

## イオンクロマトグラフィーとキャピラリー電気泳動

キーワード：イオンクロマトグラフィー、キャピラリー電気泳動、イオン分析

### 概要

水中のイオンの分析は産業活動において大きな役割を果たしており、当研究所でも多くのグループで、様々な分析依頼に対応しています。

ここでは、代表的なイオン分析法の一つであるイオンクロマトグラフィーと、ここ10年で急速に発展した分析法であるキャピラリー電気泳動法について解説します。

### イオンの分析

水中のイオンの種類とその濃度は、水の性質を決めるため、それらを定性、定量分析することは非常に重要です。環境保全の観点から大気、土壌、河川、海洋など、環境試料中のイオンのモニタリングが行われています。また、産業活動においても、繊維、医薬品、バイオテクノロジー関連、表面処理、新素材の製造など多くの分野でイオンの分析が行われています。さらに、腐食原因の解明、プラスチック、金属などからの溶出物質の分析、半導体表面の汚染物質の分析など様々なトラブル解決のためにイオン分析が活躍しています。

イオンの分析には、様々な化学分析法や機器分析法が提案、実行されています。イオンの中でも、ハロゲン化物、硝酸、硫酸などの無機陰イオンや、ナトリウム、カリウム、アンモニウムなどの小さな陽イオンは環境中に多く存在するため、工業的に重要な役割を果たしていますが、一般的な化学分析では定量が困難です。しかし今回紹介するイオンクロマトグラフィーおよびキャピラリー電気泳動法では、これら多数のイオンの定量分析が容易に行えるため、多くの分野で広く用いられています。

### イオンクロマトグラフィー

1972年、H. Smallらは新しいイオン分析の方法およびその装置を発表しました。それは弱電解質溶液を移動相、イオン交換樹脂を詰めたカ

ラムを固定相とするクロマトグラフィーで、電気伝導度検出器を用い、イオンの検出を行いました。これがイオンクロマトグラフィーに関する最初の報告でした。この装置は1976年に市販され、特にこれまで定量が困難であった微量の無機陰イオンの分析が短時間に行えるため、広く用いられるようになりました。

イオンクロマトグラフィー装置はサプレッサー方式とノンサプレッサー方式の二つに大別されます。サプレッサー方式は、分離カラムと電気伝導度検出器との間に、移動相中の電解質を選択的に取り除くサプレッサーを備えています。このためバックグラウンドが低くなり、高感度定量が可能です。一方、ノンサプレッサー方式は、直接移動相の電気伝導度を測定します。サプレッサー方式に比べ感度は劣りますが、装置構成が簡単で、カラム、移動相などの選択範囲が広がるという利点があります。

図1は陰イオンを分析したときのクロマトグラムですが、種々の無機陰イオンが同時分析できることがわかります。このように、イオンクロマトグラフィーは一回の分析で多くのイオンの分析が同時にできるため、非常に有用です。

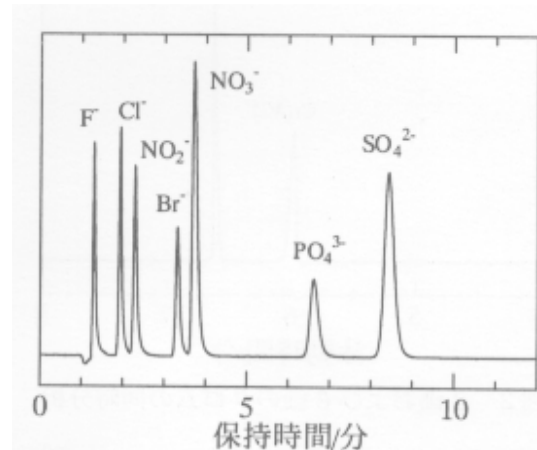


図 1 陰イオン分析時のクロマトグラム

## キャピラリー電気泳動法

1981年、J.W. JorgensonとK.D. Lukacsは内径75  $\mu\text{m}$ のガラス管を用いた電気泳動を行い、アミノ酸やアミン類を高分離度で検出しました。このときの電気泳動図(エレクトロフェログラム)はクロマトグラムに酷似しており、キャピラリー電気泳動法がイオン種の分離分析に有用であることを示しました。この研究以来、キャピラリー電気泳動法は急速に進歩し、近年ではイオンクロマトグラフィー同様、多くの研究機関、企業などでイオン分析に用いられています。

イオンクロマトグラフィーとは異なり、キャピラリー電気泳動法では分離のためにカラムを必要としません。このため、同じキャピラリーで陰、陽イオンの分析が可能です。さらに、多種多様な測定条件が選択できるため、一般的なイオンに限らず、様々な分析が行えます。

基本的な構成は直流高圧電源(0~30 kV)、紫外可視検出器、泳動液のバイアル、電極およびキャピラリーだけと非常に単純です。市販装置の多くは、これに加えてオートサンプラーとフォトダイオードアレイ検出器(多波長の光を同時に検出できる半導体検出器)を備えており、自動測定および泳動してきた物質の紫外可視吸収スペクトルをオンラインで測定することが可能です。

図2は3価および6価のクロムを同時分析したときのエレクトロフェログラムですが、両者が高分離度で分析可能であることがわかりま

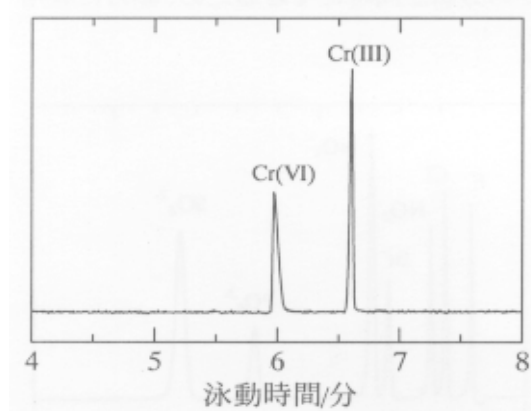


図2 3価および6価のクロムの同時分析

	IC	CE
サンプル量	1~50 $\mu\text{L}$	1~5 nL
分析時間	10~40分	5~15分
カラム(キャピラリー)の値段	約70,000円	約3,000円
理論段数	$\sim 10^4$	$\sim 10^5$
検出限界(UV検出器)	$\sim 10^{-9}\text{M}$	$\sim 10^{-7}\text{M}$
検出時間の再現性	2.0%以下	5.0%以下
定量精度	およそ2.0%	およそ5.0%

表1 イオンクロマトグラフィー(IC)とキャピラリー電気泳動法(CE)との比較<sup>1)</sup>

す。このようにキャピラリー電気泳動法では、分析条件を最適化することにより、様々な応用が可能です。

## イオンクロマトグラフィーとキャピラリー電気泳動法の比較

上記のように両者ともイオンの分析が可能ですが、それぞれ特徴があります。表1に両者の比較を示します。イオンクロマトグラフィーの長所には検出感度が高い、試料量が多いため分取が可能、再現性がよいなどが挙げられます。対するキャピラリー電気泳動法では高分離度、短時間、低ランニングコストで多様な分析が可能です。

一般的にイオンクロマトグラフィーは再現性よく定量することができますので、品質管理などのルーチン分析に適用されます。一方キャピラリー電気泳動では、分析の適用範囲が広く、カラム汚染などの心配が少ないため、未知物質などの分析に応用されます。しかし、キャピラリー電気泳動法は、比較的新しい分析法です。このため、詳細な分析条件などが明らかでない場合がしばしばあり、注意が必要です。いずれの分析方法を適用するかは、サンプルの状態、測定頻度、求められる感度など諸条件により変わってくるものと思われます。

## 参考文献

- 1) V. Pacakova and K. Sulik, J. Chromatogr. A, 789, 169 (1997)