



鋼板の進化が止まらない

～期待に応える、その重みと喜び～

The Unremitting Evolution of Steel Sheets

—Its mission and pride as the spark of industrial innovation—

柳岡法篤*
Noriatsu YANAGIOKA

抄 録

鉄には永い歴史がある。それは、人々の様々なニーズに応えるべく鋭意努力してきた開発者や技術者の知恵と工夫の歴史でもある。そして、その歴史は未だ発展段階にある。鉄の進化は止まらない。

本稿では、その歴史を振り返りつつ、本技報に掲載する「くらしを快適にする鋼板」に関する様々な新鋭技術を体系的に整理して紹介し、進化の「いま」と「これから」について、営業的な観点に立ち、できるだけ分かり易く述べる。

私たちは、常に時代をリードしてきた。皆の期待に応える、その重みと喜び。日本製鉄のプライドと共に。

Abstract

Steel has a long history. It is a history of researchers and engineers overcoming challenges by dedicating their effort and wisdom to meet the needs of society. The challenge still continues today. The evolution of steel is unremitting. In this essay, while looking back on the history, I will provide some brief and systematically organized introductions using the articles of our various cutting-edge technology on “Steel Sheets for a Comfortable Life” published in this Nippon Steel Technical Report. We take on the challenge of describing the “now” and “future” of innovation in such a way that is as clear and easy to understand as possible from a marketing and sales perspective. Our technology has always led the innovation. It is our mission to exceed everyone’s expectations. With the pride of Nippon Steel.

1 はじめに

1.1 鉄の歴史

宮崎駿監督のアニメ『もののけ姫』には、砂鉄から鉄を取り出す作業を行う「たたら場」が、物語のカギを握る重要な場所として登場します。主人公のアシタカは、たたり神の呪いを解こうと旅をする中、その「たたら場」でエボシ御前と出会い、呪いの正体を知り、やがて「人間」と「もののけ」の戦いに巻き込まれていくのです¹⁾。

このような「たたら場」は、古代より日本各地に存在し、長く日本の鉄需要を賄ってきましたが、明治になって西洋式の近代的製鉄法に押され徐々に姿を消していき、今では、神話の国、島根県雲南市吉田町にある「菅谷たたら」のみが現存するだけとなってしまいました¹⁾。

時代は常に移り変わるものです。そこには様々な人間のニーズに応える形で進化し続けてきた文明の歴史があります。

例えば、人間の使う道具は、石器から青銅器を経て鉄器へと発展し、大きな進歩をもたらしました。

人類史上「最大の発明」の一つとされる製鉄の技術がいつどこで始まったかについては厳密には不明ですが、最近の研究では、古くは今から約4千年以上も前（紀元前2千年よりも前）に、トルコの首都アンカラ近くのアナトリアで始まり、この地に移住してきたヒッタイト人によって本格的に使用され始めたのではと考えられているようです。

製鉄技術はその後ヒッタイト帝国で進化し、彼らの子孫のタタール人がインドや中国にも伝えたとされています。日本には弥生時代に鉄器が伝来し、西暦400年頃には、

* 旧) 薄板事業部 薄板営業部 高耐食めっき開発室長(防錆管理士) 現) 北海道支店長

上述の「たたら場」での製鉄が始まったようです(ちなみに、この「たたら」とは前出の「タートル」族がその語源となっているとする説もあります)。

ではなぜ、鉄はこのように全世界的に広がり、私たちの生活に不可欠な存在となったのでしょうか。

もともと石器は、石を割ったり(打製)磨いたり(磨製)して作られ、多用されていました。しかし、特殊な形には加工し難いし、硬いけども割れ易く、一度壊れたら修理ができないなどの性能上の課題がありました。その後、金属の鑄造技術が開発され、熱を加えると柔らかくなり、自由な形へと加工でき、溶かせば再利用もできる金属製の道具が多く利用されるようになりました。世界的には、青銅器時代を経た後、更に硬くて粘り強く加工し易い特徴を持ち、資源としても豊富で価格も安い「鉄」が登場したことで鉄器時代へと移行したのです。私たちの暮らしも、鉄と共に進歩し豊かになってきたと言っても過言ではありません。

1.2 鉄と小麦は似ている？

さて、「鉄って、小麦と似ているな」と感じる時があります(製鉄所も製粉所も英語は“Mill”です)。鉄をもっと分かり易く理解し身近に感じて頂くために、ここから少し書面を割いて、鉄と小麦とを比べ例えて見てみましょう。

小麦は、製粉企業で小麦粉にされた後、パン(41%)や麺(33%)、お菓子(12%)を作るメーカーに卸されたり、外食事業者(11%)に卸されたり、家庭用小麦粉(3%)として小売事業者経由で私たちの家庭に販売されたりしています(平成26年度実績ベース)²⁾。

小麦は、種類もたくさんありますので、何を作るか?に合わせて、どの小麦を選ぶか?が大切になってきます。一般的には、パンやピザ、中華麺などには強力粉、うどんには中力粉(うどん粉)、お菓子やケーキ、天ぷらを作るなら薄力粉が選ばれます。中には、「生パスタにはやっぱりデュラム・セモリナ粉だ」と、こだわりの方もいらっしゃるかもしれません。

鉄にもたくさん種類がありますが、形状だけ見てみると麺類に似ているものが多いようです。中に穴があいているマカロニやペンネのような鋼管、細くて長いスパゲッティのような棒鋼・線材、少し分厚くて平べったいらザニアのような厚板、太っちょでドシッとしたうどんや関東のちくわぶのような建材製品(チョット無

理がありますが…) などなど。

数ある小麦メニューの中で、本技報で取り上げている「鋼板(こうはん)」は、特に「ピザ」に似ているなど感じる時があります。そうすると、「鉄鋼メーカーの鋼板部隊はピザ屋さんか?」となりますが、ピザ屋さんの仕事をイメージした上で鉄屋さんを見てみると、意外と似ていて、例えて話を進めると存外分かり易いかもかもしれません。

ピザはまず、小麦に塩・砂糖、お湯やオリーブオイル、ドライイーストなどの材料を混ぜ合わせ、コネて延ばして生地を作ります。その生地の種類も様々。もちもちのハンドトスやサクサクのクリスピー、ふわふわのパンピザ・イタリアン。お客様のお好みに合わせて用意できます。ベースのソースは、定番のトマトソースやホワイトソース、バジルソースなど。さて、その上にトッピングする具やチーズは何にしましょう?もちろん、サイズも選べます。2~3人分なら直径25~28cmぐらいの8カット、3~4人分なら直径約30cmオーバーの12カットがおすすめです。

鋼板は、ピザに例えると、その薄く延ばした生地が鋼の部分だと言えます。ピザと同様に種類も豊富で、その生地の種類や焼き方によって、しっかり硬めから粘り気のあるもちもちのものまでご用意できます(素材規格)。もちろん、少し厚めのものから結構薄めの生地(板厚)や、大きさ(板巾)なども様々なメニューを取り揃えています。

今回、本技報でフォーカスしご紹介するのは、その上に塗るオリーブオイルや、トマトやバジルなどの様々なソース、そしてトッピングなどに相当する「めっき」や「表面処理」、「塗装」の新技术です(図1)。様々なお客様のお好みに合わせて、味や見た目をビシッとキメる仕上げの技たちのご紹介となります。どうぞ、お楽しみに。



図1 「鋼板」は「ピザ」?

1.3 進化の歴史はニーズの歴史

さて、どのお店で何をを選ぶのか？は、その美味しさやボリュームだけではなく、もちろんコスパや、最近では見映えなんかも判断の材料になります。単に空腹を満たしたいという食欲だけではなく、美味しいものを食べたいとか、有名なお店に行ってみいたいなど、そのニーズはますます複雑化しています。また、お客様には、いつも定番商品を選ぶ方だけではなく、ユニークで特徴のあるオリジナル商品を好む方もいらっしゃいます。お客様もそのニーズも、どんどん多様化してきているのです。

そのような時代の流れを受け、作る側としては、変えずに大切に守り続ける部分と、常に新しく変えていく部分とを上手に絡め合わせながら、「いま」と「これから」の時代のニーズや期待に応え、いつまでも選んで貰えるように挑戦し続けることが大切なのです。

鉄も同じです。現在のように人々の生活のあらゆるところで使われ、とても重宝される存在になれたのは、常に多種多様なニーズを的確に捉え、それに応えるべく常に進化に挑戦し、成功し続けてきた長い歴史の積み上げがあったからなのです。

それでは次章から、これまでその様々なニーズに対応し進化してきた鉄の歴史を振り返ってみましょう³⁾。

2 これまで

実は、青銅器時代から鉄器時代に移っても、青銅器は装飾品やお祭りの時に使う祭器としては使われ続けていました。なぜなら鉄は、銅を主成分として錫を含む合金の青銅と比べて早く錆びてしまうため、芸術性や美しさを表すという点では劣っていたからです。

2.1 錆

それでは、鉄はなぜ錆びてしまうのでしょうか？

地球の空気は 21%の酸素を含みます。このため、ほとんどの金属は、純金属では存在できず大気中の酸素と結びついた酸化物の状態にあります。鉄は酸化物である「鉄鉱石」として存在するのが自然の姿です。鉄をつくるには、

鉄鉱石を炭素(コークス)で還元して「鋼(はがね)」にします。しかし、そのままでは、鋼は安定した状態に戻ろうとして、大気中の「酸素」および「水」と結合し、酸化してしまいます。この結果、発生するのが「錆(赤錆)」です。赤く錆びている状態は、鉄にとってみれば、実は、最も快適な状態なのです(図2)。

しかし、その「錆」は、そのままにしておくと、鉄の表面からその内部へとだんだん深く入り込んでいき、鉄の組織をポロポロに破壊してしまいます。ここで、そのインパクトについてもう少し詳しく見ていきましょう。

鉄は、一般的な環境(田園環境下)では、1年間で50μm程度錆びて(腐食して)しまいます。その鉄が板状の場合(鋼板)だと、1年間で、両面で約0.1mm=100μm(=50μm/片面/年×両面)腐食してしまうこととなります。より具体的に見てみると、例えば、厚みが3.2mmの鋼板では、3.2年で約0.32mm(=0.1mm/両面/年×3.2年、元の厚みの1割に相当)錆びてしまうのです。残った9割程度の厚みでは、必要な耐力が維持できなくなってしまいますので、この時点で、この鋼板の寿命が来たと思なされるのが通例です(図3:次頁)。

2.2 錆を防ぐ

このように、せっかく使い勝手の良い鉄なのですが、錆びてしまって使えなくなってしまっは困ります。そこで先人たちは、錆の原因となる「酸素」と「水」を鉄に触れさせないように遮断し、鉄を錆びさせないようにしようと、「包装」したり、その表面に「めっき」や「塗装」などの処理を施したりして、鉄にバリアを張ることを考え出しました(図4:次頁)。

2.3 めっき

「錆」を防ぐために、材料の表面にお化粧を施すのが「めっき」です。代表的な例として鉄への亜鉛めっきがあります。この亜鉛めっき処理は、自らを犠牲にして錆びることで鉄を守る役割をしています。その亜鉛めっき処理により、鉄は錆から守られ、大幅な寿命延長を実現しました(図5:次頁)。

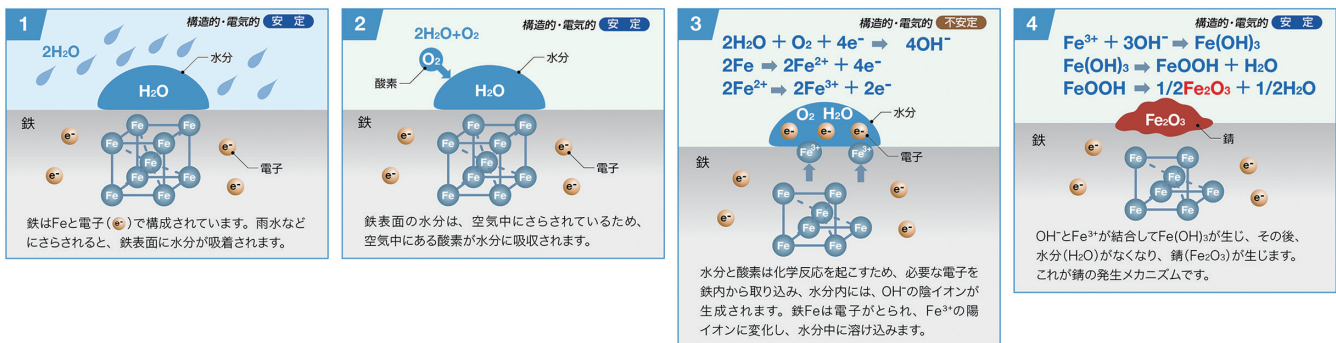


図2 赤錆びは、鉄にとっては、実は快適な状態なのです

亜鉛めっきの歴史は、イギリスで亜鉛の精錬法が改善され大量生産が可能となり、フランスで亜鉛めっき法が発明される1740年代初頭までさかのぼることができます。

先に記したように、鉄は大気中では安定した酸化物に戻ろうとします。鋼材はめっき工程にたどり着く前に表面に酸化鉄が生成するため、熔融亜鉛が付着しにくくなります。そこで、鋼材表面にフラックス(塩)を塗った後に熔融亜鉛に浸漬する方法が採られました。これが1837年に発明された「フラックス法(後めっき法)」で、この方法は現在の熔融亜鉛めっき法の原型となっています。ただ、この方法では、連続的な製造はしにくいため、その後、圧延されたコイルを連続的に高温加熱して水素で還元し、綺麗な表面にする方法が考案されました。それが熔融めっきのエポックメイクとなった「ゼンジミア法(連続式熔融亜鉛めっき法)」の発明(1931年)です。私たち日本製鉄(株)では、1953年から1954年にかけて、このめっき法を導入しました⁴⁾。

2.4 化成処理

このように、鉄が錆びないように、鉄よりもイオン化傾向が大きくて溶け易い亜鉛をめっきするのですが、実は、その亜鉛も、放っておくと鉄と同様に錆びてしまいます(白錆)。そこで、その亜鉛の錆を抑制しようとして施されているのが、亜鉛の表面に塗布される化成処理です。

その処理の中でも、最も多用され重宝されたものの一つが、薄い不動態化被膜で高い耐食性を有し、また、優れた自己修復性を持つ「クロメート」という被膜処理でした。クロメート被膜は、水溶性の6価クロムと非水溶性の3価クロムを基本成分に持つ非晶質の水和酸化物です。

このクロメート処理は、半世紀以上の長年に渡り多く活用されてきましたが、その過程で、単に亜鉛めっきを延命させる白錆防止目的だけではなく、指紋などの汚れが付きにくくなる耐指紋性や、表面を滑り易くして加工し易くする摺動性、塗装との密着性を改善する高塗装性などの様々な機能を付加し、進化し続けてきました。

ところが、そのクロメート処理にも、環境対応という時代の波が押し寄せてきました。それが、今や環境規制のグローバルスタンダードとなった、人体や環境に悪影響を及ぼす特定有害物質の使用を制限させる「RoHS指令」(EU欧州連合が2006年に施行)や、「REACH規制」(同2007年に施行)などです。それらは改正を繰り返し、6価クロムなどの物質も規制対象とされましたので、メーカー側では、環境に優しい新しい化成処理の開発を急ピッチで進め、現在では、特に自動車や電機、容器包装などの製品分野で、旧来の「クロメート被膜」ではない「クロメート『フリー』被膜」が使用される時代が到来しています。

先に挙げたピザの例で言えば、生地に塗るソースを、自然に優しく栽培したオリーブやトマト、バジルなどに変え

年間腐食速度

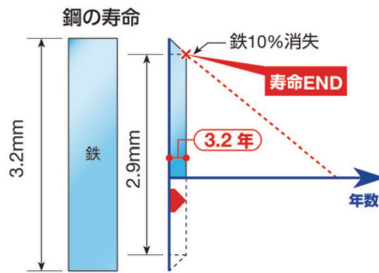
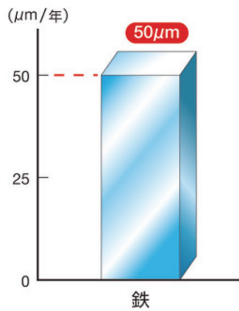


図3 鉄だけだと、早く錆びてしまいます

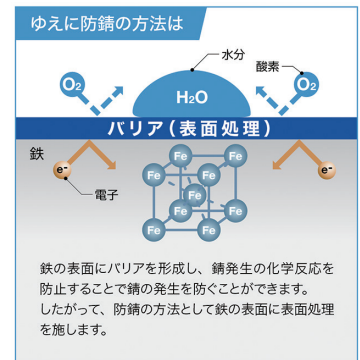


図4 では、錆を防ぐ方法は？

年間腐食速度

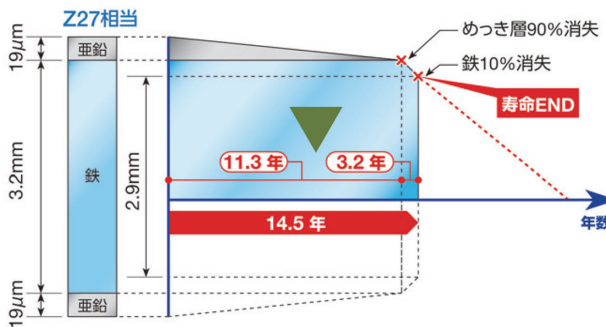
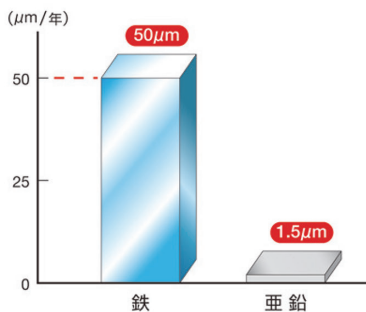


図5 亜鉛めっきすると、長持ちします

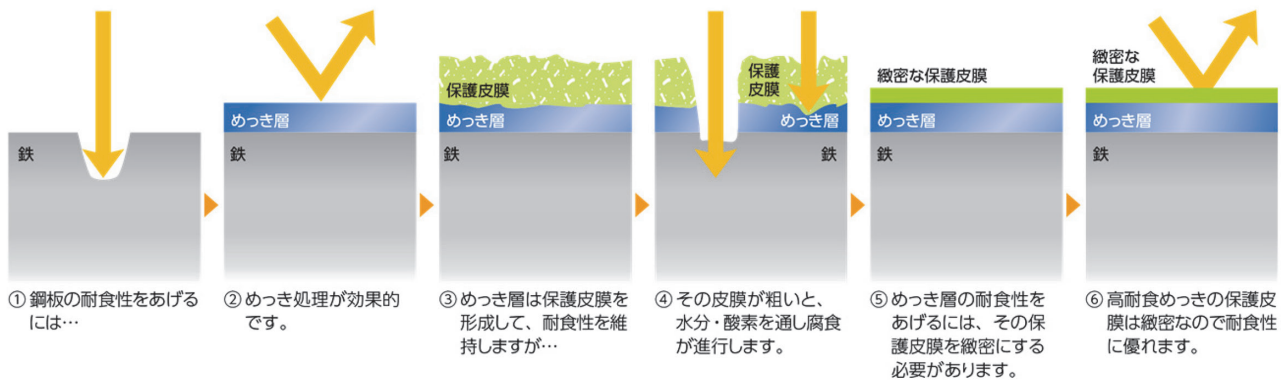


図6 鉄の表面を錆びにくくする裏ワザのメカニズム

るといった流れでしょうか。その動きは、世の中の環境への意識の高まりと共に急速に広がり、今では、自動車や電機分野だけに止まらず、その他の様々な分野においてもその意識が台頭し、定着しつつあるのです。

2.5 プレコート鋼板

お客様によっては、鋼板を部品に加工した後で、意匠性や更なる耐食性、その他の機能性を付与するために各種塗装を施す方もいらっしゃいます。そんなお客様からは、お客様の塗装工程の省略や生産性向上などのニーズが聞こえてきていました。

私たち日本製鉄は、当社で独自に開発した様々な塗料や下地鋼板を組み合わせた当社で塗装まで施すプレコート鋼板「ビューコート®」を開発し、カーテンフローコーターなどの画期的な塗装設備を活かして、多くのお客様の様々なニーズにお応えすべく、多様な改善効果を提供しています。

2.6 耐食性の向上

さて、ここで改めて「めっき」そのものの話に戻しましょう。

亜鉛めっきを施した鉄は長持ちするようになりましたが、時を重ねるうちに、更なる耐久性の向上を求めるニーズが高まってきました。そこで、更に耐食性を向上させ、鋼板そのものの長寿命化を図ろうと、めっきの成分を、亜鉛 Zn にアルミ Al を 5% 添加した「溶融亜鉛-5%Al 合金めっき (1972 年)」、更には、Al を 55% にまで増量した「ガルバリウム鋼板® (1982 年)」が開発され、その長寿命化のニーズに応えました。

そして、それから約 20 年の年月を経た 2000 年には、亜鉛 Zn をベースに、アルミニウム Al とマグネシウム Mg を添加した 3 元系めっきと呼ばれる全く新しい高耐食めっき鋼板が開発され、日新製鋼 (当時) の「ZAM® : Zn-6% Al-3%Mg」と新日本製鉄 (当時) の「スーパーダイマ® : Zn-11%Al-3%Mg」が、次々と世に打ち出されました。両製品は既に建材や自動車、家電・産業機械など、幅広い分野で採用が進んでいて (2021 年時点の国内外累計販売量: 約 1500 万トン)、今や「高耐食めっき鋼板」としてスタン

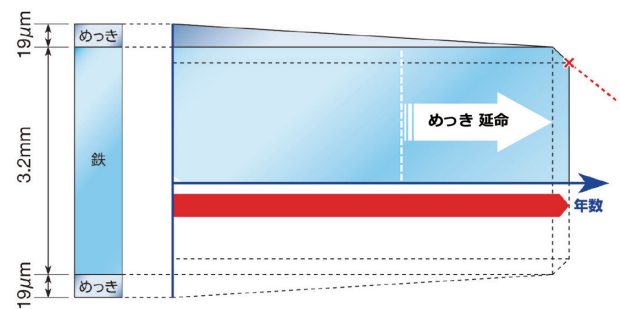


図7 めっきが長持ちすると、もっと長持ちします

ダード化しています (図 6, 7)。

2.7 利用加工技術

これらの高耐食めっき鋼板が活用された主な用途・ニーズとしては、従来のめっき鋼板では不足していた耐食性の向上だけでなく、工程省略によるコストや工期の削減、環境負荷軽減を狙った「後めっき (通称: ドブめっき)」材からの切り替えも多くあります。

ただ後者の場合、部品や製品への加工に際し、切断した箇所や溶接した部分ではめっきが消失し鋼板そのものの地鉄が露出してしまうため、初期に錆が発生することがあります。スーパーダイマや ZAM には、その周辺部分のめっき成分が溶け出して緻密な保護被膜をつくり、それが数か月間程度の期間のうちにその錆びた部分を覆うといった特殊な効果を持っているのですが (図 8 : 次頁)、先々その錆はカバーされると分かっているにもかかわらず、お客様によっては、どうしても抵抗感を覚えてしまい、ドブめっき材からの切り替えに踏み込めない方もいらっしゃいました。

そのような課題とお客様の不安を取り除こうと、私たち日本製鉄は、切断部の補修塗料や溶接材料とその方法、溶接をしない接合方法など、高耐食めっき鋼板を使いこなす様々な利用加工技術を開発し、提供してきました。

その効果もあり、様々な向け先でドブめっき材からの切り替えが進みましたが、未だに、その初期錆を嫌うお客様もいらっしゃいますので、それが、私たちの宿題の一つと

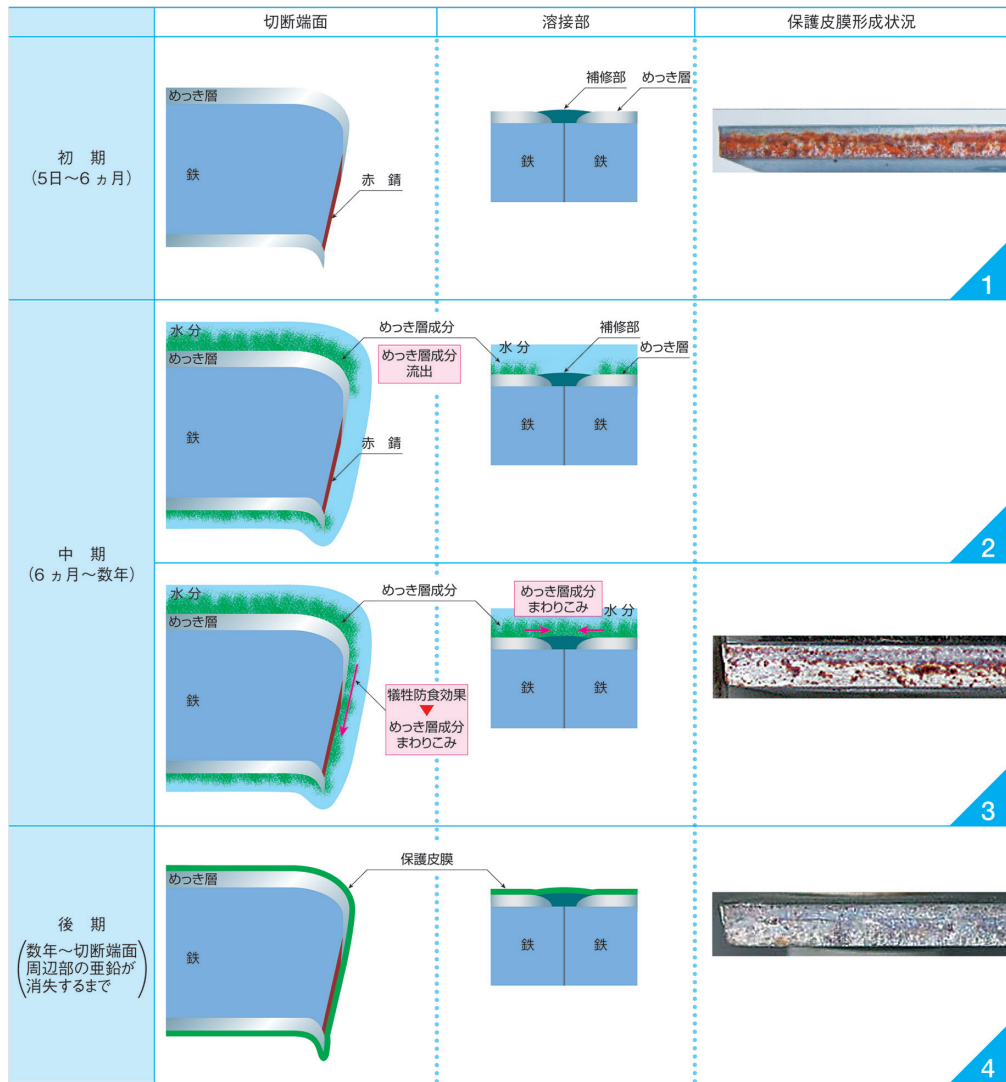


図8 切断部や溶接部も、時の流れと共に変化が...

して残っている状態です。

3 いま（現状）

3.1 本技報で紹介する論文

さてこれまで、鉄の歴史と共に、鋼板の技術の発展の道りを見てきました。止まらぬ社会のニーズに応えようと進化することで、新しく見えてくる次のニーズがあります。そこで、いよいよ、本技報で特集している当社の最先端の研究・技術・開発のエッセンスのご紹介に移りましょう。

詳細は、この後頁に続く技術展望や各論文に委ねるとしまして、ここでは、そのそれぞれの技術が、どのような新しいニーズに対して、どんな改善の切り口で対応したのかについて、マトリクスに整理してみます（表1：次頁）。

まず、主な「新規対応ニーズ」（表右側）ですが、「素材性能」と「環境性能」、および、「加工品性能」の3つに大別できます。その「素材性能」は更に、「耐食性」と「意匠性」、「機能性」に区別することができます。

それらの各ニーズに対応する「改善の切り口」としては、

「めっき」や「化成処理・塗装」といった「表面処理」の部位と、「利用加工技術」や「形状提案」などの「改善提案」とに整理することができます。

本稿でご紹介する技術は、先に例えたピザで言うと、その大宗が、生地（鋼板）ではなくソースやトッピングの部分（めっきや化成処理など）、および、その調理の方法についてのものだとして理解し読み進めて頂くと、より分かり易いと思います。

それでは、以下、各々のテーマごとに区分けし、もう少し深掘りを進めていきましょう。

3.2 更なる耐食性の向上

現在、喫緊の課題となっている国土強靱化や社会インフラ老朽化への対策では、過酷な環境においても高い耐久性を求められます。このような土木・社会インフラ分野では、ドブめっきや後塗装した材料が一般的に使用されていますが、現下、更なる長寿命化のニーズが高まりつつあります。その期待に応えるべく、私たち日本製鉄が世界に先駆けて商品化に成功したのが、究極の耐食性能を誇る超高耐食

※下線付き文字をクリックすると、
該当論文・ウェブページに移動します。

表 1 本技報で取り上げている鋼板メニュー

「薄板カタログ一覧」は、こちらをクリック

日本製鉄技報 419 号 「くらしを快適にする鋼板特集」			改善の切り口、対応部位			主な新規対応ニーズ				
No	頁	論文タイトル	表面処理		改善提案	素材性能			環境性能	加工品性能
			めっき	化成処理 塗装	利用加工技術 形状提案	耐食性	意匠性	機能性	環境対応	加工・形状
5	25-30	ヘアライン調電気めっき鋼板 FeLuce®	FeLuce®				FeLuce®			
6	31-34	防虫鋼板、抗ウイルス鋼板		防虫/抗ウイルス				防虫/抗ウイルス		
7	35-43	下層塗膜の色調を生かした新しい機能性プレコート鋼板の提案		機能性 VK				機能性 VK		
8	44-47	クロメートフリースバンクル模様溶融亜鉛めっき鋼板 (スバンクルジंक®)	スバンクルジंक®				スバンクルジंक®			
9	48-51	溶融亜鉛めっき鋼板用クロメートフリー処理 QC の開発		QC					QC	
10	52-54	接着性に優れたクロメートフリー処理 QA の開発		QA				QA		
11	55-58	SuperDyma® Crystal	SD® Crystal				SD® Crystal			
12	59-64	建材向け 2%Mg 添加 55%Al-Zn-1.6%Si 合金めっき鋼板 “エスジーエル®” および “塗装 SGL”	エスジーエル® 塗装 SGL	塗装 SGL		エスジーエル® 塗装 SGL	塗装 SGL			
13	65-69	新高耐食めっき鋼板 “ZEXEED®”	ZEXEED®			ZEXEED®				
14	70-73	クロメートフリーブリキ (EZP®)		EZP®					EZP®	
15	74-80	端面耐食性向上ソリューション —初期端面耐食性向上のための切断技術の開発—			端面耐食性 向上ソリューション					端面耐食性 向上ソリューション
16	81-86	かたちソリューション® —構造軽量化のための 5 つの改良視点と具体例—			かたち ソリューション					かたち ソリューション

めっき鋼板「ZEXEED® : Zn-19%Al-6%Mg-Si」(論文 13 : 65～69 ページ) です (当社実施の試験では、平面部の耐食性が従来の高耐食めっき鋼板の約 2 倍、溶融亜鉛めっき鋼板 GI の約 10 倍向上することを確認しています)。

また、屋根や外壁に多用されている前出のガルバリウム鋼板にも同様に、更なる耐久性のニーズが出てきましたので、当社と日鉄鋼板、および、豪州の BlueScope Steel 社が協働で「エスジーエル® : 2%Mg 添加 55%Al-Zn-Si 合金めっき鋼板」を開発し、その表面に塗装を施した「塗装 SGL」と共に、製造販売をしています (論文 12 : 59～64 ページ)。

亜鉛めっき鋼板から始まり、これらの究極の素材へと進化した今、その優れた耐食性が様々な製品の長寿命化を実現し、今後ますます懸念される労働人口の減少に伴う省工程・省力化などのライフサイクルコスト削減にも大きく寄与し、未来の人々の生活を豊かにすると期待されているのです。

3.3 環境に優しい新化成処理

前述のように、自動車や電機製品を皮切りに、めっきの表面に施す化成処理のクロメートフリー化が加速していますが、私たち日本製鉄も、その流れをリードする形で、様々な商品を開発し提供しています。

その中の一つが、クロメートフリーブリキ「EZP®」(論文 14 : 70～73 ページ) です。ブリキは、錫をめっきした鋼

板で、主に食缶や飲料缶、一般缶などの容器用素材として世界中で使用されている高リサイクル率を誇る環境に優しい素材です。そのブリキの表面は、一般的には食品安全性上問題の無い 3 価のクロメート被膜が施されていますが、当社では、REACH 規制で規定されている 2024 年の 6 価クロムの使用期限に先んじて、製造プロセスでクロムを含む化学物質を使用しないという、作業環境の改善技術を開発したのです。

また、近年の環境意識の向上に伴い、国内の建材分野においても環境負荷物質の使用低減についての社会的要請が高まってきています。日本産業規格 (JIS) における鉄鋼製品の規格についても、建材用途に使用される表面処理鋼板のクロメートフリー化が進展していて、既に 2017 年 6 月公示にて一部製品のクロメートフリー化が進展したことに加え、次回 JIS 改正時には対象となる製品が更に拡大される見込みです。

私たちは、このような社会の変化に的確かつ迅速に順応するため、多種多様な用途に活用されている溶融亜鉛めっき鋼板用にも、新しくクロメートフリー処理「QC」(論文 9 : 48～51 ページ) を開発し、既に、環境配慮への意識が高いお客様へ提供を開始しています。

3.4 めっきに意匠を施す

鉄を錆びさせないようにするために、鉄の表面に施す「めっき」。これまで見てきたように、その代表的なものは

亜鉛めっきですが、その「めっき」そのものは金属ですので、実は、その表面は、とても美しい金属光沢を有しています。

当社の商品には、どうせめっきするなら、その特徴を活かし、むしろ、その表面に更に美しい意匠を施してデザイン性や視認性を高め、そのまま商品化しようと思われたものもたくさんあります。そのいくつかをご紹介します。

まずは、ヘアライン調電気めっき鋼板「FeLuce®」(論文 5: 25～30 ページ) です。この超高意匠鋼板は、耐食性を持たせるために施した亜鉛とニッケルの合金めっき層に、研削ブラシを使って直接ヘアライン加工を行い、その上に、耐指紋性や耐薬品性などの機能を持つ 2 色 (無色と黒色) の透明な樹脂を薄くコーティングすることで、金属素材が持つ本来の美しい意匠性を活かしつつ、機能性をも両立させることに成功した画期的な開発品です。現在、家電製品や産業機器、鋼製家具、内装建材など様々な用途向け先に提案を進めている真っ最中ですので、近い将来、製品に使用されて、目にする機会が増えてくるはずです。

次に、環境対応型クロメートフリースパングル模様溶融亜鉛めっき鋼板「スパングルジンク®」(論文 8: 44～47 ページ) です。当社の溶融亜鉛めっき鋼板には、花柄模様のレギュラスパングル仕上げというものがあります。この模様は、めっき工程において、高温で溶けて鋼板に付着した亜鉛が冷えて結晶化する際に生まれるもので、その均一で美しい意匠が好まれ、建築物の空調ダクト用途などでよく使われています。ただ、その花柄はもともと、鉛などを添加して成長させたものでしたので、環境対応を重んじた当社は、先んじてその鉛フリー化を実現しました。更に、その化成処理についても研究を進め、この度、従来どおりの外観・耐食性・加工性などを担保したクロメートフリー被膜の開発に成功し、クロメートフリーかつ鉛フリーの環境対応型新商品としてスパングルジンクの提供を実現したのです。

そして最後に、「SuperDyma® Crystal」(論文 11: 55～58 ページ) です。海外の高耐食めっき市場でも多用されるようになったスーパーダイヤモンドですが、類似品や模造品が出回り始めたため、お客様の製品が本物のスーパーダイヤモンドを使用していると分かるようにすることで、スーパーダイヤモンドとそのお客様の製品のブランド価値の維持と向上に繋がるように工夫する必要がありました。そこで当社は、スーパーダイヤモンドのめっき組成を制御し結晶光沢の加減を局所的につくり分けて透かし文字の様に文字を浮かび上げらせ、更に、その上に青く着色した化成処理を施すという組み合わせの技術で差別化を図っています。

3.5 化成処理や塗装に機能を載せる

めっき表面に施す化成処理や塗装に対しても、更に新しい機能を加えてその鋼板の性能を向上させた商品がありま

す。

一つは、接着性に優れたクロメートフリー処理「QA」(論文 10: 52～54 ページ) です。先に記したように、溶接をすると、その部分のめっきが消失してしまうので錆びを防ぐための補修が必要となりますし、溶接時に発生するヒュームへの懸念や溶接不良に対する品質的な不安もありますので、最近では溶接ではなく接着で接合するケースも増えてきています。

私たちは、このような新しいニーズに対して、鋼板表面との接着強度が高く、かつ、長期間に渡ってその接着性や耐食性を保持できる特殊なベース被膜を開発し、現在提供中です。

もう一つは、下層塗膜の色調を活かした新しい「機能性プレコート鋼板」(論文 7: 35～43 ページ) です。先にご紹介したビューコート表面に様々な機能を持たせた無色透明な被膜を施すことで、下地の意匠を活かしつつも、例えば、メンテナンスを容易化させる撥油・撥水型や、暗い所での視認性を高め安全対策に役立つ再帰反射型、また、温度によって色が変わり、高温や低温による危険を視覚的に注意喚起させることが可能なサーモクロミック型など、多種多様なニーズを的確に捉えた高付加価値の商品を生み出しています。

更には、衛生に対する意識の高まりに応えるべく、害虫に対する忌避性を有する「防虫鋼板」や、可視光応答型光触媒により抗ウイルス性を発現する「抗ウイルス鋼板」(論文 6: 31～34 ページ) も開発しています。

防虫鋼板は、従来の加工性や耐食性はそのままに、その表面処理にゴキブリなどの衛生害虫が嫌う防虫成分を含有させ、近寄らなくなる(忌避性を示す)ようにしたもので、主にキッチンまわりの家電製品に使用されています。

また、当社の抗ウイルス鋼板は、屋内照明レベルの照度でも抗ウイルス効果を発現するだけでなく、暗所でも効果を発揮するハイブリッド機能を持たせました。この商品も、従来の加工性や耐指紋性などの機能はもちろん維持できる品質レベルに開発しましたので、例えば、先にご紹介した超高意匠性鋼板 FeLuce にこの抗ウイルス効果を搭載させることで、オフィス家具や公共施設の内装、家電製品などでの採用も期待されています (Anti-Virus シリーズ)。

3.6 使いこなす

ここまで、当社の最先端の鋼板技術をご紹介してきましたが、それらの素材をどのように使えば良いのか? 実は良く分からないと悩まれている方もいらっしゃると思います。私たち日本製鉄は、そのようなお客様のニーズにお応えすべく、その加工方法や使い方についても研究を重ね、それぞれの商品の性能を最大化できる利用加工技術についても、皆さまに提案しています。

その一つが、「端面耐食性向上ソリューション」(論文

15：74～80 ページ) です。

先に記しましたが、切断加工した後にめっきを施すドブめっき材とは異なり、溶融亜鉛めっき鋼板では、例えばそれが ZEXEED などの超高耐食性めっきでも、切断部分にはどうしても初期に錆が発現してしまうことがあり、お客様の材料選定時の課題として残っていました。

そこで、私たちは、食材への包丁の入れ方で味を更に美味しくするのと同じように、鋼板の切り方を工夫することで、鋼板表面のめっきの成分を切断部分にも回り込ませ覆わせることでその課題を解決しようと、「切断端面に傾斜を付ける切り方」や「せん断用金型を工夫した切り方」など、様々な切断方法の技術的な検討を進めているところです。

更に、私たちは、鋼板でつくる「あるべきかたち」(料理のレシピやその調理方法そのもの)についても、提案したりすることもしています。そのエッセンスをまとめ上げたのが、構造軽量化のための5つの改良視点と具体例「かたちソリューション®」(論文 16：81～86 ページ) です。

お客様の製品や設備・建物の中で、鉄は、生き物のからだで言うと主に、骨や皮、そして、様々な臓器を支え固定する部材として使われています。生き物が、それぞれの個体に合ったからだを設計しているのと同じように、私たちの身の回りの物も、その多くがそれぞれの製品に見合ったデザインで設計されているのですが、その中には、既に標準化・一般化された設計思想をそのまま流用して作られているケースも散見されます。それは今どきのスタイルではなく、また、もしかしたら、からだに負担を与えているかもしれません。

今どきは、軽くて強いからだ(細マッチョ)がトレンドですから、構造性能を保ちながら軽量化を実現できるかたちを探し出しデザインすることがゴールとなります。最近の筋トレやダイエットが、単に筋肉運動や食事制限をするのではなく、各人の身体や生活スタイルを科学的に分析した上で適切なゴールを設定し、そこに辿り着くまでのメソッドをきめ細やかに組み立てて、しっかりフォローするのと同様に、最適な形状を見出すためには、素材や形状、荷重などの様々な検討条件を変数と共に織り込みつつ、いく通りのデザインを考案しその効果を検証していく必要があるのです。

私たち日本製鉄は、建築分野で長年培ってきた薄板の鋼構造設計技術の蓄積を活かし、その改良の視点を整理・標準化し、かたちに注目した鋼材利用へのソリューションとして提案できる体制を整え、様々なお客様の多種多様なレシピ作りにも貢献しています。

3.7 ニーズを受け止め・応える

このように、私たちは、様々な人々のたくさんのニーズを受け止め、それに応える新しい技術を開発し、より良い快適な暮らしを鋼板で実現しようと尽力しています。

そして、その方向は、ある新しく大きな期待に向かっていくことに気づかれると思います。それは、私たちのくらしがいつまでも安全・安心で長く続くものになることです。

長寿命化や省工程化を実現する商品、そして、それを使いこなすための技術など、それが、より良い快適な暮らしの実現＝環境に優しい持続可能な社会の実現に向けた、私たち日本製鉄の挑戦なのです。

4 これから

4.1 新しいニーズ：「環境に優しく」

さて、ここで、これまでご紹介してきた内容を少し振り返ってみましょう。

約4千年前に人類が手にした鉄は、その後、人々の様々なニーズに応える形で進化し続け、今では、あらゆるところで使われ活躍しています。私たちの生活は、鉄と共に進歩し、だんだんと豊かになってきたと言えます。ところが、人々のくらしが便利で快適になるに従って、地球温暖化や気候変動による環境への影響が問題となってきました。

そして今、新しいニーズが生まれ、とても巨大な波となって私たちに強く激しく打ち寄せてきています。それが、産業革命以来の社会経済変化と言われる、脱炭素に向けた潮流「環境に優しく」です。既に、持続可能な社会の実現に向け、地球規模で課題に取り組む SDGs も始まっています。

4.2 日本製鉄の環境経営

私たち日本製鉄は、これまでも、環境に優しい商品づくりや省エネルギーに積極的に取り組んできました。それは、環境基本方針に掲げる3つのエコ、「①エコプロセス：つくるときからエコ」、「②エコプロダクト®：つくるものがエコ」、「③エコソリューション：世界へひろげるエコ」と、④革新的技術開発の4本柱による環境経営の推進であり、その中でも、現在、私たちが最も力を入れているのが『革新的技術開発：INNOVATION』です(図9：次頁)⁵⁾。

鉄は、これまでの方法では、つくる時にどうしてもCO₂が発生してしまいます。

そのCO₂を出すことなく鉄をつくるためには、数千年も続いてきた鉄のつくり方そのものをがらりと変える必要があります。それは、これまで人類が到達できなかった前人未踏の技術への挑戦です。

私たち日本製鉄は、人間だけでなく全ての生き物が生きやすい地球になるために、「2050年を目標にCO₂発生実質ゼロ」という長期的なビジョンと明確な目標を掲げ、3つの超革新的な技術開発(「100%水素による直接還元」、「高炉法による水素還元製鉄」、「電炉法による高炉法並の品質を有する鋼材生産」)と、その複線的な組み合わせの実現に、鋭意挑戦しています(『鉄と水素で、世界の空気と未来を変えていく』)(図10：次頁)。

3つのエコと革新的技術開発

エコプロセス つくるときからエコ



当社は世界最高レベルの資源・エネルギー効率で鉄鋼製品を生産するとともに、更なる効率改善を追求し、環境に配慮したエコプロセスを目指します。

エコソリューション 世界へひろげるエコ



「世界最高水準にある当社グループの環境・省エネルギー技術を国内に展開・普及させるとともに海外へ移転・普及させることで地球規模のCO₂排出量削減や環境負荷低減に貢献していきます。

エコプロダクツ® つくるものがエコ



世界をリードする技術力で、環境にやさしいエコプロダクツ®を生産・提供し、持続可能な社会構築に向けた省資源・省エネルギーや環境負荷低減に貢献していきます。

革新的技術開発



当社は、省資源・省エネルギー・環境負荷低減に資する技術や製品を社会に提供するために、革新的な先進技術の開発に中長期的な視点で取り組みます。

図9 3つのエコと革新的技術開発



図10 Make Our Earth Green

しかし、その技術が確立して、その商品をお客様に届けられるまで、どうしても、もうしばらく時間がかかってしまいます。その間、何もせずに待つしかないのか？私たちはそんなの我慢できません。ですから、その新しい世界が実現するまでの間も、知恵と工夫を凝らしながら、常に世界最高の技術とものづくりの力を追求し、私たちの技術と商品で的確に応えていこうと尽力しているのです。

4.3 いま、できること

では、いったいどんな改善の切り口があるのでしょうか？ここで一緒に、少し頭を巡らせてみましょう。

皆さまも、「3R」という言葉を聞いたことがあると思います。「3R」は、Reduce：リデュース（削減）、Reuse：リユース（再使用）、Recycle：リサイクル（再資源化）の3つのRの総称で既に私たちの生活に定着して久しいですが、その言葉の中には、今でも、鉄を使いこなす上での、今後の私たちが向かうべきヒントや方向性が隠されています。

まずは、Recycle（リサイクル）。これは、鉄の誇る特徴の一つで、鉄は、使い終わった後も、何度でも何にでも質を落とさずにリサイクルができるという、とても便利で優れた特性を有しています。鉄を使いこなして使いきる。これが、環境の保全に効くのです。

次に、Reduce（リデュース）。鉄は、つくる時に発生する単位あたりのCO₂発生量が他の素材と比べて少ない素材ですので、鉄を使うことで環境への負荷を減らすことができます。また、例えば鋼板を使用する場合は、私たちの製造ラインで先にめっきや塗装を施すことによって、ドブめっきや後塗装などの後工程やそこでの作業はもちろんの

こと、製造工程一貫でのCO₂の発生量を減らすこともできます。加えて、一般的な亜鉛めっきではなくZEXEEDのような耐食性の高いめっきに切り替えることで、亜鉛の使用量を減らすことも可能ですし、更には、商品自体の長寿命化を実現することで、将来の取り替え時期を先延ばしし、将来の取り替え材料やその取り替えの手間などを削減する効果も期待できるのです。

最後に、Reuse（リユース）。これは、世の中的には未だ途半ばの状態だと思われそうですが、将来、使用済商品の本体や部品を再利用することや、例えば家と同じように骨格となる部分はそのまま活かしながら、必要な部分だけ手入れやリノベーションしながら利用し続けることの価値が認められて高まり、仕組みが整ってくれば、それを可能とするリユースを前提とした商品設計が加速すると考えられます。その際、必要になってくるのが、繰り返し利用にも耐えられる長寿命な材料です。ここでもやはり、鉄への期待が高まるのです。

4.4 時代の流れ

ここで、「消費者」と「事業者」、それぞれの立場から時代の流れを見てみましょう。

「消費者」としては、環境に優しい商品を積極的に利用するようになるでしょう。耐久性が高く省資源化設計の商品を選んで、手入れや修理をしながらできるだけ長く大切に使うようになるでしょう。壊れたら「新しいものを買えばいい」とか「取り替えればいい」といった使い捨てを前提とした考え方だけではなく、できるだけ「壊れないものを買おう」とか「取り替えて使えるものにしよう」という意識やスタイルも膨らみ、だんだんと、現在の「個」の快適さだけではなく、長い目でみた「公」の持続性が、価値観や判断基準の中に組み込まれ、その比重は徐々に高まっていくものと想定されます。

それは、身近なところでは、食品選びの際の思考パター

ンに似ています。時代の流れと共に、「食べたいもの」や「好きなもの」、「安いもの」を選ぶスタイルから、「自らの健康」を考え、無農薬や有機栽培などの食品を買うような潮流が生まれ、今では、「私たちの地球とその未来のこと」を考え、できれば環境に優しい食品を選ぶようになってきました。

自らも、そして、周りも、「その方が『カッコいい』」から「それが『当たり前』」に変わり、最後は「それでなければ『ダメ』」になる。そのスピードはどんどん加速していきます。新しいコンセプトの台頭です。

このような動きは、個人消費だけではなく、「事業者」側に対しても同様に響いてきています。地球環境へのダメージを減らす企業活動が評価されるようになり、環境保全に真剣に取り組んでいない企業は社会からの支持を得られなくなりつつあります。「それでなければ『ダメ』」が、もうそこに来ていて、事業者側の目線も変化せざるをえないのです。

製造業では、商品を生産する時に、できるだけ環境に優しい原材料を最小限に使い、また、アフターサービス(点検・手入れ・修理)を充実させ、長期使用を促進すると共に、使用済商品を効率的にリサイクルするようになるでしょう。そうなった場合、鋼板に求められる品質的なニーズは何か?その答えとしては、繰り返し利用にも耐えられる長寿命の耐久性であり、更には、追加の加工が容易で(例えば、溶接や接着ではなく、取り外しが可能な非溶接での接合などの)再利用の可能性を持つ材料が挙げられます。そのような新しい設計思想に合致する材料として鉄への期待感が高まり、そのニーズは更に深まると考えられます。

また、インフラや建物などの公共物についても同様です。人やものと同じく、設備も時の経過と共に老化してしまうことを目の当たりにし、老朽更新や国土強靱化が喫緊の課題となり、長持ちさせることが安心や将来のコスト、ひいてはCO₂の発生も抑えられることに気づいた今、明るい未来を子孫に残すためにも、最新のイノベーションを活用し、長寿命化を実現し、将来の懸念を少しでも多く早く取り除く必要が出てきているのです。

「いま」、「将来」のために、何ができるか?「私」や「個」ではなく、「公」や「全体」の視点に立って考え行動する。そういった姿勢が評価されるような時代がきっと来ます。

4.5 鉄のポテンシャル

先にも述べましたが、鉄そのものは、製造時に排出する温室効果ガス排出原単位が低く、また、実質的に全量がリサイクルされ、新たな温室効果ガス排出を低減している持続可能(サステナブル)な素材です。「つくる時」だけではなく「使い終わった後」まで、全行程一貫での環境への影響を図るLCA(ライフサイクルアセスメント)という観点で見ても、とてもエコな素材である鉄の可能性はまだ未知数であり無限大なのです。

私たちは、そのポテンシャルを最大化するために、私たちの持つ技術開発力と高付加価値商品を安定生産する製造力を活かし、国内外のお客様との総合的な取り組みを一層深化させていきます。そして、その活動を推進する中で見出した新商品開発のニーズに対し、各分野で研究開発・商品化を更に押し進め、その先進性を私たちのグループ全体として活かし、社会の姿を守り続ける新たな環境素材のあり方をお手本にしていきたいと思います。

私たち日本製鉄は、未来の人々のより豊かな生活、安全・安心な社会の実現と、省エネ・環境負荷低減・循環型社会の構築に貢献していきます。

5 おわりに

本稿では、鉄のプロの皆さまに対してだけではなく、鉄にあまり馴染みのない方やこれから勉強してみようと考えていらっしゃる方々に対しても、少しでも鉄に興味を持ち身近に感じて頂けるよう、できるだけ分かり易く内容をかみ砕き、イメージし易い表現となるよう工夫してみました。

以降のページで、本技報本来の本格的・技術的な内容に入りますが、最後に、もう少しだけ、鉄を別の身近なものに例えてみることにしましょう。それは、カクテルです。

5.1 鉄づくりはカクテル作り?

鉄のつくり方は、カクテルを作る作業に似ています⁶⁾。

鉄は、鉄鉱石などの原料と、石炭などの燃料を、高炉というシェーカーの形に似た装置に混ぜ入れ、高温で溶かしながらかつていきます。その様はまさに、酒やリキュール、ジュース類と氷をシェーカーに入れてシェイクするのによく似ています。ただ、その装置の大きさ(日本の高炉の一般的なモノでは、高さ30m×胴回り50m)や温度(出てくる鉄の温度は約1500℃)は、カクテルとは対照的に全く違いますが(図11:次頁)。

ところが、こうしてできた鉄は、実はそのままだとあまり美味しくはありません。そのベースとなる材料どうしの成分の一部が互いの良い味を殺しあってしまう、せっかく美味しいカクテルができるはずなのに、多くの方々の好みに合うオールマイティーなものにならないことが多いのです。

そこで、製鉄の工程では、転炉というミキシンググラスに似た装置にその鉄を入れ、酸素を吹き込んで余計なものを燃やしながらステアし、その上澄みの美味しい部分だけを流し込んでカクテルの原液を作ります。こうしてでき上がるのが、様々な産業の基礎素材として多用される鋼(はがね)と呼ばれるものです(「鉄」と「鋼」は、厳密には違うもののなのです)。

しかし、せっかく作ったカクテルも、原液の状態のままではお客様には提供できません。そこで、次にその原液を

グラスに注ぎこみ液体に形を与える工程へと移ります。

カクテルにはカクテルグラスやオールドファッショングラス、コリンズグラスなど様々なカクテルスタイルに合ったグラスが用意されていますが、鉄にも多種多様なかたちがあります。それぞれの品種ごとに、その製造工程に合わせた様々な工場や設備が準備されています。この点では、はじめにお話しした小麦の例と同じように、お客様のニーズや好み、用途やスタイルなどに合わせて、様々な鉄をつくり、提供できるようにしていますのです。

さて、最後はデコレーションです。カクテルの味（品質・機能）は、見た目（後処理）のもうひとつと間で更に際立ちます。カクテルの場合は、グラスの縁を鮮やかに飾る装飾フルーツやレモンピールなどがその代表例ですが、鋼板の場合は、本稿でご紹介した鋼板の表面に施すめっきや化成処理、塗装などがそれに相当します。錆びにくくしたり意匠性を高めたりして仕上げてから、ようやく完成するのです。なんだか、ピザと似ていますね。

（本稿でご紹介する最先端技術は、この最後のひとつと手間に対するこだわりの結晶です。）

ちなみに、お客様には、ダイキリやマティーニなどの定番カクテルではなく、ご自分の好みやその時の気分を伝え、「そんなので、いい感じのない？」などといったご注文をされる方もいらっしゃいます。そんな時には、プロとしてお客様のご要望に沿ったレシピ（商品）を持ち前の材料と技術で創り出し、一番美味しい飲み方と併せてご提案差し上げます。これがソリューション（問題解決型）営業で、それで喜んで頂けたら「最高！」です。

ただ、いくら素晴らしい新作カクテルを創作できても、それが、多くのお客様のニーズや時代のトレンドに沿っていないければ、一度きりのスポット商品で終わってしまい、定番商品となって世の中に広く出回ることはないでしょう。だからこそ、私たちは常に、お客様との対話からニーズを掴めるように努め、開発が独りよがりにならないように意識を張り巡らせているのです。

興味深いのが、カクテルと同様に、鉄をつくる場合も、いくら同じレシピや同じツールで作ったとしても、ほんの少しのさじ加減（材料の配合具合や調理時間など）や、バーテンダー（鉄鋼メーカー）の実力、その店の雰囲気（気温や湿度他）などによって、ほんの少し

だけ味が違うことがあるということです。お客様には、コスト重視で、少しぐらいのブレは許して（呑み込んで）頂ける方もいらっしゃいますが、味にこだわりを持つお客様に対しては、甘えは許されません。品質もコストもどちらもご満足頂けるよう、匠（たくみ）は、常に真剣勝負の心構えでその場に臨んでいるのです。

なお、カクテルを作るのは、実は、お客様の目の前でシェーカーを振るバーテンダーだけではありません。いつどんなお客様がいらっしゃって何を頼まれるか？を想定し、在庫では足りない分だけ新しい材料を発注し保管しておくことや、お店が混んでいる時に、どんな順番でオーダーをこなしていくのか考えて指示することなども、重要な仕事です。

鉄づくりの場合も同じで、お客様の生産を支える工業品として、安定した品質や納期をお約束できるものでなくてはなりません。そのためには、研究開発だけではなく、原材料や燃料の調達や、その商品をつくる工場の操業・技術・品質などの管理、そして、それをお届けするまでの進捗管理や輸送など、全員での協働作業が不可欠です。

その一つでも欠けてしまうと、必要とされているものを必要な時に必要な場所に必要だけお届けすることができません。だから私たちは、全社一丸となり日々尽力しています。

お客様は、カクテルの味はもとより、その店の佇まい・雰囲気やバーテンダーとの会話、価格などを総合的に評価しながら、また来ようかどうか都度判断されています。私たちの日々の努力の積み重ねが響いて「また行こう」と思ってもらいたい。そう願っています。



図 11 「鉄づくり」は「カクテル作り」？

どうです？ 鉄づくりとカクテル作り、意外と似ていますでしょうか？

皆さまが、今後、ピザを食べたり、お酒を楽しんだりする際に、このエッセイのことを思い出し、鉄の永い発展の歴史に思いを馳せ、その起点となった様々なニーズや、それに対し実直に開発と製造の試行錯誤を繰り返し「いま」を造り上げてきた多くの人々のこと、そして、これからのより良い未来を創り造り上げるために鋭意尽力している私たちのことを、チョッとだけでも考えてみて頂けると幸いです。

5.2 おわりに

私たちは、世の中のニーズをいち早く掴み、先陣を切ってそれに応えることで、常に時代をリードし、新しい未来を切り開いてきました。そして、私たちの進化は止まりません。皆さまの期待に応える、その重みと喜び。そこには、日本製鉄の社員としての、確固たる自信とプライドがあります。いつまでも、皆さまの一番であり続けたい。これからも、私たち日本製鉄に、ご期待下さい。

参照文献

- 1) 島根県安来市政策推進部観光振興課 鉄の道文化圏推進協議会事務局：出雲國たたら風土記 映画『もののけ姫』をたたら製鉄から読み解く
<https://tetsunomichi.gr.jp/tales-about-tatara/princess-mononoke/>
- 2) 農林水産省：生産者に有利な流通・加工構造の確立に向けて～製粉産業～
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/miraitoshikaigi/suishinkaigo_dai1/siryou5.pdf
- 3) 日本製鉄(株)：動く絵本「日本製鉄の新・モノ語り」
<https://www.nipponsteel.com/company/story/index.html>
- 4) 日本製鉄(株)：「NIPPON STEEL MONTHLY」2003 JUNE モノづくりの原点—科学の世界 錆との戦い
- 5) 日本製鉄(株)：「日本製鉄カーボンニュートラルビジョン2050」解説動画
https://www.nipponsteel.com/news/20211208_100.html
- 6) 柳岡法篤：特別寄稿「スチールカクテル」、日本パーテング協会機関紙『ガゼット』(2004年12月)



柳岡法篤 Noriatsu YANAGIOKA
旧) 薄板事業部 薄板営業部 高耐食めっき開発室長(防錆管理士)
現) 北海道支店長