

令和 2 年 5 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2019

課題番号：26288066

研究課題名(和文)分析化学に資する新規な磁気効果の開拓

研究課題名(英文) Novel magnetic effects contributing to the development of Analytical Chemistry

研究代表者

渡會 仁 (Watarai, Hitoshi)

大阪大学・ナノサイエンスデザイン教育研究センター・招へい教授

研究者番号：30091771

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,700,000円

研究成果の概要(和文)：1) 金属配位子を含むC18シリカ粒子または有機相液滴の磁気泳動速度から金属錯体の組成を決定する磁気泳動モル比法を発明した。ポルフィリンと硫酸を含むシリカゲルスラリーの磁気円二色性よりアルコールのキラル認識法を開発した。2) パルス磁場による表面プラズモン結合発光の増強効果を見出した。3) 大気中における微粒子の自由落下磁気泳動法による磁化率推定法及び微粒子のゼロ磁気泳動速度を利用する磁化率測定法を開発した。4) 磁気サニャック法及び磁気配向線二色性スペクトルにより、磁性ナノ粒子の凝集・再分散現象の検出法を開発した。ガラス/水溶液界面の偏光反射光強度への磁場効果から、磁性ナノ粒子の吸着性を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

様々な磁場発生技術が開発されている現在の環境下で、磁場を用いる新たな分析法の開発は、学術的にも産業的にも大きな可能性を有する研究課題である。本研究は、学術的成果として、化学結合の力学的評価法の開発やナノ粒子や界面に係る磁場効果や新規な磁気光学効果を見出した。応用面では、分光法を用いない磁気モル比法を開発し、磁性トナーの磁化率の新評価法、診断や医療に利用されている磁性ナノ粒子の新たな分析法を開発した。

研究成果の概要(英文)：1) Magnetophoretic mole-ratio method in a solid extraction system and a solvent extraction system was invented. Chiral recognition of 2-alkyl alcohol was developed by using the magnetic circular dichroism spectra of J-aggregate of protonated porphyrin on acidic silica slurry. 2) The magnetic field enhancement of the surface plasmon coupled emission was discovered. 3) The magnetic susceptibility of microparticles was estimated from the magnetophoretic falling velocity of the particle in air or from the concept of zero-velocity method in solvents with known magnetic susceptibility. 4) From the magnetic orientational linear dichroism spectra and the Sagnac interference effect of magnetic nanoparticles (MNPs) dispersions, the agglomeration and de-agglomeration of MNPs were sensitively detected. The magnetic field effect on the polarized light reflection intensity of the glass/water interface was used for the detection of the interfacial adsorption of MNPs.

研究分野：分析化学

キーワード：磁気分析科学 磁気泳動 磁気光学効果 磁性ナノ粒子 磁気配向線二色性 磁気サニャック効果 電磁泳動 磁化率

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、超電導磁石や永久磁石の性能が飛躍的に向上し、産業製品においても研究活動においても利用しやすい状況となっているが、分析化学の分野での利用は、NMR や ESR などの磁気共鳴分光での利用や、磁気微粒子によるバイオ分離などには利用されているものの、磁場の利用は極めて限定的であると言わざるを得ない。本研究の代表者は、早くから、より広範に分析化学における磁場の利用を探究すべきと考えて研究を行ってきた。そして、磁気泳動や電磁泳動など、磁場を利用する新規な分析法の原理となるべき現象を明らかにしてきた。

### 2. 研究の目的

これまで代表者が進めてきた分析化学における磁場利用の研究を更に発展させるために、以下の項目を本研究の目的とした。

- (1) 分析化学反応を対象とする新磁気化学効果の開拓
- (2) 表面プラズモン発光における新磁気光学効果の探索
- (3) 溶液・微粒子の分析法に向けた新たな磁気光学効果の開拓

具体的には、分析化学において最も基本的な酸塩基反応すなわちプロトン移動反応への磁気効果を検討する。また、表面プラズモン発光に及ぼす磁気光学効果を実証し、その発現機構を解明する。さらに、溶液およびナノ粒子の磁化率測定法の新原理を開拓し、また新規な磁気光干渉効果を考案・実証する。これらの研究を、小型高磁場磁気回路と小型パルス磁場電源の開発により実現し、新たな磁気分析化学への道を開拓することを目的とした。

### 3. 研究の方法

- (1) 分析化学反応を対象とする新磁気化学効果の開拓

ファラデー配置の磁石を有する円二色性分散計により、キラル試料の磁気円二色性によるキラル認識法を検討した。

フォークト配置に永久磁石を設置した円二色性分散計を用いて、磁性ナノ粒子分散液の磁気配向線二色性スペクトルの測定を行った。

- (2) 表面プラズモン発光における新磁気光学効果の探索

中国福建省廈門大学の Yao Qun Li 教授と共同で、表面プラズモン結合発光(蛍光)に及ぼすパルス磁場の効果を検討した。

- (3) 溶液・微粒子の分析法に向けた新たな磁気光学効果の開拓

微粒子および液滴の磁気泳動速度の測定装置を製作し、新たな磁気泳動分析法の検討に使用した。

大気中で落下する微粒子の落下速度への磁気泳動の影響を測定する装置を製作した。

磁気サニャック効果を測定する装置を製作した。

ガラス/水溶液界面での反射光強度に及ぼすフォークト配置の磁場効果を測定する装置を製作した。

### 4. 研究成果

以下に代表的な研究成果を説明する。

- (1) 分析化学反応を対象とする新磁気化学効果の開拓

当初計画した ジケトンのケト エノール互変異性に伴うプロトン移動速度への磁場(1.6T)の効果を検討したが、影響は極めてわずかであった。一方、シリカゲル粒子と 4M 硫酸の混合物内で生成したプロトン付加型ポルフィリンの集合体が大きな磁気円二色性を示すことを確認し、それを指標として、共存する 2 - アルキルアルコールのキラル認識が可能であることを明らかにした(図 1)。

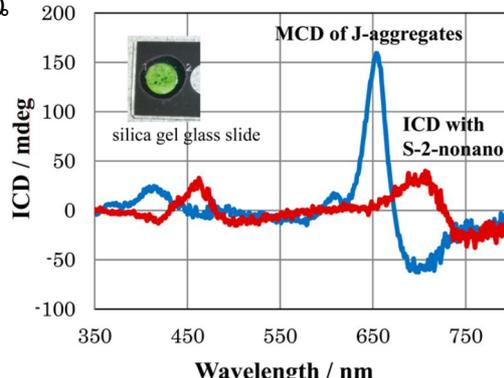


図 1 ポルフィリン集合体の磁気円二色性(MCD)スペクトルと S-2-nonanol による誘起円二色性(ICD)スペクトル (1)

電磁力の分析化学的利用を開拓する研究を行った。ガラスキャピラリー内壁に吸着した微粒子の吸着力を測定する方法として、微粒子に電磁泳動力を作用させて引き離す方法を提案した。即ち、表面をカルボキシ基で修飾したポリスチレン微粒子の吸着力について、本法により

脱着力を評価した。微粒子の脱着力に及ぼす pH や金属イオンの影響を測定し、その化学的原因を考察した。この論文は Bull. Chem. Soc. Jpn 誌の Selected Paper に選定された。

化学平衡が外力によってどのように影響されるかは、普遍的な問題として極めて重要である。本研究では、化学結合した分子に、電磁泳動力により張力を及ぼしたとき、張力の作用がその分子の構造異性化の化学平衡を変化させることを明らかにした。即ち、ポリスチレン微粒子とガラス基板上の銀ナノ粒子間に結合しているシステアミンの表面増強ラマンスペクトルを測定しながら、システアミンに電磁張力を作用させて結合を引っ張ると、システアミンのトランス - ゴーシュ平衡がトランス側にシフトすることを実証した。これは、トランス型の方が分子が長いので、張力によりより安定化されたと解釈された。

電磁泳動力がエマルション系に引き起こすマイクロ対流現象を発見した。キャピラリー内の電解質水溶液中に分散した有機液滴は、電磁泳動力によりキャピラリーを横切るように一方の内壁から他方の内壁に向かって泳動するが、内壁に到達した液滴の周囲でマイクロな対流が生じることを発見した。このマイクロ対流により、液滴周囲により小さな液滴が一定の速度で周回した。即ち、マイクロな攪拌が直径 100 マイクロメートルのキャピラリー内で、電磁泳動力により実現できることを明らかにした。この論文は、Anal. Sci. 誌の Hot Article に選定された。

磁気泳動法は、磁化率の差を利用する新たな分析法として大いなる可能性を秘めている。本研究では、反磁性微粒子の磁化率の測定法として、「ゼロ速度磁気泳動法」を考案した。この原理は、「媒体と微粒子の磁化率が同じであれば、微粒子の磁気泳動速度はゼロになる」ということから、既知の複数の磁化率の異なる媒体を用いて微粒子の磁気泳動速度を測定することにより、微粒子の磁化率を決定するというものである。さらに、大気中において落下する金属微粒子が磁場勾配中を通るときの落下速度の変化を解析し、常磁性微粒子の磁化率を求める方法を開発した。そしてこの方法を磁性トナーの磁化率の評価に応用した ( 図 2 )。

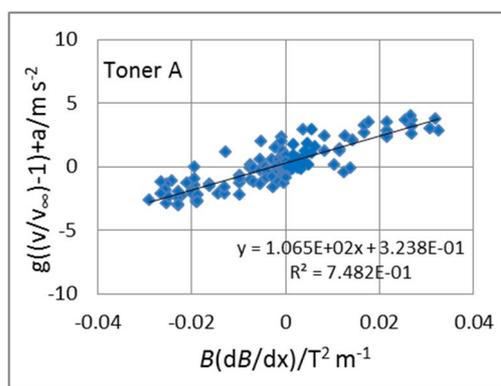


図 2 . 磁性トナーの磁化率  $(1.3 \pm 3.3) \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{kg}$  を決定したプロット(2)

磁気泳動を利用するモル比法を開発した。モル比法は、1944年に Yoe と Jones によって報告されて以来、溶液中に生成する金属錯体の組成決定法として広く利用されてきた。主に吸光度法を用いるモル比法が一般的であるが、今回、我々は、磁気泳動法を利用するモル比法を開発した。磁気泳動モル比法の特長は、分光学的方法を全く用いないので、配位子や錯体の分光学的性質に関する要件は不要であり、目的の錯体と媒体の磁化率の間に有意の差があれば適用が可能という点である。錯体が常磁性である場合は、極めて簡単な装置で測定が可能である。今回の研究では、ジ - (2-エチルヘキシル) リン酸(HDEHP)とコバルト(II)、テルビウム(III)およびディスプロシウム(III)との錯体を、疎水性の ODS 微粒子内に生成させ、微粒子の磁気泳動速度を配位子と金属イオンのモル比に対してプロットすることで組成を決定できることを示した ( 図 3 )。さらに、溶媒抽出系に磁気泳動モル比法を適用した。即ち、HDEHP を含む 2 - フルオロトルエン液滴の金属イオン水溶液内での磁気泳動速度から、抽出錯体の組成が決定できることを、マンガン(II)、コバルト(II)、ニッケル(II)、テルビウム(III)およびディスプロシウム(III)イオンについて確認した。

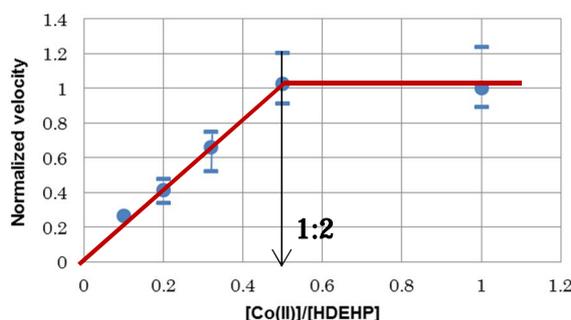


図 3 . 磁気泳動モル比法による  $\text{Co}(\text{DEHP})_2$  の組成の決定(3)

(2) 表面プラズモン発光における新磁気光学効果の探索

表面プラズモン結合発光 (SPCE) に及ぼす磁場の影響を検討した。測定には、ローダミン B を用い、半円ガラスプリズム上に蒸着した金薄膜にその蛍光色素を低濃度で付着させ、532 nm のレーザー励起により連続的に SPCE 蛍光を発光させ、3T までのパルス磁場 (発生時間 1ms) の印加による蛍光の強度と偏光状態の変化を、偏光子と PM 検出器を用いて測定した。その結果、金の蒸着膜と Co の蒸着膜が共に存在すると、SPCE がパルス磁場により増強された。更に、磁性ナノ粒子の共存により、SPCE が更に増強されることを発見した。

(3) 溶液・微粒子の分析法に向けた新たな磁気光学効果の開拓

表面を COOH で修飾した磁性酸化鉄ナノ粒子 (MNPs) 分散水溶液の磁気光学効果の分析化学的利用を目指して、以下の研究を行った。

磁気サニャック効果の観測装置を製作し (図 4) MNPs 分散溶液がその濃度に比例した磁気複屈折を生じることを確認した。そして、その磁場依存性を Langevin 式を用いて解析した。陽イオン性界面活性剤を加えたときの MNPs の凝集と、更に高濃度の界面活性剤の添加による再分散が明確に検出された。

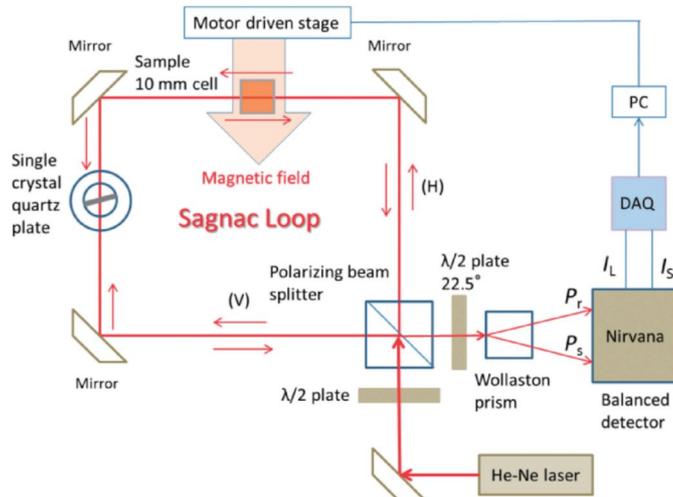


図 4 . 製作した磁気サニャック効果の測定装置 (4)

MNPs 分散水溶液が明瞭な磁気配向線二色性 (MOLD) スペクトルを示し、MNPs の分散状態を高感度に反映することを明らかにした。この溶液に鉄 (III) イオンを添加した際の凝集反応と、過剰の鉄 (III) イオンの添加による再分散過程を、MOLD スペクトルの大きさと極大波長の長波長シフトにより検出できることを明らかにした。磁気配向状態のまま UV 硬化樹脂中に固定化された MNPs の LD スペクトルの測定から、MNPs の磁気容易軸と LD の遷移モーメントが同方向であることを確認した (図 5)。この研究の論文は、Anal.Sci. の Hot Article に選定された。

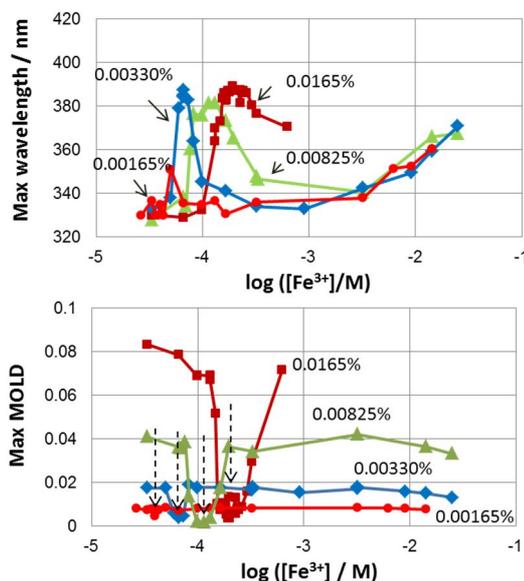


図 5 . 磁性ナノ粒子の磁場配向線二色性スペクトルの極大波長および極大値に及ぼす鉄 (III) イオン濃度の影響。凝集と再分散の MNPs 濃度 (%) 依存性が高感度に検出された (5)。

ガラスプリズムと MNPs 分散水溶液の界面での偏光反射光強度における磁場効果について、セルの厚さの影響、s 偏光、p 偏光の影響、共存する陽イオン性界面活性剤の影響等について調べた。界面反射光強度が磁場に大きく依存し、その依存性は Langevin 式により解析された。界面活性剤の添加によるガラス表面への吸着促進効果が計測された。

液液界面の磁気光学効果測定は次の重要な課題であるが、その可能性を探究する研究をアリゾナ大学の Palash 博士と共に実施し、論文として報告した。

< 引用文献 >

H. Watarai and Y. Kurahashi, *Anal. Chem.*, **2016**, 88, 4619–4623.

H. Watarai, R. Fan, J. Y. Liu and J. Djauhari, *J. Magn. Magn. Mater.*, **2018**, 462, 22-28.

H. Watarai and J. Chen, *Anal. Chem.* **2017**, 89, 10141–10146.

H. Watarai and z. Chen, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2019**, 92, 949–951.

H. Watarai, S. S. M. Sakurai and H. S. M. Sakurai, *Anal. Sci.*, **2019**, 35, 951–954.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Hitoshi Watarai, Rong Fan, Jing Yang Liu, James Djauhari	4. 巻 462
2. 論文標題 Falling velocity magnetometry of ferromagnetic microparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 22-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.jmmm.2018.04.045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Funaki, Masuro; Suwa, Masayori; Watarai, Hitoshi	4. 巻 33
2. 論文標題 Electromagnetophoretic micro-convection around a droplet in a capillary	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 1013-1019
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.33.1013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watarai, Hitoshi; Chen, Jiayue	4. 巻 89
2. 論文標題 Magnetophoretic mole-ratio method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 10141-10146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.7b00999	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Wakiyama, Shin; Watarai, Hitoshi	4. 巻 33
2. 論文標題 SERS Measurement of cysteamine molecules stretched by the electromagnetophoretic force	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 399-401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.33.399	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kato, Takehiro; Iiguni, Yoshinori; Watarai, Hitoshi	4. 巻 89
2. 論文標題 Electromagnetophoretic dynamic force measurement of particle-wall interaction in solution; Effects of pH and metal ions	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Bulletin of Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1487-1492
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20160247	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watarai, Hitoshi; Chen, Ziyu; Chen, Siyu	4. 巻 32
2. 論文標題 Observation of the Sagnac effect in the measurement of magnetic nanoparticles in water	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 715-717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.32.715	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe, Shiori; Watarai, Hitoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Acceleration of insulin amyloid fibrillation at liquid-liquid interfaces	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 955-962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20150058	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Suwa, Masayori; Tsukahara, Satoshi; Watarai, Hitoshi	4. 巻 393
2. 論文標題 Faraday rotation imaging microscope with microsecond pulse magnet	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 562-568
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2015.06.031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Xie, Kai-Xin; Cao, Shuo-Hui; Liu, Qian; Cai, Wei-Peng; Huo, Si-Xin; Watarai, Hitoshi; Li, Yao-Qun	4. 巻 51
2. 論文標題 Modulation of surface plasmon coupled emission (SPCE) by a pulsed magnetic field	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 12320-12323
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C5CC03400K	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Watarai, Hitoshi; Kurahashi, Yuriko	4. 巻 88
2. 論文標題 Chiral recognition of 2-alkylalcohols with magnetic circular dichroism measurement of porphyrin J-aggregate on silica gel plate	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Analytical Chemistry	6. 最初と最後の頁 4619-4623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.analchem.6b00515	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsuura, Kimika; Watarai, Hitoshi	4. 巻 88
2. 論文標題 Chiral interaction between bilirubin and poly-L-lysine at liquid-liquid interface	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1716-1718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20150236	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watarai, Hitoshi; Duc, Hoang Trong Tien; Lan, Tran Thi Ngoc; Zhang, Tianyi; Tsukahara, Satoshi	4. 巻 30
2. 論文標題 Zero-velocity magnetophoretic method for the determination of particle magnetic susceptibility	5. 発行年 2014年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 745-749
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.30.745	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watarai, Hitoshi; Gangopadhyay, Palash; Norwood, Robert A.; Peyghambarian, Nasser	4. 巻 43
2. 論文標題 Total internal reflection magneto-optical detection of dysprosium(III) ions adsorbed at liquid-liquid interface	5. 発行年 2014年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1651-1652
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.140566	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Watarai, Hitoshi	4. 巻 21
2. 論文標題 Interfacial molecular aggregation in solvent extraction systems	5. 発行年 2014年
3. 雑誌名 Ion Exchange & Solvent Extraction	6. 最初と最後の頁 159-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1201/b16198-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Watarai, Hitoshi; Hiramatsu, Fumie; Duc, Hoang Trong Tien; Lan, Tran Thi Ngoc	4. 巻 43
2. 論文標題 Induced optical chirality of porphyrin J-aggregates with 2-alkyl alcohol in a microemulsion system	5. 発行年 2014年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1257-1259
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.140366	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hitoshi Watarai, Ziyu Chen	4. 巻 92
2. 論文標題 Magnetic Sagnac interference measurements of agglomeration and deagglomeration of magnetic nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 949-951
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20190015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hitoshi Watarai, Sana Subhan Memon Sakurai, Hana Subhan Memon Sakurai	4. 巻 35
2. 論文標題 Magnetic orientational linear dichroism spectra of magnetic nanoparticles as a probe of the dispersion state	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Analytical Sciences	6. 最初と最後の頁 951-954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2116/analsci.19C006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaixin Xie, Shuohui Cao, Yanyun Zhai, Min Chen, Xiaohui Pan, Hitoshi Watarai, Yaoqun Li	4. 巻 30
2. 論文標題 Enhanced modulation of magnetic field on surface plasmon coupled emission (SPCE) by magnetic nanoparticles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chinese Chemical Letters	6. 最初と最後の頁 2173-2176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ccllet.2019.06.045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hitoshi Watarai, Zhijin Chen, Ting Hui Yu	4. 巻 499
2. 論文標題 Transverse magneto-optical measurements of magnetic nanoparticles in glass/water reflection cell	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Magnetism and Magnetic Materials	6. 最初と最後の頁 166292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmmm.2019.166292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計30件(うち招待講演 6件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Application of magnetic field in some analytical methods
3. 学会等名 ASIANALYSIS 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡會 仁、Ziyu Chen
2. 発表標題 磁気サニャック効果による磁性ナノ粒子の分散状態変化の検出
3. 学会等名 第78分析化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai, Sana Subhan Memon Sakurai
2. 発表標題 Detection of critical nucleation and aggregation of magnetic nanoparticles by magnetic linear dichroism
3. 学会等名 The 5th International Conference of Asian Union of Magnetics Societies (IcAUMS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡會 仁, Zhijin Chen, Ting Hui Yu
2. 発表標題 磁性ナノ粒子分散液の界面反射光強度に及ぼす磁気効果
3. 学会等名 日本分析化学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡會 仁, Zhijin Chen, Ting Hui Yu
2. 発表標題 ガラス/溶液界面内部反射法による磁性ナノ粒子の磁気線二色性の測定
3. 学会等名 第13回日本磁気科学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡會 仁、Xing Zilu
2. 発表標題 w/oマイクロエマルションにおける磁気サニャック効果の発現
3. 学会等名 日本化学会第99回春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Watarai, Hitoshi;Subhan Memon Sakurai, Sana; Subhan Memon Sakurai, Hana
2. 発表標題 Magnetic linear dichroism depression of magnetic nanoparticles induced by the interaction with metal ions
3. 学会等名 International Congress on Analytical Sciences, ICAS 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡會 仁、James Djauhari
2. 発表標題 空気中および液体中における強磁性微粒子の自由落下磁気泳動速度
3. 学会等名 第77回分析化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡會 仁, Sana Subhan Memon Sakurai
2. 発表標題 磁性ナノ粒子の磁気配向二色性を利用する溶液内微小相互作用の検出
3. 学会等名 第66回日本分析化学会年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Watarai, Hitoshi;Subhan Memon Sakurai, Sana
2. 発表標題 Analytical application of magnetic orientation linear dichroism of magnetic nanoparticles
3. 学会等名 International Conference on Magneto-Science (ICMS) 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Watarai, Hitoshi
2. 発表標題 Development of measurement methods of liquid-liquid interfacial reactions
3. 学会等名 International Solvent Extraction Conference(ISEC) 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 渡會 仁, Chen Ziyu
2. 発表標題 磁場により誘起される磁性ナノ粒子分散液のサニャック効果と線二色性
3. 学会等名 第76回分析化学討論会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Electromagnetophoretic force measurement of chemical interactions
3. 学会等名 10th PAMIR international conference, Fundamental and Applied MHD (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Why can electron keep moving? Primitive questions in Chemistry class
3. 学会等名 24th IUPAC INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMISTRY EDUCATION (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 渡會 仁、Chen Jia Yue
2. 発表標題 磁気泳動を利用するモル比法の提案
3. 学会等名 第65回分析化学会年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Novel application of magnetic field in Analytical Chemistry
3. 学会等名 第11回日本磁気科学会年会 International Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Analytical application of magnetophoresis and magnetic linear dichroism
3. 学会等名 ASIANALYSIS2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 渡會 仁、倉橋悠里子
2. 発表標題 シリカゲル上に生成するポルフィリン会合体によるキラル分子の検出
3. 学会等名 第75回日本分析化学会討論会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 渡會 仁、櫻井 花、櫻井 菜
2. 発表標題 磁気線二色性スペクトルによる磁性ナノ粒子の分散状態の評価
3. 学会等名 第64回分析化学会年会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Magneto-optical measurements of magnetic nanoparticles in solution and interface
3. 学会等名 International Conference on Magneto-Science 2015 (ICMS 2015) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Prospects of magnetoanalytical science; Application of magnetophoresis and magneto-optical spectrometry
3. 学会等名 The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem2015) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 渡會 仁、Zhijin Chen、Ting Hui Yu
2. 発表標題 横磁気カー効果を用いる微量磁性ナノ粒子分散液の磁化測定
3. 学会等名 日本化学会第96年会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Watarai, Hitoshi
2. 発表標題 Novel magnetic and optical measurements of liquid-liquid interfacial reactions
3. 学会等名 International Solvent Extraction Conference (国際学会)
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 渡會 仁、Fan Rong
2. 発表標題 強磁性微粒子の自由落下速度に及ぼす磁気力の影響
3. 学会等名 第74回分析化学討論会
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 渡會 仁、Chen Siyu
2. 発表標題 サニャック干渉法による磁性ナノ粒子溶液の磁気複屈折測定
3. 学会等名 第63回日本分析化学会年会
4. 発表年 2014年

1. 発表者名 渡會 仁・Xing Zilu
2. 発表標題 複光束サニャック干渉法による反磁性w/oマイクロエマルションの磁気応答の観測
3. 学会等名 第79回分析化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Magnetic linear dichroism for the detection of agglomeration of magnetic nanoparticles in solutions
3. 学会等名 International Conference on Advanced Materials (ICAM) 2019 (国際学会) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡會 仁・Xing Zilu
2. 発表標題 ドデカンを連続相とするw/oマイクロエマルションにおける磁気サニャック効果
3. 学会等名 第68回分析化学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hitoshi Watarai
2. 発表標題 Magneto-optical detection of agglomeration and deagglomeration of magnetic nanoparticles in aqueous solutions
3. 学会等名 International Conference on Magneto-Science (ICMS) 2019 (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡會 仁, Chen Ziyu, Xing Zilu
2. 発表標題 AOT/H2O/ドデカン系マイクロエマルションにおける 磁気誘導サニャック効果の観測
3. 学会等名 第14回日本磁気科学会年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----