

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24655117

研究課題名(和文) 高度撥水表面上での水蒸気凝結ダイナミクスと濡れ性の逆転移

研究課題名(英文) Investigation of the dew condensation and subsequent spontaneous jumping of droplets on the highly hydrophobic surface under cooling

研究代表者

中島 章(Nakajima, Akira)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00302795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：ランダムなナノレベルの粗さを持つ超撥水表面を作製し、ペルチェ素子により冷却して、結露過程での水滴の自発跳躍現象を、上方および側方の2方向から高速度カメラを用いて観察した。その結果、2つ以上の複数の水滴が合体、変形し、形状回復した後、自発跳躍することが判った。跳躍水滴が小さいほど跳躍初速度が大きくなり、合一前の水滴の大きさの違いが大きいと、跳躍初速度が減少した。実測跳躍速度は理論値よりも小さく、エネルギー散逸があることが考えられた。傾斜した表面では、跳躍頻度が低下・回復を繰り返し、水滴除去性能が維持された。外部から電界をかけることにより水滴の跳躍高さが高くなり、水滴除去性能が向上した。

研究成果の概要(英文)：Superhydrophobic coatings with nano-scale random roughness structure were prepared using boehmite and hydrophobic silanes. The samples were cooled by Peltier cooling element, and spontaneous jumping of water droplets formed on the coatings by dew condensation was observed from two different directions using high-speed camera systems. Spontaneous jumping of water droplets occurred subsequent to coalescence of more than two water droplets, deformation, and shape recovery. Small jumping droplets exhibited great initial jumping velocity. Initial jumping velocity decreased with increasing the difference in droplet sizes before coalescence. Actual jumping velocity was smaller than the theoretical value. When the sample was declined at 30 degrees, jumping frequency of water droplets repeated the increasing-decreasing cycle against cooling time and sustained droplet removal property. The jumping height of water droplets was remarkably increased under an external electric field.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：撥水 結露 凝結 濡れ 跳躍

## 1. 研究開始当初の背景

水との接触角が  $150^\circ$  を越える高度な撥水性を有する表面は、広く超撥水と呼ばれ、低エネルギー表面に表面粗さを付与することにより実現する。粗さの付与により撥水性が強調される機構には、固液接触面積の増大 (Wenzel モード) と、固液界面への空気を噛みこみ (Cassie モード) の2つが知られており、優れた水滴除去性能を有する超撥水性表面では、Cassie モードの寄与が大きい。超撥水は今日では世界中で様々な研究が行われており、その内容は、プロセスや条件を変えて、その構造と撥水性を結びつけるものや、その上での水滴の移動、転落、氷結、蒸発、バウンドなど多岐に及ぶ。

固体表面での濡れや水滴の挙動に関する従来の研究は、大部分が水滴を表面に直接設置する形で行われてきた。最近、ナノレベルの粗さを有する超撥水性表面において、結露した微小水滴が自発的に跳躍、もしくは表面を掃引する現象が報告され、このような凝縮濡れに、従来の濡れとは異なる特徴が存在することが報告されている。この現象は水滴の除去性能を高めるため、学術的な視点だけでなく、冷却器等の結露や氷結の防止し、熱交換効率を高める工学上の表面設計技術の点においても重要と考えられる。(気相の水蒸気の凝結による水滴形成過程については、液滴状結露の方が、フィルム状結露よりも熱交換効率に優れているとする研究が報告されている。[1])

この水滴の自発跳躍現象の機構については、液滴の合体による気液界面の減少に起因する開放エネルギーによって生じると考えられている[2]。同じ大きさの2つの水滴が合一した場合を想定した理論跳躍初速度が計算されており、液滴の合体時の内部流動による粘性散逸エネルギーを考慮に入れることで、観測結果とある程度一致することが報告されている[3, 4]。しかしながらこれらの結果は、水滴の大きさを1方向からしか確認しておらず、3個以上の水滴が合一した場合も含まれている可能性がある。また、これまでの理論跳躍初速度は2個の同じ大きさの水滴が合一した場合しか算出されていない。合一前の2つの水滴の大きさは異なる可能性があり、そのことが跳躍に及ぼす影響が検証されていない。

また、ごく最近、自発跳躍する水滴同士が互いに反発する挙動が確認され、水滴は正に帯電していること、電界をかけることで、結露水滴の跳躍が促進されることが報告された [5]。しかしながらこれらの研究では結露水滴の帯電の由来が曖昧であった。

## 2. 研究の目的

本研究ではこれらの背景を踏まえ、本研究では、ペーマイト( $\text{AlOOH}$ )粒子をランダムに堆積させた粗さを有する透明超撥水性表面を作製し、この試料を冷却して、高速度カメ

ラによる横方向と上方向からの2方向同期撮影により、水滴の凝結から跳躍にかけての過程の詳細な観察を行った。また、この現象を熱交換器等に用いる場合を想定し、試料を傾けた状態における結露水滴の跳躍現象についても観察を行った。さらに、直接表面の下側に電極を配置して電位をかけることにより、結露水滴の跳躍現象に及ぼす電位の効果について調査した。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料の作製

エタノール 10 g に、アセチルアセトンアルミニウム( $\text{Al}(\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2)_3$ , AAcA) 915 mg を溶解し、次いで ペーマイト( $\text{AlOOH}$ )を 25 mg, 50 mg, または 100 mg 添加して 40 min 超音波分散することにより、コーティング溶液を調整した。作製した溶液を洗浄した Si 基板上に滴下し、1000 rpm で 10 s スピンコーティングした後、 $470\text{--}500^\circ\text{C}$  のホットプレート上で 20 s 加熱した。この際、AAcA は白煙を上げて昇華した。このスピコートと加熱処理を 5 回繰り返すことにより、ナノレベルの粗さを有する表面を得た。以後本報告ではこれらの試料をそれぞれ、 $\text{AlOOH}25$ ,  $\text{AlOOH}50$ ,  $\text{AlOOH}100$  と記述する。作製した表面に真空紫外光を 30 min 照射し、フッ素系シラン (FAS17:  $(\text{CF}_3(\text{CF}_2)_7(\text{CH}_2)_2\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ , TSL8223) と、アルキル系シラン(ODS:  $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{17}\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$ )をそれぞれ作製した基板とともに 20  $\mu\text{L}$  シャーレに滴下し、 $150^\circ\text{C}$ , 60 min 加熱処理した。

得られた構造体の粗さ構造は、原子間力顕微鏡のタッピングモードを用いて測定した。算術平均粗さ  $R_a$ 、最大高低差  $R_{\text{max}}$ 、表面積比 (ラフネスファクター:  $r$ ) を算出し、原子間力顕微鏡のシングルプロファイルモードの線断面図から画像解析ソフト Image J を用いて、平均凹凸間隔  $R_{\text{sm}}$  を算出した。また静的水接触角および転落角を測定した。接触角測定には 3  $\mu\text{L}$ 、転落角の測定には 30  $\mu\text{L}$  の水滴を用い、測定領域を変更しながら各試料に対して 5 点平均値を求めた。

### (2) 冷却過程における異なる2方向からの水滴の自発跳躍の観察

実験系の模式図を Fig. 1(a), (b)に示す。アクリル製の観察箱を作製し、恒温恒湿槽によって温湿度制御雰囲気( $30^\circ\text{C}$ , 80%R.H.)を供給しながら凝結過程の観察実験を行った。作製した試料をペルチェ冷却素子で、表面を  $5^\circ\text{C}$  に冷却しながら、上方および側方の2方向から高速度カメラを用いて水滴の撮影を行った。この際、試料表面が  $30^\circ\text{C}$  から  $5^\circ\text{C}$  になるのに 2.5 分を要し、その後は一定になった。本報告では冷却開始時を 0 min として記述する。自発跳躍撮影では 5 min 間隔で冷却開始後から 60 min まで行った。上方からの観察はハイスピードマイクロスコプを用い、側方からの観察は高速度カメラを用いた。凝結水滴の

自発跳躍頻度の測定は、上方からの観察で  $3.009 \times 2.257 \text{ mm}^2$  の観察面において 4 s の間に跳躍した水滴の数を目視でカウントした。この観察は、傾斜角は  $0^\circ$  (水平面), の場合のほか、 $30^\circ, 45^\circ$  の 3 種についても行った。

### (3) 冷却過程における水滴の自発跳躍の印加電圧依存性

AIOOH25 に FAS17 をコーティングした超撥水表面について、電圧印加を行った時の、跳躍現象の観察を行った。実験系を Fig. 1(c) に示す。電極は厚み 2 mm 程度のガラス表面に Cu テープを貼ったものを用い、その上にサンプルをのせて  $5^\circ\text{C}$  に冷却した。この電極を外部電源に接続し、 $\pm 400 \text{ V}$  の範囲で電圧を印加した。電圧の印加は、冷却開始から 30 分以上経過してから行った。また、厚み 1 mm,  $20 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$  の銅板を試料直上の 15 mm の距離に水平に配置し、試料下部との間に  $\pm 700 \text{ V}$  の電圧を印加する実験も実施した。この実験での観察は主に側方から行った。

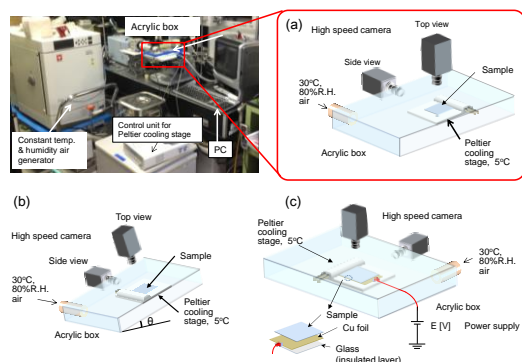


Figure 1 実験系の模式図; (a)水平面での冷却、(b)傾斜面での冷却、(c)水平面での冷却での電圧印加

## 4. 研究成果

### (1) 作製した試料の表面粗さと静的・動的撥水性

作製した試料の AFM による粗さマッピング像を Fig. 2 に示す。算術平均粗さ  $R_a$ 、平均凹凸間隔  $R_{sm}$ 、ラフネスファクター  $r$  は、いずれもコーティング溶液の AIOOH50 が最大になった (Table 1)。一方、面内の凹凸構造の最大高低差である  $R_{max}$  は、AIOOH の濃度とともに増加した。

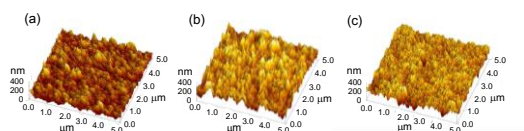


Figure 2 作製した各試料の表面構造

三輪らは、超撥水表面で得られる接触角について、Wenzel モードからの寄与と Cassie モードからの寄与を考慮して以下のような式を提示している [6]。

$$\cos \theta' = r f \cos \theta + f - 1 \quad \text{----- (1)}$$

ここで  $r$  はラフネスファクター、 $f$  は粗さが無い投影面における固体と液体との接触面積

分率であり、 $r f$  は固液界面面積を表す。また  $\theta$  は、粗さが無い平滑な表面で得られる接触角である。Si 基板上に FAS17 および ODS の平滑薄膜を作製したところ、その接触角はそれぞれ  $109.3 \pm 0.2^\circ$  (FAS17),  $101.8 \pm 1.6^\circ$  (ODS) であった。これらの値と (1) 式を用いて算出した  $f$  と、各試料の水接触角・転落角の測定結果を Table 2 に示す。水接触角の値は、AIOOH 濃度が小さい試料の方がより大きくなり、測定された表面粗さの序列とは一致しなかった。これは不均一な表面粗さにより、固液接触面積が大きくなった部分が存在したためと考えられる。従って、凹凸高さが不均一な部分が多く存在する場合、接触角は単純な算術平均粗さ  $R_a$  の序列と一致しない場合があると考えられる。転落角が接触角の序列に従い、AIOOH 濃度とともに増加するものも、固液接触面積の増加により、空気の噛みこみ部位が減少したことによるものと理解される。

今回作製した各試料については、表面エネルギーのより小さい FAS17 を用いた方が、ODS を用いた場合より接触角が大きく、転落角が小さかった。それぞれのコーティングの表面エネルギーを算出したところ FAS17 では  $16 \text{ mJ/m}^2$ , ODS では  $22 \text{ mJ/m}^2$  であった。表面エネルギーの低い FAS17 を用いた方が撥水性が高く、固液界面に空気を噛み込みやすいため、接触角や転落角に違いが生じたものと考えられる。

Table 1 作製した各試料の表面粗さと表面積比

AIOOH [mg]	25	50	100
$R_a$ [nm]	$33.8 \pm 1.5$	$47.5 \pm 3.5$	$39.0 \pm 4.1$
$R_{max}$ [nm]	$328 \pm 49$	$433 \pm 32$	$511 \pm 158$
$R_{sm}$ [nm]	$380 \pm 258$	$449 \pm 306$	$393 \pm 240$
Surface ratio $r$	$1.60 \pm 0.05$	$1.78 \pm 0.20$	$1.70 \pm 0.20$

Table 2 作製した各試料の接触角、転落角、投影面における固/液接触面積分率

AIOOH [mg]	FAS17			ODS		
	25	50	100	25	50	100
C.A. [deg.]	$162.8 \pm 1.7$	$161.4 \pm 1.0$	$154.9 \pm 2.2$	$158.4 \pm 1.5$	$155.1 \pm 1.4$	$145.4 \pm 1.9$
S.A. [deg.]	$0.8 \pm 0.4$	$2.6 \pm 0.9$	$6.6 \pm 0.9$	$6.8 \pm 1.9$	$6.8 \pm 1.1$	$18.0 \pm 2.1$
Area fraction $f$	0.095	0.127	0.216	0.104	0.146	0.271

### (2) 冷却過程での水滴の自発跳躍

水滴の自発跳躍は冷却の初期に著しく、時間の経過に伴い結露水滴の大きさが増大すると、その頻度が減少する傾向が見られた。また、水滴はほぼ垂直に跳躍し、その跳躍高さは必ずしも一定ではなかった。これらの傾向は、程度の違いはあるものの、今回検討したすべての試料に共通していた。結露水滴の合一と跳躍の、詳しい様子を Fig. 3 に示す。この図の 0 ms から 2.5 ms までの画像は Top view から、2.5 ms から 5 ms までの画像は Side view からのものであり、観察している場所は同じである。十分に結露が生じた表面において、図中の矢印の先の 2 つの結露水滴が成長、互いにその距離が近づき、1 ms の画像で合体する。1 - 2.5 ms の画像において最も安定な球

形状に変形しながら2.5 msから球状水滴の自発跳躍現象が生じていることが分かる。この過程では、上述の2つの水滴の他に、周囲の小さな水滴（画像で赤い円で囲んである水滴）を巻き込んで水滴が合一していることが判る。

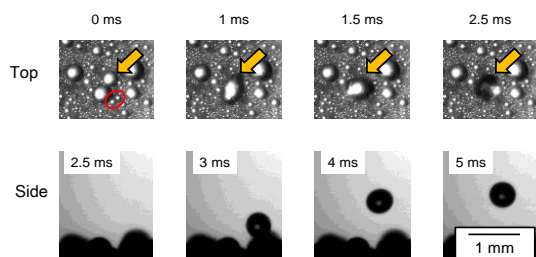


Figure 3 AIOOH25+FAS17 試料上での水滴の合一及び跳躍過程

Fig. 4(a), (b) に、AIOOH25 + FAS17, ODS 表面と、AIOOH25, AIOOH50, AIOOH100 + FAS17 表面の水平面での自発跳躍頻度の経時変化を示す。FAS17 をコーティングした表面の方が、ODS 表面よりも自発跳躍頻度が大きかった。これは、ODS の方が撥水性が低いことによる固液界面の接着仕事の増大や、柔軟性に優れる ODS 分子の方が変形許容範囲は大きいため、合一時の変形・形状回復時の接着仕事が大きくなり、跳躍しにくくなったためと考えられる。また、AIOOH 量が少ない試料の跳躍頻度が高くなった。これは粗さの違いによる撥水性の序列に従い、固液界面の接着仕事小さい表面ほど跳躍しやすいためと考えられる。さらには、粗さやコーティングするシランの分子構造により、液滴を pinning する不均一部位が試料内に存在する確率が異なることも考えられる。いずれにしてもこれらのことは、水滴内部の粘性散逸エネルギーだけでは、固体表面の組成や粗さの違いに起因する散逸エネルギーが存在することを示唆している。

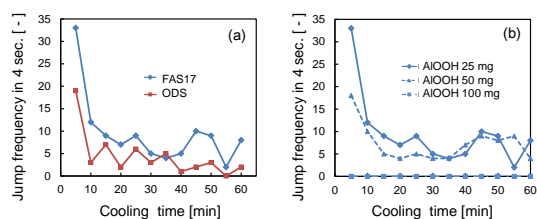


Figure 4 水平面での自発跳躍頻度の経時変化；(a) AIOOH25 + FAS17, ODS 表面、(b) AIOOH25, AIOOH50, AIOOH100 + FAS17 表面

粗さを有する表面に結露が生じる時、エネルギー的な安定性の違いから、主に表面粗さの谷部分から水滴の核が生成し、粗さ構造体内部で、微小水滴の合一を繰り返す、成長して粗さの平均凹凸間隔よりも十分に大きい水滴サイズに成長すると考えられる。表面粗さの不均一によって、核生成の頻度、初期の成長速度、それぞれの水滴の Wenzel モード

から Cassie モードへの転移の起こりやすさが異なり、最終的に結露水滴の大きさにバラつきや、Wenzel モードと Cassie モードの水滴の割合の違いを生み、跳躍頻度に影響を与えていると考えられる。

今回の観察結果から最も水滴の自発跳躍頻度が大きかった AIOOH25 + FAS17 について、Top および Side view の2方向同期観察結果の解析を行い、水滴の合体前の水滴径と合体後の跳躍水滴径、跳躍速度、跳躍高さを実測した。

2つの水滴だけによる合一であることが確認された事例について、合体前の水滴の半径比 ( $R_1/R_2=\alpha$ ) と跳躍水滴サイズに対して、実測された跳躍初速度をプロットした図を Fig. 5(a)に示す。跳躍水滴サイズが小さい時、跳躍初速度が大きくなる傾向が見られた。そして、小さい水滴径の時、散逸エネルギーが大きくなった。これは、サイズの小さい水滴においては跳躍初速度が大きいため、空気抵抗が大きくなるためである。また、合一前の2つの水滴の大きさの差が大きいと、合一後の水滴との表面エネルギー差が小さくなり、その分、運動エネルギー量が減少するため、跳躍速度が小さくなった。

結露水滴の自発跳躍過程の観察結果から、大きさの異なる2つの水滴が合体する際に、開放エネルギーによって自発跳躍現象が起こると仮定して、跳躍速度の計算を行った。接触角 $\theta$ の半径  $R_1, R_2$  の液滴が合体後、半径  $R$  の球状液滴を形成する際の合体前後の液滴の界面自由エネルギー差と跳躍の運動エネルギーのバランスを考慮し、その径の比と跳躍水滴径  $2R$ 、理論跳躍初速度  $v$  の関係をプロットすると、Fig. 5(b)のようになる。この図の傾向は、実験から得られた Fig. 5(a)と同様であるが、跳躍初速度の実測値は、理論値の10%程度であった。このことは、水滴同士が合一する際に、何らかのエネルギー散逸が存在することを示している。

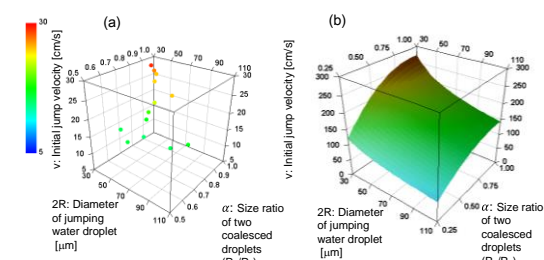


Figure 5 (a) AIOOH25+FAS17 試料上での2つの水滴の合一における水滴のサイズ比と跳躍水滴径と跳躍初速度、(b) 2つの水滴に合一による水滴の自発跳躍における水滴のサイズ比と跳躍水滴径と跳躍初速度の関係の計算結果

大きさが等しい2つの水滴について、粘性散逸エネルギーを考慮すると、全ての水滴径の範囲において跳躍速度は減少して Fig. 6 のようになった。本実験系では、水滴内部だけでなく、固体表面の構造的、組成的特徴が、

水滴のエネルギー散逸にある程度寄与している。これらの要因の詳細な解析は今後の課題である。

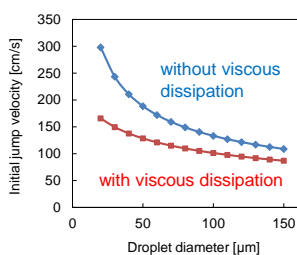


Figure 6 粘性散逸の考慮の有無による理論跳躍初速度の違い

AIOOH 25 mg + FAS17 の試料を 0°(水平面)から、30°, 45°に傾斜させ、各傾斜角における自発跳躍頻度および結露量の冷却時間依存性測定結果を Fig. 7 に示す。ここで、結露量については接触角 160°を仮定して計算した。水平面では、自発跳躍頻度が冷却時間経過とともに減少したが、傾斜表面では跳躍頻度が減少・増加を繰り返す、結露量が小さく維持されることが判った。これは、跳躍した水滴が観察面外に除去されることにより、表面が周期的に renewal されるためである。また、水滴径比、水滴径による跳躍初速度の関係については、水平面時と比べて有意な差はみられなかった。

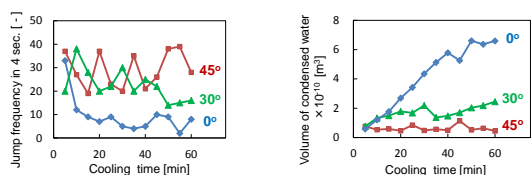


Figure 7 傾斜した AIOOH25+FAS17 表面での水滴の跳躍頻度と結露水滴体積

### (3) 冷却過程における水滴の自発跳躍の印加電圧依存性

本実験では電圧の印加は、跳躍頻度の変化がほぼ飽和していると考えられる、冷却開始から 30 分以上経過してから行った。試料表面に正の電位をかけている間、持続的に激しい結露水滴の跳躍現象が生じた。その際の跳躍高さは 400V を印加した場合、5-6 mm 程度もしくはそれ以上で、電圧をかけていない通常の状態での自発跳躍の跳躍高さ (凡そ 1-2 mm) よりも高かった。一方、負の表面電位を印加した場合、水滴の自発跳躍頻度が低下し、-400V を印加した場合は、自発跳躍は見られなくなった。

電圧の印加により、水滴の接触角が変化して水滴同士の合一が促進された場合、跳躍高さが大きくなることが説明できない。またこの現象が電圧印加を施している間、持続的に生じたことから、電気泳動力の作用も考えにくい。これらのことから、自発跳躍の電圧依存性には、水滴の帯電と電界による Coulomb 力の影響が寄与している可能性が考えられる。

なお、400V を印加した場合、画面左から右へ水滴が流される現象が見られるが、これは雰囲気調整のための恒温恒湿槽からの強制対流成分の影響である。

Coulomb 力と水滴の帯電の影響を検討するため、一定の面積を有する銅板を試料直上に水平に配置することで、銅板とコーティング表面の間の空間に平等電界を形成した。帯電処理時の Side view 観察より、2 s 間に跳躍した水滴の軌跡を Fig. 8 に示した(画像は 2s 間のもの)。電圧を印加しない場合(Fig. 8(a))の自発跳躍高さに比べ、試料 (700V) を銅板 (0V) に対してより正 (Fig. 8(b)) になるように電圧を印加した場合は、自発跳躍高さが高くなり、電界が平等にかかっていると考えられる領域では、水滴はほぼ垂直に跳躍して銅板に引き寄せられた。コーティング表面上を 0 V、Cu プレート側を -700 V に帯電させ、Cu プレートとコーティング表面の間の空間に同程度の電界をかけた場合 (Fig. 8(c)) も同様の挙動が観察された。一方、コーティング表面上を 0 V、Cu プレート側を +700 V に帯電させた場合は跳躍が観察されなかった。これらの観察結果から、水滴は正に帯電しており、表面の電位によらず、電界が同程度であれば跳躍挙動も同程度であることがわかる。このことから、水滴の帯電量は表面電位に依存しないことが明らかになった。フッ素系物質は帯電系列において最も負に位置しており、負電荷を溜めやすい (電子を抜き取りやすい)。有機フッ素化合物との接触や移動、跳躍の過程で、水滴の負電荷が表面に奪われて水滴が正に帯電したことが考えられる。

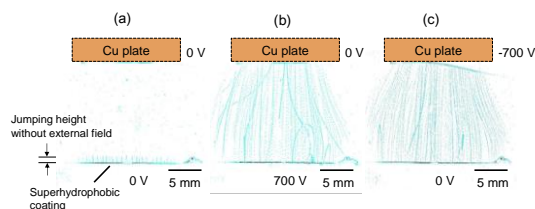


Figure 8 AIOOH25+FAS17 表面の対極に銅板を置いた際の水滴の自発跳躍の電界依存性

以上の結果から、外部電界の作用により、超撥水表面からの結露水滴の除去性能が高まることが判った。本研究では、実験系の特性から、水滴の跳躍高さが高くなると対流の影響が顕在化するため、水滴の大きさと電荷量、跳躍初速度、跳躍高さの関係について詳細な解析は困難であった。これらの関係に関する詳細な解析は、今後の課題である。

### 【参考文献】

- [1] J. W. Rose, Dropwise condensation theory and experiment: a review, Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy, 216 (2002) 115-128.
- [2] J. Boreyko, C.-H. Chen, Self-propelled dropwise condensate on superhydrophobic surfaces, Phys. Rev. Lett., 103 (2009) 2-5.

- [3] F.-C. Wang, F. Yang, Y.-P. Zhao, Size effect on the coalescence-induced self-propelled droplet, Appl. Phys. Lett., 98 (2011) 053112.
- [4] T. Q. Liu, W. Sun, X. Y. Sun, H. R. Ai, Mechanism study of condensed drops jumping on super-hydrophobic surfaces, Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp., 414 (2012) 366-374.
- [5] N. Miljkovic, D. J. Preston, R. Enright, E. N. Wang, Electric-field-enhanced condensation on superhydrophobic nanostructured surfaces, ACS Nano, 7 (2013) 11043-54.
- [6] M. Miwa, A. Nakajima, A. Fujishima, K. Hashimoto, T. Watanabe, Effects of the surface roughness on sliding angles of water droplets on superhydrophobic surfaces, Langmuir, 16 (2000) 5754-5760.

## 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 0 件)

〔学会発表〕 (計 4 件)

- ① 柳澤光亮、酒井宗寿、磯部敏宏、松下祥子、中島章：「高度撥水表面上での冷却過程における水滴の自発跳躍」第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学、2014 年 3 月 18 日
- ② K. Yanagisawa, M. Sakai, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima: “Spontaneous Jumping of Water Droplet during Due Condensation on the Superhydrophobic Coatings”, The 7<sup>th</sup> International Conference on the Science and Technology for Advanced Ceramics (STAC-7), Mielparque-Yokohama, Kanagawa, Japan, June 20, 2013
- ③ 柳澤光亮、磯部敏宏、松下祥子、中島章：「高度撥水表面上での冷却過程における水滴の自発跳躍」環境・資源対応セラミックス材料技術研究討論会、東京工業大学、2013 年 3 月 17 日
- ④ 中島章、古田勤、磯部敏宏、松下祥子：「微小液滴を用いた固体表面の濡れ性の評価」環境・資源対応セラミックス材料技術研究討論会、東京工業大学、2013 年 3 月 17 日

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：

権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 章 (NAKAJIMA AKIRA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：00302795

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：