

新規水系、極性有機溶媒両用高性能SECセミマイクロカラムの 開発とその応用

橋 本 佳 巳
岩 枝 俊 直
椎 木 浩 司
富 澤 洋
森 山 弘 之

Development and Application of New High Performance SEC Semimicrocolumns for Water and Polar Organic Solvents

Yoshimi HASHIMOTO
Toshinao IWAEDA
Kouji SHIIGI
Hiroshi TOMIZAWA
Hiroyuki MORIYAMA

New high performance SEC semimicrocolumns for water and polar organic solvents were developed. The new columns could be used in the wide polar range solvents, namely from water to polar organic solvent, due to their excellent solvent compatibility. We investigated their fundamental properties and optimized the analytical conditions for various samples on the columns. As the results, the new concept SEC system which does not need column exchange attended with solvent exchange was established. Furthermore, the columns have higher efficiencies and smaller scale housings compared with conventional SEC columns, consequently achievement of high speed and solvent saving SEC system was suggested.

1. はじめに

サイズ排除クロマトグラフィー (SEC) は多孔性ゲルの分子サイズ認識能を分離に利用した高速液体クロマトグラフィー (HPLC) の一種であり、化学工業からライフサイエンスに至る広い分野における試料の分子量測定法として、重要な役割を担っている。SECに使用される充填剤は、ポリマーベースのものとシリカベースのものに大別されるが、特にポリマーをベースとした充填剤は、その高い化学的安定性や、広い分画分子量範囲から、合成高分子、多糖の分子量分布測定

や、オリゴマーの分離分析等に広く用いられている¹⁾。

しかしながら、これまでのポリマーベースの充填剤では1) 溶離液として使用する溶媒の違いにより充填剤の膨潤収縮性が大きい、2) 特定の充填剤を性質の異なる様々な試料に利用した場合、試料によって充填剤との間に相互作用が生じるものもあり、純粋なサイズ分離が不可能となる、等の理由により、分析する試料、溶離液によりカラムを使い分ける必要があった。このため、現在、水系用、極性有機溶媒用、有機溶媒用のSECカラムがそれぞれ市販されている。

今回、我々は水から極性有機溶媒までの幅広い溶媒

Table 1 Specifications of TSK-GEL SuperAW series

	Exclusion Limit	Particle size	Column size
TSKgel SuperAW2500	Low	4 μ m	6.0mmID×150mm
TSKgel SuperAW3000		4 μ m	6.0mmID×150mm
TSKgel SuperAW4000	↑ ↓	6 μ m	6.0mmID×150mm
TSKgel SuperAW5000		7 μ m	6.0mmID×150mm
TSKgel SuperAW6000	High	9 μ m	6.0mmID×150mm
TSKgel SuperAWM-H	(Mixed bed column)	9 μ m	6.0mmID×150mm

範囲において、同一カラムにより適用可能なSECの実現を目的に検討を行った。その結果、水から極性有機溶媒まで広い範囲での膨潤収縮性を抑制したポリマー系SEC用充填剤の新規開発、及び試料ごとの最適な分離条件の確立により、目的の達成が可能であることを確認した。同時に、充填剤の粒子径を微小化することにより、従来水系、あるいは極性有機溶媒用カラムと比較して約2倍のカラム性能を達成した。これにより、カラム長さを半分に設定することができ、高速、省溶媒の次世代SEC分離を可能とした。

新規に開発した本カラムはTSK-GEL SuperAWシリーズとして上市予定であり、ここではその基本的な性質から応用例までを報告する。

2. 実験

[1] 装置

SEC測定装置はポンプ（東ソー製CCPM-II）、試料注入バルブ（レオダイン製7125）、カラムオープン（東ソー製CO-8020）、検出器（東ソー製RI-8022）により構成した。またシステムのコントロール、データ処理にはスーパーシステムコントローラSC-8020あるいはマルチステーションGPC-8020（いずれも東ソー製）を用いた。なお、検出器のセルは標準仕様のもの（セル容量10 μ l）をマイクロ対応可能なもの（セル容量2.5 μ l）に改造して使用した。

[2] カラム

TSK-GEL SuperAWシリーズは親水性ポリマーをベースとした多孔性ゲルであり、細孔分布特性の違いにより、低分子試料用から高分子試料用までの5グレードと、複数のグレードを混合し広い分子量範囲での適用を可能としたミックスグレードの計6グレードを用意した（Table 1）。カラムサイズは従来のSECカラム（内径7.8mm×長さ300mm）よりもダウンサイジングを行い、内径6.0mm×長さ150mmとした。

性能、分離の比較には現在市販されている水系溶媒

用SECカラムTSK-GEL PW_{XL}シリーズ（東ソー製、カラムサイズ：内径7.8mm×長さ300mm）、及び極性有機溶媒用SECカラムTSK-GEL α シリーズ（東ソー製、カラムサイズ：内径7.8mm×長さ300mm）を用いた。

[3] 標準試料

標準試料には東ソー製、あるいはPolymer Laboratories製のポリエチレンオキシド（PEO）、和光純薬工業製、あるいはPolymer Laboratories製ポリエチレングリコール（PEG）、昭和電工製のプルランを使用した。

3. 結果、及び考察

[1] カラムの基本的性質

(1) 有機溶媒交換性

TSK-GEL SuperAWシリーズの溶媒交換におけるカラム性能の変化を調べた。試験はあらかじめ理論段数を測定したカラムについて、水から試験溶媒へ置換（流速：0.6ml/min、5時間以上）、放置（14時間以上）後、再び水に置換（流速：0.6ml/min）し、理論段数を測定し、これを各種の試験溶媒について繰り返すことにより行った。試験結果をFig. 1に示す。各種の溶媒交換前後でカラムの理論段数変化が少ないことがわかる。

溶媒による膨潤収縮性が小さくなるような設計により合成されたTSK-GEL SuperAWシリーズでは、溶媒交換によりカラムの充填状態に変化がないために各種の極性有機溶媒下での使用が可能であることが示されている。

(2) 較正曲線

水（標準試料PEO、PEG、及びプルラン）、MeOH（PEO、PEG）、DMF（PEO、PEG）、DMSO（プルラン）における較正曲線を調べた結果をFig. 2-Fig. 6に示す。

それぞれの溶媒において良好な直線性を有する較正

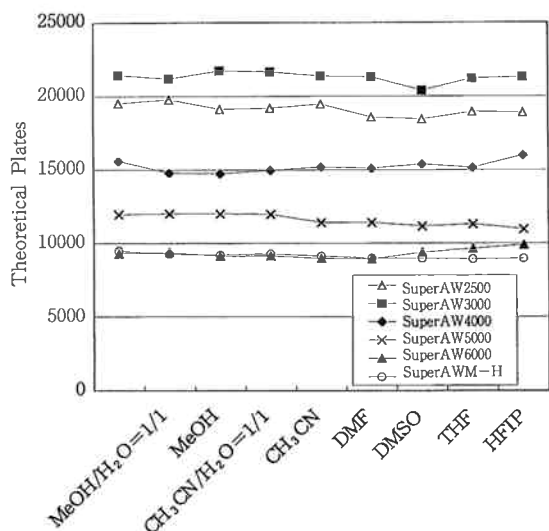


Fig. 1 Solvent compatibility of TSK-GEL SuperAW series.

<Theoretical plates measuring conditions>

Eluent : H₂O

Flow rate : 0.6ml/min

Sample : ethylene glycol 2.5mg/ml

Injection volume : 5 μl

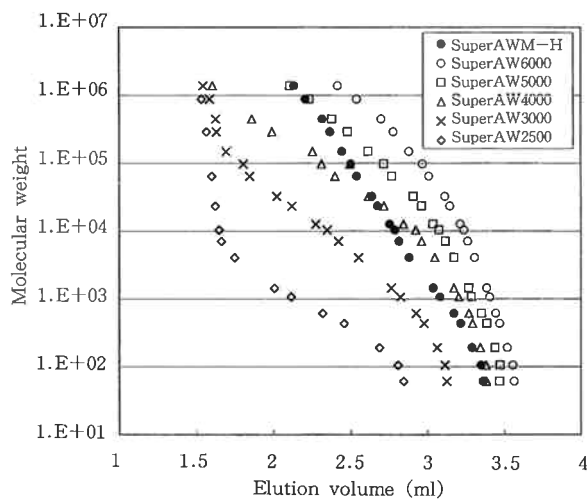


Fig. 2 Calibration curves of TSK-GEL SuperAW series in H₂O(1).

<Conditions>

Column size:6.0mmID×150mm

Eluent:H₂O

Flow rate:0.6ml/min

Temperature:ambient

Samples:polyethylene oxide and polyethylene glycol standards

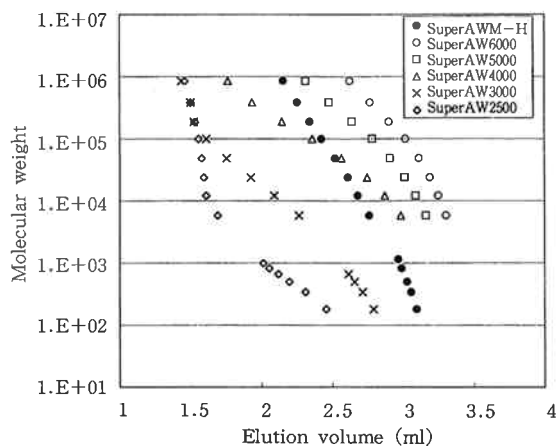


Fig. 3 Calibration curves of TSK-GEL SuperAW series in H₂O (2).

<Conditions>

Column size:6.0mmID×150mm

Eluent:H₂O

Flow rate:0.6ml/min

Temperature:ambient

Samples:pullulan standards and oligomaltoses

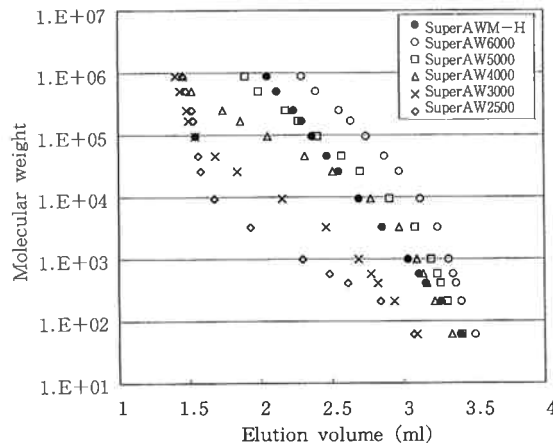


Fig. 4 Calibration curves of TSK-GEL SuperAW series in MeOH.

<Conditions>

Column size:6.0mmID×150mm

Eluent:10mM LiBr in MeOH

Flow rate:0.6ml/min

Temperature:40°C

Samples:polyethylene oxide and polyethylene glycol standards

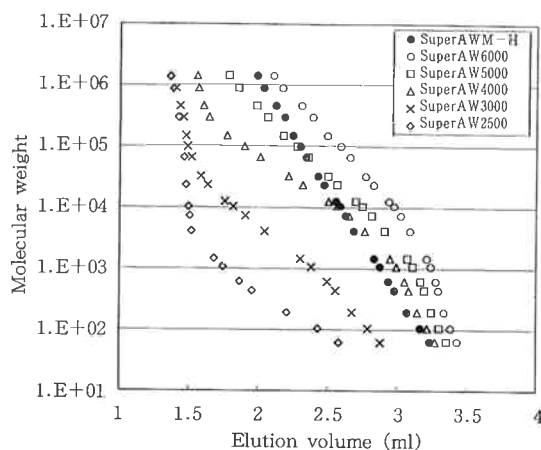


Fig. 5 Calibration curves of TSK-GEL SuperAW series in DMF.

<Conditions>

Column size:6.0mmID×150mm

Eluent:10mM LiBr in DMF

Flow rate:0.6ml/min

Temperature:40°C

Samples:polyethylene oxide and polyethylene glycol standards

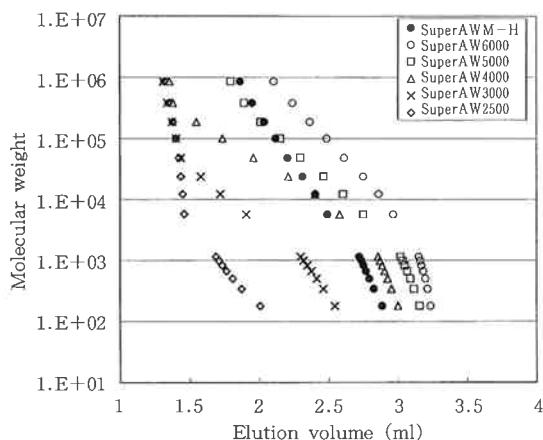


Fig. 6 Calibration curves of TSK-GEL SuperAW series in DMSO.

<Conditions>

Column size:6.0mmID×150mm

Eluent:10mM NaNO₃ in DMSO

Flow rate:0.3ml/min

Temperature:40°C

Samples:pullulan standards and oligomaltoses

曲線が得られていたが、分画分子量範囲や傾きについては各溶媒で若干の違いが見られた。主に試料の溶媒における流体力学的なサイズの変化に起因するものと考えられたが、詳細については今後検討する予定である。

また、水（標準試料PEO、PEG）における校正曲線では特に低分子領域において湾曲が見られた。ゲルの疎水性による試料との相互作用によるものと推察されたため、水に有機溶媒（アセトニトリル）を添加して校正曲線の変化を調べた（Fig. 7）。結果、20%程度のアセトニトリルの添加により湾曲は解消されることがわかった。従って、水系溶媒では溶解液の有機溶媒含有量が20%以下である場合には、標準試料にはプルランを使用することが適当であると考えられた。

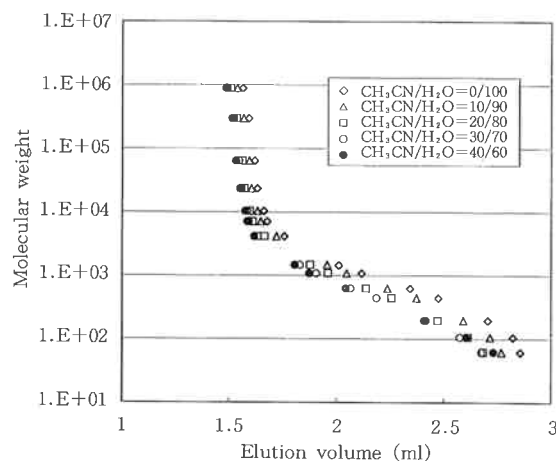


Fig. 7 Effect of additional CH₃CN concentration on calibration curve of TSKgel SuperAW2500 in H₂O.

<Conditions>

Column size:6.0mmID×150mm

Eluent:CH₃CN/H₂O

Flow rate:0.6ml/min

Temperature:ambient

Samples:polyethylene oxide and polyethylene glycol standards

(3) カラム分離性能

TSK-GEL SuperAWシリーズのゲル粒子径は、現行の水系あるいは極性有機溶媒用カラム（TSK-GEL PW_{XL}シリーズ等）に比較して小さく設定した。カラム性能は粒子径に依存する（粒子径が小さいほどカラム性能が高い）こと、さらに低デッドボリューム構造のカラム材を使用することにより、TSK-GEL SuperAWシリーズでは現行のTSK-GEL PW_{XL}シリー

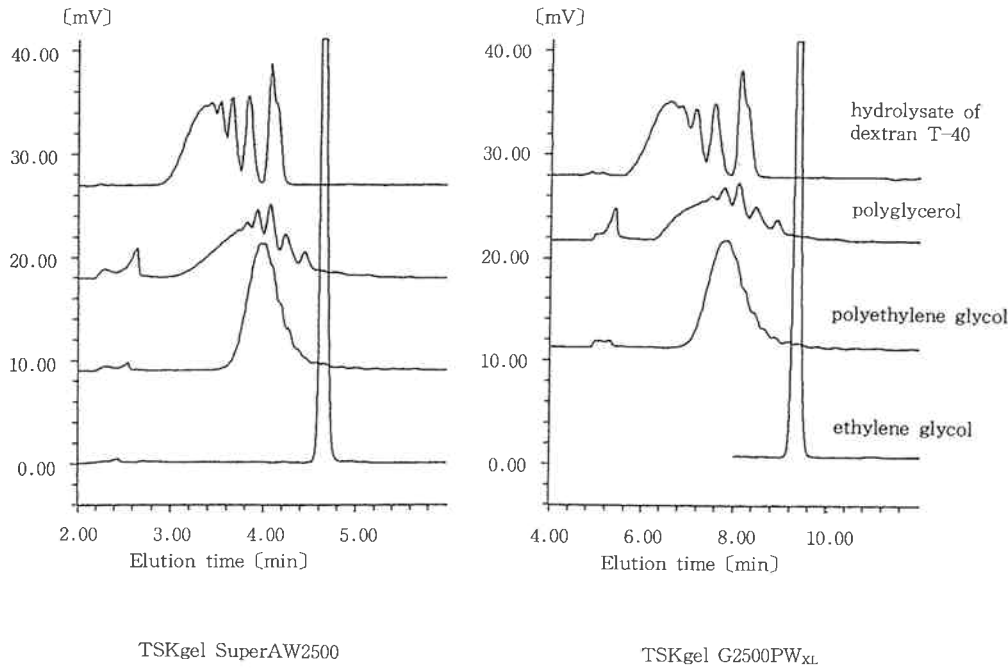


Fig. 8 Comparison of separations of oligomers on TSKgel SuperAW2500 and TSKgel G2500PW_{XL}.

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAW2500 (6.0mmID×150mm)

TSKgel G2500PW_{XL} (7.8mmID×300mm)

Eluent: H₂O

Flow rate: 0.6ml/min (TSKgel SuperAW2500)

1.0ml/min (TSKgel G2500PW_{XL})

Temperature: ambient

Samples: hydrolysate of dextran T-40, polyglycerol, polyethylene glycol, ethylene glycol

Injection volume: 5 μl (TSKgel SuperAW2500)

10 μl (TSKgel G2500PW_{XL})

ズに比較すると結果的にカラム長さあたり約2倍の理論段数、換言すると半分のカラム長さでほぼ同等の分離性能が達成された。

Fig. 8は新規開発TSKgel SuperAW2500と現行TSKgel G2500PW_{XL}を用いた各種オリゴマーの分離比較を示したものである。SuperAWカラムでは現行品に比べ約半分の時間で同等の分離が得られていることが分かる。

(4) カラム性能の流速依存性

カラム性能 (HETP) の流速依存性を低分子試料 (エチレングリコール) と高分子試料 (プルラン) について調べた。

試料をエチレングリコールとした場合 (Fig. 9)、現行品 (PW_{XL}) カラムでは線速10mm/min (内径7.8mmカラムで流速約0.5ml/min相当) 付近で最小 (カラム性能としては最高) となっていたのに対して、SuperAWカラムでは線速20mm/min (内径6.0mmカ

ラムで流速約0.6ml/min相当) 付近でもHETPの急激な上昇は見られなかった。

一方、試料をプルラン (分子量23700、及び5800) とした場合 (Fig. 10) ではSuperAW、現行品カラムともに流速が低いほど良好なカラム性能が得られた。流速に対するHETPの変化率はSuperAWカラムの方が小さく、いずれの試料群に対しても、SuperAWカラムの高流速下における使用の優位性が示唆された。なお、これらの結果についてはHPLCにおけるピークの広がり理論的に表すvan Deemterの式²⁾から導かれる推察によく一致するものであった。

(5) カラム性能の試料注入量依存性

カラム性能 (HETP) の試料注入量依存性を低分子試料 (エチレングリコール) と高分子試料 (プルラン) について調べた。

試料をエチレングリコールとした場合 (Fig. 11)、現行品 (PW_{XL}) カラムでは20 μlを越えた付近から、

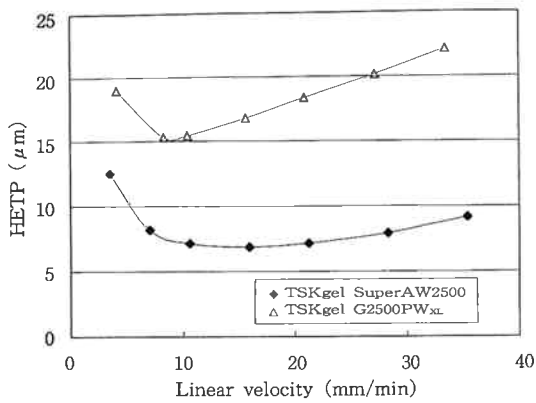


Fig. 9 Plots of HETP versus linear velocity (1).

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAW2500 (6.0mmID×150mm)
TSKgel G2500PW_{XL} (7.8mmID×300mm)

Eluent: H₂O

Temperature: ambient

Sample: ethylene glycol 2.5mg/ml

Injection volume: 5 μl (TSKgel SuperAW2500)
20 μl (TSKgel G2500PW_{XL})

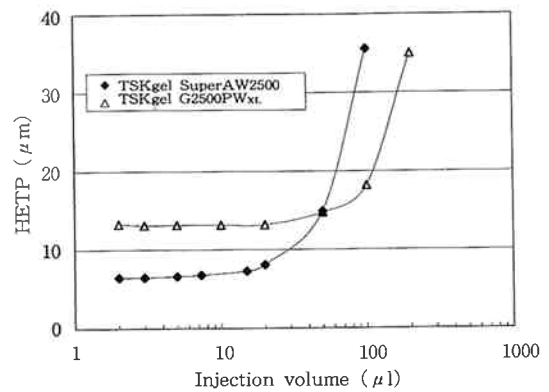


Fig. 11 Plots of HETP versus injection volume (1).

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAW2500 (6.0mmID×150mm)
TSKgel G2500PW_{XL} (7.8mmID×300mm)

Eluent: H₂O

Flow rate: 0.6ml/min (TSKgel SuperAW2500)

1.0ml/min (TSKgel G2500PW_{XL})

Temperature: ambient

Sample: ethylene glycol 2.5mg/ml

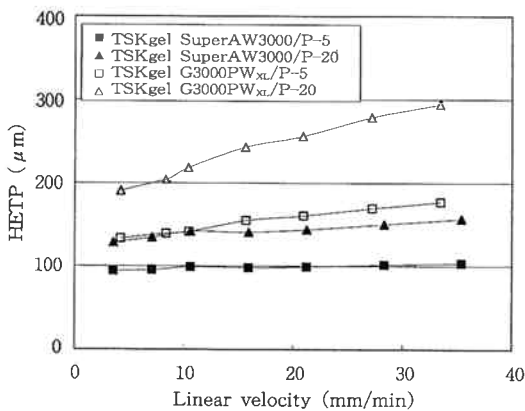


Fig. 10 Plots of HETP versus linear velocity (2).

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAW3000 (6.0mmID×150mm)
TSKgel G3000PW_{XL} (7.8mmID×300mm)

Eluent: H₂O

Temperature: ambient

Samples: pullulan P-5 (Mw5800) 1 mg/ml.

pullulan P-20 (Mw23700) 1 mg/ml

Injection volume: 5 μl (TSKgel SuperAW3000)
20 μl (TSKgel G3000PW_{XL})

SuperAWカラムでは5 μlを越えた付近からHETPの上昇が見られた。SuperAWカラムでは20 μlを越えるとHETPは急激に上昇し、現行品カラムとの間に逆転が見られた。

一方、試料をプルラン (分子量23700、及び5800) とした場合 (Fig. 12) ではSuperAWカラムにおいても20 μl程度まではHETPの急激な上昇は見られなかった。これはプルランの分子量が大きく、また分布を有しているため、もともと見かけ上のHETPが大きく、低分子試料に比較して注入量の増加に伴う影響を受け難いためと考えられる。実用上でも分布を有するポリマーの分析であれば、SuperAWカラムにおいても20 μl程度の注入でも問題はないものと考えられる。

[2] 高分子試料の溶出挙動

(1) 多糖類

多糖類の測定についてはこれまでにPW_{XL}カラムを使用した例が数多く報告されている³⁻⁷⁾。PW_{XL}カラムでは、通常、塩水溶液を溶離液として、ゲル、試料間の相互作用がなく、良好な測定が可能となっている。ここでは、PW_{XL}カラムでよく使用される溶離液条件下 (0.2M NaNO₃) においてSuperAWカラムとPW_{XL}カラムの溶出を比較した。

Fig. 13は両カラムにおいて得られた重量平均分子量

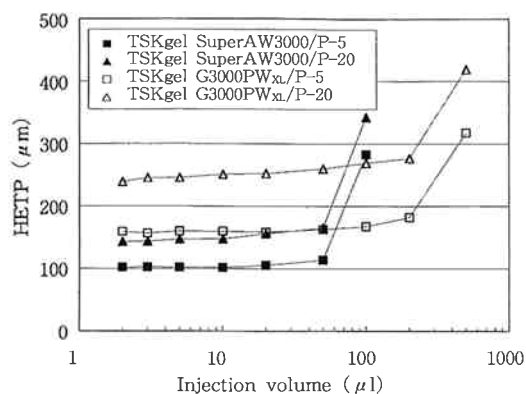


Fig. 12 Plots of HETP versus injection volume (2).

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAW3000 (6.0mmID×150mm)

TSKgel G3000PW_{XL} (7.8mmID×300mm)

Eluent: H₂O

Flow rate: 0.6ml/min (TSKgel SuperAW3000)

1.0ml/min (TSKgel G3000PW_{XL})

Temperature: ambient

Samples: pullulan P-5 (Mw5800) 1 mg/ml

pullulan P-20 (Mw23700) 1mg/ml

測定結果の相関を表すものである。中性、酸性の多糖類については比較的良好な相関関係が得られた。しかしながら両者の数値は、特に超高分子の試料については必ずしも一致するものではなかった。これは近似式により計算される較正曲線のわずかな違いが測定結果に差をもたらしているのものであると推察された。

SuperAWカラムでは短時間での測定に優位性があった。

(2) その他の水溶性高分子試料

多糖類以外の水溶性高分子の溶出挙動を検討した。水溶性高分子についてもPW_{XL}カラムによる報告は多いが、試料のイオン性や疎水性により溶離液の塩濃度や有機溶媒濃度を最適化する必要がある^{3-5, 8-10)}。

比較的疎水性を有する試料 (ポリスチレンスルホン酸ナトリウム、ポリビニルピロリドン等) について、SuperAWカラムとPW_{XL}カラムの比較を行った。塩水溶液 (0.2M NaNO₃) を溶離液としたところ、SuperAWカラムではPW_{XL}カラムよりも分子量測定結果が小さくなる傾向が見られた。SEC測定において、分子量結果が異なる原因としては、ゲルと試料の間に相互作用が生じ、試料の溶出が分子サイズのみ依存しなくなることがあげられる³⁾。ここではゲルの疎水性により、試料との間に相互作用が生じており、その強さが両カラムで異なっているものと考えられた。

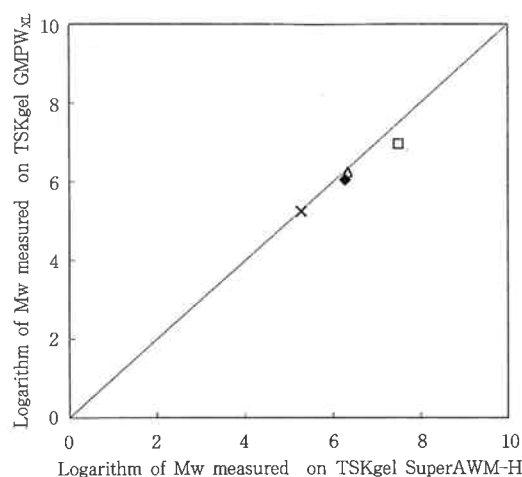


Fig. 13 Correlation between TSKgel SuperAWM-H and TSKgel GMPW_{XL} in the measuring of weight-average molecular weight (Mw) of polysaccharides.

<Conditions>

Column: TSKgel

SuperAWM-H (6.0mmID×150mm×2)

TSKgel GMPW_{XL} (7.8mmID×300mm×2)

Eluent: 0.2M NaNO₃

Flow rate: 0.6ml/min (TSKgel SuperAWM-H)

1.0ml/min (TSKgel GMPW_{XL})

Temperature: 40°C

Samples: sodium chondroitin sulfate (x), sodium alginate (filled diamonds), carboxymethyl cellulose (filled triangles), sodium hyaluronate (open squares) each 1 mg/ml

Injection volume: 20 μl (TSKgel SuperAWM-H)

50 μl (TSKgel GMPW_{XL})

ゲルと試料の間に相互作用がある場合には溶離液条件の最適化検討を行う必要がある。そこで溶離液への有機溶媒の添加を行ったところ、両カラムともに疎水的な相互作用の解消が見られた。それぞれのカラムで溶離条件にちがいはあったが、条件の最適化により、ともにサイズによる分離が可能となった。具体的な測定例については〔3〕応用例の項に記載する。

(3) 極性有機溶媒可溶性試料

極性有機溶媒可溶性試料について、SuperAWカラムと α カラム¹¹⁾を用いた比較を検討した。6種の試料について、DMF (10mM LiBrを添加) を溶離液として、両カラムによる重量平均分子量測定を行った。

Fig. 14に示すように、両カラム間で良好な相関関係が得られていることが分かる。

一方、両カラムでピーク形状を比較した場合、溶出パターンに違いの見られる試料があった。そのため、試料によっては重量平均分子量には相関が認められる

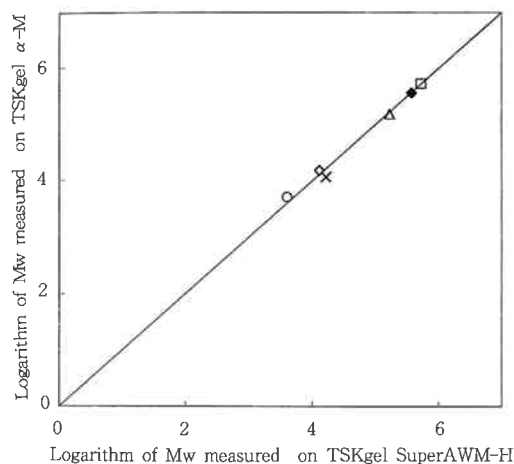


Fig. 14 Correlation between TSKgel SuperAWM-H and TSKgel α -M in the measuring of weight-average molecular weight (Mw) of DMF soluble samples.

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAWM-H (6.0mmID \times 150mm \times 2)
TSKgel α -M (7.8mmID \times 300mm \times 2)

Eluent: 10mM LiBr in DMF

Flow rate: 0.6ml/min (TSKgel SuperAWM-H)
1.0ml/min (TSKgel α -M)

Temperature: 40 $^{\circ}$ C

Samples: ethylcellulose (○), phenol resin (resol type) (◇),
phenol resin (novolac type) (×),
vinylidene chloride-acrylonitrile copolymer (△),
polyacrylonitrile (◆), polyisopropylacrylamide (□)
each 1 mg/ml

Injection volume: 20 μ l (TSKgel SuperAWM-H)
50 μ l (TSKgel α -M)

が、数平均分子量やZ平均分子量はピーク形状に依存するため差異が生じた。しかしながら、SECは相対的な分子量の測定方法であり、相対的である以上、カラムや溶媒系を変更した場合に生じる測定結果のわずかな差は避けられないものと考えられる。

[3] 応用例

(1) 多糖類

アルギン酸ナトリウムについて測定を行った結果をFig. 15に示す。0.2M NaNO₃を溶離液として良好なクロマトグラムが得られた。

(2) その他の水溶性高分子試料

ポリスチレンスルホン酸ナトリウムについて測定を行った結果をFig. 16に示す。この試料については有機溶媒を含まない溶離液では、溶出に遅れが見られたが、アセトニトリルを20%添加した条件として良好なクロマトグラムを得ることが可能であった。

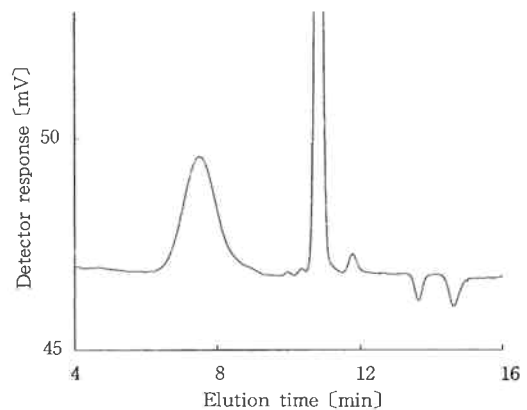


Fig. 15 Chromatogram of sodium alginate on TSKgel SuperAWM-H.

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAWM-H
(6.0mmID \times 150mm \times 2)

Eluent: 0.2M NaNO₃

Flow rate: 0.6ml/min

Temperature: 40 $^{\circ}$ C

Detection: RI

Sample: sodium alginate 0.2mg/ml

Injection volume: 20 μ l

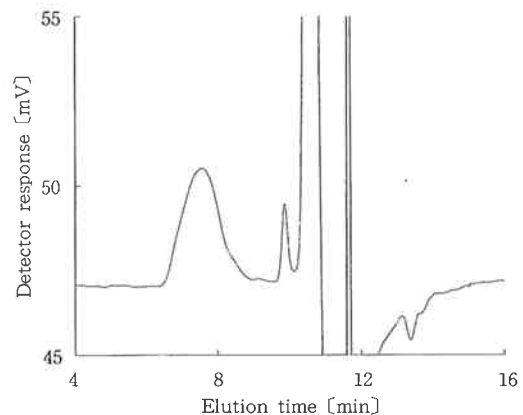


Fig. 16 Chromatogram of sodium polystyrenesulfonate on TSKgel SuperAWM-H.

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAWM-H
(6.0mmID \times 150mm \times 2)

Eluent: CH₃CN/50mM NaNO₃=2/8

Flow rate: 0.6ml/min

Temperature: 40 $^{\circ}$ C

Detection: RI

Sample: sodium polystyrenesulfonate 0.2mg/ml

Injection volume: 20 μ l

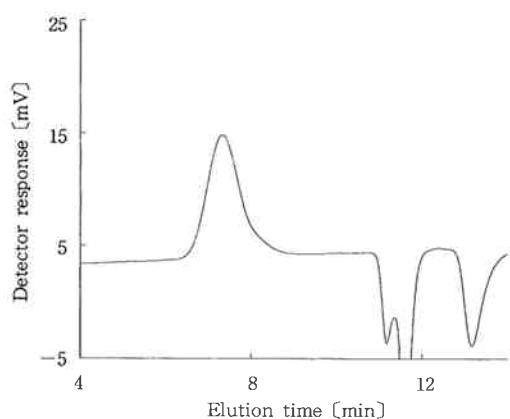


Fig. 17 Chromatogram of polyacrylonitrile on TSKgel SuperAWM-H.

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAWM-H
(6.0mmID×150mm×2)

Eluent: 10mM LiBr in DMF

Flow rate: 0.6ml/min

Temperature: 40°C

Detection: RI

Sample: polyacrylonitrile 1 mg/ml

Injection volume: 20 μl

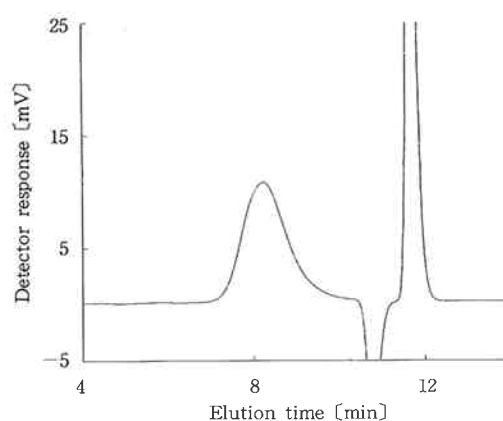


Fig. 18 Chromatogram of ethyl hydroxyethyl cellulose on TSKgel SuperAWM-H.

<Conditions>

Column: TSKgel SuperAWM-H
(6.0mmID×150mm×2)

Eluent: 10mM LiBr in MeOH

Flow rate: 0.6ml/min

Temperature: 40°C

Detection: RI

Sample: ethyl hydroxyethyl cellulose 0.1mg/ml

Injection volume: 20 μl

(3) 極性有機溶媒可溶性試料

ポリアクリロニトリル、及びエチルヒドロキシエチルセルロースについて測定を行った結果をFig. 17、Fig. 18に示す。それぞれ、DMF (10mM LiBr添加)、MeOH (10mM LiBr添加)を溶離液としてともに良好なクロマトグラムが得られた。

4. まとめ

新規に開発したTSK-GEL SuperAWシリーズでは水から極性有機溶媒まで幅広い範囲において同一カラムでのSEC測定が可能であった。さらに充填剤の微粒子化によるカラムの高性能化、カラムサイズのダウンサイジング化により高速、省溶媒分析を達成した。Ecology&EconomyをコンセプトとしたTSK-GEL SuperAWシリーズは、次世代のSECカラムとして、幅広い分野において今後の展開が期待される。

参考文献

- 1) 森山弘之, ぶんせき, 293, 5, 372 (1999)
- 2) F. Geiss, 液体クロマトグラフィーの最適化, 講談社 (1980)
- 3) セパレーションレポートNo.35 (東ソー)
- 4) セパレーションレポートNo.37 (東ソー)

5) セパレーションレポートNo.38 (東ソー)

6) R.M. Alsop and G.J. Vlechogiannis, *J. Chromatogr.*, 249, 227 (1982)

7) T. Kato, T. Okamoto and T. Tokuya, *Biopolymers*, 21, 1623 (1981)

8) Carole M.L. Atkins, Roy Dietz and Micheal A. Francis, *Polymers*, 21, 891 (1980)

9) Y. Higo, Y. Kato, M. Itoh, N. Kozuka and M. Nagasawa, *Polymer Journal*, 14, 10, 809 (1982)

10) I. J. Levy and P. L. Dubin, *Anal. Biochem.*, 131, 295 (1983)

11) セパレーションレポートNo.94 (東ソー)

英文アブストラクトに対応する日本文

新規高性能水、極性有機溶媒用SECセミマイクロカラムが開発された。新規カラムは溶媒交換性が優れているため、水から極性有機溶媒までの広い極性範囲の溶媒で使用可能であった。我々はそのカラムの基礎的な性質について調べ、また様々な試料における測定条件の最適化を行った。その結果、溶媒交換時にカラム交換の必要のない新規概念のSECを確立した。さらに、このカラムは従来のSECカラムと比較してカラム効率が高く、カラムサイズが小さいため、高速、省溶媒のSECの実現が示唆された。



著 者

氏名 橋 本 佳 巳

Yoshimi HASHIMOTO

入社 昭和62年4月1日

所属 ゲル製造部

セパレーションセンター

主任研究員



著 者

氏名 岩 枝 俊 直

Toshinao IWAEDA

入社 昭和46年3月1日

所属 ゲル製造部

セパレーションセンター

副主任研究員



著 者

氏名 椎 木 浩 司

Kouji SHIIGI

入社 昭和55年3月16日

所属 ゲル製造部

セパレーションセンター

副主任研究員



著 者

氏名 富 澤 洋

Hiroshi TOMIZAWA

入社 昭和62年4月1日

所属 科学計測事業部

技術サービス部

学術グループ

主任研究員



著 者

氏名 森 山 弘 之

Hiroyuki MORIYAMA

入社 昭和55年4月1日

所属 ゲル製造部

セパレーションセンター

センター長