

特別講演

□第177回春季講演大会渡辺義介賞受賞記念特別講演
(2019年3月20日)

「くらしを快適にする鋼板」の 開発と実用化

Development and Practical Application of
“Steel Sheets Making Daily-life More Comfortable”

宮坂明博

日本製鉄(株)
顧問

Akihiro Miyasaka



*脚注に略歴

1 はじめに

本日は栄誉ある渡辺義介賞を頂きまして、誠に光栄に存じます。今回の賞は私が受賞したというよりも、これまで一緒に活動してきた全員の成果を褒めていただいたと理解しております。また、これまで社内外の多くの皆様から頂いたご指導、ご支援に対して、紙面をお借りして厚くお礼申し上げます。

私は1976年に新日本製鉄(当時)に入社して以来、その殆どを研究開発の第一線で過ごしてきました。入社当時担当した鉄鋼分析技術の開発に始まり、耐サワーガス鋼管や各種耐食材料の開発とその基盤である腐食研究、各種用途の電鍍鋼管の開発を経て、表面処理鋼板の開発を担当しました。表面処理鋼板では、自動車用材料(合金化溶融亜鉛めっき鋼板(GA)、GAハイテンなど)、容器用材料(飲料缶、食缶など)、家電・OA機器・建材用材料などの開発を担当し、多種多様な材料・技術の開発と実用化に携わってきました。担当したすべての商品・技術に思い入れがありますが、今回は鉄鋼協会等ではあまり語られたことがない家電・OA機器・建材用の高機能・新機能鋼板について、ご紹介することといたしました。これらの高機能表面処理鋼板は、私たちのくらしを快適にする機器や設備に適用されることから、「くらしを快適にする鋼板」と位置付けております。

2 表面処理鋼板と高機能化の方向性

表面処理鋼板とは、強度、靱性、加工性等に優れる鋼板の表面に、各種の性能(耐食性、耐熱性、潤滑性、美麗性、など)

を有する皮膜を成膜したもので、安価で高機能の材料を高生産性で製造できるというメリットがあります。従来は、鋼板の「錆びる」欠点を補う「耐食性」が主たる機能でした(図1の“corrosion plane”)。この目的からは、より耐食性の良い皮膜を高速で製膜し、生産性を向上することが求められました。これに対して、図1に示すように第3の軸として「高機能」を設定し、くらしを快適にする性能を目指すことにしました。

目標とする性能は、私たちのくらしの快適性に直結する「五感」に即し、かつ鋼板を基材として考えると、図2のような機能が考えられます¹⁾。これらを、横軸に時間、縦軸に機能・性能をとったロードマップ(図3)²⁾を作成し、それぞれの開発と実用化に取り組んできました。具体的には、図4³⁾に示す各種の高機能鋼板を開発目標として設定しました。図4にはそれぞれの高機能鋼板の持つ快適な機能と効果をあわせて示しています。表面処理技術は単一の技術から成るのではなく、図5⁴⁾に示すような、数多くかつ広範囲の要素技術で構

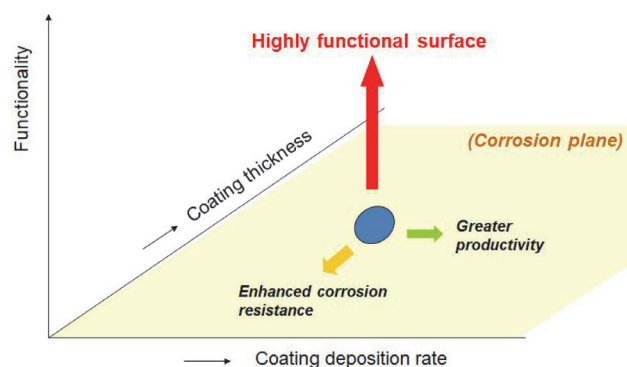


図1 高機能化の方向性

* 1976年東京大学工学部物理工学科を卒業後、新日本製鉄(株)に入社し、鋼材の腐食科学研究、各種の耐食材料や高機能表面処理鋼板の研究開発などに従事してきた。表面処理研究部長、名古屋製鉄所長を経て、2013年6月新日鐵住金(株)代表取締役副社長、2018年より顧問。2019年4月より日本製鉄(株)顧問。工学博士(東京大学)。

成されています。これらの要素技術を機能的かつ合理的に組み合わせ、目的とする高性能、快適性能を低コストで実現することが肝要です。

3 各種の高性能鋼板

以下では「くらしを快適にする鋼板」の代表的な例を簡単に紹介します。

3.1 クロメートフリー鋼板

亜鉛めっき鋼板を代表として、多くの表面処理鋼板の表面には長く「クロメート処理」が施されてきました。目的は一次防錆処理（加工されて最終製品になるまでの防錆機能）および塗装下地処理です。この処理は安価で有効なことから広く使用されてきましたが、原材料に含まれる6価クロムが環境負荷物質であることから、環境に優しい「クロメートフリー処理」が求められたため、各種用途・必要性能に対応した皮膜処理を開発しました。クロメート皮膜の機能は大きく

は、①腐食因子を遮断、②自己補修性、③塗装密着性、の3つ（図6）⁵⁾ですが、環境負荷が小さい単一の物質でこれら3つの機能を同時に実現することは難しく、機能を分担させた皮膜を形成することによりクロメートフリー化を実現しました⁶⁾（図7）⁵⁾。

塗装鋼板では塗装の下地処理（化成処理）だけではなく、塗装耐食性などの機能を担保する目的で添加される顔料、防錆剤なども環境負荷物質フリーでなければなりません。下塗り、上塗りなどの各層をクロメートフリーとしたクロメートフリー塗装鋼板を開発し、クロメートフリーをベースとした上で高性能を付与したさまざまな高性能塗装鋼板を開発してきました⁷⁾。

3.2 潤滑鋼板

鋼板をプレス成形によって複雑な部品形状に成形する場合、一般には潤滑性が高いプレス油が使われます。このとき、



図2 五感と鋼板の快適性能¹⁾

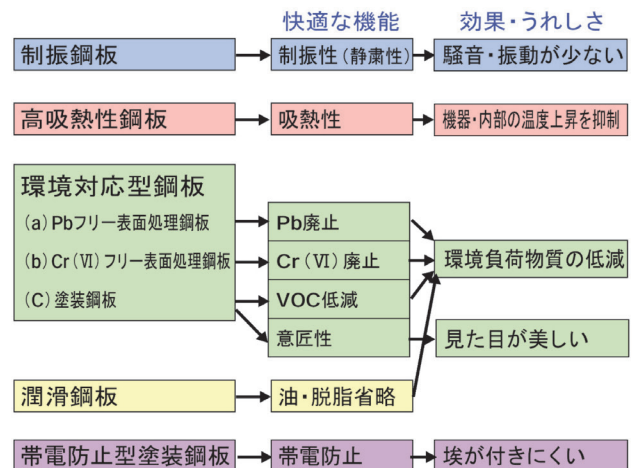


図4 くらしを快適にする鋼板とその効果³⁾

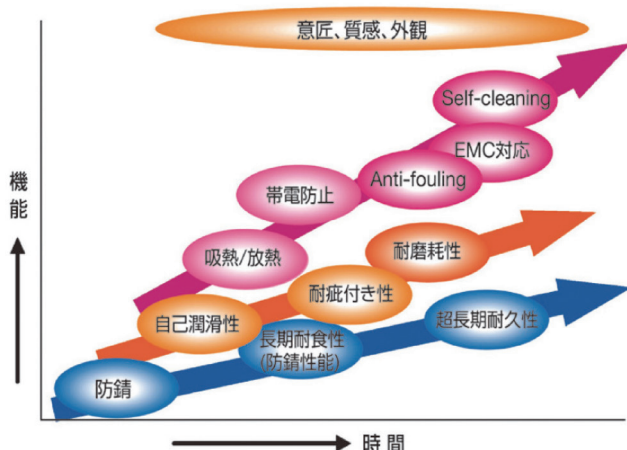
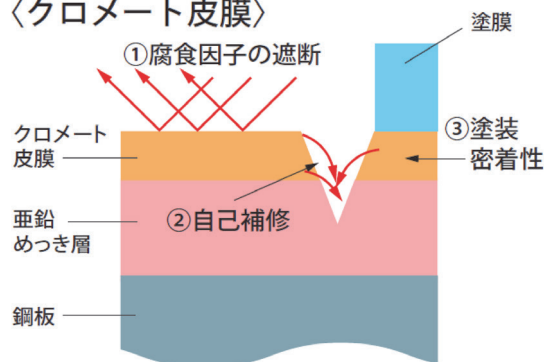


図3 くらし快適化性能のロードマップ²⁾



図5 表面処理に関する技術分野⁴⁾

皮膜の構成と機能 〈クロメート皮膜〉



皮膜に疵が付くと、水溶性の6価クロムが溶けだして皮膜を修復する「自己修復機能」を持つ。

図6 クロメート処理皮膜の構成と機能⁵⁾

プレス後にはプレス油を除去・洗浄する工程、すなわち脱脂工程が必要です。「潤滑鋼板」は表面皮膜に自己潤滑機能を持たせているためプレス油を使う必要がなく、従って脱脂・洗浄工程が不要です。さらに、潤滑にも様々な要求性能があり、他の性能との組み合わせも含めて、目的・用途に応じて多様な潤滑鋼板を開発しました。加工後に塗装しなくても美麗性を確保できる機能も有しています。

飲料の自動販売機の内部に使われる銅板では、ペットボトルがスムーズに滑り出る「潤滑性」と長期間使用できる「耐摩耗性」の両方を付与した潤滑鋼板を開発し、ご使用頂いております。

3.3 柚子肌塗装鋼板

従来、塗装鋼板には光沢があって平坦な表面を有する塗膜が使用されてきましたが、加工時や搬送時に疵がつくと目立ちやすいという課題がありました。当社では、塗膜表面の凹凸、すなわち「柚子肌」を意図的に活用して光沢を抑えた塗装皮膜を開発しました。もともと「柚子肌」は塗装欠陥の一種であり、避けるべき現象だったのを逆手に取り、積極的に活用・制御することで疵が目立たずハンドリングが容易な塗装鋼板とすることで、お客様に大きなメリットを提供した商品です。技術的なポイントのひとつは、表面の凹凸の深さとピッチを緻密に制御し、疵が目立ちにくいサイズに最適化することにあります。

3.4 帯電防止型塗装鋼板

従来の塗装鋼板では、摩擦で静電気が発生すると空気中のほこりが付着するため、拭き取りなどの作業が必要でした。これに対して当社では、摩擦でも静電気が発生しにくい「帯

〈クロメートフリー皮膜〉

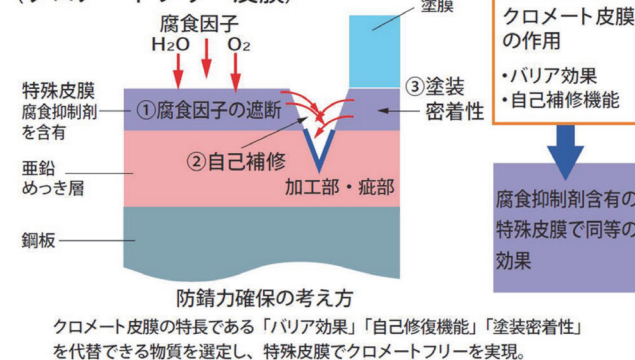


図7 クロメートフリー皮膜の構成と機能⁵⁾

電防止型塗装鋼板」を開発しました⁸⁾。導電型ではなく、帯電電圧そのものを4分の1（従来塗装鋼板比）に低減した塗膜が技術的ポイントです⁸⁾。ほこりの付着が大幅に減少したので、加工や組立時の省工程・省力化に大きく寄与しています。加工性や成形性、耐薬品性などの基本性能は従来の塗装鋼板と同等であり、家電製品を中心に今後の拡大が期待されます。

3.5 耐汚染性型塗装鋼板

キッチン等で使われる家電製品は油や調味料をこぼしても汚れが付きにくい、あるいは簡単に拭き取れる「耐汚染性」が強く求められます。併せて、洗剤や漂白剤などの薬剤に対する耐久性も必要とされます。

一般に、硬い塗膜ほど耐汚染性は良いのですが、加工性が低下します。軟らかい塗膜はその逆なので、耐汚染性と加工性とを同時に満足させることは従来の塗膜では困難でした。当社では、両者を両立する解として、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」を開発しました。ポリエステル樹脂を、硬いメラミン樹脂で架橋させて塗膜を硬くするとともに、塗膜の焼付工程で塗装表面に硬いメラミンを濃化させることで、表層は硬く耐汚染性に優れ、塗膜内部は軟らかく加工性に優れる塗膜⁹⁾を実現しました（図8）¹⁰⁾。

3.6 セルフクリーニング型塗装鋼板

耐汚染性をさらに押し進めて、使用中に付いた汚れが自然に洗い流されることで長期間美麗性を保てる「セルフクリーニング型塗装鋼板」も開発しました。塗膜表面を親水性とする¹¹⁾ことで、雨が降ると塗膜と汚れの間に水滴が侵入し、汚れを洗い流す機能を有しています（図9）。美しい外観・意匠性や加工性も併せて付与することで、加工後でも意匠やセルフクリーニング性などの機能を維持しており、家庭用燃料電池コジェネレーションシステムの外装材などにお使い頂いております。

4 かたちソリューション®

当社は1994年より、鋼材倶楽部（当時、現在は（一社）日本鉄鋼連盟）を事務局として、各社と共同でスチールハウスに代表される薄板軽量形鋼造を開発してきました¹²⁾。その中では幅/厚み比が大きい部材の振じれや座屈に関する研究開発に基づいて、合理的な断面形状を持つ部材を開発・実用化してきました。スチールハウス工法はNSスーパーフレーム工法®（NSSF工法）として発展させ、他の技術とも組み合わせることで、薄板軽量形鋼造の住宅は既に4階建てまでが認可されており、実際の建築物が建造されています¹²⁾。

こうした考え方や設計技術をもとに、住宅構造¹³⁾から家電製品やOA機器をはじめとするいろいろな分野へ展開することで鉄鋼材料の適用範囲を拡大することを考えました。「かたち」を切り口としてお客様の課題に対するソリューションを提供する¹⁴⁾ことから、この取り組みを“かたちソリューション”と名付けました^{15,16)}。「かたち」も「ソリューション」も一般的な名詞なので商標化は難しいかと思いましたが、担当者が頑張って商標化してくれました。従来の「材料」「構造」「工法」によるトータルソリューションに新たな視点を加えたものとして、様々な分野に展開しています（図10）。

NSSF工法の4階建て化に大きく寄与した開発技術の一つが、バーリング孔付き鋼板耐力壁¹³⁾です。従来の構造用面材に替わり、上下一列に大径のバーリング孔を設けた鋼板面材を枠材にドリルねじ接合した壁（図11）で、高剛性・高耐力で大変

形時の安定性および高いエネルギー吸収挙動を示します。バーリング孔の「かたち」や配置の「かたち」を最適化することで、耐力壁としての高い性能を発揮することが示されています^{17,18)}。

NSSF工法から出発して発展させた「かたちソリューション®」を他の分野に展開した代表例として、ななめドラム洗濯機側板の形状最適化を紹介します。家電メーカーとの共同作業によって、脱水時に高速回転するドラムの振動と騒音を低減する目的で、固有値解析や構造解析に基づいて「かたち」、具体的には側板ビードの凹凸形状や幅など、を最適化することで、重量を増加させることなく振動と騒音を抑える解を見出し、実用化されました（図12）。

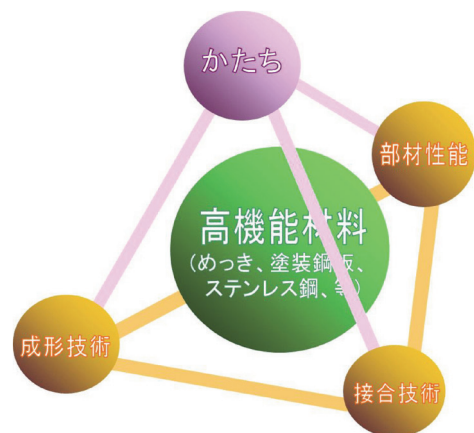


図10 従来のトータルソリューションと「かたち」

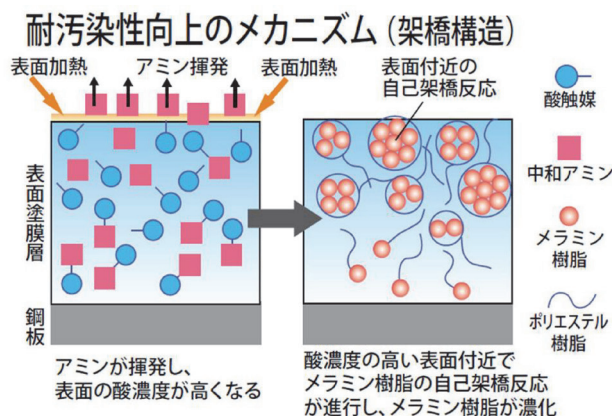


図8 耐汚染性改善のメカニズム¹⁰⁾

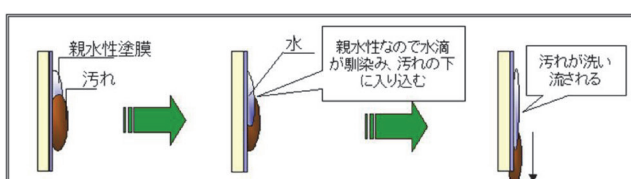


図9 汚れが洗い流されるメカニズム



図11 バーリング孔付き耐力壁
（写真提供：NS ハイパーツ株式会社）



図12 洗濯機側板ビードのかたちソリューション®
(写真提供：パナソニック株式会社)

5 今後に向けて

鉄鋼の生産は世界的には今後とも増加することが予想されていますが、増加分の殆どは海外諸国での生産です。日本鉄鋼業が今後のグローバル競争を勝ち抜いていくためには、量での競争だけではなく、質での競争がこれまで以上に強く求められます。その一つが「高機能商品」です。用途、目的、効果に応じて非常に多くの機能があり得ますが、市場やお客様のニーズを的確にとらえて開発・実用化することが今後とも肝要です。

追いかける側は有利な点が多くあります。解くべき課題は既に明確であり、解があることが分かっています。開発者にとって、解けることが分かっている課題は、解くことが容易です。課題によっては解き方も何となくわかっている場合もあります。

これに対して私たち日本鉄鋼業は、解くべき課題を自ら正しく選定して設定し、解けると信じて正しい解をスピーディに導出しなければなりません。苦しい活動ですが、これはまた技術開発の醍醐味でもあります。

私たちの先人が成し得たように、今後も日本鉄鋼業が競合者（競合メーカー、競合国、競合材料・技術）に先んずる技術開発を続けていくことを期待しています。今後ともさまざまな技術を極める（図13）とともに、その根幹である「原理原則を極める」領域では、産学官の協業をはじめとする日本鉄鋼協会の役割が非常に大きいと思います。資源を殆ど持たない日本が有する最大の資源とも言っても良い「人財」の育成とともに、本会の活動に今後とも期待しております。

参考文献

- 1) 鉄の厚板・薄板がわかる本，新日本製鐵編，日本実業出版社，(2009)，54.



図13 極める

- 2) 鉄の厚板・薄板がわかる本，新日本製鐵編，日本実業出版社，(2009)，55.
- 3) Nippon Steel Monthly, 新日本製鐵編，150 (2005)，9.
- 4) Nippon Steel Monthly, 新日本製鐵編，150 (2005)，12.
- 5) 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，和氣良介：新日鉄技報，371 (1999)，43.
- 6) Nippon Steel Monthly, 新日本製鐵編，150 (2005)，5.
- 7) 植田浩平，金井洋，野村広正，古川博康：新日鉄技報，377 (2002)，25.
- 8) 古川博康，金井洋，稲田賢治：表面技術，56 (2005)，457.
- 9) 金井洋，岡譲二，堤正也：まてりあ，33 (1994)，802.
- 10) Nippon Steel Monthly, 新日本製鐵編，150 (2005)，11.
- 11) 東新邦彦，植田浩平：表面技術，67 (2016)，375.
- 12) 藤内繁明，海原広幸，平川智久，藤橋一紀，川上寛明，眞有信博，河合良道，田中浩史：新日鉄住金技報，403 (2015)，121.
- 13) 河合良道，近藤誠，藤内繁明，佐藤篤司，小野徹郎：日本建築学会構造工学論文集，63B (2017)，553.
- 14) Nippon Steel Monthly, 新日本製鐵編，150 (2005)，13.
- 15) 半谷公司，清水信孝，中安誠明，菅野良一：新日鉄住金技報，398 (2014)，83.
- 16) 菅野良一，辻井正人，半谷公司，松岡和巳，富永知徳，尾崎文宣：新日鉄技報，391 (2011)，57.
- 17) 河合良道，近藤誠，佐藤篤司，小野徹郎，藤内繁明：日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），(2016)，841.
- 18) 近藤誠，河合良道，佐藤篤司，小野徹郎，藤内繁明：日本建築学会大会学術講演梗概集（九州），(2016)，843.

(2019年4月19日受付)