

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 19 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410148

研究課題名(和文)イオン交換樹脂相中における官能基間相互作用の解明

研究課題名(英文)Elucidation of interaction between functional groups in ion-exchange resin phase

研究代表者

湯地 昭夫 (Yuchi, Akio)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：60144193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：イオン交換樹脂の架橋度は交換に利用可能な空間の独立性を支配し、交換速度・飽和交換率・選択性の交換率依存性に著しい違いを生ずることを明らかにした。ODSシリカへの有機化合物の保持で、分配と吸着の寄与を定量的に示すとともに、濡れ性との関係で残存シラノールの重要性を指摘した。Zr-ポルフィリン錯体による三リン酸イオンの液液イオン交換では、生成物間の分子間相互作用が選択性発現に寄与することを明らかにした。また、交換容量を下げた樹脂では、濡れ性低下のために実質的にイオン交換が起こらなかった。

研究成果の概要(英文)：The cross-linking degree of an ion exchange resin determined the independency of the space usable for ion exchange in the resin phase, and eventually provided significant differences in the exchange kinetics, the saturated relative exchange, and the dependency of the selectivity on the relative exchange. The retention of an organic compound to an ODS-silica was attributed to the sum of the distribution and the adsorption, and the importance of the residual silanol group was pointed out with respect to the wettability. The ion exchange of triphosphate was achieved by use of a Zr-porphyrin complex, and its reaction product showed an intermolecular interaction contributing to the high selectivity. The ion exchange resin with a low capacity provided no practical ion exchange due to reduction of the wettability.

研究分野：分析化学

キーワード：イオン交換 樹脂の架橋度 空間の独立性 ODSシリカ 分配と吸着 濡れ性 三リン酸イオンの認識・検出

1. 研究開始当初の背景

申請者は、既に確立した手段と考えられているイオン交換樹脂に関して未解明な側面が多いと考え、通常に比べて 1/3 程度の交換容量を有するイオン交換樹脂を調製して、その性能を評価・比較することにより、次のような知見を明らかにしてきた。

- (1) 陽イオン交換樹脂への四級アンモニウムイオンの交換でアルキル基が大きくなった場合に、低交換容量樹脂上では完全なイオン交換が進むのに対して通常の樹脂上では完全に進まないことから、後者ではアンモニウムイオン同士が接触するほど近接していることを示した。[Anal. Chem., 83, 7480 (2011).]
- (2) 陽イオン交換樹脂中で Na^+ イオンの水和数が、交換容量の増加と共に 4 から 3 に減少すること、また陰イオン交換樹脂中で H_2PO_4^- の水和数は、交換容量の増加と共に減少し、相補的な分子間水素結合を形成することを見出した[Anal. Chem., 82, 8611 (2010)]. そのため、通常の樹脂での H_2PO_4^- の選択係数は、高交換率領域で一桁も増加する。[Ind. Eng. Chem. Res., 52, 16880 (2013).]
- (3) 3 価金属イオン(M^{3+})は塩基性条件下で通常の強酸性陽イオン交換樹脂 (-S) には $[(-\text{S})_2\text{M}(\text{O})\text{M}(-\text{S})_2]$ と $[(-\text{S})_2\text{M}(\text{OH})]$ として交換し、架橋配位子である O^{2-} は HPO_4^{2-} などの他の 2 価陰イオンに置換可能であるのに対して、低交換容量樹脂には $[(-\text{S})_2\text{M}(\text{OH})]$ としてのみ交換することを示した[Anal. Chem., 80, 9666 (2008).]

(1) - (3)は、通常の樹脂に交換したイオンが互いになりに接近しているために、その間に多様な相互作用(van der Waals contact、イオンの促進脱水和、塩基性を有する陰イオン間の水素結合形成、共吸着)を起こし得ること、その結果として想定外の挙動を示したり特異な機能を発現したりすることを示している[Anal. Sci., 30, 51-57 (2014), invited review.]. このことは、通常の樹脂中では官能基自体も接近して相互作用をする可能性を示唆するが、このような観点からの研究はまったくないのが実情である。

また申請者は、イミノ二酢酸(IDA, $-\text{LH}_2$)型キレート樹脂と 3 価金属イオンとの反応の平衡を解析し、錯形成が関与する化学種 $[(-\text{L})(-\text{LH})\text{M}]$ に加えてイオン交換的な化学種 $[(-\text{LH})_3\text{M}]$ が生成することを示した[Anal. Chem., 69, 2941 (1997).]. その結果、pH 制御による金属イオン選択性の序列は、モノマー配位子の選択性序列と異なった。同じ官能基を低密度で導入した固定相を用いるイオンクロマトグラフィーの保持には異常は見られないことから、その差は官能基密度の違いによると考えられるが、明解にはされていない。

い。同様なことは他の樹脂でも起こっている可能性があるが、意識されないまま利用されている。

2. 研究の目的

前項を踏まえて、以下の 5 点を明らかにすることを目的とする。

(1) 弱塩基性陰イオン交換樹脂(-N)は、酸性でプロトン付加することにより陽イオン性となり、陰イオン交換能力を示すようになる $(-\text{NH}^+\text{A}^-)$ 。つまり官能基に対して 1:1 の比でプロトンと陰イオンを共吸着するとされているが、官能基密度が高ければ、2 つの官能基で 1 つの酸を捕捉する可能性 $((-\text{N})_2\text{H}^+\text{A}^-)$ が考えられる。また、通常の樹脂に 2 価の酸を付加すれば、官能基が接近しているために、プロトン付加した二つの官能基が 2- のイオンと効果的に相互作用 $[(-\text{NH}^+)_2\text{A}^{2-}]$ するのに対して、交換容量が小さい樹脂の場合には 2:1 の相互作用が不利となり、このような化学種が生成しにくいという可能性がある。交換容量の小さい弱塩基性陰イオン交換樹脂を調製し、その酸塩基およびイオン交換特性を評価して通常の樹脂と比較することによって、これらの点を明らかにする。

(2) 上で述べたように、イミノ二酢酸型キレート樹脂でも官能基の接近が予想される。酸型の IDA は溶液中でカルボン酸のプロトンがアミノ窒素に移動した zwitter 型として存在する。通常の樹脂中ではこのように電荷が分離した状態は不利であるため、溶液中より高い酸性度を示すことが予想される。実際の塩基性は溶液中とあまり変わらないことが報告されているが、これは官能基間の水素結合形成により安定化を受けているためと考えられる。交換容量樹脂が低く官能基が孤立したイミノ二酢酸型キレート樹脂を調製し、その性能を通常の樹脂と比較することにより、官能基が接近することが酸塩基特性、更には金属イオンの交換挙動に及ぼす影響を評価する。

(3) 申請者は先に、イオン交換基近傍で交換のためにどの程度の大きさの空間が利用可能であるかを、モル容の加成性に基いて推定し、上記の結果と矛盾のないことを示してきた。しかしながら、その値を実験的にも示したいと考え、樹脂相に侵入する外部溶液の体積を測定する方法・一連の大きな有機陰イオンによる交換に関する速度および平衡に対する架橋度の影響を明らかにする方法による検討を行うこととした。

(4) 官能基の密度を簡便に調整でき、その移動性も補償できる手法として、ODS シリカなどに官能基を有する有機試薬を担持する固相抽出法が利用されているが、その保持機構

は液体クロマトグラフィーの知見から類推されているだけで、それ自体を実際に研究した例はほとんどない。そこで細孔径の異なる一連のシリカゲルを用いて ODS シリカを調製し、単純な有機試薬の保持について、平衡論的な検討を行った。

(5) 液状イオン交換体を用いるイオン交換反応は、長鎖アルキルアンモニウムなどについてのみ、詳しい研究がなされているが、ルイス酸を含む交換体については、実質的に報告がない。そこで、Zr-ポルフィリン錯体をイオン交換体とする液液イオン交換系における平衡を解析し、液状イオン交換体同志の相互作用やリン酸系化学種のイオン交換平衡について検討を行った。

3. 研究の方法

(1) プロトン付加して交換基となる中性窒素原子を、市販品から段階的に減少させた一連の弱塩基性陰イオン交換樹脂(0.84, 2.02, 2.77, 4.19 mmol g⁻¹)を作成して、酸の共吸着および陰イオンの交換平衡を解析した。

(2) 市販の IDA 型キレート樹脂(-LH₂)に加えて、交換容量を段階的に減少させた一連の樹脂(2.1, 1.3, 0.7, 0.3 mmol g⁻¹)を Merrifield 樹脂から合成し、酸塩基および金属イオンとの錯形成反応について、平衡論的な検討を行った。

(3) イオン交換樹脂を濃厚な塩溶液と平衡状態に保って相分離した後、内部に侵入している水と塩を定量することで、イオン交換に利用可能な外積を求めた。また、一連の大きさの異なるスルホン酸、カルボン酸、およびフェノール誘導体と架橋度の異なる強塩基性イオン交換樹脂との反応を平衡論的に解析した。

(4) 孔径の異なる一連の ODS に対するヘテロ原子を有するおよび有しない有機化合物の保持に関する平衡を解析した。

(5) 2種類の Zr-ポルフィリン錯体について、有機溶媒との間の二相間反応、単離した結晶の構造解析、キャリアーとして作成したイオン選択電極の各種陰イオンに対する電位応答を検討した。

4. 研究成果

(1) 0.84 mmol g⁻¹ の樹脂は全く反応せず、2.02 および 2.77 mmol g⁻¹ の樹脂では過塩素酸以外の酸の場合に窒素原子：プロトン = 1:1 の共吸着だけが観測され、前項で述べたような 2:1 の化学種などは検出されなかった。交換容量が小さい樹脂では、水溶液による濡れ性が低くなるために、反応が起こらなくなるためと考えられる。イオン交換の選択性序列は通常

の樹脂と同じであったが、選択係数は交換容量が低いほど高くなる傾向がみられた。同様の特徴は、強塩基性陰イオン交換樹脂の場合にも観測され、樹脂相の誘電率が低くなるために、イオン性化学種の安定性が低下するためと考えられる。

なお、過塩素酸イオンの選択係数は、これまで、研究者によって著しく異なる数値が報告されてきたが、これは極めて低い値に緩衝された高選択性イオンの濃度測定が不適切なためであることを実験的に示すとともに、液膜型イオン選択性電極を用いることで正しく評価することに成功した。これらの成果は雑誌論文として公表した。

(2) 塩基との反応では、交換容量が 0.3 mmol g⁻¹ まで下がると、(1)で述べた弱塩基性陰イオン交換樹脂の場合と同様に、水溶液との馴染みが悪く、反応しないことが明らかとなった。支持電解質の濃度を 10^{-1.5}, 10^{-1.0}, 10^{-0.5}, 1 mol dm⁻³ と変化させ、酸塩基平衡を解析した結果、いずれの酸解離定数も支持電解質の濃度に比例して増加したことから、樹脂相にナトリウムイオンが侵入していることを明確に示した。

2価金属イオン(M²⁺)と市販の IDA 樹脂の反応では、[(L)M]および[(-LH)₂M]が生成するが、交換容量が 0.7 mmol g⁻¹ まで減少すると、複数の官能基の接近が困難になるため、[(L)M]だけが生成した。一方、3価金属イオンと市販の IDA 樹脂の反応では、[(L)(-LH)M]および[(-LH)₃M]が生成するのに対して、交換容量が 0.7 mmol g⁻¹ まで減少すると、[(L)(-LH)M]はむしろ生成せず、[(-LH)₃M]が主要な吸着種となった。

支持電解質濃度が高くなると、(-LHNa)の生成が有利になるために、金属イオンの吸着は著しく妨害を受けることを定量的に示した。これらの成果は、現在、投稿準備中である。

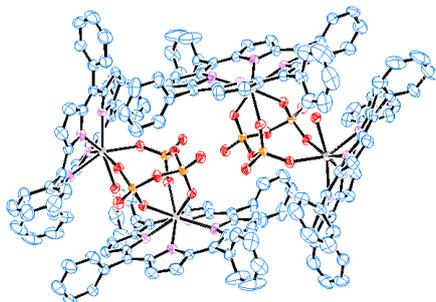
(3) イオン交換に利用可能な体積は、架橋度の増加と共に著しく減少すること、塩濃度の増加とともにその体積は減少して内部溶液の濃度が外部と同じになる(等張状態)ことを明らかにした。

また、陰イオン交換樹脂における比較的大きな芳香族陰イオンの交換において、架橋度 2 および 4 % では、交換速度が比較的速度く、飽和交換率はほぼ 100 % に達し、選択係数は交換率に依存して増加した。それに対して、架橋度 8 % の樹脂では、交換が遅く、100 % 未満で飽和に達し、選択係数の交換率依存性は低かった。架橋度 2 および 4 % ではサイトの独立性が低いのに対して、架橋度 8 % の樹脂ではサイトの独立性が高くまたそのサイズに分布があるとすることで、これらの挙動の差異を合理的に説明することができた。これらの成果については、投稿準備中である。

(4) ヘテロ原子を持たない有機化合物は分配のみで保持されるのに対して、ヘテロ管を有する有機化合物は分配に加えて、残存シラノールとの水素結合によっても保持の起こることを明らかにした。ヘテロ環を有する6座配位子による固相抽出は、ODS シリカ中のODS 部分に試薬が高度に濃縮されるが、その濃度を考慮すると、通常の液液抽出と同じ性能を示すことが明らかとなった。これらの成果は、以下の雑誌論文として発表した。

更に、細孔径、したがって表面積の異なる一連の ODS へのこれらの有機化合物の保持平衡を解析した結果、細孔径が小さくなると ODS 内部の疎水性が上昇し、水溶液が弾かれるために、実際には固相として機能せず、結果的に分配も吸着も抑制されることを見出すとともに、固相抽出に適した ODS の特徴を提案した。これらの結果は、現在、投稿中である。

(5) Zr のテトラフェニルポルフィン(H_2tpp)錯体 ($[Zr(tpp)(OH)_2]$) は有機溶媒中で三リン酸 (H_3tp) イオンと反応して複核錯体 ($[Zr(tpp)]_2(Htp)$) を形成するが、その濃度が高いと更に二量化して ($[Zr(tpp)]_4(Htp)_2$) となることを見出した。



しかし、この反応系では三リン酸イオンの濃度が高くなると $Zr(tpp):tp=1:1$ の化学種が生成して沈殿として析出するため、センサーには適さなかった。一方、オクタエチルポルフィン錯体の場合には、Zr 中心の反応性が低いために、上記の化学種が安定で高次の錯体を生成しにくいいため、これをキャリアとするイオン選択電極は三リン酸イオンに対して良好なネルンスト応答を示した。この電極を用いて、三リン酸イオンの加水分解過程を三リン酸やリン酸イオンによる妨害なくモニターすることに成功した。本成果は、以下の雑誌論文として発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Triphosphate Ion-Selective Electrode Based on Zr-Porphyrin Complex, Y. Yagi, S. Masaki, T. Iwata, D. Nakane, T. Yasui, and

A. Yuchi, *Anal. Chem.*, 89, 3937 – 3942 (2017). DOI: 10.1021/acs.analchem.6b03754

Perchlorate Selectivity of Anion Exchange Resins as Evaluated Using Ion-Selective Electrodes, K. Yamoto, Shin'ya Mitsuda, N. Ohtake, N. Murashige, S. Ohmuro, and A. Yuchi, *Anal. Sci.*, 33, 159 – 163 (2017).

Interactions of Anion-Exchange Resins with Polyacrylates in Atmosphere, H. Tauchi, Y. Sakai, N. Okawa, H. Faozia, G. Mizuguchi, T. Yasui, K. Takada, and A. Yuchi, *Anal. Sci.*, 32, 1071 – 1075 (2016).

Enhanced Retention of Chelating Reagents in Octadecylsilyl Silica Phase by Interaction with Residual Silanol Groups in Solid Phase Extraction of Divalent Metal Ions, S Ohmuro, K. Fujii, T. Yasui, K. Takada, A. Yuchi, and H. Kokusen, *Anal. Sci.*, 32, 343 – 347 (2016).

〔学会発表〕(計33件)

那須静香・大室智史・塚本将史・石崎理・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、ODS シリカを用いた固相抽出法における残存シラノールの役割、第34回溶媒抽出討論会、2016年11月28～29日、産業技術総合研究所つくばセンター(茨城県つくば市)

八木颯汰・米坂拓也・湯地昭夫、陰イオン交換樹脂における安息香酸誘導体の交換、「分析中部・ゆめ21」若手交流会 第16回高山フォーラム、2016年11月11～12日、高山市図書館(岐阜県高山市)

米坂拓也・八木颯汰・湯地昭夫、樹脂上における比較的大きな有機陰イオンの交換、第31回日本イオン交換研究発表会、2016年10月27～28日、関西大学千里山キャンパス(大阪府吹田市)

米坂拓也・湯地昭夫、強塩基性陰イオン交換樹脂上での比較的大きな有機アニオンによる交換、日本分析化学会第65年会、2016年9月14～16日、北海道大学工学部(北海道札幌市)

大室智史・塚本将史・那須静香・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、固相抽出法に適した ODS シリカの設計指針、日本分析化学会第65年会、2016年9月14～16日、北海道大学工学部(北海道札幌市)

塚本将史・大室智史・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、多様な ODS への芳香族炭化水素の分配、第35回分析化学中部夏期セミナー、2016年9月3～4日、リトリートたくら(福井県南越前町)

那須静香・大室智史・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、ODS を用いた含酸素化合物の固相抽出における残存シラノール基の役割、第 35 回分析化学中部夏期セミナー、2016 年 9 月 3~4 日、リトリートたくら(福井県南越前町)

那須静香・大室智史・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、ODS を用いた固相抽出法における残存シラノール基への含酸素化合物の吸着~酸素原子の数及び塩基性度の影響~、第 76 回分析化学討論会、2016 年 5 月 28~29 日(日)、岐阜薬科大学・岐阜大学(岐阜県岐阜市)

大室智史・石崎理・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、含窒素化合物の保持に対する ODS の修飾率および細孔径の影響、第 76 回分析化学討論会、2016 年 5 月 28~29 日、岐阜薬科大学・岐阜大学(岐阜県岐阜市)

塚本将史・石崎理・大室智史・湯地昭夫、エンドキャップ型 ODS への含窒素化合物の保持に対する温度の影響、「分析中部・ゆめ 21」若手交流会 第 15 回高山フォーラム、2015 年 11 月 13~14 日、高山市図書館(岐阜県高山市)

那須静香・石崎理・大室智史・安井孝志・湯地昭夫、固相抽出法における含酸素配位子とその金属錯体の ODS への保持(2)、「分析中部・ゆめ 21」若手交流会 第 15 回高山フォーラム、2015 年 11 月 13~14 日、高山市図書館(岐阜県高山市)

大室智史・山本健二・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、弱塩基性陰イオン交換樹脂を用いた酸の共吸着に対する内部環境の影響、2015 年 日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会、2015 年 10 月 23~24 日、金沢工業大学扇が丘キャンパス(石川県野々市市)

米坂拓哉・湯地昭夫、樹脂上での比較的大きな有機陰イオンによる交換、2015 年 日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会、2015 年 10 月 23~24 日、金沢工業大学扇が丘キャンパス(石川県野々市市)

石崎理・大室智史・安井孝志・湯地昭夫、含窒素配位子とその錯体の ODS への保持に対する残存シラノール基の影響、2015 年 日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会、2015 年 10 月 23~24 日、金沢工業大学扇が丘キャンパス(石川県野々市市)

那須静香・石崎理・大室智史・安井孝志・湯地昭夫、固相抽出法における含酸素配位子とその金属錯体の ODS への保持、2015 年 日本イオン交換学会・日本溶媒抽出学会連合年会、2015 年 10 月 23~24 日、金沢工業大学扇が丘キャンパス(石川県野々市市)

大室智史・藤井寛・安井孝志・高田主岳・國仙久雄・湯地昭夫、残存シラノール基との相互作用による抽出試薬の保持と二価遷移金属イオンの固相抽出、日本分析化学会第 64 年会、2015 年 9 月 17~19 日、九州大学伊都キャンパス(福岡県福岡市)

正木秀平・八木佑馬・湯地昭夫、Zr(IV)-ポルフィリン錯体を用いた三リン酸イオン選択電極、日本分析化学会第 64 年会、2015 年 9 月 17~19 日、九州大学伊都キャンパス(福岡県福岡市)

石崎理・大室智史・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、ODS への含窒素配位子の保持とその錯体のイオン対抽出に対する残存シラノール基の影響、第 34 回分析化学中部夏期セミナー、2015 年 8 月 31~9 月 1 日、三保園ホテル(静岡県静岡市)

米坂拓也・湯地昭夫、樹脂上における比較的大きな有機イオンによる交換、第 34 回分析化学中部夏期セミナー、2015 年 8 月 31~9 月 1 日、三保園ホテル(静岡県静岡市)

大室智史・石崎理・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、固相抽出における ODS への含窒素化合物の保持機構、第 75 回分析化学討論会、2015 年 5 月 23~24 日(日)、山梨大学甲府キャンパス(山梨県甲府市)

21 大室智史・藤井寛・安井孝志・國仙久雄・湯地昭夫、非エンドキャップ型 ODS による化学種の保持挙動、第 45 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会、2014 年 11 月 29~30 日(日)、中部大学春日井キャンパス(愛知県春日井市)

22 石崎理・藤井寛・大室智史・湯地昭夫、非エンドキャップ型 ODS に対する含窒素化合物の保持機構、「分析中部・ゆめ 21」若手交流会 第 14 回高山フォーラム、2014 年 11 月 14 日~15 日、高山市図書館(岐阜県高山市)

23 林直人・佐々木研二・安井孝志・湯地昭夫、錯体として担持した固定相性能の動的評価、「分析中部・ゆめ 21」若手交流会 第 14 回高山フォーラム、2014 年 11 月 14 日~15 日、高山市図書館(岐阜県高山市)

- 24 藤井寛・大室智史・國山久雄・湯地昭夫、非エンドキャップ型 ODS による化学種の保持挙動、「分析中部・ゆめ 21」若手交流会 第 14 回高山フォーラム、2014 年 11 月 14 日～15 日、高山市図書館（岐阜県高山市）
- 25 米坂拓也・川村理桜・湯地昭夫、陰イオン交換樹脂における内部体積の算出、「分析中部・ゆめ 21」若手交流会 第 14 回高山フォーラム、2014 年 11 月 14 日～15 日、高山市図書館（岐阜県高山市）
- 26 Akio Yuchi, Momoka Satoh, Rio Kawamura, Space Available for Cation in Ion Exchange Resins, 6th International Conference of Ion Exchange, 2014 年 11 月 9～12 日, Okinawa Convention Center, Japan
- 27 湯地昭夫、ルイス酸の配位子交換を用いる親水性陰イオンの抽出と検出（依頼講演）、日本分析化学会第 63 年会、2014 年 9 月 17～19 日(木)、広島大学東広島キャンパス（広島県東広島市）
- 28 今枝宏徳・湯地昭夫、イミノ二酢酸型キレート樹脂の性能に対する交換容量の影響、日本分析化学会第 63 年会、2014 年 9 月 17～19 日(木)、広島大学東広島キャンパス（広島県東広島市）
- 29 大室智史・山本健二・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、弱塩基性イオン交換樹脂の性能に対する交換容量の影響日本分析化学会第 63 年会、2014 年 9 月 17～19 日(木)、広島大学東広島キャンパス（広島県東広島市）
- 30 土井拓也・湯地昭夫、Th(IV)-ポルフィリン錯体の二相間反応およびセンシングへの応用、日本分析化学会第 63 年会、2014 年 9 月 17～19 日(木)、広島大学東広島キャンパス（広島県東広島市）
- 31 土井拓也・八木佑馬・湯地昭夫、Nb()-ポルフィリン錯体のポリオールとの反応およびセンシングへの応用、日本分析化学会第 63 年会、2014 年 9 月 17～19 日(木)、広島大学東広島キャンパス（広島県東広島市）
- 32 大室智史・山本健二・安井孝志・高田主岳・湯地昭夫、弱塩基性イオン交換樹脂の性能に対する交換容量の影響(2)、第 33 回分析化学中部夏期セミナー、2014 年 9 月 4～5 日(金)、いこいの村 磯波風(富山県富山市)
- 33 正木秀平・八木佑馬・岩田哲輝・湯地昭夫、Zr(IV)-ポルフィリン錯体を用いた三リン酸イオン選択電極、第 33 回分析化学中部夏期セミナー、2014 年 9 月 4～5 日(金)、いこいの村 磯波風(富山県富山市)
- 〔図書〕(計 1 件)
湯地昭夫・日置昭治、講談社サイエンスフィック、エキスパート分析化学、2015、194
6. 研究組織
- (1)研究代表者
湯地 昭夫 (YUCHI, Akio)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：60144193
- (2)連携研究者
高田 主岳 (TAKADA, Kazutake)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：20361644
安井 孝志 (YASUI, Takashi)
名古屋工業大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：60270998
- (3)研究協力者
國仙 久雄 (KOKUSEN Hisao)
大室 智史 (OHMURO Satoshi)