

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360157

研究課題名(和文)空間非定常なブラウン運動の動態解析のためのワンショット動的光散乱法の研究

研究課題名(英文)One-shot interferometric dynamic light scattering technique to analyze space-variant diffusion phenomena

研究代表者

岩井 俊昭(Iwai, Toshiaki)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80183193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：微粒子溶液の入ったサンプルセルの壁や液面の近傍で発生する微粒子のブラウン運動の変化を解析するために、時間領域ならびにフーリエ領域低コヒーレンス動的光散乱法の開発を行った。前者では、深さ軸方向の分解能1.4 μ mを達成し、固液境界の界面効果を直接計測することに成功した。後者では、高速分光部を自作することによって、蒸発が常に発生している気体と液体の境界近傍の動態をワンショット解析することに成功した。さらに、共通光路方式を提案し、ロバスト性を大幅に向上させた。本研究の結果、溶液内の空間位置に依存して動態が変化する粒子の挙動に対するワンショット計測法を確立した。

研究成果の概要(英文)：New types of interferometric dynamic light scattering (DLS) systems were developed to analyze such space-variant diffusion phenomena in the area close to the different phase interface. The white light super-continuum source was introduced to the time-domain interferometric DLS system. The 1.4- μ m axis resolution enabled to measure directly the diffusion coefficients of Brownian particles at the distance nearer than 5 μ m from the solid-liquid interface. The Fourier-domain low-coherence DLS system was developed, into which the fast spectroscopic system was built, to realize the one-shot operation. It enabled to measure the diffusion coefficients in the area close to the gas-liquid interface where the boundary condition varies in space and time by evaporation. In addition, the common-path interferometric DLS system was proposed by making both the reference and scattered lights propagate in the same fiber and introducing an optical circulator to gain high robustness improvement.

研究分野：光散乱計測

キーワード：低コヒーレンス動的光散乱法 極端コヒーレンス動的光散乱法 フーリエ領域低コヒーレンス動的光散乱法 拘束ブラウン運動 自由ブラウン運動 wall-drag効果 異相界面 拡散係数

1. 研究開始当初の背景

動的光散乱法(Dynamic Light Scattering 法、DLS 法)は、シングルナノから数10ミクロンまでの広い測定レンジと粒径分布計測が可能であることなどの利点を有し、標準の粒径計測法となっている。しかしながら、単散乱現象を基礎としているため被測定溶液を極端に希釈しなければならず、‘その場’計測になり得ないという決定的な欠点が存在する。

我々は、断層測定法(Optical Coherence Tomography, OCT 法)の光路長分割特性と従来のレーザーDLS 法の粒径分布計測とを組み合わせ、低コヒーレンス DLS 法を提案し、体積濃度 10%高濃度懸濁液の粒径分布計測に世界で初めて成功した。さらに、参照鏡を走査することにより、プローブ点を移動させ、固液界面における wall-drag 効果を実証した。この研究をさらに推し進め、固体面から 5 μm 以下の領域で発現する wall-drag 効果をシングルミクロン精度で実測するためには、コヒーレンス長が 1 μm 程度の極短コヒーレンス光源を用いたコヒーレンス DLS 法を新たに開発する必要がある。

一定粒径のブラウン運動のような定常的な現象解析には、時間領域低コヒーレンス DLS 法は有効である。一方、空気と高分子溶液との境界近傍で発生する高分子の核形成やその沈降過程の粒子径成長現象は、気液界面から深さ軸方向に非定常な現象である。このような空間位置に依存して粒子の粒質が変化する場合、それらのブラウン運動も位置に依存して変化することになる。このような粒子の拡散運動を解析する DLS 法の研究は未だなされておらず、計測方法論における新規性のみならず、プロセス制御の観点からも解決すべき研究対象となっている。

2. 研究の目的

微粒子懸濁液では固体と液体の境界面近傍においてブラウン粒子の拡散運動、高分子微粒子の生成プロセスでは気体と液体のそれぞれにおいて粒径が、境界面からの距離に依存して変化する。従来の動的光散乱法では時空間で定常性を仮定しているため、このような非定常な現象を解析できない。本研究では、光源としてスーパーコンティニウム光源を導入することによって、深さ軸方向の高解像化を実現し、異相境界面におけるブラウン粒子の挙動を触接に解析する技術を開発する。さらに、気液境界面近傍におけるブラウン粒子の動態解析のために、光軸方向に空間的に動態が変化する運動粒子をワンショットで解析する手法を確立する。

3. 研究の方法

① 時間領域極短コヒーレンス DLS 法の開発

我々は、SLD を光源とする深さ分解能 14 μm の時間領域低コヒーレンス DLS システムによって、濃厚溶液の粒質キャラクタリゼーションと Wall-drag 効果の実証を行ってきた。これらの実績を基礎にして、中心波長 827nm、波長帯域 18nm の SLD 光源の低コヒーレンス DLS システムによって、分解能 16 μm に対しても直接測定

が可能な半径1 μm より大きな粒子に対する実験を予備実験として行った。

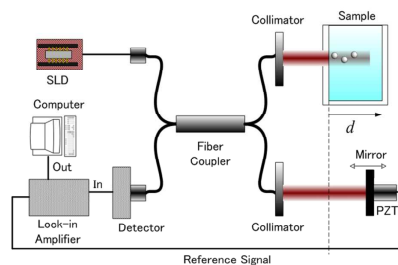


図1 時間領域低コヒーレンス DLS 光学系

半径1 μm 以下の粒子に対しては、固液境界面から 5 μm 以内の範囲で粒子の拡散係数が顕著に減少する。この現象を直接観測するため、スーパーコンティニウム光源(NKT Photonics, SuperK EXTREME Blue/EXB-4)から発する照射光のスペクトル帯域を可変型帯域フィルタ(NKT Photonics, SuperK VARIA)によって変化させることで、1.4 μm の深さ軸方向分解能を達成した。このことにより、サブミクロンからシングルミクロンまでの微粒子に対して、Wall-drag 効果が存在する固液境界面から自由拡散運動領域までのブラウン粒子の動態計測を行った。

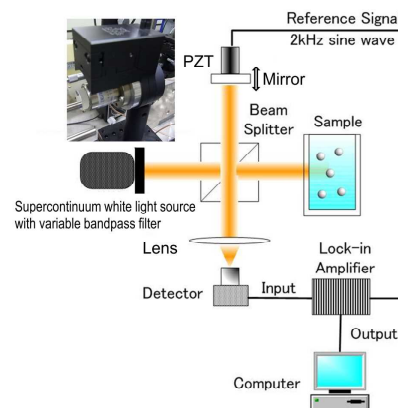


図2 時間領域低コヒーレンス DLS 光学系

② フーリエ領域低コヒーレンス DLS 法の開発

図3に、フーリエ領域低コヒーレンス DLS 法の光学系を示す。中心波長 827nm、波長帯域 18nm の SLD 光源の時間領域低コヒーレンス DLS システムの検出部に分光部を構築した。分光部は、反射型ホログラフィック回折格子と最大走査周波数 23.5kHz の CCD ラインカメラによって構成されている。ラインカメラの高走査周波数によって、ブラウン運動粒子からの散乱光強度

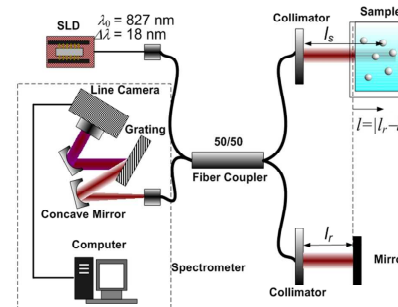


図3 フーリエ領域低コヒーレンス DLS 光学系

の時間変動について、分光解析が可能となる。このことにより、光軸(深さ方向軸)上の位置を関するとする一連の動的な散乱光の時間相関関数が計測できることになる。実証実験では、固液界面の動態計測を行い、①の結果との比較検証を行った。さらに、時間領域低コヒーレンス DLS 法では計測が不可能な、気液界面近傍におけるブラウン粒子の動態解析を行った。

③ 共通光路方式フーリエ領域低コヒーレンス DLS 法の開発

低コヒーレンス DLS 法は、マイケルソン干渉計を基礎としており、物体光と参照光が伝搬する光路が異なっている。このため、外乱雑音の影響を受けやすい欠点がある。図3に示すファイバー結合部を、光サーキュレーターに置換えることによって、ガラスセル表面から反射された参照光と溶液内部のブラウン粒子からの散乱光が同一の光路を伝搬させることが可能になる。このことによって、検出部の耐外乱雑音性が格段に向上し、高いロバスト性が保証される。図4に、その光学系を示す。実証実験は、①と②で実績を有する固液界面のブラウン粒子の拡散係数を計測し、推定される粒子径で検討を行った。

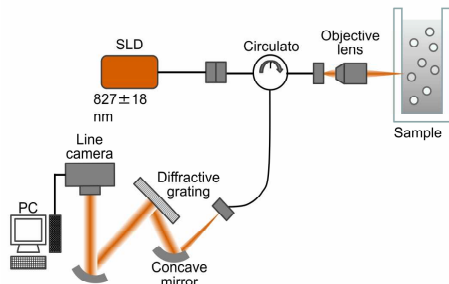


図4 フーリエ領域低コヒーレンス DLS 光学系

④ 気液境界面近傍の高分子核形成プロセスのその場計測

高分子溶液中の良溶媒が気液界面において蒸発することで発現する自己組織化析出現象と粒子成長プロセスを、DLS 法を用いて検証した。波長 514nm のアルゴンイオンレーザー光をサンプル内に集光入射する。集光点近傍内に存在するブラウン粒子からの散乱光を、側方検出する。このプローブ点を、深さ方向に移動可能なステージに設置して、液面からの深さを関数として、各深さと経過時間について粒径計測を行い、高分子粒子の成長プロセスを解析した。

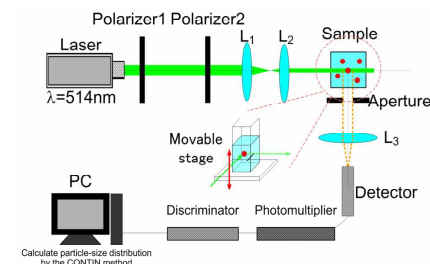


図5 自己組織化析出現象計測のための DLS 光学系

4. 研究成果

① 固液界面における Wall-drag 効果の測定と

時間領域極短コヒーレンス DLS 法の実証
液界面近傍でブラウン運動の動態は、粒子の拡散係数で表現され、Brenner らが理論的に解析している。固液界面から s の距離で半径 R の粒子がブラウン運動するとき、その拡散係数 D_w は次式で与えられる。

$$\zeta^{-1}(s) = \frac{D_0(s)}{D_0} = \left[\frac{4}{3} \sinh^2 \alpha \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(n+1)}{(2n-1)(2n+3)} \left[\frac{2 \sinh(2n+1)\alpha + (2n+1) \sinh 2\alpha}{4 \sinh^2(n+1/2)\alpha - (2n+1)^2 \sinh^2 \alpha} - 1 \right] \right]^{-1} \quad (1)$$

ここで、 $a = \cosh^{-1}(1+s/R)$ であり、 D_0 は自由拡散係数を表す。実験は、図6において、実線は Brenner らの理論曲線であり、記号は測定値である。半径 $0.23\mu\text{m}$ から $5\mu\text{m}$ までの6種類のポリスチレン粒子の体積濃度 10%溶液で行った。図より、 $1.5\mu\text{m}$ より大きい粒子の測定値は、(1)式の理論と一致しているものの、サブミクロン粒子については理論値よりも測定値が小さい。不一致の傾向は、固液界面に近づくほど増大する。これは、固液界面に近づくほど wall-drag 効果が増加し、粒子のブラウン運動が抑制されるため、拡散係数の減少率が急激に増大するためである。この傾向は、粒子径が小さいほど大きい。

固液界面の近傍におけるサブミクロン粒子への wall-drag 効果を直接に観測するため、スーパーコンティニウム光源を導入した光学系を図2に示す。この光学系を用いて測定した結果を図7に示す。図6において差異が大きかったサブミクロン粒子、すなわち、 $R=0.23\mu\text{m}$, $0.40\mu\text{m}$, $0.55\mu\text{m}$ に対する拡散係数と Brenner の式との一致を得た。なお、(d)図には、図6からサブミクロン粒子の結果を抜粋して示した。よって、声機界面から $5\mu\text{m}$ 以下のごく近傍のブラウン粒子の動

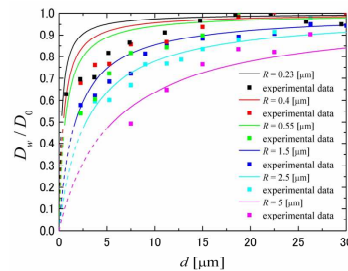


図6 時間領域低コヒーレンス DLS 法による固液界面の Wall-drag 効果の測定結果

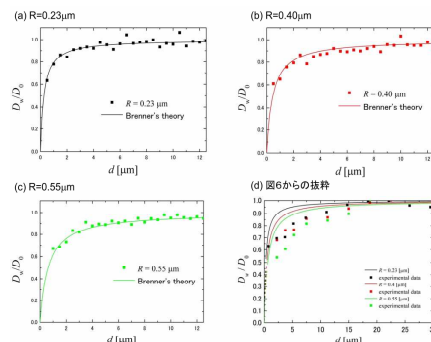


図7 時間領域極短コヒーレンス DLS 法による固液界面の Wall-drag 効果の測定結果

態を直接に計測することに成功した。

②異相界面における Wall-drag 効果の測定とフーリエ領域低コヒーレンス DLS 法の実証

異相境界面から深さ方向の位置に依存して変化するブラウン粒子の挙動を、図3に示す光学系を用いてワンショット解析した。このような計測手法が最も効力を発揮するのは、溶媒が蒸発して液面位置が時間とともに変化するような対象である。このような条件の例として、気液境界における wall-drag 効果の例が図8(a)である。参考までに、同じ光学系を用いて測定した、個液境界における wall-drag 効果を図8(b)に示す。破線は、Brenner の理論曲線をおり、気液境界における wall-drag 効果は次式で表される。

$$\beta^{-1}(s) = \frac{D_0(s)}{D_0} = \left[\frac{4}{3} \sinh \alpha \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(n+1)}{(2n-1)(2n+3)} \left[\frac{4 \cosh^2(n+\frac{1}{2})\alpha + (2n+1)^2 \sinh^2 \alpha}{2 \sinh(2n+1)\alpha - (2n+1) \sinh 2\alpha} - 1 \right] \right]^{-1} \quad (2)$$

さらに、実線は光源のコヒーレンス長内で拡散係数の変化が平均された曲線を表し、次式で定義される。

$$\begin{cases} \langle \zeta^{-1}(s) \rangle = \left\langle \frac{D_0(s)}{D_0} \right\rangle = \frac{\int_0^{\infty} \zeta^{-1}(s') g(s-s') ds'}{\int_0^{\infty} g(s-s') ds'} \\ \langle \beta^{-1}(s) \rangle = \left\langle \frac{D_0(s)}{D_0} \right\rangle = \frac{\int_0^{\infty} \beta^{-1}(s') g(s-s') ds'}{\int_0^{\infty} g(s-s') ds'} \end{cases} \quad (3)$$

(3)式において、 $g(s)$ は光源のコヒーレンス関数を表す。

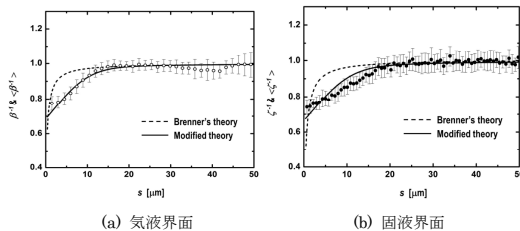


図8 フーリエ領域低コヒーレンス DLS 法による wall-drag 効果の測定結果

③共通光路方式フーリエ領域低コヒーレンス DLS 法の実証

フーリエ領域低コヒーレンス動的散乱法によって実現できる測定法として、共通光路方式低コヒーレンス動的散乱法を開発した。図4に示す光学系を用いて、固液界面において wall-drag 効果が影響する拘束拡散

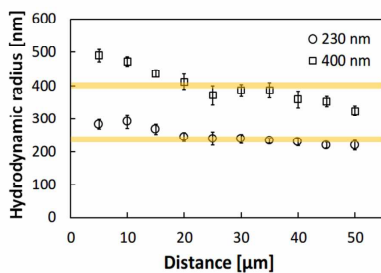


図9 共通光路型フーリエ領域低コヒーレンス DLS 法で測定された固液界面近傍の微粒子の流体力学的半径

領域から自由拡散領域のブラウン粒子の動態をワンショットで計測し、測定された拡散係数から粒子径の推定を行った。図9にその結果を示す。界面から 20 μm までは wall-drag 効果のために粒径は大きく評価され、反対に 40 μm 以遠では多重散乱の影響で粒子径が小さく評価された。これらの傾向は粒子径が大きいほど増加する。界面から 20 μm ~40 μm の領域で良好な粒子径推定が可能であることを示した。

④自己組織化析出法による高分子微粒子成長プロセスの解析

有機溶媒に溶解した高分子溶液に貧溶媒である水を滴下して混合させる。このとき、大気と溶液の境界では良溶媒の有機溶剤が蒸発することによって非溶媒の水の濃度が増加して高分子が析出する。析出した核が沈降するとともに粒子として成長していく。この自己組織化法こそ、ワンショット計測を適用する最適例であるが、本研究ではこの現象を開発した手法で測定するにいたらなかった。しかしながら、従来の図5に示す DLS 法を用いて、サンプルセルを深さ方向に移動させながら、本現象を解析した。図10(a)と(b)には、それぞれ深さ位置と経過時間に対する粒子径変化と粒子の変化率(CV値)を示す。粒子径は、深い位置に向かって増加し、深さ5mm程度一定値に収束する。また、経過時間の初期段階では粒子径にばらつきがあるが、時間が経過するにしたがってばらつきは減少し一定値に収束することがわかった。このような傾向は、初期条件の高分子濃度に依存しており、濃度が薄いほど粒子径が収束する深さは浅く、収束時間は短い。よって、収束した粒径は小さいことがわかった。

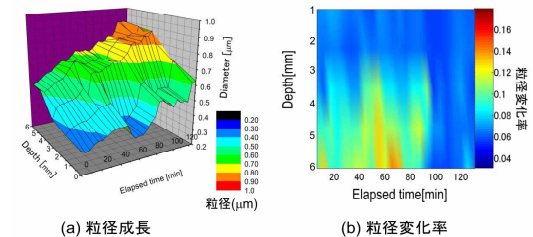


図10 自己組織化析出現象における粒子成長プロセス

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- 1) K. Ishii, I. Nishidate, and T. Iwai, "Analysis of light propagation in highly scattering media by pathlength-assigned Monte Carlo simulations," Opt. Rev., **21**(3), pp.210-214 (2014). (査読有)
- 2) T. Watarai and T. Iwai, "Experimental study on air-liquid interface effect of Brownian dynamics using spectral-domain low-coherence dynamic light scattering," Opt.

- Rev., **21**(3), pp.378-381 (2014). (査読有)
- 3) T. Watarai and T. Iwai, "Direct observation of submicron Brownian particles at a solid-liquid interface by extremely short coherence dynamic light scattering," *Appl. Phys. Express*, doi:10.7567/APEX.7.032502, **7**, 032502 (2014). (査読有)
 - 4) T. Watarai and T. Iwai, "One-shot measurement of the air-liquid interface effect by a spectral-domain low-coherence dynamic light scattering technique," *Proc. SPIE*, doi:10.1117/12.2023004 **8839**, 8839H (2013). (査読有)
 - 5) K. Ishii, T. Okada, I. Nishidate, and T. Iwai, "Voxel-based Monte Carlo simulation for light propagation in inhomogeneous turbid media," *Proc. of SPIE*, doi:10.1117/12.2032484, **8799**, 87990S-1-6 (2013).
 - 6) K. Ishii and T. Iwai, "Low-Coherence Dynamic Light Scattering and its Potential for Measuring Cell Dynamics," *Current Pharmaceutical Biotechnology*, **13**, pp.2562-2568 (2012). (査読有)
 - 7) 岩井俊昭, 光散乱の基礎と応用, *MICROOPTICS NEWS*, **23**, pp.21-25 (2012). (査読無)
- [学会発表] (計29件)
- 1) 泉谷悠介, 岩井俊昭, 低コヒーレンス動的散乱法における多重散乱光の影響, 第62回応用物理学会秋季学術講演会, 2015.3.11-3.14, 東海大学湘南キャンパス.
 - 2) 岩井俊昭, 生体医用計測のための光学, 第41回日本光学講習会「光と生体観察・計測」, 2015.1.22-23, 東京大学山上会館. (招待)
 - 3) 泉谷悠介, 岩井俊昭, 共通光路型スペクトル領域低コヒーレンス動的散乱計測, 第11回バイオオプティクス研究会, 2014.12.5-6, 大阪大学豊中キャンパス.
 - 4) 泉谷悠介, 渡會俊晴, 岩井俊昭, 共通光路方式スペクトル領域低コヒーレンス動的散乱法, *Optics & Photonics Japan 2014 (OPJ2014)*, 2014.11.5-7, 筑波大学東京キャンパス.
 - 5) Y. Izutani, T. Watarai, T. Iwai, "Common-path spectral domain low-coherence dynamic light scattering measurement," *European Optical Society Annual Meeting (EOSAM 2014)*, 2014.9.15-9.19, Berlin, Germany.
 - 6) T. Watarai and T. Iwai, "Spectral-domain Low-coherence Dynamic Light Scattering by Spatio-variant Brownian Dynamics," *International Conference on Optical Particle Characterization 2014*, 2014.3.10-14, AIST Tokyo Waterfront, Tokyo, Japan.
 - 7) K. Ohno and T. Iwai, "Spectral-domain Process Analysis of Particle Growth in Self-organized Precipitation Phenomena," *International Conference on Optical Particle Characterization 2014*, 2014.3.10-14, AIST Tokyo Waterfront, Tokyo, Japan.
 - 8) K. Ohno and T. Iwai, "Process Analysis of Particle Growth in Self-organized Precipitation Phenomena," 2013 Japan-Taiwan Bilateral Symposium in Nano/Bio-Photonics, 2013.11.25-27, Shizuoka University (Hamamatsu, Japan).
 - 9) K. Ishii, T. Okada, I. Nishidate, and T. Iwai, "Voxel-based Monte Carlo simulation for tomographic imaging by scattered light," 2013 Japan-Taiwan Bilateral Symposium in Nano/Bio-Photonics, 2013.11.25-27, Shizuoka University (Hamamatsu, Japan).
 - 10) 大野耕平, 岩井俊昭, 高分子溶液における自己組織化析出現象の粒子成長, *Optics & Photonics Japan 2013 (OPJ2013)*, 2013.11.12-14, 奈良県新公会堂, 奈良.
 - 11) 石井勝弘, 岡田達弘, 西館泉, 岩井俊昭, 楕円アルゴリズムを用いたボクセルタイプ光伝搬モンテカルロシミュレーションの高空間分解能化, *Optics & Photonics Japan 2013 (OPJ2013)*, 2013.11.12-14, 奈良県新公会堂, 奈良.
 - 12) T. Iwai and T. Watarai, "Analysis on spatial-nonstationary Brownian dynamics by low-coherence interferometric dynamic light scattering," *JSAP-OSA Joint Symposia*, 2013.9.19, Doshisha University, Kyoto, Japan. (Invited)
 - 13) 渡會俊晴, 岩井俊昭, 極短時間コヒーレンス動的散乱法による wall-drag 効果の直接観測, 第74回応用物理学会秋季学術講演会, 2013.9.16-20, 同志社大学田辺キャンパス.
 - 14) T. Watarai and T. Iwai, "Measurement of air-liquid interface effect by a spectral-domain low-coherence dynamic light scattering technique," *The Tenth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering 2013*, 2013.9.1-3, Utsunomiya University, Utsunomiya, Japan.
 - 15) K. Ishii, T. Okada, I. Nishidate, and T. Iwai, "Voxel-based Monte Carlo simulation for light propagation using ellipsoid algorithm," *The Tenth Japan-Finland Joint Symposium on Optics in Engineering 2013*, 2013.9.1-3, Utsunomiya University, Utsunomiya, Japan.
 - 16) T. Watarai and T. Iwai, "One-shot measurement of the air-liquid interface effect by a spectral-domain low-coherence dynamic light scattering technique," *SPIE Optics+ Photonics 2013*, 2013.8.25-29, San Diego, USA.
 - 17) T. Iwai and T. Watarai, "Spectral-domain low-coherence dynamic light scattering to analyze spatio-nonstationary Brownian dynamics," *Topical meeting of Optical Sensor, Advanced Photonics: OSA Optics & Photonics Congress*, 2013.7.14-18, Rio Grande, Puerto Rico. (Invited)
 - 18) T. Watarai and T. Iwai, "Spectral-domain low-coherence dynamic-light scattering and its application to measurement of the air-liquid

interface effect,” 2013 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe and International Quantum Electronics Conference, 2013.5.12-16, Munich, Germany.

- 19) T. Iwai, “Dynamic Light Scattering Technique,” Seminar in National Instrumentation Center for Environmental Management, 2012.12.13, Soul National University, Korea. (Invited)
- 20) 岡田 達弘, 西館泉, 石井勝弘, 岩井俊昭, 光断層計測のモンテカルロシミュレーションにおける空間分解能の検討, 第50回光波センシング研究会, 2012.12.4-5, 東京理科大学, 東京.
- 21) 岡田 達弘, 西館泉, 石井勝弘, 岩井俊昭, 楕円アルゴリズムを用いた光伝播モンテカルロシミュレーションのボクセルモデルへの適用, 第9回バイオオプティクス研究会, 2012.12.8-9, 山口大学, 山口.
- 22) 岩井俊昭, 渡會俊晴, 異相界面近傍におけるブラウン粒子の動態解析法, 第9回バイオオプティクス研究会, 2012.12.8-9, 山口大学. (招待)
- 23) 岩井俊昭, 動的散乱法 — 散乱基礎講座 —, 第24回散乱研究会, 2012.11.16, 日本薬学会長井記念館(東京). (招待)
- 24) 渡會俊晴, 岩井俊昭, スペクトル領域低コヒーレンス動的散乱法による気液界面効果の観測, Optics & Photonics Japan 2012, 2012.10.23-25, タワーホール船堀(東京).
- 25) 岩井俊昭, 散乱の基礎と応用【基調講演】, 第125回微小光学研究会, 2012.10.9, 富士フイルム・西麻布ホール(東京). (招待)
- 26) T. Watarai and T. Iwai, “Spectral-domain low-coherence dynamic light scattering technique for one-shot detection of the solid-liquid interface effect in Brownian particles,” JSAP-OSA Joint Symposia, 2012.9.14, Ehime University, Matsuyama, Japan.
- 27) 渡會俊晴, 岩井俊昭, スペクトル領域低コヒーレンス動的散乱法による気液界面近傍の抑制ブラウン運動の動態計測, 第73回応用物理学学会学術講演会, 2012.9.11-14, 愛媛大学.
- 28) 岡田 達弘, 西館泉, 石井勝弘, 岩井俊昭, 光断層計測における多重散乱光の影響に関する光伝播モンテカルロシミュレーション, 第49回光波センシング技術研究会, 2012.6.5-6, 東京理科大学, 東京.
- 29) T. Watarai and T. Iwai, “A one-shot low-coherence dynamic light scattering and its application to measurement of the solid- liquid interface effect,” Conference on Laser Surgery and Medicine 2012 (CLSM 2012), 2012.4.25-27, Pacifico Yokohama, Yokohama, Japan.

[図書] (計1件)

- 1) 岩井俊昭, 光多重散乱現象解析, 光散乱法の基礎と応用 (柴山, 佐藤, 岩井, 木村

編), 第3章, 336(110-135), 講談社(2014).

[産業財産権]

○出願状況(計5件)

名称: 測定装置及び測定方法
発明者: 岩井俊昭, 渡會俊晴
権利者: 東京農工大学
種類: 特許
番号: PCT/JP2012/077469
出願年月日: 2012.10.24
国内外の別: 国外(GB,DE,FR)

名称: 測定装置及び測定方法
発明者: 岩井俊昭, 渡會俊晴
権利者: 東京農工大学
種類: 特許
番号: 2013-545857
出願年月日: 2012.10.24
国内外の別: 国内

名称: 測定装置及び測定方法
発明者: 岩井俊昭, 渡會俊晴
権利者: 東京農工大学
種類: 特許
番号: 14/360505
出願年月日: 2012.10.24
国内外の別: 国外(USA)

名称: 測定装置及び測定方法
発明者: 岩井俊昭, 渡會俊晴
権利者: 東京農工大学
種類: 特許
番号: 12851172.2
出願年月日: 2012.10.24
国内外の別: 国外(GB,DE,FR)

名称: 動的散乱測定装置及び動的散乱測定方法
発明者: 岩井俊昭
権利者: 東京農工大学・大塚電子株式会社
種類: 特許
番号: 2014-127259
出願年月日: 2014.6.20
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

http://www.tuat.ac.jp/~iwailab/index.files/Sub_Research_J.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

岩井 俊昭 (IWAI, Toshiaki)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 80183193