

# Zn-5%Al めっき鋼板「JFE エコガル<sup>®</sup>」

## Hot-Dip Zn-5%Al Alloy-coated Steel Sheets “JFE ECOGAL<sup>®</sup>”

藤沢 英嗣 FUJISAWA Hideshi JFE 鋼板 商品開発センター 鋼板商品開発室 主任部員(部長補)  
金子 里江 KANEKO Rie JFE スチール スチール研究所 電機・機能材研究部 主任研究員(副課長)  
石川 博司 ISHIKAWA Hiroshi JFE 鋼板 企画部 経営企画室 主任部員(理事)

### 要旨

「JFE エコガル<sup>®</sup>」は、めっき浴中に微量の元素を添加することにより、亀甲状のスパングル模様を消失させた美しい表面外観を有する Zn-5%Al めっき鋼板である。さらに現行の Zn-5%Al めっき鋼板の特長であるめっき層の加工性を維持し、優れた加工部耐久性を有する。「JFE エコガル<sup>®</sup>」は、クロメートフリー化成処理を採用しており、その優れた耐黒変性、耐アルカリ性、溶接性などから、建材分野のみならず家電分野などにも適した環境対応型のめっき鋼板である。

### Abstract:

A new hot-dip Zn-5%Al steel sheet “JFE ECOGAL<sup>®</sup>” has an excellent durability at forming portion, beautiful surface appearance free from spangles and excellent corrosion resistance by adding small amount of elements in the plating bath. Also “JFE ECOGAL<sup>®</sup>” has blackening resistance, alkaline resistance and weldability due to the chromate-free treatment, which meet ecological requirements for building materials, electronic appliances and so on.

## 1. はじめに

Zn 系めっき鋼板は、Zn の犠牲防食機構により鉄の腐食を安定抑制し、かつ安価であることから、建材分野のみならず、家電、自動車分野などで幅広く使用されている<sup>1)</sup>。

建材分野では、「住生活基本法」でのストック住宅政策、「長期優良住宅普及促進法案」での 200 年住宅構想など、住宅の長寿命化ニーズが高まりつつあり、薄板建材においてはさらなる耐久性の向上が求められている。特に加工が施された部位では、めっきや化成処理皮膜の損傷による耐食性の低下が問題となる。

また近年、環境の先進国である欧州で発令された「電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する欧州議会および理事会指令 (RoHS 指令)」、「欧州廃自動車指令 (ELV 指令)」にならい、日本国内の家電、自動車メーカーなども独自に「グリーン調達」制度を導入し、鉛、水銀、カドミウム、六価クロムといった環境負荷物質を含む材料の使用を禁止した。この環境対応のトレンドは、建材分野でも広がりをはじめており、Zn 系めっき鋼板の化成処理においても、従来のクロメート処理からクロメートフリー化が

進み、2007 年、JIS (日本工業規格) にクロメートフリー化成処理材が規格化された。JFE 鋼板では同年に、その建材用途で多く用いられる 55%Al-Zn めっき鋼板「JFE ガルバリウム鋼板」の完全クロメートフリー化を実施している。

このような動向を受け、JFE 鋼板では JFE スチールと共同で、加工部耐久性に優れるクロメートフリー化成処理 Zn-5%Al めっき鋼板「JFE エコガル<sup>®</sup>」を開発し 2008 年 4 月より販売を始めた。本報では、その「JFE エコガル<sup>®</sup>」の品質特性を中心に報告する。

## 2. 開発のポイント

### 2.1 従来ガルファンの改善

従来の Zn-5%Al めっき鋼板 (以下、GF) では以下のような問題点があり、それを「JFE エコガル<sup>®</sup>」の開発課題とした。

#### (1) 表面平滑性 (表面外観)

JFE 鋼板では GF を「JFE ガルファン」として、その優れた加工性から主に塗装鋼板のベースとして製造・販売してきた。しかし、めっき凝固時に形成される不均一な亀甲状のスパングル模様が表面に凹凸を形成<sup>2)</sup>し、塗装後の外観をも低下させるため、美しい外観要求のある用途では使用されにくかった。

## (2) 黒変現象

クロメート処理を施した GF では、経時でめっき表面が局部的に黒色化する黒変現象もその使用の妨げとなっていた。この黒変現象は、Zn 系めっき鋼板でめっき表層の ZnO 皮膜が、経時で表面に濃化するめっき層中の Al によって還元され、酸素欠乏型の皮膜を形成することによるとされている<sup>3)</sup>。

## 2.2 新たな改善特性

「JFE エコガル®」では、上記の従来 GF の課題を解消し、さらに以下の品質特性の向上を図った。

## (1) 耐食性

高耐久性要求に対応すべく、特に加工部のめっきのクラックを微細化することにより加工部の耐食性の向上を図った。

## (2) 耐アルカリ性

酪農・畜産用途に対応すべく、高アルカリ性環境における耐久性を向上した。

## (3) 溶接性

従来のクロメートフリー化成処理は、耐食性を確保するために皮膜が厚く、溶接性が阻害されていた。化成処理の品質特性を高め、皮膜を薄くすることにより良好な溶接性を確保した。

## 2.3 開発のコンセプト

一般的に各種 Zn-Al 系めっき鋼板の組成比率変更や異種元素添加によって、めっきの品質特性を向上させる試みが多数なされている<sup>4)</sup>。

一方、GF は、1990 年に JIS G 3317 「溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板及び鋼帯」、その塗装鋼板は JIS G 3318 「塗装溶融亜鉛-5%アルミニウム合金めっき鋼板及び鋼帯」として JIS に制定されている。これらの規格では、めっき浴中の Zn、Al 以外に微量の Mg または希土類などの元素含有が認められている。

「JFE エコガル®」では、前述した GF の課題改良に添加元素の総濃度を 1% 未満と微量に抑え、各品質特性をバランスさせた設計とした。

図 1 に「JFE エコガル®」の断面模式図を示す。「JFE エコガル®」では、めっき浴中に微量 Mg を添加し、スパングルの形成を抑制し、表面平滑性を大幅に改善させた。これ

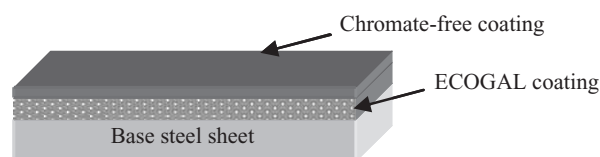


図 1 JFE エコガル® の断面模式図

Fig.1 Coating structure of “JFE ECOGAL®”

により、塗装鋼板の下地として塗装面の鮮映性が改善し、まためっき商品としても用途拡大が可能になった。

さらに、めっき浴中に微量 Ni を前述の Mg と同時添加することにより、耐黒変性、耐食性および耐アルカリ性を向上、さらに新たに開発したクロメートフリー化成処理により、耐黒変性の安定確保と建材、家電など各種用途に適合しうる表面品質性能を付与した。

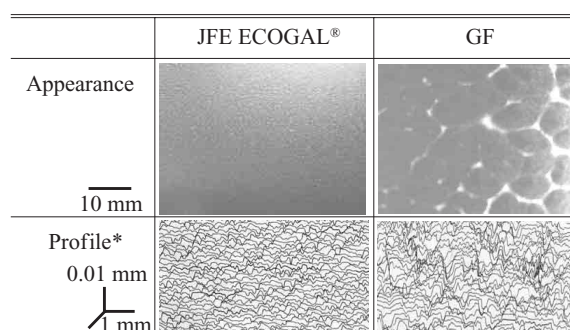
「JFE エコガル®」は、特にめっき浴への元素添加を微量に抑えることにより、JIS 規格該当品ということだけではなく、GF 固有のめっき加工性、溶接性といった優れた特性を維持しつつ、表面平滑性、耐黒変性、耐食性を改善し、加工性と耐食性の両立による加工部耐久性に優れた Zn-5%Al めっき鋼板である。

## 3. 品質特性

## 3.1 めっき表面外観

写真 1 に「JFE エコガル®」と GF のめっき表面外観および触針式粗さ計による 3 次元粗さプロフィールを示す。従来 GF の表面は、亀甲状のスパングル模様を有し、それに対応した表面凹凸が観察されるが、「JFE エコガル®」は均一美麗で平滑な表面を有する。

写真 2 にめっき表面の走査型電子顕微鏡写真を示す。従来 GF の表面には Zn-Al 系二元共晶が偏在し、これがスパングル模様を呈するが、「JFE エコガル®」は微量の Mg 含有効果により、Zn-Al 系二元共晶が細粒化された状態で均一な表面を形成している。



\*Surface profile of substrate measured by 3-dimensional meter

写真 1 表面外観および粗さ

Photo 1 Surface appearance and profile

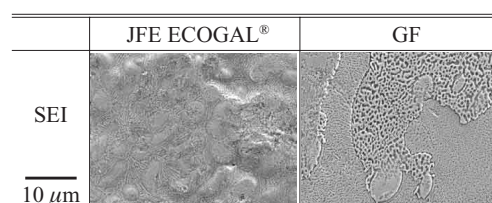


写真 2 表面 SEM (走査型電子顕微鏡) 像

Photo 2 Scanning electron microscope (SEM) images of surface texture

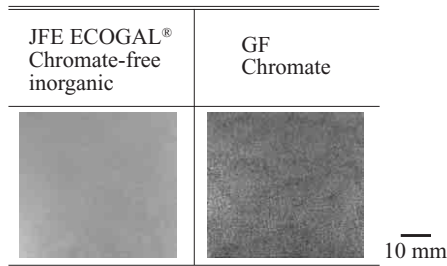


写真3 耐黒変性試験後の表面外観（湿らせた1対の試験片をポリエチレンシートで梱包し、温度50℃、湿度98%の恒温恒湿雰囲気中に2週間保持）

Photo 3 Appearances of specimens after blackening resistance test (After wrapping 2 pieces of water wetted specimens with polyethylene sheet, exposed under the condition of 50°C, RH: 98% for 2 weeks)

### 3.2 耐黒変性

写真3に「JFEエコガル®」と従来GFのクロメート処理材の耐黒変性試験（50 mm角の試験片を水濡れ状態で積層しポリエチレンシートで梱包後、50℃-98%RHの恒温恒湿槽内で2週間経時）後の外観を示す。「JFEエコガル®」は、従来GFのクロメート処理材よりも良好な耐黒変性を有している。

### 3.3 耐食性

写真4に平板での複合サイクル腐食促進試験CCT（JIS G 0594 C法）、2000時間後の腐食状態を示す。また、図2に同試験における腐食減量変化を示す。「JFEエコガル®」は、微量のMgとNiの複合含有効果により、従来材と比較して耐食性が大幅に向上した。図2の腐食減量変化において、初期の化成処理皮膜消失後の「JFEエコガル®」めっきの腐食減耗速度は、GI（Znめっき鋼板）の3倍程度、また従来GFの1.5倍程度の良好な耐食性を呈した。

### 3.4 めっき層の加工性および加工部の耐食性

写真5に板厚0.8 mm、めっき付着量（片面）90 g/m<sup>2</sup>の「JFEエコガル®」と従来GFのクロメート処理材を2T-180°曲げ（内R1.6 mmφ）した曲げ部表面および断面のめっき層のクラック発生状態を示す。従来GFにおいては、スパンゲル模様に対応したZn-Al系二元共晶とβ-Zn相の界面を基点にクラックが生じるのに対して、「JFEエコガル®」においては表面の均一化により微細なクラックに抑止されているため、犠牲防食機構が改善される。

写真6にこれら180°曲げ部のCCT（JIS G 0594 C法）、2000時間後の腐食外観を示す。写真6から明らかなように「JFEエコガル®」は加工部においても良好な耐食性を有している。

### 3.5 後めっき材との耐食性比較

構造用途などでは、鋼板の切断端面や接合部の防食の

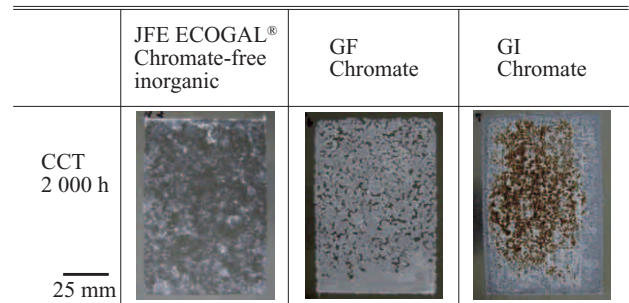


写真4 複合サイクル試験（JIS G 0594 C法）2000時間後の平面部外観

Photo 4 Appearances of flat portion after cyclic corrosion test (JIS G 0594, C-method) for 2 000 h (Zn coating weight: 90 g/m<sup>2</sup>)

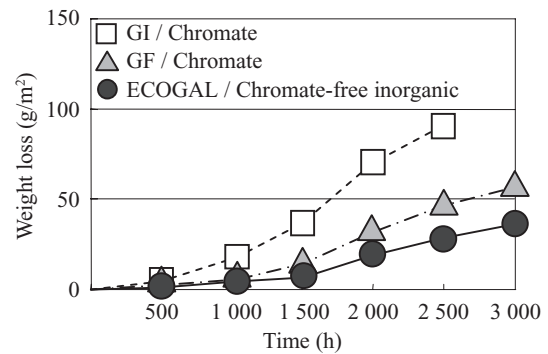


図2 複合サイクル試験（JIS G 0594 C法）での腐食減量  
Fig.2 Corrosion weight loss in cyclic corrosion test (JIS G 0594, C-method) (Zn coating weight: 90 g/m<sup>2</sup>)

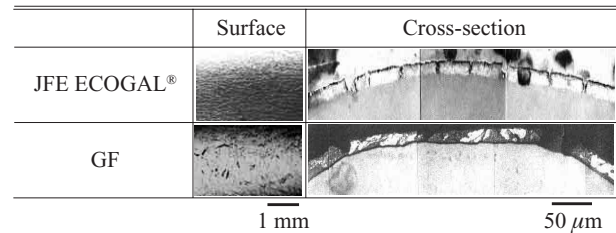


写真5 曲げ部のSEM（走査型電子顕微鏡）像

Photo 5 Scanning electron microscope (SEM) images of bended portion (Bend angle:180°)

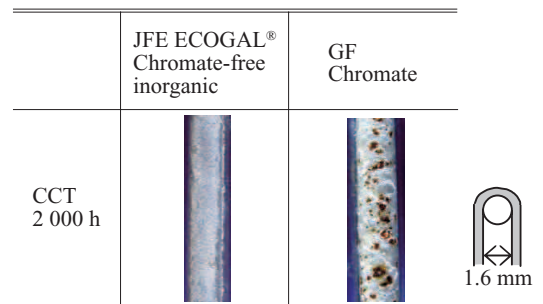


写真6 複合サイクル試験（JIS G 0594 C法）2000時間後の曲げ部外観

Photo 6 Appearances of bended portion after cyclic corrosion test (JIS G 0594, C-method) for 2 000 h (Thickness: 0.8 mm, Zn coating weight: 90 g/m<sup>2</sup>)



ために、構造体に加工した後、フラックス法による、いわゆる後めっきが施される場合がある。写真7に板厚2.3mmの「JFE エコガル®」めっき付着量(片面)90g/m<sup>2</sup>材と同じ板厚の後めっき(片面)550g/m<sup>2</sup>クロメート処理材の塩水噴霧試験SST(JIS Z 2371)、500時間後の腐食外観を示す。

写真7から明らかなように、平面部において「JFE エコガル®」は後めっき材の1/6程度のめっき付着量で同等以上の耐食性を呈した。また切断端面も後めっきされた端面と同様の耐食外観を呈した。

### 3.6 耐アルカリ性

畜舎・堆肥舎などではアンモニアなど強いアルカリ雰囲気に対する耐久性が要求される。図3に25℃の5%アンモニア水(pH12)に24時間浸漬した場合のめっきの腐食減量を示す。「JFE エコガル®」は、微量のMgとNiの複合含有効果により、優れた耐アルカリ性を有する。

### 3.7 溶接性

#### 3.7.1 スポット溶接性

図4に「JFE エコガル®」と従来GFクロメート処理材のスポット溶接における適正電流範囲を示す。適正電流範囲は良好なナゲットを形成しうる最低電流値を下限値とし、

	JFE ECOGAL® 90 g/m <sup>2</sup> Chromate-free Inorganic	Post Zn 550 g/m <sup>2</sup> (HDZ55) Chromate
SST 500 h		
Surface		
Cut-edge		

写真7 塩水噴霧試験(JIS Z 2371)500時間後の試験片外観  
Photo 7 Appearances of specimens after salt spray test (JIS Z 2371) for 500 h

Weight loss (g/m <sup>2</sup> /24 h)	5	10	15
JFE ECOGAL®			
GF			
Zn			
55%Al-Zn			

図3 25℃の5%アンモニア水溶液に24時間浸漬での腐食減量

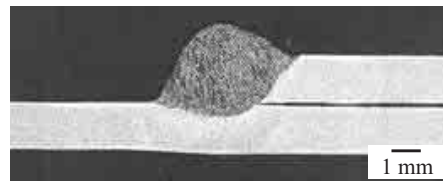
Fig. 3 Reduction of coating weight after 5%NH<sub>4</sub>OH(pH12), 25℃ immersion test for 24 h (Zn coating weight: 90 g/m<sup>2</sup>)

	Welding current (kA)				
	10	11	12	13	14
JFE ECOGAL® Chromate-free inorganic		Good		Splash	
GF Chromate					

Electrode: Cr / TypeCF / 6.4 mmφ Flat tip  
Welding conditions: 4 kN, 16 cycles  
Materials: 1.6 mm thickness, Zn coating weight 275 g/m<sup>2</sup>  
Minimum acceptable nugget size:  $3\sqrt{t} \leq 3.8$  mmφ

図4 JFE エコガル®のスポット溶接での適正電流範囲

Fig. 4 Optimum spot-welding current range for “JFE ECOGAL®”



Welding wire: JIS YGW14 1.0 mmφ

Welding conditions: 80 A/20 V, 50 cm/min

Material: Thickness 1.6 mm, Zn coating weight 275 g/m<sup>2</sup>

写真8 炭酸ガスアーク溶接部の断面組織

Photo 8 Cross-section of CO<sub>2</sub> arc welded portion

チリが発生する電流値を上限値として評価した。

図4から明らかなように、「JFE エコガル®」は、クロメートフリー化成処理皮膜により、従来GFのクロメート処理材よりも低い電流域で溶接が可能であり、溶接設備費や電力コストの低減が期待できる。

#### 3.7.2 アーク溶接性

写真8に炭酸ガスアーク溶接における溶接ビード部の断面写真を示す。本試験において、溶接ビード中のブローホールの発生はほとんど認められず、十分な溶接強度が得られた。

## 4. 適用事例

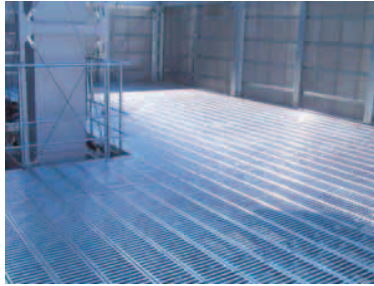
「JFE エコガル®」は柱・梁などの住宅用構造部材、屋根・壁などの住宅資材、グレーチング・足場板などの鋼製床材、溝型鋼・アングル・ジョイント部材・ケーブルラックなどの建築金物、また物置・鋼製ストッカーといった後塗装用途や農業・畜産分野などで、また無処理材はシャッター材などの塗装原板として幅広く使用されており、今後、家電分野などさらなる広がりが期待される(写真9)。

## 5. おわりに

新たに開発したZn-5%Alめっき鋼板「JFE エコガル®」は、以下のような特長を有する。



(1) Structural post and beam for residence



(2) Grating for floor panel

写真9 「JFEエコガル®」の適用事例

Photo 9 Examples of application of "JFE ECOGAL®"

- (1) めっき層中に溶接性阻害元素が少なく優れた溶接性を有する。
- (2) めっき層の加工クラックが少ないため優れた加工部の耐食性を有し、高加工用途への適用が可能である。
- (3) めっき層への微量添加元素および化成処理により耐食性を向上し、亜鉛めっき鋼板の薄めっき化が可能である。
- (4) めっき層への微量添加元素により耐アルカリ性を向上し、畜舎、コンクリート近接用途への適用が可能である。

- (5) めっき層への添加元素を微量に抑えたJIS G 3317 該当製品であり、公共工事仕様書に対応が可能である。
- (6) 完全クロメートフリー化により、環境に対応した製品である。

「JFEエコガル®」は多様なお客様のニーズに応じ、クロメートフリー無機系化成処理、クロメートフリー有機系化成処理、クロメート処理の商品ラインアップを有している。

ますます高まる長寿命化および環境ニーズの中、後めっき代替（コストダウン・工程省略化）やZnめっき鋼板からの薄めっき化代替（省資源）への対応ができることから、「JFEエコガル®」はまさにサステナブル材料として期待できる。

参考文献

- 1) 亜鉛めっき鋼板 ご使用の手引き. 日本鉄鋼連盟編, 2005.
- 2) Pelerin, J.; Bramaud, B.; Coutsouradis, D.; Radtke, S. 安谷屋武志訳. 金属表面技術, 1982, vol. 33, no. 10, p. 474.
- 3) 内田幸夫, 甲田満, 福居康, 広瀬祐輔. 鉄と鋼, 1986, vol. 72, no. 8, S1055.
- 4) 第167・168回西山記念技術講座. 日本鉄鋼協会編, 1998, p. 25.



藤沢 英嗣



金子 里江



石川 博司