

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 5 日現在

機関番号：32621

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21655030

研究課題名（和文） 分子識別機能を有する色素プローブ/ dendrimer 複合体の開発

研究課題名（英文） Development of Chromogenic Probe/Dendrimer Complexes for Molecular Discrimination

研究代表者

早下 隆士 (HAYASHITA TAKASHI)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：70183564

研究成果の概要（和文）：

本研究では、ポリアミドアミン dendrimer (PAMAM) 界面上へのフェニルボロン酸型アゾプローブまたはルテニウム錯体の自己集積機能を利用した、新しい糖認識システムの開発を行った。Dendrimer の世代や糖の種類に基づいて、フェニルボロン酸型プローブ/dendrimer 複合体の UV-vis 吸収スペクトルや電気化学応答が水中で選択的に変化する新しい化学センサーとして機能することが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we have developed new types of sugar recognition systems based upon self-assembly of boronic acid azoprobes or ruthenium complexes on the surface of polyamide amine dendrimer (PAMAM). The generation of PAMAM and the sugar species were found to selectively affect the UV-vis and electrochemical responses of phenylboronic acid probe/dendrimer complexes, providing a novel chemosensor functioned in water.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,300,000	0	1,300,000
2010 年度	900,000	0	900,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	3,100,000	270,000	3,370,000

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：糖鎖，識別機能，アゾ色素，化学センサー，ボロン酸，dendrimer，超分子

1. 研究開始当初の背景

色素間の励起子相互作用に基づく吸収スペクトルは、その空間構造配置である *H* 会合や *J* 会合構造で大きく異なる。我々はこの点に着目して、分子認識型の色素プローブを樹木状高分子として知られる dendrimer の表面に集積させた新しい応答原理の分析試薬を考案した。Fig. 1 に示すように、研究計画で示したボロン酸型アゾプローブ **1-BAzo-NP** をアミドコア型 dendrimer

(PAMAM) 界面に集積し、水中での糖認識機能を調べたところ、dendrimer の世代に依存して糖を識別できる特異なスペクトル応答が現れることを見出した。興味深いことに、dendrimer 界面が無い場合は **1-BAzo-NP** は応答を全く示さない。これは分子認識に基づく dendrimer 界面でのアゾ色素間の空間配置の変化により発現する新原理での応答と考えている。このような dendrimer 界面の特異機能を活用すれば、表面色素間の空間

配置変化で識別する全く新しい化学センサーの開発が期待できると考えた。

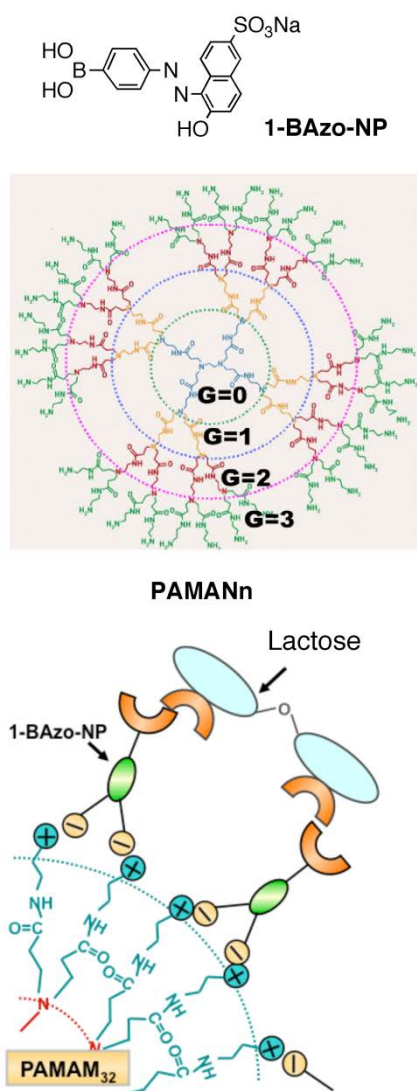


Fig. 1 Sugar-imprinting aggregate formation on the surface of 1-BAzo-NP/PAMAMn complexes in water.

2. 研究の目的

生体分子として重要な役割を担っている糖は、栄養素、代謝、細胞骨格保持に関与している。しかしながら、糖質はスペクトル的に感知できる官能基を有しておらず検出には困難が伴う。そのため生体中で適応可能な、水中で高度な応答能を有する人工糖認識センサーを開発することは生体内での糖の働きを明らかにし、また疾患予防や治療への応用が期待される。糖認識機能を有する色素プローブの集積場として、 dendrimer の表面は極めて都合がよい。界面での分子認識反応、色素集積場への基質の取り込み、および基質取り込みに基づく dendrimer 複合体の自己組織化など、様々な認識パターンを利用した新しいタイプの化学センサーの構築が期

待できる。そこで本研究では、分子認識部位にフェニルボロン酸を用いた糖認識機能を中心に、1) 静電相互作用に基づくボロン酸型アゾプローブ/dendrimer 複合体の機能、2) 化学結合に基づくボロン酸型アゾプローブ/dendrimer 複合体の機能、および3) ボロン酸認識部位を有するルテニウム錯体/dendrimer 複合体の糖認識機能を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず認識サイトにフェニルボロン酸基を有するアニオン性アゾ色素 1-BAzo-NP および 2-BAzo-NP を用いて、静電相互作用に基づく dendrimer 複合体の様々な糖に対する応答を、UV-vis 吸収スペクトル及び DLS (動的光散乱法) を用いて調べた。また、透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いて複合体の糖結合に依存した会合の様子を観察した。つぎに、化学結合型の dendrimer 複合体として、B-Azo-Cb/PAMAM を合成し、糖認識機能の比較を行った。また、B-Azo-Cb/PAMAM 複合体 (G4, G5) を埋設した多孔質酢酸セルロース膜をキャスト法により成膜し、その糖分離機能を調べた。最後に、 $[\text{Ru}^{\text{III}}(\text{acac})_2(4\text{-Bpy})(4\text{-Cpy})]\text{Cl}(1(3+))$ を合成し、その dendrimer 複合体の糖認識機能を評価を行うために、UV-vis 吸収スペクトル、サイクリックボルタンメトリー (CV)、微分パルスボルタンメトリー (DPV) の測定を行った。測定条件は、基準電極: $\text{Ag}|\text{AgCl}$ (3 mol dm^{-3} NaCl), 対極電極: Pt-wire, 作用電極: GCDE, 支持電解質: NaClO_4 で行った。

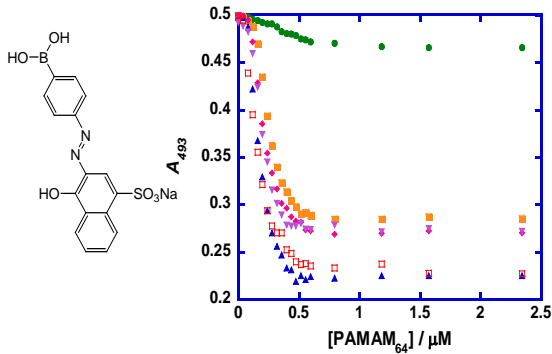
4. 研究成果

(1) 静電相互作用を利用するボロン酸型アゾプローブ/dendrimer 複合体センサーの機能評価

本研究では、 dendrimer 界面での静電相互作用が期待できるスルホ基を1つ有するフェニルボロン酸型アゾプローブ (2-BAzo-NP) の応答に対するアミノコア型 dendrimer の世代効果を調べ、スルホ基を2分子有する 1-BAzo-NP 応答に対するものと比較することにより、何故世代効果に依存した選択性が出るのかなど応答機構の解明を行った (Fig. 2)。各プローブの構造、及び dendrimer (G4) を添加していった際の糖応答能を調べた結果、1-BAzo-NP の場合、 dendrimer 表面へのプローブの集積が最大となる時、糖応答能も最大となった。しかし、2-BAzo-NP の場合、本来 dendrimer 表面へのプローブの集積が最大となる 1/2 の濃度で応答能が最大となった。これは、プローブが dendrimer 表面上の2つのサイトにわたって結合しているためと考えられる。これより、世代の大きいデ

ンドリマーでは更なる結合サイトの障害が示唆される。また、**2-BAzo-NP** の場合、さらに dendrimer を添加しても応答能が変わらないのに対し、**1-BAzo-NP** の場合には更なる dendrimer の添加と共に応答能が小さくなった。このことから、dendrimer との相互作用は **2-BAzo-NP** の方が強いと考えられる。またアゾプローブの種類と dendrimer 世代の違いによって、全く異なる糖選択性が発現することを見出すことができた。

(a) 2-BAzo-NP



(b) 1-BAzo-NP

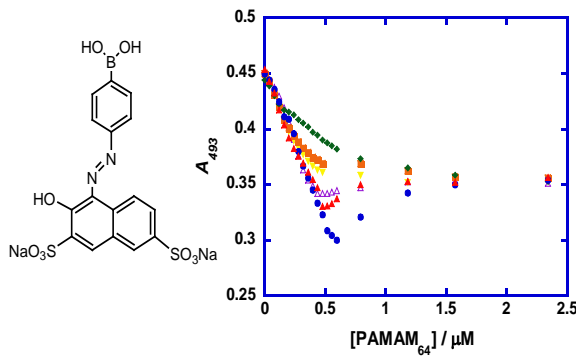


Fig. 2 Dependence of A_{493} adjusted at pH 7.0. [**1-BAzo-NP**] = 0.02 mM, and [H_3PO_4] = 1.0 mM. (\square) = 0 mM, (\blacktriangle glucose \blacktriangledown maltose \blacklozenge lactose \bullet fructose \blacksquare galactose) = 30 mM.

(2) 化学結合に基づくボロン酸型アゾプローブ/dendrimer複合体センサーの機能評価

(1) の研究において、末端にスルホ基を持つプローブ **1-BAzo-NP** はポリアミドアミン型の **PAMAM** dendrimer 上に静電的に集積させた際にプローブ同士の距離が制御されるため、dendrimer の世代により異なる糖応答能を示すことが明らかになった。しかし、この系ではプローブと dendrimer が静電的に結合しているため、pH 変化に弱いという欠点がある。そこで本研究では、**PAMAM** dendrimer 上に末端にカルボキシル基を持つボロン酸型アゾプローブ **B-Azo-Cb** を化学修飾した複合体 **B-Azo-Cb/PAMAM** 複合体を設計し、複合体の糖認識能評価、及び多孔質薄膜内に導入した際の糖分離能評価を目的とした (Fig. 3)。世代の異なる G4 及び G5 の

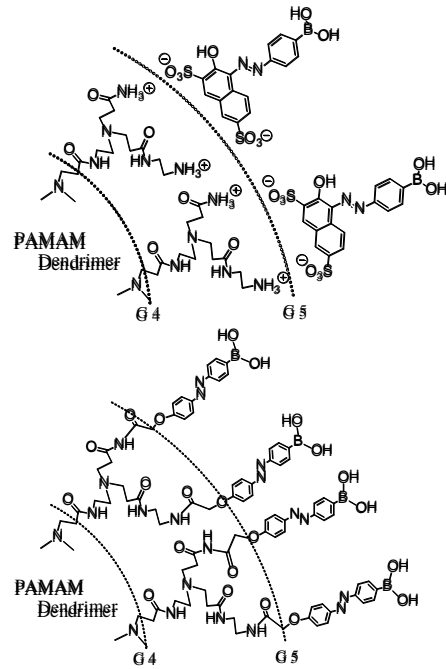


Fig. 3 Structure of (a) **1-BAzo-NP/PAMAM** complex (b) **B-Azo-Cb/PAMAM** complex.

B-Azo-Cb/PAMAM 複合体に対する糖応答能 (D-フルクトース、D-グルコース、D-ガラクトース) を調べたところ、全ての糖においてアゾ基由来の 340 nm 付近のピーク吸光度の減少が観察された。この減少は D-フルクトースに比べ D-グルコースや D-ガラクトースなどの二点認識の糖で顕著に見られていることから、糖を二点認識した際にアゾ基同士の距離が近くなり、隣接したアゾ基同士の会合が起きていると考えられる。これは G4 複合体に比べより密にアゾ基が集積している G5 複合体でこの吸光度の減少が大きいことから説明できる。また静電的な集積系と同様に、dendrimer の世代により異なる糖選択性が観察された。また dendrimer 複合体の応用展開として、**PAMAM** 複合体含有酢酸セルロース膜に対する糖透過量の時間変化を観察したところ、G4 では D-ガラクトース、D-グルコース、D-フルクトースの順で、G5 では D-グルコース、D-ガラクトース、D-フルクトースの順で糖の輸送能が大きい事を見出した。これは、原相と受相の pH 勾配によりボロン酸による固定キャリア型の輸送が起こるためと考えられる (Fig. 4)。

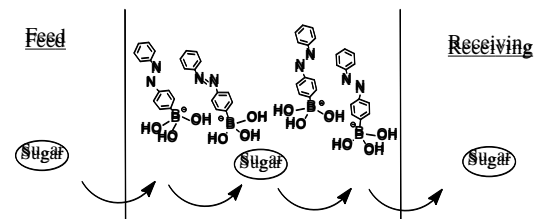


Fig. 4 Transport mechanism of sugars through cellulose acetate membrane containing **B-Azo-Cb/PAMAM** complex.

また興味深いことに、この糖分離能は溶液中での糖の認識機能と一致することが明らかとなった。

(3) ルテニウム錯体/ dendroliマー複合体を用いた電気化学的糖認識

本研究では、ボロン酸を糖認識部位に、カルボキシル基を dendroliマー修飾部位に持つルテニウム錯体 [Ru^{II}(acac)₂(4-Bpy)(4-Cpy)] (**1**(2+)) を合成し、その錯体を dendroliマー表面に自己集積させ、電気化学的手法により高度な糖応答機能を持つ人工系の糖認識センサーの設計について検討を行った (Fig. 5)。まず **1**(2+) と dendroliマー

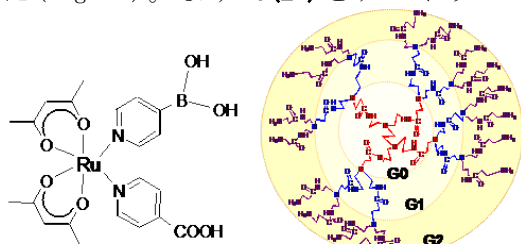


Fig. 5 Structure of ruthenium complex possessing boronic acid and PAMAM dendrimer.

(PAMAM₁₆(G2), PAMAM₃₂(G3), PAMAM₆₄(G4)) を組み合わせ、その複合体に各種糖を加えた際の酸化還元挙動について CV および DPV による解析を行った。錯体を dendroliマー表面に集積させる際に、**1**(3+) では dendroliマー上のアミノ基と Ru(III) 錯体の正電荷が反発し、集積の阻害が起こってしまう。そのため、電気化学測定はすべて定電位電解によって Ru(II) に還元した **1**(2+) を用いて行った。**1**(2+) にフルクトース、グルコースを添加していくと、Ru 由来の酸化波は負電位側へとシフトしていった。これより、電気化学測定を用いた糖認識機能の評価に成功したと言える。また、選択性はフルクトース > ガラクトース > グルコースの順であった。**1**(2+)/ dendroliマー (G2, G3, G4) 複合体にフルクトース、グルコースを添加した時の電気化学的挙動について調べた。G2, G3 複合体において、フルクトース添加に伴う電位シフトが観察された。また、G2 複合体においてのみ、グルコース添加に伴い、電位シフトが観察された。しかしながら、G4 複合体においてはフルクトース、グルコースどちらの添加においても顕著な電位シフトは観察されなかった。G2 複合体がどちらの糖に対しても応答を示したのは、ボロン酸部位が挟み込む形でグルコースを多点認識したためではないかと考えられる (Fig. 6)。一方、G4 複合体の場合には表面の密度が非常に高いため、立体障害が起こったと考えられる。これにより世代の異なる dendroliマーとボロン酸型錯体の組み合わせでは、表面の集積密度の違いにより糖認識機能が大きく変化することを電気化学的評価で明らか

にすることができた。

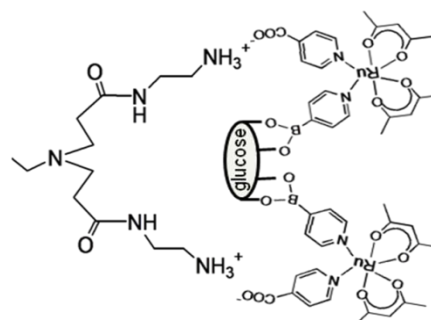


Fig. 6 Sensing image of Ru/PAMAM₁₆ (G2) complex.

以上の研究成果に加え、 dendroliマー界面の活用と類似のコンセプトを発展させ、金ナノ微粒子の界面に分子認識部位としてフェニルボロン酸、電気化学情報変換部位としてルテニウム錯体を適当なアルキルSpacerを介して導入した、ボロン酸型プローブ/金ナノ粒子複合体センサーの開発も行った。 dendroliマー複合体に比べ、電気化学応答感度の大きな糖認識センサーになることを見出している。これら機能海面の特異な分子認識空間の利用は、高度な分子認識システムを構築する上で極めて有用と言えるだろう。最後に、一緒に研究を頑張ってくれた研究室の学生諸氏に心より感謝申し上げたい。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 21 件)

- 1) T. Hashimoto, S. Oyaidu, T. Hayashita, "Design and Function of Novel Azoprobe Possessing Multipoint Binding Sites for Dopamine Recognition", *Bunseki Kagaku*, **61**, 213-219 (2012). (査読有)
DOI: 10.2116/bunsekikagaku.61.213
- 2) M. Kumai, S. Kozuka, M. Samizo, T. Hashimoto, I. Suzuki, T. Hayashita, "Glucose Recognition by Supramolecular Complex of Boronic Acid Fluorophore with Boronic Acid-Modified Cyclodextrin in Water", *Anal. Sci.*, **28**, 121-126 (2012). (査読有)
DOI: 10.2116/analsci.28.121
- 3) S. Priyarega, D. S. Raja, S. G. Babu, R. Karvembu, T. Hashimoto, A. Endo, K. Natarajan, "Novel binuclear palladium(II) complexes of 2-oxoquinoline-3-carbaldehyde Schiff bases: Synthesis, structure and catalytic applications", *Polyhedron*, **34**, 143-148 (2012). (査読有) DOI: 10.1016/j.poly.2011.12.017
- 4) N. Kunda, Sk. Md. T. Abtab, S. Kunda, A. Endo, S. J. Teat, and M. Chaudury, "Triple-Stranded helicates of Zinc(II) and Cadmium(II) involving a new redox-active multiring nitrogenous heterocyclic ligands:

- Synthesis, structure, and electrochemical and photophysical properties”, *Inorg. Chem.*, **51**, 2652-2661 (2012). (査読有)
DOI: 10.102/ic202595p
- 5) F. Sato, T. Hayashita, “Alkali Metal Ion Recognition by Amphiphilic Crown Ether Azoprobe-Cyclodextrin Complex in Water”, *Bunseki Kagaku*, **60**, 845-852 (2011). (査読有)
DOI: 10.2116/bunsekikagaku.60.845
- 6) N. Kundu, M. Maity, P. B. Chatterjee, S. J. Teat, A. Endo, and M. Chaudhury, “Reporting a Unique Example of Electronic Bistability Observed in the Form of Valence Tautomerism with a Copper(II) Helicate of a Redox-Active Nitrogenous Heterocyclic Ligand”, *J. Am. Chem. Soc.*, **133**, 20104-20107 (2011). (査読有)
DOI: 10.1021/ja2088986
- 7) A. Endo, H. Tsuboya, N. Fujita, Y. Ito, T. Hashimoto, T. Hayashita, “Preparation and Electrochemical Properties of Novel Cyclic Dinuclear Acetylacetonato Ruthenium Complexes Doubly Bridged with Sulfur and/or Disulfur”, *Inorg. Chim. Acta*, **373**, 142-149 (2011). (査読有)
DOI: 10.1016/j.jca.2011.04003
- 8) S. Nakajima, M. Masuko, A. Oosawa, T. Goto, T. Hashimoto, A. Endo, and T. Hayashita, “NMR study on Ru-based quantum spin systems of [Ru(acac)₃] and [{Ru(acac)₂]₂ (μ-OEt)₂]”, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **302**, 012008 (2011). (査読有)
DOI: 10.1088/1742-6596/302/1/012008
- 9) S. Priyarega, P. Kalaivani, R. Prabhakaran, A. Endo, T. Hashimoto, and K. Natarajan, “Nickel(II) Complexes Containing Thiosemicarbazone and Triphenylphosphine: Synthesis, Spectroscopy, Crystallography and Catalytic activity” *J. Molecular Structure*, **102**, 58-62 (2011). (査読有)
DOI: 10.1016/j.molstruc.201106.046
- 10) M. Nomura, T. Sasao, T. Hashimoto, T. Sugiyama, and M. Kajitani, “Structures and Electrochemistry of Monomeric and Dimeric CpCo(dithiolene) Complexes with Substituted Benzene-1,2-dithiolate Ligand”, *Inorg. Chim. Acta*, **363**, 3647-3653 (2010). (査読有)
DOI: 10.1016/j.jca.2010.05.005
- 11) M. Kumai, S. Kozuka, T. Hashimoto, and T. Hayashita, “Design of Boronic Acid Fluorophore/Aminated Cyclodextrin Complexes for Sugar Sensing in Water”, *J. Ion Exchange*, **23**(3), 249-254 (2010). (査読有)
- 12) Y. Fujii, N. Shima, T. Hashimoto, and T. Hayashita, “Chemosensor Possessing 2,2'-Bispyridylmethylamine Unit for Metal Ion Recognition in Water”, *J. Ion Exchange*, **23**(3), 245-248 (2010). (査読有)
- 13) M. Furumichi, C. Shimpuku, R. Ozawa, A. Sasaki, F. Sato, T. Hashimoto, and T. Hayashita, “Design of Boronic Acid Azoprobe/γ-Cyclodextrin Complexes for Glucose Recognition in Water”, *J. Ion Exchange*, **23**(3), 255-258 (2010). (査読有)
- 14) T. Hashimoto, Y. Igarashi, M. Matsumoto, A. Endo, T. Goto, and T. Hayashita, “Spectroscopic and Electrochemical Sugar Recognition by (β-diketonato)Ruthenium Binuclear Complex Bridged by Phenylboronic Acid”, *J. Ion Exchange*, **23**(3), 259-263 (2010). (査読有)
- 15) T. Hayashita, D. Fujita, T. Hashimoto, A. Endo, H. Zhao, K. Odagiri, S. Takahashi, M. M. Mohamad and N. Teramae, “Design of Benzo-15-crown-5 Azoprobe/γ-Cyclodextrin Complexes for Alkali Metal Ion Recognition in Water”, *ARKIVOC*, 2010 (vii), 203-206. (査読有)
- 16) K. Itatani, S. Ikegami, T. Hayashita, I. J. Davies, T. Umeda, Y. Musha and S. Koda, “Preparation of Porous Spherical Hydroxyapatite Agglomerates Interacted with Cyclodextrin”, *Phosphorus Research Bulletin*, **24**, 54-61 (2010). (査読有)
DOI: 10.3363/prb.24.54
- 17) Y. Sakai, K. Kadota, T. Hayashita, R. W. Cattrall, and S. P. Kolev, “The Effect of the Counter Anion on the Transport of Thiourea in a PVC-Based Polymer Inclusion Membrane Using Capriquat as Carrier”, *J. Membr. Sci.*, **346**, 250-255 (2010). (査読有)
DOI: 10.1016/j.memsci.2009.09.038
- 18) S. Koda, Y. Miura, H. Uchida, K. Itatani, A. Endo, “Pulsed-laser Irradiation of Carbaceous Materials in AgNO₃ Solution and Its Application to Preparing Silver-activated”, *Chem. Lett.*, **39**(6), 561-563 (2010). (査読有)
DOI: 10.1246/cl.2010.561
- 19) M. MuthuTamizha, B. Vargheseb, A. Endo, R. Karvembu, “NMR (1D and 2D) and X-ray Crystallographic Studies of Ni(II) Complex with N-(2-Mercaptophenyl)-4-methoxysalicylideneimine and triphenylphosphine”, *Spectrochim. Acta Part A*, **77**, 411-418 (2010). (査読有) DOI: 10.1016/j.saa.2010.06.004
- 20) C. Shimpuku, R. Ozawa, A. Sasaki, F. Sato, T. Hashimoto, A. Yamauchi, I. Suzuki, and T. Hayashita, “Selective Glucose Recognition by Boronic Acid Azoprobe/γ-Cyclodextrin Complexes in Water”, *Chem. Commun.*, 1709-1710 (2009). (査読有)
DOI: 10.1039/b819938h

他 1 件 (2009 年)

[学会発表] (計 113 件)

- 1) 片野航平, 小倉景子, 三溝真梨子, 橋本 剛, 早下隆士, “ジピコリルアミノ型蛍光プローブ/シクロデキストリン複合体センサーの設計とイオン認識機能”, 日本化学会第 92 春季年会, 慶應義塾大学日吉キャンパス, 2012 年 3 月 25 日~28 日 (神奈川).
- 2) T. Hayashita, M. Kumai, S. Kozuka, R. Ozawa, T. Hashimoto, “Design and Function of Supramolecular Cyclodextrin Complex Sensors for Glucose Recognition in Water”, The Third Asian Spectroscopy Conference, Nov.28-Dec. 1, 2011. Xiamen, China.
- 3) 黒木友里恵, 峯坂宏幸, 橋本剛, 遠藤明, 早下隆士, “デンドリマー/ルテニウムピリジン錯体複合体を用いた電気化学的分子認識(IP-127)” 第 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)
他 30 件 (2011 年)
- 34) H. Minesaka, T. Hashimoto, A. Endo, T. Hayashita, “Electrochemical sugar recognition using ruthenium/dendrimer complexes (ANYL-287)”, Pacificchem 2010, 2010 年 12 月 15 日~20 日 (Hawaii).
- 35) N. Mihara, S. Oyaidu, T. Hashimoto, T. Hayashita, “Sugar Sensing by Boronic Acid Azoprobe/Cyclodextrin Complexes (ANYL-284)”, Pacificchem 2010, 2010 年 12 月 15 日~20 日 (Hawaii).
- 36) M. Furumichi, C. Shimpuku, R. Ozawa, A. Sasaki, F. Sato, T. Hashimoto, and T. Hayashita, “Design of Boronic Acid Azoprobe/ γ -Cyclodextrin Complexes for Glucose Recognition in Water (2P-05)”, 5th International Conference on Ion Exchange, メルボルン大学, 2010 年 7 月 18 日~20 日 (メルボルン).
他 43 件 (2010 年)
- 80) 峯坂宏幸, 佐藤諒, 豊住英司, 遠藤明, 早下隆士, “デンドリマー上に集積させたルテニウム錯体の電気化学特性”, 第 59 回錯体化学討論会, 長崎大学文教キャンパス, 2009 年 9 月 25 日~27 日 (長崎).
- 81) 小塚里子, 熊井未央, 橋本剛, 三浦真知美, 石丸雄大, 早下隆士, “ボロン酸型蛍光プローブ/修飾シクロデキストリン複合体の糖認識機能評価”, 日本分析化学会第 58 年会, D3008, 2009 年 9 月 24 日~9 月 26 日 (北海道).
- 82) 橋本剛, 関根浄幸, 前田真理子, 新福千枝, 小澤りみ子, 早下隆士, “グルコース認識能を有する超分子シクロデキストリン複合体センサーの開発”, 第 26 回シクロデキストリンシンポジウム, 栃木県総合文

化センター, 2009 年 9 月 9 日~10 日 (栃木).

- 83) 酒井ゆうき, 土戸優志, 橋本剛, 早下隆士, “デンドリマー表面へのボロン酸型アゾプローブの自己組織化と糖認識機能”, 日本化学会第 89 春季年会, 日大理工学部, 2009 年 3 月 27 日~30 日 (千葉).
他 30 件 (2009 年)

[図書] (計 6 件)

- 1) 早下隆士, 遠藤明, 橋本剛, 他, オーム社, 分析化学用語辞典 (日本分析化学会編), 2011, 145.
- 2) 早下隆士, 丸善, 「有機系試料処理の基本」, 分析化学便覧, 改訂 6 版 (日本分析化学会編), 2011, 第 3 章, pp. 78-86.
- 3) R. Karvembu and A. Endo, “Synthesis and Electrochemical Properties of Binuclear Complexes with Bridging Ligands”, Handbook of Inorganic Chemistry Research, Nova Science Publishers, 2010, 1-26.
- 4) 立花和宏, 立間徹, 遠藤明, 他, “インピーダンスの測定ノウハウとデータ解析の進め方”, (株) 技術情報協会, 2009, 16-28.
- 5) 早下隆士, “図解-最先端イオン交換技術のすべて” 第 3 章 8 節「イオン認識と超分子」, 工業調査会, (神崎 愷監修, 日本イオン交換学会編), 2009, pp. 160-163.
- 6) 橋本剛, 早下隆士, “超分子サイエンス&テクノロジー” 第 1 章 3 節「クラウンエーテルによる分子認識と超分子形成」, NTS (国武豊喜監修), 2009, pp. 75-82.

[その他]

研究室ホームページ:

<http://www.mls.sophia.ac.jp/analysis/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

早下 隆士 (HAYASHITA TAKASHI)
上智大学・理工学部・教授
研究者番号: 70183564

(2) 研究分担者

遠藤 明 (ENDO AKIRA)
上智大学・理工学部・准教授
研究者番号: 00119124

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