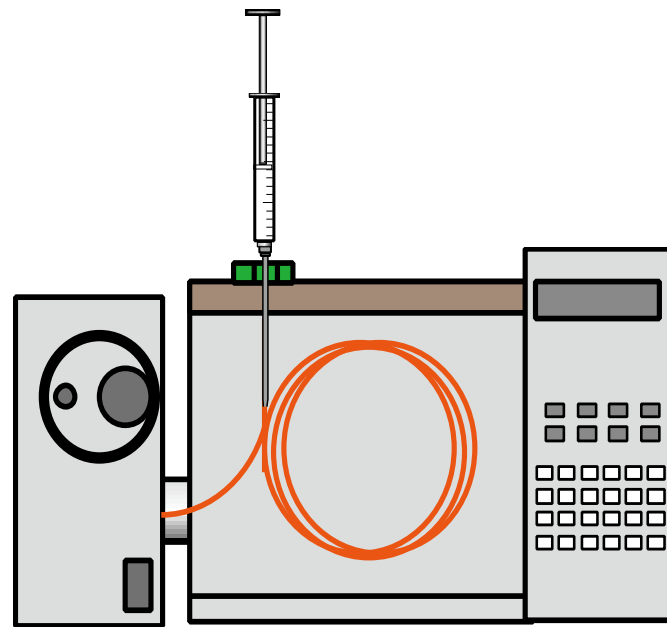
ドライパーズ

N₂ 50 mL
約4分



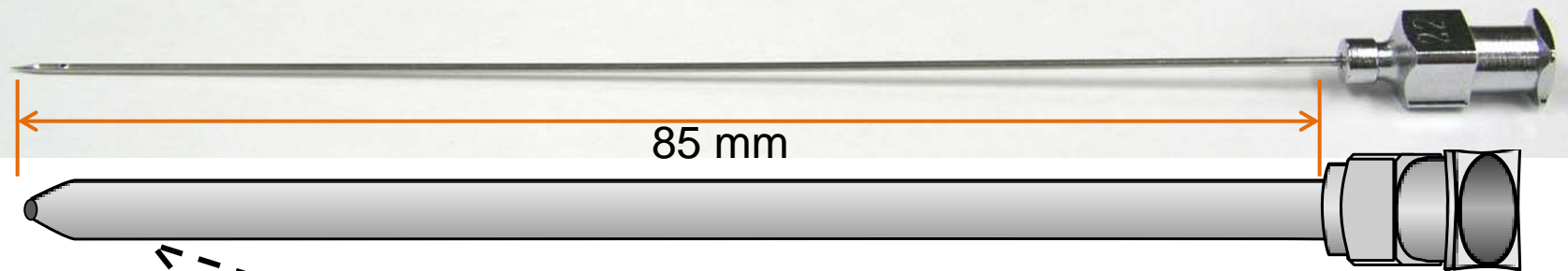
N₂

脱着・GC-MS分析



GC-MS

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析



ポリジビニルベンゼン

活性炭
(Shincarbon ST)

カーボンモレキュラーシーブ
(CMS)

粒子径 : 150~180 μm

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

No.	化合物 (定量イオン(<i>m/z</i>))	LOQ (µg/L)	厚生労働省水道水 水質基準 (µg/L)	WHO飲料水水質ガイ ドライン (µg/L)
1	1,1-Dichloroethylene (61)	0.6	100 ^(b)	30
2	Dichlorometane (49)	0.03	20 ^(a)	20
3	<i>trans</i> -1,2-Dichloroethylene (61)	0.2	40 ^(a)	50
4	<i>cis</i> -1,2-Dichloroethylene (61)	0.1	40 ^(a)	50
5	Trichloromethane (83)	0.1	60 ^(a)	200
6	1,1,1-Trichloroethane (97)	0.5	300 ^(b)	
7	Carbon tetrachloride (117)	0.2	2 ^(a)	4
8	1,2-Dichloropropane (62)	0.1	4 ^(a)	30
9	Benzene (78)	0.03	10 ^(a)	70
10	Trichloroethylene (95)	0.5	10 ^(a)	70
11	1,2-Dichloropropane (62)	0.1		40
12	Bromodichloromethane (83)	0.2	30 ^(a)	60
13	<i>cis</i> -1,3-Dichloropropene (75)	0.2		20
14	Toluene (91)	0.05	400 ^(b)	700

a) 水質基準.

b) 水質管理目標.

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

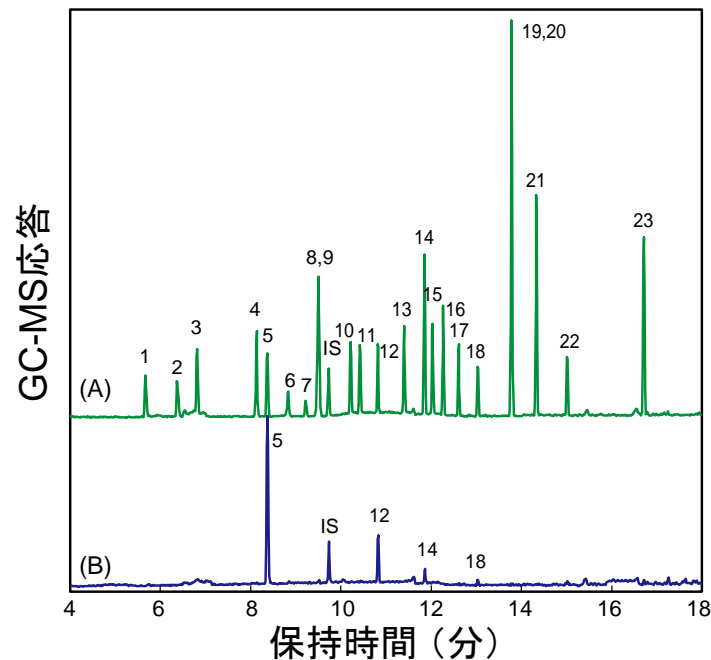
No.	化合物 (定量イオン(m/z))	LOQ ($\mu\text{g/L}$)	厚生労働省水道水 水質基準 ($\mu\text{g/L}$)	WHO飲料水水質ガイ ドライン ($\mu\text{g/L}$)
15	<i>trans</i> -1,3-Dichloropropene (75)	0.2		20
16	1,1,2-Trichloroethane (97)	0.2	300 (b)	
17	Tetrachloroethylene (166)	0.2	10 (a)	40
18	Dibromochloromethane (129)	0.2		
19	<i>m</i> -Xylene (91)	0.03		
20	<i>p</i> -Xylene (91)	0.05		
21	<i>o</i> -Xylene (91)	0.3		
22	Tribromomethane (173)	0.1		
23	1,4-Dichlorobenzene (146)			
IS	Fluorobenzene (96)			

a) 水質基準.

b) 水質管理目標.

・定量下限: **基準値の1/10以下** (23種VOCs)

・繰り返し再現性(RSD): **10.4%以下** ($n = 5$)



(A) 23種VOCs標準試料+IS 各5 $\mu\text{g/L}$

(B) 水道水(山梨県内)+IS

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

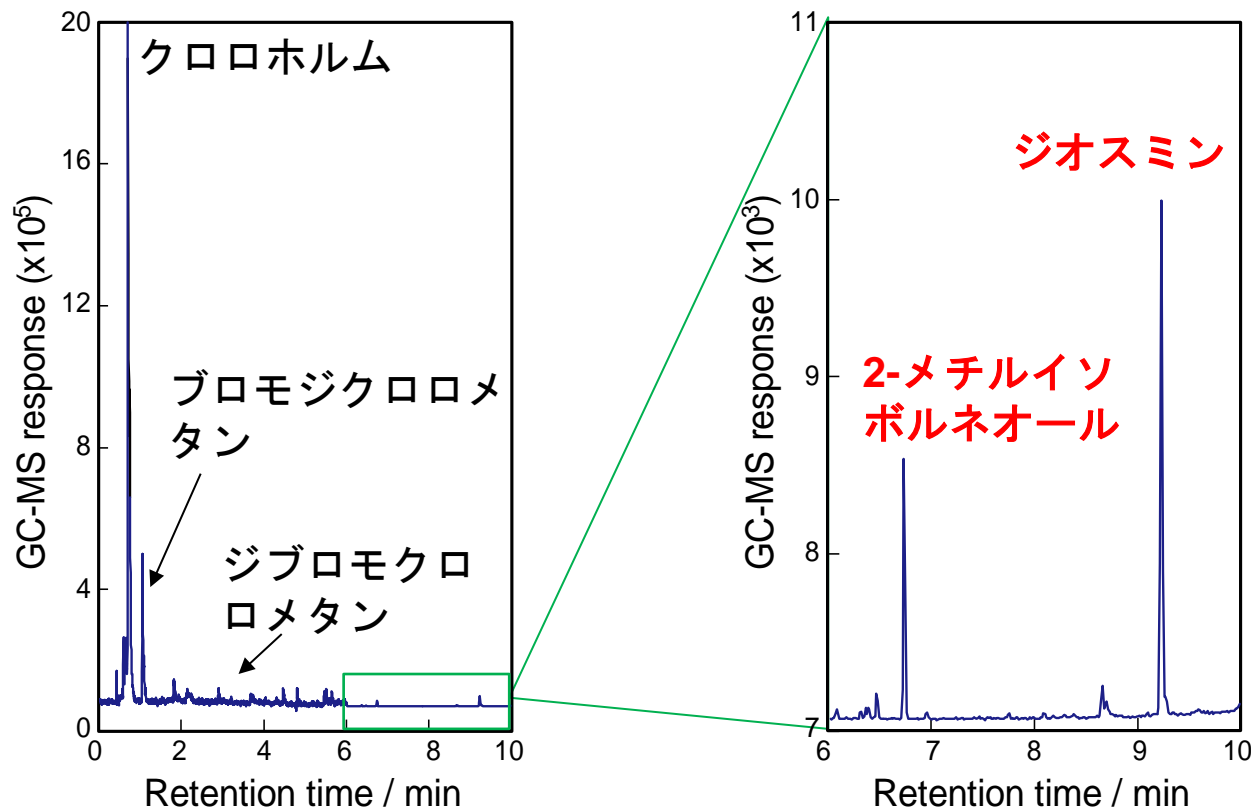
No.	化合物	定量値 (µg/L)					
		a	b	c	d	e	f
5	Trichloromethane	7.76	0.11	0.22	3.96	4.16	7.49
12	Bromodichloromethane	5.35	<LOQ	<LOQ	2.05	4.01	7.09
14	Toluene	0.16	0.09	0.14	0.16	0.16	0.34
18	Dibromochloromethane	0.28	0.21	<LOQ	0.34	3.32	5.05
19, 20	<i>m</i> -, <i>p</i> -Xylene	0.08	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.23	0.22
21	<i>o</i> -Xylene	0.06	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.17	0.16
22	Tribromomethane	0.15	0.29	<LOQ	0.35	1.16	1.17

* a, b, c, d: 山梨県内4市水道水.

* e, f: 東京都内2市水道水.

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

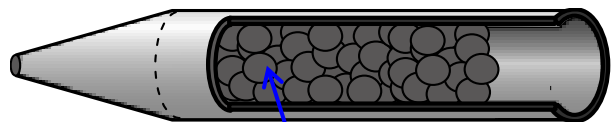
かび臭化合物 (10 ng/L) 添加水道水



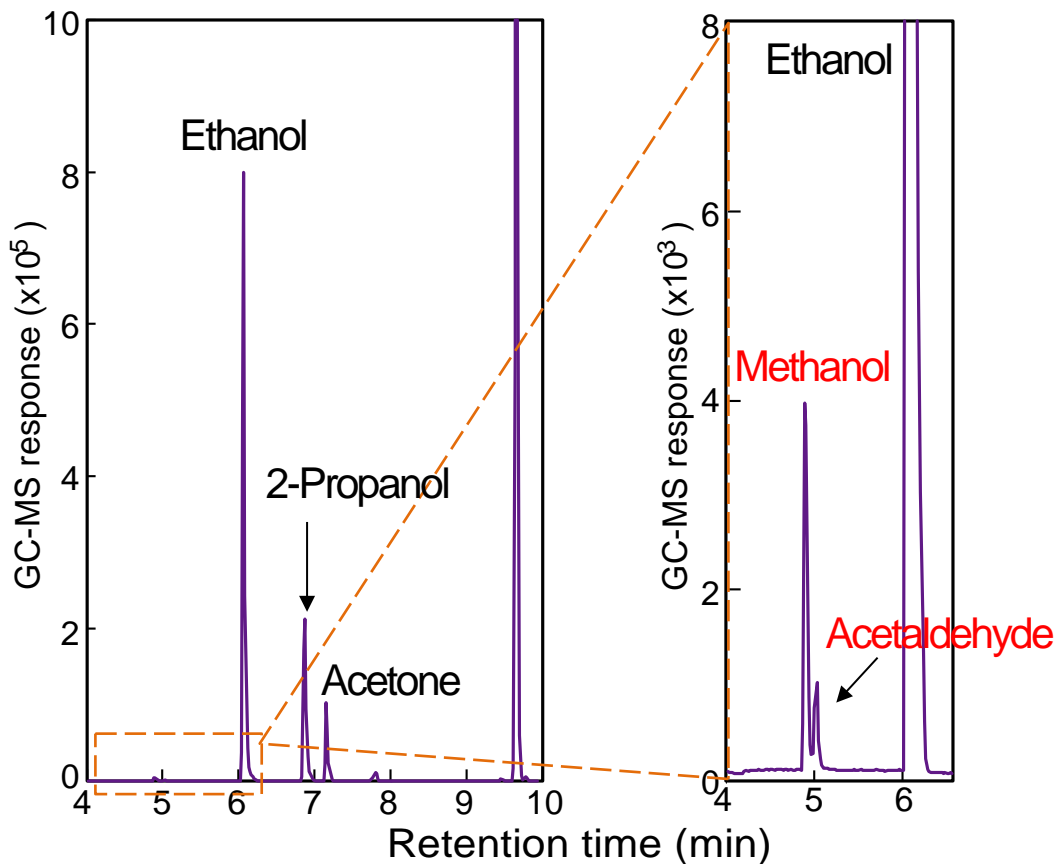
水試料量 : 40 mL, パージ温度 : 35°C, ガス採取量 : 200 mL, 測定モード:
0-6分 TIMモード (m/z 45-250), 6-10分 SIMモード (m/z 95, 107, 111, 112).

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

ぶどうジュース(果汁100%ストレート, 10倍希釈)

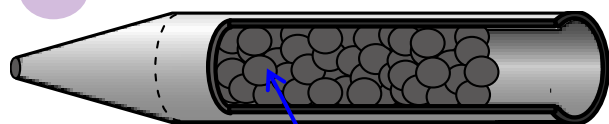


カーボンモレキュラーシブ
(CMS)



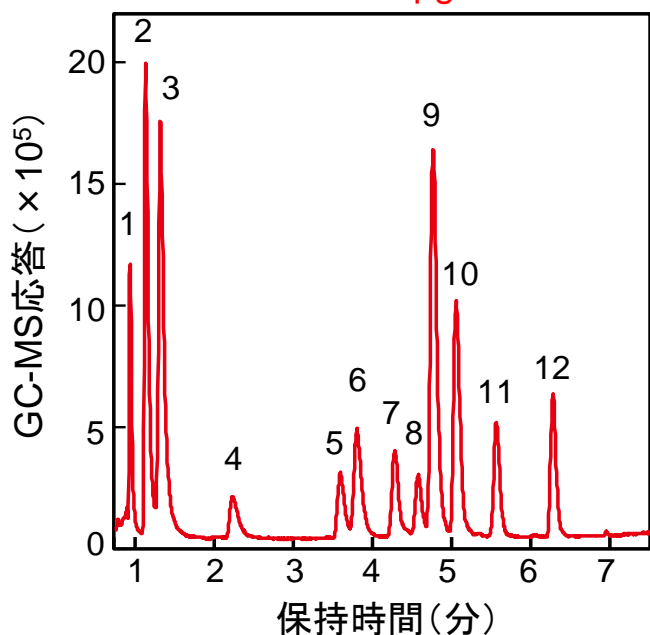
カラム: AQUATIC (60 m × 0.25 mm, 1.0 μm), 試料量: 20 mL,
パージ温度: 35°C, ガス採取量: 100 mL, 測定モード: SIMモード (m/z 31, 41, 43, 44, 45, 58, 84).

針型濃縮デバイスを用いる水中VOCs分析

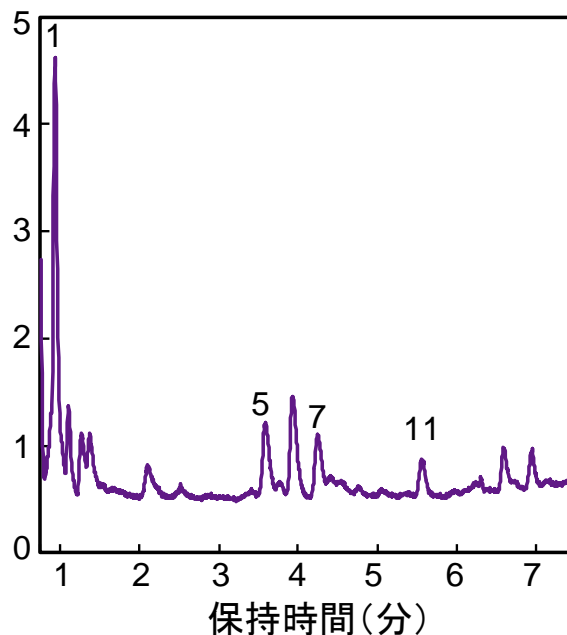


Carbopack X

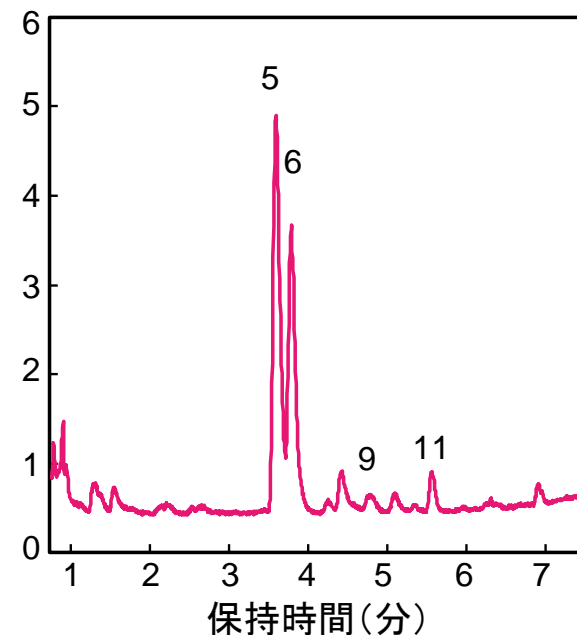
標準試料(各100 µg/L)



ぶどうジュース(4倍希釈)



ザクロ果汁(4倍希釈)



1) 酢酸エチル, 2) 酪酸メチル, 3) 酪酸エチル, 4) リモネン, 5) ヘキサノール, 6) *cis*-3-ヘキセン-1-オール, 7) フルフラール, 8) ベンズアルデヒド, 9) リナロール, 10) 4-テルピネオール, 11) α -テルピネオール, 12) ゲラニオール



小型濃縮デバイスを用いた揮発性有機化合物の分析

- **粒子充填型濃縮針**を用いた気体中VOCsの高感度分析
- **針型濃縮デバイス**を用いる水中VOCs分析
- **分配型抽出デバイス**による空気中の半揮発性有機化合物の分析

分配型抽出デバイスによる空気中の半揮発性有機化合物の分析

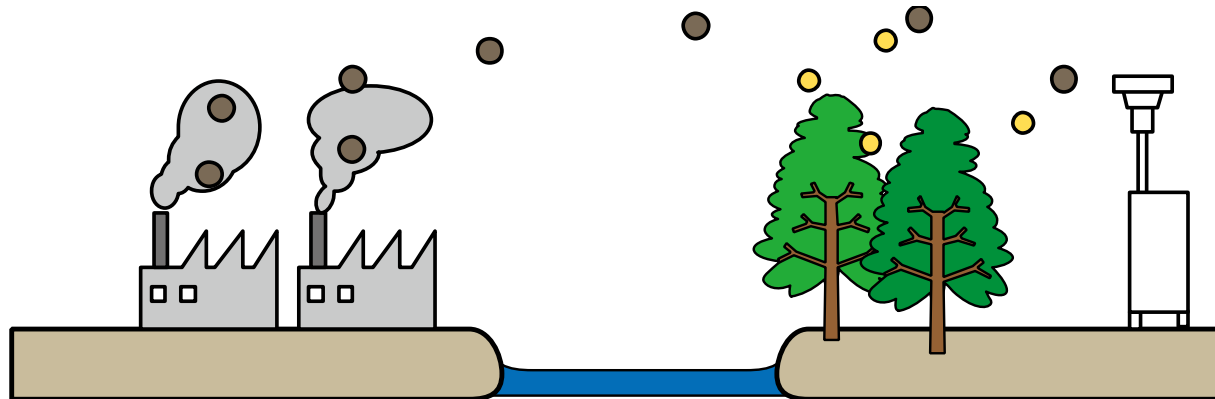
大気中の**粒子状物質 (PM)** 濃度に関心

- ・ 無機成分
- ・ イオン成分
- ・ **有機成分 (二次生成粒子) 約50%**

(セスキテルペン類)

(多環芳香族炭化水素 (PAHs)) などの

半揮発性有機化合物 (SVOCs)
(粒子状・エアロゾル状)



分配型抽出デバイスによる空気中の半揮発性有機化合物の分析

空気中の半揮発性有機化合物(SVOCs: PAHs, セスキテルペン類等)分析法

固相吸着 / 加熱脱着法

- ・ 自動化
- ・ 無溶媒
- ・ 高価な専用装置の使用
- ・ 低脱着効率
- ・ 低定量性

フィルター・ 吸着剤捕集法

- ・ 長時間採取
- ・ 大量採取
- ・ 大量の有機溶媒を使用
- ・ 長い脱着時間
- ・ 低定量性

多孔質剤による吸着捕集 (Adsorption)

⇒ 非多孔質剤による分配捕集 (Absorption)

分配型抽出デバイスによる空気中の半揮発性有機化合物の分析

分配捕集

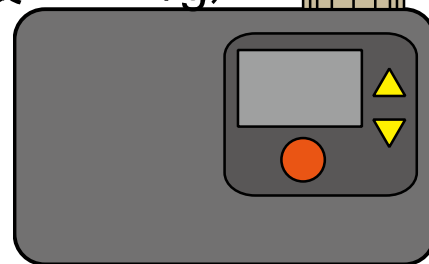
脱着溶媒 (約10 mL)

空気
(5 L/分)

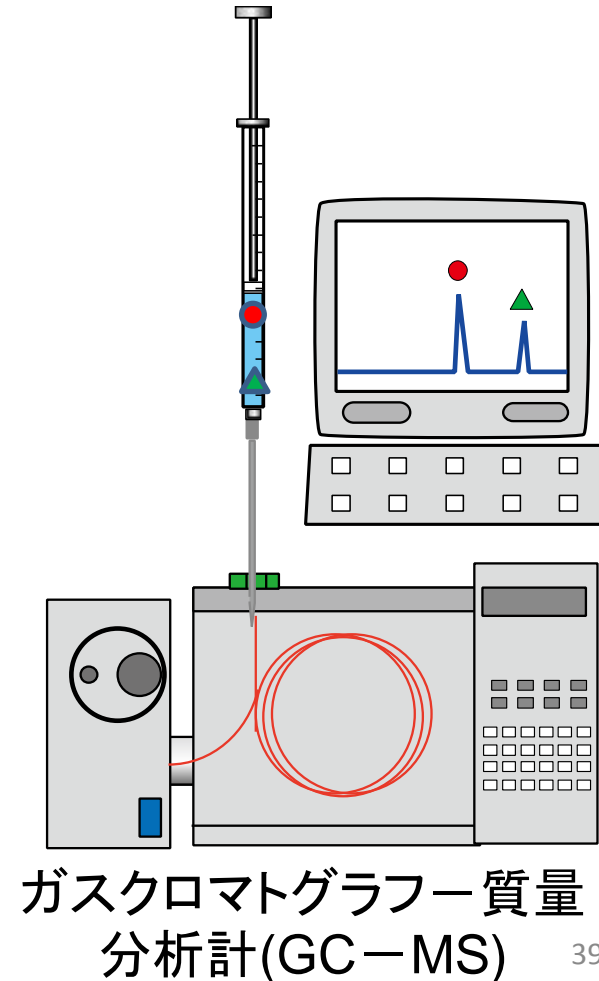
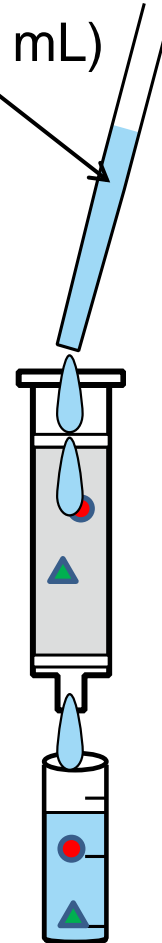
14.9 mm

95 mm

ポリジメチルシロキサン(PDMS)被覆マクロポーラスシリカ(MPSi)粒子
(表面積: $2 \text{ m}^2/\text{g}$)

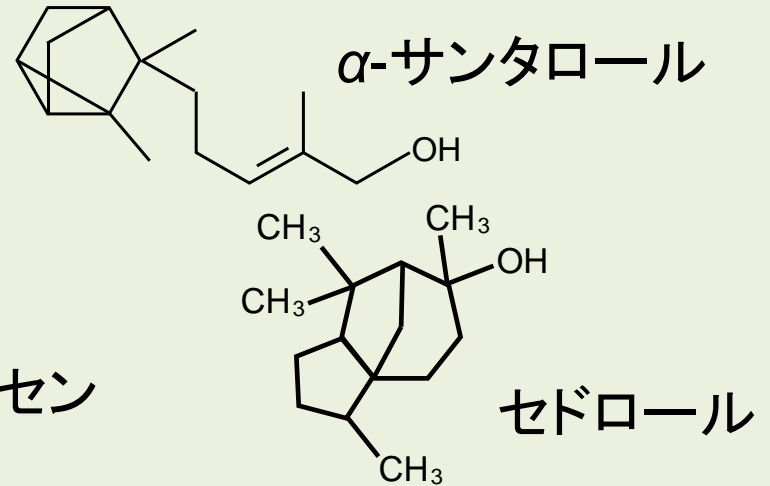
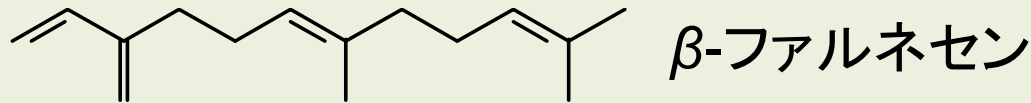
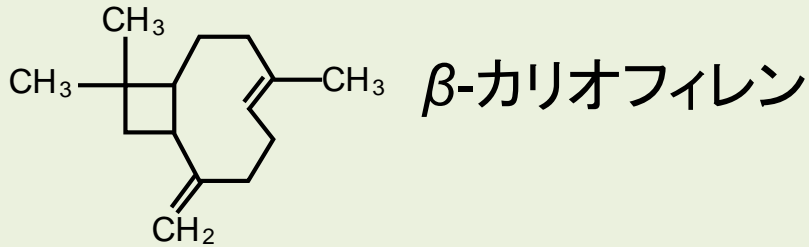


ガス採取ポンプ



分配型抽出デバイスによる空気中の半揮発性有機化合物の分析

セスキテルペン類 (C₁₅H₂₄)



PAHs

- 3環 (a) アセナフチレン, (b) アセナフテン, (c) フルオレン, (d) フェナントレン, (e) アントラセン
- 4環 (f) ピレン, (g) フルオランテン, (h) ベンゾ[a]アントラセン, (i) クリセン
- 5環 (j) ベンゾ[b]フルオランテン, (k) ベンゾ[k]フルオランテン, (l) ベンゾ[a]ピレン, (m) インデノ[1,2,3-cd]ピレン, (n) ジベンゾ[a,h]アントラセン,
- 6環 (o) ベンゾ[g,h,i]ペリレン

分配型抽出デバイスによる空气中的半揮発性有機化合物の分析

PDMS (10%)

採取量 (L)	抽出効率 (%)			
	a	b	c	d
B				
50	100	100	100	100
75	79.2	99.6	100	100
100	21.4	88.6	100	100
150	0.16	1.82	100	100

PDMS (20%)

採取量 (L)	抽出効率 (%)			
	a	b	c	d
B				
50	100	100	100	100
75	100	100	100	100
100	89.8	100	100	100
150	20.0	89.8	100	100

PDMS (30%)

採取量 (L)	抽出効率 (%)			
	a	b	c	d
B				
250	90.3	100	100	100
300	37.0	90.5	100	100
400	0	36.2	100	100
500	0	3.0	100	100

PDMS (40%)

採取量 (L)	抽出効率 (%)			
	a	b	c	d
B				
250	100	100	100	100
300	90.1	100	100	100
400	50.8	99.3	100	100
500	4.3	72.5	100	100

試料: (a)アセナフチレン, (b)アセナフテン, (c)フルオレン, (d)フェナントレン. 空気採温度: 35°C.

分配型抽出デバイスによる空気中の半揮発性有機化合物の分析

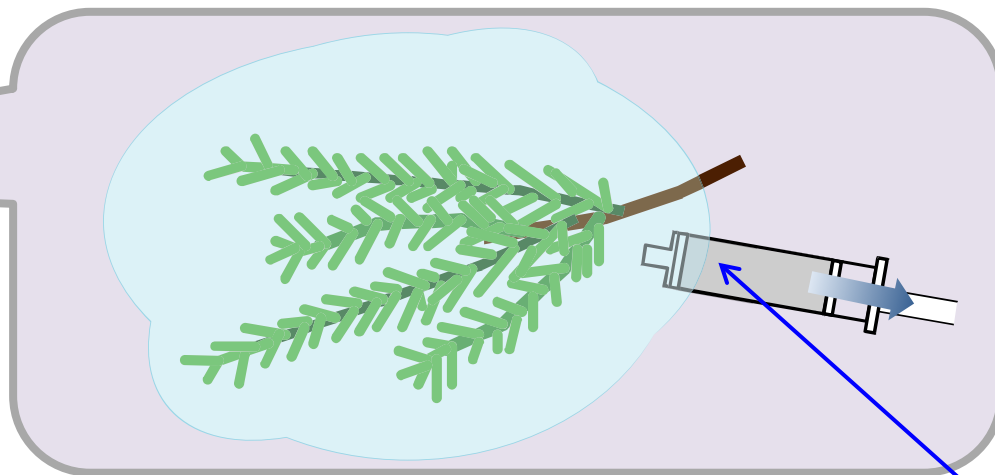
溶媒量 (mL)	脱着効率 (%)													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j, k	l	m	n	O
5														
通液	62.5	93.5	88.2	46.7	43.8	38.5	37.1	43.1	43.3	47.9	87.8	48.1	45.3	46.2
浸漬	98.4	97.5	96.3	83.8	83.3	87.8	88.7	93.5	89.9	93.0	93.5	92.4	93.5	90.1
超音波	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
10														
通液	100	98.9	98.7	82.5	81.7	75.4	74.5	95.5	94.0	94.4	94.0	100	100	100
浸漬	100	100	100	100	98.3	97.4	98.6	100	100	100	100	100	100	100
超音波	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20														
通液	100	100	100	73.3	71.9	66.3	67.0	90.9	87.7	87.9	90.4	100	100	100
浸漬	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
超音波	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

超音波照射によって、少量の溶媒で100%の脱着を達成

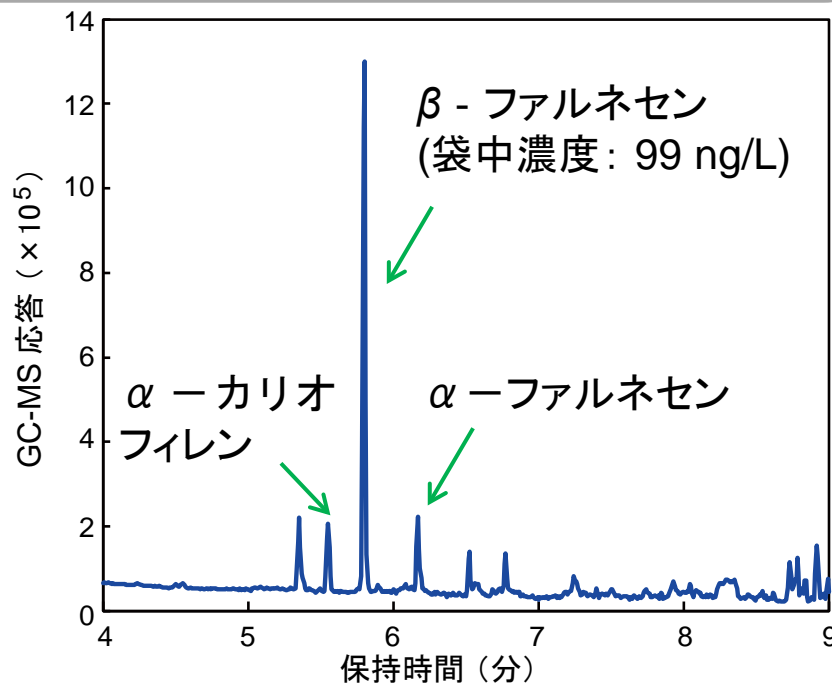
浸漬: 通液—5分—通液, 超音波: 通液—超音波照射(5分)—通液.

脱着溶媒: アセトン, 空気吸引: 200 L, 採取温度: 35°C.

分配型抽出デバイスによる空気中の半揮発性有機化合物の分析

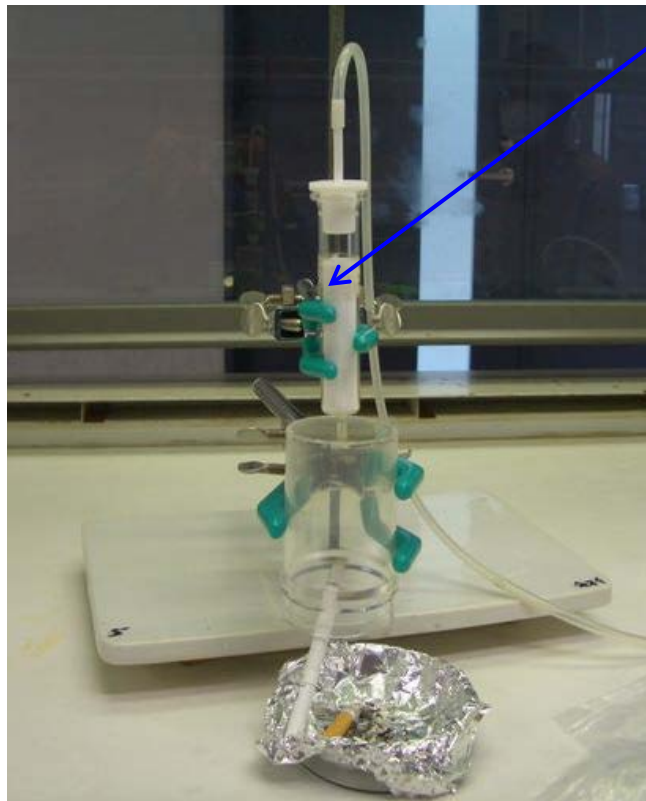


カラム: DB-5 (長さ30 m, 内径0.32 mm, 膜厚0.25 μm)
カラム温: 100 $^{\circ}\text{C}$ (2分) から 200 $^{\circ}\text{C}$ まで 20 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$, 200 $^{\circ}\text{C}$ から 260 $^{\circ}\text{C}$ まで 30 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$
注入口温度, インターフェース温度: 300 $^{\circ}\text{C}$, 測定モード: TIM (m/z : 45~250)
空気採取量: 15 L (1.5 L/分), 試料導入量: 2 μL

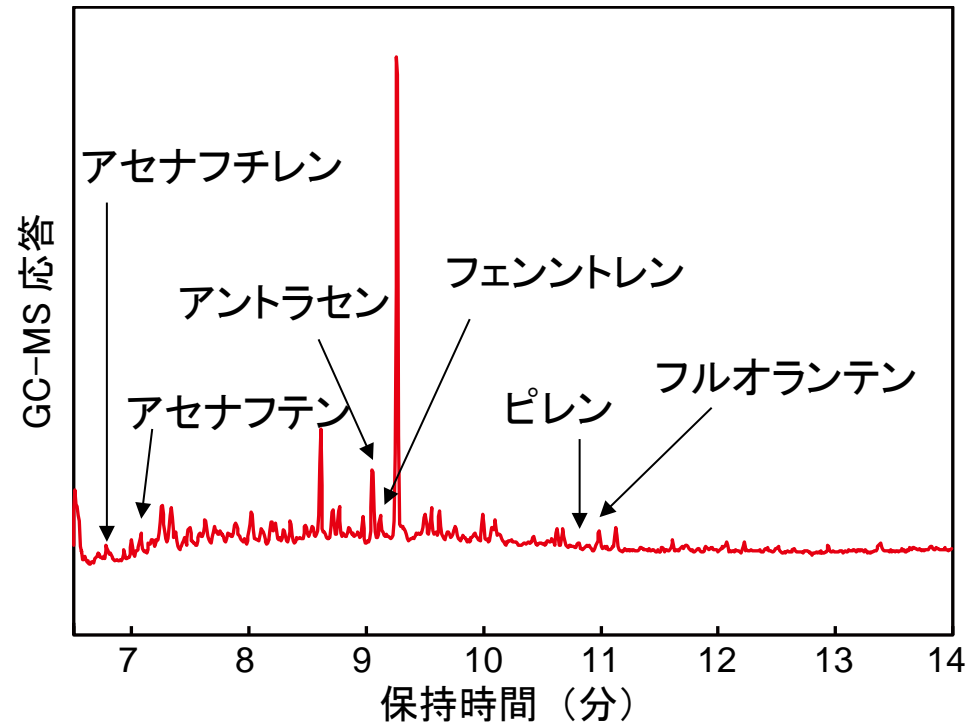


MPSi-C₁₈

分配型抽出デバイスによる空气中的半揮発性有機化合物の分析



MPSi-PDMS



カラム: HR-52 (長さ30 m, 内径0.25 mm, 膜厚0.25 μm), カラム温度: 100 $^{\circ}\text{C}$ (2分)から300 $^{\circ}\text{C}$ (6分)まで20 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$, 注入口温度: 320 $^{\circ}\text{C}$, インターフェース温度: 300 $^{\circ}\text{C}$, 測定モード: SIM (m/z : 76, 82, 101, 114, 126, 138, 139, 152, 153, 166, 178, 202, 228, 252, 276, 278)
空気採取量: 10 L (1.0 L/分), 試料導入量: 2 μL



まとめ

- **針型試料前処理デバイス**を用いることで空気環境中および呼気中の揮発性有機化合物(**VOCs**および**VVOCs**)の迅速・簡便・高感度分析を達成.
- 針型抽出デバイスを**水中VOCs**の**PT分析法**に応用可能.
- **分配型抽出デバイス**を用いる大気中の**半揮発性有機化合物 (SVOCs)**分析法を開発中.

- 植田郁生, 齊戸美弘; *分析化学(総合論文)*, **60**, No. 11, 833-844 (2011).
- I. Ueta, *Chromatography (Review)*, **34**, 21-31 (2013).
- I. Ueta, Y. Saito; *Anal. Sci. (Review)*, **30**, 105-110 (2014).