

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24550255

研究課題名(和文) 空中伝搬超音波法による多孔質ポリマーフィルムの構造物性解析

研究課題名(英文) Studies on the structure and properties of macroporous polymer films using airborne ultrasound transducers

研究代表者

則末 智久 (NORISUYE, Tomohisa)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授

研究者番号：40324719

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：微細発泡体の多くは高度に乳濁しており、光学的手法による分析は極めて困難である。また変形が容易で破壊しやすい事から、厚みや弾性率の機械的測定には問題点が多い。また真空処理を伴う電顕観察では試料本来の状態を知る事が困難である。本研究では、一般的に用いられる水中音響の問題を克服した解析手段、すなわち空中伝搬超音波スペクトロスコピーを開発する事で、微細発泡体フィルムの非破壊オンライン解析法を開発し産業界に貢献すると共に、基礎学術的にはバルクの物性と気泡界面の物性で決まる発泡体の構造形成メカニズムについて検討することを目的とする。

研究成果の概要(英文)：Because most of the macroporous materials are optically turbid, it is very difficult to be observed by optical techniques. In addition, these materials are so soft and fragile, acquiring thickness and elastic properties of the materials are also a challenging task. So far we have studied ultrasound spectroscopy to characterize structures and properties of membranes in water which is a low-attenuation and good coupling medium for sound waves. Since elastic properties of macroporous materials may be over- or underestimated, we have carried out ultrasound experiments using airborne transducers. In addition, because the thickness of the membranes are thinner than the wavelength and the structure is microporous, the multiple reflection and scattering behavior is also taken into account. The present method may give a new route to evaluate the structure and elastic properties of thin macroporous materials without disturbing the system.

研究分野：高分子物性、超音波解析

キーワード：ultrasound

1. 研究開始当初の背景

ポイドサイズが数十ナノメートルから数十マイクロメートルの多孔質フィルムは、断熱材、梱包材、衝撃吸収剤、吸音材など、ポイドの大きさに応じて様々な応用例が想定される。ところが、試料の外観は高度に白濁する事から光学的手段では分析が困難である。また電子顕微鏡等では、調べたい断面を切り出し、試料を真空下に置かなければならないため、柔らかい発泡フィルムを非破壊でそのままの状態では分析することは簡単とは言えない。我々はこれまで、溶液やゲルに対する、超音波を用いた構造・物性解析法を提案してきた。例えば、マイクロ粒子懸濁液中の運動状態から微粒子のサイズや、さらには粒子が形成する過渡的な構造を、試料を希釈・乾燥することなく調べられる動的超音波散乱法や、弾性率・粘性・密度の複数の変数を同時に解析するマルチエコー超音波スペクトロスコーピー法の開発は、研究成果の一例である。

これらにより材料は、非破壊・非接触で解析可能であるが、実験は、音波の減衰ロスが最も小さい水中で行うのが一般的である。そのため、多孔質フィルムの精密解析においては、試料への水の含浸に注意する必要がある。疎水性のフィルムや、閉じたポイドを含む場合など、含浸状態が不明瞭な場合には、むしろ空中で実験を行うことが望まれる。企業の製産場で生み出される商品のオンライン検査を行う場合も、空中での測定が好ましい事は言うまでもない。そこで、本研究では、これまでの超音波を用いた散乱解析や薄膜解析に関する研究成果を活かしつつ、空中伝搬超音波を用いたポリマーフィルムの新しい非接触構造解析を試みる。

2. 研究の目的

超音波は物質を介して伝搬するため、真空では実験を行う事ができないが、空中で不可能なわけではない。それにも関わらず、空中での実験が困難である理由は、空中の減衰ロスに加えて、前方に音波を発信する事の難しさにある。異なる物質の界面において、屈折率の違いが大きければ光が反射してしまうように、またインピーダンスの違いが大きければ流れる電気が反射してしまうように、超音波も密度や弾性率の違いがあれば、物質の界面で反射を伴う。より正確には、密度と音速の積で定義される音響インピーダンスが反射係数を決定する。超音波トランスデューサの素材には、発信効率の高い圧電セラミックスが用いられる。ところが、これらは密度が非常に大きい素材が多い。それ故、圧電セラミックスから発信された超音波は、仮に振動の励振に成功しても、前方に放射されずに、センサーの表面で反射されてしまう。水中へ、ましてや密度のさらに低い空中への発信は極めて困難である。もちろん、圧電セラミックスセンサーには、音響整合層と呼ばれる、

圧電セラミックスと水の間での密度で形成されるインピーダンスのマッチング層が設けられているが、それでようやく水中への発信が実現する。本研究ではまず、空気のインピーダンス（もしくは密度）により近く、かつセラミックスでは困難な薄膜化可能な圧電ポリマー素材を用い、(2~10MHz程度)の低い周波数の空中超音波発信センサーの開発を行う。高周波化により、波長を短くできるので、これまでの水中音響による研究と同様に、可視光と比較してやや波長の長い超音波を用いながらも、ミクロンからサブミクロンオーダーの微細な構造解析が可能になると期待される。

空中伝搬超音波センサーは高価であるが、低い周波数(数百キロヘルツ~2メガヘルツ)の製品であればすでに市販されている。高い周波数では減衰も大きく、空間解像力の高いセンサーの開発には発信効率の向上が重要な検討課題である。ポリマー圧電体トランスデューサの試作はすでに予備実験を行っており、また、マルチレイヤー解析は単純な連続体に関しては研究成果がある。さらに、散乱解析についても研究成果があり、これらを空中音響に応用した研究が行える環境にある。以上のように本研究は、空中超音波発信センサーを用いて、企業等の現場で必要とされる数~数十ミクロンの比較的薄い膜厚の発泡フィルムの非破壊・非接触解析を行い、発泡フィルムの構造と物性に関する定量的研究を行う事を目的とする。

3. 研究の方法

水は超音波減衰の小さい理想的な媒質であるため、古くから超音波の実験は水中で行われてきた。そこで新しい空中音響を使った散乱実験を行う前に、水中で研究を行い、その後の空中音響の結果と照らし合わせることにした。トランスデューサを試作することによって音波の発信から研究を行う事ができるため、まずポリフッ化ビニリデントリフルオロエチレン共重合体 P(VDF-TrFE)のセンサーを制作し、ビームの伝播や解析の精度について検証した。ここでトランスデューサとは、印加された交流電気信号を圧力波に変換できる代表的な圧電体である。これらは、溶液キャスト法でマイクロメートル厚みの均一なフィルムが作製できることがわかっており、研究室でも音波発信の予備実験をすでに行っている。市販されているポリマーを数wt%程度の濃度になるように良溶媒(例えばDMF)に溶解し、キャストする。研究室で作製した電気分極用のセルに膜を担持し、電気分極を行う。得られたフィルムは場合によっては延伸すると圧電性能が向上する。

2つの空中超音波センサーの間にサンプルを配置する透過セットアップにより、超音波の減衰率および音速が評価できる(市販の空中音響センサーの費用を計上した)。超音波を発信するための電氣的刺激にはパルサ

ーもしくはアンプで増幅したシグナルジェネレータを用いる。スパイクパルサーは研究室に保有しているが、波数の多いパルスの発信には専用のバーストパルサーが必要である。発信された電気信号を自作もしくは市販の超音波センサーに印加すると超音波の発信が行える。サンプルを透過した超音波をもう一つのセンサーで受信し、研究室で保有のデジタイザで波形を記録する。ここでサンプルを透過するビームの軸調整に専用のステージ、特注サンプル保持台が必要である。試料としては、厚みが既知のガラス板、銅箔を用いてキャリブレーションを行い、発泡体としてはポリプロピレン膜やテフロン製のマイクロフィルターを用いた。

さて、データ解析においては、通常の方法では厚みが既知である必要があり、一定距離の間に減衰する振幅と、伝搬に要する時間からそれぞれ減衰率と音速が評価できる。ところがフィルムの生産ラインでは膜厚が変化することもあり、品質管理のためにもリアルタイムでモニタリングする必要がある。また、発泡フィルムのように柔らかい試料の場合には、機械的に測定する手法では負荷によって膜厚が過小評価されてしまう。乳濁したフィルムも光学的手法が破綻するため、膜厚も同時に求められる超音波解析法が必要不可欠である。これらの解析では膜を直接透過した波形と、多重反射した波形を分離して、それらを組み合わせる解析するが、膜厚に相当する伝搬時間がパルス幅よりも短い場合には、これらの反射波が重なってしまい、分離解析できない。そこで多重反射の級数和を予め理論的に計算しておき、それにフィッティングする事で、減衰率、音速、厚み、さらには密度を同時に算出する方法論を開発する。得られたデータは自作のソフトで解析する。解析方法が確立すれば同じ発泡度で厚みの異なるサンプルや、同じ厚みで発泡度の異なるサンプルを作製し、評価方法の妥当性を検証する。

4. 研究成果

孔径の異なる(0.5, 0.8, 1.0, 3.0 μm)のポリテトラフルオロエチレン製のメンブレンフィルターを試料として用いた。実験は水中、および空中で行い、前者は従来と同様に20MHzの水浸用コンポジットトランスデューサーを用い、後者はジャパンプローブ製1.5MHz、3.0MHzの2種類の空中発信用トランスデューサーを用いて行った。用いた超音波の波長は数十から数百マイクロメートルと長い為、本来超音波による測定は波長より薄いフィルムの物性評価には不向きである。具体的には2つのセンサーの間に試料を設置し、一つのセンサーから発した超音波をもう一つのセンサーで受け取ると、フィルムを透過した信号とフィルムと多重反射した信号が重なってしまう。フィルムの厚みが波長よりも遙かに分厚い場合には、これらの信

号は時間軸上で分離して観測されるが、薄いフィルムの分離は不可能に近い。そこで多重反射を考慮したモデルを準備し、その関数系を用いて解析する事で厚みを評価できるシステムを作成した。硼珪酸でできたカバーガラスや銅箔を校正用試料とした。この解析により、試料の音速、吸収係数、試料の厚み、さらには密度を同時に評価可能である。またガラスはほぼ超音波吸収のない材料であるが、市販の1mm厚のポリ塩化ビニル板を用いて、吸収が大きな試料についても音響物性を再現できることを確認した。

この解析技術を用いて、メンブレンフィルターの物性評価を、水中および空中で行った。ポリテトラフルオロエチレンの音速、密度、減衰率は、それぞれ1.24 ($\text{mm}/\mu\text{s}$)、2.13 (g/cm^3)、0.43 (Np/mm^{-1})である事が知られている。これらの基本物性を代入して、見かけの吸収係数や音速の周波数依存性を解析し、試料の空孔率、厚みを得た。様々な孔径の試料に対して超音波解析を行った結果超音波吸収係数と音速を得た。また得られた見かけの密度を、空気とポリテトラフルオロエチレンのその加成性を考慮して空孔率を求めると、おおよそモデル通りの値が得られている事がわかり、空孔率のオンライン測定に活用できる事がわかった。その一方で、フィッティング解析に用いた減衰率パラメータはポリテトラフルオロエチレンと空気の加成性を考慮した減衰よりも、顕著に大きかったため、サンプル内部の構造により超音波の顕著な散乱が大きな寄与を示している事がわかった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

(1) K. Sugita, T. Norisuye, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Effect of Electrostatic Interactions on the Velocity Fluctuations of Settling Microspheres", Phys. Fluids, 査読有, Vol. 27, 2015, 013304

DOI: 10.1063/1.4906042

(2) T. Kawamoto, D.-T. Van-Pham, H. Nakanishi, T. Norisuye, K. Fukao Q. Tran-Cong-Miyata, "Effects of Molecular Weight on the Deformation of Photo-Cross Linked Polymer Blends Studied by Mach-Zehnder Interferometry", Polymer Journal, 査読有, Vol. 46, 2014, pp.819-822

DOI: 10.1038/pj.2014.63

(3) K. Igarashi, T. Norisuye, K. Kobayashi, K. Sugita, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong Miyata, "Dynamics of Submicron Microsphere Suspensions Observed by Dynamic Ultrasound Scattering Techniques in the Frequency-domain", Journal of Applied Physics, 査読有, Vol. 115, No.20, 2014, 203506

DOI: 10.1063/1.4879235

(4) T. Shukutani, T. Myojo, H. Nakanishi, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Tricontinuous Morphology of Ternary Polymer Blends Driven by Photopolymerization: Reaction and Phase Separation Kinetics", *Macromolecules*, 査読有, Vol. 47, No. 13, 2014, pp. 4380-4386
DOI: 10.1021/ma500302k

(5) Q. Tran-Cong-Miyata, T. Kawamoto, D.-T. Van-Pham, H. Nakanishi, T. Norisuye, and K. Fukao, "Effects of Molecular Weight on the Local Deformation of Photo-Cross-linked Polymer Blends Studied by Mach-Zehnder Interferometry", *Polymer Journal*, 査読有, Vol. 46, 2014, pp. 819-822
DOI: 10.1038/pj.2014.63

(6) T. Ozaki, T. Koto, T.V. Nguyen, H. Nakanishi, T. Norisuye, Q. Tran-Cong-Miyata, "The roles of the Trommsdorff-Norrish effect in phase separation of binary polymer mixtures induced by photopolymerization", *Polymer* Vol. 55, 査読有, No. 7, 2014, pp. 1809-1816
DOI: 10.1016/j.polymer.2014.02.041

(7) H. Nakanishi, T. Norisuye, Q. Tran-Cong-Miyata, "Formation of Hierarchically Structured Polymer Films via Multiple Phase Separation Mediated by Intermittent Irradiation", *The Journal of Physical Chemistry Letters* Vol. 4, 査読有, No. 22, 2013, pp. 3978-3982
DOI: 10.1021/jz402212v

(8) N. Kimura, K. Kawazoe, H. Nakanishi, T. Norisuye and Q. Tran-Cong-Miyata, "Influences of Wetting and Shrinkage on the Phase Separation Process of Polymer Mixtures Induced by Photopolymerization", *Soft Matter*, Vol. 9, No. 35, 査読有, 2013, pp. 8428 - 8437
DOI: 10.1039/C3SM51203G

(9) K. Takeda, T. Norisuye, Q. Tran-Cong-Miyata, "Origin of the anomalous decrease in the apparent density of polymer gels observed by multi-echo reflection ultrasound spectroscopy", *Ultrasonic*, Vol. 53, No. 5, 査読有, 2013, pp. 973-978
DOI: 10.1016/j.ultras.2013.01.004

(10) K. Yasumoto, T. Norisuye, Y. Teranishi, Q. Tran-Cong-Miyata, and S. Nomura, "Fabrication and Proton Conductivity of Sulfonated Silica Composites Prepared by Post-oxidation of Mercaptomethoxysilane", *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 査読有, 2012, Vol. 50, No. 16, pp. 3295-3302

DOI: 10.1002/pola.26109

〔学会発表〕(計 65 件)

(1) 松本郁子、内藤康彬、中西英行、則末智久、宮田貴章, "金ナノ粒子表面に吸着する有機分子の結合定数", 日本化学会第 95 春学年会, 2015 年 3 月 26 日, 日本大学 (船橋市)

(2) Hideyuki Nakanishi, Ikuo Kikuta, Hiroyo Segawa, Tomohisa Norisuye, and Qui Tran-Cong-Miyata, "Supercapacitors based on arrays of vertically oriented gold nanowire electrodes for ultrafast energy delivery and uptake", 7th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2014 年 11 月 5 日, Halong City, Vietnam

(3) Ikuko Matsumoto, Hideyuki Nakanishi, Tomohisa Norisuye, and Qui Tran-Cong-Miyata, "Determination of the surface coverage of dodecylamine bound to gold nanoparticles", 7th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2014 年 11 月 4 日, Halong City, Vietnam

(4) Shoko Kuzaki, Hideyuki Nakanishi, Tomohisa Norisuye, and Qui Tran-Cong Miyata, "Nanometer deformation in photocrosslinked polymer blends measured by Mach-Zehnder interferometry", 7th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2014 年 11 月 3 日, Halong City, Vietnam

(5) Kazuki Sugita, Hideyuki Nakanishi, Tomohisa Norisuye, and Qui Tran-Cong-Miyata, "Effects of Electrostatic Interactions on the Sedimentation Dynamics of Silica Microspheres", 7th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2014 年 11 月 3 日, Halong City, Vietnam

(6) Tomohisa Norisuye, Kazuki Sugita, Hideyuki Nakanishi, and Qui Tran-Cong-Miyata, "Dynamics of microsphere suspensions observed by dynamic ultrasound scattering techniques", 7th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2014 年 11 月 3 日, Halong City, Vietnam

(7) 澤田智之、中西英行、則末智久、宮田貴章, "動的超音波散乱法による懸濁微粒子ダイナミクスの高 PRF における粒径依存性", 第 35 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 2014 年 11 月 3 日, 明治大学 アカデミー・コモン (東京都)

(8) 杉田一樹、中西英行、則末智久、宮田貴章, "動的超音波散乱法による高濃度シリカ微粒子懸濁溶液の沈降ダイナミクス解析", 第 35 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 2014 年 11 月 3 日, 明治大学 アカデミー・コモン (東京都)

- (9) 大谷顕三、宿谷利弥、中西英行、則末智久、宮田貴章, "Bi-continuous structure in ternary polymer blends emerging from photopolymerization", 6th International Symposium on Polymer Materials Science, 2014年7月28日, Akron, America
- (10) 大谷顕三、宿谷利弥、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光重合で誘発した三成分混合系における二相共連続構造の形成動力学", 第60回高分子研究発表会(神戸), 2014年7月25日, 兵庫県民会館
- (11) 久崎翔子、川本友也、中西英行、則末智久、宮田貴章, "Mach-Zehnder 干渉計を用いた光架橋性 Poly(ethyl acrylate)の変形挙動に及ぼす光強度の影響", 第60回高分子研究発表会(神戸), 2014年7月25日, 兵庫県民会館
- (12) Tam V.Nguyen、厚東達哉、中西英行、則末智久、宮田貴章, "Influence of polymerization conditions on the light-induced phase separation process in poly (ethyl acrylate)/poly(ethyl methacrylate) binary mixtures", 第60回高分子研究発表会(神戸), 2014年7月25日, 兵庫県民会館
- (13) 菊田郁夫、中西英行、瀬川浩代、則末智久、宮田貴章、瀬川浩代, "規則的に配列したナノワイヤー電極から成るスーパーキャパシタのエネルギー貯蔵特性", 第63回高分子年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- (14) 川本友也、久崎翔子、中西英行、則末智久、深尾浩次、宮田貴章, "Mach-Zehnder 干渉計を用いた光架橋に伴う材料変形の評価", 第63回高分子年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- (15) 宿谷利弥、大谷顕三、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光誘起相分離により発現した三成分系ポリマーブレンドの相構造に及ぼす光強度の影響", 第63回高分子年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- (16) 嶋田圭佑、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光反応誘起相分離で作製した構造の傾斜に及ぼす相分離メカニズム", 第63回高分子年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- (17) Thao Nguyen TRAN・Kojiro KUBO・Hideyuki NAKANISHI・Tomohisa Norisuye・Qui TRAN-CONG-MIYATA, "Evaluation Of Structural And Mechanical Properties Of Silica Hollow Particles By Ultrasound Spectroscopy", 第63回高分子年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- (18) 柴田大輔、中西英行、則末智久、宮田貴章, "超音波スペクトロスコーピーによるマイクロカプセルの粒径、シェル厚み、力学物性の同時評価", 第63回高分子年次大会, 2014年5月29日, 名古屋国際会議場(名古屋市)
- (19) 大谷顕三、宿谷利弥、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光重合で誘発した三成分混合系における二相共連続構造の形成動力学", 第60回高分子研究発表会(神戸), 2014年7月24日, 兵庫県民会館
- (20) 則末智久、五十嵐健太、小林奎佑、杉田一樹、中西英行、宮田貴章, "高周波動的超音波散乱法による懸濁液中のサブミクロン粒子のダイナミクス解析に関する研究", 第63回高分子討論会, 2014年9月24日, 長崎大学文教キャンパス(長崎市)
- (21) 杉田一樹、則末智久、中西英行、宮田貴章, "沈降マイクロ粒子の速度揺らぎに及ぼす特異的な静電的相互作用に関する研究", 第34回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 2013年11月20日, 同志社大学 室町キャンパス 寒梅館(京都市)
- (22) 宿谷利弥、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光重合反応によって誘起した高分子混合系の三相共連続構造とその相分離動力学", 第62回高分子討論会, 2013年9月11日, 金沢大学角間キャンパス(金沢市)
- (23) 川本友也、中西英行、則末智久、深尾浩次、宮田貴章, "Mach-Zehnder 干渉計を用いた光架橋性ポリマーブレンドの収縮とその緩和過程に及ぼす分子量効果", 第62回高分子討論会, 2013年9月11日, 金沢大学角間キャンパス(金沢市)
- (24) 鈴木淳也、中西英行、則末智久、宮田貴章, "二波長を用いた二種高分子の独立ネットワークの構築とそのモルフォロジーに及ぼす影響", 第59回高分子研究発表会(神戸), 2013年7月12日, 兵庫県民会館
- (25) 嶋田圭佑、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光反応を用いたポリマーブレンドの傾斜モルフォロジーの制御に関する研究", 第59回高分子研究発表会(神戸), 2013年7月12日, 兵庫県民会館
- (26) 菊田郁夫、瀬川浩代、中西英行、則末智久、宮田貴章, "垂直配向ナノワイヤー電極からなるスーパーキャパシタのエネルギー貯蔵特性", 第59回高分子研究発表会(神戸), 2013年7月12日, 兵庫県民会館
- (27) 久保幸次郎、則末智久、中西英行、宮田貴章, "超音波を用いた非破壊、非接触的なマイクロカプセルのシェル厚み評価", 第62回高分子学会年次大会, 2013年5月29日, 京都国際会館(京都市)
- (28) 厚東達哉、尾崎利樹、中西英行、則末智久、宮田貴章, "高分子混合系の相分離における重合反応の役割", 第62回高分子学会年次大会, 2013年5月29日, 京都国際会館(京都市)
- (29) 宿谷利弥、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光により誘起された三成分系ポリマーブレンドの特異的な相分離構造とその形成過程", 第62回高分子学会年次大会, 2013年5月29日, 京都国際会館(京都市)

(30) 小森香奈、鈴木淳也、中西英行、則末智久、宮田 貴章, "二波長を用いたポリマーネットワークの独立構築によるモルフォロジー制御", 第 62 回高分子学会年次大会, 2013 年 5 月 29 日, 京都国際会館 (京都市)

(31) 越智雄基、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光散乱法による光架橋性ポリマーブレンドの非臨界組成に見られる相分離挙動", 第 62 回高分子学会年次大会, 2013 年 5 月 29 日, 京都国際会館 (京都市)

(32) 川本友也、Van-Pham Dan-Thuy、中西英行、則末智久、宮田貴章, "Mach-Zehnder 干渉計を用いた光架橋性ポリマーブレンドに発現した収縮とその緩和ダイナミクスに関する研究", 第 62 回高分子学会年次大会, 2013 年 5 月 29 日, 京都国際会館 (京都市)

(33) 林千恵、嶋田圭佑、中西英行、則末智久、宮田貴章, "光反応誘起相分離を用いた PEA/PMMA ブレンドの傾斜構造の制御とその表面特性に関する研究", 第 62 回高分子学会年次大会, 2013 年 5 月 29 日, 京都国際会館 (京都市)

(34) 杉田一樹、則末智久、宮田貴章, "動的超音波散乱法による沈降マイクロ粒子のダイナミクスに関する研究 - 流体力学的長距離相互作用と静電的相互作用の競合 - ", 音響・超音波サブソサイエティ合同研究会, 2013 年 1 月 24 日, 同志社大学 室町キャンパス 寒梅館 (京都市)

(35) 杉田一樹、則末智久、宮田貴章, "動的超音波散乱法によるシリカ系懸濁微粒子溶液の沈降ダイナミクスに関する研究", 第 33 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム, 2012 年 12 月 13 日, 千葉大学西千葉キャンパス けやき会館 (千葉市)

(36) 則末智久, KIPS 若手高分子シンポジウム, "動的超音波散乱法によるマイクロ粒子懸濁系のダイナミクス", 2012 年 12 月 07 日, 京都大学(京都市)

(37) Naoto Kimura, Hideyuki Nakanishi, Tomohisa Norisuye, Qui Tran-Cong-Miyata, "Phase Separation of Polymer Mixtures Induced by Photo-polymerization under Various Spatial Confinements and its Application to Materials Science", Joint Symposium of 5th International Symposium on Polymer Materials Science 8th Osaka University Macromolecular Symposium, 2012 年 11 月 10 日, 大阪大学 (豊中市)

(38) Tatsuya Koto, Hideyuki Nakanishi, Tomohisa Norisuye, Qui Tran-Cong-Miyata, "Phase Separation Dynamics and Morphologies Induced by Photopolymerization under Various Spatial Confinements and its Application to Materials Science", Joint Symposium of 5th International Symposium on Polymer Materials Science 8th Osaka University

Macromolecular Symposium, 2012 年 11 月 10 日, 大阪大学 (豊中市)

(39) Chie Hayashi, Hideyuki Nakanishi, Tomohisa Norisuye, Qui Tran-Cong-Miyata, "Generation and Control of Spatial Graded Morphologies of Polymer Mixtures Using Light Intensity Distribution", Joint Symposium of 5th International Symposium on Polymer Materials Science 8th Osaka University Macromolecular Symposium, 2012 年 11 月 10 日, 大阪大学 (豊中市)

(40) Tomohisa Norisuye, Qui Tran-Cong-Miyata, "Ultrasonic Scattering Studies of Polymers", 6th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2012 年 10 月 29 日, Halong City, Vietnam

(41) Dan-Thuy Van-Pham, Qui Tran-Cong-Miyata, "Natural Fiber Reinforced Composites - Morphology Controlled by Light-Induced Phase Separation", 6th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2012 年 10 月 29 日, Halong City, Vietnam

(42) Tatsuya KOTO, Toshiki OZAKI, Tomohisa NORISUYE, Qui TRAN-CONG-MIYATA, "Phase Separation Induced by Photopolymerization: Reaction Kinetics- Shrinkage- Morphology Correlations", 6th International Workshop on Advanced Materials Science and Nanotechnology, 2012 年 10 月 29 日, Halong City, Vietnam

(43) 則末智久, POST-IWAMSN2012 at the University of Sciences, "Ultrasonic Scattering from Polymers", 2012 年 11 月 03 日, Ho-Chi-Minh City, Vietnam

(44) 久保幸次郎、則末智久、宮田貴章, "超音波スペクトロスコーピーによる中空微粒子の粒径および厚み解析", 第 61 回高分子討論会 (名古屋), 2012 年 9 月 19 日, 名古屋工業大学

(45) 林千恵、尾崎利樹、則末智久、宮田貴章, "光強度の空間分布で設計した高分子の傾斜機能材料とその表面特性", 第 61 回高分子討論会 (名古屋), 2012 年 9 月 19 日, 名古屋工業大学

(48) その他 20 件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

則末 智久 (Norisuye Tomohisa)
京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・准教授
研究者番号: 40324719