

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686074

研究課題名(和文)新規蛍光分子を用いた環境水のオンサイト分析に耐えうるイオン一斉分析システムの開発

研究課題名(英文)Development of onsite multi analysis system for ions in aquatic samples based on novel fluoroionophores

研究代表者

佐藤 久(Sato, Hisashi)

北海道大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80326636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,600,000円、(間接経費) 6,180,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、環境サンプル(環境水・排水)中のイオンをオンサイトで一斉分析できる、新規の技術(蛍光ナノマテリアル)を用いた分析システムを開発する。具体的には、既存のイオン分析技術の欠点を補える、新規の分析技術を提案する。多種多様な懸濁物や有機物を含む、極めて複雑な分析対象である環境サンプル中のイオンの、オンサイト一斉分析に耐えうる新規のイオン分析システムを開発する。開発した蛍光ナノマテリアルを用いて、路面排水中および工場排水中のZn濃度を、ICP-AESで測定した値と高い相関を持って定量できた。

研究成果の概要(英文)：Fluorescence spectroscopy has great potential for on-site and real-time monitoring of pollutants in aquatic environments; however, its application to environmental aquatic samples has been extremely limited. In this study, a novel fluoroionophore based on a BODIPY-terpyridine conjugate was developed and applied to determine Zn concentrations in urban runoff. The fluoroionophore selectively bound to Zn<sup>2+</sup> in water. Zn concentrations could be quantified using the ratio of fluorescence intensities, and the detection limit was 9 µg/L, which is sufficiently low for environmental aquatic samples. To demonstrate applicability of the method to environmental samples, we measured Zn concentrations in urban runoff samples with a complex matrix. The total and dissolved fractions of Zn in the samples could be determined by fluorescence spectroscopy and its relative error was estimated to be less than 30% by inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy analysis.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：センサ

### 1. 研究開始当初の背景

重金属、硝酸・亜硝酸、フッ素、ホウ素は過剰に摂取すると健康を害するため、我が国やWHOの水道水質基準項目に含まれている。これら微量汚染物質の発生源としては、地下水や廃坑や温泉といった自然起源、各種産業で使用された廃水の不適切な処理といった人為起源が考えられる。汚染事例は国内よりも海外に多い。特にBRICs諸国に代表される経済発展が著しい国では、処理が不十分な排水が環境中に流出している。インドやバングラデシュの地下水のヒ素汚染は、現在最も深刻な水質汚染例の一つである。

これら微量汚染物質は低濃度でも甚大な健康被害をもたらす。従って、WHO飲料水水質ガイドラインの基準値は、例えばCd=0.003 mg/L、Pb=0.01 mg/L、Hg=0.006 mg/Lと、極めて低濃度である。また環境省は、水生生物保全の観点から河川と湖沼の全Zn濃度の水質環境基準を0.03 mg/Lと設定している。

現在これらの微量汚染物質はICP、原子吸光、液体クロマトグラフなどの大型の分析装置によって測定されている。これらの装置は、オンサイトで分析ができない、分析精度は高いが分析に時間がかかる、分析に膨大なコストがかかる、などの問題がある。オンサイト分析法として、ボルタンメトリー法、電気化学的分析法、比色法などがある。これらの方法は検出限界値が高い、一斉分析できない、他の物質の阻害を受ける、といった問題がある。すなわち、既存の技術では、環境水中(水道水源、排水、河川水、湖沼水など)の微量汚染物質をオンサイトで頻繁にモニタリングし、汚染が確認された場合に迅速に対応することは不可能である。

### 2. 研究の目的

本研究では、微量汚染物質(特に有害イオン)を、オンサイトで簡便に一斉分析できる、ナノマテリアルをコア技術とする新規の分析システムを開発する。ICPのような高い分析精度は目標にせず、簡便な前処理(ろ過や酸処理)のみで、低コストで、オンサイトで、複数の有害イオンを同時にスクリーニングできる(水質基準を超過していることは確実に判別できる)システムを目指す。

### 3. 研究の方法

(1)新規イオン認識蛍光ナノマテリアルの合成:合成済みのナノマテリアルに加えて、3種類のナノマテリアルを新規に合成する。ナノマテリアルは蛍光分子と有害イオンを選択的に補足するキレートからなる。蛍光分子はポロジピロメテンとする。次にキレートを有機合成する。最後に鈴木カップリング反応により蛍光分子とキレートを結合させる。蛍光分子は全てのナノマテリアルに共通である。既に大量合成しており多量のストックがある。従って、新たに行うことはキレ

ト部分の開発と合成のみであり、合成後にこの共通蛍光分子に各種キレートを鈴木カップリング反応で結合するだけでよい。この工夫により研究スピードを飛躍的に早めることができる。

ナノマテリアルの特性評価:ナノマテリアルをアセトニトリルに溶かす(濃度1 $\mu$ M)。この溶液に、Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Cu<sup>2+</sup>、Fe<sup>2+</sup>、Fe<sup>3+</sup>、Mn<sup>2+</sup>、Pb<sup>2+</sup>、Hg<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup>、Cr<sup>3+</sup>の各水溶液(濃度50 $\mu$ M)を添加し、蛍光スペクトルを測定する。この結果から、蛍光特性(イオン選択性、各イオンの蛍光強度、強度が最大となる波長)を明らかにする。選択性の高かったイオンについて検量線を作成する。滴定実験から結合定数を求める。キレートの選択性が悪い、または結合定数が小さい場合は、有機合成化学分野のキレートのデータベースから、新たなキレートを選定する。

(2)光検出型化学センサの開発:ナノマテリアルをガラス基板上に固定し、光検出型化学センサを開発する。固定はポリ塩化ビニル(PVC)による物理的包括固定法とする。ガラスへの付着力が弱い場合は、シランカップリングによる化学的固定法、ゾルゲル固定化法、水和ゲル固定化法を試みる。固定後、ナノマテリアル固定化ガラスの裏側から光ファイバーを用いて励起光を照射する。得られた蛍光を別の光ファイバーを用いて蛍光分光光度計に送り蛍光スペクトルを解析することで、光検出型化学センサとする。

センサをイオン標準液に長時間浸し、センサの耐久性を明らかにする。有害イオン標準液に様々な濃度の阻害物質(SS、フミン質、有機酸、pH)を添加し、各標準溶液にセンサを浸すことで、阻害物質の影響を明らかにする。センサを環境サンプル(水道水源、排水、河川水、湖沼水など)に適用し、長期連続分析に耐えるセンサか否かを明らかにする。

(3)複数の有害イオンの同時定量システムの開発:5種類のナノマテリアルをガラス基板上に固定することでアレイセンサを製作する。アレイと分光器を光ファイバーでつなげ、分析システムを構築する。様々なイオンを様々な濃度に調整した標準溶液を用いて、蛍光スペクトルのデータベースを作成する。データベースを既存のニューラルネットワークによる解析ソフトを用いて解析し、複数の有害イオンの一斉分析(種の同定と定量)の可能性を検討する。このデータベースを検量線として、各種イオンを含む(または添加した)環境水サンプル(水道水源、排水、河川水、湖沼水など)に本システムを適用し、環境サンプル中の有害イオン一斉分析に耐えるシステムか否かを明らかにする。

### 4. 研究成果

(1)フルオロイオノフォアのZn<sup>2+</sup>応答性:本研究グループが開発したフルオロイオノフォアは蛍光色素母骨格である4,4-difluoro-4-

bora-3a,4a-diaza-s-indacene (通称 BODIPY)と 2,2':6',2''-terpyridine 金属イオンレセプターで構成される。BODIPY 蛍光色素は吸収および蛍光スペクトルバンド幅が狭いため鮮やかな色調を示し、モル吸収係数ならびに蛍光量子収率が高いといった、優れた光学特性をもつ。また、光化学的安定性も高い有機分子である。一方、Terpyridine は金属イオン配位子として知られており、特に  $Zn^{2+}$  と強く結合することが報告されている。本フルオロイオノフォアは  $Zn^{2+}$  と錯形成することで蛍光極大波長が 539 nm から 567 nm へと長波長シフトする波長変化型のフルオロイオノフォアである。すなわち、 $Zn^{2+}$  濃度の増加に伴い 539 nm の蛍光強度 ( $F_{539}$ ) が減衰する一方、567 nm の蛍光強度 ( $F_{567}$ ) は増加するレシオメトリック型のスペクトル変化を示す。この二波長の蛍光強度比 ( $F_{567}/F_{539}$ ) を  $Zn^{2+}$  濃度に対しプロットすることで検量線を得た。 $Zn^{2+}$  が 0 から 150  $\mu\text{g/L}$  の濃度範囲において  $F_{567}/F_{539}$  が 0.28 から 2.65 に増加した。各濃度における測定地の標準偏差は 1% 以下であった。検出限界は 9  $\mu\text{g/L}$  ( $3\sigma/\text{slope}$ ) であり、定量可能な  $Zn^{2+}$  の濃度範囲は 30  $\mu\text{g/L}$  から 6.5  $\text{mg/L}$  であった。レシオメトリック型のフルオロイオノフォアは単一波長での消光型または蛍光増強型のフルオロイオノフォアと比較し定量性が高いことが知られている。これは二波長の強度比は光源強度の変動あるいは機器感度に影響を受けないためである。

(2)フルオロイオノフォアの  $Zn^{2+}$  選択性および pH による影響：フルオロイオノフォアの  $Zn^{2+}$  選択性を評価するため、その他の金属イオンによる阻害効果を検討した。その結果、フルオロイオノフォアは  $Na^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $K^+$  および  $Ca^{2+}$  といったアルカリ金属イオンおよびアルカリ土類金属イオンには反応せず、蛍光スペクトルは変化しなかった。 $Mn^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$  および  $Pb^{2+}$  に関しても蛍光スペクトルの有意な変化は見られなかった。一方、 $Cd^{2+}$  を添加した際には蛍光強度比の有意な増加が確認された。これは  $Cd^{2+}$  と  $Zn^{2+}$  の化学的性質が類似しているため、フルオロイオノフォアが  $Cd^{2+}$  にも結合し、蛍光スペクトルが長波長シフトしたためである。しかしながら  $Cd^{2+}$  を含む試料中にさらに  $Zn^{2+}$  を添加すると、蛍光スペクトルはさらに 6 nm ほど長波長シフトし、 $Zn^{2+}$  のみを添加した溶液の蛍光スペクトルと完全に一致し、蛍光強度比はさらに増加した。すなわちフルオロイオノフォアは  $Cd^{2+}$  よりも  $Zn^{2+}$  への選択性が高いことが明らかとなった。 $Fe^{2+}$ 、 $Ni^{2+}$  および  $Cu^{2+}$  はフルオロイオノフォアに対して消光作用を示した。しかしながら  $Ni$  に関しては  $Zn^{2+}$  を添加することで蛍光が回復した。 $Cu$  および  $Fe$  はその常磁性から様々なフルオロイオノフォアに対しエネルギー移動や電子移動を起こすことで著しい消光作用を示すことが知られて

いる。本研究で使用したフルオロイオノフォアに対してもこれら金属イオンは消光作用を示し、 $Zn^{2+}$  が共存する系においても蛍光は回復しなかった。

つづいて試料の pH が蛍光スペクトルに与える影響を検討した。その結果、 $\text{pH}=3.5$  以下の試料では蛍光スペクトルのシフトは確認されず、539 nm の蛍光強度が著しく低下した。これは Terpyridine 部位にプロトンが付加したためであると考えられる。以上の結果から分析試料の pH は 4 以上とし、pH の変動は抑制することが望ましい。

(3)蛍光分光法による工場廃水中  $Zn^{2+}$  の定量：本研究では 6 種類の実廃水試料に蛍光分光法を適用した。これら廃水試料中の  $Zn^{2+}$  を定量するため、各試料を塩酸処理後に希釈した後、フルオロイオノフォアを添加し蛍光分光分析を行った。その結果、試料 2 および試料 5 の  $Zn^{2+}$  濃度を定量することができ、それぞれ 810  $\text{mg/L}$  および 0.57  $\text{mg/L}$  と算出された。この値を ICP 発光分光分析で求めた値と比較すると誤差は約 20% であった。試料 2 に関しては  $Zn$  だけでなく  $Ni$  も高濃度で含まれていたが、試料中の  $Zn^{2+}$  を定量することができた。また、試料 5 に関しては、 $Cr$  に対して  $Zn$  が極めて低濃度であるにもかかわらず蛍光分光法を適用できた。選択性試験の結果では  $Cr^{3+}$  と  $Zn^{2+}$  が共存する系では蛍光強度比の減少が見られたが、 $Cr$  を過剰に含む工場廃水中の  $Zn^{2+}$  を定量できた原因として、試料中の  $Cr$  が 3 価の陽イオンとして存在しておらず、妨害効果を示さなかったことが考えられる。このように本研究グループで新規に開発したフルオロイオノフォアを用いることで蛍光分光法により実廃水試料中の亜鉛イオンを誤差 20% 以内で定量できた。試料 2 および 5 以外の合計 4 つのサンプルに関しては、消光作用を示す  $Fe$  または  $Cu$  が高濃度で含まれており、 $Zn^{2+}$  濃度を定量することができなかった。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

(1) Akira Hafuka, Hiroaki Yoshikawa, Koji Yamada, Tsuyoshi Kato, Masahiro Takahashi, Satoshi Okabe, Hisashi Satoh Application of fluorescence spectroscopy using a novel fluoroionophore for quantification of zinc in urban runoff. Water Research. 54(1), 2014, 12–20. (査読有り)

(2) 羽深 昭、吉川 弘晃、大屋 光平、山田 幸司、高橋 正宏、岡部 聡、佐藤 久 フルオロイオノフォアを用いた蛍光分光法による工場廃水中  $Zn^{2+}$  の定量. 土木学会論文集 G(環境). 69(7), 2013, 275–279. (査読有り)

(3) Akira Hafuka, Hiroki Taniyama, Sang-Hyun Son, Koji Yamada, Masahiro Takahashi, Satoshi Okabe, and Hisashi Satoh BODIPY-based ratiometric fluoroionophores with bidirectional spectral shifts for the selective recognition of heavy metal ions. Bulletin of the Chemical Society of Japan. 86(1), 2013, 37-44. DOI: 10.1246/bcsj.20120235 ( 査読有り )

〔学会発表〕(計 37 件)

1. 羽深 昭・吉川 弘晃・大屋 光平・瀧谷 明義・山田 幸司・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 重金属簡易分析に向けた蛍光指示薬の開発. 第 48 回日本水環境学会年会. 東北大学・仙台(20140318)
2. 吉川 弘晃・羽深 昭・山田 幸司・加藤 毅・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 フルオロイオノフォアを用いた蛍光分光法による路面排水中亜鉛の定量. 第 48 回日本水環境学会年会. 東北大学・仙台(20140318)
3. 瀧谷 明義・吉川 弘晃・羽深 昭・山田 幸司・鈴木 裕子 岩淵 拓也・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 変色型蛍光素を用いた環境試料中の重金属簡易分析. 第 48 回日本水環境学会年会. 東北大学・仙台(20140318)
4. 大屋 光平・羽深 昭・吉川 弘晃・瀧谷 明義・高橋 正宏・佐藤 久 蛍光分子プローブを用いた路面排水中亜鉛分析. 土木学会北海道支部年次技術研究発表会. 札幌コンベンションセンター・札幌(20140202)
5. 吉川 弘晃・羽深 昭・大屋 光平・瀧谷 明義・山田 幸司・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 新規変色型蛍光色素を用いた環境水中重金属イオン分析. 化学系学協会北海道支部 2014 年冬季研究発表会. 北海道大学・札幌(20140129)
6. 羽深 昭・吉川 弘晃・大屋 光平・山田 幸司・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 フルオロイオノフォアを用いた蛍光分光法による工場廃水中 Zn<sup>2+</sup>の定量. 第 50 回環境工学研究フォーラム. 北海道大学・札幌(20131120)
7. H. Satoh, A. Hafuka, H. Yoshikawa, K. Ohya, K. Yamada, M. Takahashi, S. Okabe 2013. Development of a fluorescent indicator for zinc ion and its application to aquatic samples. IWA Metals 2013. November 6-9, 2013, Shanghai, China.
8. H. Satoh, A. Hafuka, R. Kandoh, H. Yoshikawa, K. Ohya, K. Yamada, M. Takahashi, S. Okabe 2013. Improvement of Performance of Fluorescent Molecular Sensors for

Heavy Metal Ions by Theoretically Designing. ica2013. 18-20 Sep. 2013, Narbonne, France.

9. A. Hafuka, H. Yoshikawa, K. Yamada, M. Takahashi, S. Okabe, H. Satoh 2013. Development of a fluorescent indicator for zinc ion and its application to urban runoff Samples. ica2013. 18-20 Sep. 2013, Narbonne, France.
10. 羽深 昭・吉川 弘晃・大屋 光平・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久・山田 幸司 重金属イオンの識別に向けた波長応答型ポロジピロメテン蛍光色素の開発. 2013 年光化学討論会. 愛媛大学・松山(20130912)
11. 吉川 弘晃・羽深 昭・大屋 光平・瀧谷 明義・山田 幸司・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 蛍光変色型ポロジピロメテンセンサーを用いた重金属含有廃水の分析. 日本分析化学会第 62 年会. 近畿大学・東大阪(20130911)
12. 大屋 光平・羽深 昭・吉川 弘晃・山田 幸司・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 鈴木 カップリングと芳香族求核置換反応を活用した蛍光変色型ポロジピロメテンセンサーの開発. 日本分析化学会第 62 年会. 近畿大学・東大阪(20130911)
13. 山田 幸司, 菅藤 亮輔, 羽深 昭, 吉川 弘晃, 佐藤 久 重金属イオンの種類によって異なる波長応答を示す汎用的蛍光イオンセンサーの設計と合成. 日本分析化学会 第 73 回分析化学討論会. 北海道大学・函館(20130518)
14. 羽深 昭, 吉川 弘晃, 山田 幸司, 高橋 正宏, 岡部 聡, 佐藤 久 変色型ポロジピロメテン蛍光色素を用いた路面排水中 Zn<sup>2+</sup>濃度の定量. 日本分析化学会 第 73 回分析化学討論会. 北海道大学・函館(20130518)
15. 菅藤 亮輔, 羽深 昭, 吉川 弘晃, 大屋 光平, 山田 幸司, 高橋 正宏, 岡部 聡, 佐藤 久 新規変色型蛍光色素を用いた路面排水中亜鉛濃度の定量. 第 47 回日本水環境学会年会. 大阪工業大学・大阪(20130312)
16. 吉川 弘晃, 羽深 昭, 菅藤 亮輔, 大屋 光平, 山田 幸司, 高橋 正宏, 岡部 聡, 佐藤 久 網羅的重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発. 第 47 回日本水環境学会年会. 大阪工業大学・大阪(20130312)
17. 吉川 弘晃, 羽深 昭, 菅藤 亮輔, 大屋 光平, 高橋 正宏, 佐藤 久 新規蛍光分子プローブを用いた環境水中重金属イオン分析. 土木学会北海道支部. 函館高専・函館(20130202)
18. Hisashi Satoh. (Invited Speaker) Development of a fluorescent molecular probe for heavy metal ion analysis in aquatic samples. Second International Conference on Small Science, Orlando

- USA, Dec. 16-19, 2012.
- 19.菅藤 亮輔、羽深 昭、吉川 弘晃、大屋光平、山田 幸司、高橋 正宏、岡部 聡、佐藤 久 新規蛍光分子プローブを用いた環境水中重金属イオン分析. 第 49 回環境工学研究フォーラム. 京都大学・京都 (20121129)
  - 20.吉川 弘晃・菅藤 亮輔・羽深 昭・山田幸司・高橋 正宏・岡部 聡・佐藤 久 新規変色型蛍光色素を用いた路面排水中亜鉛濃度の定量. 日本分析化学会第 61 年会. 金沢大学・金沢(20120919)
  - 21.Akira Hafuka, Hiroki Taniyama, Koji Yamada, Masahiro Takahashi, Satoshi Okabe, Hisashi Satoh. 2012. Development of fluorescent molecular probes for analysis of heavy metal ions in aquatic samples. IWA World Water Congress. 16-21 Sep. 2012, Busan, Korea.
  - 22.Hisashi Satoh, Akira Hafuka, Koji Yamada, Masahiro Takahashi and Satoshi Okabe 2012. Development of a Fluorescent Molecular Probe for Analysis of Zinc Ion in Aquatic Samples. ACEM'12. Seoul, Korea. (20120828)
  - 23.菅藤亮輔・吉川弘晃・谷山拓生・羽深 昭・山田幸司・高橋正宏・岡部 聡・佐藤 久 重金属センサアレイに向けた変色型ポロンジピロメテン蛍光色素群の開発. 第 72 回分析化学討論会. 鹿児島大学・鹿児島 (20120519)
  - 24.羽深昭、谷山拓生、菅藤亮輔、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "新規変色型蛍光色素を用いた亜鉛イオン分析" 第 46 回日本水環境学会年会. (20120316). 東洋大学(東京)
  - 25.谷山拓生、羽深昭、菅藤亮輔、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "新規変色型蛍光色素を用いた環境サンプル中の重金属イオン分析" 第 46 回日本水環境学会年会. (20120316). 東洋大学(東京)
  - 26.菅藤亮輔、羽深昭、谷山拓生、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "網羅的重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発" 第 46 回日本水環境学会年会. (20120316). 東洋大学(東京)
  - 27.吉川弘晃、羽深昭、谷山拓生、菅藤亮輔、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "新規変色型蛍光色素を用いたクロムイオン分析" 第 46 回日本水環境学会年会. (20120316). 東洋大学(東京)
  - 28.羽深昭、谷山拓生、菅藤亮輔、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "新規蛍光色素を用いた重金属イオン分析" 土木学会北海道支部平成 23 年度年次技術発表会. (20120202). かでる 2・7(札幌)
  - 29.菅藤亮輔、吉川弘晃、谷山拓生、羽深昭、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "変色型ポロンジピロメテン蛍光色素を用いた重金属イオン分析" 化学系学協会北海道支部 2012 年冬季研究発表会. (20120201). 北海道大学(札幌)
  - 30.羽深昭、谷山拓生、菅藤亮輔、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "新規蛍光色素を用いた重金属イオン分析" 第 48 回環境工学研究フォーラム. (20111125). 大同大学(名古屋)
  - 31.菅藤亮輔、羽深昭、谷山拓生、吉川弘晃、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "重金属イオン分析に向けた新規蛍光色素の開発" 第 48 回環境工学研究フォーラム. (20111125). 大同大学(名古屋)
  - 32.Akira Hatuka, Hiroki Taniyama, Koji Yamada, Masahiro Takahashi, Satoshi Okabe, Hisashi Satoh "Development of fluorescent molecules for heavy metal ions analysis" The 4th IWA-ASPIRE Conference & Exhibition. (20111005). 東京国際フォーラム(東京)
  - 33.羽深昭、谷山拓生、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "新規変色型蛍光色素を用いた水サンプル中重金属イオンの簡易分析" 第 66 回土木学会年会. (20110909). 愛媛大学(松山)
  - 34.谷山拓生、羽深昭、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "オンサイト重金属イオン分析に向けた新規変色型蛍光色素の開発" 第 66 回土木学会年会. (20110909). 愛媛大学(松山)
  - 35.羽深昭、谷山拓生、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "変色型ポロンジピロメテン蛍光色素を用いた含水サンプル中での重金属イオンの簡易分析" 第 27 回分析化学緑陰セミナー. (20110909). ビューサイドホテル雪の屋(旭川)
  - 36.谷山拓生、羽深昭、山田幸司、高橋正宏、岡部聡、佐藤久: "重金属イオンの識別が可能な変色型ポロンジピロメテン蛍光色素の開発" 第 27 回分析化学緑陰セミナー. (20110909). ビューサイドホテル雪の屋(旭川)
  - 37.Akira Hatuka, Hiroki Taniyama, Koji Yamada, Masahiro Takahashi, Satoshi Okabe, Hisashi Satoh: "Development of a fluorescent molecule for heavy metal ion detection" Micropol & Ecohazard. (20110712). the University of New South Wales (Sydney)
- [図書](計 0 件)
- [産業財産権]  
出願状況(計 2 件)
- 名称: ケイ光イオンセンサー色素  
発明者: 山田 幸司、佐藤 久、菅藤 亮輔、羽深 昭、吉川 弘晃、岡部 聡  
権利者: 同上

種類：特許  
番号：特願2013-022979  
出願年月日：2013年2月8日  
国内外の別：国内

名称：水質監視方法  
発明者：佐藤 久、笹川 学、中原 禎仁  
権利者：同上  
種類：特許  
番号：特願2013-023872  
出願年月日：2013年2月8日  
国内外の別：国内

取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
<http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/aqua/contents/HisashiSato/index-HisashiSato.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 久 (SATO, Hisashi)  
北海道大学・大学院工学研究院・准教授  
研究者番号：80326636