

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：82108

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03922

研究課題名(和文) アルキル化 共役系分子を基材とする液体エレクトレットの開発

研究課題名(英文) Alkyl- π Conjugated Molecule Based Liquid Electret

研究代表者

中西 尚志 (NAKANISHI, Takashi)

国立研究開発法人物質・材料研究機構・国際ナノアーキテクトニクス研究拠点・グループリーダー

研究者番号：40391221

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,900,000円

研究成果の概要(和文)：共役分子を分子の中心に、その周りに嵩高くかつ柔軟性に富む分岐アルキル鎖を導入することで、常温液状の機能性分子を得ることができる。この液体に電圧を印加することで、分子の中心に配置された共役部位に電子が優先的に保持され帯電したエレクトレットとなる。この液体エレクトレットを柔軟性電極に含浸させることで、伸縮性振動発電素子の構築に成功した。液体粘性と帯電安定性の相関を検討するなど、最適な液体エレクトレット材料の設計指針のヒントを得た。また、同液体分子が高いエントロピーによって安定化されていることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人体運動に追従して未使用運動エネルギーから発電できるウェアラブル発電素子が構築できれば、Eco-Society 5.0の目指す社会や遠隔医療などが関わるWell-Being社会に貢献可能な環境発電技術となる。液体物質は、自由変形性を示すことから様々な形状、変形に対して適応できるため、液体エレクトレットの創成は、上述のウェアラブル発電素子の性能向上を後押しできる。本研究では、液体エレクトレットの設計・合成、伸縮性振動発電素子の創成、ならびに液体物質としての本質物性の理解まで手掛けた。

研究成果の概要(英文)：We have developed room temperature liquid molecules composed of a π -conjugated unit bearing bulky yet flexible branched alkyl chains. By poling the liquid turned to liquid electret, in which charges are stabilized on the π -conjugated unit and well shielded by insulation side chains. The liquid electret can be fabricated into textile and sandwiched between flexible electrodes, and could power a new generation of wearable electronic mobile devices. We further studied the correlation between the charging performance and liquid viscosity as well as the origin for stabilization to be liquid with high entropy of the alkyl- π compounds.

研究分野：機能性有機材料

キーワード：エレクトレット 共役分子 液体 アルキル エンジニアリング 振動発電素子 熱容量測定 中性子準弾性散乱

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

光電子機能性に優れた有機材料は光・電気エネルギーの吸収より誘起された高エネルギー状態を伴う機能発生となるため、酸素・熱・水分などの外場との接触により容易に分解・機能劣化する。したがって、同有機材料の環境耐性・安定性の向上は、不可避の課題である。光電子機能性を司る一般的な基本分子ユニットは π 共役系色素分子である。テイラーメイド性があり、多種多様な合成アプローチにより比較的容易な光電子機能の調整ができることは、 π 共役系色素材料の特長である。バルク状の有機素材において特徴付けることが可能な柔軟性（低粘性、低融点、低ガラス転移温度）を最大限活用する常温「液状」の機能性分子が近年注目を集めている。我々は、ディスクリートな一分子としての取り扱いが可能で、且つ分子内に隔離された π 共役系分子固有の光電子物性を、ニート液体状態でそのまま発揮しうる「アルキル化 π 機能性分子液体（図1）」の開発に取り組んできた。概念的には、基板上塗布、狭小空間、さらには流動状態においても常に分子固有の光電子物性を導くことができる。既に体系化されているイオン液体の化学（弱いイオン相互作用が液体物性を決定）とは異なり、本液体に潜む液体相安定化の起源解明などは、学理追究の対象となり得る。



図1. アルキル化 π 機能性分子液体のモデルおよび粘調液体の写真.

同液体材料の機能応用面においては、フォトルミネッセンス機構の安定性（耐光酸化・分解反応）が分子構造的に担保されており、特殊インクなどの発光素材としての有用性が期待される。一方、 π ユニット分子間のキャリア移動を伴う半導体・有機EL素子等への応用には、絶縁アルキル鎖層のため不向きと言える。我々が着眼したのは、絶縁隔離された電子活性基材を使った「エレクトレット」材料である。エレクトレットとは、電荷を半永久的に保持している誘電体（絶縁体）であり、元来固体材料からなり、コロナ放電等により材料に電子を衝突・帯電させることで製造できる。固体材料のエレクトレットは、安定的に電荷を保持することができる一方、柔軟性に欠けるため、応用可能なデバイスの範囲に制限があった。本研究では、アルキル化 π 機能性分子液体を基材として、高性能な液体エレクトレット素子の構築を目指す。また、分子（相分離組織）構造、電子機能の観点から要求機能、性能の検証を徹底的に行うことで、同時に未探索であった同液体物質としての理解が深化し、新たな液体化学を築くことができると期待した。

2. 研究の目的

本課題では、「帯電能力、電荷保持力を最大化でき、低粘性のアルキル化 π 機能性分子液体の創成とその液体エレクトレット素子への応用」を目的とする。帯電能力の最大化には、多電子酸化または還元が可能な π 機能性分子の選択、高電荷保持力には、複数のアルキル分岐鎖による絶縁層の形成と π ユニットの完全隔離または相分離組織化ナノクラスタとしての隔離、同時に低粘性を確保できる分子設計戦略の獲得に挑む。また、放射光・中性子施設を利用した分子運動ダイナミクスや液体の構造に関する検討や熱挙動を精査することで、液体物質の本質物性を探究する。一方で、液体エレクトレット素子性能を検討し、人体に装着可能なフレキシブル・ウェアラブルデバイスやセンサ・スピーカ素子・アクチュエータへの適正を見出す。

3. 研究の方法

帯電能力を向上させるために、他電子酸化還元可能な π 機能性分子として、ポルフィリン、フラレーン、その他複数の π 共役系分子を選定し、分岐アルキル鎖を有機合成的に導入し、常温液体分子を得た。また、アルキル鎖の導入位置や本数などを制御することで、 π 共役部位同士の相互作用の有無、液体としての安定性の評価を行った。粘性の制御においては、 π 共役部位を拡張した共役ポリマー系において、同じ主鎖 π 共役骨格に異なる鎖長の分岐アルキル鎖を導入することで、側鎖の粘弾性に与える影響に関して精査した。また、液体化した π 共役分子の物性を明らかにするために、熱容量測定、X線回折測定、中性子準弾性散乱測定を行った。熱容量測定では相挙動とエントロピー変化、X線回折測定では分子全体とアルキル鎖の構造の温度変化、中性子準弾性散乱測定では分子全体とアルキル鎖の緩和運動を検討した。さらには、帯電能力の評価として、コロナ帯電後の試料の表面電位減衰を計測する手法で行った。また、コロナ帯電時は液体分子の粘性を下げ流動性を高めるため温度制御を行った。

4. 研究成果

(1) 先ず、テトラフェニルポルフィリンを中心骨格に、8本の分岐側鎖を導入した液体ポルフィリンの液体化とエレクトレット機能の探索を実施した。合成した液体ポルフィリンをコロナ帯電処理しITO電極基板間に配置した簡易素子を作成した結果、圧力・振動発電または交流電圧に応答したアクチュエータ機能を有する「液体エレクトレット素子」の作製に成功した[1]。こ

の振動発電応答は、少なくとも1ヶ月半以上の期間、失活せず得ることができ、帯電した液体エレクトレットが非常に安定であることが分かった。また、布へ同液体エレクトレットを含浸させ、柔軟性に富むポリウレタンフィルムで挟み込む電極構造とし、伸縮性エレクトレットの試作(約±100 mVの出力電圧を示す)も達成できた(図2)。本結果は、世界初の液体エレクトレットの例になる。

同様に複数の分岐アルキル鎖を導入した様々な π 共役分子液体を基材に、エレクトレット性能を評価、比較検討を行った。その結果、殆どの π 共役分子においてエレクトレット性能を有することが確認できた。中でも、 π 共役骨格が拡張した分子系では、良好なエレクトレット性能を示し、伸縮性素子構造とした状態で、液体ポルフィリンの系の約20倍に当たる約±2 kVの出力電圧まで達成できた(電極基材等の違いがあるため、現状定性的な比較にはできていない)。

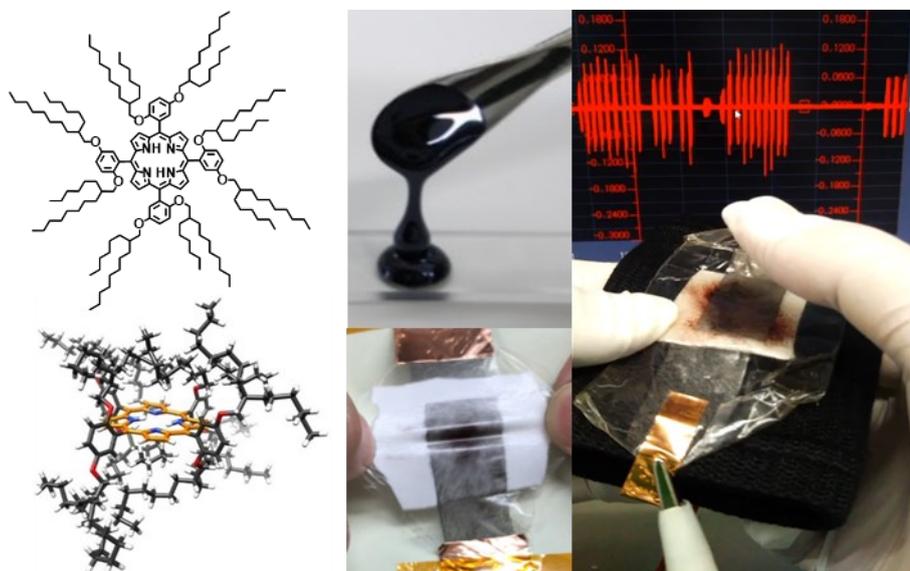


図2. アルキル化ポルフィリン液体の分子構造、3Dモデル構造、常温液状状態の写真、伸縮性振動発電素子の動作(約±100 mVの出力電圧)の様子。

(2) π 共役分子骨格を固定し、分岐アルキル側鎖長を変えた際の液体物性に与える影響に関して検討を行った。 π 共役分子系にはジフェニルアントラセン[2]を、 π 共役ポリマー系にはポリフルオレン[3]またはビスチオフェンベンゾチアジアゾールフェニレン共重合体[4]を骨格とする系を用いて検討を行った。ジフェニルアントラセンの系では、導入した側鎖の2-ヘキシルデシル鎖を境に、短いと常温固体、長いと過冷却液体を形成することが分かった。分岐側鎖が短いとジフェニルアントラセン間の π - π 相互作用が起因して固化する。一方、長い側鎖の場合、側鎖間のvan der Waals相互作用が生じ、時間もしくは温度履歴に乗じて常温で固化する過冷却液体となった。したがって、常温で安定な液体構造を得るには、 π 共役部位と側鎖長のバランスを適切に設定する必要がある[2]。同概念は、共役ポリマーではより顕著に影響が生じた。例えば、ポリフルオレンにおいて、 π 骨格とアルキル側鎖の割合を変えることで、固体(短いアルキル鎖)、エラストマー(中程度鎖のアルキル鎖)、液体(長いアルキル鎖)を作り分けることができた[3]。また、共重合体のフェニレン部位に配置する分岐アルキル鎖の鎖長を変化させることでも、ガラス状態から液体までの弾性率にして5桁の違いを見出すことができた(図3)。ポリマーの場合は、粘弾性が大きく変化しても、主鎖骨格由来の発光特性は変化のない特異的な挙動を見出すことができた[4]。

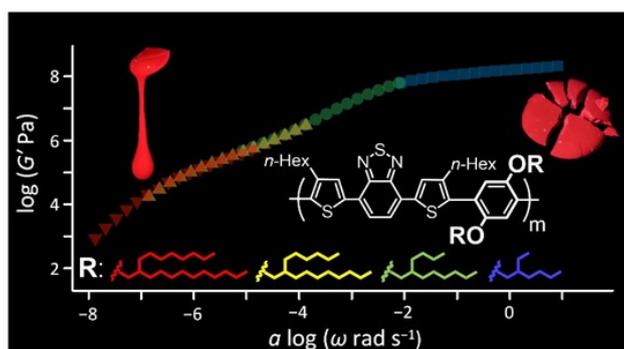


図3. ビスチオフェンベンゾチアジアゾールフェニレン共重合体のアルキル側鎖長に依存した弾性率の変化。ガラス～液体まで5桁もの違いが生じているが、赤色発光特性は不変。

(3) 液体ポルフィリンについて、物性を明らかにするために熱容量測定、X線回折測定、中性子準弾性散乱測定を行った。熱容量測定では液体ポルフィリンは結晶化せず、非常に広い温度範囲でガラス転移をすることが分かった(図4)。また、単純な構造をもつ分子液体と比べて非常に大きなエントロピーをもつことが明らかになった。X線回折測定では、室温で無秩序な状態であったアルキル鎖が、温度と低下とともに秩序化していくことが明らかになった。中性子準弾性散乱測定ではアルキル鎖がガラス転移温度以下でも動いていることが明らかになった。これらの結果から、アルキル鎖の構造無秩序による高いエントロピーが、液体状態を安定化させる大きな要因の一つであると考えられる。

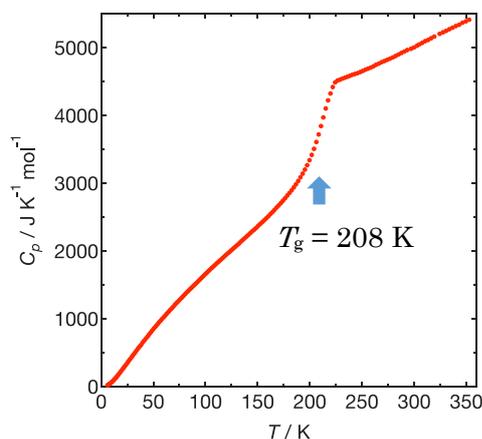


図4. 液体ポルフィリンの熱容量の温度変化. 広い温度範囲にわたってガラス転移が起きている。

(4) アルキル化 π 液体分子の粘性の違いが帯電寿命に与える影響を観測するため、高粘度の液体分子と低粘度の液体分子に対しコロナ帯電を行い、表面電位減衰を計測した。帯電条件は、コロナ帯電電圧は-80 kV、帯電時間は30分、帯電時基板温度100℃である。図5に示すように、液体分子をポリイミドフィルム上に全面塗布した試料においてポリイミド表面と比較して、電荷保持能力が高いことが示された。また、液体分子の粘度が高い方が帯電寿命が長い傾向があることが明らかとなった。これは、帯電状態が中和される過程が、不純物イオンのイオン伝導に律速されているため、高粘度媒体の方がイオン伝導度が低いと考えられる。

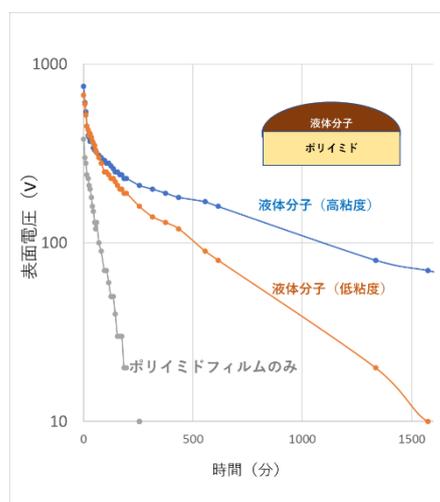


図5. 液体分子の粘性と表面電位減衰の相関。

<引用文献>

- [1] A. Ghosh, M. Yoshida, K. Suemori, H. Isago, N. Kobayashi, Y. Mizutani, Y. Kurashige, I. Kawamura, M. Nirei, O. Yamamuro, T. Takaya, K. Iwata, A. Saeki, K. Nagura, S. Ishihara, T. Nakanishi, "Soft chromophore featured liquid porphyrins and their utilization toward liquid electret applications", *Nature Commun.*, **2019**, *10*, 4210.
- [2] F. Lu, K. Jang, I. Osica, K. Hagiwara, M. Yoshizawa, M. Ishii, Y. Chino, K. Ohta, K. Ludwichowska, K. J. Kurzydowski, S. Ishihara, T. Nakanishi, "Supercooling of functional alkyl- π molecular liquids", *Chem. Sci.*, **2018**, *9*, 6774-6778. (Hot Article, Highlighted in ChemSci Pick of the Week)
- [3] A. Shinohara, C. Pan, Z. Guo, L. Zhou, Z. Liu, L. Du, Z. Yan, F. J. Stadler, L. Wang, T. Nakanishi, "Viscoelastic Conjugated Polymer Fluids", *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2019**, *58*, 9581-9585.
- [4] Z. Guo, A. Shinohara, C. Pan, F. J. Stadler, Z. Liu, Z.-C. Yan, J. Zhao, L. Wang, T. Nakanishi, "Consistent red luminescence in π -conjugated polymers with tuneable elastic moduli over five orders of magnitude", *Mater. Horiz.*, **2020**, *7*, 1421-1426.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 17件/うち国際共著 7件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Neal Edward A., Nakanishi Takashi	4. 巻 94
2. 論文標題 Alkyl-Fullerene Materials of Tunable Morphology and Function	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1769 ~ 1788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210129	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 Yan Zhi-Chao, Li Yanan, Guo Zhenfeng, Shinohara Akira, Nakanishi Takashi, Chen Guangming, Pan Chengjun, Stadler Florian J.	4. 巻 54
2. 論文標題 Rheology of Conjugated Polymers with Bulky and Flexible Side Chains	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Macromolecules	6. 最初と最後の頁 4061 ~ 4069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.macromol.1c00044	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 Machida Takashi, Nakanishi Takashi	4. 巻 9
2. 論文標題 Alkyl- functional molecular liquids towards soft electronics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 10661 ~ 10667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1tc00998b	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 Shinohara Akira, Guo Zhenfeng, Pan Chengjun, Nakanishi Takashi	4. 巻 3
2. 論文標題 Solvent-Free Conjugated Polymer Fluids with Optical Functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Organic Materials	6. 最初と最後の頁 309 ~ 320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1491-4818	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 Guo Zhenfeng, Patil Yuvraj, Shinohara Akira, Nagura Kazuhiko, Yoshida Manabu, Nakanishi Takashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Organic molecular and polymeric electrets toward soft electronics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1me00180a	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 Guo Zhenfeng, Shinohara Akira, Pan Chengjun, Stadler Florian J., Liu Zhonghua, Yan Zhi-Chao, Zhao Jinlai, Wang Lei, Nakanishi Takashi	4. 巻 7
2. 論文標題 Consistent red luminescence in π -conjugated polymers with tuneable elastic moduli over five orders of magnitude	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Horizons	6. 最初と最後の頁 1421 ~ 1426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0MH00029A	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 Chino Yoshiaki, Nakanishi Takashi, Kimura Mutsumi	4. 巻 44
2. 論文標題 A near-infrared fluorescent phthalocyanine liquid developed through controlling intermolecular interactions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 New Journal of Chemistry	6. 最初と最後の頁 1689 ~ 1693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NJ05195C	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 中西尚志	4. 巻 29
2. 論文標題 静電気を貯める新奇液体の開発により伸縮自在の振動発電素子を実現	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 クリーンエネルギー	6. 最初と最後の頁 10 ~ 14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Lu Fengniu, Hagiwara Keita, Yoshizawa Michito, Nagura Kazuhiko, Ishihara Shinsuke, Nakanishi Takashi	4. 巻 7
2. 論文標題 Luminescence tuning with excellent colour homogeneity and steadiness using fluorescent molecular liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2577 ~ 2582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8tc06254d	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 Lu Fengniu, Nakanishi Takashi	4. 巻 7
2. 論文標題 Solvent Free Luminous Molecular Liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1900176 ~ 1900176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201900176	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 Shinohara Akira, Pan Chengjun, Guo Zhenfeng, Zhou Liyang, Liu Zhonghua, Du Lei, Yan Zhichao, Stadler Florian J., Wang Lei, Nakanishi Takashi	4. 巻 58
2. 論文標題 Viscoelastic Conjugated Polymer Fluids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 9581 ~ 9585
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.201903148	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 Lu Fengniu, Neal Edward A., Nakanishi Takashi	4. 巻 52
2. 論文標題 Self-Assembled and Nonassembled Alkylated-Fullerene Materials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Accounts of Chemical Research	6. 最初と最後の頁 1834 ~ 1843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.accounts.9b00217	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 Ghosh Avijit, Yoshida Manabu, Suemori Kouji, Isago Hiroaki, Kobayashi Nagao, Mizutani Yasuhisa, Kurashige Yuki, Kawamura Izuru, Nirei Masami, Yamamuro Osamu, Takaya Tomohisa, Iwata Koichi, Saeki Akinori, Nagura Kazuhiko, Ishihara Shinsuke, Nakanishi Takashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Soft chromophore featured liquid porphyrins and their utilization toward liquid electret applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4210-1 ~ 4210-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12249-8	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 中西尚志	4. 巻 68
2. 論文標題 液状ナノカーボン	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 高分子	6. 最初と最後の頁 297 ~ 299
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 中西尚志	4. 巻 74
2. 論文標題 ベイボクロミズム機能をもつ分子液体	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 64 ~ 65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 中西尚志	4. 巻 11
2. 論文標題 新規液体物質—機能性分子液体の開発とエレクトロニクス応用に向けて	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 月刊ソフトマター	6. 最初と最後の頁 10 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Lu Fengniu, Jang Keumhee, Osica Izabela, Hagiwara Keita, Yoshizawa Michito, Ishii Masashi, Chino Yoshiaki, Ohta Kazuchika, Ludwichowska Kinga, Kurzydowski Krzysztof Jan, Ishihara Shinsuke, Nakanishi Takashi	4. 巻 9
2. 論文標題 Supercooling of functional alkyl- molecular liquids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 6774 ~ 6778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8sc02723d	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 Zielinska Agnieszka, Takai Atsuro, Sakurai Hiroya, Saeki Akinori, Leonowicz Marcin, Nakanishi Takashi	4. 巻 13
2. 論文標題 A Spin-Active, Electrochromic, Solvent-Free Molecular Liquid Based on Double-Decker Lutetium Phthalocyanine Bearing Long Branched Alkyl Chains	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry - An Asian Journal	6. 最初と最後の頁 770 ~ 774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/asia.201800175	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 Okamoto Ken, Lu Fengniu, Nakanishi Takashi	4. 巻 91
2. 論文標題 Posttreatment Technique for SN2 Alkylation of Aromatics with Alkyl Halides: Aiming toward Large-Scale Synthesis of Building Blocks for Soft -Molecular Materials	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 1258 ~ 1263
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20180075	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 Lu Fengniu, Hagiwara Keita, Yoshizawa Michito, Nagura Kazuhiko, Ishihara Shinsuke, Nakanishi Takashi	4. 巻 7
2. 論文標題 Luminescence tuning with excellent colour homogeneity and steadiness using fluorescent molecular liquids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2577 ~ 2582
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8tc06254d	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 Shinohara Akira, Pan Chengjun, Wang Lei, Nakanishi Takashi	4. 巻 4
2. 論文標題 Design of solvent-free functional fluids via molecular nanoarchitectonics approaches	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 78 ~ 90
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c8me00092a	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 中西尚志	4. 巻 59
2. 論文標題 新しい液体材料 ~ 光・電子機能性分子液体 ~	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CROSS T&T	6. 最初と最後の頁 19 ~ 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 中西尚志	4. 巻 72
2. 論文標題 機能分子液体の開拓	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 化学と工業	6. 最初と最後の頁 10 ~ 12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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66件 (うち招待講演 35件 / うち国際学会 32件)

1. 発表者名 Xiao Zheng, Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Formulation of design principle for alkyl- functional molecular liquids toward soft-electronics
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ravindra Kumar Gupta, Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Functional liquids containing -stack nanoclusters
3. 学会等名 MANA International Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 静電気を貯める「液体」を基材に伸縮・折り曲げ自由自在な振動発電素子を開発
3. 学会等名 産学連携テックミーティング 茨城県発技術シーズ オンラインマッチング会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 機能性分子液体～発光材料および振動発電応用に向けて～
3. 学会等名 第4回ファインケミカルジャパン2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 液体エレクトレットを基材とする伸縮/折り曲げ自由自在な振動発電素子の開発
3. 学会等名 第10回超異分野学会本大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Alkyl- Functional Molecular Liquids and Viscoelastic Conjugated Polymers
3. 学会等名 International Workshop on Frontier of Liquid Science in WPI-MANA Virtual City of Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Manabu Yoshida
2. 発表標題 Soft sensing devices using silver plated short fibers
3. 学会等名 ICFPE2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田学
2. 発表標題 銀メッキ繊維を利用したファブリックスピーカー
3. 学会等名 2021 ワークショップ『デジタルトランスフォーメーションを加速させる先端実装～サイバーとフィジカルを実装技術が繋ぐ～』(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Solvent-free Liquid Phosphors and Electrets towards Stretchable Applications
3. 学会等名 2nd Edition of Renewable and Sustainable Energy Virtual (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Solvent-free Functional Molecular Liquids towards Soft Electronics
3. 学会等名 4th Edition of Materials Science and Nanoscience Webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Xiao Zheng, Kazuhiko Nagura, Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Alkylated distyrylbenzene as a model to clarify substitution pattern effect on liquid properties
3. 学会等名 日本化学会 第120春季年会 (2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masami Nirei, Hiroshi Akiba, Avijit Ghosh, Takashi Nakanishi, Maiko Kofu, Seiko Ohira-Kawamura, Madhusudan Tyagi, Osamu Yamamur
2. 発表標題 Calorimetric and neutron scattering study on glass transitions of alkylated tetraphenylporphyrins
3. 学会等名 International Symposium of Structural Thermodynamics for Young Thermodynamicists (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 榆井真実, 水野勇希, Avijit Ghosh, 中西尚志, 尾原幸治, 小原真司, 山室修
2. 発表標題 アルキル化テトラフェニルポルフィリンのガラス転移と局所構造の温度変化
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 榆井真実, 水野勇希, Avijit Ghosh, 中西尚志, 尾原幸治, 小原真司, 山室修
2. 発表標題 アルキル化テトラフェニルポルフィリンのガラス転移と局所構造の温度変化 II
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榆井真実, 秋葉宙, 水野勇希, 中西尚志, 尾原幸治, 小原真司, 山室修
2. 発表標題 アルキル化パーフルオロベンゼンの無秩序構造とガラス転移
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榆井真実, 水野勇希, 秋葉宙, Avijit Ghosh, 中西尚志, 尾原幸治, 小原真司, 古府麻衣子, 河村聖子, Madhusudan Tyagi, 山室修
2. 発表標題 超高エントロピー液体・アルキル化テトラフェニルポルフィリンの熱容量・構造・ダイナミクス
3. 学会等名 第55回熱測定討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masami Nirei, Yuki Mizuno, Hiroshi Akiba, Avijit Ghosh, Takashi Nakanishi, Koji Ohara, Shinji Kohara, Maiko Kofu, Seiko Ohira-Kawamura, Madhusudan Tyagi, Osamu Yamamuro
2. 発表標題 Structure and dynamics of liquid alkylated tetraphenylporphyrins
3. 学会等名 The 3rd Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榆井真実, 秋葉宙, Zhao Yuansheng, 水野勇希, 中西尚志, 尾原幸治, 小原真司, 山室修
2. 発表標題 アルキル化パーフルオロベンゼンの無秩序構造とガラス転移 II
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shinohara Akira, Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Solvent-free Conjugated Polymer Fluids with Optical Functions
3. 学会等名 MSDE Symposium 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠原英、中西尚志
2. 発表標題 かさ高いアルキル鎖で修飾した共役高分子のレオロジー
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zheng Xiao, Nagura Kazuhiko, Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Thermal, optical and liquid-physical properties investigation with substitution pattern effect of alkyl-distyrylbenzene liquids
3. 学会等名 第70回高分子討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 篠原英、中西尚志
2. 発表標題 常温液体共役ポリマーの相溶性制御と光機能
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zheng Xiao, Nagura Kazuhiko, Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Substitution pattern effect on liquid-physical properties of alkyl-distyrybenzene liquids
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高屋智久、Zheng Xiao、中西尚志
2. 発表標題 アルキル化ジスチリルベンゼン液体分子の 中心構造に対するかさ高いアルキル鎖の影響の評価
3. 学会等名 2021年度 日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 楡井真実、秋葉宙、水野勇希、中西尚志、尾原幸治、小原真司、Madhusudan Tyagi、Marcell Wolf、山室修
2. 発表標題 X線・中性子散乱によるアルキル化 共役液体分子の研究
3. 学会等名 第72回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 「液体」エレクトレットの創成とそれを用いた伸縮性振動発電素子
3. 学会等名 Live配信セミナー：新たな環境発電技術の研究開発動向（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Alkyl- Functional Molecular Liquids and Viscoelastic Conjugated Polymers
3. 学会等名 International Workshop on Frontier of Liquid Science in WPI-MANA Virtual City of Workshops（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kumar Ravindra, Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Isolation of -conjugated core in contorted HBC liquids
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Zheng Xiao, Nagura Kazuhiko, Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Substitution pattern effect on liquid properties of alkyl-distyrylbenzene liquids
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Solvent-free Functional Molecular/Polymer Fluids towards Luminescent and Stretchable-Electret Applications
3. 学会等名 International Congress on Optics, Electronics, and Optoelectronics 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Solvent-free Liquid Phosphors and Electrets towards Stretchable Applications
3. 学会等名 2nd Edition of Renewable and Sustainable Energy Virtual (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Solvent-free Functional Molecular Liquids towards Soft Electronics
3. 学会等名 4th Edition of Materials Science & Nanoscience Webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Zheng Xiao, Nagura Kazuhiko, Nakanishi Takashi
2. 発表標題 Alkylated distyrylbenzene as a model to clarify substitution pattern effect on liquid properties
3. 学会等名 日本化学会 第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榆井真実、秋葉宙、中西尚志、Madhusudan Tyagi、Marcell Wolf、山室修
2. 発表標題 アルキル化パーフルオロベンゼンのダイナミクスとガラス転移
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中西尚志、篠原英、PAN Chengjin
2. 発表標題 アルキル化 共役高分子を基材とする特異粘弾性材料の創成
3. 学会等名 第71回コロイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 データサイエンスが先導するオープンイノベーション：高分子分野を中心に
3. 学会等名 第140回ニューガラスフォーラム 若手懇談会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 液体エレクトレットを基材とする伸縮/折り曲げ自由自在な振動発電素子の開発
3. 学会等名 第4回茨城テックグランプリ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 アルキル化ポルフィリン液体；液体エレクトレット機能の発現
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Solvent-free Functional Molecular/Polymer Fluid towards Luminescent and Stretchable Electret Applications
3. 学会等名 4th International Conference on Soft Materials (ICSM-2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 機能性液体が拓く 共役分子サイエンスの新展開
3. 学会等名 第5回材料相模セミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 新素材・機能性有機液体の創成および応用
3. 学会等名 ソフトマテリアル講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi, Avijit Ghosh, Manabu Yoshida
2. 発表標題 Alkylated- Functional Molecular Liquids toward Stretchable Electret Applications
3. 学会等名 14th International Symposium on Functional -Electron Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Functional Molecular Liquids: Luminescent and Electret Applications
3. 学会等名 NanoMat 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Functional organic fluids: luminescent and electret applications
3. 学会等名 MANA-ICAM Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 魅せます「液体」の新機能
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 機能性分子液体の科学
3. 学会等名 東京大学物性研 令和1年度後期客員所員・外国人客員所員講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Novel Soft Matter/Materials: Functional Molecular Liquids towards Luminescent and Electret Applications
3. 学会等名 OKINAWA COLLOIDS 2019（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Functional Fluid Materials Created through Alkyl- Engineering
3. 学会等名 第29回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Solvent-free Functional Liquids towards Luminescent and Electret Applications
3. 学会等名 The 16th Pacific Polymer Conference（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Alkyl- Functional Molecular Liquids
3. 学会等名 Sophia Symposium on Ionic Liquids (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Alkyl- Functional Molecular Liquids towards Sensor and Actuator Applications
3. 学会等名 Shenzhen University Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Optoelectronically-active Alkyl- Molecular Liquids
3. 学会等名 Sun Yat-sen University Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 アルキル化 エントロピー液体の創成・物性探索・印刷デバイス応用
3. 学会等名 第2回TIAかけはし 成果報告会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi, Avijit Ghosh, Manami Nirei, Osamu Yamamuro, Manabu Yoshida
2. 発表標題 Alkylated- Functional Molecular Liquids: Structure, Liquid Physical Properties, and Applications
3. 学会等名 27th International Liquid Crystal Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西尚志
2. 発表標題 次世代「液体」材料を創製する！
3. 学会等名 信州大学CSTプログラム「最新の科学情報」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中西尚志、Ghosh Avijit、山室修、吉田学、Zielinska Agnieszka、高井淳朗
2. 発表標題 Alkylated Liquid Porphyrins and Phthalocyanines
3. 学会等名 第69回コロナイドおよび界面化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Novel Soft Matter/Materials; Optoelectronically-active Alkyl- Molecular Liquids
3. 学会等名 Tsukuba Global Science Week (TGSW) Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi, Fengniu Lu
2. 発表標題 Supercooling of alkylated-anthracene liquids
3. 学会等名 Frontiers of Molecular Engineering (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Optoelectrenically-active Molecular Liquids as Novel Soft-Matter & -Materials
3. 学会等名 Chemistry Department Seminar at Peking University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Optoelectrenically-active Alkyl- Molecular Liquids as Novel Soft-Matter & -Materials
3. 学会等名 ICCAS Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Development of Solvent-free "Liquid" Chromophores via Alkyl- Engineering
3. 学会等名 Tsinghua Xuetao Lecture (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Optoelectronically-active Molecular Liquids as Novel Soft-Matter & -Materials
3. 学会等名 BUCT Seminar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Alkyl- Optoelectrinically-Active Molecular Liquids
3. 学会等名 The 12th SPSJ International Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Alkylated- Functional Molecular Liquids: Liquid Physical Properties
3. 学会等名 The 10th Singapore International Chemistry Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Supercooling of Alkylated- Luminescent Molecular Liquids
3. 学会等名 第28回 日本MRS年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakanishi
2. 発表標題 Functional Molecular Liquids toward stretchable Electret Applications
3. 学会等名 MANA International COngress Center (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 日本化学会	4. 発行年 2021年
2. 出版社 化学同人	5. 総ページ数 212
3. 書名 未来を拓く多彩な色素材料	

1. 著者名 Takashi Nakanishi	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Wiley-VCH	5. 総ページ数 279
3. 書名 Functional Organic Liquids	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>「第4回茨城テックブラングランプリ」において『NOKグループ ユニマテック賞』を受賞 https://www.nims.go.jp/mana/jp/news_room/awards/2020111801.html 半永久的に静電気を閉じ込められる液体 https://www.nims.go.jp/mana/jp/research/highlights/vol157.html 静電気を貯める液体を開発し、伸縮自在の振動発電素子を実現 https://www.nims.go.jp/mana/jp/news_room/press/2019093001.html フロンティア分子グループHP https://www.nims.go.jp/func_t_mol_g/ NIMS広報のYouTubeチャンネル「まてりある's eye」 https://www.youtube.com/watch?v=GbwINcipAEk</p>
--

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
研究 分 担 者	山室 修 (YAMAMURO Osamu) (20200777)	東京大学・物性研究所・教授 (12601)	
研究 分 担 者	吉田 学 (YOSHIDA Manabu) (60358330)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・ 製造領域・研究チーム長 (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
中国	Shenzhen University			
ポーランド	Warsaw University of Technology			