

技術展望

環境に優しく快適な生活の実現，また国土強靱化・インフラ老朽化対策といった社会ニーズに対応する表面処理鋼板と関連技術

Surface Treated Steel Sheets and Related Technologies to Realize a Comfortable Life by Being Environmentally-friendly, and to Meet Social Needs Such as National Resilience and Countermeasures for Aging Infrastructure

中村文彰* 春田恵利
Fumiaki NAKAMURA Keitoshi HARUTA

抄 録

家電・建材用の薄板製品として表面処理鋼板は従来性能を向上させるための研究開発を鋭意推進し発展してきた。しかし近年，単に性能において優れるだけでなく環境に優しく快適な生活の実現，また国土強靱化・インフラ老朽化対策といった社会ニーズに対応することが求められるようになってきた。それぞれの目的に応じて，表面処理鋼板の性能も多様化し鋼板だけに留まらず，鋼板の利用技術も多様に開発されてきた。多岐に渡る技術開発を通じて，成熟した先進国である日本に相応しい価値の提案により社会に貢献していく所存である。

Abstract

For flat-rolled steel products used for home appliances and construction, surface-treated steel sheets have been actively developed to improve their performance. In recent years, it has become necessary not only to have excellent performance, but also to realize a comfortable life by being environment-friendly, and to meet social needs such as national resilience and countermeasures for aging infrastructures. The performance of surface-treated steel sheets has also diversified according to their purposes, and not only steel sheets, but also steel sheet utilization technologies have been developed in various ways. Through a wide range of technological developments, we will contribute to society by proposing values suitable for Japan, which is a mature and advanced country.

1. はじめに

家電・建材用の薄板製品として表面処理鋼板は従来から広く使用されている。特に日本製鉄(株)は2000年から亜鉛でめっき処理した溶融亜鉛めっき鋼板をベースとして，Al添加に加えてMgとSi等を添加した新めっきである高耐食Zn-Al-Mg-Siめっき鋼板(スーパーダイマ^{®1)}，ZAM^{®2,3)}を開発して商品化し，家電，建材の分野を問わず錆びやすい環境における耐食ニーズに応えてきた。

建材分野は設備仕様の決定者と維持管理費の負担者が同一であることが多いゆえ，初期投資額と維持管理費のトータルで投資判断されることが多く，維持管理費への影響が大きい耐久性能が重要で更なる耐食ニーズがある。また，気候変動等による自然災害のリスクが高まっており国

土強靱化が求められていることと，高度経済成長期に建設された公共インフラの老朽化も激しく，より低コストで耐久性能に優れた材料が求められることも高耐食ニーズの一因である。また，工業デザインの高度化により建材分野においても美しくユニークな外観が著名な設計者により求められる機会が増えており，意匠性も価値として受け止められる例が新しい試みとして見受けられる。

家電分野では高耐食ニーズに加え，従来から美しい外観が求められ，ジンコート[®]，ビューコート[®]といっためっき鋼板が広く使われてきたが，近年家電製品の多様化により美しい外観及びユニークな意匠や高耐食以外の機能も求められる機会が増えている。

環境対応の視点では家電分野が先行してRoHS指令による環境負荷物質の使用制限が世界基準となり，そのためク

* 薄板事業部 薄板営業部 薄板商品技術室 部長代理 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071

ロメートフリー後処理被膜の標準化が進んでいるが、近年建材分野でも環境意識の高まりから日本産業規格 (JIS) にもクロメートフリー化の動きがあり、溶融 55% アルミニウム亜鉛合金めっき (JIS G 3321)⁴⁾、電気亜鉛めっき (JIS G 3313)⁵⁾、溶融アルミニウムめっき (JIS G 3314) の 3 種類の規格は既にクロメートフリー指定となっている。更に残る 3 種類の溶融亜鉛めっき (JIS G 3302)、溶融亜鉛-アルミニウム-マグネシウム合金めっき (JIS G 3323)、溶融亜鉛 5% アルミニウム合金めっき (JIS G 3317) も次回改定時にクロメートフリー化の予定であると規格に明記されている。

耐久性に優れた製品を用いたインフラ設備は老朽更新周期が伸びることから長期的には鋼材使用量の低減に繋がるため、カーボンニュートラルの世界的な潮流の中、日本製鉄の高耐食性めっき鋼板は優れた耐久性を根拠として CO₂ 低減効果が期待できる。その効果は非常に重要であり今後商品価値を向上させ得ると考えられる。その際に商品そのものの環境負荷物質含有量制限対応も併せて商品性向上に寄与すると考えている。

こうした市場ニーズの進化と多様化に対応し耐食性向上及び新しい意匠及び機能の研究開発を鋭意推進した結果、日本製鉄では多様な付加価値の表面処理鋼板商品を環境に優しく快適な生活の実現、また国土強靱化・インフラ老朽化対策として提案してきた。具体的には新高耐食めっき鋼板 ZEXEED[®]⁶⁾、エスジーエル[®]・建材用塗装鋼板、接着性に優れたスーパーダイマ[®] 鋼板、SuperDyma[®] Crystal、スパンゲルジンク[®]、クロメートフリー溶融亜鉛めっき鋼板、FeLuce[®] (フェルーチェ)、機能性ビュコート[®]、抗ウイルス鋼板、といった商品、加えて商品だけに留まらず耐食性向上ソリューション、かたちソリューション[®] といった商品の性能を最大化する使い方についても提案できる技術を開発した。以下に開発に至った背景・経緯と商品の位置付けを商品戦略及び技術展望として紹介する。

2. 本 論

2.1 日本製鉄の高耐食 Zn-Al-Mg-Si めっき鋼板シリーズ

日本製鉄は高耐食 Zn-Al-Mg-Si めっき鋼板として、スーパーダイマ[®]、ZAM[®] という代表的な商品を有しているが、これら以外にも Mg 添加を活用した商品メニューを広く揃えている。日本製鉄の高耐食 Zn-Al-Mg-Si めっき鋼板シリーズとして以下に紹介する。それぞれ単なる耐食性能向上に留まらず、用途に応じて最適化された特徴を持つ商品メニューである。

亜鉛めっきの開発には長い歴史があるが、ここでは 2000 年に開発した亜鉛ベース、約 11% Al、約 3% Mg 及び微量の Si 等を添加した高耐食性めっきであるスーパーダイマ[®]、ZAM[®] の開発以降について述べる。

2.1.1 新高耐食めっき鋼板 ZEXEED[®]

スーパーダイマ[®]、ZAM[®] はともに JIS G 3323 に分類される高耐食性めっきであり、従来の亜鉛めっきに Al、Mg、Si 等を添加し、これら添加元素の複合効果で耐食性を高めたものである。厳しい腐食環境においてもめっきそのものの溶出速度が小さいことに加えて従来めっきよりも腐食生成物が緻密で水分や空気を透過し難い保護皮膜となり腐食の進行を抑制する効果が高く平面部の耐食性のみならず、切断端面や加工部でも高い耐食性を示す。Zn-Al-Mg-Si めっき鋼板が高い耐食性を有する主なポイントの一つはめっき中に含まれる Mg である。特に建材分野では当時から高耐食ニーズが強く、優れた耐久性の鋼材が求められていたが、めっき成分への Mg 添加は当初 2~5% が限界でそれ以上添加する技術が確立していなかった。スーパーダイマ[®]、ZAM[®] は当時別々の会社で開発されたが両者の Mg 添加量が同程度なのはそれゆえである。しかし今般、日本製鉄はめっき中に 5% 超の Mg を添加する技術を確立し、耐食性能を更に向上させた ZEXEED[®] を開発し、更なる高耐食ニーズに応えるべく商品化した。

ZEXEED[®] は、めっき中の Al と Mg の比率の増加により、スーパーダイマ[®]、ZAM[®] と比べてめっきそのものの溶出速度が低いことに加えて保護皮膜も、より緻密で水分等を透過し難くなっていることで耐食性能を向上させた。特に Mg 添加量は 2~5% の壁をブレイクスルーしたことで 5% 超の添加も可能となったが、加工性等の商品としての性能バランスも考慮の上最適化を図った結果 6% を選択した。図 1 に各めっき鋼板の複合サイクル試験 (JASO) における腐食減量推移を示す。

ZEXEED[®] は JASO 50 サイクルでの腐食減量から、溶融亜鉛めっきと比べて 10 倍以上、スーパーダイマ[®]、ZAM[®] と比べて 2 倍以上の耐食性を有している。(JASO 塩水噴霧 2 時間、乾燥 4 時間、湿潤 2 時間の計 8 時間 = 1 サイクル。50 サイクルは一般に田園環境で約 17 年、塩害環境で 5 年に相当すると言われている。)

加えて、ZEXEED[®] の特筆すべき特徴は従来のスーパー

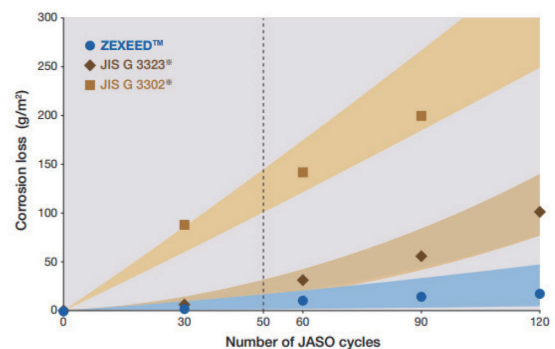


図 1 各めっき鋼板の JASO 試験腐食減量推移
Change in corrosion loss of each plated steel in the JASO test

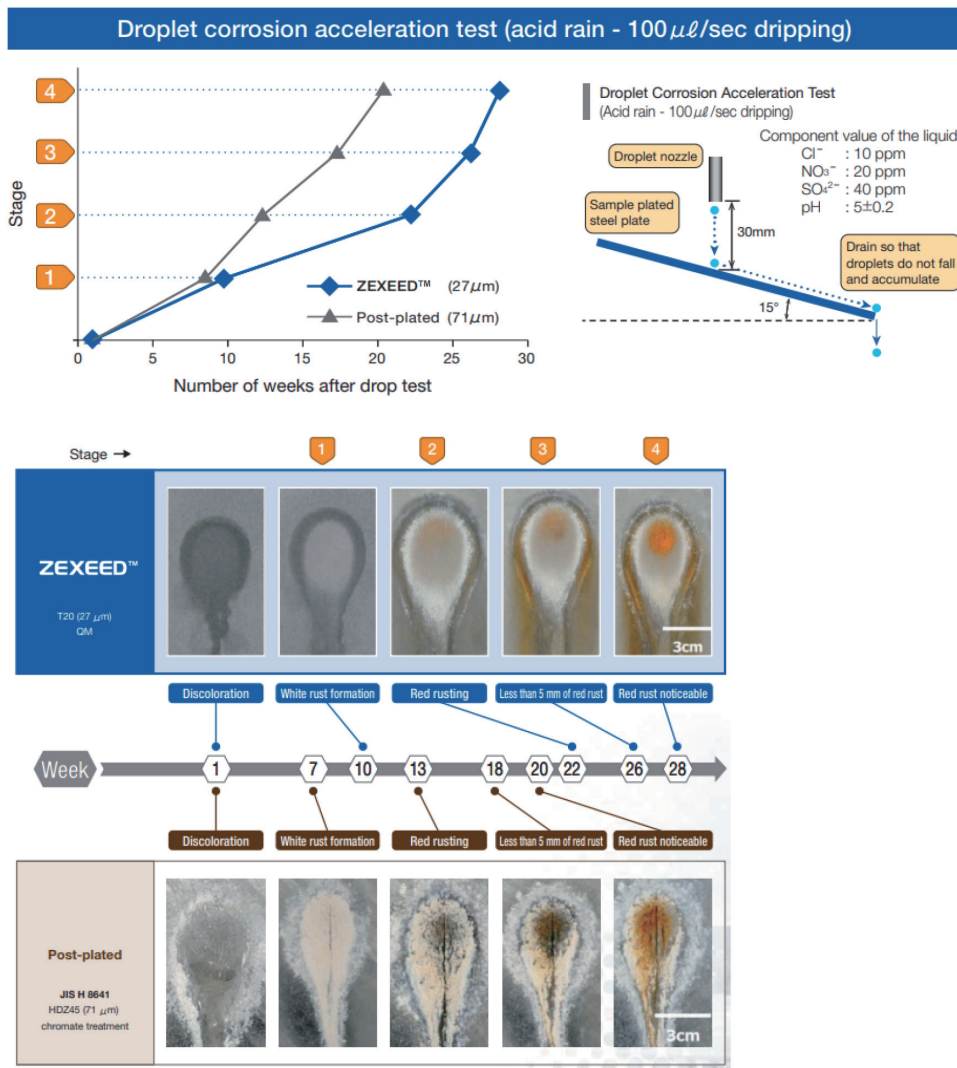


図2 水滴データ
Corrosion resistance in a droplet-forming environment

ダイマ®, ZAM® が苦手としていた流水環境や水滴下環境においても優れた耐食性を示す点である。図2に水滴下環境の耐食性データを示す。

2.1.2 エスジーエル®・建材用塗装鋼板 (SGL®)

住宅・建屋の屋根壁部材は、板厚が薄く意匠性が重要であるため、従来から溶融 Al 55%と亜鉛の合金めっきであるガルバリウム鋼板及びその塗装鋼板が標準的に使用されており豊富な実績がある。“ガルバリウム鋼板®”は日本で初めて日本製鉄グループが Bethlehem Steel Corporation (米) から技術導入し、日本製鉄が商標登録したものである。当該技術の特許は BlueScope Steel (豪) に売却されたが、2000年に失効したため世界中の鉄鋼メーカーが類似品を生産することになり、コモディティ化が進んだ。その状況から脱却するために差別化商品としてガルバリウム鋼板®に Mg を添加することで耐食性を向上させたエスジーエル®を日本製鉄グループの日鉄鋼板(株)にて商品化した。

エスジーエル®は、溶融 55%アルミニウム亜鉛合金め

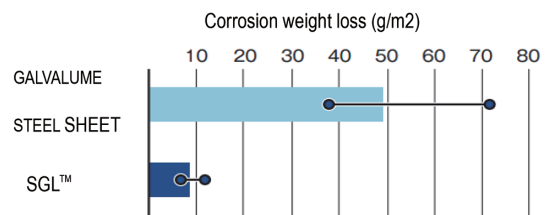


図3 エスジーエル®と従来 GL の耐食性比較
Corrosion resistance of SGL™ and GL by combined cyclic corrosion test

きをベースに Mg を添加することで外装用鋼材に求められる平面部耐食性において極めて優れた耐食性を示す(図3)。

外装用鋼材は住宅の品質確保の促進等に関する法律を背景に屋根壁分野では穴あき年数の保証をするのが通例である。従来ガルバリウム鋼板®を用いた屋根の保証期間は10年が一般的であったのに対し、エスジーエル®塗装鋼板を用いた屋根の保証期間は諸条件により異なるものの大凡25年に長期化して大きく差別化が図られている。

エスジーエル® は日本製鉄と日鉄鋼板及び BlueScope Steel (豪) の 3 社で共同開発し, 3 社で設立した合弁会社により ASEAN でも製造販売している。耐食性を向上させる技術として, ZEXEED®, スーパーダイマ®, ZAM® 同様めっき成分に Mg を添加する技術を用いている。また, 外装用に求められる性能として耐穴開きとしての耐食性に加えて, 使用時に外観を損ねないために耐白錆性も求められるため, 添加量を最適化した結果, ZEXEED®, スーパーダイマ®, ZAM® の何れとも異なる Mg 添加量となっている。更に, エスジーエル® 及びその塗装鋼板は JIS G 3321 及び JIS G 3322 適合品であり, 国内で広く使用されている。

2.1.3 接着性に優れたスーパーダイマ® 鋼板

首都高の橋脚鋼板巻立工法での現場溶接不良及び落橋防止装置溶接不良などの重大トラブルの発生により建築土木分野での溶接に頼らない接合方法のニーズが高まっている。

更に, 道路鉄道分野では高度経済成長時代に建築された構造物が築後 50 年を経て老朽化が進み, 延命処置が急務になっている。これらの老朽更新工事ではインフラの機能停止を最小限に留める必要性から, 取り壊して新設するのではなく“補修・補強”で対応する新工法の採用が望まれ, 耐久性とともに施工性の向上と一貫での費用 (材料～製品～工事) 削減ニーズが高まっている。

こうしたニーズに対応するため, 接着性に優れたクロメートフリー皮膜 QA を開発した (図 4)。

接着接合が有効に活かされた例として新幹線の高架橋補修工事での接着接合工法があり, これは補修工事での標準工法の一つとして採用されている。またこの工法以外にも筐体等の箱物の製作等にも作業効率向上と溶接時に発生するヒューム対策として大きく展開が期待される。

2.2 めっき素地外観を活かした意匠鋼板

以前は, 意匠としては塗装鋼板が代表例で均一な模様あるいは均一な外観が一般的であったが, 近年めっき素地の不均一な外観を新しい意匠として捉える例が見られるよう

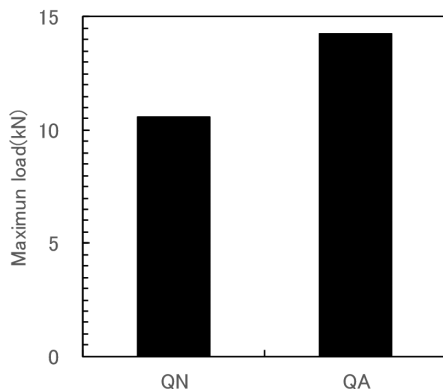


図 4 従来クロメートフリーと接着性後処理の接着強度比較
Results of bonding strength by tensile shear test

になってきている。めっき素地外観を活かした意匠として開発した商品を紹介する。

2.2.1 SuperDyma® Crystal

東アジアの高耐食性めっき鋼板市場では, 特に太陽光発電用架台用途を中心にスーパーダイマ® の類似品が安値攻勢や根拠が十分でないと推定される耐久年数保証でシェアを侵食している。従い, 継続的に太陽光発電を安心して使用して貰うため, 架台には確かな根拠を持って耐食性能を保証することができる正規のスーパーダイマ® であることを示すことが架台制作メーカーや架台を使用する施主にとって重要な商品性と考えている。カーボンニュートラルの世界的な潮流の中, 太陽光発電用架台の需要は爆発的に増加しつつあり, 模造品との識別及び商品価値の確保のため, 透かし文字の様に文字が浮かびあがる技術確立し, SuperDyma® Crystal を開発した (写真 1)。文字が浮かびあがる技術とは, スーパーダイマ® の結晶の光沢の強い領域と弱い領域を局所的に作り分けるめっき組織の制御技術を用いた技術である。ポイントは従来のインクジェット式の印字とは異なり後付けでは不可能な文字を付与できることにあり, 加えて判り易い青色後処理との組み合わせによりスーパーダイマ® のブランド強化を図っている。

2.2.2 スパングルジंक®

空調ダクト分野では, 従来からダクト製作作業の効率の観点から 6 フィート幅の材料が使われており, 更にめっきしてあることが識別し易い様にレギュラスパングル仕上げの亜鉛めっき鋼板が使われてきた。特にレギュラスパングル仕上げの外観は, 単にめっき鋼板であることの識別のみならず空調ダクト業界には“ダクトといえばレギュラスパングル”と強い愛着を持つ関係者も少なくない。

一方, 従来ダクトは天井板等で隠れて竣工後は設備使用者の目には触れない場所で使われるのが一般的であったが, 近年ではスパングル模様を意匠と捉え, 天井板等がない内装設計により竣工後も見える様に使われる機会も出てきている。スパングルの金属結晶の大きさと形は正確には均一ではなく結晶毎に大きさと形は微妙に異なるため, 微妙な不規則性を持つ外観であるが, その不規則性をより先

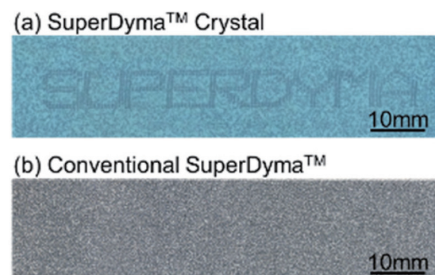


写真 1 SuperDyma® Crystal の外観
Appearance of SuperDyma™ Crystal

鋭的意匠であると捉える内装設計の例が増えつつある。

冒頭に述べた通り、建材分野でも環境対応でクロメートフリー化が進む中、レギュラスパングルのクロメートフリーは耐食性能を確保することが難しく、クロメートフリーを推進するにあたりレギュラスパングルとの両立は高いハードルであった。日本製鉄ではレギュラスパングルの製造方法とクロメートフリー種類の最適化を図り、従来通りのスパングル外観を保ちつつ耐食性能も維持しクロメートフリー化を実現した(写真2)。

これにより、環境に配慮しつつダクト業界のめっき外観への拘り及び先鋭的な意匠設計への挑戦にも応えることができると考えている。

2.2.3 FeLuce®

“FeLuce®(フェルーチェ)”(ヘアライン調電気めっき鋼板)は、防錆性能を担保するめっき層に直接ヘアライン加工するというこれまでにない製法により金属の輝度感を発現させた新たな高意匠鋼板である(写真3)。FeLuce®の開発においては、めっき面を研削することによる“耐食性維持”と“意匠性発現”の両立、及び樹脂皮膜塗布による耐薬品性、耐指紋性等の“機能性付与”とめっき面で発現した“意匠性維持”との両立が課題となった。前者については、めっき種類の選定や研削条件の最適化を図り、後者については、新たに薄膜の樹脂コートを開発し、塗装条件を調整することで商品化が可能となった。製造工程は既存の電気めっきラインにヘアライン加飾装置を導入することにより電気

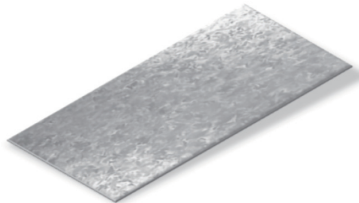


写真2 スパングルジंक®の外観
Appearance of spangled hot dip galvanized steel sheet



写真3 FeLuce®の外観
Appearance of FeLuce™

めっきラインで製造が完結する体制を整えた。このように高意匠性鋼板を開発したということだけでなくエコで無駄のない“ものづくり”に挑戦したことが評価され2020年度のグッドデザイン賞を受賞した。用途としては、家電・産業機器、鋼製家具、内装建材等を想定しており、上質かつ落ち着いたたたずまいのブラックと、豊かなリフレクションで空間になじむシルバーのスタンダードな2色展開で電気めっき鋼板としての新たな需要開拓に取り組んでいる。

2.3 高機能を有する意匠鋼板

従来の意匠鋼板は、外観が均一で美麗、更には美麗さがいかに長持ちするかという指標で評価されることが一般的であったが、近年外観に加えて“加工性”、“耐食性”、“耐汚染性”、“耐疵付き性”、といった機能や感染症の拡大を背景にして鋼板表面の“抗ウイルス”機能のニーズも高まっており、こうした様々なニーズに応じた機能を持つ意匠鋼板を以下に紹介する。

2.3.1 機能性ビューコート®

プレコート鋼板であるビューコート®は、顧客の脱脂、塗装工程の省略、“揮発性有機化合物(VOC)”の低減等のメリットが得られるため家電製品を中心に多く採用されている。顧客の要求性能は、“加工性”、“耐食性”、“耐汚染性”、“耐疵付き性”等使用環境、用途に応じて多岐にわたりそれらを満たす多種多様な機能性ビューコート®の開発に取り組んできた。屋外で使用されるエアコンの室外機、給湯器の筐体外板パネルを例にあげると、これら用途には高い加工性に加えて切断端面の耐赤錆性に優れた皮膜設計が必要となる。屋外では筐体パネルの汚染が目立ちやすくなるので耐汚染性付与のニーズもあった。成型加工や搬送時に疵がつくと目立ちやすいという課題もあり表面の凹凸を精緻にコントロールした柚子肌調ビューコート®の開発により採用が拡大した。近年では塗装原板に高耐食めっきのスーパーダイマ®を適用することにより製品の長寿命化あるいはトータルコスト低減にも貢献している。

レンジフード等で求められる撥油撥水機能を有するもの、温度変化が可視化できるサーモクロミック機能を有するもの、光照射による視認性に優れた再帰反射型プレコート等の機能性付与についても取り組んでおり、従来のプレコート鋼板にはない新たな商品価値を提案していきたい。

2.3.2 抗ウイルス鋼板

日本製鉄が開発した抗ウイルス鋼板は光触媒として知られる酸化チタンを利用したものである。酸化チタンは、光エネルギーにより空気中の酸素、水分を分解して活性酸素を生成し、それらの強い酸化作用によりウイルスを抑制することで抗ウイルス機能が発現する。光触媒の機能としては、抗菌、消臭、抗アレルギーの効果も期待できる。抗ウ

イルス鋼板は、既存の表面処理鋼板に光触媒機能を付与するもので、表面処理鋼板が持つ意匠性、耐食性、耐指紋性等の諸性能に加えて新たな特性が得られる。抗ウイルス性能としては低照度(500lx程度)、暗所でも効果を発揮するハイブリッド機能を有するものとした。加工性にも優れており、深絞り加工を行っても光触媒層が剥離することなく加工後も機能を維持することが可能である。

想定用途としては不特定多数の人が手に触れる製品あるいは飛沫が飛散する環境での適用が考えられ、需要家提案を展開している。

2.4 クロメートフリー溶融亜鉛めっき鋼板

建材分野においても、家電分野と同様に環境対応商品のニーズが近年高まりつつある。前述の通り、亜鉛めっき鋼板のJIS規格には次回改定時にクロメートフリー化の予定であると規格に明記されている。

2.5 端面耐食性向上ソリューション

上述の通り、ZEXEED[®]、スーパーダイマ[®]、ZAM[®]は、腐食生成物が緻密で水分や空気を透過し難いため、腐食生成物が緻密な保護皮膜となり腐食の進行を抑制する効果が高く平面部の耐食性のみならず、切断端面や加工部でも高い耐食性を示す。しかし、そこは長期に材料を使用することで、めっき部に生じた腐食生成物が端面に回り込む効果によるもので、切断初期においては赤錆発生は免れず、それを表面処理技術のみで解決するのは難しかった。そこで、切断時に物理的に切断端面にめっき成分を回り込ませる技術を検討し、傾斜端面工法、及び端面防錆せん断技術という異なる2種類の技術にて良好な結果を得ており、今後の実用化が期待される。

2.6 かたちソリューション[®]

座屈や局部変形に係る構造的な課題を克服すれば、薄板ならではの形状メリットを享受できることから、幅厚比の大きな部材の捩じれ評価、座屈設計技術の研究開発を進め、構造性と施工性を兼備する合理的な断面形状を持つ部材の実用化に注力してきた。更にこのような設計技術を、住宅構造及び家電製品やOA機器をはじめとする様々な分野へ展開してきた。かたちに注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。

かたちソリューション[®]では、コンピュータシミュレーション技術(CAE)を活用し、構造物の変形や強度発現のメカニズム分析を行うことで、具体的な改良方針と定量的効果を示している。

3. まとめ

以上紹介した通り、家電・建材用の表面処理鋼板及びそ

の利用技術は、近年飛躍的な進歩と多様化を遂げている。従来と大きく異なるのは、単一的な指標において優劣を競争あるいは、決められた基準を満たした上でいかに安価に製造するかを競っているだけでなく、素材メーカーから新しい価値の提案をすることにより、最終製品の価値の創造、更には価値を高めた最終製品を使用する消費者の生活そのものを快適にし、環境に優しい社会の創造の提案に繋がる技術の開発をするようになってきた点である。家電・建材分野では最終製品の価値を製品メーカーからだけでなく、素材メーカーからも提案できることで、日本製鉄の高い技術が社会に貢献できると考えている。また、成熟した先進国である日本では、こういった提案ができる企業が求められており、そのためには研究部門での開発のみならず鉄の使われ方の情報の蓄積及び需要家並びに社会の動向を捉えて開発に結びつける姿勢が大切であると考えている。

今回紹介した様々な技術にその想いが結集しているが、これに満足することなく、今後も更に新しい価値を提案し社会に貢献していく所存である。

参照文献

- 1) 森本康秀, 黒崎将夫, 本田和彦, 西村一実, 田中暁, 高橋彰, 新頭英俊: Zn-11%Al-3%Mg-0.2%Siめっき鋼板の耐食性. 鉄と鋼. 89(1), 161-165(2003)
- 2) 小松厚志, 泉谷秀房, 辻村太佳夫, 安藤敦司, 橘高敏晴: 溶融 Zn-Al-Mg 系合金めっき鋼板の促進腐食環境下における耐食性と防食機構. 鉄と鋼. 86(8), 534-541(2000)
- 3) 清水剛, 吉崎布貴男, 三吉泰史, 安藤敦司: 溶融 Zn-6%Al-3%Mg 合金めっき鋼板の大気暴露腐食生成物. 鉄と鋼. 89(1), 166-173(2003)
- 4) 白垣信樹: ガルバリウム鋼板の耐食性. 腐食防食部門委員会資料, 53(301), 2014-11-18, 1-7
- 5) 野村広正: 新塗装 Al-Zn-Mg 系めっき鋼板. 表面技術. 70(12), 588-592(2019)
- 6) 徳田公平 ほか: 日本製鉄技報. (419), 65(2022)
- 7) 藤井隆志: 表面技術. 70(12), 582(2019)
- 8) 金井洋 ほか: 新日鉄技報. (371), 47(1999)



中村文彰 Fumiaki NAKAMURA
薄板事業部 薄板営業部 薄板商品技術室
部長代理
東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



春田恵利 Keitoshi HARUTA
薄板事業部 薄板営業部 薄板商品技術室
部長代理