

技術解説

# くらしを快適にする鋼板(家電・OA分野)

## Steel Sheet for the Better Human Life (Application for Electrical Appliances, OA Equipment)

久保 祐 治\*  
Yuji KUBO

半谷 公 司  
Koji HANYA

児玉 真 二  
Shinji KODAMA

### 1. はじめに

私たちのくらしは、高機能化された最先端の家電・OA製品により、年々快適になってきている。図1に主要耐久消費財の100世帯あたりの保有数量の推移を示すが、1950年代に三種の神器と呼ばれて登場した冷蔵庫、洗濯機、白黒テレビは、1970年代にはほぼ全世帯に行きわたるようになり、1970年代以降には3Cと呼ばれたクーラー(エアコン)、カラーテレビの普及も進み、現在では1世帯あたり2台以上の保有数量になっている。1990年代後半からの10年でパーソナルコンピュータが普及し、2000年代に入り、デジタル家電化が進み、DVDプレーヤーや液晶やプラズマ等の薄型テレビなどが急激に保有数量を伸ばしており、これらの製品により私たちの生活様式は大きく変化してきた。

これらの家電製品の分野では外装、シャシー、パネル、モーター部品等に鋼材が多く使用されている。例えば、家電のリサイクル実績(2009)から得られる各家電の材料構成によるとリサイクルが開始された当初に比べて減少したとはいえ、鋼の重量比は、薄型テレビ47%、冷蔵庫56%、洗濯機53%、ルームエアコン32%と依然高い比率を占めている<sup>2)</sup>。鉄は、豊富で安価な材料であることに加え、その強度、加工性から家電製品に採用されてきたが、1970年代以降、寿命延長のための耐食性向上や外観の改善を目的

として表面処理鋼板の使用が増えてきている。表面処理鋼板とは、鋼板に耐食性を付与するためにめっきや化成処理あるいは塗装をしている鋼板のことをいう。屋内で使用される家電製品では、一般的にはめっき付着量20g/m<sup>2</sup>の電気亜鉛めっき鋼板が使用されている。これは一般環境において亜鉛が鉄よりも腐食しやすい特長(犠牲防食性)を利用して、鉄が錆びることを抑制することを目的としたものである。

図2に過去30年の国内での表面処理鋼板の生産量の推移を示す<sup>3)</sup>。表面処理鋼板の技術の進歩と活発な経済活動に伴い、1980年代にその生産量は著しく増大した。1991年をピークにバブル崩壊後に低下は見られたもののほぼ安定に推移後、2000年代に入り回復が見られ、リーマンショック前の2007年には約1800万t/年に至っている。この生産量は、普通鋼冷間圧延材の生産量の約20%に相当し、また表面処理鋼板の用途別受注量でみた場合、家電・OA分野は自動車、建材に続き約14%程度(2007)となっている<sup>3)</sup>。

新日本製鐵グループでは、私たちのくらしを快適にする家電・OA製品を直接的あるいは間接的に支える材料を提供すべく様々なニーズに対する技術開発に取り組んできた。モーター用の無方向性電磁鋼板の低鉄損化による省エネルギーへの貢献、高耐食性、高意匠性を有するステンレス鋼の開発などもそれらの例と言えよう。家電用表面処理鋼板においても過去30年に多くの技術開発がなされてきたが、ニーズが多種多様である家電分野では、耐食性に加

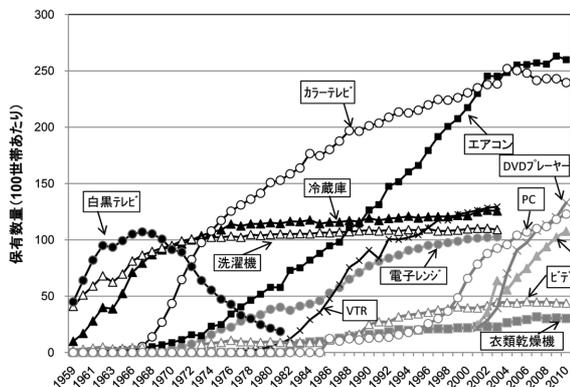


図1 主要耐久消費財の保有数量推移

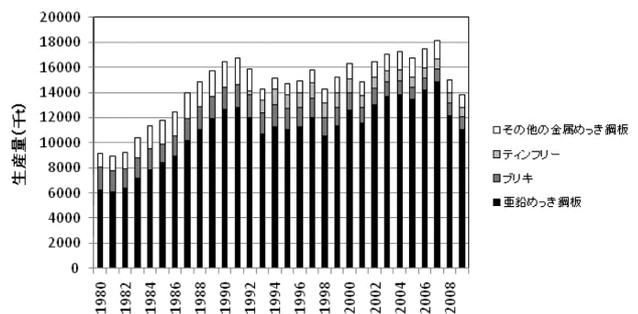


図2 表面処理鋼板の生産量推移

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

え、加工性や意匠性が重視されることから、めっき鋼板に施される後処理技術の開発が主としてその進展に貢献してきた。特に1980年代前半に開発された耐指紋性、耐食性、外観品位性を付与することを目的に化成処理(クロメート処理)上にシリカ含有有機皮膜を形成した有機複合鋼板の開発がその契機となった。

本論文では、後処理技術を中心に①ユーザー工程の効率化に向けた商品開発、②環境対応商品開発、③新しい機能を付与する商品開発という視点に基づいた事例紹介と最近の取り組みについて言及したい。

## 2. 家電・OA分野における新日本製鐵の取り組み

### 2.1 ユーザー工程の効率化に向けた商品開発

1980年代後半から1990年代前半に取り組んできたのが、家電メーカーの工程を効率化して低コスト化さらには作業環境改善につなげる商品の開発である。潤滑性をもつ有機皮膜を被覆することにより、プレス加工時の潤滑油の使用省略さらには脱脂工程の省略を可能とする潤滑鋼板や需要家の塗装工程の省略を可能とするプレコート鋼板(塗装鋼板)の開発はその代表例である。

#### 2.1.1 潤滑鋼板による脱脂工程省略

家電分野で利用される亜鉛めっき鋼板は、多くの場合、プレス成形による加工を必要とする。そこで、鋼板と金型との摩擦を低減し成形不良や金型損傷を防ぐために、潤滑性のよいプレス油を塗布して成形され、その後脱脂されるのが一般的である。潤滑鋼板は、化成処理の上に潤滑剤(ワックス)を含有する自己潤滑機能を有する有機系皮膜を形成することにより、プレス油を使用しないで連続加工を可能とするために開発された鋼板である。この潤滑鋼板の適用は、家電メーカーでの塗油・脱脂工程を不要にし、油フューム等の作業環境の改善とオゾン層破壊物質として1996年から使用が禁止された特定フロンやトリクロロエタン等を用いる脱脂工程の省略による環境負荷低減の実現に寄与した。潤滑鋼板の模式図を図3に示す。めっき鋼板を下地とし、その上層の化成処理の上に、潤滑剤とシリカを分散させた有機皮膜層を被覆した構造である<sup>4)</sup>。

独自に樹脂設計し、金型と潤滑皮膜との界面摩擦力の低減の目的に添加されている潤滑剤の種類、添加量、粒径、分布を緻密に制御して作りこむことにより、金型とポンチの間を鋼板をスムーズに滑らせ、強い力が加わっても割れ

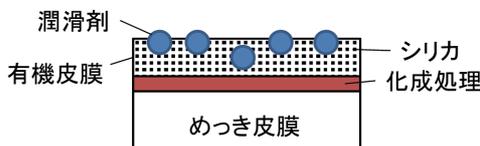


図3 潤滑鋼板の皮膜構成イメージ

ずに複雑な形状まで成形できる<sup>5)</sup>。通常のプレス潤滑油を塗布して得られる鋼板の潤滑性は、一般的に動摩擦係数で0.10~0.15、高潤滑剤を使用された場合で0.06程度であるのに対し、開発した潤滑鋼板では無塗油で0.06の動摩擦係数を得ている。潤滑鋼板は、求められる性能に応じて機能をつくり分けており、溶接性や導電性を優先する薄膜型(1 $\mu$ m)と深絞り性、耐食性を重視する厚膜型(3 $\mu$ m)がある<sup>6)</sup>。

例えば、石油ファンヒーターのカートリッジタンクでは、皮膜自体が耐食性に優れた“塗装”の役割を果たすためプレス加工がしやすいだけでなく、加工後の塗装を省略しても耐食性が確保できるという効果がある。ベース樹脂の選定には抗張力と伸びの関係からウレタン系を採用し、潤滑剤はポリエチレン系が主流である。連続成形における温度上昇でも高い弾性率を保持させるために、シラノール基による自己架橋型の導入などの検討も行っている<sup>7)</sup>。

母材、めっき、樹脂の特性を理解した上で、皮膜に使う樹脂の設計、開発と、潤滑剤などの機能剤を最適設計することにより、潤滑性能だけではなく、“耐食性”“加工性”“導電性”など他機能とのバランスを制御した様々な皮膜を開発するというこのコンセプトはその後の表面処理鋼板の各種皮膜開発にも続いている。

#### 2.1.2 プレコート鋼板

客先での脱脂・塗装工程の省略を可能としVOC(揮発性有機化合物)の発生抑制に貢献したのが、製鉄所であらかじめ塗装を施すプレコート鋼板である。当社では1994年にプレコート鋼板を商品化(商品名:ビューコート<sup>®</sup>)している。代表的な構成を図4に示す。めっきとの密着性を発現する化成処理、防錆能を有するプライマーコート、意匠性や機能を発現するトップコートからなる。

プレコート鋼板の商品化における技術課題は、加工後に塗装をする従来のポストコートと異なり、塗装後に加工がされることから、塗膜に加工性が要求されることである。そこで加工性と塗膜物性との関係を調査し、曲げ加工においては塗膜の伸び率が高いほど良好で、絞り加工性については塗膜の応力-歪曲線から得られる弾性歪エネルギーが

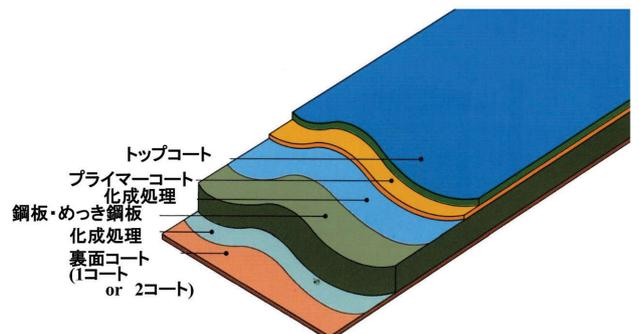


図4 プレコート鋼板の構成

小さいほど有効であることを明確にし、これらの物性と塗膜のガラス転移点 (Tg) との関係を実験的に明らかにし、塗料設計最適化に活かしている<sup>8)</sup>。一方、耐汚染性の観点からは架橋度を高めて硬い塗膜にすることが望ましいが、加工性と耐汚染性の両立は単純な塗膜では難しい。

そこで、塗膜の表層だけを硬くし内部は軟らかくする“傾斜型塗膜”(商品名:ビューコート®IV型)を開発した。これは塗料中で酸触媒をブロックしているアミンを加熱・乾燥工程で表層から揮発させて酸触媒を活性化させることによりポリエステル樹脂中のメラミンの自己縮合反応を促進させ、塗装表面だけに硬いメラミンを集積させることにより得られる。表層には硬く汚染が染み込みにくい機能を持たせ、塗膜内部はメラミンを少なくすることで軟らかく加工性に優れるという機能の両立が可能となる(図5)<sup>9)</sup>。

もともと建材用に開発されてきたプレコート鋼板であったが、加工性を含めた家電用の性能を具備することにより、家電製品の筐体用鋼板としても用いられるようになり、1990年代には暖房器具、照明器具、冷蔵庫、洗濯機、エアコン室外機などで急速にプレコート化率が進み、2000年代に入るとDVD機器や薄型テレビなどの筐体や背板に使用されるようになってきている<sup>10)</sup>。各家電製品におけるプレコート化率は高く、溶接を必要とする用途以外の多くの製品において、プレコート化率はかなり進んでいる。

このプレコート鋼板の商品化にともない、新しいプロセス技術の開発も進んだ。プレコート鋼板を作製する場合、一般的にはロールコーターによる塗布が用いられる。比較的簡単な構成であり、膜厚がロールの回転速度やロール間のギャップにより容易に精度高く制御でき、塗布できる塗料粘度範囲も広いことなどがその理由である。しかしながら剛直な鋼板への塗布の場合、幅方向での厚みの変化やロール摩耗によるロール交換頻度の高さなどの課題がある。

一方、切板状のプレコート鋼板の製造ラインで実用化されているカーテンコーターは、塗料だめの下部にあるスリットの間から塗料を流下、カーテンを形成し、塗布をする非接触塗布方式であるために平滑で美しい外観を得やすいが、膜厚はスリット間隔と通板速度で制御するために、連続塗装ラインではその制御が難しい。

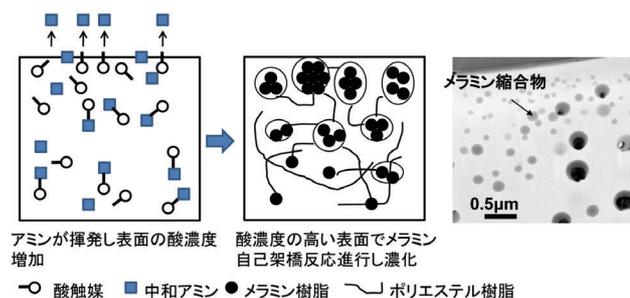


図5 メラミン樹脂の表面濃化層形成メカニズムとTEM写真

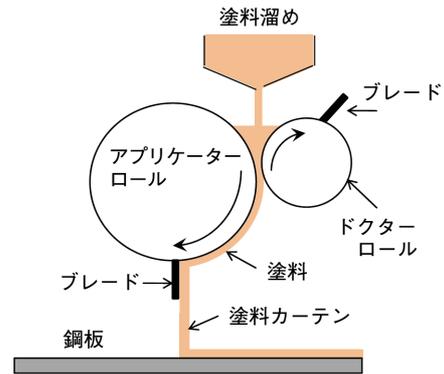


図6 ローラーカーテンフローコーター模式図

当社はそれら2方式を組み合わせた“ローラーカーテンフローコーター”を開発し実用化している。2本のロールの上から供給された塗料はリバース回転するロール間で計量された後、アプリケーションロールの下部に設置されたブレードでかき取られ、カーテンを形成する(図6)。ロール周速とロール間のギャップにより膜厚制御可能で、美麗平滑な塗膜が形成できる。この手法は、ロールの転写むらの生じやすい金属や樹脂などの添加剤を加えた塗料の塗布を可能とすることにより様々な意匠や機能の付与を容易にすることに加え、高速塗装の可能性や非接触であることから乾燥なしでの重ね塗りであるウエット-オン-ウエット技術による多層化などの展開性も有する特徴がある<sup>11)</sup>。

## 2.2 環境負荷物質低減による環境対応商品開発

環境負荷物質を使用しない動きは、環境保護の観点で高まり、欧州では電子・電気機器における特定有害物質の使用制限に関連するEU指令RoHS (Restriction of the use of the certain hazardous substances)が2003年2月に公布、2006年7月より施行され、6種類の特定化学物質の使用が制限されている(鉛、水銀、6価クロム、ポリ臭化ビフェニル、ポリ臭化ジフェニルエーテルについては含有率を1000ppm以下、カドミウムは100ppm以下)<sup>12)</sup>。対象物質の拡大は見送られたものの、さらなる対象製品の拡大、適合製品にCEマークを貼付する等を含む改正RoHS指令も2011年に施行される予定である。

日本国内においてもこれらの動きを受け、各企業におけるグリーン調達が進むとともに、2000年には国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律(グリーン購入法)が制定され<sup>13)</sup>、2006年には資源有効利用促進法改正政省令により、JIS C 0950 (J-MOSS) に従い特定化学物質を含む特定7品目(パーソナルコンピュータ、ユニット型エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機、電子レンジ、衣料乾燥機)に対しては基準値 (RoHS指令と同一) を超えた

場合に含有マーク(オレンジ)の表示が義務付けられている<sup>14)</sup>。

このような動向の中、当社では1990年代に亜鉛めっき鋼板の耐食性向上のために使用されていたクロメート化成処理の6価クロムフリー化(最終的にはクロムフリー化)やはんだめっき鋼板の鉛フリー化にいち早く取り組み、早期の商品化に至っている。

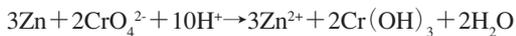
## 2.2.1 クロメートフリー化技術

### (1) クロメート皮膜の機能

亜鉛めっきは犠牲防食により鉄が錆びることを抑制することを目的としているが、亜鉛は長期間で酸化されると白錆を形成する。その防錆目的として施されるのが化成処理である。化成処理として従来用いられてきたのが、クロム酸を用いたクロメート処理である。亜鉛めっき鋼板をはじめとする各種表面処理鋼板に対して一次防錆処理(加工メーカーの工場加工・組立され最終製品になるまでの間、亜鉛めっき表面を防錆)および塗装下地処理として安価で有効なことから、広く使用されてきた処理技術でもある。

形成されるクロメート皮膜には、①薄い皮膜で亜鉛めっき表面に腐食因子である酸素や水を透過させない“遮蔽”機能、②最大の特徴である皮膜表面に疵が付いて金属亜鉛が露出した際の“自己補修”機能、③塗料密着性に優れる機能、がある。

これらの機能は以下の化学反応式で表すことができる。



Znの溶解によって6価クロムが3価に還元され、H<sup>+</sup>の消費によりpHが上昇する結果、3価クロムは水酸化クロムCr(OH)<sub>3</sub>nH<sub>2</sub>Oとして沈着し表面を被覆する。この水酸化クロムと残りの6価クロムが部分的に反応し共沈した構造をとると推定される。3価クロムは還元されにくく水に溶けにくいために、3価クロムを主体とする皮膜が遮蔽効果を発揮する。また、皮膜に疵が付いて金属亜鉛が露出した際には、皮膜から水溶性の6価クロムが溶け出して、亜鉛と反応して3価クロムになって疵付いた皮膜を修復し、白錆の発生を抑制する。つまり、クロメート皮膜中に微量の6価クロムがあることにより、疵付いた皮膜がすぐに修復される。これが優れた防錆効果を発揮する自己補修機能である。

### (2) クロメートフリー皮膜の開発

クロメート処理を施す際に用いるクロメート処理浴に含まれる6価クロムは環境負荷物質であることから、クロメートフリー化が必須となり、当社は他社に先駆けてクロメートフリー皮膜の開発に一早く取り組み、商品化に成功した(商品名:電気亜鉛めっきクロメートフリー鋼板:ジンコート®21, 熔融亜鉛めっきクロメートフリー鋼板:シ

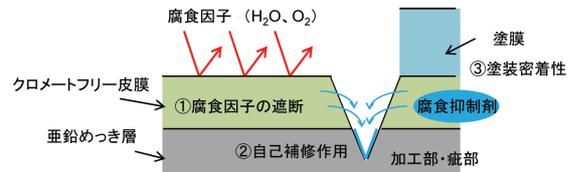
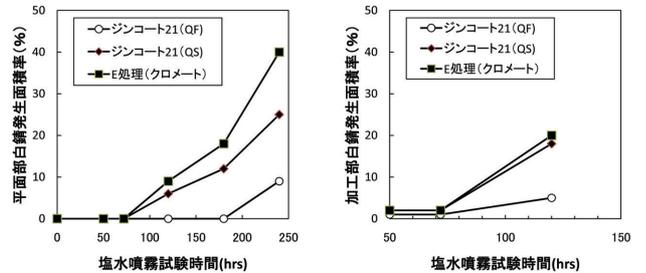


図7 クロメートフリー皮膜の防食メカニズム



(a) 平面部耐食性

(b) エリクセン加工部耐食性

図8 クロメートフリー皮膜の特性<sup>15)</sup>

ルバージンク®21)。

この開発においては、クロメート皮膜の特長である“遮蔽”機能、“自己補修”機能、“塗装密着”機能を単独の物質ではなく、それぞれの機能を6価クロム以外の物質に分担させることがポイントとなっている。基本的には遮蔽性、塗装密着性に優れたベース樹脂に、自己補修機能を有する腐食抑制剤を含有させる。腐食抑制剤としては、金属表面に単分子を吸着させる“吸着型”、金属表面に酸化物主体の不動態皮膜を形成する“酸化物型”、腐食環境と金属間に腐食因子を遮断させる反応生成物を沈殿させる“沈殿型”などがあり、それらの単独あるいは組合せにより自己補修能を発現する(図7参照)。

1998年に商品化したジンコート®21は有機系皮膜からなり、膜厚を厚くし耐食性、耐指紋性を有するQFと膜厚を薄くして導電性に優れるQSの2種類からなる。これらの代表的な特性を図8に示す<sup>15)</sup>。塩水噴霧試験による耐食性は平面部、加工部ともクロメート皮膜より良好な特性であり、動摩擦係数や耐疵付き性にも優れている。

クロメートフリー皮膜はその後改善を進めることにより、2007年にはさらに耐疵付き性や耐洗浄性を高めた有機系皮膜QF1とQS1を、また新たにQS1よりさらに導電性や塗装性を高めた無機系皮膜QMの他、各種機能に応じた皮膜を商品化している。

また、プレコート鋼板への適用も進め、化成処理、プライマーともにクロメートフリー化することに成功し、屋内家電向け<sup>16)</sup>、さらには、厳しい腐食環境で用いられる屋外家電向けでも商品化を達成している<sup>17)</sup>。沖縄曝露3年間の試験結果からは、クロメートフリープレコート鋼板は、ポストコートよりも端面耐食性に優れ、クロメート系と比較

して差異がないことを確認している<sup>18)</sup>。

## 2.2.2 鉛フリー化技術

### (1) 鉛フリー Zn-Sn-Ni 合金めっき鋼板

鉛フリーが求められるのは、家電機器内部の基板やシャーシーなど、はんだ付けされる電子部品の世界が中心である。当社は、はんだ (Sn-Pb 合金) との濡れ性が良い “Pb-Sn 合金” めっきであるターンシートを従来提供してきた。しかし、鉛フリー化へのニーズをとらえ、新たなめっきの開発に取り組んだ。

開発は、はんだの基本的な成分である Sn をベースに進め、1991年に、従来のはんださらには鉛フリーはんだとの濡れ性がよい鉛フリー Zn-Sn-Ni 合金めっき鋼板 (商品名: エコトリオ<sup>®</sup>) を商品化した。エコトリオ<sup>®</sup>は鋼板側から順番に Ni/Sn/Zn を電気めっきで三層積層した後に、加熱、溶融して合金化したものである。鋼板側から Ni/Sn/Zn と積層したにも関わらず、加熱、溶融により、鋼板側に Ni-Zn 合金と Sn-Ni 合金からなる層、その上に Sn-Zn 合金層の二層となる (図 9)。上層の低融点の Sn-Zn 共晶合金により優れたはんだ濡れ性を持ち、犠牲防食作用を有する Zn の寄与と下地 Ni めっきによる Sn の均一被覆効果により耐食性も優れる。また Sn めっきでは形成されやすい短絡原因となる針状単結晶ウイスキーも、①熱処理による内部応力解放とそれによる surface migration の駆動力低減、②Zn 添加による surface migration 抑制による効果、により低減される<sup>19,20)</sup>。化成処理も現在クロメートフリーが適用され、環境負荷低減対応となっている。

### (2) その他の鉛フリー化技術

OA 機器のシャフトなどに使用される切削加工性に優れる鉛快削鋼は RoHS 指令の除外対象となっているものの、環境負荷物質の低減に向けて、表面処理鋼板と同様に鉛フリー化に向けた取り組みを切削メカニズムの解明に基づき行った。自動車分野の解説 (第 1 章 1-1 参照) で紹介したように MnS の形態制御により被削性を向上させることにより、鉛フリー化を実現している<sup>21)</sup>。

## 2.3 新しい機能 (価値) を付与する商品開発

1990年代後半から2000年代にかけて、“耐食性”、“加工性”という表面処理鋼板の基本特性をさらに向上させることに加えて、人間の五感に対して直接的な快適性を提供する

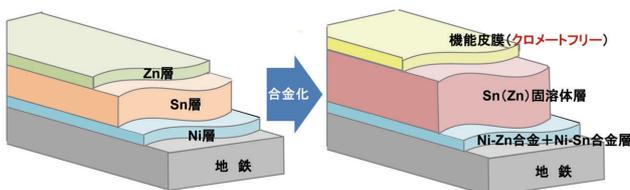


図9 鉛フリーZn-Sn-Ni合金めっき鋼板の構成

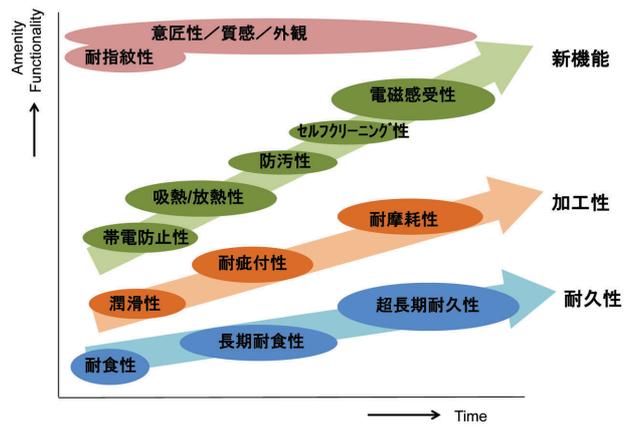


図10 表面処理鋼板の機能付与ロードマップ

る様々な新機能を付与した商品の展開にも取り組んできた。例えば、意匠性、耐汚染性、高反射性 (視覚)、静粛性、制振性 (聴覚)、吸熱・放熱性、遮熱性 (触覚)、さらには健康も含めた環境対応性などがある。表面処理鋼板の機能付与の開発ロードマップを図 10 に示す。

### 2.3.1 耐食性の向上

エアコン室外機などの屋外家電製品には、耐食性が必要であることから、建材用途で利用されているめっき目付量の厚い溶融系の亜鉛めっき鋼板や亜鉛-アルミニウム合金めっき鋼板などが適用されている。当社では、建材向けに実用化されていた耐食性 Zn-5%Al 系合金めっき鋼板に対し、Al含有量を増大およびMg, Siを添加することにより、耐食性が向上することを見出し<sup>22)</sup>、Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Siからなる新しい合金めっき鋼板 (商品名: スーパーダイマ<sup>®</sup>) を開発し 2000年に商品化した。

Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Si合金めっきは平面部の耐食性が曝露試験において溶融亜鉛めっき鋼板の約4倍を示す<sup>23)</sup>とともに、切断端面部がめっき成分の溶出により  $Zn(OH)_2$ ,  $ZnCl_2 \cdot 4Zn(OH)_2$ ,  $Mg(OH)_2$  などから形成される緻密な保護皮膜で覆われ、腐食反応を抑えるという特徴を有している<sup>24)</sup>。この長期耐久性から、鋼製床や最近では太陽電池用架台などに適用が広がっているが、エアコン室外機用途にも適用されつつある。またこの高耐食性Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Siめっき鋼板を用いたクロメートフリープレコート鋼板は、9.5年の曝露試験から、溶融亜鉛めっき鋼板を用いたクロメートフリープレコート鋼板より著しく優れた耐食性を示すという結果も得ている<sup>25)</sup>。

### 2.3.2 意匠性の制御

家電製品の外観・美麗性への要求が高度化する中で、プレコート鋼板の市場拡大につながった独自技術は“柚子肌”鋼板である。従来の塗装鋼板の特徴は、光沢があり凹凸のないことであった。mmオーダーの柚子肌状の凹凸を

形成することにより塗膜上の疵を目立ちにくくし、客先でのハンドリングを容易にすることで歩留向上を可能とする。この技術は、ベース樹脂と表面張力の異なる熱溶解性の樹脂を添加し、塗布直後に表面張力差に起因する凹凸を形成し、引き続きの焼き付け工程によりこの凹凸をなだらかにすることでmmオーダーの凹凸を作り込むものである<sup>26)</sup>。顔料や骨材添加による凹凸形成ではないので、本来の塗膜の加工性、耐汚染性などの性能を変えずに形状のみを変えるという新しい塗膜設計アプローチである。

### 2.3.3 新機能の付与

プレコート鋼板は切断、打ち抜き、プレス加工などの工程を施して各種の最終組立品になる。一般にプレコート鋼板の塗膜は絶縁性のために、組立工程においてベルトコンベヤ等の異種物質との接触の際に摩擦あるいは剥離により帯電し、塗膜表面にごみが付着することが問題になることがある。帯電防止方法として帯電防止剤や金属を塗膜に添加し導電性を付与する方法が知られているが、摩擦した際に生じる静電気で付着するごみの抑制には、摩擦時の静電気発生自体の抑制が必要であることを明らかにし、樹脂中への適正な添加剤を導出し、“帯電防止鋼板”を商品化している<sup>27)</sup>。

製造工程中の非汚染性だけでなく、屋外家電用途では“セルフクリーニング型鋼板”の商品化による製品使用時の非汚染性付与も進んでいる。これは表面にシリケートを有する親水性皮膜を付与することにより<sup>28)</sup>、降雨時に雨滴が皮膜と汚れの間に入り込んで汚れを洗い流す特性を持たせるものである。従来の塗装鋼板では生じる雨だれ模様を抑制することができる(図11)ことから、長期間のメンテナンスフリーが期待できる。また最表層はクリア層であるため様々な着色層の上に設けることも可能であり、エアコン室外機、ヒートポンプ給湯器、家庭用コジェネレーションシステムなどに適用している。

また最近、電気機器の高性能化により発熱量が増加する一方で高集積化、小型化が進む中で体積当たりの熱負荷が増加し、熱に弱い電子部品などを守るため、機器内部で発生する熱を効率良く外部に放出する機能が求められてい



(a)セルフクリーニング型 (b)従来ビューコート®

図11 1.5年曝露試験後の表面外観

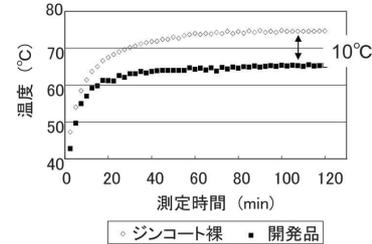
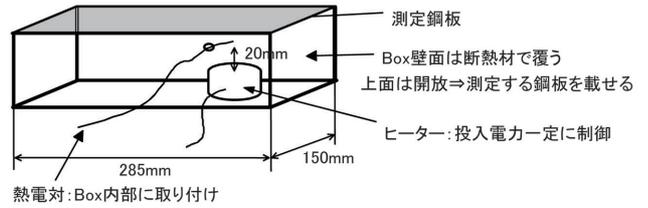


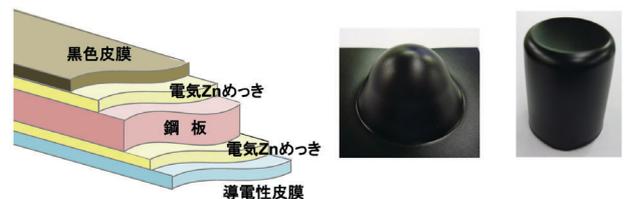
図12 吸熱鋼板の特性<sup>28)</sup>

る。当社はこうしたニーズに対し、筐体内面側に吸熱性に優れる皮膜を施し、内部で発生した熱を効率的に外部に逃がすことができる“高吸熱性鋼板”を開発した。構成する樹脂や添加する物質、顔料の分子設計により両面に高放射率を有する皮膜を付与させるとともに、導電性(アース)も確保させていることが大きな特徴である。従来の亜鉛めっき鋼板に比べると、機器内部の温度を、約10℃も低減できるため(図12)、DVD機器やHDD、車載機器の筐体カバーなどに採用されており、電気機器の放熱用ファンの省略や放熱用孔の削減等のコストダウンが期待される<sup>29)</sup>。

## 2.4 最近の取り組み

### 2.4.1 薄膜塗装鋼板

2009年に薄型TVのバックカバー用途で商品化した黒色電気亜鉛めっき鋼板“ジンコート®ブラック”は従来のプレコート鋼板とは皮膜構成の異なる塗装鋼板である。新たに開発した低温乾燥可能な水系塗料を用いることにより従来のプレコート鋼板より7~8割の薄膜化を可能としている(図13)。薄膜化並びに水系塗料での電気亜鉛めっきラインでのインライン化処理により低コスト化及びVOC低減を実現した<sup>30)</sup>。5μm程度の薄い膜厚でありながら着色隠蔽性を確保していることが特徴であり、高度な顔料分散技術により達成されている。また薄膜で耐食性や加工性を



(a)皮膜構成 (b)張出成形 (c)円筒絞り成形

図13 ジンコート®ブラックの構成と加工写真

発現させるために、ベース樹脂の最適設計も行っている。

## 2.4.2 かたちソリューション®

インフラ分野の解説(第1章1-4参照)でも触れるように、当社は住宅建築の分野で、1994年よりスチールハウスをはじめとする薄板軽量形鋼造の研究開発に取り組んできた。座屈に起因する構造的な課題を克服すれば、薄板構造ならではのロール成形等による形状メリットを享受できることから、薄板構造のねじれ評価、座屈設計技術の研究開発を進め、特殊な断面形状を有する薄板部材の開発に注力してきた<sup>31)</sup>。

このような薄板構造体設計技術を、従来の建築構造体から小型構造体へ適用する展開を現在進めている。具体的には洗濯機、エアコン室外機などの家電製品、あるいは複写機、プリンタ等のOA機器等を対象とし、剛性、強度の向上に資する構造提案を行うものである。“かたち”に着目し鋼材利用に対するソリューションを提供することからこの取り組みを“かたちソリューション®”と名付けている。構造体を、棒材で構成される骨組(図14左)と、面材で構成される箱体(図14右)とに分類し、棒材および面材の断面設計、骨組および箱体の構造設計という単純化した課題にすることにより、構造最適化提案を進めている。

## 2.4.3 接合ソリューション

家電・OA機器の製造工程においては、ビス止め、かしめ、溶接などの種々接合が施される。めっき鋼板を溶接する場合、溶接部の耐食性低下や意匠性低下が懸念されることから、溶接部の耐食性確保やめっき損傷抑制という視点を取り入れた以下のような溶接接合技術の開発に取り組んでいる。

(1) 高耐食性タッチアップレス溶接材料：亜鉛めっき鋼板をアーク溶接で接合すると溶接時の入熱で沸点の低いめっき成分が蒸発するために耐食性が低下し、補修(タッチアップ)が必要になることがある。耐食性の優れるめっき鋼板においては特に溶接部耐食性の確保は重要であり、高耐食性Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Siめっき鋼板を対象としたタッチアップレス溶接材料<sup>32)</sup>を開発した。これは、ステンレス鋼用溶接材料を適用することにより溶接部の耐食性を向上させる(図15)とともに、同溶接材料で問題とな

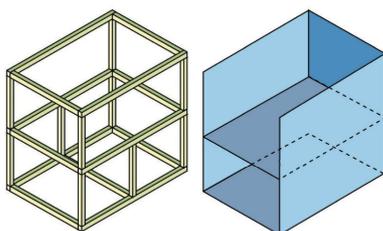


図14 評価対象とする骨組と箱体のイメージ図

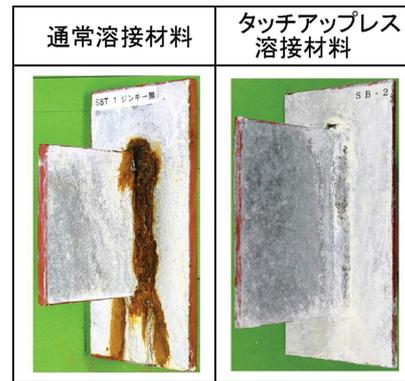


図15 Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Siめっき溶接部の耐食性試験結果(0.5%塩水噴霧試験1 000時間)

る亜鉛脆化割れを回避する成分調整を行い良好な機械特性の確保を可能としている。また耐食性が劣化しやすい溶接裏面の熱影響部については、Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Siめっきの場合、Alが残存するため、一般的な亜鉛めっき鋼板に比べて耐食性が大幅に向上する<sup>33)</sup>ことも見出している。本溶接材料は、カーポートやスチールラック等の建材部品で適用が広がっており、今後、腐食環境の厳しい屋外家電製品等へも適用が期待される。

(2) 低入熱接合：板厚が薄く、めっきが施されている鋼板を溶接する場合、できる限り溶接時の熱損傷を抑制する技術が求められている。また、精密機器においては溶接時に発生するスパッタの抑制といったクリーン溶接に対する要望も高い。このようなニーズに対しては、最新の溶接機器を活用したソリューション技術を構築している。例えば、レーザ溶接は低入熱化が可能な高精度溶接として知られており、近年、生産性向上が可能なリモートレーザ溶接が自動車分野を主体に実適用され始めている。この技術は多数の溶接箇所が必要とされる骨組等への適用が期待される。アーク溶接においては、CMT(Cold Metal Transfer)電源の活用により薄手材の低スパッタ溶接が可能となっており、また入熱のないリベット接合やかかしめ接合等の機械的接合についても、継手強度に及ぼす接合条件の影響調査や疲労試験、耐食試験などを行ってデータの蓄積を進めている<sup>34)</sup>。図16は、鋼板とアルミ合金とのリベット接合の継手強度を示しているが、溶融接合では脆い金属間化合物が生成し強度が低下することが知られているが、リベット接合では安定した強度が得られることが分かる。こうしたソリューション技術の提供を通して鋼板の利用拡大を目指している。

## 3. 今後の展望

世界的には新興国の経済成長を背景に、家電・OA機器を初めとした市場は成長し続けることが期待される。その一方で、国内市場は成熟期に入っており、需要家による生

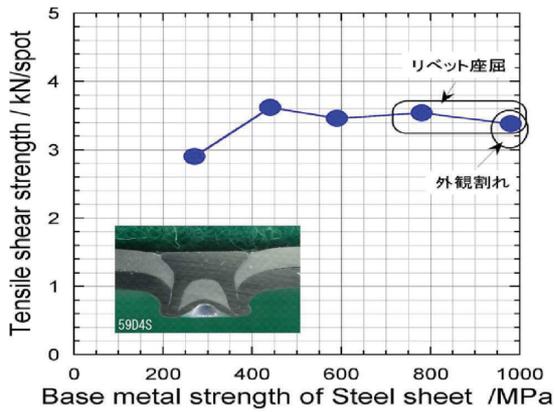


図16 鋼板とアルミ合金のリベット接合強度

産拠点の海外化、新興国の技術力向上にともなう材料の現地調達化、さらには樹脂を初めとした他素材との競合は、今後ますます進んでいくと想定される。

そのような状況の中、家電用表面処理鋼板としては、リサイクル性、強度という鋼板の強みを活かしつつ、需要家の希望する優れた意匠や機能を有した素材をタイムリーに提供していくことが必要となる。機能としては、製品の小型化、集積化が進む中での熱問題や電磁波漏洩問題は今後も課題となり続けることから、吸熱鋼板や電磁シールド・吸収鋼板の性能向上が望まれる。またLEDのように長寿命な製品や新たに家庭用途も拡がりつつある発電・蓄電関連商品のように長期保証が必要となる製品が増えていく中、耐(非)汚染、耐ごみ付着(帯電防止)、長期耐食性等のメンテナンスフリーにつながる機能は今後も重要な特性となっていくと考えられ、このような機能を確保していく上で、化成処理や塗膜における最適化にとどまらず、めっき皮膜も含めた表面処理鋼板としての最適設計が必要となるであろう。

このような機能付与による高付加価値化を進める一方、低コスト化技術の構築は不可欠である。前述したような薄膜塗装鋼板の利用、展開は一つのアプローチとなる。塗膜薄膜化の方向は、特性を犠牲にせざるを得ないことから従来以上の高度な塗膜設計を進めるとともにめっき皮膜との機能分化も重要となってくるであろう。またプロセス技術の革新も必要となる。高速でコンパクトに塗膜を形成する技術の構築は必須となることは間違いないであろう。

さらに、素材技術のみではなく、当社が有している接合技術(溶接、かしめ、接着等)、成形加工技術(ロールフォーミング、ハイドロフォーム等)といったソリューション技術にかたちソリューション®を加えたシナジー効果(図17)により、鋼材利用によるトータルコスト低減ソリューション提案を積極的に行い、需要家の信頼を得て、鋼材の利用拡大へつなげていきたい。



図17 かたちソリューション®を含めたシナジーイメージ

参考文献

- 1) 内閣府総務省統計局:統計データ
- 2) 財団法人 家電製品協会:家電4品目のリサイクル実績
- 3) 鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報. 経済産業省編
- 4) 森陽一郎:熱処理. 39 (3), 121 (1999)
- 5) 森下敦司, 宮内優二郎, 金井洋:塗装工学. 33 (11), 430 (1998)
- 6) 宮内優二郎, 金井洋, 平武敏, 勝見俊之, 菊地郁夫:新日鉄技報. (371), 35 (1999)
- 7) 森陽一郎, 山崎真, 新頭英俊:CAMP-ISIJ. 11, 1215 (1998)
- 8) 金井洋, 上野長治, 窪田克則, 岡襄二:CAMP-ISIJ. 2 (2), 574 (1989)
- 9) 金井洋, 岡襄二, 堤正也:新日鉄技報. (353), 26 (1994)
- 10) 金井洋:塗装技術. 45 (1), 73 (2006)
- 11) 金井洋:塗装技術. 43 (13), 65 (2004)
- 12) 経済産業省データ
- 13) 環境省総合環境政策課データ
- 14) 社団法人 電子情報技術産業協会 環境部:統計データ
- 15) 森下敦司, 高橋彰, 仲澤真人, 林公隆, 伊崎輝明, 金井洋:新日鉄技報. (377), 28 (2002)
- 16) 金井洋, 山崎真, 森陽一郎, 植田浩平, 森下敦司, 古川博康, 仲澤真人, 石塚清和, 和氣亮介:新日鉄技報. (371), 43 (1999)
- 17) 植田浩平, 金井洋, 古川博康, 木全芳夫:新日鉄技報. (377), 25 (2002)
- 18) 植田浩平, 金井洋:第20回塗料塗装研究発表会講演予稿集. 2005, p.86
- 19) 吉原良一, 和氣亮介, 岩本芳昭, 宇野佳秀:新日鉄技報. (371), 39 (1999)
- 20) 和氣亮介, 吉原良一, 兼田善弘, 山本正弘:鉄と鋼. 77 (7), 40 (1991)
- 21) 橋村雅之, 宮西慶, 水野淳:新日鉄技報. (386), 42 (2007)
- 22) 森本康秀, 本田和彦, 西村一実, 田中暁, 高橋彰, 新頭英俊, 黒崎将夫:新日鉄技報. (377), 22 (2002)
- 23) 下田信之, 仲澤真人, 野村広正, 森本康秀:防錆防食技術発表大会講演予稿集. 30, 2010, p.135
- 24) 柳岡法篤:鉄構技術. 19 (215), 33 (2006)
- 25) Ueda, K., Takahashi, A., Kubo, Y.: Proceedings of Galvatech 2011. Vol.2, 2011, p.1073

- 26) 木全芳夫, 野村広正, 金井洋, 長瀬孫則: 第16回塗料塗装研究  
発表会要旨集. 2000, p.86
- 27) 古川博康, 金井洋, 稲田賢治: 表面技術. 56 (8), 457 (2005)
- 28) 植田浩平, 金井洋, 高橋武寛, 井上郁也: 表面技術講演大会講  
演要旨集. 108, 2003, p.219
- 29) 野村広正: 日本機械学会誌. 113 (1102), 724 (2010)
- 30) Nippon Steel Monthly. 196 (3), 9 (2010)
- 31) 杉田浩司, 半谷公司, 村橋喜満: 新日鉄技報. (369), 46 (1998)
- 32) Kodama, S., Ishida, Y., Asai, K.: Welding in the World. 54 (1/2),  
R1 (2010)
- 33) 児玉真二, 石田欽也: 溶接学会全国大会講演概要. 2010s,  
2010, p.29
- 34) 宮崎康信: 溶接学会H23年度秋季全国大会, 技術セッション,

グリーンモビリティ社会を実現する先端技術

#### その他の参考文献

- 坂本雄三, 小松匡博: 塗装工学. 18 (11), 519 (1983)
- 羽田隆司: 新日鉄技報. (353), 3 (1994)
- 金井洋, 西岡良二: プレス技術. 33 (10), 28 (1995)
- 和氣亮介: 防錆管理. 43 (1), 33 (1999)
- 町田輝史: プレス技術. 39 (12), 44 (2001)
- 宮坂明博: 日本機械学会誌. 106 (1021), 952 (2003)
- 加藤千昭: 西山記念技術講座. 186/187, 2005, p.23
- 久保田亨: 特殊鋼. 54 (1), 23 (2005)
- 金井洋: 塗装技術. 45 (1), 73 (2006)
- 宮坂明博: ナノプレーティング. 22, 43 (2007)



久保祐治 Yuji KUBO  
鉄鋼研究所 表面処理研究部長  
千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511



児玉真二 Shinji KODAMA  
鉄鋼研究所 接合研究センター  
主任研究員



半谷公司 Koji HANYA  
鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター  
主任研究員 工博

#### 執筆協力



木全芳夫 Yoshio KIMATA  
鉄鋼研究所 表面処理研究部  
主幹研究員



森下敦司 Atsushi MORISHITA  
鉄鋼研究所 表面処理研究部  
主任研究員