

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 5 月 3 日現在

機関番号：14303
研究種目：基盤研究(B) (一般)
研究期間：2019～2021
課題番号：19H02776
研究課題名(和文) 粒子サイズ分布・弾性率・表面特性が同時解析可能な超音波散乱法の開発とその応用

研究課題名(英文) Development and its application of ultrasonic scattering techniques that enables simultaneous analysis of particle size distribution, elastic moduli, and surface properties

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) 13,500,000円

研究成果の概要(和文)：化粧品、塗料、電池の電極材料をはじめとして、微粒子と液体の混合物は我々の身の回りで様々な用途で活用されている。微粒子が液体中に均一に分散し、長期的にも安定に存在することが望ましいが、従来ではこの状態を調べるために着色した試料や濃度が非常に高い試料は希釈を余儀なくされることが多かった。我々は胎児のエコー診断で使われる超音波を、1億分の1メートル程度の非常に小さな微粒子で解析する技術を開発した。さらにこのようなナノ粒子・ミクロン粒子の大きさだけでなく、粒子の硬さや表面の帯電状態を液体中で無希釈で解析することを実現した。さらに大きな油滴の周りに集まった粒子の状態などのさらに高度な解析も実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義
微粒子の構造や物性の基礎的な解析法は、ほぼ確立されているが、比較的希薄で、かつ光の波長程度の構造体に限定されてきた。粒子の集合体はナノからミクロンにも及ぶことがあり、基礎学術的な理解に加えて、産業界で分散性の制御や安定性の確認を行うためには、定量的かつ無希釈で解析できる従来の限界を克服した手法の開発が必要不可欠である。その点で、本研究で開発した超音波散乱法は、ナノからマイクロメートル領域の構造体に対し、粒子の大きさはもちろん、硬さや表面特性を評価することを可能にしており、今後様々な微粒子分散系の特性解析において有用な技術になると期待される。

研究成果の概要(英文)：Mixtures of microparticles and liquids are ubiquitous and used in various applications, such as cosmetics, paints, and electrode materials for batteries. It is desirable for particulates to be uniformly dispersed in a liquid and remain stable over a long period of time, but so far, optically turbid samples or concentrated samples often required considerable dilution. We have developed a technique to analyze nanoparticles and/or micron-sized particle by using ultrasound which has been utilized in fetal echodiagnosis. Furthermore, we have realized the non-diluted analysis of not only the size of such nano- and micron-sized particles, but also their rigidity and surface charge in liquid. Furthermore, even more advanced analysis of the state of particles localized around a large oil droplet, namely Pickering emulsions, has also been realized.

研究分野：微粒子分散系の構造・物性解析

キーワード：超音波 微粒子

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

微粒子分散系は、インク、化粧品、触媒担持スラリーなど、様々な用途で研究開発が進められている。その構造も均質な剛体粒子加えて、中空構造、化学修飾/被覆構造など実に多彩である。ここで、実用の懸濁液の多くが濃厚な状態で機能しているにも関わらず、その集合構造の評価は、測定法の制約により希釈を余儀なくされている。また、比較的希薄な微粒子懸濁液であっても、光学的に不透明な試料は、かなりの希釈が必要とされる。それゆえ、光学的に着色した材料であっても、測定上の制限を受けない評価手法が求められる。

光散乱法や X 線散乱法はソフトマターの代表的な構造解析法である。その一方で、これらの波長の適性から適用できる空間スケールは一般的にナノレベルであり、逆に大きな構造体に関してはこれらの波長を超えた新しい手法の開発が望まれる。より幅広い条件で活用できる技術という観点では、ナノからミクロンまでの幅広いスケールを一望できる構造解析手法に期待が寄せられる。また、微粒子の1個の硬さの情報は、単体粒子(1個の粒子)の力学物性はもちろん、粒子が集合化した場合の集合形態を反映する重要な物理情報となる。そのため、液体中に浮遊する個々の固体微粒子の弾性を(液体なら液滴の粘性を)、試料を乾燥することなくそのままの状態破壊せずに評価する方法が必要である。さらに、水中に浮遊する微粒子は、表面に電荷を有すると斥力反発により安定化できるため、粒子表面の電位は微粒子分散性の尺度に用いられることも多い。このように、微粒子分散系の特性解析に必要な(1)粒子径の分布、(2)1個の粒子の弾性率もしくは粘性、(3)粒子の表面電位を一望できる技術は、微粒子分散系の基礎研究及び材料評価においてすこぶる有用な技術になると考えられる。

2. 研究の目的

変形を伝える波である超音波を活用して、粒子径の分布、1個の粒子の弾性率もしくは粘性、粒子の表面電位を一望できる技術を開発することを目的とする。メガヘルツ周波数領域の超音波の波長は可視光と比較して100倍ほど長いいため、空間分解能の観点では競合技術と比較して不利な点も多いが、最近ではナノレベルの解析も実現しつつある。そのため、(1)ナノ粒子からミクロン粒子まで幅広い空間スケールにわたる粒子径分布の情報を一度に獲得できると期待される。また、(2)変形を伝える波である超音波を用いると、微粒子分散系の粘性や弾性を評価することができる。さらに、(3)超音波散乱の原理に、電場を印加するシステムを組み込んで粒子の泳動を促し、その泳動速度から粒子の表面電位すなわちゼータ電位を測定できるシステムが構築できる。このような多面的な情報が一度に獲得できる超音波法を用いると、ミクロンサイズの油滴の周りに局在化するナノ粒子の安定構造、燃料電池の電極材料に用いられる階層的構造を形成するカーボンブラックインキの特性解析、抗原抗体反応を可視化する高度に乳濁したラテックス凝集の研究など、これまで困難であった多彩な微粒子分散系の研究が行える。このように、本研究では、微粒子のサイズ分布、粒子の粘弾性、粒子の表面特性が解析できる新しい革新的手法の開発と応用研究を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

超音波散乱法では、光散乱法や X 線散乱法と同様に、試料にビームを入射し、試料中に含まれる微粒子からの散乱波を解析する。前方に透過した試料の散乱減衰や、後方の散乱波を観測する手法がある。超音波には振動の方向が波の進行方向と同じ縦波と、振動の方向が波の進行方向に

垂直な横波があるが、本研究では実験が容易な前者を用いる。縦波超音波は水中を伝搬しやすいので、超音波を発信する水浸トランスデューサや試料セルは水中に設置する。時間立ち上がりがナノ秒レベルで、数百ボルトの振幅のスパイク電気パルスをとランスデューサに印加して、電気信号が圧力信号に変換される。この超音波パルスを試料に入射して、透過もしくはエコー信号をプリアンプで増幅したあと高速デジタイザを用いてデジタルデータとして記録するのが基本的な実験の流れである。例えば 30 MHz の縦波平面波の波長は水中で 50 μm 程度であり、200メガサンプル毎秒のデジタイザのパルスの時間分解能は 5 ナノ秒である。このようなパルスを断続的に照射して、秒オーダーの粒子の運動状態を追跡もしくは、パルス平均から試料の減衰率を計測する。超音波パルサーや超音波を記録する高速デジタイザーは市販品を独自のシステムに組み込んで装置化した。光散乱装置などとは異なり、多くが自作のソフトウェアシステムで稼働しており、逆にこれがシステム開発の柔軟性に寄与している。測定装置から解析方法、理論シミュレーションソフトウェアまで一貫して申請者が作成しており、このシステムによりナノ・ミクロン微粒子分散系のサイズ分布・硬さ・表面特性解析が行える。

4. 研究成果

以下に掲げる研究成果に示されるように、本研究では、希薄系から濃厚系まで、また、ナノからミクロンレベルの構造体に活用が期待される超音波法を開発した。超音波により、粒子のサイズ分布、粒子の硬さ、粒子の表面特性が評価できるようにした上で、さまざまな分散系の応用研究を展開した。その例として、(1)カーボンブラック懸濁液の構造・物性研究、(2)超音波減衰率・音速・密度・試料厚みの精密解析法の新規開発、(3)40vol%までの濃厚系の水の中油滴エマルジョンの新しい粒径分布解析法の新規開発、(4)超音波法による架橋エラストマー微粒子や耐衝撃ポリマー微粒子の粘弾性解析法の新規開発、(5)ミクロンサイズの油滴表面を被覆するナノ粒子の表面被覆構造の研究、(6)抗原抗体反応の高感度検出に活用できる超音波式ラテックス凝集反応の研究などである。それぞれの具体的な成果を次に述べる。

(1) カーボンブラックは、黒色インク、ゴムの強化、燃料電池用スラリーなど多様な用途で活用されている。その構成単位は、材料にも依るが 40nm 程度の粒子状を単位としている。液体中ではこれらがさらに結合した 2 次粒子を形成していることが多い。しかし水中もしくはアルコール分散液中の状態は、分散性を向上する目的で添加したポリマー分散剤の相互作用も含めて実に複雑であり、良好に分散させたつもりであってもその実態を把握することは光学的な透過測定と光の波長を超えた構造体形成により、極めて困難である。このようなカーボンブラック分散系のナノ粒子、二次粒子結合体、さらには弱い 3 次集合体を、超音波散乱を用いて解析した。動的超音波散乱法（動的光散乱法の超音波版）を用いると、光が透過しない材料であっても数十 nm の構造体からミクロンサイズの凝集体まで評価が行える。

"Structures and Dynamics of Carbon-black in Suspension Probed by Static and Dynamic Ultrasound Scattering Techniques", M. Ozaki, T. Norisuye, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, *Ultrasonics* 94, pp.192-201 (2019.4)

(2) 超音波スペクトロスコピー法は、液体中そのままの状態での微粒子の硬さが評価できる手法である。超音波の減衰率スペクトルや音速スペクトルをモデルを用いて解析することで弾性率が解析できる。その一方で、さらに複雑な（粘弾性特性など）周波数スペクトルを示す場合、その周波数依存性の解析にはパラメータの一義的決定において大きな不確定性を生じてしまう。それゆえ、可能であれば、微粒子の素材となるポリマー材料の超音波物性は、周波数の関数としてあらかじめ取得しておくのが好ましい。そこで、簡便かつ精密な

ポリマーシート の測定法を考案した。この手法は複数のパルスエコー信号に関する方程式を同時に解くため、従来の超音波減衰率と音速の周波数スペクトルに加えて、これらの解析に必要な試料厚みや密度も前情報なしに超音波法単独で得られる新しい技術である。非常に柔らかい材料に対しても単独で精密な物性評価が可能である。これにより当該手法を用いて基本物性が理解できると同時に、微粒子分散系の粒子散乱解析が高精度で行えるようになった。

"Simultaneous measurements of ultrasound attenuation, phase velocity, thickness, and density spectra of polymeric sheets", K. Tsuji, T. Norisuye, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, *Ultrasonics* 99, 105974 (2019.8)

- (3) 可視光の波長を超えた凝集状態やミクロン構造体のサイズ解析を行うために、超音波式の粒径分布評価法を開発した。一般的に粒径分布がある試料は、個々の粒子を分別して1つ1つ測定するか、混合した状態を測定して解析的に信号を分離する手法がとられる。本研究では、ミクロン粒子の運動状態と音響スペクトルを同時に測定して、前者からサイズを、後者から濃度を解析する手法を開発した。これにより、混合状態の信号を解析する（積分された信号を成分ごとに分離する）ことなく、粒径分布を直接評価することに初めて成功した。さらにミクロンサイズの水中油滴エマルションにおいて40vol%もの濃厚系をそのままの状態 で評価することができた。

"Particle Size Distribution Analysis of Oil-in-Water Emulsion using Static and Dynamic Ultrasound Scattering Techniques", T. Dong, T. Norisuye, H. Nakanishi, and Q. Tran-Cong-Miyata, *Ultrasonics*, 108, 106117 (2020.3)

- (4) ナノ粒子に適用できる高周波動的超音波散乱法は、我々が世界に先がけて開発したオリジナル技術であるが、一方で超音波減衰法（超音波スペクトロスコーピー, US法）については先駆者たちの数多くの先行研究がある。超音波散乱を最も正確に再現する理論の1つとして Epstein, Carhart, Allegra and Hawley (ECAH理論) が知られている。メガヘルツ超音波の波長に対して十分小さなナノ粒子の散乱 (Rayleigh散乱) はもちろん、波長と同程度の大きさの粒子も包括する強力な理論である。しかしながら ECAH理論では、液体中に分散する液滴 (エマルション) の液滴の力学物性としては液滴の「粘度」が、液体中に分散する固体粒子 (サスペンション) の力学物性としては粒子の「弾性率」が用いられてきた。縦波と横波の波動方程式を厳密に解く当該手法の複雑性から、粘性と弾性の両方を考慮することは定性的には言及されていたが、これまで実験検証はなされていなかった。本研究では、架橋エラストマー粒子や、耐衝撃性のあるポリカーボネート粒子を作成し、従来法では評価できなかった液体中に分散する粘弾性粒子の定量的な物性解析を実現した。

"Viscoelastic ECAH: Scattering Analysis of Spherical Particles in Suspension with Viscoelasticity", K. Tsuji, H. Nakanishi, Q. Tran-Cong-Miyata and T. Norisuye, *Ultrasonics*, 115, 106463 (2021.5)

- (5) 液体中に分散する液滴 (エマルション) は、界面活性剤以外に固体ナノ粒子でも動力学的に安定化することができる。このような Pickering エマルションの油滴の表面に配列する固体ナノ粒子を超音波散乱法で解析した。油滴を被覆する固体ナノ粒子の被覆層をシェルとみなせば、油滴と固体層のコアシェル構造解析が行える。ただし、固体ナノ粒子は均一で1つの連続体ではなく、離散した粒子である。この時、超音波は巨視的には一塊のシェルと捉えるが、個々の粒子の応答が断続的であるためそれぞれ離散した粒子としての力学物性も示す。本研究では、固体粒子の充填度に応じたシェルの応答を明らかにした。具体

的には 50 nm のシリカナノ粒子をミクロンサイズの油滴に被覆した場合に、従来のエマルジョンの解析法では再現できなかった Pickering エマルジョンの超音波解析を実現した。一方で、1 μm のシリカ粒子で被覆した場合に、粒子間の力の伝達が途切れるために（剪断波を伝える距離が数百 nm である）剪断変形を伝えないと考えられる。

"Interfacial Structures of Particle-Stabilized Emulsions Examined by Ultrasonic Scattering Analysis with a Core-Shell Model", C. Kanamori, T. Thao Nguyen, K. Tsuji, H. Nakanishi, and T. Norisuye, *Ultrasonics* 116, 106510 (2021.7)

- (6) 粒子の凝集はインクや化粧品、電子部品の機能制御においては厄介な問題である。一方で、粒子が凝集することを利用すれば、あらかじめ粒子表面に導入した化学物質の反応を、2 粒子の凝集を介して可視化することができる。例えば、ラテックス凝集法は、粒子の表面に抗体を導入し、抗原分子の添加に伴う粒子の凝集を可視化する技術である。これにより医師は高度な分光スペクトル装置を用いずとも、反応を知ることができる。一方で分光スペクトル装置で自動化したインライン解析を行う場合、非検体の抗原抗体濃度によっては信号が検出できなかつたり、逆に飽和することが懸念される。このような理由から、医療用の診断装置としては、適用可能な濃度範囲は非常に薄い濃度からある程度の凝集体濃度が無希釈で検出できる状態まで幅広く適用できることが好ましい。可視光と比較して波長が長い超音波は多重散乱にも強く、そもそも変形を伝える波であるために、試料の着色は問題としない。よって、濃度の高い系にはうってつけである。一方で、希薄系の感度はすこぶる悪く、可視光の感度にはとうてい叶わなかった。一般的な超音波スペクトロスコーピー実験は、微粒子の大きさにもよるが数%程度の濃度が用いられる。これは可視光の測定と比較するとかなり高濃度である。本研究ではそのような超音波の弱点を一掃すべく、超音波として超低濃度の粒子計測を試みた。これはノイズと信号をフィルターで分離するのではなく、動的な散乱信号コントラストに着目した相関関数を駆使した新しい手法で実現した。本研究ではアビジンビオチン系をモデル系として使い、ビオチン被覆シリカ粒子もしくはビオチン被覆ポリスチレン粒子の濃度が 0.05wt% の微粒子分散系に対し、数百 ng/mL のアビジン濃度で凝集体の形成を確認した。今年度に論文発表した成果は、超音波としては数桁の感度改善を達成したが、他の手法と比較するとまだ検出限界については改善の余地が多い。今後の研究で少なくとも 2 桁の感度向上を目標に検討する予定である。

"Latex Agglutination Analysis by Novel Ultrasound Scattering Techniques", K. Kitao and T. Norisuye, *Ultrasonics*, 106581 (2021.9)

以上のように、さまざまな微粒子分散系に対して、液体中に分散する微粒子を希釈することなくそのままの状態（液中で）解析する新しい超音波法を開発した。この手法により、粒子のサイズ分布、硬さ、粒子の表面状態を 1 つの超音波法で多面的に分析できるようになった。また対象とするサイズは数十 nm から数百 μm 、濃度は希薄系から濃厚系、さらに特殊な粒子被覆構造や集合構造に関する知見が得られるなど、多様性に富んでいる。一方で、微粒子がジャミング転移もしくはガラス転移するほどの濃厚系に関してはまだまだ技術的な問題点も多く、さらにジャミングする微粒子の物理は「波の伝搬で見る力学の観点」では未解明な点も多い。多くの研究は、流動状態の測定や試料全体の粘弾性測定のように、集合体の特性を計測している。超音波法は今後、超音波の波動的側面を活かして個々の粒子を直接観測し、超音波が変形を伝える波であることを活用した力学特性の伝達解析を組み合わせた研究展開が期待される。これらは 2 つの手法の組み合わせではなく、すなわち独立した技術ではなく、波動で特定した部分の刺激応答の情報を取り出せる点で独立法にはない魅力があり、今後の更なる研究展開が興味深い。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ting Dong, Tomohisa Norisuye, Hideyuki Nakanishi, Qui Tran-Cong-Miyata	4. 巻 107
2. 論文標題 Particle Size Distribution Analysis of Oil-in-Water Emulsion using Static and Dynamic Ultrasound Scattering Techniques	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 106117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2020.106117	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 KazutoTsuji, Tomohisa Norisuye, Hideyuki Nakanishi, Qui Tran-Cong-Miyata	4. 巻 99
2. 論文標題 Simultaneous measurements of ultrasound attenuation, phase velocity, thickness, and density spectra of polymeric sheets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 105974
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2019.105974	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 Motoki Ozaki, Tomohisa Norisuye, Hideyuki Nakanishi, Qui Tran-Cong-Miyata	4. 巻 94
2. 論文標題 Structures and dynamics of carbon-black in suspension probed by static and dynamic ultrasound scattering techniques	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 192-201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2018.09.012	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 Anatoliy Strybulevych, Tomohisa Norisuye, Matthew Hasselfield, John H. Page	4. 巻 65
2. 論文標題 Particle dynamics in sheared particulate suspensions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIChE Journal,	6. 最初と最後の頁 840-849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aic.16431	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 Hayato Mori, Tomohisa Norisuye, Hideyuki Nakanishi, Qui Tran-Cong-Miyata	4. 巻 93
2. 論文標題 Ultrasound attenuation and phase velocity of moderately concentrated silica suspensions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 63-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2018.10.010	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 Tsuji Kazuto, Nakanishi Hideyuki, Norisuye Tomohisa	4. 巻 115
2. 論文標題 Viscoelastic ECAH: Scattering analysis of spherical particles in suspension with viscoelasticity	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 106463 ~ 106463
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2021.106463	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 Kanamori Chisato, Nguyen Tran Thao, Tsuji Kazuto, Nakanishi Hideyuki, Tran-Cong-Miyata Qui, Norisuye Tomohisa	4. 巻 116
2. 論文標題 Interfacial structures of particle-stabilized emulsions examined by ultrasonic scattering analysis with a core-shell model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 106510 ~ 106510
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2021.106510	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 Kitao Kana, Norisuye Tomohisa	4. 巻 119
2. 論文標題 Latex agglutination analysis by novel ultrasound scattering techniques	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ultrasonics	6. 最初と最後の頁 106581 ~ 106581
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultras.2021.106581	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 則末 智久	4. 巻 77
2. 論文標題 波動で測る微粒子の弾性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本音響学会誌	6. 最初と最後の頁 427 ~ 434
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20697/jasj.77.7_427	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19件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 則末智久, Dong Ting, 中西英行
2. 発表標題 Particle Size Distribution Analysis of Oil-in-Water Emulsions Using Novel Dynamic Ultrasound Scattering Techniques
3. 学会等名 4th International Caparica Conference on Ultrasonic-based Applications: from analysis to synthesis 2020 (Ultrasonics 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 喜多尾佳奈, 中西英行, 則末智久
2. 発表標題 Detection of Avidin-Biotin Latex Agglutination using Ultrasound Scattering Techniques
3. 学会等名 4th International Caparica Conference on Ultrasonic-based Applications: from analysis to synthesis 2020 (Ultrasonics 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻和人, 則末智久, 中西英行
2. 発表標題 Viscoelasticity of Micron-sized Particles in Suspensions Probed by Ultrasound Scattering Techniques
3. 学会等名 4th International Caparica Conference on Ultrasonic-based Applications: from analysis to synthesis 2020 (Ultrasonics 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 喜多尾佳奈, 中西英行, 則末智久
2. 発表標題 超音波散乱法によるラテックスの凝集の高感度検出
3. 学会等名 第41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
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 辻 和人, 則末 智久, 中西 英行, 宮田 貴章
2. 発表標題 液体中の微粒子のサイズ分布と弾性率の精密超音波散乱解析
3. 学会等名 超音波シンポジウム USE2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 喜多尾 佳奈, 則末 智久, 中西 英行
2. 発表標題 超音波散乱法によるアビジン-ビオチン ラテックス粒子の凝集体解析
3. 学会等名 超音波シンポジウム USE2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 則末智久
2. 発表標題 超音波散乱法による微粒子分散系の構造と物性
3. 学会等名 第29回東海ミニシンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金森千聡, 則末智久, 中西英行, 宮田貴章
2. 発表標題 微粒子で安定化したエマルションの界面構造に関する超音波解析
3. 学会等名 第64回 音波と物性討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 則末智久
2. 発表標題 超音波散乱法による微粒子分散系の構造とダイナミクス
3. 学会等名 日本セラミックス協会関西支部 学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 白子貴浩, 梶修蔵, 中西英行, 則末智久
2. 発表標題 電気泳動的超音波散乱法による濃厚懸濁液中における微粒子の表面特性解析
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣本眞結・金森千聡・中西英行・則末智久
2. 発表標題 超音波散乱法によるPickeringエマルションおよびコロイドソームの構造解析
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 辻和人、則末智久、中西英行、宮田貴章
2. 発表標題 超音波散乱法によるポリジメチルシロキサン (PDMS) 微粒子懸濁液および粒子含有PDMSシートの粘弾性解析
3. 学会等名 第68回高分子学会年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 則末智久
2. 発表標題 光散乱基礎講座「動的散乱法」
3. 学会等名 第32回散乱研究会 (招待講演) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 喜多尾佳奈, 則末智久
2. 発表標題 高周波動的超音波散乱法によるナノ粒子サイジング
3. 学会等名 第42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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真央, 則末智久
2. 発表標題 電気泳動的超音波散乱法による懸濁溶液中のポリマー被覆粒子のダイナミクス
3. 学会等名 第42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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻和人, 則未智久
2. 発表標題 エマルションから析出させたポリマー微粒子の創製と溶液中の微粒子の力学特性解析
3. 学会等名 第42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
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田真央, 則未智久
2. 発表標題 電気泳動的超音波散乱法によるイオノマー溶液中の微粒子のダイナミクス
3. 学会等名 第65回音波と物性討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 喜多尾佳奈, 中西英行, 則未智久
2. 発表標題 超音波散乱法によるラテックス凝集の高感度検出
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 辻和人, 中西英行, 則未智久
2. 発表標題 液滴内部の溶媒揮発に伴う微粒子の弾性率解析
3. 学会等名 第70回高分子学会年次大会
4. 発表年 2021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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------