

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究（開拓）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20530

研究課題名（和文）高熱伝導性マイクロプラスチックテクスチャ創製による着霜防止表面開発の挑戦

研究課題名（英文）The challenge of frost generation preventing surface by using high thermal conductive micro-plastic texturing

研究代表者

野老山 貴行（Tokoroyama, Takayuki）

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20432247

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 19,800,000円

研究成果の概要（和文）：家庭用冷蔵庫内等の熱交換器に発生する着霜は、冷凍庫機能を害するため、除霜のためにヒータが使用され、無駄にエネルギーが消費されている。そこで表面への着霜防止を目的としたマイクロプラスチックテクスチャリングの創製方法について、炭素系粉末物質を配合した熱伝導性向上テクスチャリングの創製を行った。ポリ塩化ビニルにカーボンブラック（CB）を1.0 vol.%含有させた溶媒を交流電場印加下におき、凝集固化させることによりマイクロプラスチックテクスチャの創製が可能であることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

NEXT11やBRICsを代表とする人口増加・エネルギー消費量増加が著しい諸国にとって、冷蔵庫を各家庭が持つことは豊かさを意味することから、人々の歩みを止めることはできない。消費する電力増加は爆発的であり、各家庭で消費されるエネルギー総量の約1%が除霜に用いられている。このような無駄なエネルギーをいかに削減していくかが今後の社会に求められる。本研究で取り組んだマイクロプラスチックテクスチャによる高熱伝導性表面の創製は、あらゆる熱交換器にも使用可能で、着霜・着氷防止を達成可能な点に社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）：Frost generation on the heat exchangers of household refrigerators and other equipment impairs the freezer function, and heaters are used to defrost the equipment, resulting in unnecessary energy consumption. We have developed a method of creating microplastic texturing to prevent frost generation on surfaces, and have created a texturing with improved thermal conductivity by blending a carbon-based powder substance. We found that microplastic texturing can be created by agglomerating and solidifying polyvinyl chloride (PVC) with 1.0 vol.% carbon black (CB) in a solvent under an alternating electric field.

研究分野：トライボロジー

キーワード：マイクロプラスチック テクスチャリング 着霜 熱伝導性 カーボンブラック

1. 研究開始当初の背景

一般家庭用冷蔵庫の熱交換器は、着霜に伴う熱交換効率低下を抑制するため、ヒータが内蔵されている。一般家庭における電力消費量は約 4200kwh/年、冷蔵庫の消費電力はその内約 15%の 630kwh/年であるが、ヒータ動作により 10%以上の 65kwh/年程度を無駄に消費している。国内の一般家庭用冷蔵庫は約 8000 万台、ビジネスホテルなどの小型冷凍庫を含めると約 1 億台以上が稼働していると見積もられており、火力発電の年間発電量の約 1%、原子力発電の約 2.3%を失っている計算になる。このような観点から、家庭用冷蔵庫内の熱交換器に使用されるヒータの稼働率をいかに減少させるかは急務の課題である。そこで、アセトン溶媒に溶解させたポリ塩化ビニルを材料表面に塗布し、電界印加乾燥中に自己凝集して突起を形成する手法により、大面積かつ熱交換性能向上のため、炭素系粉末物質を配合した熱伝達特性向上テクスチャリングの創製を行う。

研究者らはポリ塩化ビニルを溶質としてアセトン溶媒に溶かした溶液を塗布した表面上において乾燥する際、溶質の析出を用いた突起形成が可能で、平行平板電極間にこの溶媒を設置して交流電場を印加し、数～数十 μm の蓮の葉のような微小突起の形成が可能であることを明らかにしてきた⁽¹⁾。本手法は大面積への適用が容易であることから、実用面における優位性があるものの、原料であるポリ塩化ビニル (Polyvinyl Chloride: PVC) の熱伝導性が低いため、熱交換効率を減少させてしまう問題点があった。本研究では、熱伝導性を向上させるためカーボンブラック (Carbon Black: CB, 無定形炭素粉末) を溶媒に導入し、熱伝導率を有するマイクロプラスチックテクスチャ (Micro Plastic Texture: MPT) の創製を実現するため、CB の導入量が接触角に及ぼす影響及び熱伝導性に及ぼす影響について明らかにし、最適 CB 導入量について明らかにした。

2. 研究の目的

MPT はポリ塩化ビニルにより作製されていることから、通常熱交換器に使用される銅・アルミ合金に比べ熱伝達率が低い問題点がある。そこで、原料となるポリ塩化ビニル溶融アセトン溶液内に熱交換効率を担保するための炭素系微粒子を混入させ、MPT 形成時に基板表面から MPT 表面への熱伝達率の高い経路を確保する。対向する二枚の電極間に挟まれた溶媒及び混入させた炭素微粒子は、水溶液中において電気二重層を有する物質が交流電界の周波数に依存して柱状(クラスター)構造を形成することがこれまでの実験により明らかにされている。本研究で用いる溶媒中において同様の効果が得られることを明らかにする。

3. 研究の方法

対向する並行平板電極を設置し、並行平板間に基材及びポリ塩化ビニル溶液を設置して交流電場を印加した。交流電場には印加電圧 2.0 kV、印加周波数を 0 から 10 Hz、CB 量を 0 から 2.1 vol.%まで変化させて表面に形成させた。形成後の表面の SEM 観察、水との接触角測定及び基板側からペルチェ素子を用いた冷却試験を行った。冷却試験は大気中及び真空中で行い、試験片表面に形成された MPT と空気との対流による影響を排除した実験を比較のために行った。

4. 研究成果

交流電場を印加して形成した MPT の接触角及び単位面積当たりに検出される EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) 分析による塩素量に及ぼす交流電場印加周波数の影響を図 1(a)に示す。CB を無印加の場合、交流電場内にて溶媒が振動する固有振動数は約 11 Hz であり、CB を 0.9 vol.%含む場合に約 6 Hz において最も高い接触角約 118°と最大の塩素含有率(約 7 at.%)が得られた。この表面の代表的観察結果として、FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscope) 画像を図 1(b)に示す。SEM 像に示される白点線で囲まれた部分(i)は炭素・塩素濃度が高くポリ塩化ビニルにより形成された突起であり、大きさは直径約 5 μm 以下、高さはレーザー顕微鏡測定結果から約 2 μm であり、(ii)に示す部分に CB が存在していた。CB を含む PVC により作製した MPT の熱伝達性能を評価するため、各濃度で作製した MPT 表面を 40 から 10 $^{\circ}\text{C}$ へ冷却した際の熱伝達率測定結果を図 1(c)に示す。大気中における測定結果において 0 vol.%は MPT による表面被覆率が悪く、ほぼアルミ合金の熱伝導率である。CB 含有量の 0.9 vol.%は 0 vol.%と同程度の熱伝導率を示し、1.2 vol.%以上で熱伝達率が減少した。0.1 Pa の真空中測定結果では、1.2 vol.%まで熱伝導率は向上し、CB の導入により冷却特性が向上する結果が得られた。

参考文献

山田雄聖, 野老山貴行, 村島基之, 梅原徳次, “ポリ塩化ビニル溶媒への交流電場援用マイクロプラスチック突起の創製”, 日本機械学会論文集, Vol. 86, No. 892 (2020), pp. 20-00228.

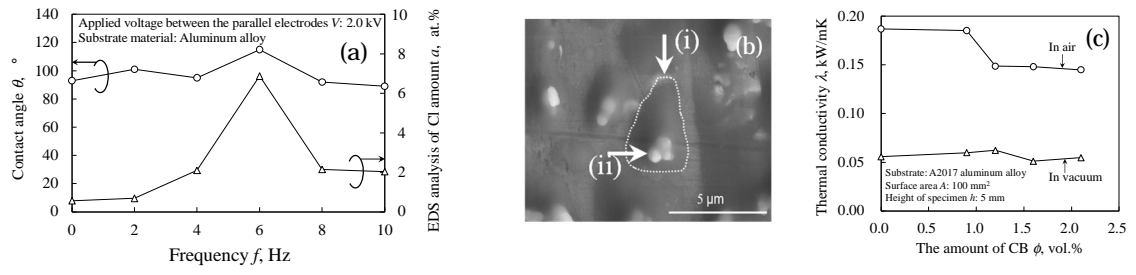


Fig. 1(a) The effect of AC voltage frequency on the contact angle of MPT and at.%, (b) SEM image of MPT with CB, (c) The effect of CB amount on cooling performance

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 T. Tokoroyama, L. Zhang, N. Umehara
2. 発表標題 The Effect of Carbon Black Amount in Polyvinyl Chloride Microplastic Texture on Thermal Conductivity to Prevent Frosting
3. 学会等名 ICMDT（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野老山貴行, 張麗榮, 梅原徳次
2. 発表標題 カーボンブラック含有熱伝導性ポリ塩化ビニルマイクロプラスチックテクスチャの創製
3. 学会等名 日本機械学会東海支部総会講演会
4. 発表年 2023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
---------	---------