



# 薄膜高断熱材『ファインシュライト』

High Performance Heat Insulation Finesulight

金原 輝佳\*  
Teruyoshi Kimpara

日比野 委茂  
Motoshige Hibino

三隅 史雄  
Fumio Misumi

伊東 邦夫  
Kunio Ito

住友理工(株)は、高断熱性材料である「シリカエアロゲル」を高充填した水溶性の塗料化に成功し、薄膜高断熱材を開発した。これは、空気断熱による最高クラスの断熱性能を持ち、厚み1mm以下でもその性能を発揮します。近年、電子機器やバッテリーにおいては、高集積化や小型化による発熱密度は年々増加していく傾向にあり、住友理工(株)は熱マネージメントに貢献する商材として、この分野への適用化を検討していく考えです。また、施工が簡便である特長を生かし、工場設備の熱効率を高めたり、燃料や電力などのエネルギー消費の抑制に貢献する商材としても注目され、製造業で採用されています。

Sumitomo Riko Company Limited has developed a thin film high insulation material by successfully transforming the highly insulating material "silica aerogel" into a water-soluble paint with high filling. The material exhibits top-class insulation performance through air insulation, even at a thickness of 1 mm or less. With the increasing trend of higher heat generation density in electronic devices and batteries due to their miniaturization and high integration, we are exploring the application of this product to enhance thermal management. Furthermore, this product is gaining attention in the manufacturing industry for its ease of application, as it can improve the thermal efficiency of factory facilities and contribute to reducing energy consumption, including fuel and electricity.

キーワード：薄膜高断熱材、シリカエアロゲル、軽量断熱材、水系塗料、遮熱

## 1. 緒言

昨今の電子機器は、通信の高速化に伴う高集積化、モビリティ化のための小型軽量化・薄型化が進んでいる。そのため電子機器の発熱密度は年々増加していく傾向にある。

その一方で、電子機器の発熱は様々な問題を引き起こす可能性がある。具体的な事例を以下に示す。

- ①機能的問題：部品寿命の短命化、セーフティ機能起動による一時的な機能停止、機能破損等
- ②機械的問題：熱膨張による寸法変化、部品の変質や破損等
- ③エネルギー的問題：熱逃げによる消費電力増加等
- ④对人的問題：高温部への接触によるやけど発生等

そのため、発熱を伴う電子機器では、各種デバイス設計に合わせて、様々な対策が導入されている。

発熱対策としては、一般的に「放熱」「冷却」「断熱」などの手段が用いられる。例えば、放熱では筐体等の冷却面への伝熱や放熱材の適用、冷却ではヒートシンクや冷却ファンの適用、断熱では熱源との非接触化や断熱材の適用などが挙げられる。

これまで、住友理工(株)では持続可能な社会づくりに貢献すべく、エネルギーマネージメントに繋がる商品開発を進めてきており、その代表的な商品として、住宅窓用遮熱断熱フィルム「リフレッシュイン」やモビリティ向け放熱性吸音材「MIF (= Magnetic Induction Forming)」を上市している(図1、図2)。

今回、新たなエネルギーマネージメント商品開発を進め

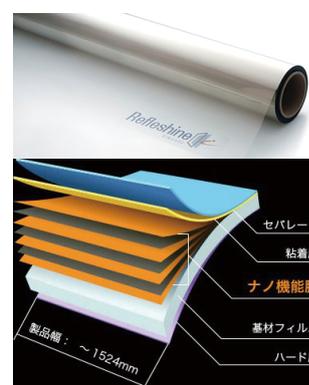


図1 窓用高透明熱線反射フィルム「リフレッシュイン」

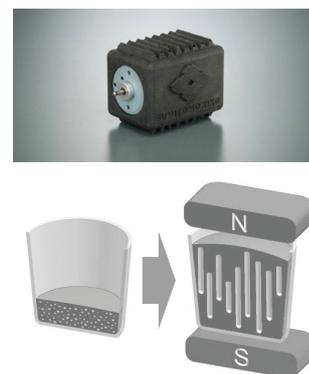


図2 放熱吸音材「MIF」

るにあたり、今後ニーズ拡大が予想される、電子機器などの発熱対策、地球環境保全に向けた省エネ活動推進などの観点から「断熱」に着目し、2016年から開発をスタートした。

市場には既に様々な断熱材が存在しており、住友理工(株)は後発メーカーであるとの認識があった。そのため、住友理工(株)が勝ち残っていくためには、競合優位となる明確な商品コンセプトが必要と考えた。そこで、市場に流通する断熱材を徹底的に調査し、新たな価値創出に繋がる断熱材のコンセプトを設定した。具体的には、以下の目標設定に至った。

- ①空気断熱による最高クラスの断熱性能を持つこと（静止空気に匹敵）
- ②厚み1mm以下でも断熱機能を発揮すること（一般的に住宅等に用いられる断熱材は厚み4mm以上）
- ③容易に曲げることができる柔軟シートタイプでロール提供可能であること（施工時のハンドリング性・輸送性に優位）
- ④施工性に優れること（ハサミでも切断可能）
- ⑤有機材料では適用困難となる高温領域で使用可能となる商品ラインナップを持つこと（例えば、150℃以上の耐熱性）

## 2. 高断熱材料「シリカエアロゲル」

住友理工(株)が考える商品コンセプトの中で、最も重要となる「空気断熱による最高クラスの断熱性能（静止空気に匹敵）」を実現するためには、その材料選定が大きな鍵を握ると考えた。そこで住友理工(株)では様々な断熱材料を検討し、その中から「シリカエアロゲル」に着目した。

シリカエアロゲルは、無機物質であるシリカからなる、微細なネットワークで構成される材料である。シリカ一次粒子で構成される凝集体の中にナノオーダーの細孔構造を持つ多孔質材料で、1931年にS. S. Kisterによって発明された（図3）。

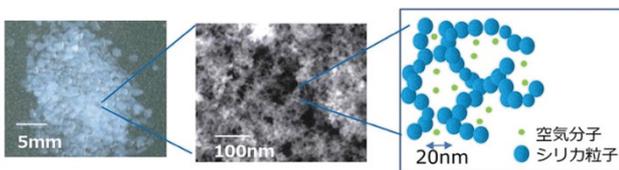


図3 断熱フィラー「シリカエアロゲル」の構造

シリカエアロゲルは、90%以上の空気により構成されるため、比重（ $\rho$ ）0.13~0.17g/cm<sup>3</sup>と非常に軽い。また内部に細孔（=シリカ粒子凝集体内の空間）を数多く持ち、

その細孔が極めて小さいが故に熱対流現象が発生しない。具体的には、細孔径は10~50nmであり、空気の平均自由行程65nmより小さい。そのため、細孔内に空気を閉じ込め、空気分子同士の衝突による熱の受け渡しや空気の対流による熱移動を抑制することから、熱伝導率は0.012~0.020W/m・Kと静止空気の0.024~0.026W/m・Kを上回る高断熱性を示すのである。

ウレタン、スチロール等に代表される汎用断熱材の細孔径がおおよそ50~800 $\mu$ mとされていることから、シリカエアロゲルの細孔径はその1/1000レベルである。

また、通常、熱伝導率は厚みに反比例する。特に汎用断熱材は、厚みが薄くなるほど二次曲線的に断熱性能が悪化し、特に断熱材の厚み1mm以下の場合、細孔径が厚みに近づき、細孔が破壊されるため、断熱効果が得られにくくなる。それに対して、極めて小さな細孔を持つシリカエアロゲルは、断熱材の厚み1mm以下でも断熱性確保に必要な構造を保持し、熱伝導率が低下しないのも大きな特徴である（図4）。

更にシリカエアロゲルの融点は約1200℃であり、熱に対して安定した材料である。



図4 断熱材の細孔による影響

## 3. シリカエアロゲルを用いた塗料の開発

シリカエアロゲルは、一般的に粉体として取り扱われる。世の中のシリカエアロゲル活用を検討している企業や研究機関では、粉体そのものの適用はもちろんのこと、この粉体を塗料や樹脂中に混練りするなど、二次的加工による新たな価値創出を狙った様々な取り組みがなされている。しかしながら、その開発過程で、幾つかの課題を乗り越える必要がある。住友理工(株)においても例外ではなく、その具体的な事例を以下に示す。

シリカエアロゲルは、素材自体が高純度の粉体であるため、非常に取り扱いにくく、そのままでは製品化することは困難であった。そこで材料を取り扱いやすくするために「塗料化」に着目した。特に今回の商品コンセプトである「薄肉（厚み1mm以下）」「高断熱」を実現するには、塗料化した材料を基材にコーティングする手法が、狙いの厚み確保や製法面でも最も効果的であると考えた。

塗料化するには、シリカエアロゲルを溶媒中に相溶・分散させる必要がある。特に環境に優しいモノづくりも踏まえ、[水系塗料化]が望ましいと考え、検討を進めた。

住友理工(株)ではこれまで、ゴム・樹脂材料開発を通じて、相溶性・分散性の悪い材料や添加剤を取り扱う中で、様々な材料配合技術や表面処理/改質技術を培ってきた。今回の開発においても、その技術ノウハウを活用し、シリカエアロゲルを水に相溶・分散させることに成功した(写真1)。



写真1 塗料化したシリカエアロゲル

出来上がった塗料は、シリカエアロゲルの持つ断熱性能を損なうことなく、静止空気の熱伝導率0.024~0.026W/m・Kを上回る、0.020W/m・K（塗膜のみの性能）と高い断熱性能を示した（熱伝導率測定はJIS A 1412に準拠）(図5)。

こうしてシリカエアロゲルを90%以上高充填した薄膜高断熱材向け塗料が完成した。

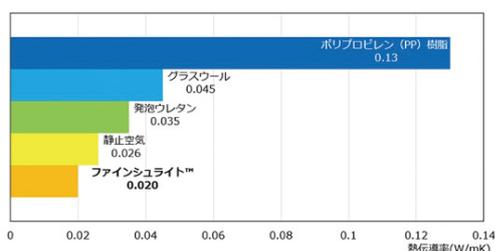


図5 各種断熱材の熱伝導率

#### 4. 高断熱塗料を用いた商品化検討

開発した高断熱塗料を用いた商品化に向けては、ベースとなる薄膜基材（不織布）への塗料コーティングにより、薄膜化を実現した(写真2)。

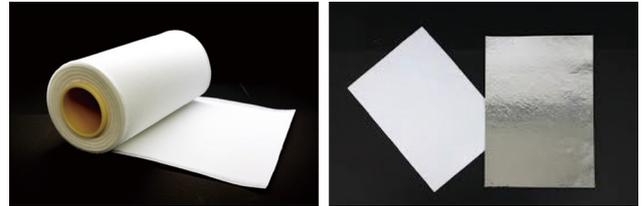


写真2 ロール品（左）と短冊品（右）

そして、この薄膜高断熱材の特徴である「Fine（優れた）- Insulate（断熱する）- Light（軽い）」を組み合わせた造語からなる「Finesulight（ファインシュライツ）」を商品名として商標登録した。

現在の商品ラインナップを以下に示す。機能別に3品種を販売しており、更に1品種を追加リリース予定である。厚みはいずれも総厚1mm以下である(表1)。

表1 ファインシュライツ（ロール品）の商品ラインナップ

仕様	標準品		中耐熱品 (開発中)	高耐熱品
	-	遮熱タイプ		
有機断熱材	アルミ蒸着膜 有機断熱材	アルミ蒸着膜 有機断熱材	アルミガラスクロス 耐熱有機断熱材	無機断熱材
基材	ポリエステル系不織布	ポリエステル系不織布	ガラス不織布	ガラス不織布
耐熱温度	~120℃	~120℃	~200℃	~500℃
厚み	約0.5mm	約0.6~0.7mm	約0.8mm	約0.5mm
層構造	遮熱層	-	(アルミガラスクロス)	-
	断熱層	シリカエアロゲル (+有機バインダー)	←	シリカエアロゲル (+耐熱有機バインダー)
	基材	PET不織布	←	ガラス不織布

最もシンプルな構成である標準タイプは「不織布への断熱塗料コーティング」からなる商品である。

また、これをベースにアルミ蒸着フィルムを追加した「遮熱タイプ」も準備している。

更に、ウレタン、スチロール等に代表される、有機材料系の断熱材では適用困難となる150℃以上の高温領域向けに「高耐熱品」も準備した。

現在開発中の中耐熱仕様は、大型の連続乾燥炉など、工場設備の省エネ化を図りたいとの数多くの声を頂き、新たに開発着手した商品である。特にアルミガラスクロスとの複合品をご要望されるお客様が多く、早期の商品展開を計画している。

## 5. 基本特性 (1)

### 5-1 標準タイプ (遮熱タイプ) の構成

商品ラインナップのうち、標準タイプ (遮熱タイプ) について以下に説明する。

基本構成は、ポリエステル系不織布、断熱材、アルミ蒸着フィルム の3層で構成されている (図6)。

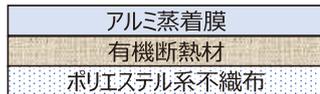


図6 標準品 (遮熱タイプ) の構成

ポリエステル系不織布は、一般的な樹脂フィルム ( $\rho$  1.0g/cm<sup>3</sup>) と比較して軽量 ( $\rho$  0.15g/cm<sup>3</sup>) であり、薄肉化も可能 (厚み $\leq$ 1mm) で、柔軟性にも優れることから、これを基材として採用した。また、不織布を採用したことで、コーティング時に断熱塗料が不織布の隙間に含浸し、密着性向上にも繋がっている。

この基材に対して、シリカエアロゲルをベースとした断熱塗料 (有機系バインダーを採用) を塗工・乾燥し、軽量かつ薄膜からなる断熱層を形成した。

その後、断熱層の上面に、外部から侵入する赤外線を反射する役割を果たす部材として、アルミ蒸着フィルムを貼り合わせた。アルミ蒸着フィルムは、上記機能の他に、断熱材をポリエステル系不織布とアルミ蒸着フィルム間に挟み込むことにより、断熱材の脱落防止の役割も果たしている。

### 5-2 高温断熱評価

断熱シートの高温断熱効果を検証するために、85℃のホットプレート上に断熱シートを設置して、その時の表面温度を測定した。その詳細を以下に示す (図7)。

評価サンプルとして、ポリエステル系不織布 (厚み 0.4mm) / 断熱材 (厚み 0.3mm) / アルミ蒸着フィルム (厚み 0.025mm) からなる総厚約 0.7mm からなる断熱シートを準備した。

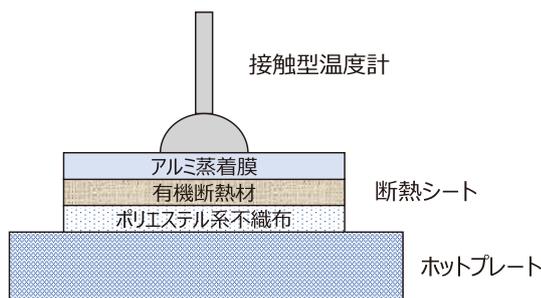


図7 断熱性試験方法 (加熱)

み 0.025mm) からなる総厚約 0.7mm からなる断熱シートを準備した。

評価は 25℃ の環境で行った。試験用ホットプレートを準備し、それを 85℃ になるように設定した。その後、10cm 角からなる断熱シートをポリエステル系不織布の面がホットプレートに接するように設置し、2分間放置した後に、接触型温度計を用いて断熱シートの表面温度を測定した。1枚の断熱シートを用いた評価のみならず、2~4枚を重ね合わせた評価も並行して実施した。こうして実施した評価結果を以下に示す。ホットプレートの表面温度 85℃ に対して、1枚の断熱シートでは 66℃ ( $\Delta$ 19℃)、2枚では 55℃ ( $\Delta$ 30℃)、3枚では 51℃ ( $\Delta$ 34℃)、4枚では 48℃ ( $\Delta$ 37℃) と断熱シートの厚みが増すにつれて、表面温度は徐々に常温に近づいた (図8)。

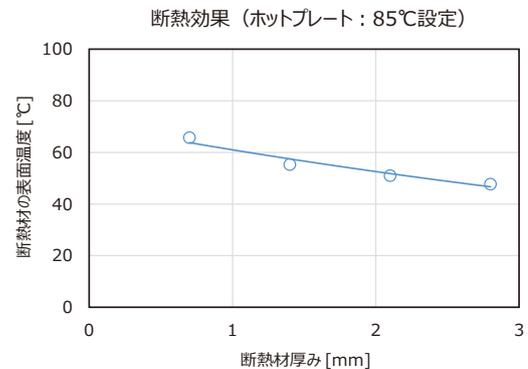


図8 断熱性評価結果 (加熱)

### 5-3 低温断熱評価

断熱シートの低温断熱効果を検証するために、0℃のクールプレート上に断熱シートを設置して、その時の表面温度を測定した。その詳細を以下に示す (図9)。

評価サンプルとして、ポリエステル系不織布 (厚み 0.4mm) / 断熱材 (厚み 0.3mm) / アルミ蒸着フィルム (厚み 0.025mm) からなる総厚約 0.7mm からなる断熱シートを準備した。

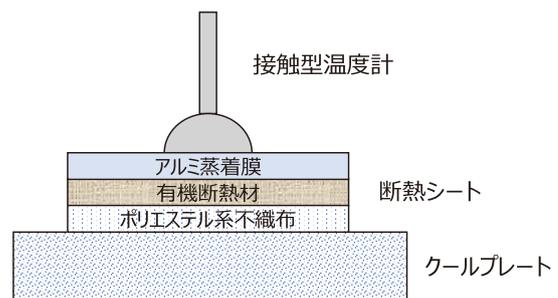


図9 断熱性試験方法 (冷却)

評価は25℃の環境で行った。試験用クールプレートを用意し、それを0℃になるように設定した。その後、10cm角からなる断熱シートをポリエステル不織布面がクールプレートに接するように設置し、2分間放置した後に、接触型温度計を用いて断熱シートの表面温度を測定した。1枚の断熱シートを用いた評価のみならず、2~4枚を重ね合わせた評価も並行して実施した。

こうして実施した評価結果を以下に示す。

クールプレートの表面温度0℃に対して、1枚の断熱シートでは9℃、2枚では12℃、3枚では15℃、4枚では17℃と断熱シートの厚みが増すにつれて、表面温度は徐々に常温に近づいた (図10)。

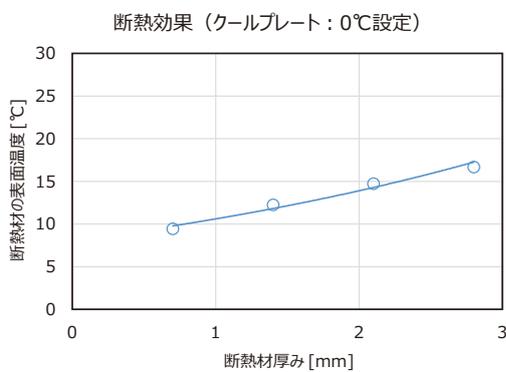


図10 断熱性評価結果 (冷却)

## 6. 基本特性 (2)

### 6-1 高耐熱タイプの構成

商品ラインナップのうち、高耐熱タイプについて以下に説明する。

基本構成は、ガラス不織布、断熱材の2層で構成されている (図11)。

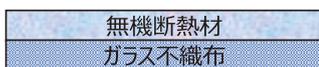


図11 高耐熱品の構成

標準タイプで用いるポリエステル系不織布は耐熱温度が低く、高温雰囲気下での使用に適さないことから、その代替材料としてガラス不織布を選定した。ガラス不織布は、厚み0.2mmからなり、柔軟性にも優れることから、これを基材として採用した。また、不織布を採用したことで、コーティング時に断熱塗料が不織布の隙間に含浸し、密着性向上にも繋がっている。

この基材に対して、シリカエアロゲルをベースとした断熱塗料 (無機系バインダーを採用) を塗工・乾燥することで、軽量かつ薄膜からなる断熱層を形成した。

### 6-2 高温断熱評価

断熱シートの高温断熱効果を検証するために、200、300、400、500℃のホットプレート上に断熱シートを設置して、その時の表面温度を測定した。その詳細を以下に示す (図12)。

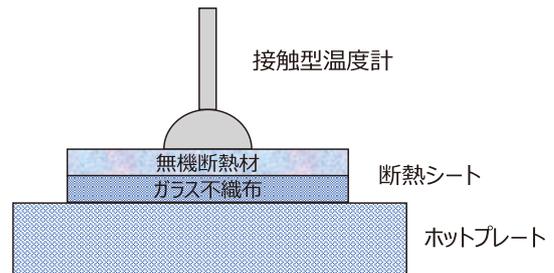


図12 断熱性試験方法 (加熱)

評価サンプルとして、ガラス不織布 (厚み0.2mm) / 断熱材 (厚み0.3mm) からなる総厚約0.5mmからなる断熱シートを準備した。

評価は25℃の環境で行った。試験用ホットプレートを準備し、それを200、300、400、500℃になるように設定した。その後、10cm角からなる断熱シートをガラス不織布の面がホットプレートに接するように設置し、各温度で5分間保持し、温度が安定化したことを確認後、断熱シートの上から表面温度を測定した。1枚の断熱シートを用いた評価のみならず、2~6枚を重ね合わせた評価も並行して実施した。

こうして実施した評価結果を以下に示す。その代表として、ホットプレートの表面温度500℃の場合、1枚の断熱シートでは395℃ (Δ105℃)、2枚では352℃ (Δ148℃)、4

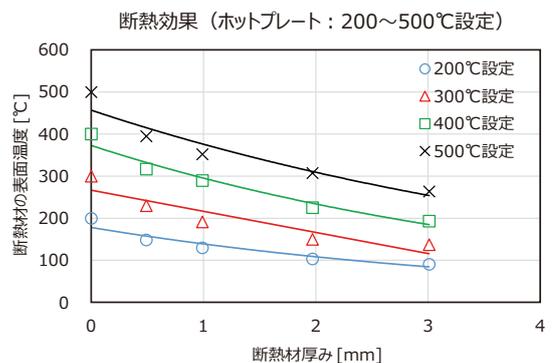


図13 断熱性評価結果 (高温加熱)

枚では307℃ (△193℃)、6枚では264℃ (△236℃) と断熱シートの積層数の増加に伴い、断熱効果も大きくなった (図13)。

### 6-3 難燃性評価

断熱シートが高温化でも安全に使用できることを確認するため、難燃性試験を実施した。その詳細を以下に示す。

評価サンプルとして、ガラス不織布 (厚み0.2mm) / 断熱材 (厚み0.2mm) からなる総厚約0.4mmからなる断熱シートを準備した。ここから、13×125×厚み0.4mmからなる短冊状に切り出した。

評価はASTM D3801 (UL94垂直燃焼試験) に準拠して行った。具体的には、短冊状に切り出した断熱シートをクランプに垂直に取り付け、その後、20mm炎による10秒間の接炎を2回行い、その燃焼挙動を観察することで判断した (図14)。

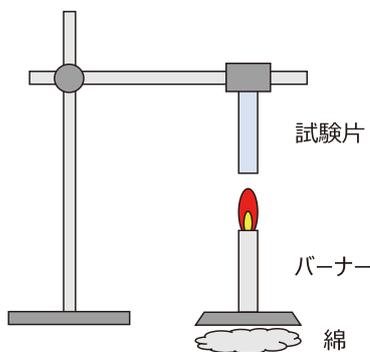


図14 難燃性評価 UL94垂直試験

断熱シートを接炎した結果、断熱材が赤色化するものの炎の発生は認められず、滴下物も発生しなかった。この結果から、断熱材はUL94垂直試験のV-0相当の難燃性を有することが確認できた。

## 7. 結 言

住友理工(株)は、高断熱性材料である「シリカエアロゲル」を高充填した水系塗料化に成功し、薄膜高断熱材を開発した。この断熱材は静止空気の熱伝導率0.024~0.026W/m・Kを上回る、0.020W/m・Kとなる特性を有し、厚み1mm以下でも高断熱性を有するものである。

近年、地球規模の気候変動対策として、住宅や建築物では、省エネ基準適合義務化や低炭素建築物推進などの施策のもと、より高いレベルの省エネ性能が求められるようになってきている。また、再生エネルギーを含めた世界規模によるエネルギー調達の変化が、エネルギー価格の高騰を推し進め、省エネ対策商材の普及の後押しとなっている。こうした高性能化の流れは、海外においても同様であり、

特に、断熱性向上を視野に入れた薄くて高機能な断熱材料の技術開発が様々な分野で進められている。

現在、高耐熱タイプを中心に、電子機器向け、とりわけヒータなどの加熱部品を用いた家電関係、リチウムイオンバッテリーの発熱対策 (難燃化による火災対策を含む) などへの適用化検討を進めている。

また、商品の適用範囲を広げるべく、これまでのポリエステル系不織布・ガラス不織布に塗布した断熱シートのみならず、以下の開発も進めている。

- ①電子機器筐体への直接塗布可能な塗料開発 (図15)
- ②繰り返し屈曲性と洗濯性に優れたテキスタイル用塗料開発
- ③金型成形可能な塗料開発



図15 断熱材の塗装品

これらの技術確立により、これまでのシート品では対応困難であった用途にも対応でき、商品の適用範囲が広がるものと考えている。

住友理工(株)としては、今後もこのシリカエアロゲルを用いた断熱材の技術開発を一層進め、市場のニーズに応えていきたいと考えている。

・ファインシュライト、Finesulight、リフレッシュイン、および、MIFは住友理工(株)の商標、または登録商標です。

## 参 考 文 献

- (1) John Tae Seokjoo, Yunsumg Lim, Mun Soo Chon, Daesik Kim, "Effect of Air – Conditionning on Driving Range of Electric Vehicle for Various Driving Modes (Fuels and Energy Sources/ Interiors, Cabins and Cockpits/Vehicles and Performance)," SAE Paper, No.2013-01-0040 (2013)
- (2) 田尻耕治、「エアロゲルの特性と応用」、表面科学、14(9)、pp.546-549 (1993)
- (3) 依田智、「中・低温領域の断熱材の概要と発泡ポリマー・シリカナノコンポジット断熱材の開発について」、ニチアス技術、1(364) (2014)
- (4) 岡崎亨、「薄型エアロゲル不織布複合断熱材の設計と特性評価手法に関する研究」、大阪大学大学院工学研究博士論文 (2017)
- (5) 矢野経済研究所、「エアロゲルの動向」(2019年4月調査) (2019)
- (6) 矢野経済研究所、「2024年度版 住宅用断熱建材の市場実態」(2023)

## 執 筆 者

金原 輝佳\* : 住友理工(株)



日比野委茂 : 住友理工(株)



三隅 史雄 : 住友理工(株) 領域長



伊東 邦夫 : 住友理工(株)



\* 主執筆者

## 【外部表彰】

愛知発明賞「薄膜高断熱材」(特許 第 6836556 号)