

光ピンセットを用いたエアロゾル研究の最近の進歩

石坂 昌司

1 はじめに

2018年にノーベル物理学賞を受賞した Arthur Ashkin 博士は、1986年に光で微粒子を掴まんで操作する「光ピンセット」を考案した¹⁾。光ピンセット（レーザー捕捉法）は、レーザー光を対物レンズで集光した際に発生する光の圧力（放射圧）を用いて、微粒子を非接触で捕捉し、3次元的に操作することができる実験手法である。これまで光ピンセットの実験は主に液相中で行われてきたが、最近、気相中の微粒子であるエアロゾルの研究に応用される例が増えてきた。本稿では、特に気相中の微粒子を対象とした光ピンセットの研究に焦点を絞り、その背景と最近の進展に関して解説する。

1970年に Ashkin 博士は、光ピンセットの実験に先立ち、気相中に噴霧した水滴にレーザー光を照射する実験を行った。その際に、水滴がレーザー光の進行方向に向かって移動する様子が肉眼で確認できたと報告している²⁾。その翌年には、噴水でボールを浮揚させるように、ガラス球に下方からレーザー光を照射し、空気中にガラス球を浮遊させる「光圧浮揚」の実験に成功している³⁾。これが、光の圧力で気相中に微粒子を浮遊させた世界初の例であると思われる。また、1975年に Ashkin 博士は、空気中でシリコンオイルまたはグリセリン油滴を浮遊させる実験に成功し、光ピンセットが雲のモデル実験において大変有用な手法であると述べている⁴⁾。しかしながら、雲粒のモデルであるマイクロメートルサイズの水滴は、気相中で速やかに蒸発してしまうため、1970～1990年代に行われた研究では、ガラスビーズや蒸気圧の低い油滴が主に実験に用いられた^{5)～19)}。実際に、気相中の微小水滴を対象とした研究が報告され始めたのは、1999年以降である^{20)～31)}。光ピンセットを用いて微小水滴を空気中に非接触で浮遊させると、核発生の足場を提供する固体表面の影響を受けないため、特に過冷却や過飽和などの熱力学的準安定な液体の物性の計測においてその威力が発揮される^{32)～38)}。これらの熱力学的準安定な微小水滴の物性は、雲の発生や降雨・降雪

の初期過程を理解するために大変重要である。また、大気中には多種多様なエアロゾルが混在しているため、微粒子集合系の平均値解析では、エアロゾルが雲の発生や気候に与える影響を正確に評価することは難しい。したがって、個々のエアロゾル微粒子を直接観測可能な分析手法の開発が強く望まれる。しかしながら、従来の単一集光レーザービーム型の光ピンセットは、「光を吸収する微粒子」や「形状が球形から逸脱した微粒子」を安定に捕捉できないという課題を有していた³⁹⁾。最近これらの問題を克服するために、光の放射圧に代わって、光泳動力でエアロゾルを捕捉するタイプの新規なレーザー捕捉法が開発されている。本進歩解説では、2015年から2020年に報告された、光を吸収する非球形の微粒子を対象としたレーザー捕捉に関する研究について紹介する。

2 光を吸収する非球形エアロゾルのレーザー捕捉

2・1 放射圧と光泳動力

気相中の水滴に下方からレーザー光を集光すると、反射や屈折により光の進行方向が変化する。この光の運動量変化が、放射圧 (radiation pressure) を発生させる。レーザー光が水滴の表面で反射することにより生じる放射圧は散乱力とよばれ、水滴を光の進行方向に押す力として働く (図1)。一方、水滴表面でレーザー光が屈折することによって生じる放射圧は勾配力とよばれ、水滴をレーザー光の焦点へ引き込む力として働く。図1に示すように、水滴に働く重力と光の散乱力のバランスを取ることで、水滴を気相中に浮遊させることが出来る。なお、可視光領域の波長を有するレーザー光を用いれば、水滴は可視光を吸収しないため熱が発生せず、水滴の蒸発を抑制することができる。

一方、気相中に浮遊するススの様な黒色の微粒子にレーザー光を照射した場合には、光は吸収され熱が発生する。温度の上昇に伴い気体の運動が激しくなり、微粒子に対して力を及ぼす。この力は光泳動力 (photophoretic force) と呼ばれ、一般に、放射圧に比べ約100倍程度大きな力を生じることが知られている³⁹⁾。し

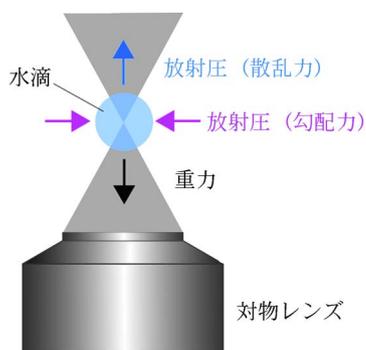


図1 光を吸収しない微小水滴は、集光レーザービーム型の光ピンセットを用いて放射圧により空中の一点に捕捉することができる

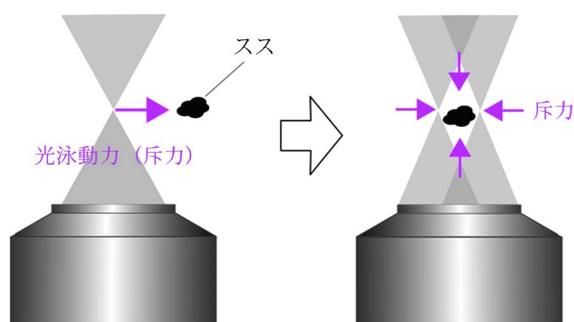


図2 光を吸収するススをレーザー捕捉する場合には、光で取り囲まれた空間を形成し、その中に光泳動力 (斥力) で閉じ込める

たがって、集光レーザービーム型の光ピンセットでは、熱の発生に伴い「斥力」が生じ、黒色炭素微粒子を弾き飛ばしてしまうため捕捉することができない (図2)。そこで、光を吸収する微粒子をレーザー捕捉する場合には、光で取り囲まれた空間を形成し、その中に微粒子を斥力で閉じ込める方法が用いられる。このような斥力型の捕捉空間に微粒子を閉じ込める方法であれば、微粒子の形状は球形である必要は無く、非球形微粒子であっても捕捉することが可能である。光泳動力を用いたレーザー捕捉法は、大別すると、シングルビーム型、ダブルビーム型、万能型に分類することができる。以下にそれぞれの特徴と詳細について解説する。

2・2 シングルビーム型

これまでに、単一のレーザー光を用いて、光で取り囲まれた空間を形成する幾つかの光学系が提案されている。例えば、ガウシアンビームを半球状のレンズを用いて集光すると、レンズの球面収差によって焦点位置に光の当たらない空間が形成される。Shvedovらは、この光で囲まれた空間の中にグラファイト粒子を閉じ込めて捕捉することに成功した⁴⁰⁾。レンズの球面収差を利用する方法は、比較的単純な光学系であるため、光ファイバーやガルバノスキャナーとの組み合わせが容易で

あり、光学系の設計の自由度が高いという利点を有している。また、光泳動力は捕捉力が大きいため、気相中で微粒子を高速に動かすことが可能である。最近、この手法を応用した「光トラッピングディスプレイ」が、ネイチャー誌に報告された⁴¹⁾。Smalleyらは、空気中において光泳動捕捉した微粒子を三次元的に高速掃引するとともに、RGB各色のレーザー光を同軸で微粒子に照射して散乱させることで、空気中に立体映像を浮かび上がらせることに成功した。この映像は、空間のあらゆる方向から眺めることができるため、気相中における光トラッピング技術は、立体映像を表示する3次元ディスプレイへの応用と発展が注目される。

筆者らは、アキシコンレンズを用いてドーナツビームを形成し、対物レンズの焦点位置に光で囲まれた空間を形成し (図2)、ロウソクの燃焼により発生したススを気相中で捕捉した⁴²⁾。本手法は、捕捉したスス粒子からの散乱光を対物レンズを用いて効率良く集光できるため、ラマンスペクトルの測定に利点を有する。黒色炭素粒子を気相中に非接触で保持し、個々の微粒子の化学組成を非破壊で計測することができるため、黒色炭素微粒子の大気中での化学反応を明らかにする有用な分析手法であるといえる。

最近、Heらは、チタンサファイアレーザーからの出力を2本に分岐して、一方のビームをポンプ光としてエタノールを満たしたセルに集光し、もう一方のビームを向かい合わせに重ねることで非線形光学効果を誘起してドーナツビームを形成し、気相中においてグラファイト微粒子を捕捉することに成功した⁴³⁾。なお、ドーナツビームの空洞サイズは、ポンプ光の強度を変化させることにより制御することが可能であるため、微粒子の大きさに合わせて捕捉空間の大きさを任意に変化させることができる光学系である。また、Esselingらは、二軸結晶を用いて断面がアルファベットの「C」型の強度分布を有するビームを形成し、光で取り囲まれた空間に開口部を設けた⁴⁴⁾。インクジェットのノズルから噴射された微小液滴をこの開口部から捕捉空間内へ導入することに成功した。なお、光の開口部は、レーザーの偏光を制御することにより開閉することが可能である。このように、光で取り囲まれた空間のサイズを可変に制御する技術や、空間の一部を開閉する技術が開発され、シングルビーム型光泳動捕捉法は、光吸収を有する単一エアロゾルの分析手法としての応用が期待される。

2・3 ダブルビーム型

これまでに、2本のレーザー光を用いて、光で取り囲まれた空間を形成する幾つかの光学系が提案されている。Panらは、アルゴンイオンレーザーの波長488 nmレーザー光線をアキシコンレンズを用いてドーナツ状に成形し、二本に分岐した後、二つの対物レンズを用いて集光

して、二つの円錐が向かい合わせに重なり合った空間を形成し（図3）、気相中においてカーボンナノチューブを捕捉することに成功した⁴⁵⁾。このようなダブルビーム型の捕捉光学系は、シングルビーム型の光学系に比べ、光で閉じられた空間の明暗のコントラストが優れており、微粒子を空中の一点に長時間、安定に保持しておくことができるため、単一微粒子の分光計測を行うことが容易であるという特徴を有している。

最近、Wangらは、ダブルビーム型光泳動捕捉とラマン分光装置を組み合わせ、気相中において捕捉した花粉や胞子などのバイオエアロゾルのラマンスペクトルの測定に成功した⁴⁶⁾。また、Gongらは、カーボンナノチューブ、シリカ微粒子、蛍光色素をドープしたポリエチレンマイクロビーズ、花粉や胞子などを気相中において保持し、それらのラマンスペクトルの経時変化を報告している⁴⁷⁾⁴⁸⁾。これらの実験では、2本のレーザービームを集光するための対物レンズと、微粒子からのラマン散乱を集光するための対物レンズの、合計三つの対物レンズを用いている。このため、ダブルビーム型光泳動捕捉の光学系は、高価な対物レンズを複数用いる必要があるうえに、それぞれの対物レンズの焦点位置を空間的に一致させるための光学調整が難しいといった問題点が存在する。このような問題点を克服するために、最近、ダブルビーム型光泳動捕捉の変形型である、共焦点型と呼ばれる光学系が考案された（図4）。共焦点型は、対物レンズを二つ用いる代わりに、一つの対物レンズをパラボリックミラーに置き換えて、単一のレーザービームを反射させて焦点位置に捕捉空間を形成する手法である。Gongらは、共焦点型の光学系を用いて、気相中において単一のカーボンナノチューブを捕捉することに成功した⁴⁹⁾⁵⁰⁾。また、共焦点型の光学系とキャビティーリン

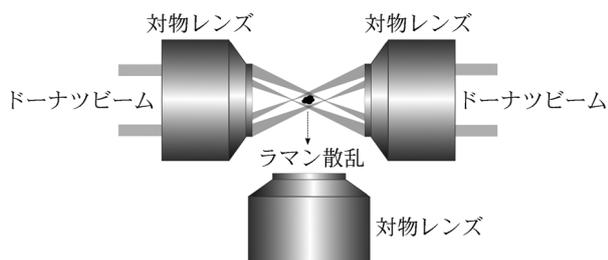


図3 ダブルビーム型の光学系

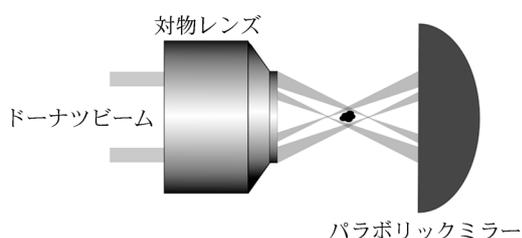


図4 パラボリックミラーを用いた共焦点型の光学系

グダウン分光法を組み合わせ、単一エアロゾル微粒子の吸光度を計測した研究について報告している⁵¹⁾。最近では、ダブルアキシコンレンズとパラボリックミラーを用いることにより、対物レンズを全く用いない新しいダブルビーム型の光学系も提案されている⁵²⁾。

2.4 万能型

万能型は「光を吸収する微粒子」と「光を吸収しない微粒子」の両方を気相中において捕捉するために考案されたものである⁵³⁾。Reggingらは、アキシコンレンズを用いてレーザービーム（488 nm）をドーナツ状に成形し、ミラーとレンズを用いてドーナツビームを鉛直方向に集光した。この場合、レーザー光の焦点の前後に光の円錐が形成され、その断面はアルファベットの「X」のような強度分布を示すことになる（図5）。光を吸収する微粒子は、重力と光泳動力のつり合いにより焦点上部の円錐形の空間に捕捉することができ、光を吸収しない微粒子は、放射圧により焦点の部分に捕捉することができる。Reggingらは、万能型の光学系を用いて、ガラスビーズ（球形・光吸収無し）、蛍光性ポリマービーズ（球形・光吸収有り）、ウシ血清アルブミン（非球形・光吸収無し）、黒色の胞子（非球形・光吸収有り）を気相中において捕捉することができることを示した⁵³⁾。この様に万能型の光学系は、光吸収の有無や形状によらず微粒子を捕捉することができるため、近年、エアロゾルの研究に応用される例が増えてきた。Panらは、万能型光捕捉光学系を用いて、気相中において黒色の胞子や火山灰をレーザー捕捉し、後方散乱光の空間パターンを解析することで微粒子の表面粗さや配向を解析できることを示した⁵⁴⁾⁵⁵⁾。Kalumeらは、単一エアロゾル微粒子のラマンスペクトルを計測する万能型光捕捉光学系を構築し⁵⁶⁾、単一エアロゾルの空間分解ラマン分光計測や液-液相分離過程に関する研究を報告している^{57)~59)}。万能型の光学系は、対物レンズを用いないため、微粒子の周りに大きな空間を確保することができる。このような空間的自由度の高さを利用して、Panらは、万能型光捕捉光学系とノズルを組み合わせ、フロー条件下でエア

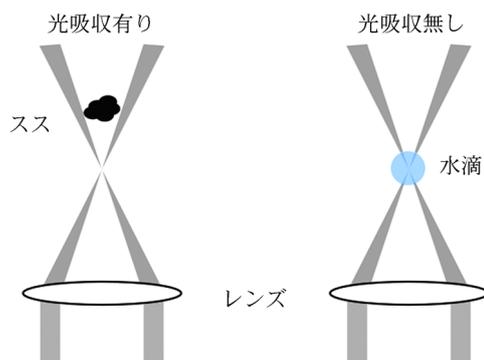


図5 万能型の光学系

ロゾルを濃縮する技術を開発した⁶⁰⁾。万能型の捕捉光学系は、「光を吸収する微粒子」と「光を吸収しない微粒子」の両方を捕捉することができる利点を有している一方で、シングルビーム型やダブルビーム型に比べ、微粒子を捕捉する力が弱いという弱点を有している。最近、この弱点を克服するため、パラボリックミラーを用いて微粒子に対して上下方向からレーザーを照射する新たな光学系が提案されている⁶¹⁾。万能型のレーザー捕捉法は汎用性が高いため、今後、様々なエアロゾルの研究に応用されることが期待される。

3 まとめ

気候変動は世界の研究者が取り組むべき重要な研究課題である。飛躍的なコンピュータの性能向上により、地球規模の気候シミュレーションの精度も向上してきた。しかしながら、エアロゾルと雲の相互作用は、今日の気候変動予測における最大の不確定要素となっている。例えば、化石燃料の不完全燃焼により発生するスス（黒色炭素粒子）は、太陽光を吸収し大気温度を上昇させる。この黒色炭素粒子の熱源としての働きは、二酸化炭素に次いで地球温暖化への影響が大きいと予想されている。一方、黒色炭素粒子が雲の発生を促すと、太陽光を遮り、大気温度を低下させる。このように黒色炭素粒子は、温暖化と寒冷化の両方の因子として働くため、気候への影響を正確に見積もることが難しい微粒子である。一般に、炭素粒子表面は疎水性であるため、発生した直後のススは雲凝結核として振舞わないが、大気中を輸送される間に活性酸素などと反応し、表面が親水化して雲凝結核としての機能を獲得すると考えられている。光ピンセットを駆使して、黒色炭素微粒子ごとに、どのような化学反応が進行し、また、どの湿度で水滴に変化するのかを分析することで、黒色炭素微粒子を足場とした雲粒の発生過程を気候変動予測の計算に組み込むための基礎的なデータを得ることができると予想される。また、光ピンセットは、微粒子を空中の一点に非接触で保持することができるため、様々な計測法と組み合わせることが可能である（表1）。したがって、光ピンセット

は、エアロゾル個々の物理・化学的な性質を計測する手法として今後の発展が大いに期待される。

文 献

- 1) A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm, S. Chu : *Opt. Lett.*, **11**, 288 (1986).
- 2) A. Ashkin : *Phys. Rev. Lett.*, **24**, 156 (1970).
- 3) A. Ashkin, J. M. Dziedzic : *Appl. Phys. Lett.*, **19**, 283, (1971).
- 4) A. Ashkin, J. M. Dziedzic : *Science*, **187**, 1073 (1975).
- 5) A. Ashkin, J. M. Dziedzic : *Appl. Phys. Lett.*, **24**, 586 (1974).
- 6) A. Ashkin, J. M. Dziedzic : *Phys. Rev. Lett.*, **38**, 1351 (1977).
- 7) A. Ashkin, J. M. Dziedzic : *Appl. Phys. Lett.*, **30**, 202 (1977).
- 8) A. Ashkin : *Science*, **210**, 1081 (1980).
- 9) A. Ashkin, J. M. Dziedzic : *Appl. Opt.*, **19**, 660 (1980).
- 10) T. R. Lettieri, W. D. Jenkins, D. A. Swyt : *Appl. Opt.*, **20**, 2799 (1981).
- 11) T. R. Lettieri, R. E. Preston : *Opt. Commun.*, **54**, 349 (1985).
- 12) R. Thurn, W. Kiefer : *Appl. Opt.*, **24**, 1515 (1985).
- 13) G. Schweiger : *J. Raman Spectrosc.*, **21**, 165 (1990).
- 14) J. C. Carls, G. Moncivais, J. R. Brock : *Appl. Opt.*, **29**, 2913 (1990).
- 15) J. Popp, M. Lankers, K. Schaschek, W. Kiefer, J. T. Hodges : *Appl. Opt.*, **34**, 2380 (1995).
- 16) C. Esen, T. Kaiser, G. Schweiger : *Appl. Spectrosc.*, **50**, 823 (1996).
- 17) M. Trunk, J. Popp, M. Lankers, W. Kiefer : *Chem. Phys. Lett.*, **264**, 233 (1997).
- 18) R. Omori, T. Kobayashi, A. Suzuki : *Opt. Lett.*, **22**, 816 (1997).
- 19) J. Musick, J. Popp, M. Trunk, W. Kiefer : *Appl. Spectrosc.*, **52**, 692 (1998).
- 20) J. F. Lubben, C. Mund, B. Schrader, R. Zellner : *J. Mol. Struct.*, **481**, 311 (1999).
- 21) N. Magome, M. I. Kohira, E. Hayata, S. Mukai, K. Yoshikawa : *J. Phys. Chem. B*, **107**, 3988 (2003).
- 22) R. J. Hopkins, L. Mitchem, A. D. Ward, J. P. Reid : *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **6**, 4924 (2004).
- 23) M. D. King, K. C. Thompson, A. D. Ward : *J. Am. Chem. Soc.*, **126**, 16710 (2004).
- 24) D. R. Burnham, D. Mcgloin : *Opt. Exp.*, **14**, 4175 (2006).
- 25) N. Jordanov, R. Zellner : *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **8**, 2759 (2006).
- 26) S. Ishizaka, Y. Suzuki, N. Kitamura : *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **12**, 9852 (2010).
- 27) S. Ishizaka, K. Yamauchi, N. Kitamura : *Bunseki Kagaku*, **62**, 361 (2013).
- 28) S. Ishizaka, K. Yamauchi, N. Kitamura : *Anal. Sci.*, **29**, 1223 (2013).
- 29) S. Ishizaka, K. Yamauchi, N. Kitamura : *Anal. Sci.*, **30**, 1075 (2014).
- 30) S. Ishizaka, J. Ma, T. Fujiwara, K. Yamauchi, N. Kitamura : *Anal. Sci.*, **32**, 425 (2016).
- 31) T. Endo, K. Ishikawa, M. Fukuyama, M. Uraoka, S. Ishizaka, A. Hibara : *J. Phys. Chem. C*, **122**, 20684 (2018).
- 32) C. Mund, R. Zellner : *J. Mol. Struct.*, **661**, 491 (2003).

表1 光ピンセットを用いた単一エアロゾルの計測法

計測法	情報	文献
ラマン分光法	化学組成, 液滴直径, 温度	11)~17)19)20)22)23)25)27)~30)35)36)38)39)42)45)~48)56)~59)
蛍光分光法	励起状態寿命, 粘度	26)37)
準弾性レーザー散乱法	表面張力	31)
キャビティーリングダウン分光法	吸光度	51)
後方光散乱	粒子サイズ, 形状, 表面粗さ, 配向	54)55)

- 33) C. Mund, R. Zellner : *ChemPhysChem*, **4**, 638 (2003).
- 34) K. Taji, M. Tachikawa, K. Nagashima : *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 141111 (2006).
- 35) S. Ishizaka, T. Wada, N. Kitamura : *Chem. Phys. Lett.*, **506**, 117 (2011).
- 36) H. Suzuki, Y. Matsuzaki, A. Muraoka, M. Tachikawa : *J. Chem. Phys.*, **136**, 234508 (2012).
- 37) C. Fitzgerald, N. A. Hosny, H. Tong, P. C. Seville, P. J. Gallimore, N. M. Davidson, A. Athanasiadis, S. W. Botchway, A. D. Ward, M. Kalberer, M. K. Kuimova, F. D. Pope : *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **18**, 21710 (2016).
- 38) S. Ishizaka, F. Q. Guo, X. M. Tian, S. Seng, Y. A. Tobon, S. Sobanska : *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **93**, 86 (2020).
- 39) Z. Y. Gong, Y. L. Pan, G. Videen, C. J. Wang : *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **214**, 94 (2018).
- 40) V. G. Shvedov, C. Hnatovsky, A. V. Rode, W. Krolikowski : *Opt. Express*, **19**, 17350 (2011).
- 41) D. E. Smalley, E. Nygaard, K. Squire, J. Van Wagoner, J. Rasmussen, S. Gneiting, K. Qaderi, J. Goodsell, W. Rogers, M. Lindsey, K. Costner, A. Monk, M. Pearson, B. Haymore, J. Peatross : *Nature*, **553**, 486 (2018).
- 42) M. Uraoka, K. Maegawa, S. Ishizaka : *Anal. Chem.*, **89**, 12866 (2017).
- 43) B. He, X. M. Cheng, H. Zhang, H. W. Chen, Q. Zhang, Z. Y. Ren, S. Ding, J. T. Bai : *Appl. Phys. Express*, **11**, 052501 (2018).
- 44) M. Esseling, C. Alpmann, J. Schnelle, R. Meissner, C. Denz : *Sci. Rep.*, **8**, 5029 (2018).
- 45) Y. L. Pan, S. C. Hill, M. Coleman : *Opt. Express*, **20**, 5325 (2012).
- 46) C. J. Wang, Y. L. Pan, S. C. Hill, B. Redding : *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **153**, 4 (2015).
- 47) Z. Y. Gong, Y. L. Pan, G. Videen, C. J. Wang : *Chem. Phys. Lett.*, **689**, 100 (2017).
- 48) Z. Y. Gong, Y. L. Pan, G. Videen, C. J. Wang : *Anal. Chim. Acta*, **1020**, 86 (2018).
- 49) Z. Y. Gong, Y. L. Pan, C. J. Wang : *Rev. Sci. Instrum.*, **87**, 103104 (2016).
- 50) C. J. Wang, Z. Y. Gong, Y. L. Pan, G. Videen : *Appl. Phys. Lett.*, **109**, 011905 (2016).
- 51) Z. Y. Gong, Y. L. Pan, C. J. Wang : *Opt. Express*, **25**, 6732 (2017).
- 52) Z. K. Yang, X. L. Lin, H. Zhang, X. H. Ma, Y. G. Zou, L. Xu, Y. T. Xu, L. Jin : *Appl. Opt.*, **58**, 2471 (2019).
- 53) B. Redding, Y. L. Pan : *Opt. Lett.*, **40**, 2798 (2015).
- 54) Y. L. Pan, C. J. Wang, L. A. Beresnev, A. J. Yuffa, G. Videen, D. Ligon, J. L. Santarpia : *Appl. Opt.*, **56**, B1 (2017).
- 55) R. Fu, C. J. Wang, O. Munoz, G. Videen, J. L. Santarpia, Y. L. Pan : *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, **187**, 224 (2017).
- 56) A. Kalume, L. A. Beresnev, J. Santarpia, Y. L. Pan : *Appl. Opt.*, **56**, 6577 (2017).
- 57) A. Kalume, E. Zhu, C. J. Wang, J. Santarpia, Y. L. Pan : *Opt. Lett.*, **42**, 5113 (2017).
- 58) A. Kalume, C. Wang, J. Santarpia, Y. L. Pan : *Chem. Phys. Lett.*, **706**, 255 (2018).
- 59) A. Kalume, C. Wang, J. Santarpia, Y. L. Pan : *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **20**, 19151 (2018).
- 60) Y. L. Pan, A. Kalume, C. J. Wang, J. L. Santarpia : *Aerosol Sci. Tech.*, **52**, 13 (2018).
- 61) Y. L. Pan, A. Kalume, I. C. D. Lenton, T. A. Nieminen, A. B. Stilgoe, H. Rubinsztein-Dunlop, L. A. Beresnev, C. J. Wang, J. L. Santarpia : *Opt. Express*, **27**, 33061 (2019).



石坂昌司 (Shoji ISHIZAKA)

広島大学大学院先進理工系科学研究科 (〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1)。
北海道大学大学院理学研究科化学専攻博士課程中退。博士(理学)。《現在の研究テーマ》光ピンセットを用いた、エアロゾルの物理化学的性質に関する研究。
E-mail : ishizaka@hiroshima-u.ac.jp

原稿募集

トピックス欄の原稿を募集しています

内容：読者の関心をひくような新しい分析化学・分析技術の研究を短くまとめたもの。

執筆上の注意：1) 1000字以内 (図は1枚500字に換算) とする。2) 新分析法の説明には簡単な原理図などを積極的に採り入れる。3) 中心となる文献は原則として2年以内のものとし、出所を明記する。

なお、執筆者自身の文献を主として紹介する

ことは御遠慮ください。又、二重投稿は避けてください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2

五反田サンハイツ 304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会

[E-mail : bunseki@jsac.or.jp]