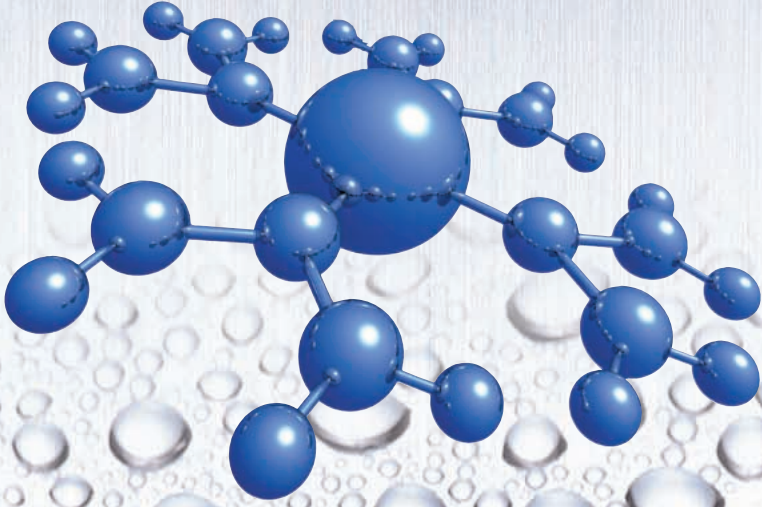


# 鍍との戦い(下)

「鍍との戦い」(前編)では、鋼板を防錆するための代表的な手段である「めっき」の歴史とそのメカニズムを紹介した。後編では、自動車用鋼板などの防錆技術の主流となっている「合金化処理溶融亜鉛めっき鋼板(GA)」を例に、新日鉄の最先端の「鍍との戦い」を紹介する。前編で述べた通り、GAは「プレス成形性」「溶接性」「耐食性」など、防錆効果に加えてさまざまな性能に優れた自動車車体防錆用鋼板である。



## 車体防錆ニーズに応える厚目付け「GA」

厚目付けGAが登場するまで

鋼板の防錆めっきに使われる「亜鉛」は、金属元素の中では比較的軟らかい金属だ。純金属の亜鉛をめっきした「溶融亜鉛めっき鋼板(GI)」では、自動車メーカーが鋼板を車体形状にプレス加工する際に亜鉛が金型に付着しやすい。亜鉛が金型に付着すると、めっき鋼板と金型との摩擦係数が大きくなる。その結果、鋼板が金型の中にも移動しにくくなるため、複雑な形状の車体を成形できなくなる。また、自動車車体の塗装に疵がついたとき、GIでは亜鉛の腐食が速いため、塗膜が膨れて外観を損なうという課題を抱えていた。

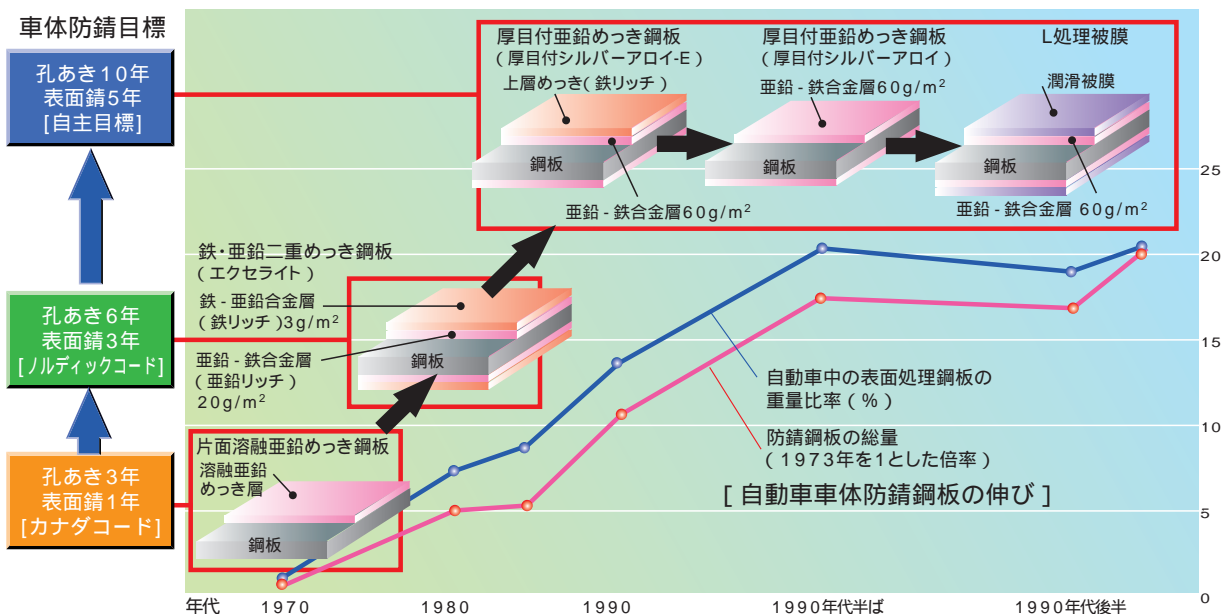
そうした課題を克服するために採用されたのが「GA」だ。前編で説明したように、「GA」は溶融亜鉛めっき直後に加熱し、母材の鉄を亜鉛めっき層に拡散させて亜鉛-鉄合金を生成させた防錆鋼板(亜鉛-鉄合金めっき)。めっきとしての防錆性能を持ちながら、自動車メーカー側での優れた「プレス成形性」「溶接性」「塗装耐食性」を実現した画期的な商品だ。

現在「GA」は日本の自動車用防錆鋼板の主流となっているが、ここに至るまで、鍍との戦いの中でさまざまな商品が開発されてきた。

1970年代後半、[表面鍍1年-孔あき3年]を保証期間とする「カナダコード」が出された。これをきっかけに、自動車車体防錆強化の歴史が始まった。最初に登場したのが、

### 防錆ニーズと防錆鋼板の歴史

図1



これまで車体防錆ニーズに応える「鍍との戦い」の中で、さまざまな商品が開発されてきた。現在、「プレス成形性」「溶接性」「塗装耐食性」に優れ、新日鉄が得意とする「GA」が日本の自動車用防錆鋼板の主流だ。

溶接性・塗装性を両立した「片面溶融亜鉛めっき鋼板」(外板の内面側だけを防錆処理した鋼板)だ。

1980年代中頃、保証期間を[表面錆3年 - 孔あき6年]に延ばした「ノルディックコード」が出され、鋼板外面の防錆効果を向上させる両面めっきが必要になった。当時の自動車メーカーでの生産技術を考慮して、新日鉄はめっき厚みが薄くてもノルディックコードを満たす「2層の両面亜鉛-鉄合金電気めっき鋼板」を開発した。1980年代後半、[表面錆5年 - 孔あき10年]が保証期間の目標値とされ、優れた防錆効果と加工性を実現した「厚目付けGA」が採用された。

当初、厚目付けGAは2層構造だった。防錆性を高める厚目付けの亜鉛めっきの上層に、プレス成形性・塗装性を高めるため、鉄濃度の高い合金めっきを施していた。新日鉄ではその後、上層めっきがなくても使いやすい「良いGA」を開発し、現在に至っている(図1)。

## “良い”GAとは？

厚目付けGAをつくること自体はそれほど難しくはない。では何が難しいのか。それは、防錆性能、プレス成形性、めっき密着性に優れた“良いGA”をつくることであり、そこに高いハードルがある。

“良いGA”とはどんなGAなのだろうか。答えは、「客先で使いやすいIGA」である。使いやすいとは？まず、プレス加工しやすいIGAだ。自動車の車体は鋼板をプレス成形することで設計された形状に作られる。車体の複雑な曲面を美しく仕上げるためには、金型にそってしなやかに変形することが必要だ。鋼板と金型との摩擦抵抗が小さい一方で、厳

しい加工を受けてもめっきがはがれないIGAでなければならない。また、自動車の組み立てで多用されるスポット溶接(抵抗溶接)では、溶接できる電流範囲が広く、溶接用の電極が長持ちするGAが使いやすい。

こうしたGAをつくるための技術的なポイントは、必要なめっき量を、鋼板表面に均一に被覆する制御技術と、鉄と亜鉛の合金化を適正にコントロールする技術にある。

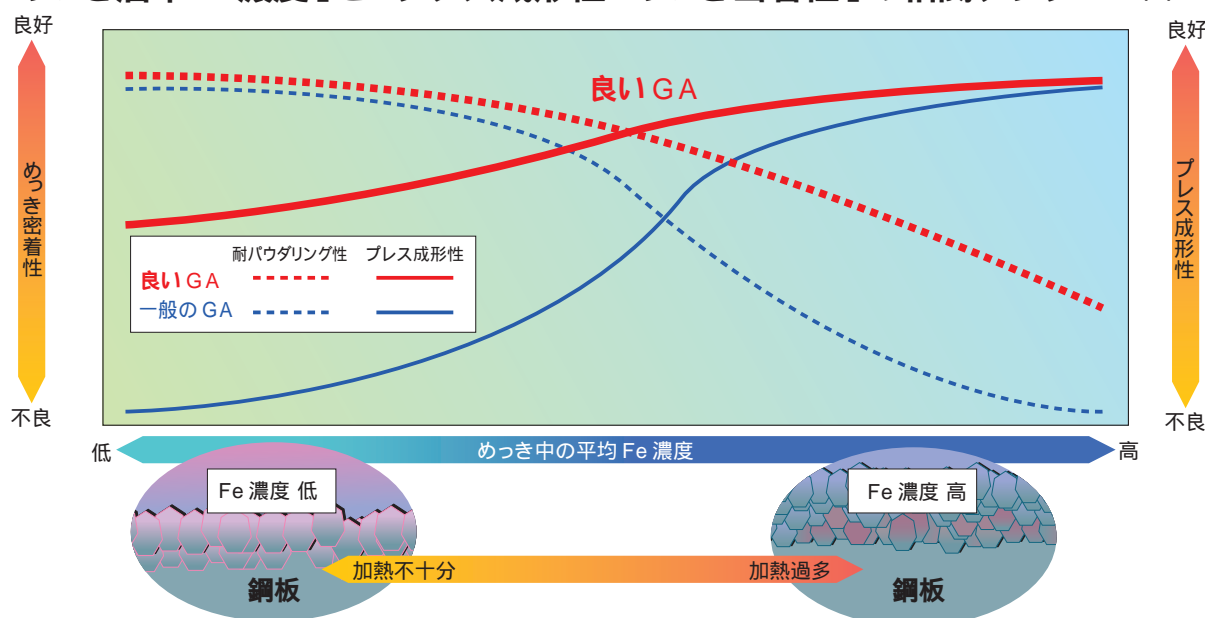
GAは亜鉛中に鉄を拡散させることで製造されるので、めっきが厚いほど高温で長時間、合金化が必要がある。このため、合金化の制御が難しい。合金化の過程では、鋼板表面から亜鉛と鉄の結晶が亜鉛めっき層に成長するため、鋼板に近い部分で鉄濃度が高く、めっき表面の鉄濃度は低い構造になる。

十分に加熱されないIGAではめっき中の鉄濃度が小さく、めっき表面には軟らかくて金型と凝着しやすい相(相と呼ばれる $FeZn_{13}$ 化合物)が多く存在する。このため、めっきと金型の摩擦抵抗が大きくなり(フレーキング現象) についてはプレス加工での変形に追従できず、鋼板が破れてしまう場合がある。つまり、加熱が不十分なGAはプレス成形性が足りない。

反対に、加熱し過ぎてめっき中の鉄濃度が大きくなりすぎると、硬くて脆い、つまり割れやすい相(相および $Fe_3Zn_{10}$ および $Fe_3Zn_{21}$ 化合物)がめっきと鋼板の界面に厚くできてしまう。この化合物は硬くて脆いので、プレス加工で変形を受けると化合物自体が割れてしまい、めっきが鋼板から剥離し、脱落してしまう(パウダリング現象)。すなわち、加熱し過ぎたGAはめっきが剥離しやすい(図2)。

## 「めっき層中Fe濃度」と「プレス成形性・めっき密着性」の相関グラフ

図2



「プレス成形性」と「めっき密着性」を同時に満足できる「良いGA」は、めっき中の鉄と亜鉛が適切に合金化された「良い合金相」からなる。

プレスしやすく、めっきがはがれにくい良いIGAとは、摩擦抵抗を大きくする相や、めっきをはがれやすくする相および、相を含まないIGAだ。そのGAはプレス成形性（小さい摩擦抵抗）とめっき密着性を同時に満足できる、良い合金相（相とよばれる $FeZn_7$ 化合物）から成る。

## GAは「ビーフステーキ」？

### 美味しいビーフステーキも 良いIGAも「焼き方」しだい

次に、“良いIGA”をつくるために、どのような技術が求められるのかを探ってみよう。

通常、「溶融亜鉛めっき」を高温で加熱し続けると、鉄がめっき中に拡散し続け、最終的には平均組成が鉄98%、亜鉛2%の鋼板になったところで安定する（定常状態）。実は、「GA」は、この定常状態になる、はるか前で亜鉛と鉄の反応を止めることで製造されている、言わば合金化を「中間段階」にコントロールしている。

亜鉛と鉄の合金反応は、主に、鋼板に含まれる化学成分、めっき浴中のアルミニウム濃度（鉄と亜鉛の合金化のタイミングを制御するために、アルミニウムを添加）合金化のための「加熱条件（温度・時間・加熱速度）」の3つによって変化する。GAの性能は加熱の仕方によって大きく変化するので、きめ細かく加熱合金化を制御して製造することが重要だ。

GAの加熱・合金化をステーキに例えてみよう。生の牛肉を長時間焼き続けると炭になってしまう（定常状態）。ステーキはこの定常状態のはるか前で、肉を焼くのを止める（反応を止める）。肉の焼き加減によってレア、ミディ

アム、ウェルダンといった異なる味や食感を生み出すことができる。

例えば、美味しいレアは、表面を強火でさっと焼くことで肉の旨みを閉じ込めたらすぐに火を止め、その後の伝熱で中まで熱を通すことによってできる。弱火でゆっくり焼いているのは、美味しいレアはできない。GA合金化の温度制御はステーキの焼き方と似ている。「焼き方」によって、GAの形態と性能は大きく変化する（図3）。

新日鉄では、高周波電流で鋼材内部に誘導電流を起して鋼板を内部から加熱してめっきを合金化する「誘導加熱方式」や、めっきの合金化度合いをモニタリングしながら合金化温度を精密にコントロールする技術で、めっき成分と微妙な合金化条件を最適範囲に制御し、めっき密着性に優れた成形もしやすい“良いIGA”をつくり続けている（図4）。

## “総合技術”で成り立つ表面処理鋼板

### ユーザーニーズに応えた“L処理”

こうした“良いIGA”のエポックメイクが、厚目付けGAのプレス成形性をさらに高め、性能を飛躍的に向上させた「L処理（潤滑皮膜めっき）」技術だ。1990年代中頃に開発されたこの技術は、非常に薄い（7nm：ナノメートル（nm）は1mの10億分の1）マンガンとリンの酸化皮膜をGAの表面にコーティングすることにより、めっき表面と金型の接触をなくして摩擦抵抗を小さくするもの。酸化物と金属が“くっつかない”という特性を利用している（図5）。

この酸化皮膜は、液体のように軟らかい性質を持った非晶質（結晶化されていないアモルファス）であるため、伸びが良い。従って、自動車車体製造のプレス工程でGAの表

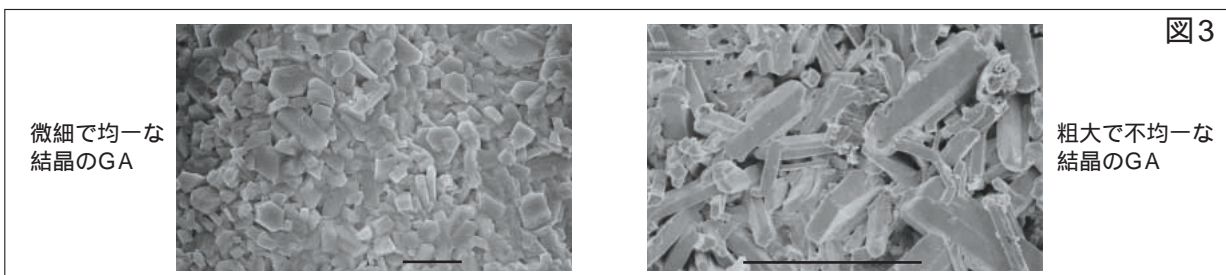


図3

### 合金化における最適ポイント



図4



面に非常に大きな圧力をかけ、変形させても、プレス工程の最後までめっき表面を覆い続け、めっきと金型が直接接触するのを抑止できる。従って、めっきと金型の摩擦抵抗を小さいまま保持できるのだ。

過酷なプレス加工の際、一般的に用いられる潤滑油では、金型とGAの間に油が保たれずに、金型とGAが直接接触してしまう。油は多量にないと潤滑効果が発揮されないのに対して、L処理は油の量に関わらず摩擦抵抗が小さい(図5)。このアモルファスのコーティングであるL処理皮膜は、加工時にちぎれても皮膜自身が変形しながら金型とGAとの間に介在し続けることで潤滑性を保つため、自動車メーカーでのプレス成形性を飛躍的に向上させた。

「L処理」が自動車メーカーから評価されたポイントは、もう一つある。それは、プレス、溶接、脱脂、化成処理、塗装といった自動車の製造工程において、「溶接性」や「塗装性」など他の必要性能にはまったく影響を与えずに「潤滑性」「プレス成形性」だけを飛躍的に向上させた点にある。

これは、自動車の製造工程を考え、そこに影響を与えない使用し易い皮膜を実現できた、「新日鉄ならではの技術」だ。「L処理」は、1995、96年頃から実用化され、現在ではGA用の潤滑皮膜において圧倒的なシェアを誇る。今年、(社)表面技術協会の技術賞を受賞した。

### 「錆との戦い」今後の方向性

本シリーズでは、2回にわたり自動車の防錆鋼板を中心に「錆との戦い - めっき技術」を解説した。表面処理鋼板には、防錆性に加えて、プレス成形性や溶接性、塗装性などさまざまな性能が求められている。メタラジーに加えて、電気化学、薄膜工学、塗装工学、界面工学、化学工学、腐食科学、熱技術、そして合金化制御(拡散)技術といった

さまざまな要素技術が集積された総合技術だ。言い換えれば、どれか一つの技術が欠けるとお客様に喜ばれる製品を作ることができない、技術力を表わす製品なのである。新日鉄は、これらの各種要素技術を自在に操り、ユーザーの要求性能に合致した製品開発を進めている。

では、今後の方向性はどのようなものだろうか。

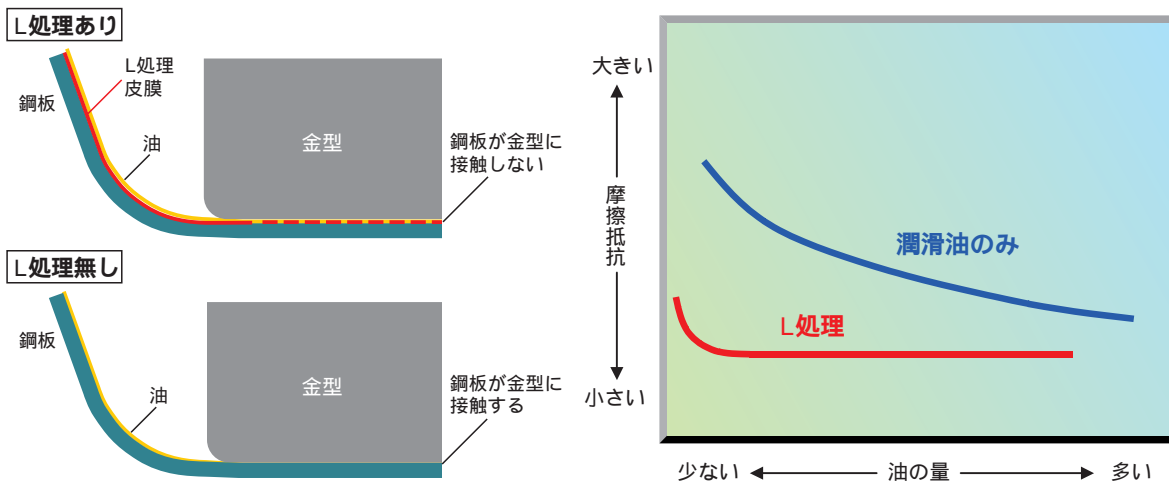
めっき金属として使われる亜鉛は限りある資源であり、将来的には亜鉛に替わるめっき材料の開発が求められる。

新日鉄では“防錆”だけでなく、積極的な機能との複合化、高付加価値化にも取り組んでいる。例えば、電子機器のCPUの高速化が進む中で熱に弱い電子機器に適した「吸熱性」、汚れが付きにくい「耐汚染性」、過酷な使用環境下における「耐磨耗性」などがその一例だ。

これまで表面処理は、錆を防ぎ、鉄の使用環境を広げるために使われていたが、今後は、「鉄と他素材のハイブリッド製品」「高機能表面を搭載するのにふさわしい素材としての鉄」といった発想も生まれてくるだろう。

### L処理のプレス成形性向上メカニズム

図5



鋼板の表面に酸化皮膜をコーティング(L処理)することにより、めっきと金型の直接接触を防ぐため、自動車メーカーでのプレス成形性が飛躍的に向上した。GA用の潤滑皮膜において圧倒的なシェアを誇る。