

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410211

研究課題名(和文)アゾベンゼン系分子材料が示す光誘起物質移動現象の機構解明と光駆動微小機械の開発

研究課題名(英文) Studies on photoinduced mass transport observed for azobenzene-based molecular materials and development of photo-driven micromachines

研究代表者

中野 英之 (NAKANO, Hideyuki)

室蘭工業大学・工学研究科・教授

研究者番号：00222167

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料 - ポリ酢酸ビニル複合膜の可逆的相分離とドメイン構造の光変形、アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料 - イミダゾリウム塩複合膜に形成される相分離構造の光変化、寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の光誘起形状変化、および、寒天ゲル表面上に製膜したアゾベンゼン系アモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動に関する検討を行い、新しいフォトメカニカル効果を開拓するとともに、物質移動現象発現機構に関する知見を得た。さらに、光誘起物質移動現象を用いる微小機械開発の可能性を示した。

研究成果の概要(英文)：In order to gain information about the mechanism of photoinduced mass transport, we investigated the photoinduced changes in phase-separated structures of the hybrid films of azobenzene-based amorphous molecular materials with poly(vinyl acetate) and inidazolium salts. We have found that the domain structures formed in the phase-separated films were changed upon irradiation with the polarized laser beam. In addition, we investigated photoinduced changes in the shape of particles of azobenzene-based amorphous molecular materials fixed in agar gel and found that the particles were elongated parallel to the polarization direction of the incident beams. Photoinduced structural changes of the films of azobenzene-based amorphous molecular materials prepared on the surface of the agar gel were also found. The present study provided valuable information regarding the mechanism of photoinduced mass transport and indicated potential for development of photo-driven micromachines.

研究分野：化学

キーワード：フォトメカニカル効果 光誘起物質移動 アゾベンゼン フォトクロミックアモルファス分子材料 相分離 寒天ゲル

1. 研究開始当初の背景

アゾベンゼンクロモフォアを有する高分子系アモルファス薄膜に、クロモフォアが吸収する波長のレーザー光の二光波を干渉露光することにより、薄膜表面に干渉縞に対応する凹凸のレリーフ（表面レリーフ回折格子：SRG）が形成されることが1995年に報告されて以来、関連する多くの研究が進められてきた。この現象は、光照射に伴って繰り返し起こる trans-cis 光異性化反応によって、数百 nm から μm 程度の物質移動が誘起される光誘起物質移動現象であり、基礎・応用両面から大変興味をもたれている。この現象は、照射する光の偏光方向に大きく依存することが知られており、光誘起 SRG 形成の機構についてさまざまなモデルが提案されているものの、未だ詳細は不明である。

これまで研究対象となってきた高分子系材料に対し、申請者らは、低分子系材料であるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料（室温以上で安定なアモルファスガラスを容易に形成する低分子系フォトクロミック材料：図1）を用いる光誘起 SRG 形成に関する研究を行ってきた。さらに、光誘起物質移動現象が関与する現象として、アゾベンゼン系分子ファイバーの光屈曲現象（光照射部で誘起される物質移動を引き金に屈曲が引き起こされる）を見出すとともに、最近では、アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の膜に p-偏光のレーザー光を斜めに照射するだけで膜表面に物質流動を誘起できることを、蛍光性量子ドットを分散させた系を用いて明らかにした。さらに、透明基板の上にのせたこの材料のガラス破片に、下方から斜めに p-偏光のレーザー光を照射することにより、ガラス破片をガラス基板上を這うように動かすことができることも見出している。

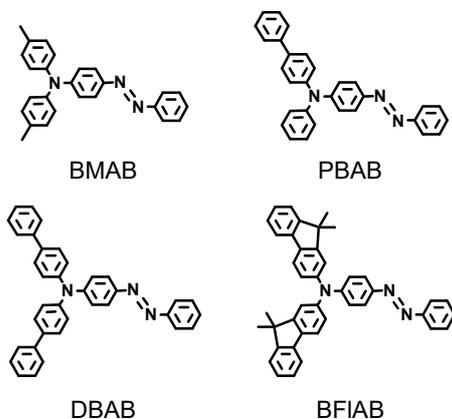


図1 アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の例

2. 研究の目的

これまでに見出されているさまざまな光

誘起物質移動現象はいずれも、物質移動が照射光の偏光方向と平行に誘起されると考えると説明できるが、なぜ、物質移動が照射光の偏光方向に平行に誘起されるのかは全くわかっておらず、この理由を明確にすることは、光誘起物質移動が関与する多くの現象の機構解明のブレークスルーになると考えられる。本研究では、アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料およびこの材料に他の材料を複合させた系について、さまざまな環境や実験条件のもとでの光誘起物質移動のその場観察を行い、光誘起物質移動現象の発現機構の全容解明をめざす。さらに、光誘起物質移動現象を用いた光駆動微小機械の実現の可能性を探る。

3. 研究の方法

(1) アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル複合膜の可逆的相分離とドメイン構造の光変形

アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料 (BFIAB など) とポリ酢酸ビニル (PVAc) の混合膜を 1,2-ジクロロメタン溶液からのスピコート法により透明ガラス基板上に製膜した。加熱・冷却に伴う相分離・相溶挙動を顕微鏡下で観察した。さらに、相分離させた膜に 488 nm のレーザー光を照射し、その際の相分離構造の変化をその場観察した。

(2) アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イミダゾリウム塩複合膜に形成される相分離構造の光変化

アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料とイオン液体として注目を集めているいくつかのイミダゾリウム塩の混合膜をスピコート法により作製し、生成した膜の相分離構造を顕微鏡下で観察するとともに、この膜に 488 nm のレーザー光を照射したときの相分離構造の変化をその場観察した。

(3) 寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の光誘起形状変化

アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料のガラス微粒子を寒天ゲル中に固定し、この試料に 488 nm のレーザー光を照射したときの粒子の光変形をその場観察した。実験条件（材料の種類、光強度、ゲルの硬度など）を様々に変化させたほか、混合ガラス試料を用いた検討も行った。

(4) 寒天ゲル表面上に製膜したアゾベンゼン系アモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動

アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の CCl₄ 溶液を寒天ゲル上に

展開することにより、寒天ゲルの表面に膜を作製し、これに 488 nm のレーザー光を照射したときの膜の形状変化をその場観察した。

4. 研究成果

以下に例示したような一連の研究成果をあげ、光誘起物質移動現象の発現機構に関わる重要な知見を得るとともに、光駆動微小機械開発の可能性を示した。

(1) アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル複合膜の可逆的相分離とドメイン構造の光変形

BFIAB (20 wt%) と PVAc との均一な複合膜をスピコートにより作製することができた。この膜を徐々に昇温していくと 160 °C 付近で相分離ははじめ、200 °C 以上で形状やサイズが揃った直径約 1.6 μm の多数の球状ドメインの生成が確認できた (図 2)。さらに昇温をつづけると、230 °C 付近で再び相溶して均一な状態に戻った。この膜を冷却すると再び相分離することが確認され、BFIAB と PVAc の混合膜が熱可逆的な相分離挙動を示すことがわかった。このような可逆的な相分離挙動は DBAB や PBAB と PVAc の複合膜の場合にも観測された。

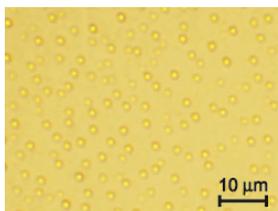


図 2 BFIAB (20 wt%)-PVAc 混合膜の 227 °C における相分離構造の光学顕微鏡写真

BFIAB-PVAc 混合膜について、昇温時の相分離-相溶挙動を BFIAB の比率を変化させて調べた。その結果、相分離および相溶温度は BFIAB の比率の上昇に伴ってわずかに上昇していった (図 3)。なお、25 wt% 以上の比率の膜では相溶温度を確認できなかった。相分離で得られるドメインの数が BFIAB の濃度の上昇とともに増加することから、相分離で得られるドメインの主成分は BFIAB であることが示唆される。

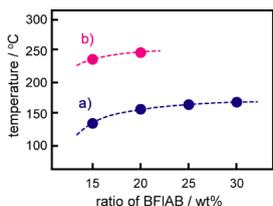


図 3 BFIAB-PVAc 混合膜の相転移温度. a) 相分離温度 b) 相溶温度

BFIAB (20 wt%) と PVAc との複合膜を相

分離させて得られた膜に 488 nm のレーザー光の偏光を照射し、膜の変化を光学顕微鏡により観測した。その結果、球状ドメインがレーザー光の偏光方向と平行な方向に引き伸ばされるように徐々に変形し、レーザー照射を続けると一つのドメインが二つのドメインに分裂する興味深い現象が観測された (図 4)。これに対し、DBAB-PVAc 混合膜を用いた場合には、このようなドメインの分裂はみとめられなかった。これは DBAB の T_g が低すぎるため、周囲の高分子を押しのけられないことが要因として考えられる。

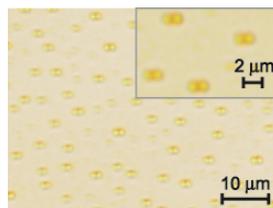


図 4 BFIAB (20 wt%)-PVAc の相分離膜にレーザー光 (偏光方向: 画面の水平方向) を照射した後の光学顕微鏡写真

(2) アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イミダゾリウム塩複合膜に形成される相分離構造の光変化

BFIAB とブチルメチルイミダゾリウムヘキサフルオロフォスフェート (BMIM-PF₆) との混合膜は、ガラス基板上にスピコートした時点ですでに相分離をしていた (図 5)。ドメインの着色がドメインの周囲に比べて淡いことから、ドメインの主成分は BMIM-PF₆ であることが示唆される。

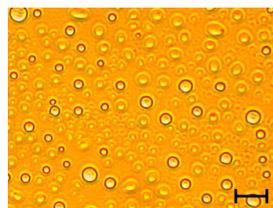


図 5 BFIAB-BMIM-PF₆ 混合膜の製膜直後の光学顕微鏡写真 (Scale bar: 10 μm)

得られた相分離膜に 488 nm のレーザー光 (偏光方向: 図 5 の水平方向) を照射すると、ドメインは偏光方向と垂直な方向に引き伸ばされた特異な形状へ変化した (図 6)。この変形は数分で完了し、それ以上の偏光照射による変化は見られなかった。また、光照射を止めても、ドメインの形状は維持された。ここで観測されたドメイン構造の光伸長の方向は、BFIAB-PVAc 系で観測されたドメインの伸長方向とは異なっており興味もたれる。BFIAB-PVAc 系ではドメインの主成分が BFIAB であるのに対し、本系ではドメインの周囲の主成分が BFIAB であり、ドメインの界面で BFIAB 分子が偏光方向と平行に移動しようとするた

めに、ドメインが偏光方向に圧力を受け、その結果、ドメインが偏光方向と垂直な方向に伸長した形状となると考えられる。

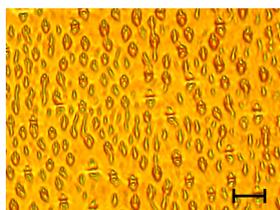


図6 BFIAB-BMIM-PF₆ 混合膜にレーザー光（偏光方向：画面の水平方向）を照射した後の光学顕微鏡写真（Scale bar: 10 μm）

(3) 寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の光誘起形状変化

寒天ゲル中に固定されている BFIAB 粒子に 488 nm のレーザー光を照射すると、それぞれの粒子は偏光方向と平行に引き伸ばされた特異な構造に変形した（図7）。光照射を止めても、伸長した粒子の構造は維持された。この試料に、偏光方向を変えて再び光を照射すると、粒子はいったん凝集した後、新たな偏光方向と平行に引き伸ばされた。同様の挙動は、BMAB や PBAB を用いた場合にも観察された。

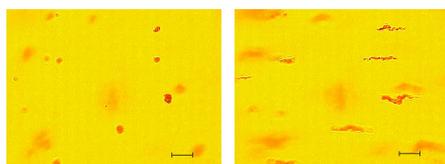


図7 寒天ゲル中に固定した BFIAB 粒子のレーザー光照射前（左）および照射後（波長：488 nm、光強度：15 mW、偏光方向：画面の水平方向）を照射した後の光学顕微鏡写真（Scale bar: 20 μm）

粒子の伸長についてさらなる知見を得るため、粒子の変形速度をさまざまな条件で比較・検討した。三種の材料間で比較すると、変形速度は BMAB < PBAB < BFIAB の順になった。この順番は、用いる材料のガラス転移温度の順に一致している。また、照射光強度が強いほど、粒子の変形速度が大きいことがわかった。さらに、寒天ゲルが柔らかい場合のほうが、粒子の変形速度が大きいことがわかった。寒天ゲル中に固定した粒子に偏光が照射されると、trans-cis 異性化反応が繰り返し誘起されることによって粒子が軟化すると同時に、粒子中の分子が偏光方向と平行に振動し、寒天ゲルを押しつけながら伸長すると考えられる。

レーザー光の代わりに、非コヒーレント光である LED 光源（450 nm）からの光を偏光板を通して照射した場合にも、BFIAB 粒子が偏光方向と平行に引き伸ばされるのが観察された。このことから、ここで観察されたフォトメカニカル挙動の発現機構に、

照射する光がコヒーレントであるかどうかは関与していないことが示唆される。

(4) 寒天ゲル表面上に製膜したアゾベンゼン系アモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動

寒天ゲル上に作製した BFIAB 膜に 488 nm のレーザー光を照射すると、直ちに偏光方向と垂直な方向に縞状構造が形成され（図8a）、さらに光照射を続けると偏光方向と平行に連なる数珠状構造が形成された（図8b）。この現象も偏光方向に大きく依存しており、分子が偏光方向と平行に振動／移動しようとしていると考えたと説明できる。

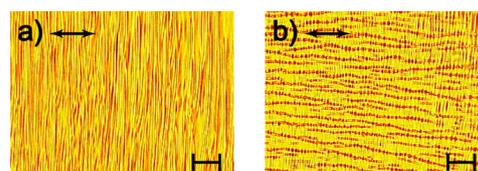


図8 寒天ゲル表面に形成させた BFIAB 膜にレーザー光（波長：488 nm、光強度：15 mW、偏光方向：画面の水平方向）を照射した後の光学顕微鏡写真。 a) 30 s 照射後 b) 30 min 照射後（Scale bar: 50 μm）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 14 件）

- "Mechanochromic luminescence of 1-alkanoylaminopyrenes adsorbed onto cellulose papers", E. Nagata, T. Ara, H. Nakano, *Dyes Pigm.*, **141**, 48-52 (2017). 査読有
DOI: 10.1016/j.dyepig.2017.02.003
- "Modulation of Emission Intensities of Binary Films Composed of Fluorescent Amorphous Molecular Materials and p-Toluenesulfonic Acid in Response to Exhaled Breath", H. Nakano, T. Nishimura, E. Nagata, R. Ichikawa, *ChemistrySelect*, **1** (8), 1737-1740 (2016). 査読有
DOI: 10.1002/slct.201600273
- "Aggregation Induced Emission of 4-[Bis(4-methylphenyl)amino]acetophenone", K. Shishido, H. Nakano, *J. Photopolym. Sci. Tech.*, **29** (3), 369-372 (2016). 査読有
DOI: 10.2494/photopolymer.29.369
- "Photoinduced change in the shape of azobenzene-based molecular glass particles fixed in agar gel", R. Ichikawa, H. Nakano, *RSC Adv.*, **6** (43), 36761-36765 (2016). 査読有
DOI: 10.1039/C6RA05792F
- "Mechanofluorochromism of 1-Alkanoylaminopyrene", E. Nagata, S. Takeuchi, T. Nakanishi, Y. Hasegawa, Y. Mawatari, H. Nakano, *ChemPhysChem*, **16** (14), 3038-3043 (2015). 査読有

- DOI: 10.1002/cphc.201500383
- "Emission Modulation of Poly(vinyl acetate)-Tetrabutylphosphonium Tetrafluoroborate Hybrid Film Doped with 4-[Bis(4-methylphenyl)amino]benzaldehyde", K. Ogura, Z. Hoshi, E. Nagata, R. Ichikawa, T. Nakanishi, Y. Hasegawa, H. Nakano, *J. Photopolym. Sci. Tech.*, **28** (4), 601-604 (2015). 査読有
DOI: 10.2494/photopolymer.28.601
 - "Phase Separation and Photo-induced Deformation of Domain Structures of Azobenzene-based Photochromic Amorphous Molecular Materials - Poly(vinyl acetate) Hybrid Films", R. Ichikawa, H. Nakano, *Lett. Appl. NanoBioSci.*, **4** (2), 260-263 (2015). 査読有
<http://nanobioletters.com/all-issues/2015-2/issue-2>
- [学会発表] (計 137 件)
- 市川亮太、○中野英之、「アゾベンゼン系アモルファス分子材料を含む複合微粒子の寒天ゲル中における光変形」、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 16-19 日、慶応大学 (横浜市)
 - 北野文萌、市川亮太、中野英之、「寒天ゲル表面上に製膜したアゾベンゼン系アモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動」、日本化学会第 97 春季年会、2017 年 3 月 16-19 日、慶応大学 (横浜市)
 - 市川亮太、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料と光不活性材料から成る混合粒子の寒天ゲル中における光変形」、第 35 回固体・表面光化学討論会、2016 年 11 月 21-22 日、室蘭工業大学 (室蘭市)
 - R. Ichikawa、H. Nakano、「Photoinduced Shape Change of Azobenzene-based Photochromic Amorphous Molecular Materials Fixed in Agar Gel」、The 12th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis、2016 年 10 月 14-19 日、長沙 (中国)
 - H. Nakano、「Photomechanical Behaviors Observed for Azobenzene-based Photochromic Amorphous Molecular Materials」(Keynote Lecture)、The 12th IUPAC International Conference on Novel Materials and their Synthesis、2016 年 10 月 14-19 日、長沙 (中国)
 - H. Nakano、「Photomechanical Behaviors Observed for Azobenzene-based Photochromic Amorphous Molecular Materials」(Invited Lecture)、HOKUDAI-NCTU International Joint Symposium on Nano, Opto and Bio Sciences、2016 年 10 月 4-5 日、北海道大学 (札幌市)
 - 岩下知央、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イオン液体ハイブリッド膜に形成される相分離構造の光変化」、第 65 回高分子討論会、2016 年 9 月 14-16 日、神奈川大学 (横浜市)
 - 岩下知央、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イミダゾリウム塩ハイブリッド膜に形成される相分離構造の光変化」、2016 年光化学討論会、2016 年 9 月 6-8 日、東京大学 (目黒区)
 - 市川亮太、中野英之、「ハイドロゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の光誘起形状変化」、2016 年光化学討論会、2016 年 9 月 6-8 日、東京大学 (目黒区)
 - H. Nakano、「Photomechanical Behaviors Observed for Azobenzene-based Photochromic Amorphous Molecular Materials」、1st International Symposium on Photosynergetics、2016 年 6 月 2-4 日、大阪大学 (豊中市)
 - 岩下知央、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イオン液体ハイブリッド膜に形成される相分離構造の光変化」、日本化学会第 96 春季年会、2016 年 3 月 24-27 日、同志社大学 (京田辺市)
 - 市川亮太、中野英之、「寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の光変形」、日本化学会第 96 春季年会、2016 年 3 月 24-27 日、同志社大学 (京田辺市)
 - 市川涼児、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル複合膜の可逆的相分離と光応答」、日本化学会第 96 春季年会、2016 年 3 月 24-27 日、同志社大学 (京田辺市)
 - H. Nakano、M. Suzuki, R. Ichikawa, R. Matsui, R. Ichikawa、「Photoinduced mass transport observed for azobenzene-based photochromic amorphous molecular materials」、PACIFICHEM 2015、2015 年 12 月 15-20 日、ホノルル (USA)
 - 市川亮太、中野英之、「アゾベンゼン系分子材料が示すフォトメカニカル効果：ハイドロゲル中における光変形」、第 34 回固体・表面光化学討論会、2015 年 12 月 3-4 日、宇都宮大学 (宇都宮市)
 - 岩下知央、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イオン液体ハイブリッド膜に形成される相分離構造の光変化」、第 5 回 CSJ 化学フェスタ 2015、2015 年 10 月 13-15 日、タワーホール船堀 (江戸川区)
 - 市川亮太、中野英之、「寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミック

- アモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動」、第5回CSJ化学フェスタ2015、2015年10月13-15日、タワーホール船堀(江戸川区)
18. ○中野英之、鈴木もと子、市川涼児、松井陸、市川亮太、岩下知央、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料が示すフォトメカニカル挙動」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学(大阪市)
 19. ○市川涼児、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル複合膜のマイクロ構造の光変化」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学(大阪市)
 20. ○市川亮太、中野英之、「寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の可逆的光変形挙動」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学(大阪市)
 21. ○岩下知央、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-イオン液体ハイブリッド膜に形成される相分離構造の光変化」、2015年光化学討論会、2015年9月9-11日、大阪市立大学(大阪市)
 22. ○H. Nakano、「Photomechanical Effects Observed for Azobenzene-based Molecular Materials」(Invited Lecture)、7th East Asia Symposium on Functional Dyes and Advanced Materials (EAS7)、2015年9月2-5日、大阪府立大学(堺市)
 23. ○市川亮太、中野英之、「寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動」、第64回高分子学会年次大会、2015年5月27-29日、札幌コンベンションセンター(札幌市)
 24. ○市川涼児、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル複合膜の可逆的相分離とドメイン構造の光変形」、日本化学会第95春季年会、2015年3月26-29日、日本大学(船橋市)
 25. ○市川亮太、中野英之、「寒天ゲル中におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料のフォトメカニカル挙動」、日本化学会第95春季年会、2015年3月26-29日、日本大学(船橋市)
 26. 中野英之、松井陸、○市川亮太、市川涼児、「さまざまな状況下におけるアゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料の光変形」、2014年光化学討論会、2014年10月11-13日、北海道大学(札幌市)
 27. ○市川涼児、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル複合膜の可逆的相分

離とドメイン構造の光変形」、2014年光化学討論会、2014年10月11-13日、北海道大学(札幌市)

28. ○市川涼児、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニルハイブリッド膜の熱可逆的相分離挙動とドメインの光変形」、第63回高分子討論会、2014年9月24-26日、長崎大学(長崎市)
29. ○H. Nakano、「Photoinduced Mass Transport Observed for Azobenzene-based Photochromic Amorphous Molecular Materials」(Invited Lecture)、EMN Open Access Week 2014、2014年9月22-25日、成都(中国)
30. ○市川涼児、中野英之、「アゾベンゼン系フォトクロミックアモルファス分子材料-ポリ酢酸ビニル混合膜の相分離」、第63回高分子学会年次大会、2014年5月28-30日、名古屋国際会議場(名古屋市)

〔図書〕(計2件)

1. 木下修一・太田信廣・永井健治・南不二雄 編集、朝倉書店、「発光の事典 基礎からイメージングまで」2015年発行、分担執筆「8.2 発光の応用：8.2.1 発光色材」p.717-722.
2. 光化学協会光化学の事典編集委員会、朝倉書店、「光化学の事典」2014年発行、分担執筆「6.1 医療に用いる光技術：歯科用光重合レジン」p.256-257.

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：湿度感受性を有する混合物
 発明者：中野英之
 権利者：国立大学法人室蘭工業大学
 種類：特許権
 番号：特願2014-239123、特開2016-98363
 出願年月日：2014年11月26日
 国内外の別：国内

○取得状況(計0件)

6. 研究組織
- (1) 研究代表者
 中野英之(NAKANO Hideyuki)
 室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：00222167