

平成 30 年 5 月 14 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05627

研究課題名(和文)懸濁液中のマイクロカプセルに対するシェルの力学特性と厚みの非接触同時解析法の開発

研究課題名(英文) Simultaneous analysis of the thickness and the mechanical properties of microcapsules in suspension.

研究代表者

則末 智久 (NORISUYE, Tomohisa)

京都工芸繊維大学・材料化学系・教授

研究者番号：40324719

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：液体中に浮遊する微粒子の大きさ、硬さ、表面特性を、試料を希釈・乾燥することなくそのままの状態で評価する超音波技術を開発しました。特に人の体温付近で急激に状態が変化する高分子ゲル微粒子をサンプルとして、粒子が収縮する際のサイズの変化と硬さの変化を同時に解析しました。この技術は、高度に乳濁もしくは着色した微粒子溶液に適用できるので、インクや化粧品など光学的手法で困難な解析が可能になることが新しく、今後様々な分野での応用が期待されます。

研究成果の概要(英文)：We have developed ultrasound techniques which enable us to evaluate the diameter, the stiffness and the surface properties of microparticles in liquid without dilution and drying of the sample. In this study, thermo-responsive gel particles which showed drastic change in the diameter upon temperature stimulation were analyzed in order to simultaneously evaluate the size and the elasticity of the particles. The technique could be a promising tool for industrial applications, such as ink, cosmetics and so on, since these are difficult to be observed by conventional optical techniques.

研究分野：高分子構造・物性。微粒子分散系の構造と物性。超音波や電磁波散乱法。

キーワード：超音波 微粒子 散乱

1. 研究開始当初の背景

中空粒子のシェル部分の厚みや硬さは、マイクロカプセルの機能と物性の相関を知る上で必要不可欠な情報である。マイクロカプセルの応用は、医療用超音波顕微鏡の造影剤、ドラッグデリバリーシステム、塗料、化粧品等、多岐にわたる。粒子径やシェル部の厚みを知るためには、現状では多くの場合カプセルを凍結させ、割って電顕で断面を見る方法がとられている。しかしながらこの場合、作業が面倒なだけでなく、もはや観察時とは異なった状態を計測しているかもしれない。

また、温度や pH 等の外部刺激に対して迅速に応答して機能するドラッグデリバリーシステムを設計するためには、特定部分(カプセルのシェル部)の力学物性を液中そのままの状態評価できる事が望ましい。その他、医療用超音波顕微鏡の造影剤カプセルの安定性は流動場における観測が必要不可欠であり、また希釈すれば構造が変化してしまう多相エマルジョンを合成の段階でモニタリングしたい場合など、類似した悩みが尽きないだろう。そのような要求から、本研究では、最近開発している超音波散乱法を駆使して、構造と力学特性を同時に評価する新しい中空粒子解析法の開発と、その応用研究を展開した。

超音波は従来、胎児のエコー診断や金属の欠陥検査に用いられてきた。1970年代には超音波吸収法による高分子溶液の局所構造解析もなされたが、これらを中空粒子等の特殊構造体に適用してシェルの厚みや弾性率等の情報を抽出する試みは見受けられない。高分子の研究分野におけるメソスコピックな構造解析を行う手法としては、波長の短い光や X 線の散乱法がよく用いられている。その一方で、近年のデジタルデバイスの発展により、超音波の多彩な(構造・力学)情報を大量のデータ処理によって有効活用できる時代が到来している。そのような背景の中、我々はあらためて超音波散乱法を見直し、これまでにない技術を構築し、ミクロンオーダーの興味深い研究成果を得ている。例えば懸濁微粒子溶液中に入射した超音波の散乱波を高速に記録・解析する事により、微粒子の運動情報を統計的に解析する動的超音波散乱法は、高度に乳濁した試料でも測定可能であり、かつ濃厚系で多重散乱が想定される場面でも位相情報が得られるため、単一散乱のデータを容易に取り出すことが可能である。

この手法は、申請者の留学先であったカナダの John Page らによって考案された動的音波散乱(Dynamic Sound Scattering, DSS)法がもとになっているが、彼らはミリメートルオーダーの物体に対する波動物理が興味の対象であった。その後の我々の研究で検出可能な粒子サイズの下限はマイクロメートルから、サブミクロンへと大きく進展している。

また得られる情報も単なる運動速度だけ

ではなく、揺らぎを伴う複雑流体の可視化も可能となっており、数マイクロメートル程度の微粒子が数ミリに及ぶ長距離相互作用を伴って集団運動を生じている様子を単独のセンサーで可視化した例は、位相モード動的超音波散乱法の際だった研究成果の一例である。

さて、本来の超音波の優位性は、超音波が力学的な変位を伝搬する波である事に由来する、非破壊・非接触での力学物性評価が行えるところとも言える。縦波超音波を解析すると、音速からは体積弾性率や剪断弾性率といった各種弾性率が、減衰率からは粘度を得ることが出来る。従来は、これらの情報を用いて、純度や組成、反応のモニタリングに活用されてきたが、前述の通り最近では超音波の複雑な散乱現象が解析可能になりつつある。そこで、超音波の波としての性質にも着目して、マイクロもしくはサブミクロンオーダーのマイクロカプセル等のシェル部分に特化した弾性率評価や厚み評価が独立に行えると期待される。

2. 研究の目的

剛体および中空粒子の超音波散乱のモデルは実は 1960 年代に提案されているが、比較的低周波数の超音波をソナーに応用するためのモデルである。実際の超音波測定で我々が計測できる物理量は、超音波減衰率や音速であるが、これらと散乱関数理論を結びつける必要がある。幸い、複数粒子の影響も考慮した分散関係モデルが存在し、微粒子懸濁液の減衰率と音速を測定して、微粒子1個の音響特性を解析する方法が提案されている。この原理を中空粒子の超音波スペクトロスコープ実験に適用し、粒子径、中空粒子の場合にはシェル厚み、粒子(もしくはシェルの)弾性率が異なるモデル系を準備し、解析方法の確立を目指すことを第1の目的とした。

このようにして解析手法が確立すれば、第2の目的として、その原理を活用した感熱応答ゲル微粒子やマイクロカプセルの刺激応答制御の応用研究を行う。感熱応答ポリマーゲル粒子の合成を行い、それに対するスペクトルの取得と解析を行った。学術的には、刺激応答のメカニズムを構造的観点と力学物性の両観点から明らかにできる点が新しい。粒子サイズ、シェル厚み、内部構造が同時に変化する場合、これらを分離評価でき、さらにシェル部の弾性率や粘性率が同時に評価可能である。実用化の観点では、合成段階や環境に応答した粒子状態の経時変化がモニタリングできる事が望ましいので、オートメーション化出来るシステムの開発を行う。

3. 研究の方法

中空粒子の超音波散乱関数は Goodman (JASA 1962) によって提案され、分散媒、

シェル部、コアの3成分を表せる修正理論をReadhead(DSTO 1995)が発表した。この理論は(センチメートルオーダーの)ソナー応用のために考案されたため、これからマイクロなソフトマターの世界(マイクロもしくはサブマイクロの中空微粒子)に適用できるか検討する必要がある。得られた散乱関数は、そのままでは超音波吸収の実験に適用できないので、まず吸収測定を行い、得られた結果をモデルを用いて解析する。

超音波の実験では水中に設置した2つのセンサーの間にサンプルを設置し、セルを設置しない場合と比較することで超音波の吸収と音速 c を算出する。パルサーによって電氣的に励振されたスパイク波を超音波トランスデューサーに印加し、そこから発信される超音波を試料に入射する。サンプルおよび超音波トランスデューサーは特注のステンレスステージとマイクロステージを用いて正確にポジショニングする。水中を伝搬する散乱波を同じセンサーもしくは任意の散乱角度に設置した別のトランスデューサーで受信し、その信号をアンプを通した後に高速デジタイザによって記録する。

超音波実験で実測可能な κ と c をReadheadの散乱モデルを考慮して解析するためには、これらを組み合わせる関係式が必要であり、Foldy(PR 1945)もしくはWaterman-Truell(J. Math Phys. 1962)の分散関係を用いて解析し、その妥当性を検証する。例えばケイ酸ガラスのエマルジョンテンプレートによる中空ガラス粒子を合成し、サイズやシェル厚みを校正した粒子に対して超音波スペクトロスコピー実験を行う。0.5 MHz から 30 MHz 程度の範囲に中心周波数を有するいくつかの自作・市販の超音波センサーを用いて減衰率や音速の周波数依存性を解析する。

モデル中空粒子を用いた理論解析の妥当性が確認できれば、続いて熱に応答するゲル微粒子やマイクロカプセルを用いた応用研究を行う。ポリN-イソプロピルアクリルアミド(PNIPAM)は、モノマー内に疎水部と親水部を有するLCST型相図を有する高分子である。メチレンビスアクリルアミドを用いて架橋したPNIPAMハイドロゲルは低温では膨潤状態に、34℃以上の高温では収縮状態にある。体積相転移を示すゲルで有名である。さらにPNIPAmを水と有機溶媒のエマルジョンをテンプレートとしてラジカル重合すると、シェル部がPNIPAmの感熱応答型中空粒子になる。まずは粒子径が数マイクロメートル程度のゲル微粒子を合成し、その超音波散乱解析を行う。ローダミン等の色素で染色すれば共焦点顕微鏡で粒子径およびシェル厚みの解析が可能である。得られた粒子の定常状態における温度依存性や濃度依存性を検証し、超音波スペクトロスコピー法による、感熱応答型マイクロカプセルのシェル厚みとシェル部の弾性率を評価する方法論の確立を目指す。

最終年度はこれまで構築してきた方法論

を活用して、粒子の構造変化の過程や合成途中のモニタリングへの応用を目指す。感熱応答カプセルの応用にとどまらず、希釈・乾燥の行えないような系に対して非接触モニタリングが行える可能性についても検討したい。これらは一つ超音波スペクトルに要する時間は1秒(遅くとも1ms×1000回積算)にも満たないので、時間分割の連続測定を自動化するソフトウェアを自作し、反応や構造変化の逐次モニタリングに活用できる。

4. 研究成果

初年度は、超音波散乱法の解析システムの確立を目指して、剛体微粒子や中空粒子の基礎解析を行った。特に中空粒子に関しては、ホウケイ酸ガラスやフェノール樹脂のカプセルについて詳細な超音波解析が行えた。単一散乱の散乱関数モデルに多重散乱を考慮した分散関係を組み合わせ、粒径分布や弾性率の評価を行った。特に中空粒子に関しては、シェル部分のみの弾性率やシェル厚みを定量的に定めることができた。業績(19)や翌年度に発表した業績(14)はその研究の一例である。

2016年度はPNIPAmゲル微粒子を合成し、温度刺激に伴う粒径の変化と弾性率変化の同時解析を試みた。合成した粒子は、ローダミンで染色し、共焦点レーザー顕微鏡による構造解析も併せて行った。シェル部分が赤く染まった中空粒子を得ることはできたが、他の方法で確認するために粒子を乾燥して回収することが困難であった。その他、微粒子の合成において内部から開始材を供給する実験や、外部から供給する実験を試みたが、粒子内部で二次相分離が生じ、効率よくカプセル状の試料を得ることが困難であった。その代わりに、内部構造が均一な感熱応答ゲル微粒子や、内部が多孔質な相分離ゲル微粒子が得られたので、これらの粒子を使って、超音波散乱研究を行った。ゲル微粒子の温度刺激に伴う粒径の変化や、硬さの変化を捉えることができた。この結果、翌年に論文発表に至っている(業績2)。この間、業績(11)、(13)、(15)の動的な超音波測定による粒径分布の精密解析や、業績(14)の中空粒子の合成過程のオンラインモニタリングを達成した。

最終年度は、感熱応答ゲル微粒子のモニタリングシステムの確立を目指した。前述のように安定なカプセル状試料の安定取得は困難であったが、様々な構造の感熱応答ゲル微粒子を得た。特に、ドラッグデリバリーシステムにおける薬剤放出では、サイズ変化に加えて、放出時の粒子の硬さも重要な情報となると考えられるので、これらの同時モニタリングが可能になったことが大きな成果の一つである。また、超音波測定の興味深い点は、圧縮弾性率のみならず、粒子のずり弾性率という2種類の弾性率情報を得ることができるところである。ずり弾性率は圧縮弾性率と比較して何桁も小さいので、対応する横波音速は、

縦波音速と比較して非常に小さい。それゆえ、ゲルの横波音速測定は非常に困難であると考えられてきたが、微粒子の散乱解析ではこれらを定量的に得ることができた(業績2)。この間、業績(8)、(12)にかかげる超音波散乱法のファインバブルへの応用、業績(4)の超音波散乱法の食品科学への応用、業績(1)、(5)、(6)の超音波散乱法の微粒子懸濁液の基礎理論解析も併せて行い、様々な超音波散乱法による微粒子研究を展開することができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計21件)

(1) H. Mori, T. Norisuye, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Ultrasound Attenuation and Phase Velocity of Micrometer-sized Particle Suspensions with Viscous and Thermal Losses", *Ultrasonics*, 査読有, Vol. 83, 2018, pp. 171-178
DOI: 10.1016/j.ultras.2017.03.016

(2) T. Inoue, T. Norisuye, K. Sugita, H. Nakanishi, and, Q. Tran-Cong-Miyata, "Size Distribution and Elastic Properties of Thermo-responsive Polymer Gel Micro-particles in Suspension Probed by Ultrasonic Spectroscopy", *Ultrasonics*, 査読有, vol. 82, 2018, pp. 31-38
DOI: 10.1016/j.ultras.2017.07.007

(3) R. Pandey, Y. Kawabata, S. Teraji, T. Norisuye, Q. Tran-Cong-Miyata, S. Soh, and H. Nakanishi, "Metal nanowire-based hybrid electrodes exhibiting high charge/discharge rates and long-lived electrocatalysis", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 査読有, vol. 9, 2017, pp. 36350-36357
DOI: 10.1021/acsami.7b07794

(4) D. Daugelaitė, A. Strybulevych, T. Norisuye, David W. Hatcher, M. G. Scanlon, and J. H. Page, "Frozen Convenience Noodles: Use of Ultrasound to Study the Influence of Preparation Methods on Their Rheological Parameters", *Cereal Chemistry*, 査読有, vol. 94 (5), 2017, pp. 892-896
DOI: 10.1094/CCHEM-11-16-0265-R

(5) K. Kobayashi, T. Norisuye, K. Sugita, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Dynamics of Nanometer- and Micrometer-Sized Particles in Suspension Probed by Dynamic Ultrasound Scattering Techniques", *J. Appl. Phys.*, 査読有, vol. 122, 2017, 045106 (8pages)
DOI: 10.1063/1.4996352

(6) T. Norisuye, K. Sugita, T. Thao Nguyen, H. Nakanishi, Q. Tran-Cong-Miyata, "A Novel Structural Analysis for Particle Suspensions with the Size Ranging from Nanometers to Micrometers by Ultrasound

Scattering Techniques", *Kobunshi-Ronbunshu*, 査読有, vol. 74, 2017, pp. 319-333
DOI: 10.1295/koron.2017-0017

(7) H. Kameda, K. Oya, H. Nakanishi, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Formation of a Bi-Continuous Morphology Generated by Photopolymerization in a Ternary Polymer Blend", *Kobunshi Ronbunshu*, 査読有, vol. 74, 2017, pp. 353-359
DOI: 10.1295/koron.2017-0003

(8) V. Leroy, A. Strybulevych, and T. Norisuye, "Time-resolved ultrasonic spectroscopy for bubbles", *AIChE*, 査読有, vol. 63 (10), 2017, pp. 4666-4672
DOI: 10.1002/aic.15799

(9) D.-T. Van-Pham, M. T. Nguyen, K. Ohdomari, H. Nakanishi, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Controlling the nano-deformation of polymer by a reversible photo-cross-linking reaction", *Journal Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 査読有, vol. 8(2), 2017, 025003 (8pages)
DOI: 10.1088/2043-6254/aa690d

(10) H. Nakanishi, I. Kikuta, H. Segawa, Y. Kawabata, R. Kishida, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Metal - Organic Coaxial Nanowire Array Electrodes Combining Large Energy Capacity and High Rate Capability", *ChemSusChem*, 査読有, vol. 10, 2017, pp.701 - 710
DOI: 10.1002/cssc.201601310

(11) T. Norisuye, "Structures and dynamics of microparticles in suspension studied using ultrasound scattering techniques", *Polym. Int.*, 査読有, vol. 66, 2017, pp.175-186
DOI: 10.1002/pi.5100

(12) V. Leroy, and T. Norisuye, "Investigating the existence of bulk nanobubbles with ultrasound", *ChemPhysChem*, 査読有, 17 (18), 2016, pp. 2787-2790
DOI: 10.1002/cphc.201600576

(13) M. L. Cowan, J. H. Page, T. Norisuye, D. A. Weitz, "Dynamic Sound Scattering: Ultrasonic Field Fluctuation Spectroscopy in the single scattering regime", *J. Acoust. Soc. Am.*, 査読有, vol. 150 (3), 2016, pp.1992 - 2001
DOI: 10.1121/1.4962556

(14) T. N. Tran, D. Shibata, T. Norisuye, K. Sugita, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Determination of Particle Size Distribution and Elastic Properties of Silica Microcapsules by Means of Ultrasound Spectroscopy", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 査読有, vol. 55, 2016,

07KC01

DOI: 10.7567/JJAP.55.07KC01

(15) T. Konno, T. Norisuye, K. Sugita, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Dynamics of Micron-Sized Particles in Dilute and Concentrated Suspensions Probed by Dynamic Ultrasound Scattering Techniques", *Ultrasonics*, 査読有, vol. 65, 2016, pp. 59 - 68

DOI: 10.1016/j.ultras.2015.10.022

(16) A. Hirose, K. Shimada, C. Hayashi, H. Nakanishi, T. Norisuye, Q. Tran-Cong-Miyata, "Polymer networks with bicontinuous gradient morphologies resulting from the competition between phase separation and photopolymerization", *Soft Matter*, 査読有, vol. 12, 2015, pp.1820 -1829

DOI: 10.1039/C5SM02399H

(17) R. Kawakubo, H. Nakanishi, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Influence of Alkyl Chain Length in Methacrylate Monomers on the Phase Separation Induced by Photo-Polymerization", *Kobunshi Ronbunshu*, 査読有, vol.72 (10), 2015, pp. 630 - 641

DOI: 10.1295/koron.2015-0031

(18) Y. Ochi, R. Kawakubo, D.-T. Van-Pham, Y. Kitamura, H. Nakanishi, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Phase separation of polymer mixtures induced by light and heat: a comparative study by light scattering", *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 査読有, vol. 6, 2015, 045002 (12 pages)

DOI: 10.1088/2043-6262/6/4/045002

(19) K. Kubo, T. Norisuye, T. Nguyen Tran, D. Shibata, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Sound Velocity and Attenuation Coefficient of Hard and Hollow Microparticle Suspensions Observed by Ultrasound Spectroscopy", *Ultrasonics*, 査読有, vol. 62, 2015, pp. 186-194

DOI: 10.1016/j.ultras.2015.05.016

(20) H. Nakanishi, I. Kikuta, Y. Kawabata, T. Norisuye, Q. Tran-Cong-Miyata, and H. Segawa, "Fast Ion and Electron Transport in a Supercapacitor Based on Monolithic Nanowire-Array Electrodes Prepared from a Defect-Free Anodic Aluminium Oxide Mold", *Adv. Mater. Interfaces*, 査読有, vol. 2(17), 2015, 1500354 (6 pages)

DOI: 10.1002/admi.201500354

(21) Y. Furubayashi, R. Kawakubo, H. Nakanishi, T. Norisuye, and Q. Tran-Cong-Miyata, "Effects of the positive feedback loop in polymerization on the reaction-induced phase separation of polymer mixtures", *Chaos*, 査読有, vol.

25 (6), 2015, 064305 (9 pages)

DOI: 10.1063/1.4921175

〔学会発表〕(計 27 件)

(1) 辻 崇紘、則末智久、中西英行、宮田貴章、"動的超音波散乱法によるシリカ微粒子懸濁液の運動状態解析"、第 38 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 (USE2017) 2017 年 10 月 26 日 (木) 多賀城市文化センター (多賀城市)

(2) 藤澤雅、則末智久、中西英行、宮田貴章、"周波数ドメイン動的超音波散乱 (FD-DSS) 法による懸濁溶液中のナノ粒子解析"、第 38 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 (USE2017) 2017 年 10 月 26 日 (木) 多賀城市文化センター (多賀城市)

(3) 尾崎幹、則末智久、中西英行、宮田貴章、"動的超音波散乱法によるカーボンブラック懸濁液の分散安定性解析"、第 38 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 (USE2017) 2017 年 10 月 27 日 (金) 多賀城市文化センター (多賀城市)

(4) 山下祐希、大谷顕三、中西英行、則末智久、宮田貴章、"成分系ポリマーブレンドにおける非一様なパターン光照射で誘起したモルフォロジーの形成過程に関する研究"、第 66 回高分子討論会、2017 年 9 月 20 日 (水) 愛媛大学城北キャンパス (松山市)

(5) 辻 和人、中西 英行、則末 智久、宮田 貴章、"架橋ポリジメチルシロキサン微粒子懸濁液の超音波散乱解析"、第 66 回高分子討論会、2017 年 9 月 22 日 (金) 愛媛大学城北キャンパス (松山市)

(6) 金森 千聡、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法による Pickering エマルションの構造解析"、第 66 回高分子討論会、2017 年 9 月 22 日 (金) 愛媛大学城北キャンパス (松山市)

(7) 辻合笙悟、川端友人、中西英行、則末智久、宮田貴章、"分散溶媒の化学反応によって誘起した銀ナノワイヤーの集合構造"、第 66 回高分子討論会、2017 年 9 月 22 日 (金) 愛媛大学城北キャンパス (松山市)

(8) 則末智久、杉田一樹、中西英行、宮田貴章、"動的超音波散乱法による懸濁溶液中のナノ粒子・サブミクロン粒子のダイナミクス"、第 62 回音波と物性討論会、2017 年 7 月 27 日 (木)、岡山大学 津島キャンパス 工学部 4 号館 4 階第 1 4 講義室、(岡山市)

(9) 董婷、杉田一樹、則末智久、中西英行、宮田貴章、"静的・動的超音波散乱法によるフロリナート/水系エマルションの粒径分布解析"、第 62 回音波と物性討論会、2017 年 7 月 27 日 (木)、岡山大学 津島キャンパス 工学部 4 号館 4 階第 1 4 講義室、(岡山市)

(10) 尾崎 幹、則末 智久、中西 英行、宮田 貴章、"動的超音波散乱法によるカーボンブラック懸濁液のダイナミクス"、第 37 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 (USE2016) 2016 年 11 月 17 日

(木) 釜慶大学校(韓国・釜山)
(11) Nguyen Thao Tran、則末 智久、中西 英行、宮田 貴章、"Ultrasound Scattering Studies on Pickering Emulsion"、第 37 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(USE2016)、2016 年 11 月 17 日(木) 釜慶大学校(韓国・釜山)
(12) 井上豪之、則末智久、中西英行、宮田貴章、"感熱応答ゲル微粒子懸濁液の超音波散乱解析"、第 37 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(USE2016)、2016 年 11 月 18 日(金) 釜慶大学校(韓国・釜山)
(13) 則末智久、森隼人、中西英行、宮田貴章、"シリカ微粒子懸濁液の超音波散乱解析"、第 37 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(USE2016)、2016 年 11 月 18 日(金) 釜慶大学校(韓国・釜山)
(14) 梯大翔、中西英行、則末智久、宮田貴章、"銀ナノ粒子の表面設計"、第 65 回高分子討論会、2016 年 9 月 14 日(木) 神奈川大学横浜キャンパス(横浜市)
(15) 岸田怜子、川端友人、菊田郁夫、瀬川浩代、中西英行、則末智久、宮田貴章、"有機/金属コアシェルナノワイヤー電極の電気化学的エネルギー貯蔵特性"、第 65 回高分子討論会、2016 年 9 月 14 日(木) 神奈川大学横浜キャンパス(横浜市)
(16) 森隼人、則末智久、中西英行、宮田貴章、"シリカ微粒子懸濁液の超音波散乱解析"、第 65 回高分子討論会、2016 年 9 月 14 日(木) 神奈川大学横浜キャンパス(横浜市)
(17) Hayato MORI、Tomohisa NORISUYE、Hideyuki NAKANISHI、and Qui TRAN-CONG-MIYATA、"Ultrasound Scattering Studies on Highly Concentrated Microparticle Suspensions"、the 2nd International conference on ultrasonic-based applications (Ultrasonics conference 2016)、2016 年 6 月 6 日(月) Hotel Aldeia dos Capuchos Golf & SPA (Estrada EN10-1, 2825 Almada (Portugal, Lisbon))
(18) Tomohisa NORISUYE、Keisuke KOBAYASHI、Hideyuki NAKANISHI、and Qui TRAN-CONG-MIYATA、"Dynamics of Nano- and Micron-sized Particles in Suspension Probed by Dynamic Ultrasound Scattering Techniques"、the 2nd International conference on ultrasonic-based applications (Ultrasonics conference 2016)、2016 年 6 月 7 日(火) Hotel Aldeia dos Capuchos Golf & SPA (Estrada EN10-1, 2825 Almada (Portugal, Lisbon))
(19) 則末 智久、Tran Thao Nguyen、中西 英行、宮田 貴章、"超音波スペクトロスコピー法によるマイクロカプセル懸濁液の構造物性解析"、第 64 回高分子討論会、2015 年 9 月 16 日(水) 東北大学 川内キャンパス(仙台市)

(20) 杉田 一樹、則末 智久、中西 英行、宮田 貴章、"動的超音波散乱法による懸濁微粒子溶液の階層的ダイナミクス解析"、第 64 回高分子討論会、2015 年 9 月 16 日(水) 東北大学 川内キャンパス(仙台市)
(21) Tomohisa NORISUYE、Hideyuki NAKANISHI、and Qui TRAN-CONG-MIYATA、"Dynamics of Microsphere Suspensions Observed by Frequency-Domain Dynamic Ultrasound Scattering Techniques"、International Congress on Ultrasonics (ICU) 2015、2015 年 5 月 13 日(水) Georgia Tech Lorraine (Metz, France)
(22) 内藤康彬、松本郁子、則末智久、中西英行、宮田貴章、"金ナノ粒子に吸着する有機分子の結合定数と粒径依存性"、第 64 回高分子年次大会、2015 年 5 月 27 日(水) 札幌コンベンションセンター(札幌市)
(23) 太田雄一郎、中西英行、則末智久、宮田貴章、"超音波スペクトロスコピーによるマイクロカプセルの構造解析法の開発と反応場モニタリングへの応用"、第 64 回高分子年次大会、2015 年 5 月 28 日(木) 札幌コンベンションセンター(札幌市)
(24) 小林奎佑、中西英行、則末智久、宮田貴章、"ゲルを用いた音波透過性の制御とサブミクロン粒子に対する新しい超音波散乱法の開発"、第 64 回高分子年次大会、2015 年 5 月 28 日(木) 札幌コンベンションセンター(札幌市)
(25) 亀田隼大、中西英行、則末智久、宮田貴章、"三成分系ポリマーブレンドの光重合誘起相分離に見られる収縮挙動と重合動力学の研究"、第 64 回高分子年次大会、2015 年 5 月 28 日(木) 札幌コンベンションセンター(札幌市)
(26) 北村祐基、嶋田 圭佑、中西英行、則末智久、宮田貴章、"二成分系ポリマーブレンドの光重合相分離に及ぼす空間制限の効果"、第 64 回高分子年次大会、2015 年 5 月 28 日(木) 札幌コンベンションセンター(札幌市)
(27) 中西英行、菊田郁夫、川端 友人、瀬川浩代、則末智久、宮田貴章、"速い電荷輸送を目指したコアシェル型ナノワイヤー電極の創製と疑似キャパシタへの応用"、第 64 回高分子年次大会、2015 年 5 月 29 日(金) 札幌コンベンションセンター(札幌市)

〔図書〕(計 1 件)

則末智久、他、シーエムシー出版、高分子微粒子ハンドブック、藤本啓二 監修
(12 章 微粒子形状・運動性測定(超音波))、2017

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・材料化学系・教授
研究者番号：40324719