

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23550104

研究課題名(和文) 神経伝達物質に近赤外領域で応答する金属錯体センサーの開発

研究課題名(英文) Development of Metal Complex Sensor Possessing a Neurotransmitter-Response on Near-Infrared Spectroscopy

研究代表者

橋本 剛 (HASHIMOTO, TAKESHI)

上智大学・理工学部・助教

研究者番号：20333049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：(β-ジケトナト)ルテニウム錯体に分子認識機能を持つ配位子を共役系により連結することで、近赤外領域に吸収帯を持つ新規錯体の合成に成功した。この分子の糖認識機能をアセトニトリル/水混合溶媒中で評価した結果、近赤外領域での吸収を伴う糖応答挙動を観測することが出来た。また、色素プローブ/シクロデキストリン超分子複合体を用いたドーパミン認識挙動について、吸収/蛍光応答から分子設計に対するある程度の指針が得られた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a neurotransmitter response on near-infrared spectroscopy using (β-diketonato) ruthenium complexes. To realize this objective, a naphthylboronic acid-coordinated (β-diketonato)ruthenium complex has been designed and synthesized. This metal complex was evaluated with electrochemistry and electronic spectra. The results revealed that this complex exhibited a near-infrared absorption band and a sugar recognition function in 80% water – 20% acetonitrile solution. Moreover, the dopamine recognition function of the supramolecular chromogenic probe/cyclodextrin complex was evaluated from their UV-Vis or fluorescence spectra in aqueous solution.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・分析化学

キーワード：糖認識複合体 化学センサー ドーパミン 近赤外吸収 ルテニウム錯体 吸収スペクトル シクロデキストリン 超分子

1. 研究開始当初の背景

社会心理学においても対人ストレス研究が注目されている中で、ストレスマーカーとしてのカテコールアミン類の迅速・簡便検出の生理学的重要性はますます増大している。ドーパミンなどのカテコールアミンは典型的な生体関連低分子であり、酵素を用いた検出方法は開発されているが、量産性・耐久性・分子設計の自由度に難点が存在する。それを克服するための別の検出原理として、弱い相互作用の組み合わせを利用する超分子化学的アプローチは着目に値する。

一方で、分子認識に基づくシグナル表現方法として、近赤外光は生体由来物質の妨害吸収が少なく理想的である。そこで、近赤外吸収を発現する状態として、二核以上の金属錯体における「混合原子価状態」(等しい環境にありかつ酸化数が異なる二核間を電子が摂動している状態)に着目した。対称二核錯体特有の原子価間遷移電荷移動(Inter Valence Charge Transfer, IVCT)は、近赤外領域(900~2500 nm)に吸収帯を持つことが知られている。研究代表者らは既に(β -ジケトナト)ルテニウム錯体の系統的合成法、多様な反応性を駆使した配位子変換反応あるいは対称二核錯体の合成法と、得られた錯体の混合原子価状態について報告している。そこでこの2つを組み合わせ、超分子的相互作用により混合原子価状態の出現を示す金属二核錯体を開発すれば、新規な生体関連分子センサーになりうるという着想に至った。

2. 研究の目的

構造安定性・電極活性に優れた有色中性分子である(β -ジケトナト)ルテニウム錯体を、糖あるいはアルカリ金属イオンなどの認識能をもつ架橋配位子により連結し、その分子認識機能を評価することが研究目的である。

評価結果を基に、更に分子設計を最適化して錯体の合成・測定を行い、分子認識による(二核間相互作用など)近赤外領域の分光学的変化量を調べ、系の最適化を図る。最適化の具体的方法は以下の3点による。

① β -ジケトナト配位子の置換基の最適化による溶解性の向上、酸化還元電位の制御

② 分子認識部と架橋基とを結ぶアリアル環への置換基導入と分子認識部位の設計

③ 測定条件の検討(酸化状態の違うどの混合原子価状態を用いるか)

最終的には生体関連物質との超分子相互作用による混合原子価状態のスイッチングを目指した。

3. 研究の方法

(1) 分子認識能を持つ配位子の合成

アゾカップリングにより分子認識部位を持つ配位子を合成する。具体的な分子認識部位としては、

- ① アルカリ金属イオンを選択的に取り込むクラウンエーテル部位
- ② 糖および糖鎖と選択的に超分子形成を行うフェニルボロン酸(エステル)部位の2種を取り上げた。アゾカップリングにより生じた窒素と、適切に配置した水酸基によってルテニウム錯体へのキレート配位能を持つことができる。この配位子単独での機能評価も分光学的手法(可視-紫外吸収スペクトル)により行った。

(2) 配位子のルテニウム錯体への導入

構造安定性・電極活性に優れた有色中性分子である(β -ジケトナト)ルテニウム錯体はこれまで数多く合成され、その物性が調べられてきた。本研究では、合成の前駆体として非常に有用な $[\text{Ru}(\text{acac})_2(\text{CH}_3\text{CN})_2]$ (T. Koiwa et al., *Inorg. Chem.*, **43**(20), 6215-6223 (2004)) を取り上げ、これと(1)項で合成した配位子と反応させ、 N,O -キレート配位により目的とする錯体(図1)を合成する。得られた錯体については、分光化学的・電気化学的性質を中心とする詳細なキャラクタリゼーションを行った。また、分光学的手法を用いたスクリーニングを行い、観測しやすい分子認識挙動を持つ系を選択し、その結果を基に電気化学的検出方法の確立を行った。

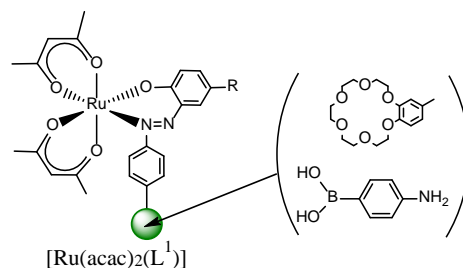


図1 目的とするルテニウム錯体

(3) 分子認識部位の設計指針の構築

上記(1)(2)の結果をフィードバックし、最終的には図2のようなスキームで分子認識部を2箇所持つルテニウム二核錯体を合成する。キレート型配位子に数種の置換基や

分子認識部を導入した合成法を確立し、一般的に構築できるかを確認した上で、分子認識により二核間相互作用に変化が起こるかを調査し、系の最適化を図る。

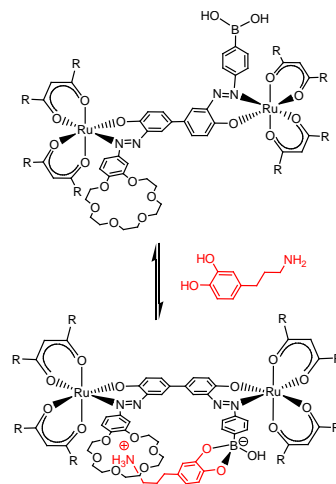


図2 二核錯体の分子設計。

4. 研究成果

(1) 平成 23 (2011) 年度

① ドーパミン認識を持つ超分子アゾプロ
ロープの設計：ドーパミンの認識を目的として、
アミノ基を認識できるクラウンエーテルと
シスジオールを認識できるフェニルボロン
酸の両方を持つアゾ化合物を合成し、そのド
ーパミンに対する特異な認識応答を確認す
ることができた (図 3)。また、アミノ基の
分子認識部位に関しては、アルデヒドやクラ
ウンエーテルよりも応答性の高い置換基の
検討を行った。

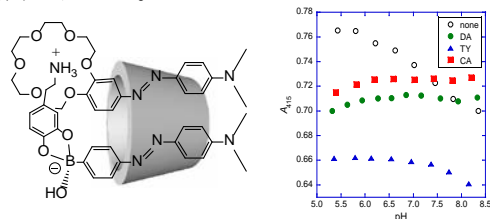
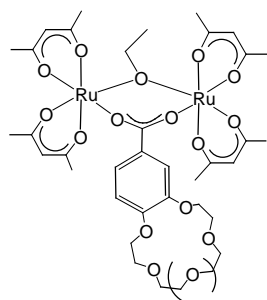


図 3 応答系の包接模式図と評価結果

② アルカリ金属イオン応答能を持つルテ
ニウム錯体の合成：アルカリ金属イオンやア
ミノ基を認識することができるクラウンエ
ーテルを近赤外領域にシグナル応答ができ
る二核 (β -ジケトナト) ルテニウム錯体に導
入することを考え、クラウンエーテルを持つ
安息香酸誘導体で架橋した二核錯体 (図 4)
を 2 種類合成した。
この錯体について、
アセトニトリル溶
液中で 5 種のアル
カリ金属イオンに
対する応答を調べ
たところ、分光学
的測定と電気化学
的測定が一致する
結果を得られた。 図 4 二核錯体の構造



(2) 平成 24 (2012) 年度

① アミノ基に対する親和性の高い分子認
識部位導入：昨年度はアミノ基の認識部位
としてクラウンエーテルを念頭に置いていた
が、新たにコハク酸イミドカルボン酸エス
テル部位を導入することで、より確実にドー
パミンのアミノ基を認識できることが分か
った。特に蛍光部位を導入した包接化合物 (図
5) の評価では、これまでよりも感度が 1000
倍以上増加することが分かった (図 6)。

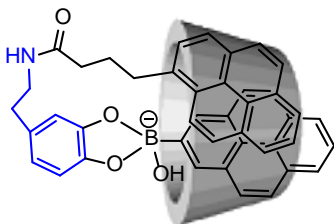


図 5 蛍光部位を導入した包接化合物

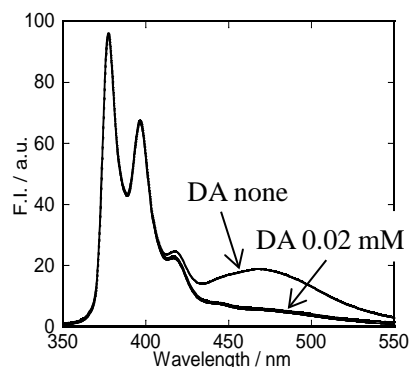


図 6 図 5 の包接体の蛍光応答

② ルテニウム二核錯体の電解時における
混合原子価状態に関する情報の再収集
混合原子価状態に関しては、ルテニウム二核
錯体 (図 7) の電解 EPR スペクトルおよび電
解電子スペクトル (可視~近赤外) により、
特に $\text{Ru}^{\text{III}}\text{-Ru}^{\text{IV}}$ 価の混合原子価状態が 1 電子
酸化により得ら
れ、その特徴的
なシグナルを観
測することに成
功した。

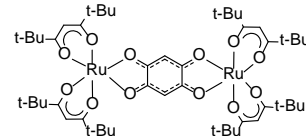


図 7 二核錯体

③ 分子認識部位と架橋配位子の結合方法に
関する分子設計の検討：応答感度向上のため
には、分子認識部位と中心金属が同一平面に
にあることが分子指針上有用である。この効
果を厳密に評価するため、分子認識部位の置
換位置のみが互いに異なる二種のルテニウ
ム新規錯体の合成をスタートさせた。

(3) 平成 25 (2013) 年度

① アミノ基に対する親和性の高い分子認
識部位の再検討：新規な分子設計として、金
属配位ジピコリルアミノ基のアミノ基に対
する認識について検討を行った。ジピコリ
ルアミン亜鉛錯体では、アミノ基の存在によ
ってリン酸誘導体に対する応答が顕著に変化
し (図 8)、後述のフェニルボロン酸基と合
わせ、ドーパミンのジトピック型認識の可能
性が広がった。

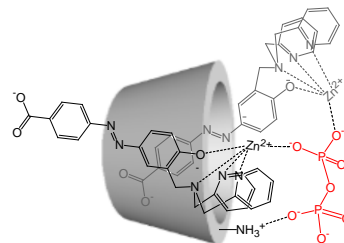


図 8 ジピコリルアミン亜鉛錯体/シクロ
デキストリン包接体のリン酸認識

② 糖 (シスジオール) 認識部位の新たな分
子設計：上記のジピコリルアミン誘導体をフ
ェニルボロン酸とアゾカップリングにより

組み合わせること、新しい応答原理を持つ分子認識系の構築に成功した。

③分子認識部位と架橋配位子の結合方法に関する分子設計の再検討：応答感度向上のためには、分子認識部位と中心金属が同一平面上にあることが分子設計指針上有用である。この効果を厳密に測定するため、分子認識部位の置換位置のみが互いに異なる二種のルテニウム錯体の合成を試みた。昨年度は合成不可能であったヒドロキシナフチルボロン酸の入手に成功し、これを基に糖認識部位をルテニウム配位平面上に有する(β -ジケトナト)

ルテニウム錯体 (図9) の合成に成功した。この錯体は弱いながらも近

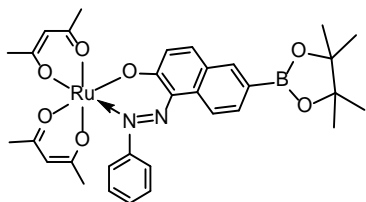


図9 糖認識能を持つ錯体

赤外領域に吸収を持つことがわかり、可視部の吸収帯とその吸光度比を基に精度よく単糖類を認識できることが分かった (図10)。

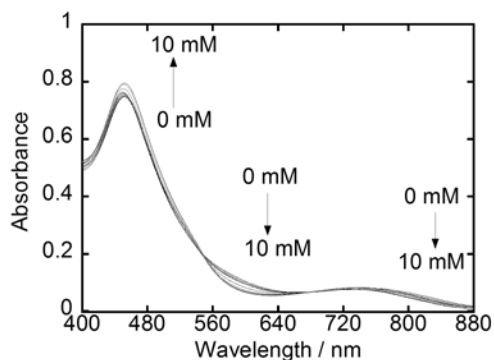


図10 錯体の糖添加時のスペクトル変化。D-fructose: 0 to 10 mM, in 40% CH₃CN – 60 % water (v/v) at pH 11.5; [complex] = 50 μ M, (M = mol dm⁻³), 25 °C.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 11 件)

- (1) H. Kano, D. Tanoue, H. Shimaoka, K. Katano, T. Hashimoto, H. Kunugita, S. Nanbu, T. Hayashita, and K. Ema; Effects of Cyclodextrins on Intramolecular Photo-induced Electron Transfer in a Boronic Acid Fluorophore, *Anal. Sci.*, 査読有, **30**, 2014, 643-648. DOI: 10.2116/analsci.30.643
- (2) T. Hashimoto, M. Yamazaki, H. Ishii, T. Yamada, and T. Hayashita; Design and Evaluation of Selective Recognition on Supramolecular Gel Using Soft Molecular Template Effect, *Chem. Lett.*, 査読有, **43**(2), 2014, 228-230. DOI: 10.1246/cl.130902
- (3) R. Manikandan, P. Viswanathamurthi, K. Velmurugan, R. Nandhakumar, T. Hashimoto, A. Endo; Synthesis, characterization and crystal structure of cobalt(III) complexes containing 2-acetylpyridine thiosemicarbazones: DNA/protein interaction, radical scavenging and cytotoxic activities, *J. PhotoChem. PhotoBiol., B*, 査読有, **130**, 2014, 205-216. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2013.11.008
- (4) S. Selvamurugan, P. Viswanathamurthi, A. Endo, T. Hashimoto, and K. Natarajan; Synthesis, spectral characterization, antioxidant, anticancer in vitro, and DNA cleavage studies of a series of ruthenium(II) complexes bearing Schiff base ligands, *J. Coord. Chem.*, 査読有, **66**(22), 2013, 4052-4066. DOI: 10.1080/00958972.2013.858135
- (5) A. Endo, H. Minesaka, T. Hashimoto, and T. Hayashita; Electrochemical sugar recognition using a ruthenium complex with boronic acid assembled on polyamidoamine (PAMAM) dendrimer, *Anal. Methods*, 査読有, **4**, 2012, 2657-2660. DOI: 10.1039/c2ay25518a
- (6) T. Hashimoto, S. Oyaidu, and T. Hayashita; Design and Function of Novel Azoprobe Possessing Multipoint Binding Sites for Dopamine Recognition, *Bunseki Kagaku*, 査読有, **61**, 2012, 213-219. DOI: 10.2116/bunsekikagaku.61.213
- (7) S. Priyarega, D. S. Raja, S. G. Babu, R. Karvembu, T. Hashimoto, A. Endo, and K. Natarajan; Novel binuclear palladium(II) complexes of 2-oxoquinoline-3-carbaldehyde Schiff bases: Synthesis, structure and catalytic applications, *Polyhedron*, 査読有, **34**, 2012, 143-148. DOI: 10.1016/j.poly.2011.12.017
- (8) M. Kumai, S. Kozuka, M. Samizo, T. Hashimoto, I. Suzuki, and T. Hayashita; Glucose Recognition by a Supramolecular Complex of Boronic Acid Fluorophore with Boronic Acid-Modified Cyclodextrin in Water, *Anal. Sci.*, 査読有, **28**, 2012, 121-126. DOI: 10.2116/analsci.28.121
- (9) S. Priyarega, P. Kalaivani, R. Prabhakaran, A. Endo, T. Hashimoto, K. Natarajan; Nickel(II) complexes containing thiosemicarbazone and triphenylphosphine: Synthesis, spectroscopy, crystallography and catalytic activity, *J. Molecular Structure*, 査読有, **102**, 2011, 58-62. DOI: 10.1016/j.molstruc.2011.06.046
- (10) A. Endo, H. Tsuboya, N. Fujita, Y. Ito, T. Hashimoto, and T. Hayashita; Preparation and electrochemical properties of novel cyclic dinuclear acetate ruthenium complexes doubly bridged with sulfur and/or disulfur, *Inorg. Chim. Acta*, 査読有, **373**,

2011, 142-149.

DOI: 10.1016/j.ica.2011.04.003

- (11) S. Nakajima, M. Masuko, A. Oosawa, T. Goto, T. Hashimoto, A. Endo, and T. Hayashita; NMR study on Ru-based quantum spin systems of $[\text{Ru}(\text{acac})_3]$ and $[\{\text{Ru}(\text{acac})_2\}_2(\mu\text{-OEt})_2]$, *J. Phys.: Cong. Ser.*, 査読有, **302**, 2011, 012008.
DOI: 10.1088/1742-6596/302/1/012008

〔学会発表〕(計 122 件)

- (1) 土戸優志・酒井ゆうき・相武慶介・佐藤諒・橋本剛・早下隆士, “ボロン酸型アゾプローブの自己組織化による糖認識”, 第 12 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム, 東工大大岡山キャンパス, 2014 年 5 月 31 日～6 月 1 日 (東京).
- (2) 佐々木あゆみ・野末真美・西尾純一・橋本剛・早下隆士, “近赤外領域での糖応答機能を有する (β -ジケトナト) ルテニウム錯体の開発”, 第 12 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム, 東工大大岡山キャンパス, 2014 年 5 月 31 日～6 月 1 日 (東京).
- (3) 澤田真希・小林広幸・片野航平・橋本剛・早下隆士, “リン酸イオン認識能を有するジピコリルアミン型金属錯体蛍光センサーの開発”, 第 12 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム, 東工大大岡山キャンパス, 2014 年 5 月 31 日～6 月 1 日 (東京).
- (4) K. Nonaka, M. Yasui, M. Yamaguchi, T. Hashimoto, T. Hayashita, “Development of ditopic type probe/cyclodextrin complex sensors possessing ion response function”, 17th International Cyclodextrin Symposium, Saarland University, May 29-31, 2014 (Germany).
- (5) 橋本剛・上村拓也・越野杏奈・佐藤一輝・土戸優志・早下隆士, “ジピコリルアミノ基配位金属錯体/シクロデキストリン複合体を用いたリン酸誘導体認識”, 第 74 回分析化学討論会, 日大工学部, 2014 年 5 月 24 日～25 日 (福島).
- (6) 澤田真希・小林広幸・片野航平・橋本剛・早下隆士, “ジピコリルアミン型蛍光センサーのアニオン認識機能に及ぼす構造効果”, 第 74 回分析化学討論会, 日大工学部, 2014 年 5 月 24 日～25 日 (福島).
- (7) 橋本剛・上村拓也・越野杏奈・佐藤一輝・土戸優志・早下隆士, “ジピコリルアミノ型アゾプローブ超分子複合体の設計とリン酸類認識機能評価”, 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋大学, 2014 年 3 月 27 日～30 日 (名古屋).
- 他 5 件 (2014 年)
- (13) 松田涼・遠藤明・橋本剛・早下隆士, “デンドリマー/ボロン酸ルテニウム錯体を用いた電気化学的糖認識”, 錯体化学会第 63 回討論会, 琉球大学千原キャンパス, 2013 年 11 月 2 日～4 日 (沖縄).

- (14) 上村拓也・竹下尚貴・橋本剛・早下隆士, “ジピコリルアミノ基を認識部位に有する超分子比色センサーの水中におけるイオン認識機能”, 第 3 回 CSJ 化学フェスタ 2013, タワーホール船堀, 2013 年 10 月 21 日～23 日 (東京).
- (15) 竹石友紀・小林広幸・橋本剛・早下隆士, “クマリン骨格を有するボロン酸型蛍光プローブ/シクロデキストリン複合体の糖認識機能評価”, 第 29 回日本イオン交換研究発表会, 東北大学青葉山キャンパス, 2013 年 10 月 17 日～18 日 (仙台).
- (16) 小谷彩華・上村拓也・佐藤一輝・橋本剛・早下隆士, “ドーパミン認識能を有する蛍光プローブ/ γ -シクロデキストリン超分子複合体の機能評価”, 第 30 回シクロデキストリンシンポジウム, くまもと県民交流館パレア, 2013 年 9 月 12 日～13 日 (熊本).
- (17) 橋本剛・早下隆士, “単糖の選択的認識機能を持つ超分子複合体の設計と機能評価”, 日本分析化学会第 62 年会, 近畿大学, 2013 年 9 月 10 日～12 日 (大阪).
- (18) K. Katano, K. Ogura, M. Samizo, T. Hashimoto, T. Hayashita, “Design and ion recognition function of dipicolylamine modified cyclodextrin for ATP sensing in water”, RSC Tokyo International Conference 2013, Makuhari Messe, September 5-6, 2013 (Chiba, Japan).
- (19) T. Hashimoto, M. Yamazaki, T. Yamada, J. Kondo, T. Hayashita, “Design and Evaluation of Supramolecular Sugar Separation Gel Using Soft Molecular Template Effect”, The Twelfth Asian Conference on Analytical Sciences (ASIANALYSIS XII), Kyushu University, August 22-24, 2013 (Fukuoka, Japan).
- (20) 橋本剛・山崎允史・山田泰士・石井宏幸・早下隆士, “ソフト分子鑄型効果を用いた超分子型糖分離シクロデキストリンゲルの開発と機能評価”, 第 10 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム, 和歌山大学栄谷キャンパス, 2013 年 5 月 25 日～26 日 (和歌山).
- (21) 岸直人・橋本剛・遠藤明・早下隆士, “金微粒子/フェロセン複合体を用いる電気化学的糖認識”, 第 73 回分析化学討論会, 北海道大学函館キャンパス, 2013 年 5 月 18 日～19 日 (北海道).
- 他 38 件 (2013 年)
- (60) 畠山靖祥・遠藤明・橋本剛・早下隆士, “クラウンエーテル含有ルテニウム二核錯体のアルカリ金属イオン認識機能評価”, 第 28 回日本イオン交換学会, 東工大大岡山キャンパス, 2012 年 10 月 18 日～19 日 (東京).
- (61) 橋本剛・木村佳世乃・北山麻子・遠藤明・早下隆士, “混合原子価状態の制御を

- 目指したルテニウム二核錯体の分子認識”, 錯体化学会第 62 回討論会, 富山大学五福キャンパス, 2012 年 9 月 21 日~23 日 (富山).
- (62) 古川智・北山麻子・橋本剛・遠藤明・早下隆士, “(β-ジケトナト) ルテニウム二核錯体の電解 EPR スペクトル”, 錯体化学会第 62 回討論会, 富山大学五福キャンパス, 2012 年 9 月 21 日~23 日 (富山).
- (63) 山崎允史・石井宏幸・橋本剛・早下隆士, “ソフト分子鑄型を用いた超分子型糖分離材料の開発”, 日本分析化学会第 61 年会, 金沢大学角間キャンパス, 2012 年 9 月 19 日~21 日 (石川).
- (64) N. Takeshita, T. Hashimoto, T. Hayashita, "Development of Supramolecular Dipicolylamine Azoprobe/Cyclodextrin Complex for Ion Recognition in Water", RSC Tokyo International Conference 2012, Makuhari Messe, Sep.6-7, (Chiba, Japan).
- (65) 竹石友紀・熊井未央・石丸雄大・橋本剛・早下隆士, “ボロン酸型蛍光プローブを用いたγ-シクロデキストリン複合体の糖認識機構の解明”, 第 29 回シクロデキストリンシンポジウム, 星薬科大学, 2012 年 9 月 6 日~7 日 (東京)
- (66) 上村拓也・三原徳子・橋本剛・早下隆士, “ドーパミン認識を目的とするアゾプローブ/γ-シクロデキストリン複合体超分子の開発とその機能評価”, 第 72 回分析化学討論会, 鹿児島大学郡元キャンパス, 2012 年 5 月 19 日~20 日 (鹿児島).
- 他 23 件 (2012 年)
- (90) 橋本剛・熊井美央・前田真理子・早下隆士, “ボロン酸蛍光プローブ/シクロデキストリン複合体の単糖に対する選択的認識機能”, 27 回日本イオン交換学会, シーガイアコンベンションセンター, 2011 年 11 月 25 日~26 日 (宮崎).
- (91) 三溝真梨子・橋本剛・早下隆士, “錯体型蛍光プローブ/シクロデキストリン複合体超分子センサーの設計と機能評価”, 日本分析化学会第 60 年会, 名大東山キャンパス, 2011 年 9 月 14 日~16 日 (愛知).
- (92) M. Samizo, K. Ogura, T. Hashimoto, T. Hayashita, “Design and Function of 2,2'-Bispyridylmethylamino Fluorescent Probe/Cyclodextrin Complex Sensors in Water”, 分析展 2011(第 49 回), 幕張メッセ国際展示場, 2011 年 9 月 7 日~9 日 (千葉).
- (93) 後藤佳世子・佐々木彰・橋本剛・早下隆士, “ロタキサン骨格を有するシクロデキストリン複合体センサーの設計と評価”, 第 28 回シクロデキストリンシンポジウム, 秋田ビューホテル, 2011 年 9 月 8 日~9 日 (秋田).
- (94) 丸山祐護・中田浩二・橋本剛・遠藤明・早下隆士, “シクロデキストリン修飾電極を用いた電気化学的分子認識”, 第 28 回

シクロデキストリンシンポジウム, 秋田ビューホテル, 2011 年 9 月 8 日~9 日 (秋田).

- (95) 山崎允史・橋本剛・早下隆士, “グルコース認識機能をもつプローブを用いた分離材料の開発”, 第 28 回シクロデキストリンシンポジウム, 秋田ビューホテル, 2011 年 9 月 8 日~9 日 (秋田).
- (96) 橋本剛・前田真理子・熊井未央・早下隆士, “ボロン酸型プローブ/シクロデキストリン複合体の選択的糖認識機能評価”, 第 7 回ホスト・ゲスト化学シンポジウム, 広島大学東広島キャンパス, 2011 年 5 月 28 日~29 日 (広島).
- (97) T. Hashimoto, Y. Igarashi, Y. Hatakeyama, A. Endo, T. Hayashita, "Spectroscopic and Electrochemical Alkali-Metal Ion Recognition by (β-Diketonato) Ruthenium Binuclear Complex Bridged by Phenylboronic Acid", IUPAC International Congress on Analytical Sciences 2011 (ICAS 2011), Kyoto International Conference Center, May 22-26, 2011 (Kyoto, Japan).
- 他 25 件 (2011 年)

[図書] (計 2 件)

- (1) 橋本剛, 早下隆士, "シクロデキストリンの科学と技術", 第 3 編第 9 章「シクロデキストリン複合体を用いる糖認識センサーの開発」, シーエムシー (寺尾 啓二, 池田 宰 監修), pp. 90-97, 2013 年 12 月.
- (2) 早下隆士, 遠藤明, 橋本剛他, 「分析化学用語辞典 (日本分析化学会編) [分担執筆]」, 全 451 頁, オーム社, 2012 年 10 月.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

橋本 剛 (HASHIMOTO, Takeshi)
上智大学・理工学部・助教
研究者番号: 20333049