

LC-ICP-MS の試料導入系

液体クロマトグラフィー-誘導結合プラズマ質量分析法 (LC-ICP-MS) は、微量元素の化学形態別分析、あるいはハロゲン、リン、硫黄等の非金属を指標とした有機化合物分析への応用展開が盛んに行われている分析手法である。本稿では、LC-ICP-MS における重要な技術要素である、ICP-MS への高効率微量試料導入の話題を中心に、セミマイクロ、マイクロ及びナノ LC-ICP-MS について解説する。

稲垣 和三, 千葉 光一

1 はじめに

誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) は、1980 年の Houk らによる最初の報告¹⁾以来、目覚ましい進化を遂げ、多くの公定法に組み込まれるなど、今日では様々な分野における微量元素の定量分析に欠かせない分析法の一つとなっている²⁾。一方で、液体クロマトグラフィー (LC) 等を用いた分離分析における高感度元素選択的検出法としての応用も盛んであり、いわゆる複合分析法として、金属、半金属元素の化学形態別分析 (本稿では、以下酸化状態別、化合物別、結合物質別等を総称して“化学形態別”を使用する)、あるいはハロゲン、リン、硫黄、炭素等の非金属を指標とした有機化合物分析へと応用展開されている。中でも LC と ICP-MS の複合分析法 (LC-ICP-MS) は、特にここ 10 年来、その応用展開が急速に進んでいる複合分析手法の一つである^{3)~5)}。これは、LC-ICP-MS による微量元素の化学形態別分析あるいは元素選択的検出による有機分析への関心が高まっていることも然ることながら、LC、ICP-MS 双方の技術要素の発達により、LC-ICP-MS が汎用性の高い分析法として成熟してきているためである。本稿では、LC-ICP-MS の汎用性拡大に大きく貢献している技術要素である ICP-MS の高効率微量試料導入系の話題を中心に、セミマイクロ、マイクロ及びナノ LC-ICP-MS について解説する。

2 LC と ICP-MS の結合に関する技術課題

LC と ICP-MS の結合の要点は、「LC によって分離された試料を、分離を損なわず、ICP を安定に維持した状態で、いかに効率よく ICP に導入し、長時間安定に質量分析部で測定するか」に集約される。LC-ICP-MS を用いた初期の応用研究では、汎用サイズの分離カラム

(4.6 mm×250 mm) を用いる場合が多く、汎用分離カラムの最適移動相流量と、ICP-MS の汎用試料導入系 (ネブライザー+スプレーチャンバー) における試料導入流量がともに 1 mL min⁻¹ 前後であることから、配管デッドボリューム等の基礎知識さえあれば、LC における分離を損なわない結合自体は容易であった。しかし、プラズマを安定に維持する上で、移動相組成には大きな制約をうけるため、その応用範囲は限られたものになる。例えば、高濃度有機溶剤を含む移動相 (溶剤によるが、たとえばメタノールの場合、10~20% 以上) は、汎用 LC-ICP-MS の仕様では適用できない。これは、有機溶剤に対してプラズマの耐性が低いことに加え、有機溶剤のネブライザーにおける噴霧効率が水に比べて良く、かつスプレーチャンバー内における気化量が多いため、プラズマへ相当量のキャリアオーバーが生じるためである²⁾。また、汎用試料導入系を用いた場合の ICP への試料導入率は 1~2% と非常に悪く、絶対検出感度が問題となる微量試料の分析への適用は困難である。

これらの技術課題を解決するため、種々の手法 (プラズマトーチインジェクターの内径変更あるいは酸素ガス導入によるプラズマの耐性向上、脱溶媒、移動相組成の変更、分離系のダウンスケーリング等による ICP への負荷の軽減等) が試みられているが、中でも最も効果的かつ実用的なのが、分離系のダウンスケール、すなわちセミマイクロ及びマイクロ LC-ICP-MS の適用である。

3 分離カラムダウンスケーリングのメリット

LC における分離カラムのダウンスケールのメリットとしては、分離を維持した状態での、移動相 (すなわち試薬) 消費及び必要試料量の大幅削減、カラム内拡散の抑制による絶対検出感度の向上等が挙げられる⁶⁾⁷⁾。LC-ICP-MS に関しては、これらのメリットに加え、ダウンスケールに応じて以下のメリットが新たに生じる。セミマイクロ LC-ICP-MS の場合、濃度検出感度を

かなり維持した状態で絶対検出感度が向上し、インジェクター内径の小さいプラズマトーチを適用することで高濃度有機溶剤の安定導入（ただし有機溶剤の濃度変化による信号強度変化まではキャンセルできない）が可能となる。一方、更にスケールダウンしたマイクロ及びナノ LC-ICP-MS の場合、濃度検出感度維持は難しいものの、絶対検出感度は大幅に向上し、100% 有機溶剤が安定導入可能となり、かつグラジエント法等による移動相中有機溶剤濃度変化による測定信号強度ドリフトもなくなる。ただし、上記メリットを現実のものとするには、セミマイクロ LC-ICP-MS、マイクロ及びナノ LC-ICP-MS とも、LC における分離を損なわない低デッドボリュームでの配管及び接続と、同じく低デッドボリューム構造かつプラズマへの試料導入効率が高い微量試料導入系の適用が必要不可欠である。

4 セミマイクロ LC-ICP-MS における微量試料導入系

セミマイクロ LC-ICP-MS に用いる微量試料導入系は、微量試料導入ネブライザー（本稿では、 $100 \mu\text{L min}^{-1}$ 以下の送液（あるいは吸引）量で実用に供しうるネブライザーを微量試料導入ネブライザーとして定義する。）と容量 20~50 mL 程度の各種スプレーチャンバーによって構成される。以下、微量試料導入ネブライザー、スプレーチャンバーの順に解説する。

4.1 セミマイクロ LC-ICP-MS における微量試料導入ネブライザー

セミマイクロ LC における最適移動相流量（ $50 \sim 200 \mu\text{L min}^{-1}$ ）に適した微量試料導入ネブライザーは、数多く開発・市販されており、各流量に最適なネブライザーが選択可能である（表 1）。これら微量試料導入ネブライザーは、汎用ネブライザーに比べてネブライザー内管径及び試料導入キャピラリー内径が細いため、セミマイクロ LC に十分供しうる低デッドボリュームであり、

表 1 汎用ネブライザーとセミマイクロ LC に対応可能な微量試料導入ネブライザーとの比較

	内管径 (μm)	適用流量 ($\mu\text{L min}^{-1}$)
汎用ネブライザー		
Conical nebulizer	400	500~1000
Cross-flow nebulizer	500	500~1000
Parallel-path nebulizer (MiraMist)	425	500~1000
微量試料導入ネブライザー		
High efficiency nebulizer (HEN)	80~100	10~100
Microconcentric nebulizer (MCN100)	100	10~100
Micromist nebulizer	140~200	50~500
PFA microflow nebulizer	270	20~400

噴霧効率を高めるために内管肉厚が薄い構造となっている（parallel-path burgener 型は除く）。

微量試料導入ネブライザーを用いた場合、以下の理由によりプラズマへの試料導入効率が高くなる⁸⁾⁹⁾。ネブライザーへの試料導入量が少なくなると、液接触時のネブライザーガスの相対的な運動エネルギーが大きくなるため試料液の微細粒子への破砕が促進され、かつ噴霧量が少ないため粒子間距離が長くなり、衝突粒子成長が抑制される。結果として、噴霧による生成エアロゾル（プライマリーエアロゾル）のうち、 $10 \mu\text{m}$ 以下の粒径（一般的なスプレーチャンバーのカットオフ粒径¹⁰⁾）の分布率が大きくなり、プラズマへの輸送効率が大幅に向上する。また、エアロゾルの微粒化が進むことで、脱溶媒も効果的に進み、結果としてプラズマの耐性自体も向上する。

微量試料導入ネブライザーの効果を示す具体例として、同一試料導入系（ESI 製 PFA-ST + ダブルパススコット型スプレーチャンバー（容量 50 mL））を用い、試料導入流量を $30 \sim 1200 \mu\text{L min}^{-1}$ まで変化させた際、得られる信号強度（ $^{140}\text{Ce}^+$ ）及び酸化物比（ $^{140}\text{Ce}^{16}\text{O}^+ / ^{140}\text{Ce}^+$ ）の変化を示す（図 1）。なお、測定に際してはセントラルガス流（メイクアップガス流 + ネブライザーガス流）に加えるメイクアップガス流量以外の装置諸条件（ICP の RF 出力、サンプリング深さ、ネブライザーガス流量、イオンレンズ設定等）を固定し、試料は負圧吸引導入（試料導入流量は試料吸上げキャピラリーの内径及び長さを変化させることで調整）し、各試料導入流量において、それぞれ最大感度が得られるようメイクアップガス流量を最適化して得た測定値である。この図を見ても明らかのように、試料導入流量 $200 \mu\text{L min}^{-1}$ 付近で得られる $^{140}\text{Ce}^+$ の信号強度は、 $1200 \mu\text{L min}^{-1}$ で得られる信号強度の 9 割以上を維持しており、更に試料導入流量 $30 \mu\text{L min}^{-1}$ では、試料導入量が 1/

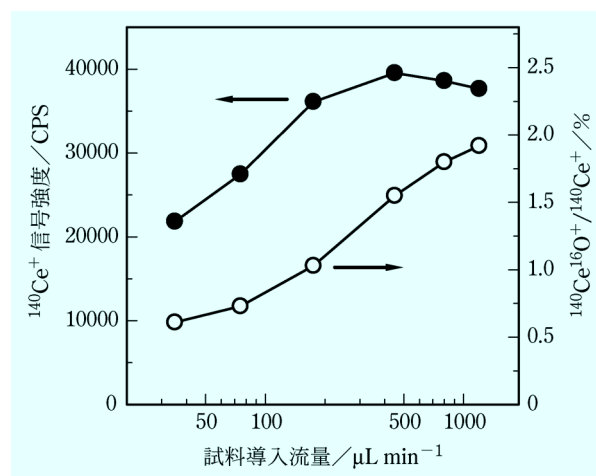


図 1 微量試料導入系を用い、試料導入流量を $30 \sim 1200 \mu\text{L min}^{-1}$ まで変化させた際に得られる信号強度（ $^{140}\text{Ce}^+$ ）及び酸化物比（ $^{140}\text{Ce}^{16}\text{O}^+ / ^{140}\text{Ce}^+$ ）の変化

40に減っているにもかかわらず、 $1200 \mu\text{L min}^{-1}$ で得られる信号強度の約6割を維持している。これは、エアロゾルの微粒化によりプラズマへの試料導入効率が増しているために生じる現象であり、実際、試料導入流量 $30 \mu\text{L min}^{-1}$ においてエアロゾルをプラズマトーチ内でトラップして見積もった導入効率は約24%であり、汎用ネブライザーの1~2%に比べ、非常に高い導入効率を得られている。また、試料導入流量の減少に伴い、酸化物比も減少、すなわちプラズマ内での酸化物の分解も促進していることから、微量試料導入化によってプラズマの耐久性も向上していることがわかる。実際にこの試料導入系を用いた場合、インジェクター内径1.5 mmのプラズマトーチを用い、スプレーチャンバーの外壁温度を -2°C にするという条件付ながら、試料導入流量 $200 \mu\text{L min}^{-1}$ 以下では100%メタノールの安定導入が可能であった。

高濃度有機溶剤を含む移動相の導入例として、微量試料導入ネブライザー（Glass Expansion製Micromist AR40-1-F01E、試料導入キャピラリー内径0.13 mm×長さ100 mm）を用いたセミマイクロLC-ICP-MSによる底質中ブチルスズ及びフェニルスズ化合物の化学形態別分析の例を示す（図2）¹¹。ブチルスズ及びフェニルスズ化合物は、側鎖数の増加に従い疎水性が増すため、逆相分離カラムを用い、高濃度有機溶剤を含む移動相による分離が有効だが、汎用LC-ICP-MSではそのような分離条件を適用できなかったため、LC-ICP-MSによる分析が難しい典型例であった。図2の分析例では、分離カラムにセミマイクロODSカラム（関東化学製Mightysil, 2.0 mm×150 mm, 3 μm ）を用い、アセトニトリル65%を含む移動相（流量 $200 \mu\text{L min}^{-1}$ ）で分離を行い、ICP-MS側は、インジェクター内径1.5 mmのプラズマトーチを用い、スプレーチャンバーの外壁温

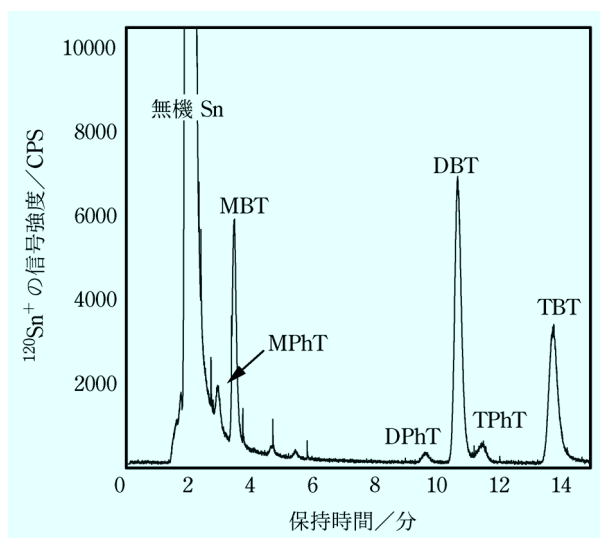


図2 セミマイクロLC-ICP-MSによる底質中ブチルスズ及びフェニルスズ化合物の測定クロマトグラム

度を -2°C にするという条件のほか、プラズマ補助ガスに酸素ガスを10%混合している。アセトニトリルは構造内に酸素を含んでいないため、構造内に酸素を含むメタノール等と比較してプラズマへの負荷が大きく、実際にプラズマを安定に保ち、かつ長時間の安定測定を実現するためには、酸素ガスの混合が必要だったものの、各化合物を良好に分離でき、少なくとも10時間以上の安定測定が可能であった。

4・2 セミマイクロLC-ICP-MSにおけるスプレーチャンバー

スプレーチャンバーに関しては、セミマイクロLCにおける移動相流量範囲（ $50\sim 200 \mu\text{L min}^{-1}$ ）であれば、特に小容量化は不要であり、汎用のダブルパススコット型（容量 $50\sim 100 \text{ mL}$ ）もしくはサイクロン型（容量 50 mL ）を用いても、分離の維持はあまり影響しない。これは、試料送液速度に対して、噴霧後の線速度（すなわちセントラルガス流量）が十分に速いためである。しかし、試料導入流量を下げるとプラズマへの導入効率には違いが生じる。実際に試料導入流量 $50 \mu\text{L min}^{-1}$ 付近になると、チャンバー内における壁面衝突ロスが大きくなる。したがって、スプレーチャンバーの構造及び容積がプラズマへの試料導入効率に大きな影響を与えるようになる。具体例として、ミニサイクロン型チャンバー（図3写真1、Glass Expansion製Cinnabar cyclone、内容積 20 mL ）と、同内容積の小容量シングルパス型スプレーチャンバー（図3写真2、内容積 20 mL 、試作品）を用い、導入流量 $50 \mu\text{L min}^{-1}$ の1%硝酸溶液に $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 銅標準液 $1 \mu\text{L}$ をフローインジェクションしたときの $^{65}\text{Cu}^{+}$ のプロファイル（FIプロファイル）の比較を示す（図4）。両チャンバーを用いて得られたFIプロファイルは、半値幅には差がないが、小容量シングルパス型によるFIプロファイルほうが3割近く高いプロファイルが得られている。これは、両チャンバーの構造の違いに起因していると推察される。すなわち、ミニサイクロン型では、噴霧直後にプライマリーエアロゾルが壁面衝突する構造になっており、微量量導

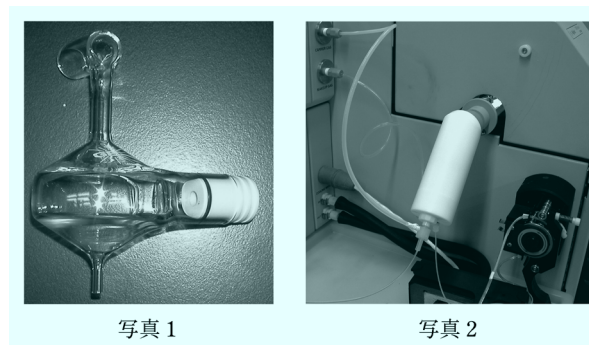


図3 ミニサイクロン型チャンバー（写真1）及び小容量シングルパス型スプレーチャンバー（写真2）

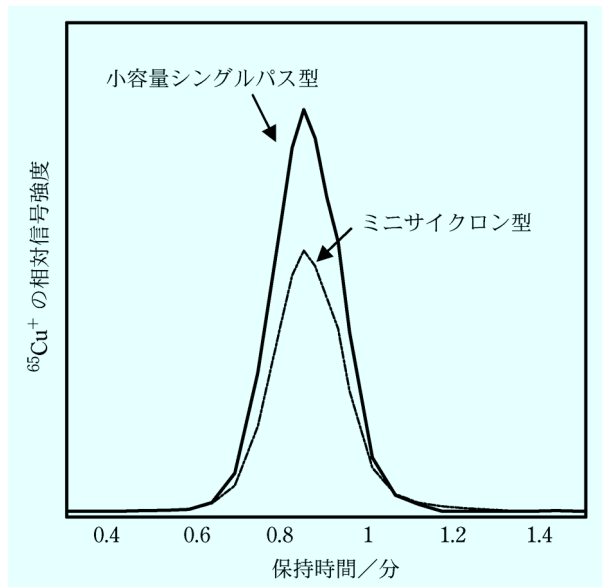


図4 小容量シングルパス型及びミニサイクロン型チャンパーを用いた銅標準液フローインジェクションプロファイルの比較

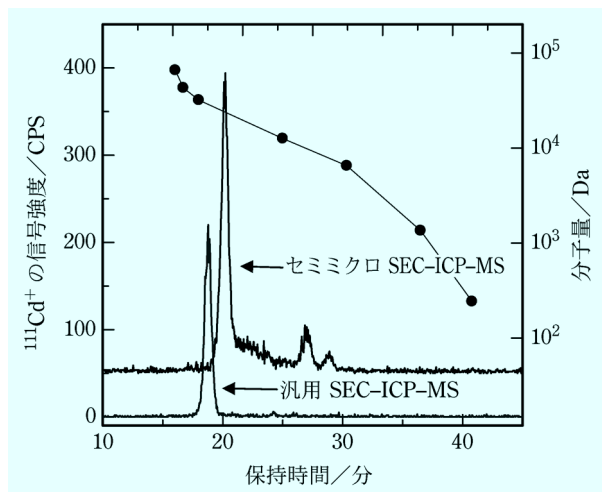


図5 汎用及びセミマイクロ SEC-ICP-MS によるイネ抽出液中 Cd の測定クロマトグラムの比較

入ネブライザーを用いた場合はプライマリーエアゾルの粒径がすでに小さいため、そこでの壁面衝突ロスが生じるが、小容量シングルパス型は噴霧の進行方向に衝突面がないため、衝突損失が少なく、結果としてプラズマへの導入効率が高くなり、その分ピークプロファイルが高くなるものと考えられる。

微量試料導入ネブライザー (ESI 製 PFA-ST, 試料導入キャピラリー内径 0.13 mm×長さ 100 mm) 及び小容量シングルパス型スプレーチャンパーをセミマイクロサイズ排除クロマトグラフィー (SEC) -ICP-MS によるイネ抽出液中 Cd の化学形態別分析に応用した例を示す (図 5)。汎用サイズカラム (GE healthcare 製 Superdex 75, 10 mm×300 mm) を用い、試料導入量 10 μL , 移動相流量 500 $\mu\text{L min}^{-1}$ の条件で得られたクロマトグラ

ム (下) と、セミマイクロカラム (GE healthcare 製 Superdex 75PC, 3.2 mm×300 mm) を用い、試料導入量 1 μL , 移動相流量 50 $\mu\text{L min}^{-1}$ の条件で得られたクロマトグラム (上) である。この図を見ても明らかのように、試料導入量が 1/10 になった場合でも、同等以上の濃度感度が得られている。また、汎用サイズカラムを用いた場合には検出できていなかったピークも検出することが可能であった。

5 ミクロ及びナノ LC-ICP-MS

ミクロ及びナノ LC へのダウンスケーリングは、セミマイクロ LC-ICP-MS と比較すると技術的に格段に難しくなる。LC に関しては、市販カラムのバリエーション及び配管・接続アクセサリが年々充実してきており、カラム内径のスケールダウンにあわせて試料導入量を減らせば、理論上分離能は維持できるとされているが、現実には移動相流量が 30 $\mu\text{L min}^{-1}$ 以下になるとシステムデッドボリュームの影響が非常に大きくなるため、配管及び接続に関する技術力が分離を大きく左右し、スケールダウン前の分離能を維持することは難しい。一方、ICP-MS についても流量 30 $\mu\text{L min}^{-1}$ 以下に対応する試料導入系は非常に限られており、いまだ開発途上である。しかし、試料量が限られているために絶対感度の向上が必要な場合には非常に有効であり、メタローム解析³⁾、ゲノム・プロテオーム解析⁴⁾においてミクロ及びナノ LC-ICP-MS の利用が急激に増加している。また、プラズマの耐性が大きく向上するため、100%有機溶剤の安定導入が、特に工夫することなく可能となり、グラジエント法を用いて移動相組成を急激に変化させても信号強度変化が非常に小さい等のメリットも生じるため、ミクロ及びナノ LC へのダウンスケーリングによって LC-ICP-MS の適用可能範囲は更に拡大する。

5.1 ミクロ及びナノ LC-ICP-MS における微量試料導入系

ミクロ及びナノ LC-ICP-MS における適用移動相流量 ($\sim 30 \mu\text{L min}^{-1}$) に対応した試料導入系は、一部製品化されているものもあるが、そのほとんどが現在のところ研究開発段階である。具体的には、DIHEN (direct injection high efficiency nebulizer) のような直接試料導入型微量試料導入ネブライザーを用いる場合¹⁵⁾と、セミマイクロ用より更に細いネブライザー内管を有するネブライザーとダンパー的な役割を担う小容量チャンパー (4 mL \sim 10 mL) による全量消費型試料導入系 (試料廃液が見かけ上発生しないことからこのように称されている) を用いる場合^{12)~16)18)}に分かれる。表 2 にミクロ及びナノ LC に対応した微量試料導入ネブライザーをまとめた。

直接試料導入型微量試料導入ネブライザーは、プラズ

表2 ミクロ及びナノ LC に対応した微量試料導入ネブライザー例

	内管径 (μm)	適用流量 ($\mu\text{L min}^{-1}$)
ミクロ LC 対応		
High efficiency nebulizer (HEN)	80~100	10~100
Parallel-path nebulizer ¹²⁾ (AriMist)	75	1~20
Modified CEI100 ¹³⁾ (DS-5 ¹⁴⁾)	75	5~10
Demountable DIHEN ¹⁵⁾	75	1~40
ナノ LC 対応		
nDS-200 ¹⁶⁾	25	0.05~0.45

マトーチンジェクターの代わりにプラズマ直下まで挿入して使用する。プラズマ直下で噴霧するためプラズマへの試料導入効率は理論上 100% だが、生成エアロゾル粒径の分布幅が大きいことため信号強度の安定性に難があり、さらに中心軸あわせ等のセッティング及びプラズマを安定に点灯するには熟練を要することから、現時点ではあまり実用的ではない。また、一見デッドボリュームが小さいように感じるが、ネブライザー全長が長いことため、内部キャピラリー内径によっては逆にデッドボリュームが大きくなる。そのため、現在は内部キャピラリー可変型 (demountable DIHEN¹⁵⁾) を適用する場合はほとんどであり、使用流量によってキャピラリー内径が適宜変更されている。

一方、全量消費型試料導入系は、直接試料導入型微量試料導入ネブライザーに比べ、取り扱いが容易であることから適用例が非常に多くなっている。この系は見かけ上試料廃液が発生しないことため、開発初期はプラズマへの試料導入効率がほぼ 100% とされていたが、小容量チャンバーへの壁面衝突を緩和するためのサポートガスを加える等によって、信号強度及び安定性が改善される¹⁷⁾¹⁸⁾ ことから、現在では導入効率は 100% ではないと考えられている。実際、筆者らが開発した全消費型微量試料導入系 (図6) においてチャンバー容積を 4~20 mL まで変化させ、FI 測定を行ったところ、ピーク半値幅はほとんど変化しないのに対して、得られる感度は最大 2 倍変化した。全量消費型試料導入系は、現在も開発途上であり、今後、ネブライザーにおける噴霧効率の改善及び衝突損失の少ない小容量チャンバーの設計開発によって、さらなる高効率試料導入ができる可能性がある。

全量消費型微量試料導入系を用いたミクロ LC-ICP-MS の応用例として、筆者らが開発した試料導入系を用いたヒ素化合物 8 種の分離分析例を示す (図7)。分離カラムは、キャピラリー ODS カラム (資生堂製 CAP-CELL PAK MGII, 0.3 mm \times 150 mm, 3 μm) を用い、測定試料は各化合物の混合液 (各濃度約 20 $\mu\text{g L}^{-1}$)、試料導入量は 50 nL、移動相流量 3 $\mu\text{L min}^{-1}$ 、移動相組

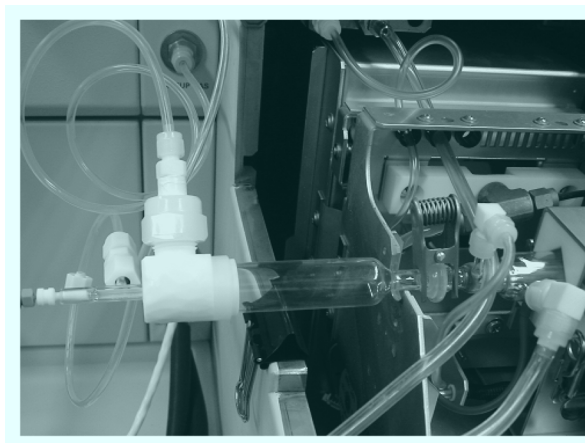


図6 筆者らが開発した全量消費型微量試料導入系

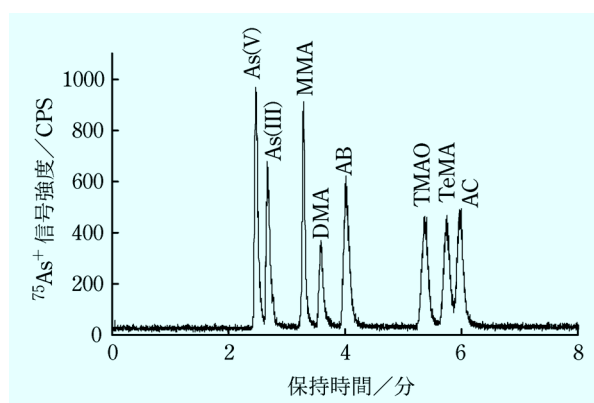


図7 ミクロ LC-ICP-MS によるヒ素化合物 8 種の測定クロマトグラム

成は柴田らの報告¹⁹⁾と同様である。本法では、汎用 ODS を用いた HPLC-ICP-MS に比べ、分離能をほぼ維持した状態で絶対検出感度を 2 桁以上向上させていることから、微量試料中ヒ素化合物の化学形態別分析へ応用可能である。

6 おわりに

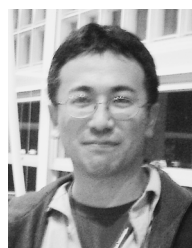
本稿では、ICP-MS の高効率微量試料導入系の話題を中心に、セミミクロ、ミクロ及びナノ LC-ICP-MS について解説した。セミミクロ LC-ICP-MS は、市販分離カラム、LC 配管アクセサリ、ICP-MS 用微量試料対応試料導入系の充実により、ある程度の知識と経験を積みば (もっとも、ここが重要なのだが…)、誰もが利用できる汎用性の高い技術となっている。一方、ミクロ及びナノ LC に関しては、同様に市販分離カラム、LC 配管アクセサリは充実しつつあるものの、接続・配管が格段に難しくなり、ICP-MS 側の試料導入系に関しても発展途上である。また、濃度検出感度は試料導入流量 200 $\mu\text{L min}^{-1}$ 前後を境に減少していくため、試料量にゆとりがある場合には、セミミクロ LC までのダウンスケールにとどめるのが現在のところは賢明で

ある²⁰⁾。しかし、メタローム解析、ゲノム・プロテオーム解析におけるマイクロ及びナノ LC の適用範囲は拡大しており、今後 LC、ICP-MS 双方の要素技術開発の進展により、マイクロ及びナノ LC-ICP-MS の適用はさらに増加することが十分に予想される。

文 献

- 1) R. S. Houk, V. A. Fassel, G. D. Flesch, H. J. Svec, A. L. Gray, C. E. Taylor : *Anal. Chem.*, **52**, 2283 (1980).
- 2) A. Montaser ed. : "Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry", (1998), (Wiley-VCH, New York).
- 3) 小椋康光 : ぶんせき, **2007**, 391.
- 4) A. Sanz-Medel, M. Montes-Bayon, M. D. R. F. de la Campa, J. R. Encinar, J. Bettmer : *Anal. Bioanal. Chem.*, **390**, 3 (2008).
- 5) D. Schaumlöffel : *Anal. Bioanal. Chem.*, **379**, 351 (2004).
- 6) 竹内豊英 : 化学工業, **2006**, 348.
- 7) 竹内豊英 : ぶんせき, **2004**, 465.
- 8) J. L. Todoli, J. M. Mermet JM : *Spectrochim. Acta*, **61B**, 239 (2006).
- 9) B. L. Sharp : *J. Anal. At. Spectrom.*, **3**, 613 (1988).
- 10) B. L. Sharp : *J. Anal. At. Spectrom.*, **3**, 939 (1988).
- 11) K. Inagaki, A. Takatsu, T. Watanabe, Y. Aoyagi, T. Yarita, K. Okamoto, K. Chiba : *Anal. Bioanal. Chem.*, **387**, 2325 (2007).
- 12) E. G. Yanes, N. J. Miller-Ihli : *Spectrochim. Acta*, **59B**, 883 (2004).
- 13) D. Pröfrock¹, P. Leonhard, W. Ruck, A. Prange : *Anal. Bioanal. Chem.*, **381**, 194 (2005).
- 14) D. Schaumlöffel, J. R. Encinar, R. Lobinski : *Anal. Chem.*, **75**, 6837 (2003).
- 15) R. G. Brennan, S. E. O. Murdock, M. Farmand, K. Kahen, S. Samii, J. M. Gray, A. Montaser : *J. Anal. At. Spectrom.*, **22**, 1199 (2007).

- 16) P. Giusti, R. Lobinski, J. Szpunar, D. Schaumlöffel : *Anal. Chem.*, **78**, 965 (2006).
- 17) C. Lagomarsino, M. Grotti, J. L. Todoli, J. M. Mermet JM : *J. Anal. At. Spectrom.*, **22**, 523 (2007).
- 18) T. Miyayama, Y. Ogra, K. T. Suzuki : *J. Anal. At. Spectrom.*, **22**, 179 (2007).
- 19) Y. Shibata, M. Morita : *Anal. Sci.*, **5**, 107 (1989).
- 20) Z. Stefanka, G. Koellensperger, G. Stingeder, S. Hann : *J. Anal. At. Spectrom.*, **21**, 86 (2006).



稲垣和三 (kazumi INAGAKI)

独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 (〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 つくば中央 3-9)。名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程終了。博士 (工学)。《現在の研究テーマ》標準物質開発、プラズマ分光分析用微量試料導入系の開発。《主な著書》“ICP 発光分析・ICP 質量分析の基礎と実際。” (分担執筆) (オーム社)。《趣味》子供たちとのいろいろな工作及び音楽鑑賞 (Fusion, Rock 系)。



千葉光一 (Koichi CHIBA)

独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門 (〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 つくば中央 3-9)。東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。理学博士。《現在の研究テーマ》標準物質開発、高感度微量元素分析技術の開発。《主な著書と出版社名》第5版 実験化学講座基礎編 III 物理化学下、誘導結合プラズマ発光分析法 (ICP-AES) と誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS), 丸善株式会社 2003。《趣味》ゴルフ, スキー, 都会の散歩やサイクリング。

原 稿 募 集

ロータリー欄の原稿を募集しています

内 容

談話室 : 分析化学, 分析方法・技術, 本会事業 (会誌, 各種会合など) に関する提案, 意見, 質問などを自由な立場で記述したものを。

インフォメーション : 支部関係行事, 研究懇談会, 国際会議, 分析化学に関連する各種会合の報告, 分析化学に関するニュースなどを簡潔にまとめたものを。

掲示板 : 分析化学に関連する他学協会, 国公立機関の主催する講習会, シンポジウムなどの予告・お知らせを要約したものを。

執筆上の注意

1) 原稿量は 1200~2400 字 (但し, 掲示板は

400 字) とします。2) 図・文献は, 原則として使用しないでください。3) 表は, 必要最小限にとどめてください。4) インホメーションは要点のみを記述してください。5) 談話室は, 自由投稿欄ですので, 積極的発言を大いに歓迎します。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付先, その他の問い合わせは下記あてにお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2
五反田サンハイツ 304 号

(社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

〔電話 : 03-3490-3537〕