

平成21年6月8日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18750057
 研究課題名 (和文) 発蛍光性重金属錯体の動的三元錯体平衡を用いるサブ ppt レベルキャピラリー電気泳動法
 研究課題名 (英文) Fluorescent detection of emissive heavy metal complexes at sub ppt levels with capillary electrophoresis using dynamic ternary complex equilibrium
 研究代表者
 齋藤 伸吾 (SAITO SHINGO)
 埼玉大学・理工学研究科・准教授
 研究者番号：60343018

研究成果の概要：

キャピラリー電気泳動-レーザー励起蛍光検出法 (CE-LIF) による超微量金属イオンの検出法を開発した。金属イオン常時性および重金属イオン群は消光作用を有するため、これら金属イオンの直接蛍光検出はこれまでなされたことがなかったが、本研究で消光作用を抑制し発光する蛍光試薬を開発し、CE-LIF 検出に成功した。さらにこの CE-LIF 用蛍光プローブは種々の金属イオンと解離不活性な錯体を形成するため、プローブを泳動液に添加する必要がなく、ppt レベルの超高感度検出が可能である。プローブ錯体間の高度分離には、プローブ錯体の残余配位座を利用する動的三元錯体平衡を用いた。高分解能だけでなく従来とは異なる分離選択性を発現させることに成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,200,000	0	2,200,000
2007年度	700,000	0	700,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	210,000	3,810,000

研究分野：分析化学

科研費の分科・細目：工業分析化学

キーワード：キャピラリー電気泳動，レーザー励起蛍光検出，金属錯体，蛍光プローブ，配位子設計，三元錯体平衡，速度論的安定性

1. 研究開始当初の背景

(1) キャピラリー電気泳動法 (CE) が優れた分離能を有することは論を待たない。しかし、低感度 (通常 10^{-6} moldm⁻³ レベル) であることが常に問題となっている。そこで、有機化合物などでは高感度・高選択性を有する CE-蛍光検出法、特にレーザー励起蛍光検出法 (LIF) がしばしば適用される。そこで、金属イオンに対しても高感度な CE-LIF に適

用するためには、錯形成による金属イオンの発蛍光化が考えられる。しかし、以下の問題のため、蛍光ラベル化法を適用するのは困難であった。

- a) 多くの重金属イオンは常磁性消光や重原子効果のため、配位子由来の発光を消光してしまい金属イオンの蛍光化が不可能とされていた。
- b) 高感度化するために、プローブ中の蛍光

- 団を大きくすると金属間分離は一般に困難となる。なぜなら、サイズの大きな錯体中の一原子（中心金属イオン）の違いで分離を達成しなければならないが、電気泳動の分離因子である電荷/サイズ比の差異がほとんどなくなるからである。
- c) さらに、プローブ錯体は電気泳動において過剰のプローブ配位子と完全分離する。この時、プローブ錯体のバンドには余剰配位子濃度が非常に低くなるため、錯体は解離方向への推進力が働く。そのため、プローブ錯体を検出するためには、目的金属錯体が解離不活性でなければならない。

(2)そこで、本研究では以下のような戦略を提案し、上記問題点の解決を図った(図1)。

- a) 先行研究により、金属プローブの光アンテナ-錯形成両部位間の距離を制御することによって錯体の発光特性を制御できることを発見している。そのため、錯形成部位と発光部位の距離を長くすることで常磁性金属や重金属の一斉検出を、短くすることで閉殻金属イオンの選択的検出を狙う。
- b) 泳動液中に第二の配位子を添加し、三元錯体平衡系を用いる新規な分離モードを開発する。この分離モードは、解離不活性な母錯体に、泳動場での第二の動的錯平衡を付与するというものである。これは金属イオンの第一配位圏にラベル化機能と分離機能の両方を与えるユニークな分離手法といえる。この分離技術により初めてプローブ錯体のサイズに関係なく金属錯体間の高度分離を達成できるようになる。a)およびb)を達成することにより、常磁性および重金属イオンに対するCE-LIF法の開発を試みる。
- c) プローブ中の配位骨格構造の違いによっても、検出金属種の選択性を調査する。

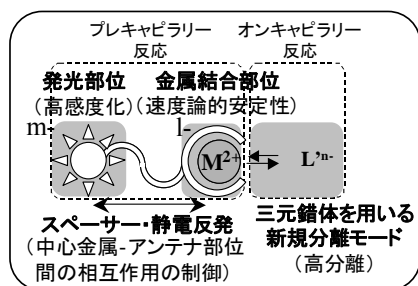


図1.分離および超高感度検出の分子設計

2. 研究の目的

(1) 現代分析化学において、フロンティアである金属イオンの濃度領域は ppt から ppq レベルへと移行しつつある。しかし、現にその感度を成し得ているのは、質量分析法のみといえる。本研究の目的は、「キャピラリー

電気泳動法 (CE) に特異な化学反応系を重畳させることにより、ppt 以下 ($10^{-10} \text{ mol dm}^{-3}$ 以下) の金属イオンの分離検出を簡便に達成すること」であり、現存する分析法中での最高水準の検出感度を目指した。絶対感度としてはzeptomolを目標とする。これはイオンの個数で言えば数千~数万個という超微量を検出することを意味する。

(2)そこで、本課題では以下の項目を検討した。

- ① 発光部位と錯形成部位とスペーサーのマッチングに基づく分子設計をすること。
- ② 種々の三元錯体系を用いる CE 分離モードを分離特性を調査・確立すること。
- ③ 汚染金属イオンと試料金属イオンを識別するラベル化反応を開発すること。

③に関しては、高感度分析法において検出感度が ppt レベルになると汚染金属イオンの問題が避けて通れない。多くの超高感度法においても試薬由来の汚染ブランクが実質の検出限界を決定している。従来は分析化学において、この問題は放置され、解決は試薬の精製に頼らざるを得なかった。

3. 研究の方法

(1) 新規配位子の合成およびCE-LIFへの適用

蛍光プローブ配位子 L1 および L2 (図2) を CE-LIF に導入した。L2 に関しては新規合成をしている。プローブの配位数は4座および6座のものを検討し、配位座数が検出選択性に与える影響を調査した。これらプローブは、フルオレセイン骨格を発光部位として有する。フルオレセインは量子収率 $\phi=0.8$ を持つ優れた蛍光団であり、アルゴンレーザーの発振波長 488 nm 付近に最大励起波長を有するため LIF 検出に適した蛍光団である。これにポリアミノカルボン酸を配位部位として導入した。L1 はイミノジ酢酸 (3座) およびフェノール性水酸基 (単座) を含む4座配位子として機能する。さらに発光部位-配位部位間距離が近接しているため、常磁性金属錯体は消光し、閉殻金属だけの選択的検出が期待できる。また、配位部位は5員環と6員環で構成される比較的狭い配位空間を有するため、イオン半径の小さい金属イオンの検出を期待した。一方、L2 ではフェニルチオ尿素構造を両部位間にスペーサーとして組み込んだ。フルオレセイン部位はプロトン解離に

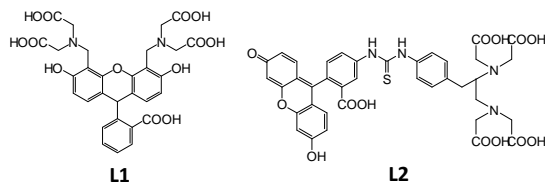


図2. CE適合型金属蛍光プローブ

より負電荷に、錯形成部位も2価および3価金属と結合したときに負電荷に帯電するため、両部位が静電反発により近傍に存在しないことが期待でき、これにより金属由来の消光効果の抑制を期待した。また、L2は非環状6座配位子であり、5員環で形成される比較的広い配位空間を持つ。L1とL2の検出および分離挙動の比較から配位空間の違いによる検出選択性を調査した。

(2) 三元錯体分離系の探索

上で述べたように、バルキーなプローブ錯体群を相互分離するためには新規分離モードの開発が必要である。そこで、三元錯体分離モードの開発を試みた。

動的三元錯体平衡分離モードは、母錯体の中心金属の残余配位座に第二の錯形成試薬を導入する方法である。それにより、プローブ錯体の電荷あるいはサイズを変化させることができ、その変化の度合いは中心金属イオンの種類に依存し、その三元錯平衡の安定度に依るものと考えられる。ただし、三元錯体分離モードを導入する際には、以下の条件が必要となる。第一に三元錯体を形成した際に錯体間の電荷/サイズ比が大きく変化すること。第二に母錯体は解離不活性でなければならないが、三元錯体平衡は動的でなければならない。三元錯体の化学は未踏の分野であるため、従来にはない分離を期待できる。

(3) 汚染金属イオンの化学的封鎖法の開発

超高感度検出法において、汚染の問題は重大である。そこで本研究では、汚染金属の化学的抑制法を開発した。これは、汚染中と試料中の同一金属イオン種を識別する方法であり、他に例がない独自の技術である。原理としては、蛍光誘導体化反応（錯形成反応）の際に、汚染金属イオンを熱力学的には非常に安定だが錯形成速度の非常に遅い錯体種として封鎖する（図3）。一方で、試料中の金属イオンは、プローブ配位子による速い錯形成によって選択的に蛍光誘導体化される。こ

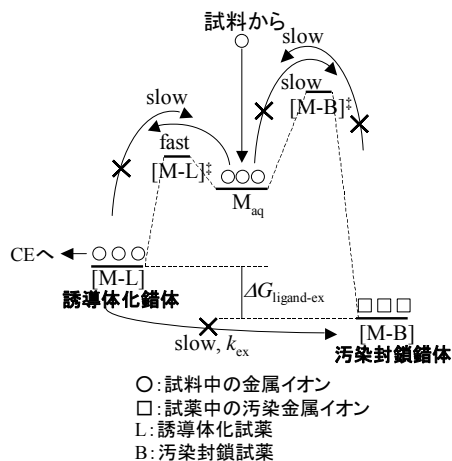


図3 汚染金属抑制法の原理

の状態を保持することで、両者の識別を行う。この時、両錯体が速度論的に安定であり、さらにプローブ錯体から封鎖錯体への配位子置換反応による化学種変換の速度も十分遅くなければならない。これらの条件を満たせば、試料からの分析対象イオン種はプローブ錯体に、汚染イオン種は封鎖錯体になった状態を保持できる。このエネルギー的には不安定な準安定状態を保持したまま分離検出系に導入することで試料金属イオンだけを汚染なしで高感度検出することができる。

4. 研究成果

(1) 蛍光プローブの CE-LIF への導入

L1の金属錯体の蛍光スペクトルを図4に示す。閉殻金属イオン群 (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ga^{3+} , Pb^{2+} , In^{3+}) のL1錯体は配位子中心の蛍光を消光せず、発蛍光性錯体を形成することがわかる。一方、常磁性金属イオン群 (Ni^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Co^{2+}) は常磁性消光してしまう。L1のように発光部位と配位部位が近接している場合には、基本的に閉殻金属イオン群だけが蛍光検出可能である。

図5にL1錯体をCE-LIFに導入した結果を示す。適用した金属イオン (Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} , In^{3+} , Ga^{3+}) のうち、 Al^{3+} と Ga^{3+} だけを選択的に蛍光検出できた。その他の金属錯体は電気泳動中にオンキャピラリー解離をすることがわかった。つまり、4座配位で6員環を含む比較的狭い配位空間では、イオン半径の小さい3価金属イオンを速度論的に安定化することができ、一方、イオン半径が大きい2価金属イオン群は速度論的に不安定なため、検出が出来なかったものと考察した。

検出限界は Al^{3+} および Ga^{3+} に対し、それぞれ 4.2×10^{-9} (113 ppt) および 4.6×10^{-10} M (32 ppt) であった。CEの一般的な検出限界は 10^{-7} - 10^{-6} M であり、本研究によって1000-10000倍の高感度化に成功した。 Al^{3+} の検出感度が Ga^{3+} に比べて低いのは、試薬からの汚染 Al^{3+} が存在するためである。さらにこのシステムを実試料として河川水に適用し、実用に耐えうることを示している。

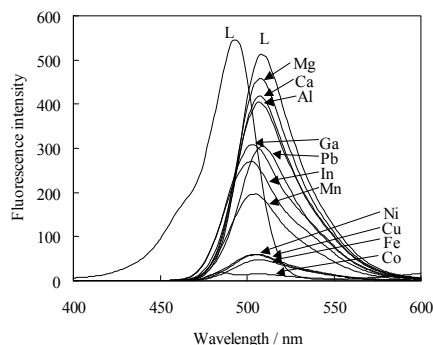


図4. L1錯体の蛍光スペクトル. $[\text{L1}] = [\text{M}] = 5.0 \times 10^{-6}$ M, $[\text{HEPES}] = 1 \times 10^{-3}$ M (pH 7.5).

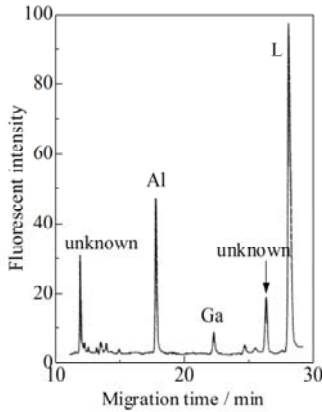


図5. L1 錯体の典型的電気泳動図. 試料, $[L1] = 1.0 \times 10^{-6}$ M, $[Al] = [Ga] = 1.0 \times 10^{-8}$ M, $[HEPES] = 4.0 \times 10^{-3}$ M. 泳動液, $[HEPES] = 4.0 \times 10^{-3}$ M (pH 7.5), $[EDTA] = 5.0 \times 10^{-8}$ M.

(2) 三元錯体平衡分離モードの開発

L2 のランタノイド金属錯体の蛍光スペクトルを図6に示す. ランタノイドイオンの多くは常磁性であるため, 配位子の蛍光を消光するが, L2 錯体では消光は観測されなかった. これは, 配位子の設計通りに発光部位-配位部位間距離が大きくなり消光を防いだものと考察した. この様に蛍光特性を制御することに成功している.

Ln-L2 錯体を CZE-LIF に導入し, 以下の結果を得た. 第一に Ln イオン群を蛍光直接検出に成功した. Ln イオンに関して直接蛍光検出した報告はこれが初めてである. 第二に Ln-L2 錯体が CE-LIF で検出されたことは, この錯体種が解離不活性化化学種を形成したことを示唆している. 一般に Ln イオン群は最外殻電子が閉殻であり, 解離活性な錯体を形成しやすいことが知られている. EDTA 骨格もある程度解離不活性化錯体を形成することが知られているが, L2 ではさらにエチレンジアミン架橋部位にアミノベンジル基を付与することにより, 配位空間の剛性を高くし, さらにメチレン基による窒素原子の塩基性が高くなることで CE 検出に耐えうる解離不活性化錯体を形成できたものと考察した.

しかしながらこの時点では Ln イオン間の

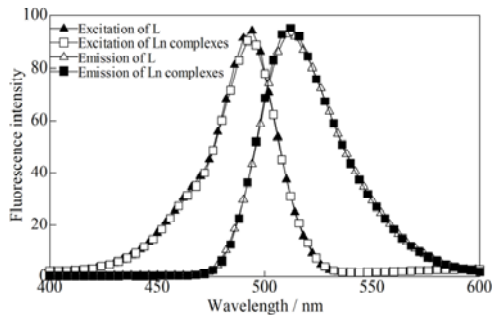
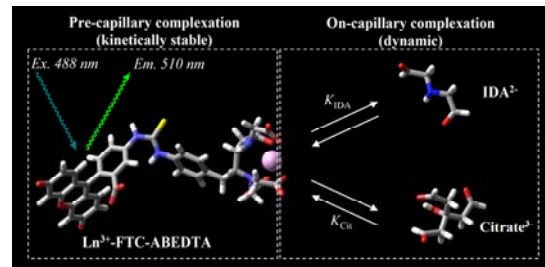


図6. Ln^{3+} -L2 錯体の蛍光スペクトル. $[L2] = [Ln] = 1.0 \times 10^{-7}$ M; $[borate] = 1.0 \times 10^{-3}$ M (pH 9.9).

相互分離には至っていない. そこで, 三元錯体平衡分離モードを適用することとした. Ln イオンは通常 8-9 座配位を取ることで知られる. L2 は 6 座配位子であるので, Ln-L2 錯体には 2-3 座の残余配位座 (通常は配位水が結合) が存在している. この残余配位座に配位 (三元錯体形成) する第二の配位子を泳動液に添加することを検討した (スキーム1). この第二の配位子の要件としては, 錯体の電荷あるいはサイズを大きく変化させ, かつ, Ln-L 母錯体を分解しない配位子でなければならない. 種々の第二の配位子を検討し, イミノ酢酸 (IDA) およびクエン酸 (Cit) が効果的であり, 両者の併用により高度な分離が可能であることがわかった. 得られた最適条件での泳動図を図7に示す. 興味深いことに, 通常の電気泳動分離では Ln イオンは原子番号順に検出されるが, 本系では ^{57}La - ^{60}Nd まで原子番号順に, その後, ^{62}Sm - ^{71}Lu までは原子番号の逆順に検出されることがわかった. Ln 系列では原子番号の増加とともにランタニド収縮のため配位空間が減少することが知られており, 残余配位座数も減少し, 第二の配位子の配位空間が狭くなることが予想される. 従って, ^{62}Sm - ^{71}Lu までは原子番号の増加とともに三元錯体形成能が減少し, この順になると考えた. 一方, ^{57}La - ^{60}Nd までは三元錯体形成に十分な配位空間があるが, ランタニド収縮による中心金属の電荷密度の上昇に伴い, 三元錯体形成能が増加しているためと考察している. このように従来とは異なる分離選択性を得ることができた. さらに,



スキーム1 Ln-L2 母錯体と IDA および Cit による三元錯体動的平衡.

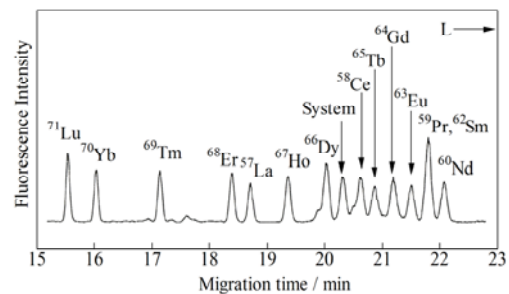


図7. 最適条件における Ln-L2 錯体の典型的電気泳動図. 試料, $[Ln] = 5.0 \times 10^{-9}$ M; $[L2] = 2.0 \times 10^{-6}$ M; $[borate] = 1.0 \times 10^{-2}$ M (pH 10.0). 泳動液, $[borate] = 1.2 \times 10^{-2}$ M (pH 9.60); $[IDA] = 5.5 \times 10^{-3}$ M; $[cit] = 9.0 \times 10^{-3}$ M; $[CyDTA] = 2.5 \times 10^{-5}$ M.

検出限界は 9.1×10^{-11} M に達し、超高感度検出が可能であることを示している。

また、プローブ L2 の遷移金属イオン群への適用も試みた。試料金属は Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Cd^{2+} であるが、そのうち、 Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} を解離不活性な錯体として検出できた。その他の金属イオン錯体はオンキヤピラリー解離したと考えられる。単純な CZE モードでは錯体ゾーンはお互い重なり、3 つのピークだけが観測された。そこで、三元錯体分離モードを適用することを考えた。しかし、これら金属錯体は配位飽和錯体となっているため、残余配位座が存在しない。そこで、非常に小さなアニオンである水酸化物イオンを三元錯体形成試薬として用いることとした。泳動液の pH を上昇、つまり水酸化物イオンの濃度を増加させると、錯体の移動度は負に大きくなった。これは M-L2-OH の三元錯体が形成していると考えた。最適条件化の電気泳動図を図 8 に示す。配位飽和で相互分離できなかったプローブ錯体の高度分離に成功している。検出限界は Co^{2+} に対し 1.3×10^{-11} M (0.77 ppt) を達成しており、絶対感度は 65 ゼプトモルである。これは Co^{2+} 原子およそ 4 万個に相当し、このようなサブ ppt レベルの超高感度検出を CE-LIF の様な簡便な装置で達成できることを実証した。また、実試料として河川水および血清試料に適用し、本系が実用に耐えうるものであることがわかった。

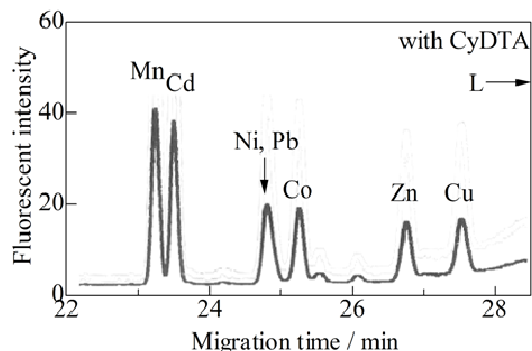


図 8. 最適条件における Ln-L2 錯体の典型的電気泳動図。試料, $[\text{M}^{2+}] = 5.0 \times 10^{-9}$ M ($\text{M} = \text{Ca}^{2+}$, Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , and Hg^{2+}); $[\text{L2}] = 1.0 \times 10^{-7}$ M; $[\text{borate}] = 1.0 \times 10^{-2}$ M (pH 10.0). 泳動液, $[\text{phosphate}] = 1.0 \times 10^{-3}$ M (pH 12.7); $[\text{TBACl}] = 1.0 \times 10^{-3}$ M; $[\text{CyDTA}] = 1.0 \times 10^{-3}$ M.

表 1 に本研究で用いた蛍光プローブとその検出選択性についてまとめる。配位部位と発光部位間の距離、配位座数、分離場での速度論的な特性を変化させることにより、様々な検出選択性を制御できることが明らかとなり、分離検出システムの全体設計を行えることを実証した。

(3) 汚染金属イオンの化学的封鎖法の開発

表 1. 本研究での CE 適合型蛍光プローブの比較

	L1	L2
Coordination number	4	6
Emissive complex	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Ga^{3+} , In^{3+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+}	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Ln^{3+}
Quenching complex	Fe^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+}	—
Decomposed complex	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Pb^{2+} , In^{3+}	Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Hg^{2+}
Surviving complex	Al^{3+} , Ga^{3+}	Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+} , Ln^{3+}
Detected complex	Al^{3+} , Ga^{3+}	Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Mn^{2+} , Pb^{2+} , Cd^{2+}

L1 による Al^{3+} の検出系では必ず汚染 Al^{3+} ピークが存在し、その上に試料からのシグナルが重なる。そこでこの系に汚染封鎖試薬を導入し、汚染レベルの抑制を試みた。封鎖配位子としては *o,o'*-ジヒドロキシアゾベンゼン (DHAB) を用いた。DHAB は Al^{3+} と熱力学的に安定な錯体を形成するが、その錯体の形成速度が遅い。一方、 Al^{3+} -L1 錯体の錯形成速度が速いことから、汚染金属イオンの化学的封鎖が可能と考えた。行う操作は用いる試薬に少量の DHAB を添加するだけである。その結果、汚染 Al^{3+} のピークは激減し、痕跡量のピーク高さ (3.7×10^{-10} M) となった。それに伴い検出限界も向上し、 4.2×10^{-9} (113 ppt) M から 3.9×10^{-10} M (10 ppt) となった。このように、この新規汚染金属イオン封鎖法により、汚染シグナルの問題を解決して超高感度分析を可能とした。

以上のように、プローブ錯体の発光特性や速度論的特性さらに分離場や錯形成反応における特異な平衡および速度特性を制御することによって金属蛍光プローブを用いる CE-LIF の開発に成功し、当初の目的である ppt~サブ ppt の感度を達成した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件) (全て査読あり)

- ① Shingo Saito, Shingo Takeuchi, Keitaro Yoshimoto, Mizuo Maeda, Masakazu Aoyama, "Direct Fluorescent Detection of Ultratrace Lanthanide(III) Ions Complexed with Aromatic Polyaminocarboxylate Avoiding Quenching of Ligand-Centered

- Emission Using Capillary Zone Electrophoresis with Ternary Complexing Technique”, *Analyst*, **132**, 237-241 (2007).
- ② Shingo Saito, Jun-ichi Shimidzu, Suwaru Hoshi, Keitaro Yoshimoto, Mizuo Maeda, Masakazu Aoyama, “Selective Ultratrace Detection of Al(III) and Ga(III) Complexed with a Calcein Isomer by Capillary Zone Electrophoresis with Laser-induced Fluorescent Detection. Comparison of Emissive Polyaminocarboxylates as Derivatizing Ligands”, *Journal of Chromatography A*, **1140**, 230-235 (2007).
- ③ Shingo Saito, Ryouji Suzuki, Naoki Danzaka, Atsushi Hikichi, Keitaro Yoshimoto, Mizuo Maeda, Masakazu Aoyama, “Direct Fluorometric Detection of Sub-amol of Paramagnetic and Heavy Metal Ions Using An Aromatic Polyaminocarboxylate by Capillary Zone Electrophoresis: Combination of Pre- and On-Capillary Complexation Technique”, *Electrophoresis*, **14**, 2448-2457 (2007).
- ④ Shingo Saito, Jun-ichi Tamura, Makoto Sato, Masakazu Aoyama, “Control of the Contaminant Level for Determination of Al³⁺ Using 8-Quinolinol by High-Performance Liquid Chromatography with Fluorescence Detection”, *Journal of Chromatography A*, **1190**, 198-203 (2008).

[学会発表] (計 11 件)

- ① 齋藤伸吾, 「金属錯体の超高感度流れ分析法ー生体中金属イオンー斉解析に向けて」, 2006年6月17日, 第23回ライラックセミナー・第12回若手研究者交流会 (大滝セミナーハウス)
- ② 竹内慎吾, 齋藤伸吾, 前田瑞夫, 青山政和, 「キャピラリー電気泳動法における重金属イオンの直接蛍光検出: 分子およびシステム設計」, 2006年8月21日, 日本分析化学会第55年会 (大阪大学)
- ③ 鈴木良治, 引地篤, 齋藤伸吾, 青山政和, 「発蛍光性八座大環状配位子ー重金属錯体の超高感度 CE-LIF: カチオン性ポリマーによる分離検出」, 2006年8月21日, 日本分析化学会第55年会 (大阪大学)
- ④ 引地篤, 齋藤伸吾, 青山政和, 「新規8座非環状蛍光性配位子による金属イオンのキャピラリー電気泳動-レーザー誘起蛍光検出法」, 2007年2月6日, 北海道支部2007年冬季研究発表会 (北海道大学)
- ⑤ Shingo Saito, Ryoji Suzuki, Shingo Takeuchi, Keitaro Yoshimoto, Mizuo Maeda, Masakazu Aoyama, “System Design for Direct Fluorescent Detection of Ultratrace Heavy Metal Ions with CE-LIF Using

Aromatic Polyaminocarboxylate Ligands”, 2007年2月27日, 58th Pittsburgh Conference on Analytical Chemistry and Applied Spectroscopy (Chicago, Illinois, USA)

- ⑥ 鈴木良治, 引地篤, 齋藤伸吾, 青山政和, 渋川雅美, 「八座大環状蛍光プローブを用いた金属イオンのCE-LIF分離検出: カチオン性ポリマーによる分離特性」, 2007年11月27日, Separation Sciences 2007 (千葉大学)
- ⑦ 齋藤伸吾, 榎本七基, 野村高弘, 吉本敬太郎, 佐藤誠, 前田瑞夫, 渋川雅美, 「ポリアクリルアミドゲル電気泳動による金属イオンの高感度蛍光検出システムの開発」, 2008年5月16日, 第69回分析化学討論会 (名古屋国際会議場)
- ⑧ 齋藤伸吾, 「分離分析システムに適合した金属検出用蛍光プローブの開発とその高性能化」, 2008年7月18日, 日本分析化学会東北支部若手の会, 東北支部分析化学若手交流会(秋保クレセント)
- ⑨ 齋藤伸吾, 「新規蛍光プローブの開発と速度論的特性を用いる高性能金属イオン分離分析システムの構築」, 2008年9月11日, 日本分析化学会第57年会 (福岡大)
- ⑩ 榎本七基, 野村高弘, 吉本敬太郎, 佐藤誠, 齋藤伸吾, 前田瑞夫, 渋川雅美, 「剛性の異なる配位骨格を有する八座蛍光配位子錯体のPAGEにおける泳動挙動の調査」, 2008年9月11日, 日本分析化学会第57年会 (福岡大)
- ⑪ 引地篤, 齋藤伸吾, 鈴木良治, 青山政和, 渋川雅美, 「キャピラリー電気泳動法におけるポリアミノカルボン酸錯体の構造選択的イオン対分離」, 2008年11月13日, Separation Sciences 2008 (東京理科大野田キャンパス)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://pauli.apc.saitama-u.ac.jp/~bunseki/Index1.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齋藤 伸吾 (SAITO SHINGO)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号: 60343018