

厚生労働行政推進調査事業費補助金（化学物質リスク研究事業）  
分担研究年度終了報告書

ヘリウム不足に対応した有害物質試験法に関する研究

研究分担者 河上 強志（国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 室長）

研究協力者 田原 麻衣子（国立医薬品食品衛生研究所 生活衛生化学部 主任研究官）

### 研究要旨

近年、世界的なヘリウムガスの供給不足により、ヘリウムをキャリアガスに用いるガスクロマトグラフィー（GC）は代替キャリアガスを用いた分析法開発が求められている。家庭用品規制法で基準が策定されている有害物質の試験法でも GC を使用しているものは多く、代替キャリアガスを用いた試験法の開発が急務である。このような背景から、本分担研究では家庭用品規制法において分析法に GC を採用している有害物質について、ヘリウム代替キャリアガスを用いた分析法を開発することを目的としている。本年度は、先行研究で開発したメタノール（MeOH）、トリクロロエチレン（TCE）およびテトラクロロエチレン（PCE）の溶剤 3 種を対象とし、代替キャリアガスとして水素および窒素の適用性について検討した。その結果、キャリアガスを変更しても、カラム、オープン昇温条件等は変更することなく、ガス流量のみを変更することでエアゾル試料中の対象物質の測定において、十分な分離が得られる分析条件を構築できた。ただし、いずれの物質でも窒素使用時の感度が低く、ヘリウム使用時と比べて 1/20 未満であった。しかし、いずれのキャリアガスを用いても溶剤 3 種の定量下限値は現行基準値（MeOH：5 w/w%、TCE および PCE：0.1%）を下回り、対象製品の基準値の適合判定は可能であった。以上から、エアゾル試料中の溶剤 3 種の GC 分析に、ヘリウム代替キャリアガスとして水素もしくは窒素が利用可能であることが明らかになった。

### A. 研究目的

有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律（以下、家庭用品規制法）<sup>1)</sup>において基準が策定されている有害物質21物質群のうち、14物質群で試験法にガスクロマトグラフィー（GC）を採用している。GCはキャリアガスとしてヘリウムが汎用されているが、近年、ヘリウムの生産施設トラブルや

需要の急増に伴う世界的な供給不安定化が深刻化しており、今後も安定的な入手が困難な状況になる可能性がある<sup>2,3)</sup>。そのため、家庭用品規制法においても、ヘリウム代替キャリアガスを用いた試験法の開発が求められている。このような背景から、本分担研究では家庭用品規制法において分析法に GCを採用している有害物質について、ヘリ

ウム代替キャリアガスを用いた分析法の開発を目的としている。

今年度は、家庭用エアゾル製品中の有害物質として指定されている、メタノール (MeOH)、トリクロロエチレン (TCE) およびテトラクロロエチレン (PCE) の溶剤3種を対象とした。現行の家庭用品規制法におけるMeOHの試験法は蒸留およびヘキサン洗浄後、充填カラムを用いたGC-水素炎型検出器による分析、TCEおよびPCEはGC-電子捕獲型検出器による分析が設定されている<sup>4)</sup>。しかし、これらの分析法は現在の分析水準から乖離しているため、先行研究において、ヘッドスペースおよびキャピラリーカラムを用いたGC/質量分析法(HS-GC/MS)による分析法を開発し、改正試験法として提案している<sup>5-7)</sup>。そこで、溶剤3種は先行研究で開発したHS-GC/MSを用いた試験法について、ヘリウム代替キャリアガスの適用可能性を検討した。

## B. 研究方法

### B.1 試薬類およびエアゾル試料

MeOH、TCEおよびPCEの標準品にはシグマアルドリッチジャパン社製を、内部標準物質には Cambridge Isotope Laboratories製の MeOH-*d*<sub>3</sub>およびTCE-*d*を用いた。標準品および試料の溶解、希釈には関東化学製残留溶媒試験用または鹿1級の乳酸エチル (EL) を使用した。

先行研究では、令和元年度に溶剤3種のHS-GC/MSを用いた分析法について妥当性評価試験を実施し<sup>6)</sup>、その際の評価試料として、対象3物質が基準値濃度の試料Aと基準値濃度の1/10の試料Bの2種類のエアゾル試料を作製している。本試料はTable 1に示す

通り、対象3物質に加え妨害物質として存在する可能性のある揮発性有機化合物 (VOC) 12種が添加されており、各キャリアガスを用いた分析法の最適条件の検討に用いた。

## B.2 試料調製

### B.2.1 標準溶液の調製

5%MeOH、0.1%TCE および 0.1%PCEの混合標準液を EL にて調製し、その溶液を EL で正確に 50 倍、100 倍、500 倍、1000 倍、2000 倍、5000 倍、10000 倍に希釈したものを検量線用標準溶液とした。検量線用標準液の各濃度の 5 mL をヘッドスペースバイアルに正確に採り、EL で調製した混合内部標準液 (5%MeOH-*d*<sub>3</sub> および 0.1%TCE-*d*) を 50  $\mu$ L 加えて、PTFE/シリコンセプタム付きアルミキャップで密栓した。EL はすべて残留溶媒試験用を使用した。

### B.2.2 試料溶液の調製

開発した改正試験法に従い、200 mL三角フラスコを氷冷し、エアゾル試料の内容物をプラスチック製ノズルにてフラスコ内に噴射させて捕集した。捕集試料0.50 gを正確に量り採り、ELで50 mLとし、この溶解溶液5 mLをヘッドスペースバイアルに正確に採り、混合内部標準液を50  $\mu$ L加えてPTFE/シリコンセプタム付きアルミキャップで密栓した。エアゾル試料Bの希釈には、残留溶媒試験用または鹿1級の2種類を使用した。以後、試料は上記の通り100倍希釈して測定する際の濃度に換算 (実試料換算) して記載する。

### B.3 装置および分析条件

ヘッドスペース装置はPAL3 RSI サンプルリングインジェクタを使用し、加熱温度 30°C、加熱時間 30 min、シリンジ温度 50°C、注入量 1 mL とした。

GC/MS はアジレントテクノロジー製 8890 および 5977B を、キャピラリーカラムは RESTEK 製 Rxi-624Sil MS (60 m×0.32 mm i.d., 1.8 μm または 30 m×0.25 mm i.d., 1.4 μm) を用いた。本装置の 60 m カラム使用時の分析条件を Table 2 に示す。代替キャリアガスには AIR TECH 製超高純度水素ガス発生装置 NM plus を用いて発生させた水素ガス並びに窒素ガス (純度 99.9995%以上) を用いた。測定は SCAN モード ( $m/z=29-200$ ) および SIM モード (測定イオンは Table 2 参照) で実施した。

### B.4 検出下限値および定量下限値の算出

検出下限値 (LOD) および定量下限値 (LOQ) は下記の2つの方法を用いて比較した。

検量線用試料 7 点を測定し、ベースラインノイズに対するシグナルの強度 (S/N) が 3 倍以上の濃度を LOD、10 倍以上の濃度を LOQ とした。また、検量線最下点濃度の試料を 3 回測定し、得られた標準偏差 ( $\sigma$ ) から  $3\sigma$  値および  $10\sigma$  値をそれぞれ LOD および LOQ とした。

## C. 研究結果および考察

### C.1 キャリアガスの違いによる GC/MS 分析条件の検討

溶剤3種のGC/MSを用いた改正試験法について、キャリアガスにヘリウムを用い、最適条件 (Table 2) により作成した検量線を

Fig. 1に、検量線の最高濃度およびエアゾル試料AをScanモードにより測定したクロマトグラムをFig. 2に示す。改正試験法は、家庭用品規制法で指定されている3種および未規制のVOCも同時分析可能な方法として開発されており、エアゾル試料の測定においても夾雑するVOCと十分に分離していた。

次にキャリアガスを水素に変更し、最適条件を検討した。その結果、カラム、オーブン昇温条件等は変更せず、ガス流量を1.5 mL/min (線速度46.51 cm/sec) に変更するだけで良好な分離が得られ (Fig. 3および Table 3)、検量線は良好な直線性が得られた (Fig. 4)。水素をキャリアガスとして用いた場合には、配管等に付着した汚れなどが還元作用により溶出することにより、ベースラインが安定しない現象が報告されている<sup>8)</sup>が、本研究ではベースラインの上昇等、クロマトグラム上に測定の妨害となるような現象は確認されなかった。

窒素をキャリアガスとした場合には、ヘリウムガス使用時と同じ条件で、Scanモードでの測定では感度不足から良好なクロマトグラムが得られなかったが、SIMモードでの測定では各物質の検出は可能であった (Fig. 5およびTable 3)。ただし、ガス流量が 1.0 mL/min (線速度26.73 cm/sec) では真空度がヘリウム使用時に比べて極端に低下し、感度の低下が懸念された。そのため、流量をできる限り下げた結果、0.7 mL/min (線速度22.37 cm/sec) において各物質について良好なピーク形状と十分な分離が得られ (Fig. 5およびTable 3)、検量線は良好な直線性が得られた (Fig. 6)。窒素は一般的に最適線速度が遅いため、良好な分離を得る

ためにはヘリウムや水素に比べて分析時間が長くなるとされているが、本条件ではそれほど影響なく、ヘリウムと同等の保持時間で測定可能であった。

注入方法はパルスドスプリット（設定流量における圧力の約3倍, 0.5 min）についても検討したが、どのキャリアガスを用いた場合でもピーク形状はスプリット分析の方が良好であった。また、化合物によっては、キャリアガスの違いによりマススペクトルパターンが異なることが知られている<sup>9)</sup>。本検討では、すべてのキャリアガスで同じ定量イオンを用いても問題なく定量可能であったが、特に水素ガスを用いた際のTCEの分析では、定量イオンと定性イオンのイオン強度比がヘリウム使用時と異なっていた（Fig. 7）。そこで、水素をキャリアガスとした場合に、TCEおよびTCE-dの定量イオンを  $m/z=95$  および  $96$  に変更しても、定量可能であった。

これらの検討より、キャリアガスを変更しても、カラム、オープン昇温条件等を変更することなく、ガス流量のみを変更するだけでエアゾル試料中の溶剤3種の測定で十分な分離が得られる分析条件を構築できた。これらの結果から得られた分析条件を用いて検量線を作成した結果、いずれのキャリアガスでも実試料換算でMeOH 0.05-10%、TCEおよびPCE 0.001-0.2%の濃度範囲で相関係数0.999以上の良好な直線性を示した（Table 3）。なお、エアゾル試料は噴射剤にジメチルエーテル（DME）が用いられ、DMEはメタノールより前に溶出し、希釈溶媒であるELはPCEより後ろに溶出する。水素および窒素キャリアガスを使用する際にも、サンプリングタイムはDMEおよびEL

の溶出時間を排除して設定した（Table 3）。

## C.2 キャリアガスの違いによる装置感度の比較

キャリアガスごとの感度の違いを検証するために検量線7点の各濃度におけるピーク面積とS/N比をそれぞれ比較した。検量線最高濃度（10% MeOH、0.2% TCEおよび0.2% PCE）におけるSIMモードによるクロマトグラムとそのS/Nおよびピーク面積をFig. 8に示す。MeOHでは水素をキャリアガスとした場合に最も感度が高く、次いでヘリウム、窒素の順であった。TCEおよびPCEはヘリウムをキャリアガスとした場合に最も感度が高く、次いで水素、窒素の順であった。なお、水素をキャリアガスとして使用する際に、不飽和結合を構造中に有する化合物等では還元による化合物の消失などが報告されている<sup>10)</sup>が、今回対象とした物質ではそのような現象は認められなかった。いずれの測定対象物質も窒素使用時はイオン化効率低下による感度損失がみられ、ヘリウムと比べて1/20未満であった。また、検量線最下点濃度（0.05% MeOH、0.001% TCEおよび0.001% PCE, n=3）の測定における面積値の相対標準偏差（RSD）を併行精度として算出した結果、ヘリウムおよび水素使用時は溶剤3種すべて5%以内であったが、窒素においては3.6~32%と、特にTCEおよびPCEにおいて非常に大きなばらつきがみられた（Table 4）。これは倍濃度（0.1% MeOH、0.002% TCEおよび0.002% PCE, n=5）の測定においても同様の傾向がみとめられた。

ヘリウムおよび水素をキャリアガスとして用いた分析では、検量線最下点濃度

(0.05% MeOH、0.001% TCEおよび0.001% PCE)で溶剤3種はいずれもS/N=10以上を十分に満たしていた。窒素をキャリアガスとして用いた分析では、MeOHは検量線最下点濃度でもS/N=10以上を満たしており、TCEおよびPCEのS/Nは4.5および4.0で、LOD条件(S/N=3以上)を満たしていた。そして、TCEおよびPCEが0.01%および0.005%で、S/N=10を超えていた。また、 $\sigma$ から算出した各キャリアガスの測定対象物質のLODおよびLOQ (Table 4) は、窒素ガス使用時が最も高く、MeOHが0.026%、TCEが0.066%、PCEが0.074%であった。いずれの方法で算出したLOQも現行の基準値であるMeOHは5 w/w%、TCEおよびPCEは0.1%を十分に下回る濃度での分析が可能であった。上記で示した濃度は、試料を100倍希釈して測定するよう換算しているため、最も感度の低い窒素ガスの分析では、バックグラウンドに支障がない限り希釈倍率を低くすることにより、もっとLOQを下げることは可能である。

これらの分析法を用いて、エアゾル試料AおよびBに含まれる溶剤3種を定量した。低濃度の試料Bにおいては、希釈溶媒の純度に影響を受ける可能性が考えられたため、残留溶媒試験用 (min. 99.0%) または鹿1級 (min. 97.5%) の2種類で希釈し、定量した。その結果、Table 5に示す定量値が得られ、希釈溶媒の純度の影響はみられなかった。改正試験法の妥当性評価を実施した際の測定値よりも特にMeOH濃度が低下しているが、試料を充填してから2年以上経過している影響と考えられた。水素および窒素使用時の結果をヘリウム使用時と比較した結果、同等の検出濃度であり、RSDも良好である

ことから、改正試験法について水素および窒素を代替キャリアガスとして使用してもエアゾル試料を十分に定量できることが明らかとなった。

### C.3 カラムサイズの比較

性質は同じで、サイズの異なるカラム (Rxi-624Sil MS 30 m×0.25 mm i.d., 1.4  $\mu$ m)を用いて、ヘリウム、水素、窒素のキャリアガス3種における最適条件を検討し、分離の違いを比較した。その結果、カラムを30 mにしても60 m使用時と同じ条件で分析可能であった。しかし、水素については最適線速度が速く、MeOHの溶出時間が早くなるため、流量1.2 mL/minについても検討した。これらの流量条件から得られた溶剤3種の保持時間をTable 6、エアゾル試料Aを測定したクロマトグラムの比較をFig. 9に示す。分析対象とした妨害物質を含むVOC 15種は、どの条件においても溶出順序は入れ替わることなく同じ、かつ、良好に分離し、それぞれが妨害することはなく、分析可能であった。

### D. 結論

家庭用品規制法において指定されている溶剤 3種の改正試験法であるGC/MS分析について、ヘリウム代替キャリアガスとして、水素および窒素の適用性について検討した。その結果、いずれのキャリアガスを用いても溶剤 3種は現行の基準値であるMeOH 5 w/w%、TCEおよびPCE 0.1%を下回るLOQで分析できることがわかった。以上のことから、エアゾル試料中の溶剤のGC/MS分析に、ヘリウムの代替キャリアガスとして水素もしくは窒素が利用可能であることが明

らかになった。

## E. 参考文献

- 1) 昭和四十八年法律第百十二号: 有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律
- 2) 大家泉: ヘリウム需要の見通し, 高圧力の科学と技術, **22**, 185-190, 2012.
- 3) 小泉善樹: ヘリウムの世界需給と日本の調達見通し, 2019年度ISSPワークショップ「ヘリウム危機の現状と今後の課題」, <https://yamashita.issp.u-tokyo.ac.jp/ISSPWS191106/pp191106/koizumipp.pdf>
- 4) 昭和四十九年厚生省令第三十四号: 有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律施行規則別表第1 (第1条関係)
- 5) Sugaya N., Takahashi M., Sakurai K., Tahara M., Kawakami T., Headspace GC/MS analysis of residual solvents in dietary supplements, cosmetics, and household products using ethyl lactate as a dissolution medium, *J. AOAC Int.*, **103**, 407-412, 2020.
- 6) 河上強志: 家庭用品中の溶剤試験法に関する研究, 厚生労働行政推進調査事業補助金(化学物質リスク研究事業)家庭用品中有害物質の試験法及び基準に関する研究 平成29年度～令和元年度総合研究報告書, 15-49, 2020.
- 7) 河上強志・菅谷なえ子・田原麻衣子・大嶋智子・西以和貴・上村仁・塩田寛子・鈴木郁雄・田畑佳世・五十嵐良明: 有害物質を含有する家庭用品の規制に関する法律

(有害物質含有家庭用品規制法)におけるメタノール、トリクロロエチレン及びテトラクロロエチレン試験法改定に係る検討, 薬学雑誌, **140**, 1485-1494, 2020.

- 8) 西以和貴・上村仁・河上強志: ヘリウムガス不足に対応した繊維製品中防虫加工剤の分析法, 神奈川衛研報告. **50**, 15-20, 2020.
- 9) 中井隆志, 平松良朗, 阿部吉雄: 最新GC-MSにおけるヘリウム供給不足へのソリューション, 環境と測定技術 **46(8)**, 9-20, 2019.
- 10) 渡邊卓朗: ガスクロマトグラフィー研究会座談会話題, 第318回ガスクロマトグラフィー研究会, [http://www.jsac.or.jp/~gc/doc\\_files/318\\_zadankai.pdf](http://www.jsac.or.jp/~gc/doc_files/318_zadankai.pdf)

## F. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

なし

## G. 知的所有権の取得状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

Table 1 妥当性評価試験における配布試料の設定濃度

添加物質	設定濃度 (w/w%)	
	試料A	試料B
メタノール	5.0	0.50
基準値物質 トリクロロエチレン	0.10	0.010
テトラクロロエチレン	0.10	0.010
アセトン	48	52
メチルイソブチルケトン	5.0	5.0
酢酸イソブチル	5.0	5.0
酢酸 <i>n</i> -ブチル	5.0	5.0
酢酸エチル	5.0	5.0
妨害物質 メチルエチルケトン	5.0	5.0
エタノール	5.0	5.0
1-プロパノール	5.0	5.0
2-プロパノール	5.0	5.0
1-ブタノール	5.0	5.0
メチルシクロヘキサン	1.0	1.0
イソブタノール	1.0	1.0

Table 2 60 m カラム使用時の GC/MS の分析条件

Instrument	8890 GC System, 5977B GC/MSD, Agilent	
Column	Rxi-624 Sil MS , Restek (60 m × 0.32 mm i.d., 1.8 μm)	
Column temperature	35°C (5 min)→5°C/min→120°C →20°C/min→200°C (10 min)	
Carrier gas	Helium, Constant flow 1 mL/min	
Injection mode	Split (1:10)	
Inlet temperature	200°C	
MS transferline temperature	200°C	
Ion source temperature	230°C	
Ionization	Electron Ionization, 70 eV	
Scan range ( <i>m/z</i> )	29-200	
Quantitative mode	Selected ion monitoring (SIM)	
SIM monitor ion ( <i>m/z</i> )		
Quantitation ion, identification ion	MeOH: 31, 32	MeOH- <i>d</i> <sub>3</sub> : 33, 35
	TCE: 130, 95	TCE- <i>d</i> : 131, 96
	PCE: 166, 164	



Table 3 溶剤 3種の保持時間、測定時間および検量線の相関係数

	Flow rate (mL/min)	Retention time (min)			Sampling time (min)			Correlation coefficient (r)			
		MeOH- <i>d</i> <sub>3</sub>	MeOH	TCE- <i>d</i>	TCE	PCE	Start	Stop	MeOH	TCE	PCE
He	1.0	6.36	6.42	18.00	18.04	22.70	5.5	23.7	1.000	1.000	1.000
H <sub>2</sub>	1.5	3.61	3.65	13.48	13.51	18.04	3.0	19.0	1.000	1.000	1.000
N <sub>2</sub>	1.0	6.06	6.09	17.55	17.59	22.29	5.0	23.5	0.9999	0.9997	0.9995
	0.7	7.14	7.20	19.10	19.14	23.67	6.0	24.0	0.9998	0.9999	0.9997

Table 4 検量線最下点濃度 (0.05% MeOH、0.001% TCE および 0.001% PCE, n=3) の測定における RSD、LOD および LOQ

(%)	MeOH	TCE	PCE	
Concentration	0.05	0.001	0.001	
RSD	He	0.56	1.9	3.0
	H <sub>2</sub>	1.7	4.4	4.6
	N <sub>2</sub>	3.6	27	32
LOD	He	0.00077	0.00066	0.00035
	H <sub>2</sub>	0.0034	0.0021	0.00095
	N <sub>2</sub>	0.0079	0.020	0.022
LOQ	He	0.0026	0.0022	0.0012
	H <sub>2</sub>	0.011	0.0069	0.0032
	N <sub>2</sub>	0.026	0.066	0.074

Table 5 エアゾル試料 A および B の定量値および RSD  
 試料 B は希釈溶媒に残留溶媒試験用 (RSA) または鹿 1 級 (1 grade) の  
 2 種類のグレードを使用

Additive conc.	Gas	MeOH		TCE		PCE	
		Value	RSD	Value	RSD	Value	RSD
5				0.1		0.1	
RSA	He	4.06	2.0	0.0930	2.5	0.0915	1.2
	H <sub>2</sub>	4.06	1.4	0.0935	1.5	0.0915	4.7
	N <sub>2</sub>	4.00	1.5	0.0965	1.1	0.0907	1.2
0.5				0.01		0.01	
RSA	He	0.370	2.7	0.0103	2.9	0.0105	3.2
	H <sub>2</sub>	0.368	3.4	0.00994	1.2	0.00976	1.9
	N <sub>2</sub>	0.386	1.1	0.0108	12	0.0103	8.0
1 grade	He	0.380	4.9	0.0104	2.9	0.0102	3.0
	H <sub>2</sub>	0.400	5.6	0.0105	2.5	0.0104	1.2
	N <sub>2</sub>	0.400	6.1	0.0119	8.5	0.0107	6.4

Table 6 30 m カラムにおける溶剤 3 種の保持時間

Flow rate (mL/min)	Retention time (min)					
	MeOH- <i>d</i> <sub>3</sub>	MeOH	TCE- <i>d</i>	TCE	PCE	
He	1.0	2.44	2.47	11.05	11.08	15.50
H <sub>2</sub>	1.5	1.45	1.46	7.70	7.73	11.96
	1.2	1.61	1.63	8.29	8.32	12.57
N <sub>2</sub>	0.7	2.77	2.79	11.78	11.82	16.27

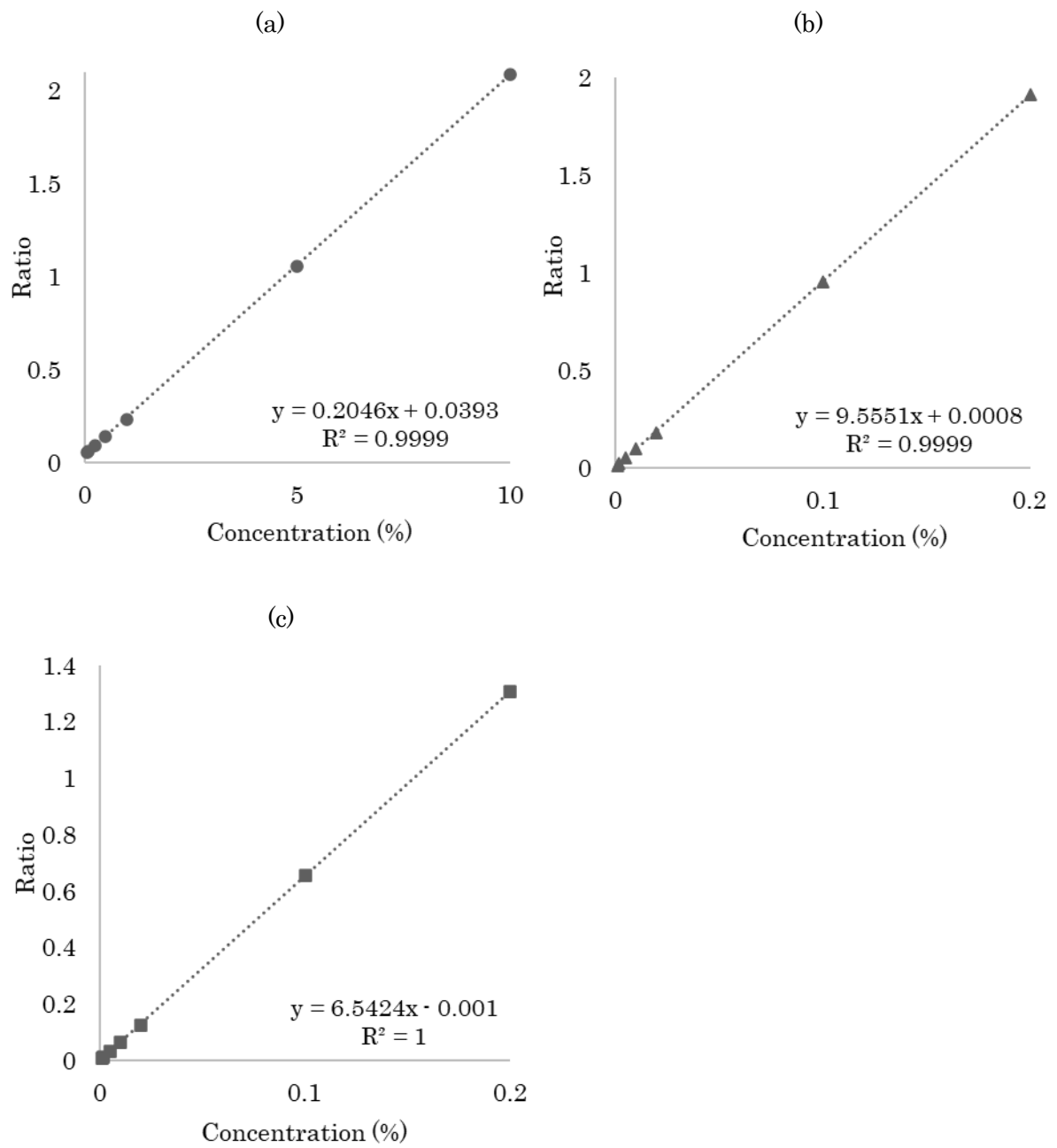


Fig. 1 ヘリウムガスおよび 60 m カラム使用時の検量線  
 (a) MeOH, (b) TCE, (c) PCE

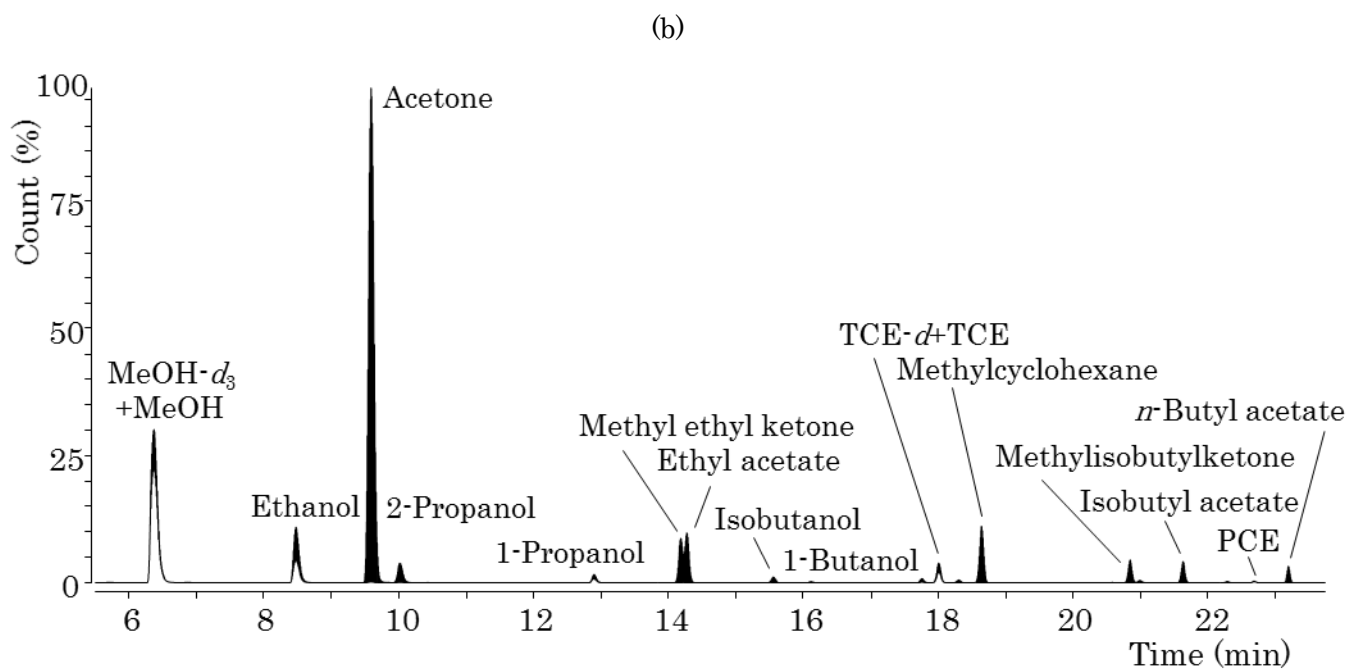
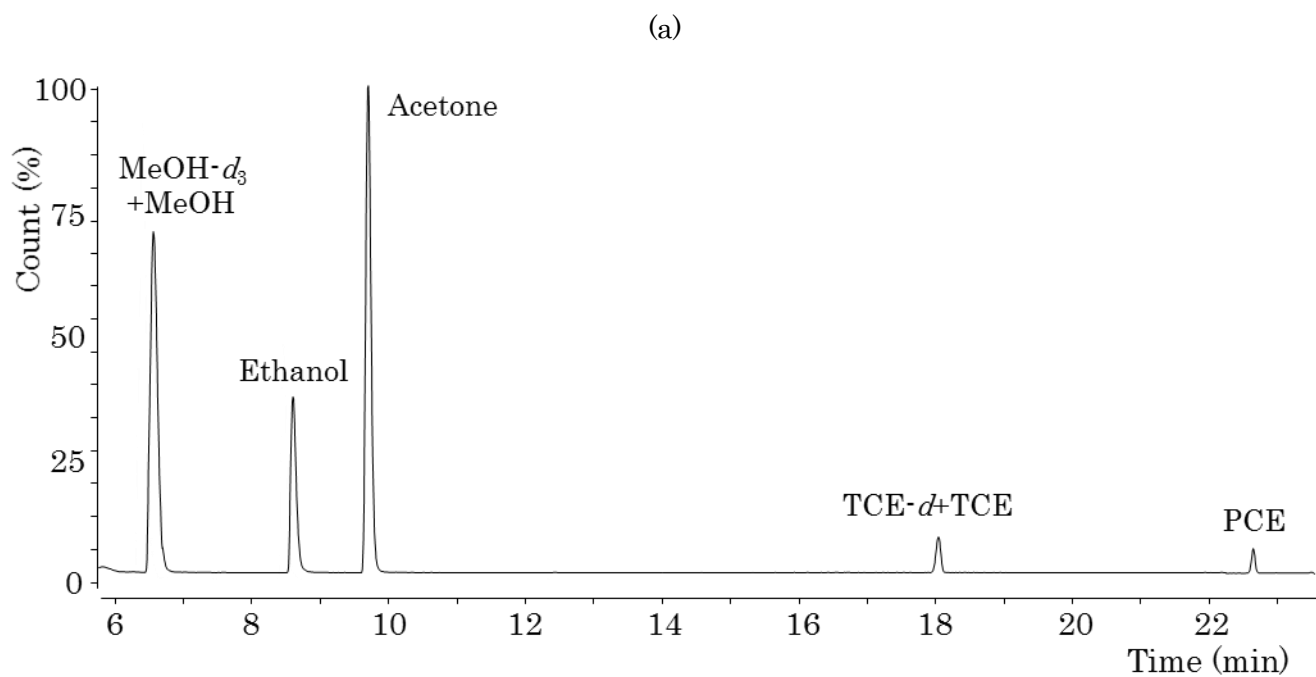


Fig. 2 ヘリウムガスで測定したクロマトグラム (Scan モード)  
 (a) 検量線最高濃度の試料、(b) エアゾル試料 A

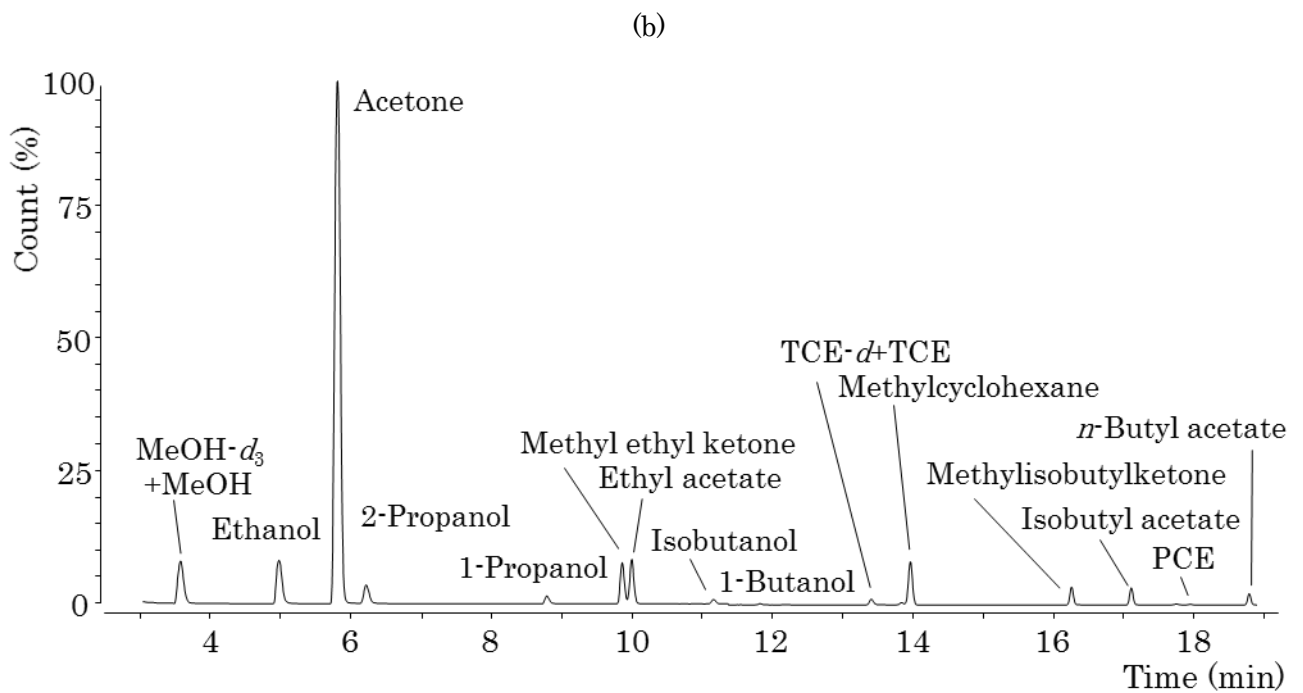
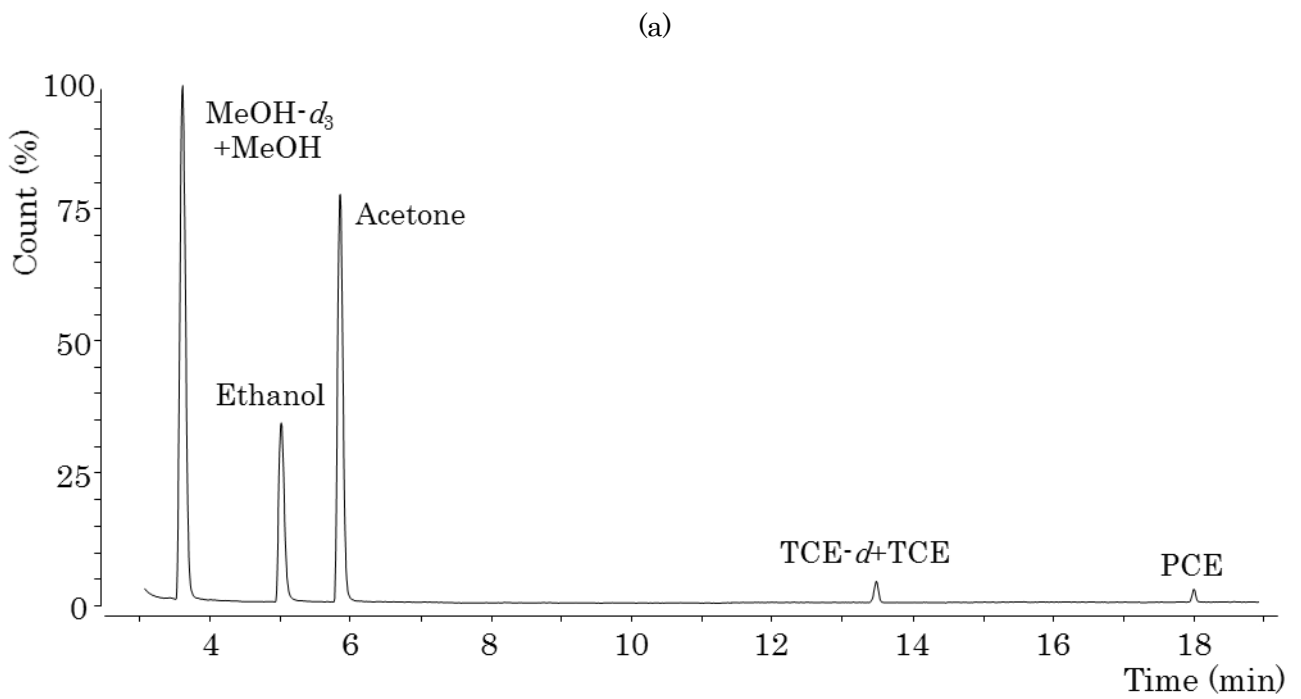


Fig. 3 水素ガスで測定したクロマトグラム (Scan モード)  
 (a) 検量線最高濃度の試料、(b) エアゾル試料 A

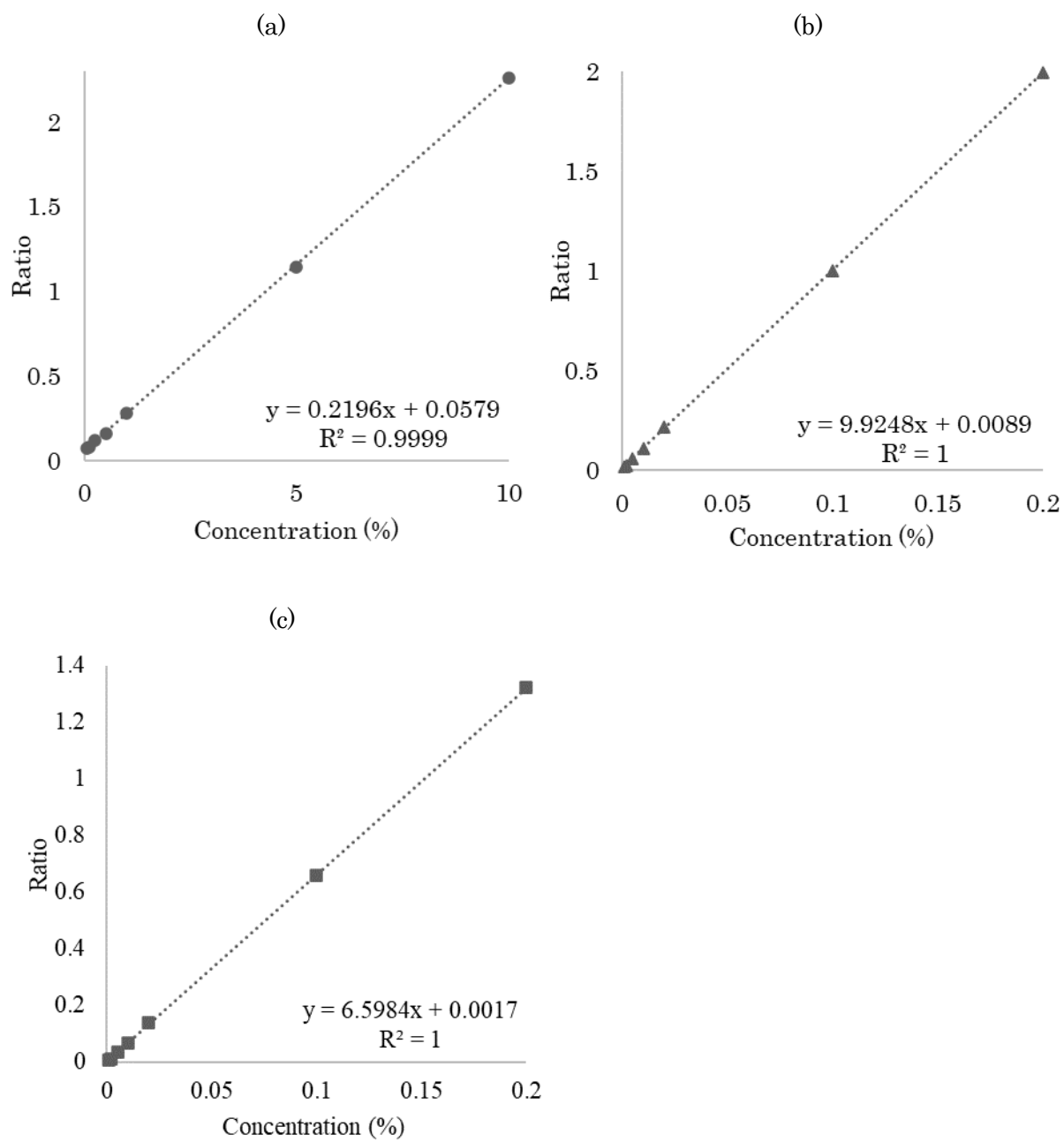


Fig. 4 水素ガスおよび 60 m カラム使用時の検量線  
(a) MeOH, (b) TCE, (c) PCE

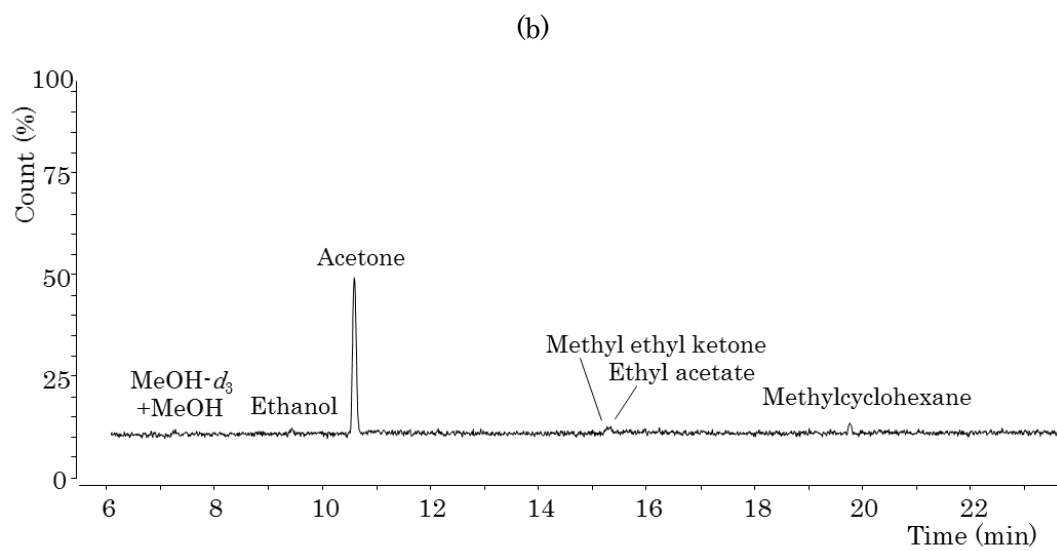
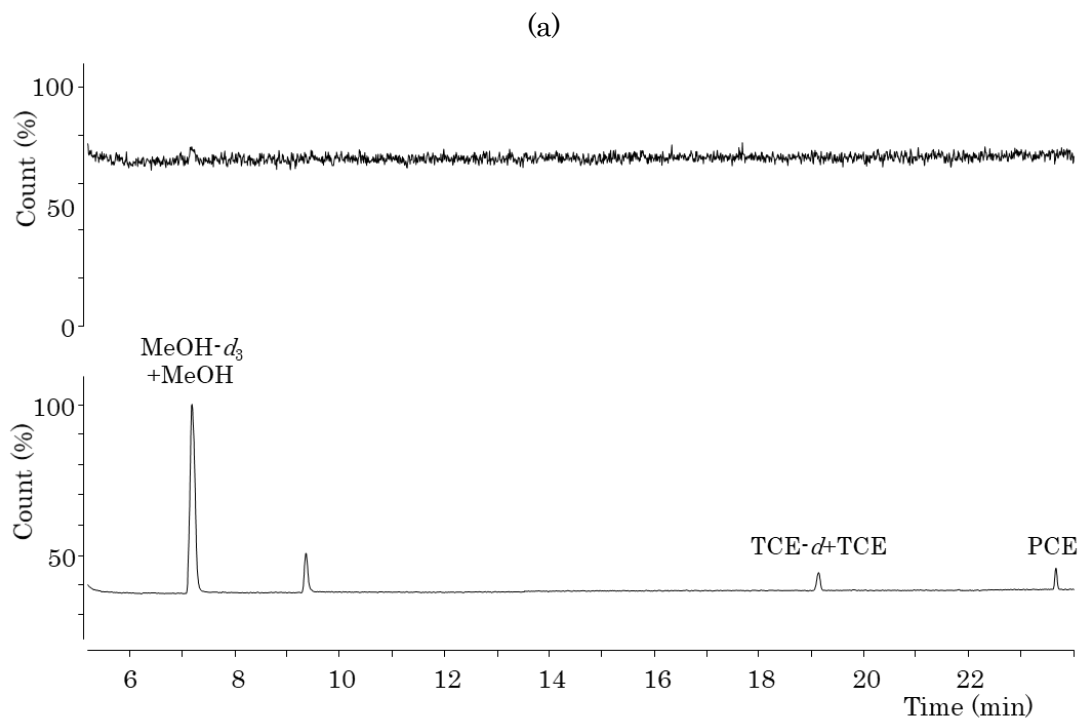


Fig. 5 窒素ガスで測定したクロマトグラム

(a) 検量線最高濃度の試料 (上段: Scan モード、下段: SIM モード)

(b) エアゾル試料 A (SIM モード)



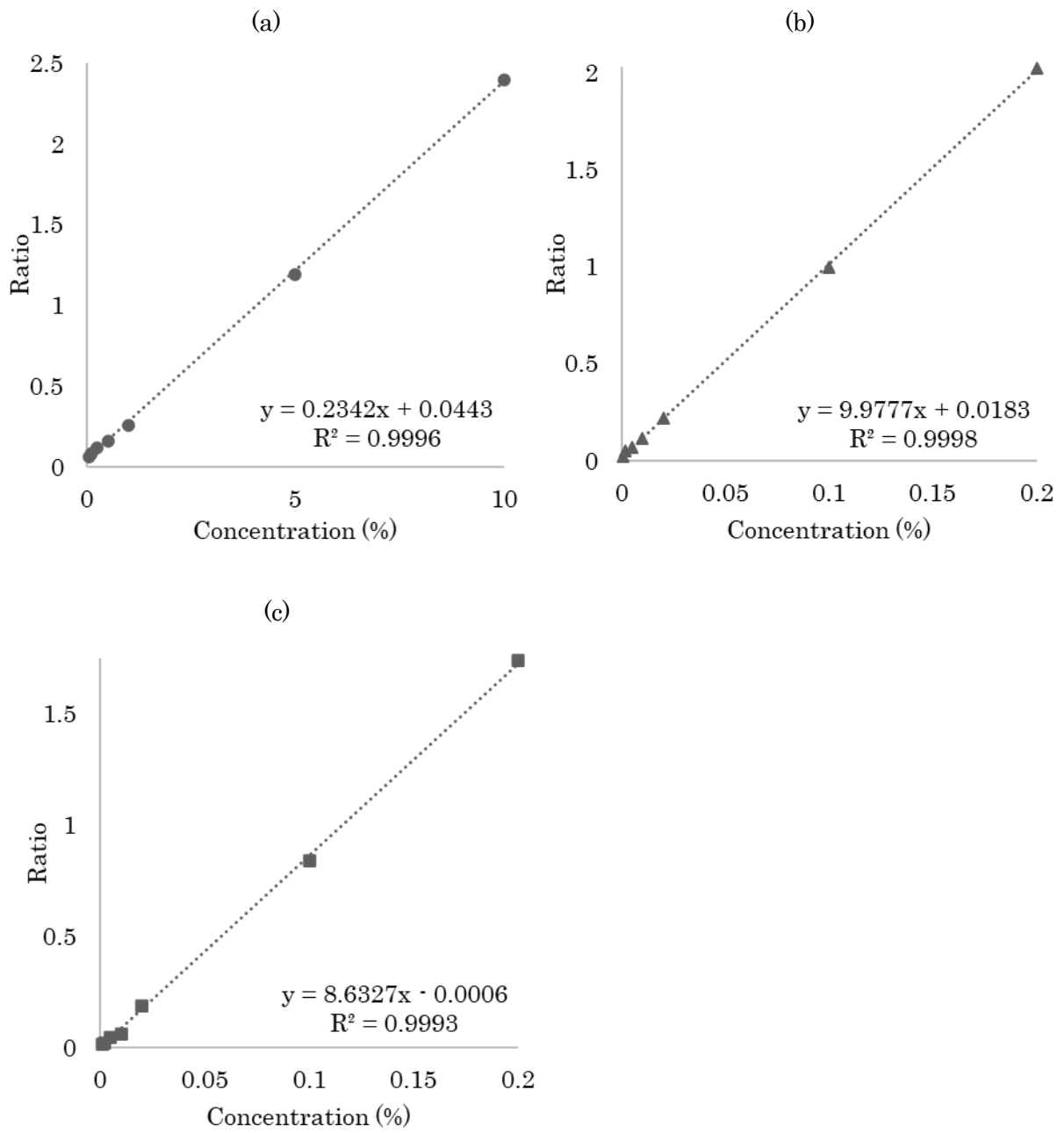


Fig. 6 窒素ガスおよび 60 m カラム使用時の検量線  
 (a) MeOH, (b) TCE, (c) PCE

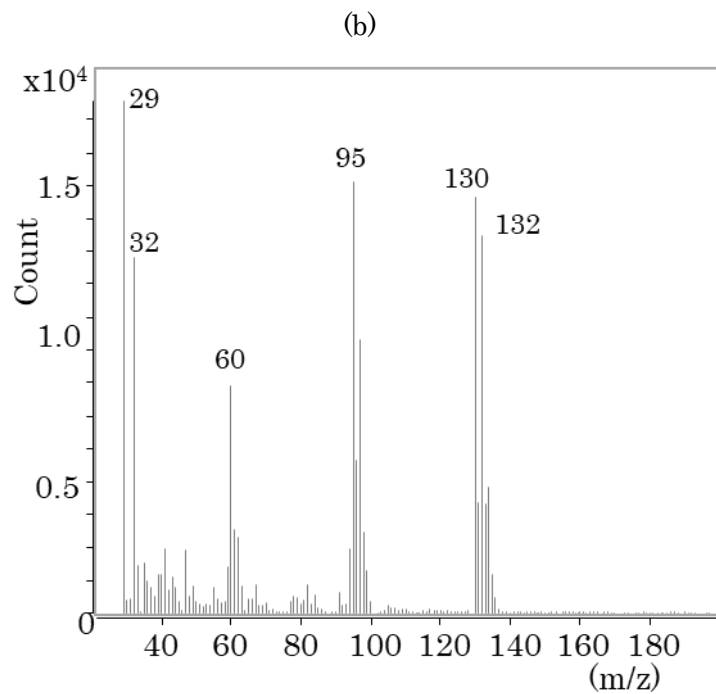
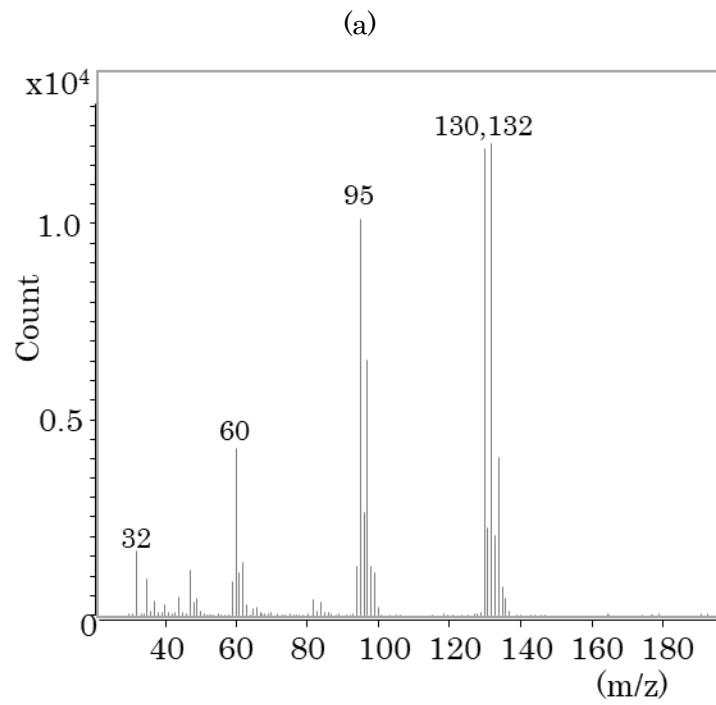


Fig. 7 (a) ヘリウムガス使用時および (b) 水素ガス使用時の 0.2%TCE のマススペクトル

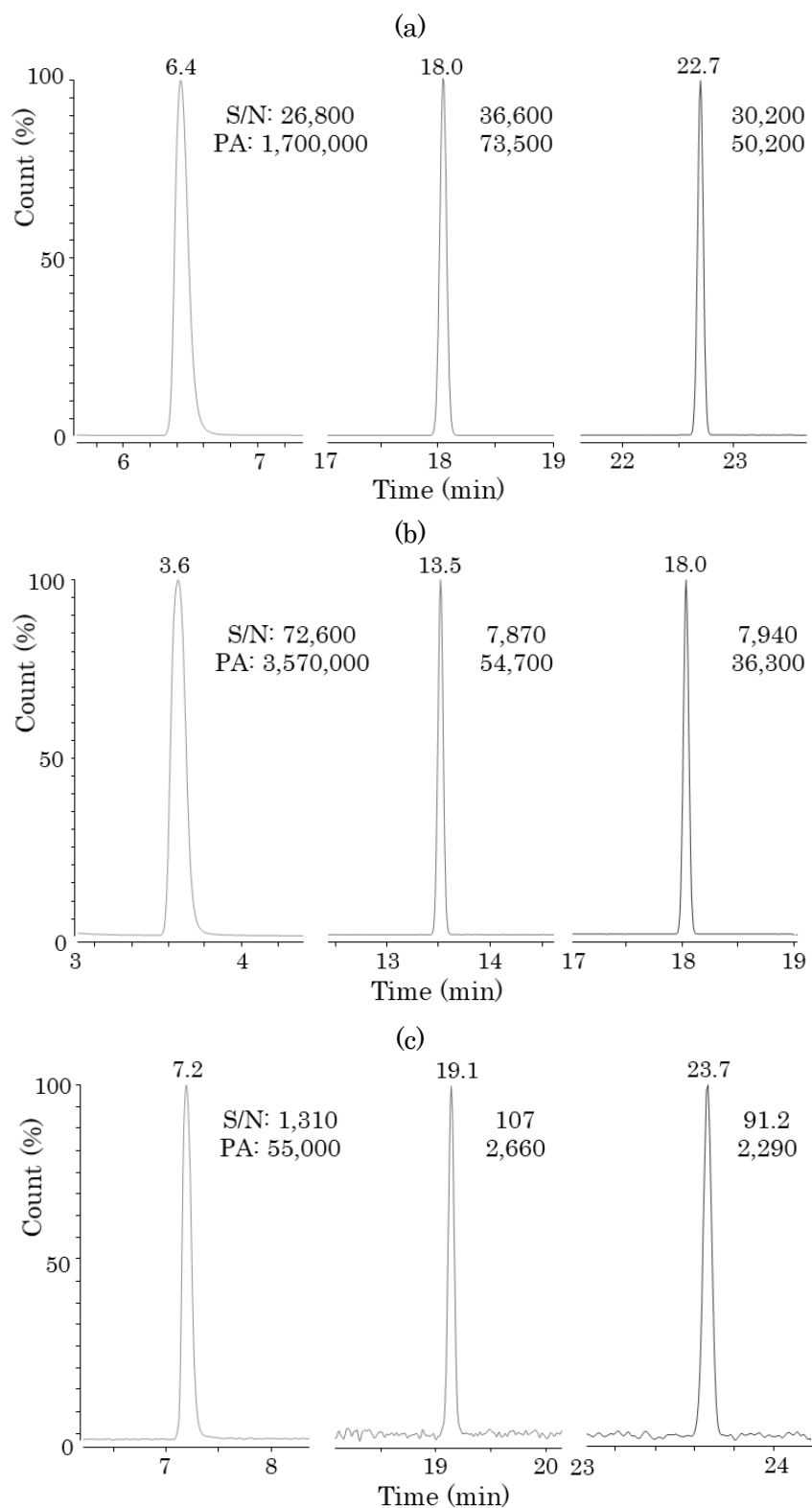


Fig. 8 (a) ヘリウム、(b) 水素、(c) 窒素ガス使用時の溶剤 3 種のクロマトグラム (SIM モード)

左: MeOH、中: TCE、右: PCE、図中の数字は上段が S/N 比、下段がピーク面積 (PA)

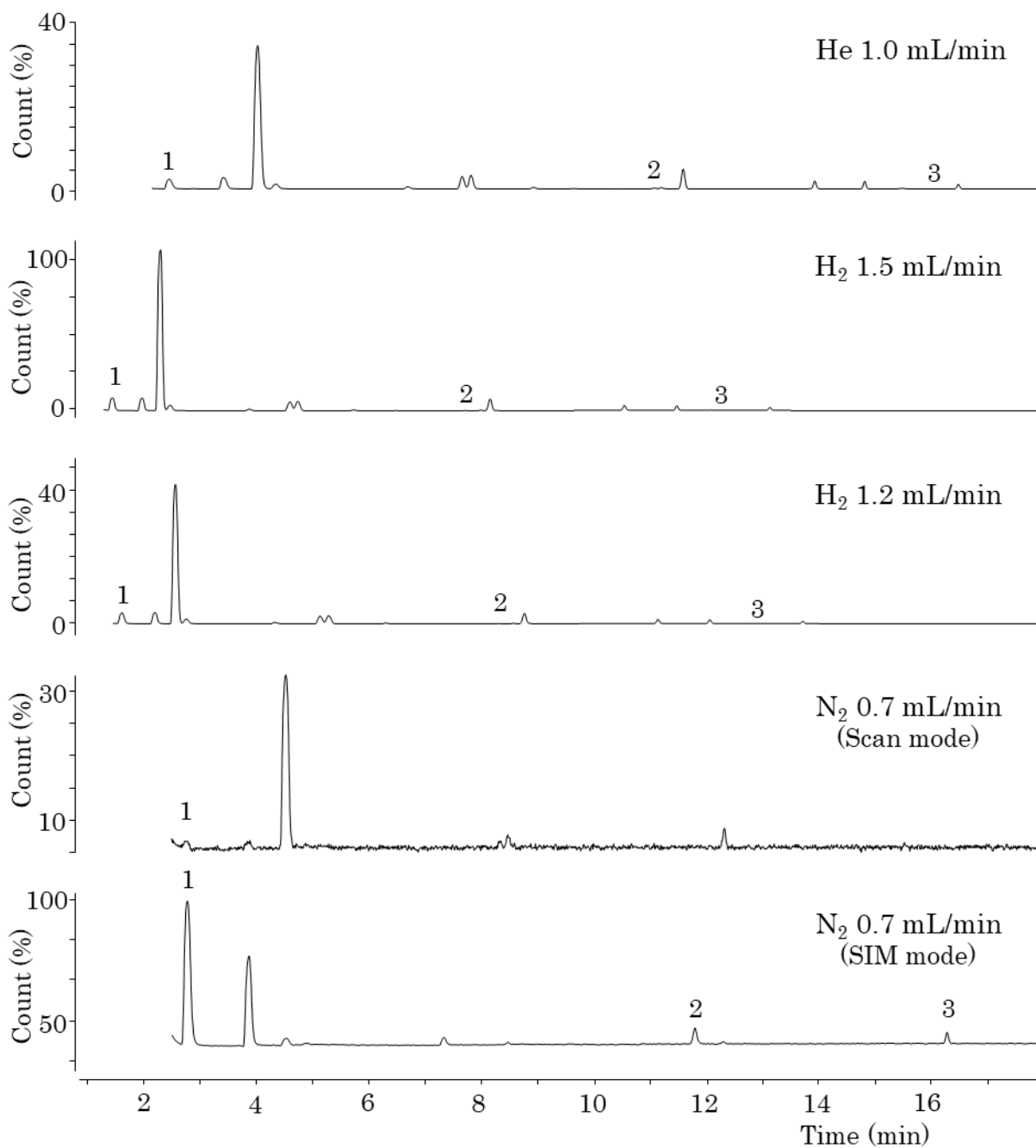


Fig. 9 30m カラムを用いたキャリアガスおよびガス流量の違いによる  
 エアゾル試料 A のクロマトグラムの比較  
 (ヘリウムおよび水素は Scan、窒素は上段が Scan、下段が SIM モード  
 ピーク番号 1: MeOH、2: TCE、3: PCE)