

Agilent J&W PLOT GC カラムと選択性 チューニングによる揮発性有機炭化水素の 分離

著者

Neige Rudi, Yujuan Hua,
Ronda Gras, Guangyu Liu, and
Jim Luong
Dow Chemical Canada,
Analytical Science,
Core R&D
Fort Saskatchewan,
Alberta, Canada

Vanessa Abercrombie
Agilent Technologies, Inc.
Folsom, CA, USA

概要

カラムの固定相として使用される多孔質ポリマーの選択性と極性は、官能基を結合させることで、さまざまなアプリケーションに合わせて調整することが可能です。このアプリケーションノートでは、一連のジビニルベンゼン系多孔質層オープンチューブラカラムの分離特性を評価した結果を紹介し、また、選択性チューニングが、全体的な分離特性を変化させ、単一のカラムでは得られない分離能を達成するために実行可能な戦略であることを例証します。多孔質ポリマーの製造プロセスの改善により、安定性、堅牢性、不活性度に優れ、スパイクが生じにくいカラムが開発されました。今回の研究では、このカラムと従来の多孔質ポリマーカラムの性能の比較も行いました。

はじめに

揮発性有機化合物 (VOC) は、炭化水素の製造および処理においてしばしば遭遇する物質です。原料のスクリーニング、製品の品質管理、環境モニタリングなど、多様な産業アプリケーションでは、VOC の分離がきわめて重要になります。揮発性化合物の分析には、ガスクロマトグラフィー (GC) が汎用分析法として広く用いられています。GC のアプローチは、その分離原理に応じて、気液クロマトグラフィー (GLC) と気固クロマトグラフィー (GSC) の 2 つに大きく分かれます^{1, 2}。GLC は、不活性な担体に付着させた液体またはキャピラリーカラムの内壁に薄層状にコーティングした液体を固定相とします。主に分配プロセスによって分離が行われることから、分配クロマトグラフィーとも呼ばれます。一方、GSC では、固体吸着剤が固定相として機能します。主な分離メカニズムが吸着であることから、吸着クロマトグラフィーとも呼ばれます。多くの GC アプリケーションでは GLC が一般的ですが、これが万能の解決策というわけではありません。特に多孔質層オープンチューブラ (PLOT) カラムが登場したことで、研究から産業アプリケーションまで、GSC への関心が高まっています。PLOT カラムでは、フューズドシリカキャピラリーチューブの内壁に吸着剤の安定層がコーティングされています^{2, 3}。これらの保持力の高い固定相により、固定ガスや軽質炭化水素などの気体分子および揮発性液体を室温より高い温度で効果的に分離することができます。固相には、アルミナ、ゼオライト、モレキュラシーブ、有機多孔質ポリマーなどの無機材料を使用することが可能です。

多孔質ポリマーは、保持力が高く、選択性に優れていることから、普及が進んでいます。一般には、ポリマー材料としてジビニルベンゼン (DVB) ポリマーまたは DVB 系共重合体を使用され、これを基材にさまざまな官能基を結合させることで、カラムの選択性を調整し、分離能を最適化することが可能です。数種類の多孔質ポリマーがそれぞれ異なる名称で市販されています。そのうち最も広く知られているのが、Q 型ポリマーです。Q 型ポリマーはスチレン-ジビニルベンゼンで構成され、非極性とみなされます。DVB-ビニルピリジン共重合体は S 型に分類されます。また、U 型ポリマーで最も一般的なのは、DVB-メタクリル酸エチレングリコール共重合体です^{4~6}。今回の研究では、官能基が炭化水素の分離および溶出順序にどのように影響するのかを示すために、一連の Agilent J&W PoraPLOT Q、S、および U GC カラムを選択しました。

固定相にはさまざまな種類がありますが、特定のアプリケーションでは、サンプルが複雑になるにつれ、または異性体の分離が必要な場合に、単一のカラムでは十分な選択性が得られないことがあります。Grob および Sandra によって紹介された選択性チューニングは、独自の選択性を達成する効率的でコスト効果の高い戦略です^{7~9}。選択性チューニングは、それぞれ選択性の異なるカラムの連結、混合相の使用、特殊合成相の使用、温度依存の保持比の使用など、さまざまな方法で行えます^{9~11}。今回の研究では、J&W PoraPLOT GC カラムを使用して、カラムの連結による選択性チューニングの概念を示します。

近年のカラム製造プロセスの進歩により、より安定性と堅牢性に優れた PLOT 相が開発されました。それが PoraBOND です^{12~16}。例えば、PoraBOND Q カラムは、PoraPLOT Q カラムより 50 °C 高い 300 °C までの温度で使用できます。また、結合技術の改良により、ポリマーからの脱粒が低減しています。今回の研究では、PoraBOND Q カラムと PoraPLOT Q カラムについて、選択性や不活性度などのカラム性能を比較します。

実験方法

GC/FID 実験には、スプリット/スプリットレス注入口を装着した Agilent 7890B GC/FID および Agilent 7693 オートサンプラと、コントロールソフトウェアとして Agilent OpenLab (ソフトウェアバージョン A.02.05.021) を使用しました。気体サンプルは、1 mL ハミルトンガスタイトシリンジ (Hamilton 社、米国ネバダ州リノ) で 0.5 mL をマニュアル注入しました。液体サンプルは、Agilent 7693 オートサンプラで 10 µL シリンジを使用して、注入量 1 µL を導入しました。選択性チューニングの試験では、2 本のカラムをウルトライナートプレスフィットカラムコネクタ (部品番号 5190-6979) で連結しました。

ヘリウム、窒素、水素、空気などのキャリアガスおよびユーティリティガスは、Linde 社 (カナダ エドモントン) から入手しました。システム性能評価用のガス標準物質は、Air Liquide 社 (カナダ エドモントン) から購入しました。また、化学物質および試薬は、Fisher Scientific 社 (カナダ エドモントン) から購入しました。

結果と考察

Agilent J&W PoraPLOT GC カラムの 選択性の比較

一連の PoraPLOT カラムは、ジビニルベンゼン (DVB) 系多孔質ポリマーカラムであり、極性および無極性の揮発性化合物に対して特有の保持特性を示します。各カラムの固定相に結合されているさまざまな官能基により、それぞれ異なる極性と選択性を発揮し、目的とする分離能を達成します。PoraPLOT Q は、100 % ポリスチレン-ジビニルベンゼンから成る、最も極性が低いカラムです。PoraPLOT S は、ジビニルベンゼン/ビニルピリジン共重合体で構成され、極性は中程度です。PoraPLOT U は、ジメチルアクリル酸エチレングリコール (EGDMA) で構成され、3 種類のカラムの中で最も高い極性を備えています。図 1 は、これら 3 種類のカラムで C₁ ~ C₃ の飽和および不飽和炭化水素を分離した結果を比較したものです。図 1A に示すように、PoraPLOT Q カラムでは、エチレンとアセチレンが共溶出していますが、プロピレンとプロパンはベースライン分離されています。より極性の高い PoraPLOT S では、図 1B に示すように、アセチレンがより強く保持され、エチレンから分離されていますが、アセチレンが部分的にエタンと共溶出しています。さらに極性の高い PoraPLOT U カラムでは、C₂ 炭化水素 (エタン、エチレン、アセチレン) はベースライン分離されていますが、プロピレンとプロパンの共溶出が生じています。

| GC 分析条件 | |
|----------------|--|
| カラム | Agilent J&W PoraPLOT Q, 25 m × 0.53 mm × 20 μm (p/n CP7554) Agilent J&W PoraPLOT S, 25 m × 0.53 mm × 20 μm (p/n CP7574) Agilent J&W PoraPLOT U, 25 m × 0.53 mm × 20 μm (p/n CP7584) Agilent J&W PoraPLOT Q, 10 m × 0.53 mm × 20 μm (p/n CP7553) Agilent J&W PoraBOND Q, 25m × 0.53 mm × 10 μm (p/n CP7354) |
| キャリアガス | ヘリウム、定流量、5 mL/min |
| オープン | 50 °C (1.0 分)、10 °C /min で 200 °C まで昇温 (2 分) *J&W PoraPLOT U の場合は 180 °C まで昇温 |
| 注入口 | SSL 注入口、スプリットモード、200 °C、スプリット比 20:1 |
| 注入口ライナ | ウルトライナー、スプリット、低圧力損失、ガラスウール (p/n 5190-2295) |
| GC/FID | FID 搭載 Agilent 7890B GC |
| サンブラ | Agilent 7693 オートサンブラ |
| FID 条件 | |
| 温度 | 200 °C |
| 水素 | 30 mL/min |
| 空気 | 350 mL/min |
| カラム + メークアップガス | 25 mL/min |

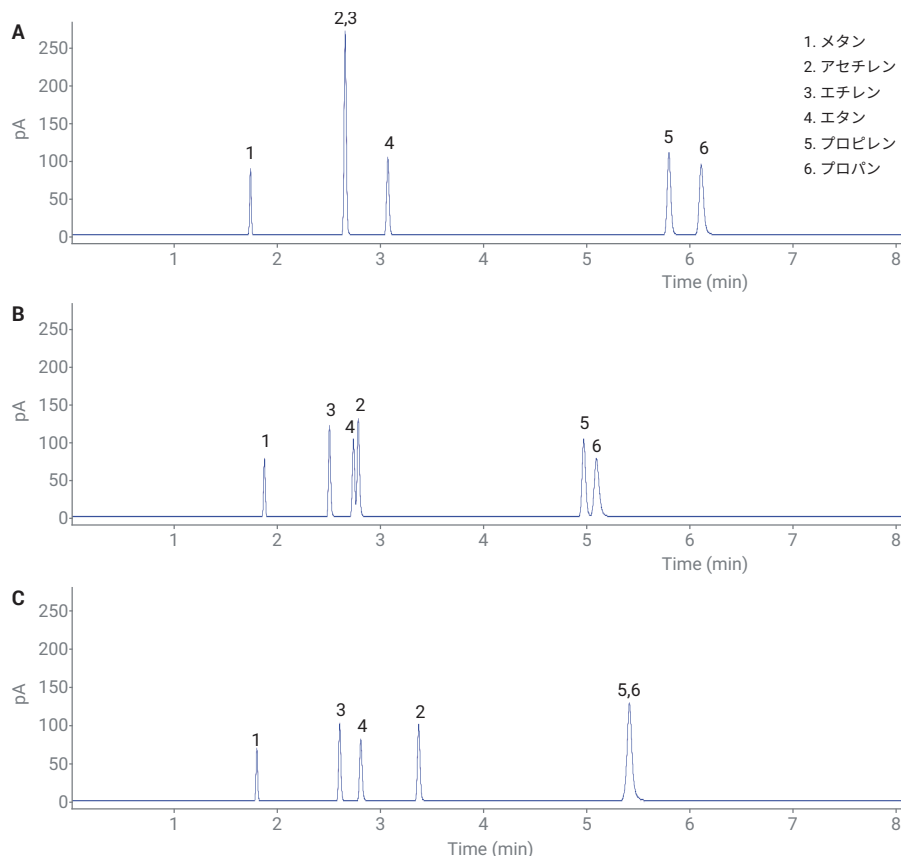


図 1. (A) Agilent J&W PoraPLOT Q、(B) Agilent J&W PoraPLOT S、および (C) Agilent J&W PoraPLOT U による C₁ ~ C₃ の飽和および不飽和炭化水素の分離結果

システムの再現性

1,000 ppm v/v の C₁ ~ C₆ n-アルカン標準物質を繰り返し注入して、システムの再現性を評価しました。図 2 に、ガス標準物質を 12 回注入して得られたクロマトグラムの重ね表示を示します。この図から、マニュアル注入法とこのクロマトグラフィープラットフォームで良好な再現性が得られていることがわかります。時間はかかりますが安定性の高いマニュアル注入法を使用したのは、注入口が過加圧状態になる可能性を回避するためです。過加圧状態になると、サンプルがセプタムに接触したり、セプタムからベントに流れ込む可能性があります。メタンからヘキサンまでのモデル化合物について、リテンションタイムの相対標準偏差は 0.2 % 未満 (n = 12)、面積カウントの相対標準偏差は 5 % 未満でした。その結果を表 1 にまとめます。

選択性チューニング

選択性チューニングの概念を示すため、固定相の異なる 2 種類の PoraPLOT カラムを直列に連結しました。試験は、全 6 通りの組み合わせ (PoraPLOT Q + U, PoraPLOT U + Q, PoraPLOT U + S, PoraPLOT S + U, PoraPLOT Q + S, PoraPLOT S + Q) について実施し、それぞれの結果を比較しました。カラムの連結による選択性チューニングでは、カラムの順序が全体的な選択性を大きく左右します。カラムにわたる圧力損失はカラムに沿って増加するため、最初のカラムを通過する直線速度は予測とおりですが、2 本目のカラムでは予測より低くなります。その結果、相対的な保持と選択性のチューニングにおいて、最初のカラムがより大きな影響をおよぼします。

例えば、PoraPLOT Q カラムと PoraPLOT U カラムの組み合わせでは、図 3 に示すように特有の選択性が得られます。PoraPLOT U を 2 本目のカラムとして追加した場合 (図 3A)、PoraPLOT Q カラム単独 (図 1A) のときよりもアセチレンが強く保持され、エチレンから分離されています。また、プロピレンとプロパンは引き続き分離されていますが、PoraPLOT Q 単独では 4.4 だった分離度が、PoraPLOT Q + U では 3.5 に低下しています。

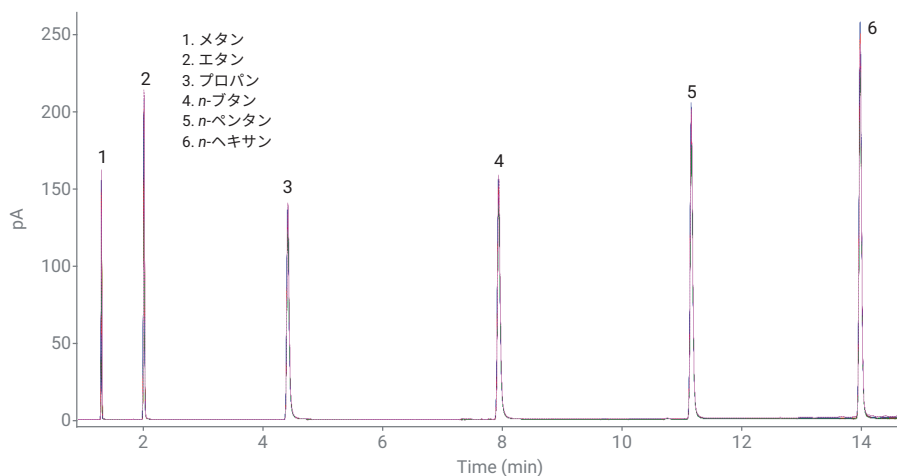


図 2. Agilent J&W PoraPLOT Q カラムで 1,000 ppm v/v の C₁ ~ C₆ n-アルカン標準物質を 12 回注入して得られたクロマトグラムの重ね表示

表 1. モデル n-アルカン化合物のリテンションタイムおよび面積カウントとそれぞれの相対標準偏差 (RSD)

| 化合物 | t _R (分) | RSD (n = 12) | 面積カウント | RSD (n = 12) |
|--------|--------------------|--------------|--------|--------------|
| メタン | 1.32 | 0.16 % | 135.9 | 4.6 % |
| エタン | 2.03 | 0.10 % | 263.4 | 4.6 % |
| プロパン | 4.43 | 0.04 % | 396.0 | 4.6 % |
| n-ブタン | 7.95 | 0.02 % | 518.2 | 4.5 % |
| n-ペンタン | 11.16 | 0.01 % | 638.7 | 4.3 % |
| n-ヘキサン | 13.98 | 0.01 % | 762.6 | 4.6 % |

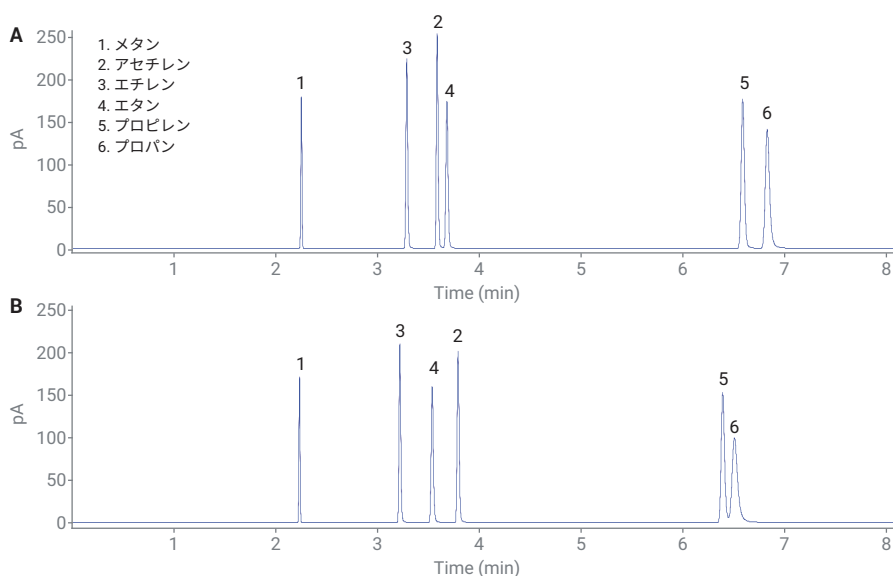


図 3. (A) Agilent J&W PoraPLOT Q + U および (B) Agilent J&W PoraPLOT U + Q カラムによる C₁ ~ C₃ の飽和および不飽和炭化水素の分離結果

これに対し、PoraPLOT U を PoraPLOT Q の前に配置した場合は (図 3B)、PoraPLOT U が支配的に働きます。これにより、アセチレンがさらに強く保持され、C₂ 炭化水素 (エタン、エチレン、アセチレン) がベースライン分離されていますが、C₃ 炭化水素 (プロピレンおよびプロパン) は部分的に共溶出しています。また、溶出順序の変化も観察され、アセチレンがエタンの後に溶出しています。

図 4 は、全 6 通りのカラムの組み合わせで C₁ ~ C₃ の炭化水素を分離した結果を比較したものです。また、表 2 に、C₂ および C₃ 炭化水素の分離度の計算値をまとめます。カラムまたはカラムの組み合わせは、特定のアプリケーションにおける分離要件に応じて選択することができます。例えば、PoraPLOT S + Q では、C₂ および C₃ の両方の炭化水素に対して全体的に最善の分離能が得られます。C₂ 炭化水素のみの分離を目的とする場合は、PoraPLOT U、PoraPLOT U + Q、または PoraPLOT U + S を選択するのが適切でしょう。つまり、特定のアプリケーションに最適なカラムを選択するためには、固定相に結合されている官能基、サンプルマトリックス、および目的とするターゲット化合物について理解することが不可欠です。

2 本のカラムを連結する場合は、バンド幅が広がることでクロマトグラフィー性能が損なわれないように、低デッドボリュームの接続を確保するよう細心の注意を払う必要があります。今回の実験では、低ボイドボリュームのプレスフィットコネクタで 2 本のカラムを接続しました。

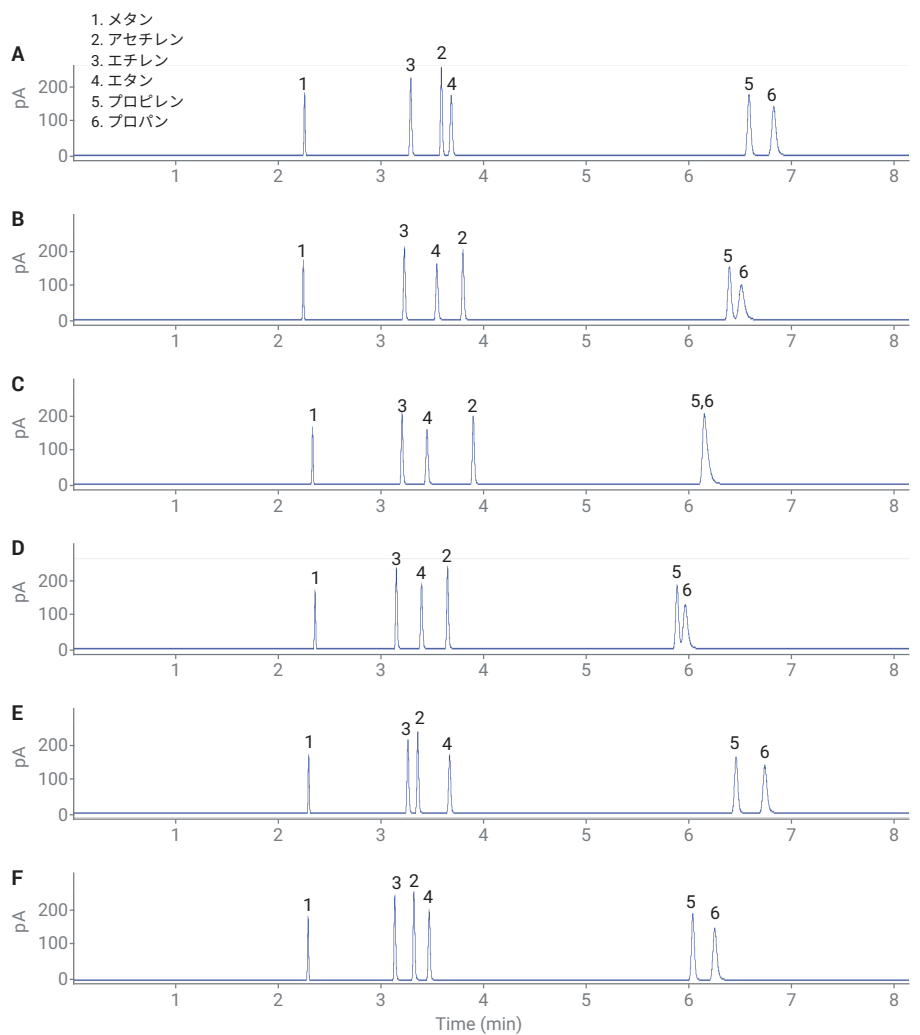


図 4. Agilent J&W PoraPLOT GC カラムの組み合わせによる C₁ ~ C₃ の飽和および不飽和炭化水素の分離結果: (A) PoraPLOT Q + U、(B) PoraPLOT U + Q、(C) PoraPLOT U + S、(D) PoraPLOT S + U、(E) PoraPLOT Q + S、(F) PoraPLOT S + Q

表 2. Agilent J&W PoraPLOT GC カラム単独およびその組み合わせで得られた分離度

| PoraPLOT | 分離度 | | | |
|----------|--------------|------------|-------------|--------------|
| | エチレン - アセチレン | エチレン - エタン | アセチレン - エタン | プロピレン - プロパン |
| Q | 0.0 | 9.7 | 9.7 | 4.4 |
| S | 6.9 | 5.7 | 1.1 | 1.6 |
| U | 17.6 | 4.7 | 11.9 | 0.0 |
| Q+U | 9.0 | 16.2 | 2.6 | 3.5 |
| U+Q | 16.5 | 8.9 | 6.5 | 1.4 |
| U+S | 19.4 | 6.7 | 11.4 | 0.0 |
| S+U | 15.6 | 7.4 | 7.5 | 1.2 |
| Q+S | 2.9 | 11.1 | 8.5 | 4.1 |
| S+Q | 5.9 | 10.2 | 4.4 | 3.4 |

アプリケーション – 軽質炭化水素と芳香族化合物の分析

例として、図 5 に、18 種類の飽和および不飽和軽質炭化水素と芳香族化合物の分析により得られたクロマトグラムを示します。この図から、 $-161\text{ }^{\circ}\text{C}$ (メタン) から $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (トルエン) まで、幅広い沸点を持つ化合物が 20 分以内に良好に分離できていることがわかります。

Agilent J&W PoraPLOT Q カラムと Agilent PoraBOND Q カラムの比較

PoraPLOT カラムは、揮発性化合物の分離に有効です。ただし、従来の PLOT カラムでは、内壁にコーティングされた多孔質層が安定性に欠けることが、その全体的な利用の妨げとなってきました。このような多孔質層では、衝撃圧により、またはカラムの輸送中に、自由粒子が形成される可能性があります。多孔質層からの脱粒は、リテンションタイムのドリフト、カラムの詰まり、ランダムスパイクの原因になります。そのため、使用前に、分析時の流量より 50 % 高い流量でカラムをプレコンディショニングすることが推奨されます。また、検出器側にパーティクルトラップを装着することにより、検出器への粒子の侵入を防ぎ、スパイクを低減することができます。こういった制限が、新たな化学結合型 PLOT カラムの開発の原動力となりました。ここで重要な役割を果たしたのが、カラム製造技術の進歩です。in-situ 重合法を採用することで、PoraBOND と呼ばれる、安定性と純度に優れた多孔質ポリマー相が開発されました。PoraBOND では、結合技術の改善により脱粒が大幅に低減し、機械的安定性が高まっています。この粒子層の安定化によって、優れた堅牢性と再現性が実現されます。また、ポリマー材料の高純度化により不活性度が向上し、揮発性の極性化合物、含酸素化合物や硫黄化合物などの活性化合物の分析にも対応できるカラムとなっています。さらに、より高温での使用が可能になったことで、アプリケーションの幅も広がりました。

- | | | | |
|-----------------|---------------------|-----------------------|-----------------|
| 1. メタン (5%) | 6. プロパン (0.1%) | 11. 1,4-ペンタジエン (0.1%) | 16. ヘキサン (0.1%) |
| 2. アセチレン (0.4%) | 7. イソブタン (0.1%) | 12. イソペンタン (0.1%) | 17. ベンゼン (0.2%) |
| 3. エチレン (35%) | 8. 1-ブテン (0.1%) | 13. 1-ペンテン (0.1%) | 18. トルエン (0.1%) |
| 4. エタン (20%) | 9. 1,3-ブタジエン (0.5%) | 14. ペンタン (0.1%) | |
| 5. プロピレン (0.5%) | 10. n-ブタン (0.1%) | 15. 1-ヘキセン (0.1%) | |

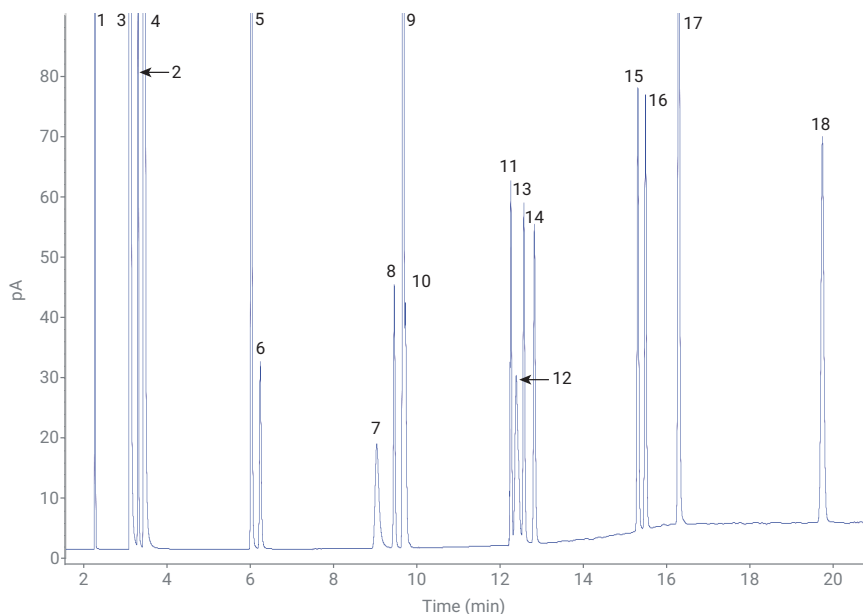


図 5. Agilent J&W PoraPLOT S + Q カラムの組み合わせによる 18 種類の飽和および不飽和炭化水素と芳香族化合物の分離結果

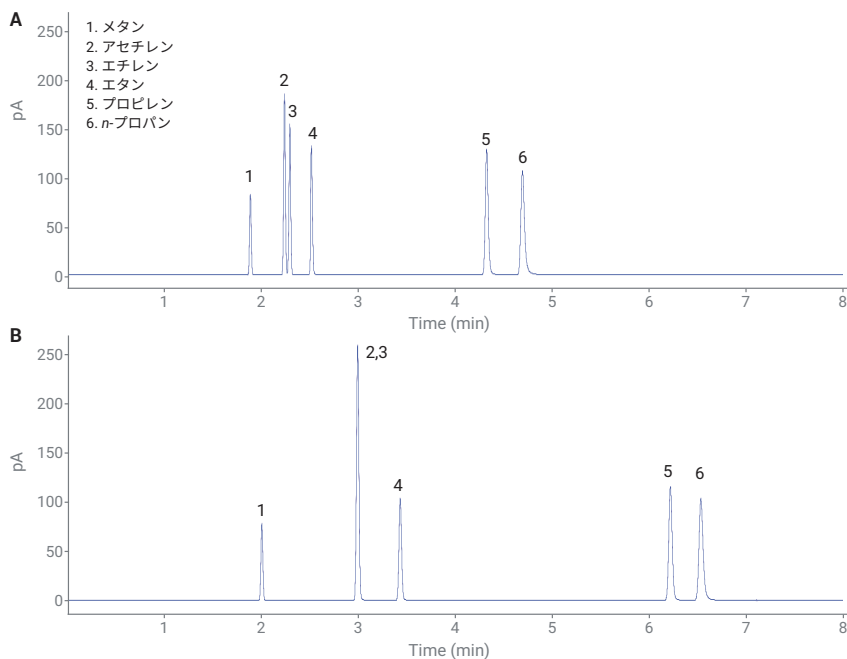


図 6. (A) Agilent J&W PoraBOND Q および (B) Agilent J&W PoraPLOT Q カラムによる $C_1 \sim C_3$ の飽和および不飽和炭化水素の分離結果

今回の研究では、クラスの異なる多様なモデル化合物を使用して、PoraPLOT Q と PoraBOND Q の性能を比較しました。図 6 に、これらの 2 種類のカラムによる C₁ ~ C₃ の飽和および不飽和炭化水素の分析結果を示します。カラム製造プロセスの違いが、選択性のわずかな違いとして現れています。PoraBOND Q カラムではアセチレンとエチレンがほぼベースライン分離されていますが、PoraPLOT Q では共溶出しています。また、PoraPLOT Q では、膜厚がより厚いため、より強く保持されていることがわかります。

軽質硫黄化合物は、その高い活性と吸着性がピークテーリングやレスポンスの低下につながり、分析が困難な場合があります。特に微量濃度で存在する化合物を正確に定量するためには、不活性なカラムが不可欠です。図 7 は、4 種類のメルカプタンを含む 100 ppm v/v の硫黄化合物標準物質の分析結果を比較したものです。図 7A から、PoraBOND Q カラムが備える優れた不活性度により、これらの化合物について、よりシャープで対称なピークが得られていることがわかります。一方、PoraPLOT Q カラムでは、図 7B に示すようにピークテーリングが生じ、レスポンスが低下しています。同様に、図 8 に示すように、PoraBOND カラムは含酸素化合物に対してもより優れた不活性度を発揮します。

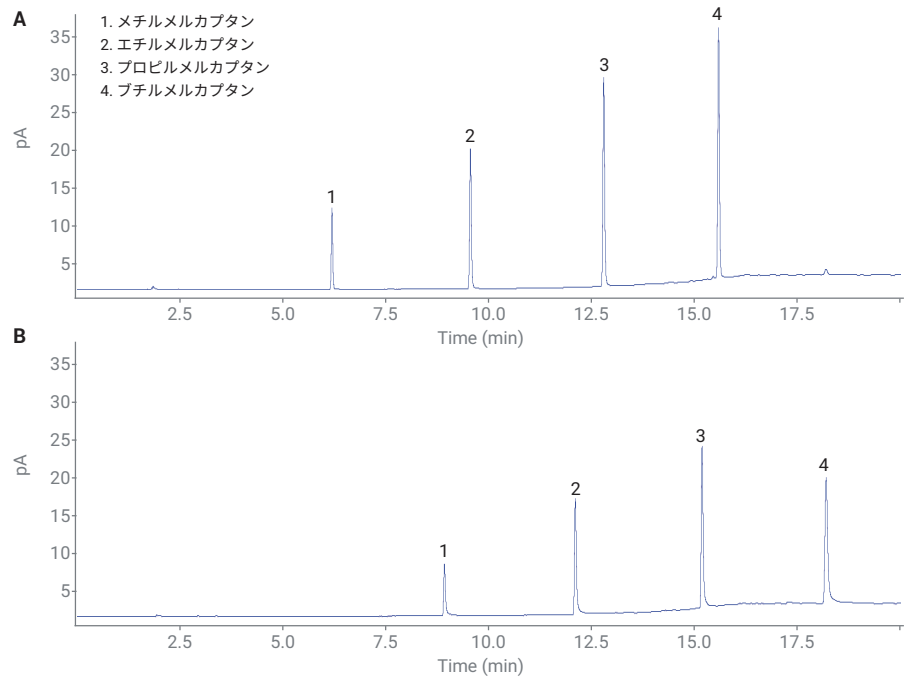


図 7. (A) Agilent J&W PoraBOND Q および (B) Agilent J&W PoraPLOT Q カラムによる 100 ppm v/v 硫黄化合物の分析結果

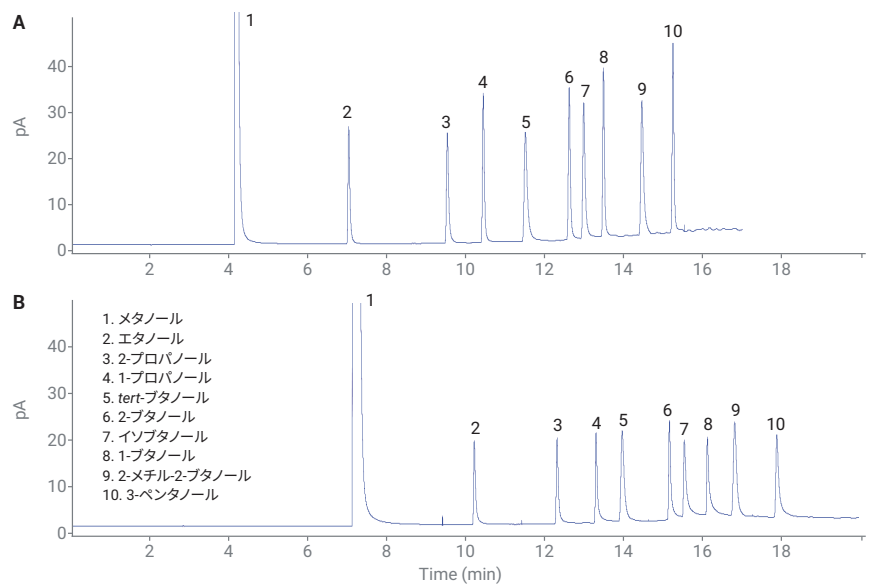


図 8. (A) Agilent J&W PoraBOND Q および (B) Agilent J&W PoraPLOT Q カラムによるメタノール中の 1% w/w 含酸素化合物の分析結果

アミン類などの強塩基性化合物は、活性表面に対する反応性および吸着性が高いことから、クロマトグラフィー分離が容易ではありません。図9に示すように、モノエタノールアミン (MEA) や *n*-メチルエタノールアミン (NMEA) など活性の高いアミン化合物を PoraBOND Q カラムで分析すると、固定相との相互作用によって深刻なピークテーリングが生じます。PoraPLOT Q では、1% w/w という高濃度であっても、MEA と NMEA を検出できていません。以上から、活性の高いアミン化合物の分析には、どちらのカラムも適しません。

結論

多孔質ポリマーは、高い保持力を備えたユニークな固定相であり、極性および無極性化合物の分析に幅広く適用することができます。揮発性化合物についても、クライオ冷却を用いることなく分離することが可能です。これらのポリマーは、使用されているモノマーおよび結合されている官能基に応じて Q 型、S 型、U 型に分類され、 $Q < S < U$ の順に極性が高くなります。今回の研究では、軽質炭化水素の分離を例に、カラムの選択性の違いを示しました。単一のカラムで十分な選択性が得られない場合は、選択性の異なるカラムの連結による選択性チューニングが、目的とする分離能を達成する実用的で低コストなアプローチとなります。ただし、多孔質ポリマーカラムは幅広いアプリケーションに使用できる反面、脱粒によってランダムスパイクが生じるなどの制限があります。

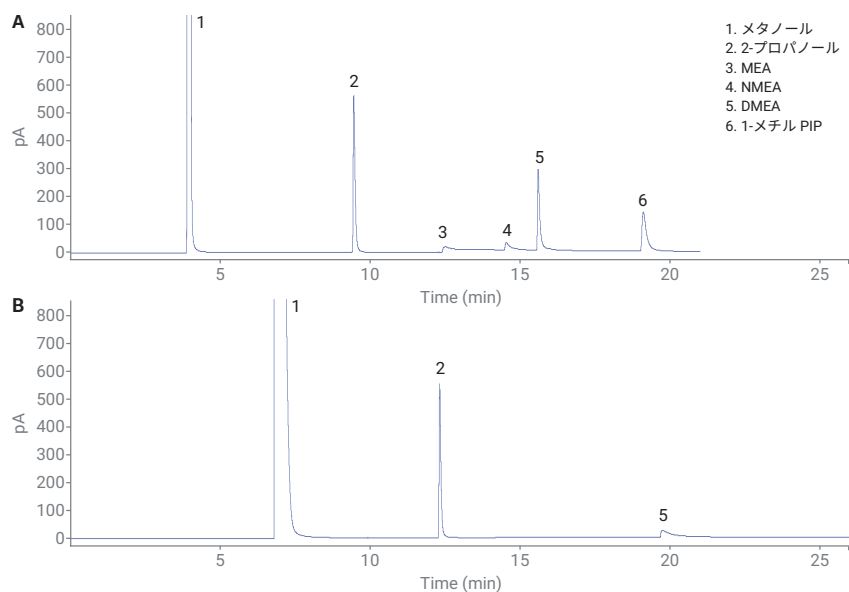


図9. (A) Agilent J&W PoraBOND Q および (B) Agilent J&W PoraPLOT Q カラムによるメタノール中の1% w/w アミン化合物の分離結果

in-situ 重合法を採用した最新の製造プロセスにより、Agilent J&W PoraBOND シリーズなど、安定性に優れ、スパイクが生じにくい多孔質ポリマー相が実現しました。この種の PLOT カラムは不活性度にも優れているため、揮発性の極性化合物や活性化合物の分析にも適しています。

謝辞

本プロジェクトをご支援いただいた Tonya Stockman 博士、Wayde Konze 博士、Grace Yang 博士、および Scott Wills 博士に感謝の意を表します。また、有意義な議論へのご協力と激励をいただいた Agilent Technologies の Mike Zhang 氏および David Judd 氏に感謝いたします。

(*) 著者1の現住所: National Technical Institute of the Deaf, Rochester Institute of Technology、米国ニューヨーク

参考文献

1. de Zeeuw, J. Gas Solid-Gas Chromatography. Encyclopedia of Separation Science, 1st ed. Academic Press; 2000, pp. 481–489.
2. Berezkin, V.; de Zeeuw, J. Capillary Adsorption Chromatography. Hüthig, Heidelberg, Germany, **1996**.
3. Ji, Z.; Major, R.; Guthrie, E. Porous Layer Open-Tubular Capillary Columns: Preparations, Applications, And Future Directions. *J. Chromatogr. A* **1999**, *842*, 115–142.
4. de Zeeuw, J. *et al.* PoraPLOT Q: A Porous Layer Open Tubular Column Coated with Styrene - Divinylbenzene Copolymer. *J. High Resolut. Chromatogr.* **1988**, *11(2)*, 162–167.
5. Van Loon, R. C1-C3 Hydrocarbon Analysis Using the Agilent 490 Micro GC – Separation Characteristics for PoraPLOT U and PoraPLOT Q Channels. *Agilent Technologies*, publication number 5990-9165EN, **2012**.
6. Ji, Z.; Hutt, S. A New Bonded Porous Polymer PLOTU Column with Increased Polarity. *J. Chromatogr. Sci.* **2000**, *38*, 496–502.
7. Grob, K. Gum Phases For Glass Capillary Columns; a Recommendation for Users, a Challenge for Polymer Scientists. *Chromatographia* **1977**, *10*, 625.
8. Grob, K.; Grob, G. Practical Aspects of the Dependence of Polarity on Temperature. *Chromatographia* **1983**, *17*, 481–485.
9. Sandra, P. *et al.* Selectivity and Selectivity Tuning in Capillary Gas Chromatography. *J. High Resolut. Chromatogr.* **1985**, *8*, 782–798.
10. Freeman, R.; Kukla, D. The Role of Selectivity in Gas Chromatography. *Journal of Chromatographic Science* **1986**, *24*, 392–395.
11. Hinshaw Jr., J.; Ettore, L. Selectivity Tuning of Serially Connected Open-Tubular (Capillary) Columns In Gas Chromatography. Part I: Fundamental Relationships. *Chromatographia* **1986**, *21*, 561–572.
12. Cao, M.; Liu, Z.; Zou, Y. Agilent J&W PoraBOND Q PT Analyzes Oxygenates in Mixed C4 Hydrocarbon Streams by GC/FID and GC/MSD. *Agilent Technologies application note*, publication number 5991-1549EN, **2012**.
13. Hydrocarbons C1 – C3. *Agilent Technologies application note*, publication number A01425, **2011**.
14. Sulfur compounds. *Agilent Technologies application note*, publication number A01458, **2011**.
15. Halogenated hydrocarbons, C1 – C2, hydrocarbons. C1 – C6. *Agilent Technologies application note*, publication number A01429, **2011**.
16. Volatile chlorinated compounds, sulfur compounds. *Agilent Technologies application note*, publication number A01427, **2011**.

ホームページ

www.agilent.com/chem/jp

カスタムコンタクトセンター

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。

アジレント・テクノロジー株式会社
© Agilent Technologies, Inc. 2021
Printed in Japan, April 21, 2021
5994-3485JAJP
DE44299.5412384259