

NSジンコート®カラーの開発

Development of ZINKOTE™ COLOR

山岡 育郎*
Ikuro YAMAOKA森下 敦司
Atsushi MORISHITA布田 雅裕
Masahiro FUDA林 公隆
Kimitaka HAYASHI東新 邦彦
Kunihiko TOSHIN柴尾 史生
Fumio SHIBAO

抄 録

家電・OA機器、電子機器等の筐体材料として、環境に優しく、かつ省エネルギー塗装ができる水系塗料の活用、新しい水系樹脂の開発、黒色顔料処方の改良等により、安価で優れた表面特性を持つグリーンプロダクツである黒色薄膜被覆鋼板“スタンダードブラック”を開発した。また、この鋼板の塗膜に新規導電粒子を適用して“導電吸熱ブラック”を開発した。更に、塗膜に十分な耐加工疵付き性を与えた“耐疵付き性向上ブラック”、“耐疵付き性向上シルバー”、十分な白さ、隠蔽性を発現する“スタンダードホワイト”を開発した。これらはいずれも家電・OA機器筐体を始めとする広範な用途に活用できる。

Abstract

As the housing material of home appliances, and OA and electronic equipments, the black thin-film coating steel plate “Standard black”, which is a green product produced in a cost-effective manner to obtain excellent surface properties, was developed. It was accomplished with the waterborne paint which is environment-friendly and able to carry out energy-saving coating, and with development of noble waterborne resin as the paint component and improvement of black pigment processing. Furthermore, new conductive particles was investigated and applied to the coating of “Standard black”, and “Conductive heat-absorbing black” was developed. On the other hand, “Improved scratch-resistant black” and “Improved scratch-resistant silver” with superior scratch resistance to “Standard black”, and then “Standard white” with whole opaque white color and excellent covering ability over undersurface, were developed. These new products can be used as the home appliances, OA, electronic equipments, and so on.

1. 緒 言

薄型TVやDVD等のAV家電、OA機器、エアコンディショナーや洗濯機等の白物家電、自動車搭載機器、照明器具等の筐体には、筐体材に加工後の塗装が不要な塗装鋼板(新日鉄住金(株)製品はビューコート®)が多用されている。これらの塗装鋼板では、溶剤系塗料を化成処理鋼板に塗装し、一般的に10 μ m厚以上の樹脂系2層塗膜(下塗り塗膜+意匠性塗膜)を被覆し、多様で美しい外観、高い加工性、優れた表面性能を実現している。

ところが、近年、家電やOA機器等の価格下落に伴うコストダウンニーズや、省エネルギーと環境に配慮した、所謂“グリーンプロダクツ”へのニーズが高まり、従来の塗装鋼板に匹敵する外観、加工性、表面性能を有し、塗装鋼板に比べ安価で、かつ、製造時のVOC(揮発性有機化合

物)やCO₂の排出量を大幅に削減した新たな意匠性鋼板が求められるようになってきた。このようなニーズに応えるため、新日鉄住金では、溶剤系より環境に優しい水系塗料をベースに、新しい薄膜被覆鋼板の開発に着手した。最初に、黒色品種のラインアップを狙い、水系の塗膜バインダー樹脂の構造設計と、バインダー樹脂への黒色顔料の分散技術の改良等の工夫を行った。開発した塗料を化成処理鋼板にインライン塗装して数 μ m厚の黒色樹脂系単層薄膜を被覆し、安価で優れたコストパフォーマンスを持つグリーンプロダクツである“スタンダードブラック”と“導電吸熱ブラック”を開発した。

更に、化成処理鋼板上の樹脂系単層膜厚を10 μ m程度に厚くすることで、優れた耐疵付き性を持つ品種や、白色塗膜でも下地鋼板の色を十分に隠蔽できる品種を開発した。溶剤系塗料をベースに、新しい塗膜バインダー樹脂の設計

* 鉄鋼研究所 表面処理研究部 主幹研究員 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

に加え、耐疵付き性の硬質樹脂ビーズの添加処方や、白色隠蔽性を高める顔料処方の検討を行い、高機能上位品種である“耐疵付き性向上ブラック”、“耐疵付き性向上シルバー”、“スタンダードホワイト”を開発した。

本稿では、主としてスタンダードブラックと導電吸熱ブラックの塗膜技術や工夫点について紹介し、高機能上位品種の技術にも触れる。

2. スタンダードブラックの開発

2.1 水系塗料の問題点克服と塗膜開発

鋼板の塗装に用いられる溶剤系塗料と従来の水系塗料の特徴を表1に比較した。

低剪断速度下または静止状態での水系塗料の粘度は、溶剤系塗料粘度の1/20～1/5程度と低く、常温で、醤油やオレンジ果汁程度、上限でもオリーブオイル程度の低粘度である。そのため、塗装鋼板の溶剤系塗膜のように厚膜塗装ができず、着色顔料を添加しても、下地鋼板の色を隠蔽しにくい。また、低粘度の塗料中では、顔料の沈降が速く、分散性が良くない。

表1 鋼板向け溶剤系塗料と水系塗料の特徴比較
Characteristics comparison between solvent-processed and waterborne paint

	Solvent-processed paint	Waterborne paint
Paint viscosity at low shear rate	High	Low
Thick film forming, covering over undersurface	Better	Worse
Pigment dispersibility	Better	Worse
Water resistance	Superior	Inferior
Corrosion resistance	Better	Worse
Drying temperature	High	Low
Production efficiency	Low	High
CO ₂ discharge limitation	Inferior	Superior
Environmental burden	Large	Small
VOC discharge limitation	Inferior	Superior

更に、従来の水系塗料から得られる塗膜は、溶剤系塗料から得られる塗膜に比べ、バインダー樹脂の架橋度が低く耐水性に劣り、腐食性イオンの侵入や塗膜剥れが生じやすく、耐食性が不十分な場合が多い。また、架橋度が低いため塗膜凝集力が不足し、加工時の塗膜密着性が不十分な場合が多い。そのため、従来の水系塗料から得られる塗膜では、美しい外観や、耐食性を始めとする優れた表面性能の確保が難しい。

一方、水系塗料の塗装工程では、溶剤系塗料を用いた場合より低温、短時間での乾燥、製膜が可能のため、エネルギー消費が少なく、CO₂の排出が少ない。また、水系のためVOCの排出が僅少で、溶剤系塗料に比べ環境に与える負荷が少ない。

このような水系塗料の特性に鑑み、従来の水系塗料の塗膜バインダー樹脂種の再検討、樹脂の主鎖構造の見直し、樹脂鎖に導入する極性官能基の種類と数の再設計、新規硬化剤の導入等で、低温、短時間の乾燥、製膜でも樹脂架橋度（塗膜の緻密性）が高くなり、かつ、両立が難しい耐食性、耐薬品性と加工密着性との良好なバランスが取れるよう工夫した。その結果、樹脂系塗膜の層数と膜厚を従来の塗装鋼板より少なくしても、必要な表面性能を確保することができた。また、安価で隠蔽性に優れた炭素系黒色顔料の中で、上記バインダー樹脂を含む水系塗料中で安定に存在する品種を選択し、塗膜中で50～500nm程度の大きさで均一に分散するよう工夫した。その結果、図1に模式的に示すように、10μm厚前後の2層塗膜からなる従来の塗装鋼板に比べ、3～4μm厚程度の単層薄膜で、十分な隠蔽性と優れた表面性能を持つ新しい黒色薄膜被覆鋼板、スタンダードブラックを開発することができた。

2.2 スタンダードブラック塗膜の可視光吸収機構

スタンダードブラックの樹脂系塗膜に分散する黒色顔料の存在状態を図2に模式的に示す。10～100nm程度の大きさの黒色顔料の一次粒子が多数凝集し、50～500nm程度の大きさの、ミクロな凹凸構造を持つ凝集体を形成し、この凝集体が塗膜に均一分散している。塗膜に入射する可

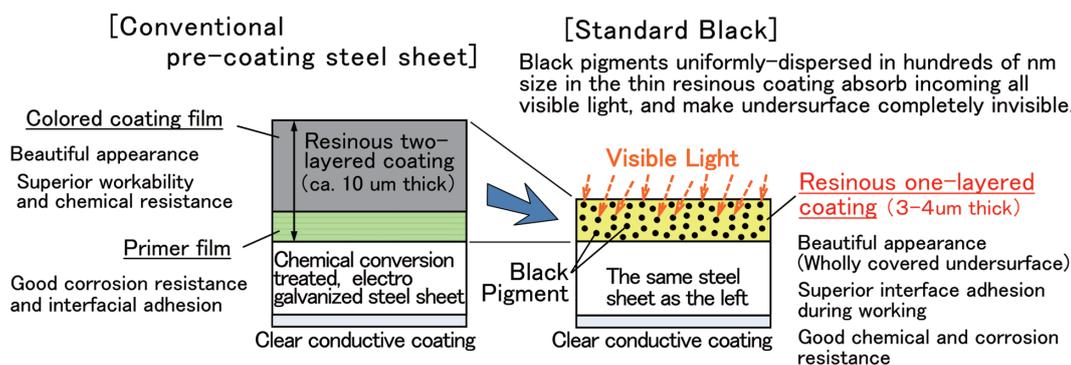


図1 従来の塗装鋼板とスタンダードブラックの塗膜構造
Cross-section structure of conventional pre-coating steel sheet and Standard black

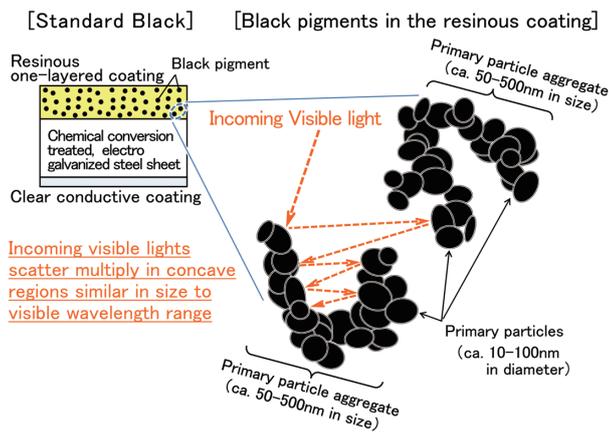


図2 多重散乱による可視光の吸収

Visible light absorption into black pigment in the course of its multiple scattering process

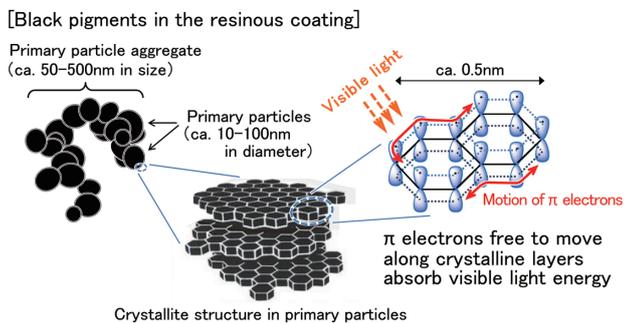


図3 黒色顔料中のπ電子による可視光の吸収

Visible light absorption by π electrons in black pigment

可視光の波長（概ね 380～780nm）がマイクロ凹凸構造の凹部のサイズに近いため、可視光は凹部に進入し、内部で多重散乱し、塗膜外に出るチャンスを得る前に、殆どが次に述べる可視光吸収機構で吸収される。また、このような凝集体が塗膜中に多数存在し、個々の凝集体が複雑な凹凸構造を持つため、顔料微粒子の総表面積が大きく、光の散乱・吸収効率が高くなる^{2,3)}。

塗膜中の黒色顔料の可視光吸収機構を図3に示す。一次粒子を構成する結晶子上には、結晶層に沿って自由に動くπ電子が存在する。このπ電子は容易に可視光のエネルギーを吸収し、高いエネルギー状態になる(π-π*遷移)。吸収エネルギーは熱として塗膜内に放散され、π電子はもとのエネルギー状態に戻る。

3. 導電吸熱ブラックの開発

3.1 導電吸熱鋼板のニーズ

家電、OA 機器、自動車搭載用の電子機器等では、万一の異常大電流から機器取扱者や内部電子部品を守るため、筐体にアース性が必要である。また、外部電磁波の筐体内への侵入による電子部品の誤動作を防いだり、外部への電磁波漏洩による周辺機器への悪影響を避けるため、筐体には電磁波シールド性(EMC:電磁環境両立性)が求められる。筐体に用いる鋼板には導電性があり、アース性や EMC 性

を有しているが、絶縁性の塗膜を持つ鋼板で筐体を組み立てると、部材の継ぎ目が塗膜どうしの合わせ部になり、シールドの隙間となる。

家電、OA 機器や電子機器、携帯電話等から発生する低出力の高周波電磁波（周波数 10MHz～数 GHz）を効果的にシールドするには、絶縁性の細長い継ぎ目の長さを対象電磁波の波長の 1/10 以下（概ね数 mm 以下）に抑える必要がある。継ぎ目を導電性にするため、図4に示すような導電性パッキン(EMC 対策用ガスケット、シールドライン)⁴⁾ や EMC 対策用導電テープを適用する機会が多いが、コストアップに繋がるため、塗膜どうしの合わせ部でも導通する表面処理鋼板が求められている。

また、このような機器では電子部品（基板類、TV の場合は発光パネルやバックライトも含む）の動作熱で筐体内部の温度が上昇しやすい。過度な温度上昇は電子部品の誤動作に繋がるため、アルミニウムや銅等の高熱伝導性金属からなる放熱板や、放熱シート、放熱ファン等の放熱部品が組み込まれている。薄型液晶 TV に組み込まれた放熱部品の例を図5に示す。

近年では、機器の薄型化、小型化が進み、筐体内部の発熱が大きく、多くの放熱部品が必要で、高コスト化に繋がっている。また、薄く小さな筐体内で、放熱部品の設置場所の確保が困難になってきている。そのため、機器メーカーにとって放熱部品の削減は重要な課題で、内部熱を外部に放散しやすい筐体材料が強く求められている。

3.2 スタンダードブラック塗膜の活用

前項で述べたニーズに応える鋼板の開発に際し、開発期間を短縮するため、安価で性能バランスの取れたスタン

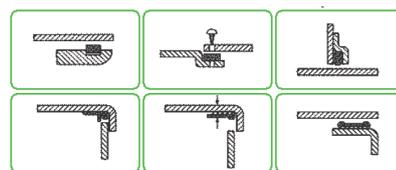


図4 EMC 対策用ガスケットの使用例⁴⁾

Example schemes of use of electromagnetic shielding gaskets to equip seams with electromagnetic compatibility

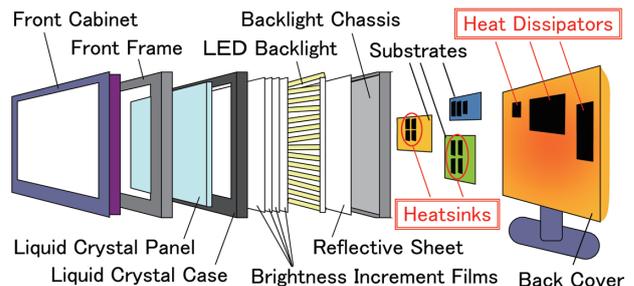


図5 薄型液晶 TV の構造と放熱部品類

Scheme of flat-screen liquid crystal display TV and heat dissipators

ダークブラックの塗膜の活用を考えた。

吸熱性に優れた機器筐体が、筐体内部で発生する熱を外部に放散する機構を図6に示す。熱源となる基板から発生した熱を筐体の裏面で吸熱し、おもて面で外部に放熱する。放射温度計等で測定できる放射率が吸・放熱性の指標となり、放射率が高いほど放熱効率がよく、筐体内部温度の低減効果が高まる。

家電、OA 機器や電子機器等の主な放熱手段である放熱板、冷却ファンと、スタンダードブラックについて、熱特性と製造性を表2に比較した。スタンダードブラックの放射率は高く、また、放熱板や冷却ファンに比べ、筐体の薄型化、量産性、製造コストで優位にある。そこで、導電吸熱銅板の開発では、スタンダードブラックの高い放射率を保ったまま、塗膜に導電顔料を導入する検討を行うこととした。

3.3 スタンダードブラック塗膜の赤外線吸収機構

スタンダードブラック塗膜中の黒色顔料凝集体の広域分散状態を図7に模式的に示す。ある温度の物体が発する遠

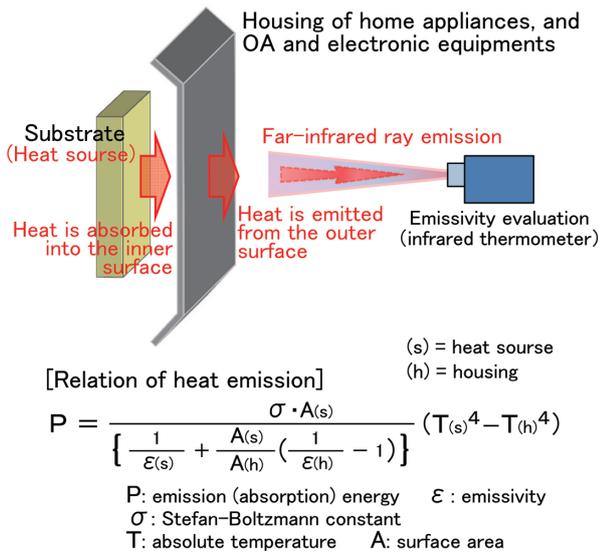


図6 吸熱性の筐体の放熱機構
Heat emission by well heat-absorbable housing

赤外線（熱線）の波長は幅広いが、30～100℃程度の物体から発生する赤外線のピーク波長は、ウィーン（Wien）の式を用いて計算すれば、概ね7～10μmである。ピーク波長の0.5～3倍程度の波長の遠赤外線⁵⁾が、塗膜中に散在する黒色顔料凝集体の間に進入して多重散乱し、塗膜外に出るチャンスを得る前に、殆どが吸収される。凝集体は複雑な凹凸構造を持ち総表面積が大きいので、光の散乱・吸収効率が高い⁶⁻⁸⁾。

また、水系の塗膜バインダー樹脂には多数の赤外活性な極性官能基が含まれていて、遠赤外線がバインダー樹脂中を通過すると、その中の特定周波数の赤外線が、官能基の構成原子の結合角を周期的に広げたり狭めたりする変角振動や、異種原子間の距離が非対称に変化する非対象伸縮振動を誘起する⁹⁾。

多重散乱や分子振動を引き起こして吸収された赤外線のエネルギーは、内部熱に変わり、塗膜内に放散される。図6のような機器筐体では、裏面塗膜の内部熱が熱伝導によりおもて面塗膜に達し、塗膜の温度に応じた波長の遠赤外線に変わり、外部に放射される。

3.4 塗膜の導電化検討

樹脂系塗膜に導電性を付与するために一般的に用いられている技術を、図8に模式的に示す。(a)は、NiやZn、Al

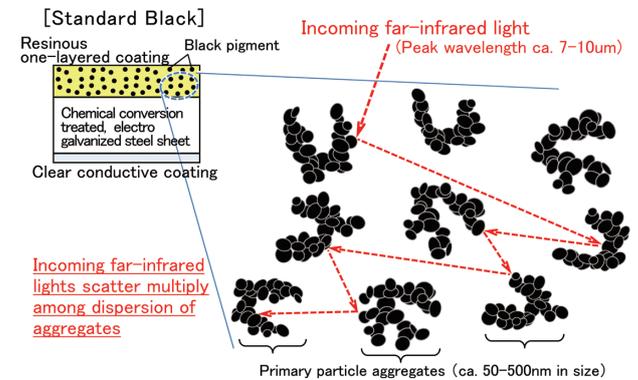


図7 多重散乱による遠赤外光の吸収
Far-infrared absorption into black pigment in the course of its multiple scattering process

表2 熱伝導、対流、放射による各放熱手段の熱特性、製造性の比較

Comparison of thermal property and productivity among heat dissipators by heat conduction, convection and emission

		Heat conduction		Convention	Emission	
		Aluminum (heatsink)	Copper (heatsink)	Cooling fan	Standard black	
Thermal property	Emissivity (= absorptivity) (%)	Surface	3-5	3-4	—	70-75
		Rear surface	3-5	3-4	—	15
	Heat conductivity (100°C, W/m·K)	240	395	—	54-62 (Mild steel)	
Productivity	Response to compactification	Difficult	Difficult	Difficult	Easy	
	Mass productivity	Inefficient	Inefficient	Inefficient	Efficient	
	Production cost	Expensive	Expensive	Reasonable	Inexpensive	

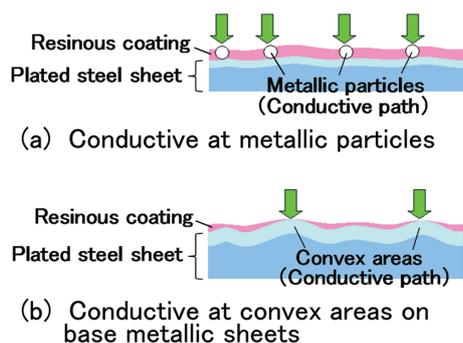


図8 塗膜への導電性付与技術

(a) 金属系粒子で導電 (b) 原板の凸部で導電

Conventional methods to equip coating with conductive property

等の金属系粒子を塗膜に導入して通電点とする方法であるが、水系塗料中では、これらの粒子が容易に腐食するため使用できない。また、(b)は、化成処理鋼板等の金属原板にマイクロな凹凸を付け、樹脂系塗膜が薄くなる凸部を通電点とする方法であるが、凸部の塗膜が非常に薄くなるため、高い放射率や耐食性を確保できない。そこで、100種以上の有機系、無機系の導電性物質微粒子を試し、水系塗料中での長期耐水性、分散・保持性が良好で、かつ、図8(a)で用いられるような金属系粒子程度の低コストの導電性物質粒子を見出した。

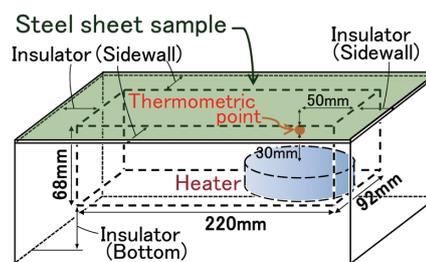
この粒子をスタンダードブラック塗膜に導入するため、塗料組成、塗膜仕様を最適化し、高い放射率と導電性を両立する導電吸熱ブラックを開発することができた。

3.5 導電吸熱ブラックの導電性、吸・放熱効果

導電吸熱ブラックの導電性は実用レベルであり、多くの家電、OA機器メーカーが導電性の判断指標としている4端子4探針法による塗膜表面の接触抵抗が、良好なアース性、EMC性が発現するとされる1mΩ未満となった。

吸・放熱効果については、図9に示すような家電筐体を模擬した熱箱¹⁰⁾を用いて評価した。4種類の表面処理鋼板、①溶剤系吸熱鋼板(おもて面、裏面の樹脂系黒色塗膜厚はそれぞれ約20μm、約3μm)、②導電吸熱ブラック(おもて面、裏面の樹脂系黒色塗膜厚はいずれも約3μm)、③スタンダードブラック(おもて面の樹脂系黒色塗膜厚は約3μm、裏面はクリア導電塗膜)、④クリア導電塗膜被覆鋼板(おもて面、裏面ともクリア導電塗膜)をサンプルとし、熱箱の上面にそれぞれ載せ、ヒーターで熱箱内を100分間加熱し、熱的平衡にはほぼ達するまでの内部温度変化を比較した。結果を図10に示す。導電吸熱ブラックを適用した場合、熱的平衡にはほぼ達した後の筐体内部温度は、スタンダードブラックやクリア導電塗膜被覆鋼板を適用した場合より大幅に低減し、塗膜が厚い溶剤系吸熱鋼板の場合とほぼ同等だった。

スタンダードブラックより導電吸熱ブラックの方が優れ

図9 家電筐体を模擬した熱箱¹⁰⁾

Model to simulate warming inside home appliance housing

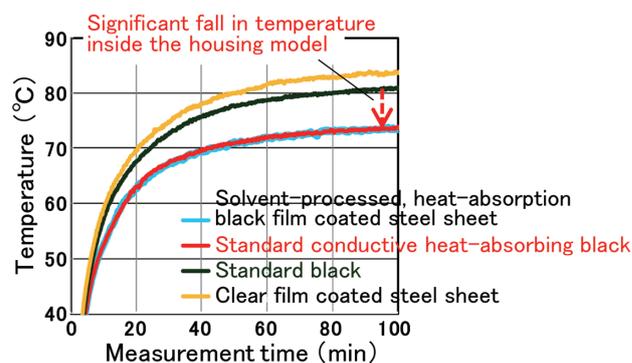


図10 筐体内部温度低減効果

Temperature changes inside the simulated housing model of home appliance over heating time

た内部温度低減効果を示す理由は、熱箱内のヒーターから受熱する裏面塗膜の吸熱能の違いによる。導電吸熱ブラック裏面の黒色塗膜は、スタンダードブラック裏面のクリア導電塗膜より放射率が高い。キルヒホッフ(Kirchhoff)の法則から、熱的平衡状態では放射率=吸収率となるため、導電吸熱ブラック裏面の方が吸熱能が高い。放射率が高い塗膜の方が吸熱能に優れることは、熱放射の関係式からも明らかである。即ち、図6に示した式にて、筐体の放射率 $\epsilon(h)$ が黒体の放射率に近い(1に近い)ほど右辺の分母が小さくなり、吸収エネルギーPが高くなる。

4. 高機能上位品種の開発

NSジンコート®カラーの品種一覧を表3に示す。スタンダードブラックにおいて、水系塗料から得られる数μm厚の樹脂系薄膜では塗膜の耐疵付き性が不足する場合があるため、“耐疵付き性向上ブラック”も開発した。スタンダードブラックの技術を継承しつつ、溶剤系塗料をベースに塗膜バインダー樹脂の耐疵付き性を高めるとともに、スタンダードブラックより厚膜の設計とし、かつ、バインダー樹脂よりも硬質な樹脂ビーズを配合することで、優れた耐疵付き性を達成した。硬質の樹脂ビーズにより、金型等の金属接触時の接触面積を減らし、疵を付きにくくしている。

同様に、シルバー色についても開発を成功させており、溶剤系塗料をベースに、塗膜バインダー樹脂の改良、硬質樹脂ビーズの配合、塗膜の厚膜設計により、“耐疵付き性向上シルバー”を開発した。なお、シルバー色顔料の隠蔽

表3 NS ジンコート® カラーの品種一覧
Lineup of several types of ZINKOTE™ COLOR

Color	Type	
	Thin film type (waterborne)	More functional (solvent-processed)
Black	Standard black	Improved scratch-resistant black
	Standard conductive heat-absorbing black	—
Silver	Standard silver	Improved scratch-resistant silver
White	—	Standard white

性が高いことを利用し、水系塗料をベースに、シルバー色薄膜からなる“スタンダードシルバー”も開発している。

ホワイト色も需要が高いが、ブラック色、シルバー色の場合と異なり、水系塗料から得られるホワイト薄膜では隠蔽性が乏しく、色調に課題があった。そのため、溶剤系塗料をベースに厚膜の設計を行い、かつ、隠蔽性を高める白色顔料処方への検討を行った。その結果、実用レベルの白さを確保した“スタンダードホワイト”を開発することができた。

高機能上位品種の開発により、NS ジンコート® カラーの適用範囲をますます広げつつ、更に新たな品種の開発も画策しており、ユーザーの快適性、使いやすさを高めるための機能を追求している。

5. 結 言

家電、OA 機器、自動車搭載用の電子機器等の筐体材料として、低環境負荷性の水系塗料の活用、バインダー樹脂や黒色顔料処方の検討等により、安価で優れた表面特性を持つ黒色のグリーンプロダクツである“スタンダードブラック”を開発した。更に、スタンダードブラック塗膜への新規導電性物質粒子の適用により“導電吸熱ブラック”を開

発した。一方で、疵が付きにくい上位品種である“耐疵付き性向上ブラック”、“耐疵付き性向上シルバー”を開発した。また、十分な白さ・隠蔽性を発現する“スタンダードホワイト”を開発した。

これらはいずれも優れたコストパフォーマンスを持つため、家電・OA 機器筐体を始めとする広範な用途への活用が期待される。

参考文献

- 1) 例えば、パナソニック株式会社：panasonic.net/sustainability/jp/eco/gp_gf/
京セラ株式会社の取組み：www.kyocera.co.jp/ecology/eco/products/index.html
- 2) 広江克彦：EMAN の物理学. 黒体放射：homepage2.nifty.com/eman/statistic/blackbody.html
- 3) 佐藤勝昭：物性なんでも Q&A. 赤外光物性. #282：www.tuat.ac.jp/~katsuaki/nandemoQ&APart1.html
- 4) 宮崎誠一：宮崎技術研究所技術講座. 実用ノイズ対策技術 12. ケースとケース内配線：www.miyazaki-gijutsu.com/series2/noise012.html
- 5) 有限会社フィンテック：光加熱の物理：www.fintech.co.jp/sah/kobe-miti-frame.htm
- 6) 木村光照, 保原優智：平成 20 年電気学会全国大会論文集. 2008, p. 206
- 7) 松浦執：熱とエネルギー入門. 第 2 講 熱, 4. 熱の移動：topimaps.u-gakugei.ac.jp/phys/matsuura/lecture/heat/contents/basic/index.asp
- 8) 有限会社フィンテック：物理定数, 公式, 各種データ：www.fintech.co.jp/sah/etc-data-frame.htm
- 9) 前園利樹, 斎藤正次：Furukawa-Sky Review. 5, 7 (2009)
- 10) 植田浩平, 金井洋, 高橋武寛, 井上郁也：表面技術協会講演大会講演要旨集. 108, 2003, p. 219



山岡育郎 Ikuro YAMAOKA
鉄鋼研究所 表面処理研究部 主幹研究員
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



森下敦司 Atsushi MORISHITA
技術開発企画部 研究推進室 主幹



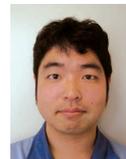
布田雅裕 Masahiro FUDA
君津技術研究部 主幹研究員



林 公隆 Kimitaka HAYASHI
広畑技術研究部 主幹研究員 工博



東新邦彦 Kunihiko TOSHIN
鉄鋼研究所 表面処理研究部 主任研究員



柴尾史生 Fumio SHIBAO
君津技術研究部 主任研究員