

自動車用遮熱フィルム (ICE・ μ) の開発

Development of Heat-Shielding Film (ICE・ μ) for Electric Automobiles

中島 彰 久* 本田 誠* 安達 仁*
Akihisa NAKAJIMA Makoto HONDA Hitoshi ADACHI

千葉 隆 人** 野島 隆彦*
Takato CHIBA Takahiko NOJIMA

要旨

近年、地球温暖化防止の一つの技術として、風力、水力、地熱、太陽光など再生可能なエネルギーにより得ることができる電力で動かせる電気自動車が注目されている。電気自動車の課題の一つとしては、満充電でも高々200kmしか走行できず、空調などの電装機器を動かすと、走行距離がさらに短くなることがある。

空調の効率を上げることを考えると、電磁波の一つである赤外線の内への出入りをコントロールする事が一つの手段である。たとえば夏期においては、如何に車外の日照エネルギーが車内に入り込まないようにするか、また冬期においては、車内の暖気を如何に車外に出さないようにするかが重要である。赤外線の出入りを考えると、窓は電磁波の一種である可視光線の透過性が必要なのでここでの出入りを抑えることは重要である。このため銀などの金属スパッタ膜による可視光線を通し、それよりも長い波長の電磁波を遮蔽する遮熱フィルムが使われてきている。

しかし、遮熱のために可視光線より長い波長の全ての電磁波を遮蔽できるフィルムを窓に貼ると、通信用電磁波さえも遮蔽してしまい通信機能の阻害となる。そこで、可視光線と通信用電磁波は透過するが、赤外線を遮蔽する遮熱フィルム（いわゆるバンドストップフィルター）が求められている。

我々は、固有技術である、水系重層塗布技術を発展させるとともに、光学設計技術、バインダー技術、ナノ粒子制御技術を駆使して、赤外線は遮蔽するが、可視光線および通信用電磁波を透過できる誘電多層膜の開発に成功し、これをウインドウフィルムに適用できた。

Abstract

One response to global warming has been the electric automobile with power provided by renewable energy sources such as wind, hydro, geothermal, and solar energy. But a drawback is its maximum range of only 200 km, even with a full charge. If an air conditioner or a heater is operated, the range is even shorter.

One way to mitigate the power drain of such electrical equipment is to increase their efficiency by controlling the penetration and escape of infrared rays into and out of the vehicle through the windshield and windows. In summer, heat-producing infrared rays must be blocked from entering the vehicle, while in winter, they must be blocked from escaping. Naturally, the transparency of the windshield and windows to visible light is essential.

Heat-shielding films consisting of a metal sputtered film have been developed; these films transmit visible light but block electromagnetic waves having longer wavelengths. However, a metal sputtered film pasted on a vehicle's windshield and windows blocks the electromagnetic waves of communication devices such as cell phones, rendering them useless. Therefore, a heat-shielding film is needed which transmits both visible light and the electromagnetic waves of communication devices, but blocks infrared light, whose wavelength is longer than that of visible light but shorter than that of communication devices. Such a film is a so-called band-stop filter.

To develop such a film, we adapted the aqueous multilayer technology that our engineers have developed for color photographic material. We also made free use of optical design, binder technology, and nano-particle control. The result is ICE・ μ , a dielectric multilayer film which can be coated on substrate with an aqueous system, and which blocks infrared rays while transmitting visible light and electromagnetic waves for communication.

* アドバンストレイヤーカンパニー アドバンスフィルム事業統括部 AF開発部

** アドバンストレイヤーカンパニー 生産技術センター

1 はじめに

近年、世界各国の国々の急速な経済発展によるエネルギー需要が拡大してきており、それに伴う化石燃料使用の増大による地球温暖化問題がクローズアップされてきている。そこで化石燃料使用の増大の流れを抑制させる様々な省エネルギー技術が注目を集めている。

自動車の分野において、一般的なガソリンエンジン車は、化石燃料であるガソリンを燃焼して動力を得るため、地球温暖化にかかわるCO₂を排出しながら走行している。しかしながら、本来ガソリンの持つエネルギーの20%程度しか利用できていないといわれている。

一方、電気自動車は、充電された電気エネルギーの80%を走行に使い、充電する電気は、太陽電池、風力などの再生可能エネルギーを利用することができるため、CO₂排出量を削減できる技術として注目を集めている。

このように地球温暖化防止の効果が高い電気自動車だが、現時点では、電気をためる電池の性能が十分でなく（エネルギー密度がガソリンよりも低い）、満充電にしても走行できるのが200km程度といわれている。加えて走行中にエアコン等を動かすと走行距離がさらに短くなり、充電ステーションが少ないことも相まって、急速に普及するまでには至っていない。

ところで自動車の窓は、外部の状況を視認するため、電磁波の一種の可視光線を通す必要があるが、夏場の熱輻射エネルギーが車内に入り込んだり、冬場の温かい車内の熱が外部へ放出されたり、様々な熱の出入りも窓を介して行われる。そこで、自動車用遮熱フィルムには高い透明性と高い遮熱性を併せ持つ事が要求されている。

この熱の出入りの最小化のために、金属箔をスパッタリングしたウインドウフィルムが普及している。ところがこのような金属スパッタ遮熱フィルムでは、可視光線さえも反射することで窓がギラつき運転しにくかったり、通信に使われる電磁波を遮ぎり、車内で携帯電話がつながりにくかったりすることが指摘されている。

そこで、熱の出入りに関連する赤外線のみを反射し、可視光域、及び通信用電磁波は、いずれも透過できるバンドストップフィルターが必要とされている。この特定の波長の電磁波を反射させるバンドストップフィルターの技術として、古くから屈折率の異なるナノ薄膜を積層した誘電体多層膜の技術が知られている。

この誘電体多層膜は、一般的にスパッタリング等のドライ製膜法で作製されるが、ドライ製膜では高真空にしたチャンバーが必要なため、製造コストが高く、大面积均一化が難しく、汎用基材であるPETを用いた場合、スパッタ膜形成時に発生する熱により基材が変形するとともに、無機材料のみからなる誘電体多層膜と基材との線膨張係数の違いからひびわれが起きるなどの問題が発生しやすい。

そこで我々は、銀塩写真材料やインクジェット受像紙の製造で培った水系重層塗布技術を発展させ、さらにナ

ノ金属酸化物微粒子、バインダー樹脂を用いて、赤外線を反射できる誘電多層膜を形成する技術検討し、ウインドウフィルムに合致した近赤外領域が反射可能な自動車用遮熱フィルム（ICE・μ）を開発するに至った。

以下Fig. 1にICE・μの太陽光の採光と反射のイメージ図を示す。まず、図右より入光する太陽光は、ガラスを通して室内に入るが、ガラスに貼り合わせたICE・μの反射層により太陽光の熱線成分である赤外線のみが反射され、可視光線が室内に入る。

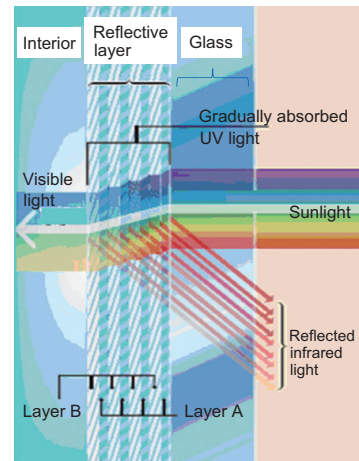


Fig. 1 Reflective performance of ICE・μ. The visible light component of sunlight enters the interior through the glass, but the infrared heat rays of the sunlight are reflected by the ICE・μ, which is pasted to the glass.

Fig. 2はICE・μの反射層の断面図である。約3μmの膜厚の中に赤外線を反射するための誘電多層膜がこの場合は約20層規則正しく積層されている。

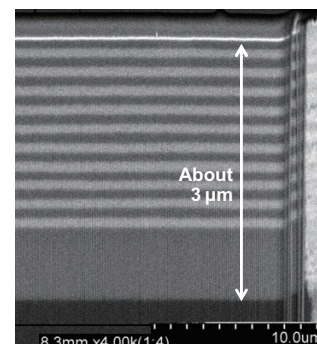


Fig. 2 Cross-section of ICE・μ. About 20 layers of dielectric, multilayer film are evenly layered to a thickness of about 3 μm. (The figure is four times enlarged in the vertical direction.)

2 ICE・μの性能

弊社のICE・μの遮熱特性について実車でのテスト結果をFig. 3に示す。写真の黄枠部分にICE・μを施工した。フロントガラスのみ半面（#1）施工し、ダッシュボード上に温度計を設置、車内の温度履歴を計測した。（2012年7月29日～8月5日）比較には、グラフ白線で当日の外

気温を載せている。グラフからわかるように、フィルム施工部の車内温度は、最大20°C低くなっていることが分かる。

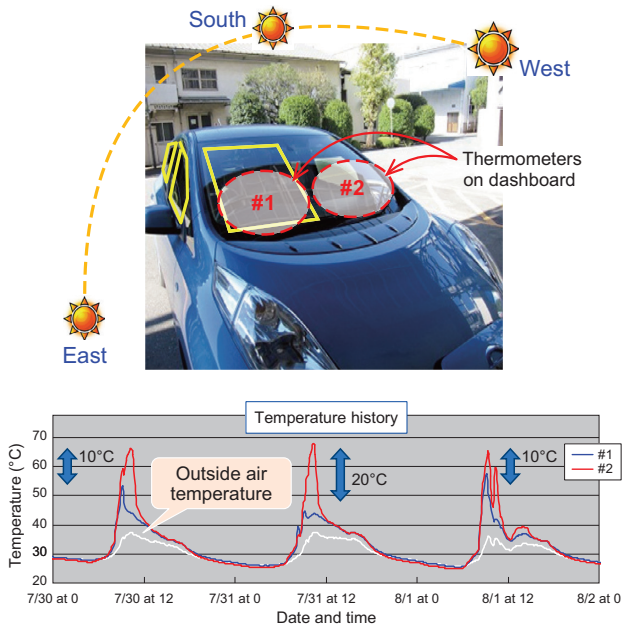


Fig. 3 Heat shielding properties of ICE・μ. ICE・μ was pasted on the portions of an automobile's windshield and windows outlined in yellow. A thermometer was positioned outside the vehicle, while two thermometers were placed on the dashboard, one behind the ICE・μ treated portion (#1) and one behind the untreated portion (#2). Temperatures were measured over several days, and the interior temperatures at #1 were found to be up to 20 °C cooler than the temperatures at #2.

さらに、弊社テストコースで電気自動車（日産自動車株式会社リーフ）を用いて、車窓にICE・μフィルムの貼合有無で走行テストを行なったところ可走行距離（電費）が3～6%向上した。

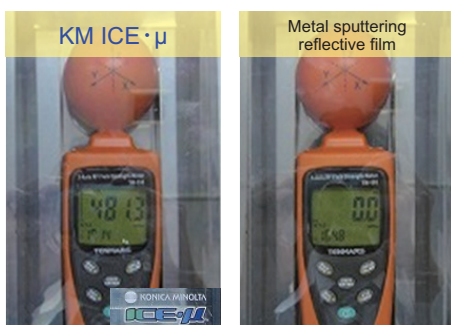


Fig. 4 Electromagnetic wave transmission of ICE・μ. Electromagnetic wave measurement apparatuses were wrapped with ICE・μ (left) and a metal sputtering film (right). The ICE・μ allows sufficient signal receiving intensity, while the metal sputtering film completely blocks the signal.

また、通信用電磁波の透過性を評価するため、Fig. 4に示すように電磁波測定機（TENMARS社製TM-195）をICE・μと他社の金属スパッタ遮熱フィルムでそれぞれを包み込み電磁波の受信強度を評価した。その結果、金属スパッタ遮熱フィルムでは受信強度がほぼ0になるのに

対しICE・μでは、通信に十分な強度が確保できる事が分かった。この様に高い遮熱性能と同時に通信用電磁波の透過性を満足するには、Fig. 5の様な近赤外領域のみを効率的に反射する反射層形成と最終的な遮熱性能を決定するハードコート及び粘着加工の技術が不可欠であった。

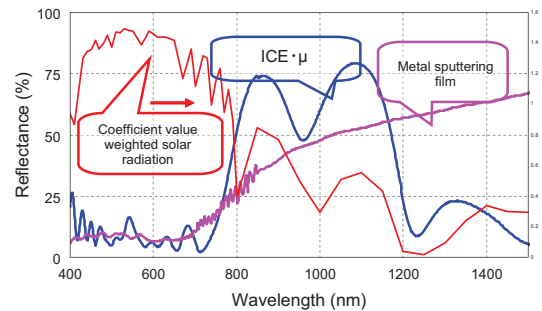


Fig. 5 The reflectance of ICE・μ and that of a metal sputtering film. Unlike the metal sputtering film, the ICE・μ reflects major portions of the near-infrared region.

以下に本性能を達成するための主要技術を説明する。

3 主要技術の説明

自動車用遮熱フィルムに要求される主要性能には以下が挙げられる。

- ① 視認性（高透明性，低ヘイズ）
- ② 遮熱性
- ③ 耐候性
- ④ 通信用電磁波透過性

これらの要求性能を満足するため、弊社固有技術である水系重層塗布の技術，ナノ粒子技術，バインダー設計技術，光学設計技術を応用，高度化する開発を進めた。

Table 1 Key technologies of ICE・μ. Those particularly pertinent to this paper are in red.

Need	Necessary technology	Konica Minolta technology applied
Visibility	a) Material design b) Homogeneous dispersion	a) Dispersion of nano-material b) Binder design
Heat shielding	a) Layer design b) Multilayer lamination c) Multilayer composition design	a) Dispersion of nano-material b) Aqueous multilayer lamination c) Optical design d) Evaluation technology
Weather resistance	a) Stress variance design b) Additive material design	a) Materials evaluation b) Film evaluation technology
Transmittance of electromagnetic wave for communication	Nano-metal oxide design	Dispersion of nano-material

本稿では、自動車用遮熱フィルムの要求特性を満足する上で特に重要であった、Table 1 に赤字で記載している技術について詳細に解説する。

3.1 光学設計技術

フィルムを介すことで遮熱するためには、そのフィルムで熱（赤外線）を①吸収する②反射する。の二つの方法がある。①の方法では、フィルムに熱が溜まり、熱が再放出される。一方、②の方法であれば、熱は熱源側に戻るため、遮熱性が優れている。この反射の原理として、金属反射や誘電多層膜反射が知られている。金属反射は、幅広い波長の電磁波を反射できるが、通信用電磁波をも反射する。一方レーザーの反射鏡などに使用されるとともに、真珠やタマムシの羽の輝きの原理としても知られている誘電多層膜反射は、特定の波長の光のみを反射できる技術である。この原理は、物体の中を光が通る際、屈折率の異なる層があるとその界面で光が反射される。光の速度は通っている屈折率に応じて変わるため、各層を光の波長付近の光学膜厚（物理膜厚×屈折率）とすると、光の波長によって反射光の位相がずれ表面で反射した光と干渉する。これを多層とすることで干渉が繰り返され、特定の波長が通過したり、反射したりできる。

本研究を始めるにあたって、さまざまな高屈折微粒子（以下H.R.P.と略す）および低屈折微粒子（以下L.R.P.と略す）を、水系塗布できるバインダーと配合し、その分光スペクトルから光学定数を算出した。こうして求めた光学定数を用いて多層膜の反射性能をマトリックス法で計算し、本技術の膜厚設計を行った。

設計にあたっては、赤外線を反射するが、可視光線は反射しない波長設計とリップルの対応を行うとともに、様々な物性のバランスを取りながら、後述する水系重層塗布しやすくなるように層を配置した。また、設計した層構成は、直交表を用いてノイズを与え、塗布変動に対しても影響が少なくなるように調整し、Fig. 5 に示すような反射波形となる層構成を設計した。

3.2 バインダー設計技術

誘電多層膜では、低屈折率層と高屈折率層のセット数と低屈折率層の屈折率(nL)と高屈折率層の屈折率(nH)の比(nH/nL)に比例して、反射率が高くなる。一般にバインダーに用いられる有機系樹脂では、高々0.1程度の屈折率差しかないため、この構成では数百層が必要となる。水系重層塗布ができるとはいえ何回も塗り重ねる必要があり、コストアップとなる。そこで、バインダーにH.R.P.とL.R.P.をそれぞれ添加し、屈折率比を上げ、少ない層数で所望の反射を得ることとした。

当初、銀塩写真材料で通常使われる水系重層塗布に適したゼラチンをバインダーとして重層塗布することを検討したが、塗布後ゼラチンがH.R.P.およびL.R.P.いずれも拡散を防止する能力が低く、塗布乾燥中にH.R.P.およびL.R.P.の層間拡散が生じ、所望の屈折率比が得られな

い問題が発生した。そこで、この層間拡散を防止するためH.R.P.とL.R.P.の層間拡散を防止する能力を持ち、相分離可能なバインダーセットを設計、低屈折率層と高屈折率層の界面混合がない誘電多層膜を形成できた (Fig. 6, Fig. 7)。

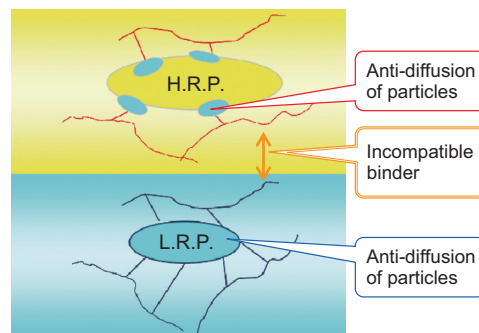


Fig. 6 Layer separation between a low refractive index layer and a high refractive index layer of a dielectric multilayer film. H.R.P.: high refractive index nano-particle. L.R.P.: low refractive index nano-particle.

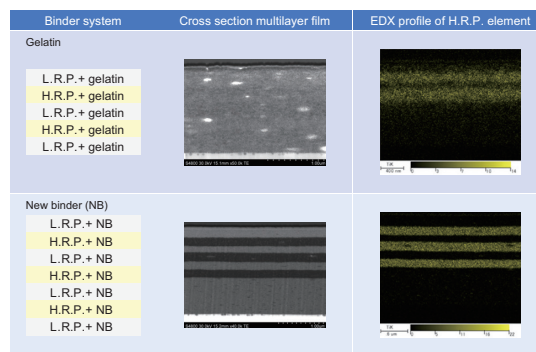


Fig. 7 Comparison of a gelatin used in photography and the newly developed binder systems for ICE・μ. The interface of the newly developed binder system is much clearer than that of the gelatin binder system.

3.3 水系重層塗布技術

コニカミノルタには、銀塩写真材料やインクジェットメディアの生産で培った、水系重層塗布の要素技術がある。

これは、Fig. 8 に示すように多層ダイスを用いて、同時に10層以上を基材に塗布、乾燥させることで、一回の塗布で多層を形成する技術である。

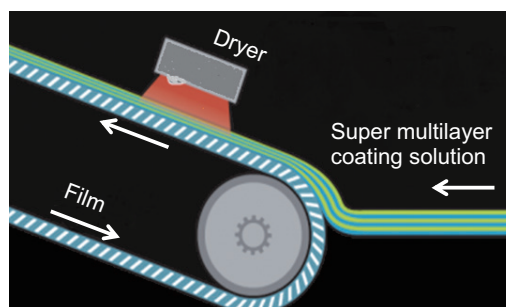


Fig. 8 The aqueous simultaneous multilayer coating technology developed for photographic materials and ink-jet media.

しかしながら、銀塩写真材料では、塗布時の各層の膜厚が $10\mu\text{m}$ 程度、インクジェット受像紙では、 $40\mu\text{m}$ 程度である。それに対し、ICE・ μ で要求される膜は、各層が $5\mu\text{m}$ 以下で、さらにより多層であることが求められる。このような塗布は、これまで未知の領域であった。そのため、流体のシミュレーションとテストプラントでの確認/検証実験を繰り返し、①塗布液の物性(粘度、表面張力) ②ダイスの形状(切り欠け、流下長さ)、③塗布条件(液流量、コーター面の角度)を最適化し、これまで不可能とされていたICE・ μ の塗布可能領域とした(Fig. 9)。

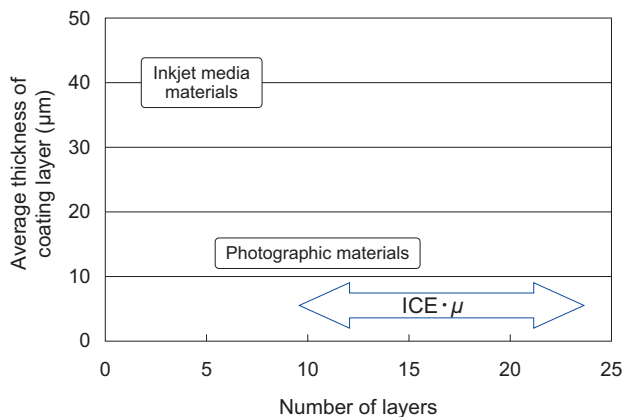


Fig. 9 ICE・ μ can be coated with a thinner coating layer and a greater number of layers than photographic materials or inkjet media.

この新たな塗布技術により、Fig. 2 で示したような誘電多層膜を水系重層塗布により形成することができた。

3.4 ハードコート技術

ICE・ μ の反射層は、微粒子を多く含む層であるため、ウインドウフィルムとして使用する際には、傷つきやすく、ハードコート層を設ける必要がある。一般的に、ハードコート層は、疎水性の樹脂からなり、反射層を構成する親水性樹脂との接着性が悪い。この様な課題を解決するためハードコート層と反射層との間に接着層を設けることとし、接着層に使用するバインダーの検討を行ない水親和性と分子量をコントロールすることにより、透明性と接着性が良好な樹脂を設計(Fig. 10) 採用した。

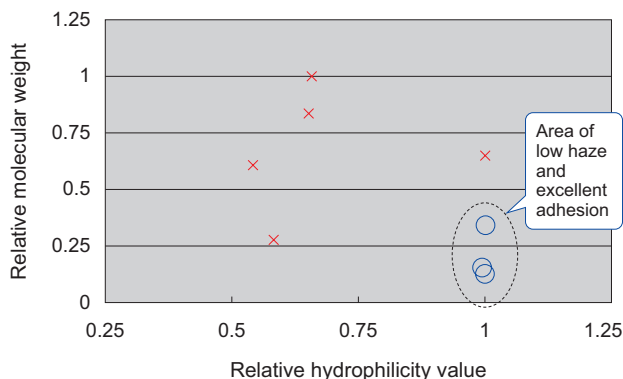


Fig. 10 Results of test samples. Circles indicate desired samples, which exhibit higher hard coat layer performance.

ウインドウフィルムは、施工後長期間使用されるため、経時で変化しないことが求められる。

ウインドウフィルムは片面をガラスに貼られ固定化されるため、経時で収縮するタイプのハードコートでは、フィルム全体に収縮する力がかかり、膜はがれを生じてしまうことがわかった。そこで鋭意検討を行い、ハードコート膜を塗設したフィルムのカールを計測し、カールがより小さくなる設計を行う事で耐候性を向上できることが判り(Fig. 11), 低収縮性のハードコート組成を採用することとした。

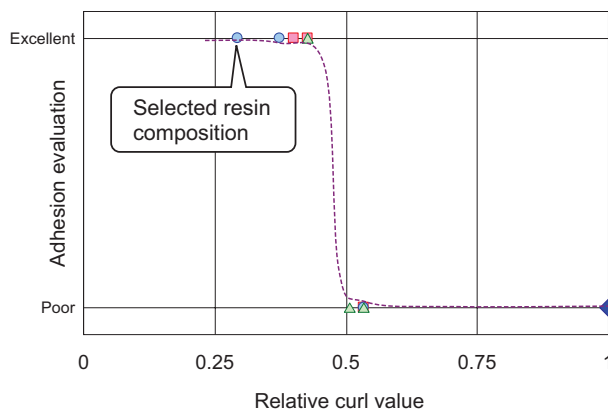


Fig. 11 Results of an accelerated weathering test. Lower curing property shows better adhesion, indicating that a hard coat composition with less curl achieved higher weather resistance. (Test condition: 200 hrs of xenon irradiation without UV cut)

4 まとめ

今回ナノ微粒子を用いた、水系重層塗布技術による誘電多層膜の形成、ハードコート技術さらには本稿では触れられなかった様々な周辺技術を開発、応用することで自動車用ウインドウフィルム(ICE・ μ)を上市することができた。

このウインドウフィルムは、従来の金属スパッタ遮熱フィルムとは異なり、近赤外線領域だけを選択的に遮蔽することができるユニークな特徴を持った、今後通信技術の発展に伴いますます必要とされる通信用電磁波が透過する遮熱フィルムである。

今後、遮熱性能を高めるために、さらなる反射が向上する材料開発を押し進めるとともに、建築用窓ガラスフィルムを含めた様々な用途に、この技術を応用した製品を開発し、上市を進めていく予定である。