

JFE 鋼板の建材用カラー鋼板

JFE 鋼板株式会社 鋼板商品技術部 中丸裕樹

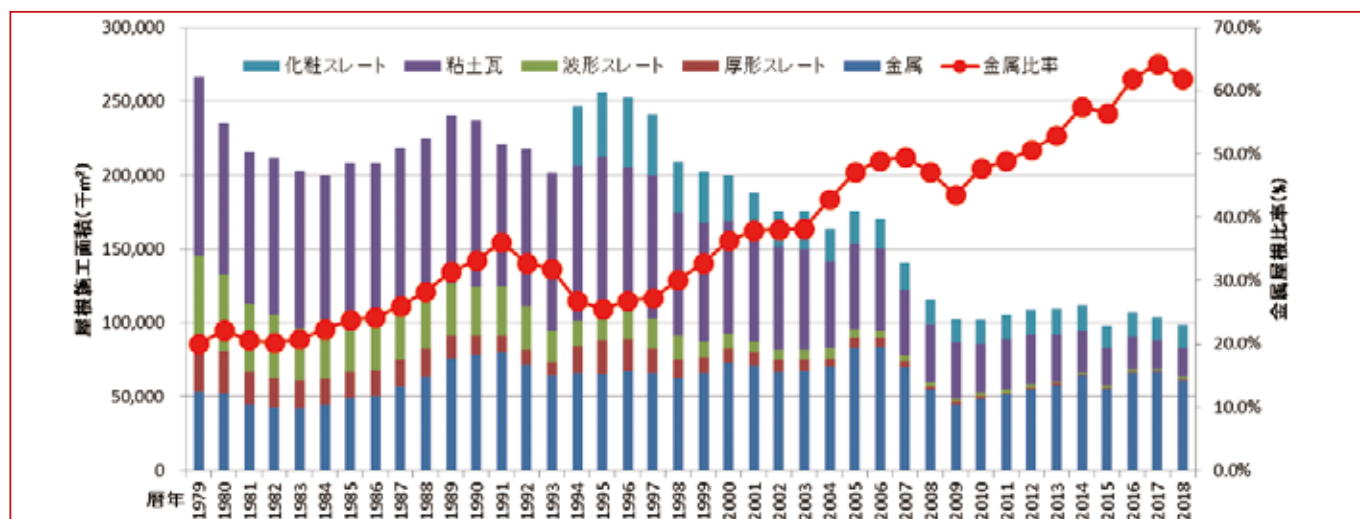


図1 各種屋根材の出荷動向

1. はじめに

近年の異常気象による台風被害や度重なる震災等の影響を受け、軽量で耐久性の高い金属屋根への注目が高まっている。図1に示すように国内における金属屋根の比率は年々増加しており、2012年以降は50%を超えている¹⁾。こうした金属屋根に使われる素材の主流はカラー鋼板である。

JFE 鋼板のカラー鋼板商品構成を表1に示す。環境にやさしいクロメートフリー塗装鋼板「Jクラフト®」シリーズを始め、高加工、高耐候、高意匠など様々な目的・用途に合わせた各種塗装鋼板を品揃えしている。

本稿では、主に屋根や壁などに使われるカラー鋼板の技術動向とJFE 鋼板の取り組みについて述べる。はじめに主軸商品すなわち店売り用標準商品として開発・実用化した



クロメートフリーカラー鋼板「Jクラフト®」の概要を紹介する。次に、カラー鋼板に現在最も多く使われている溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板の最大の課題である加工性について述べる。さらに加工性を大幅に改善した「ガルフレックス®」技術を適用したカラー鋼板の品質性能について紹介する。

表1 JFE 鋼板のカラー鋼板ラインナップ

『Jクラフト®』シリーズ — クロメートフリー塗装鋼板 —		
ハイグレードタイプ		
極み-MAX®		
汎用タイプ		
和み-FIT® GL	和み-FIT® GLつや消し	和み-FIT® GLミドル
高耐久性 — フッ素樹脂を塗装し塗膜保証を付けた高耐久性鋼板 —		
JFE カラー F-20GL	JFE カラー F-20GLつやけし	JFE カラー F-20エコガル®
ボード鋼板 — 黒板からホワイトボード、内装に使えるビューボード —		
JFE ホワイトボード	JFE ボード	JFE ビューボード®
高意匠鋼板 — 木目など多様な柄で彩ります —		
JFE カラー GLしぼり	JFE プリント GL	JFE プリント
ラミネート鋼板 — 超耐久性を誇る屋根防水用のラミネート鋼板 —		
JFE エコラミ®		

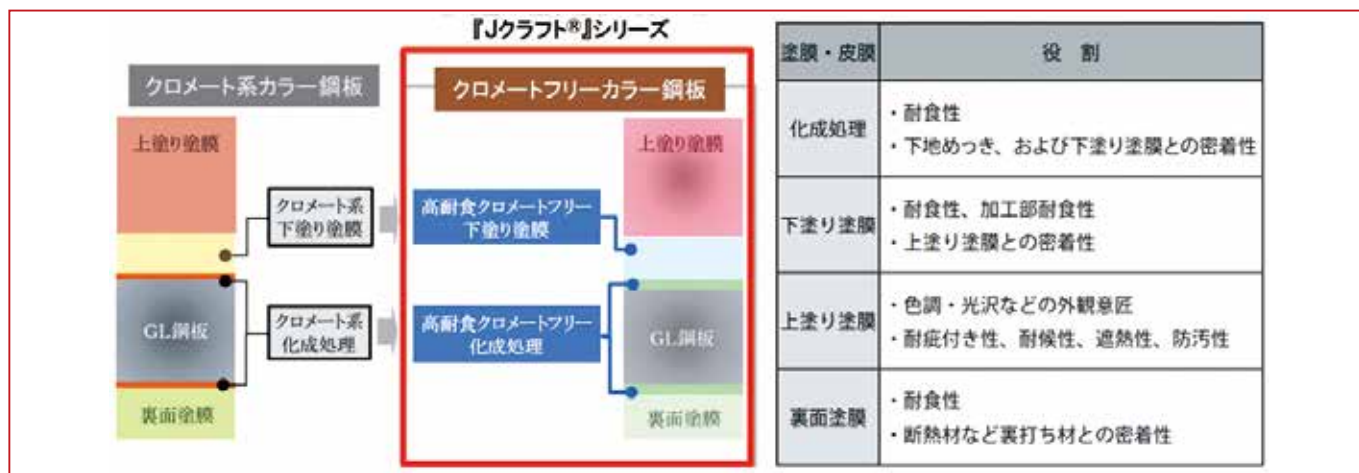


図2 カラー鋼板の代表的な塗膜断面構成と各塗膜・皮膜の主な役割



図3 カラー鋼板に求められる主な性能

2. クロメートフリーカラー鋼板「Jクラフト®」

6価クロム化合物による環境問題に起因し、自動車、家電業界ではそれぞれ ELV 指令²⁾、RoHS 指令³⁾に基づきクロメートフリー商品がすでに実用化されている。さらに、建材用めっき鋼板もクロメートフリー商品が実用化され、現状では建材用カラー鋼板が薄鋼板で最後に残った6価クロム化合物使用商品になっている。

一方、JIS 規格や公共建築工事標準仕様書では、クロメート系とクロメートフリー系の併記になっている現状から、クロメートフリー系単独に改訂される流れが既定路線となっている。すでに一部のカラー鋼板の中にクロメートフリー化されているものもあったが、用途が限定されており、より汎用性の高い商品が望まれていた。

このような要望に応えるため、JFE 鋼板は、店売り用標準商品として本格的にクロメートフリーカラー鋼板「Jクラフト®」を開発し、2016年4月から製造・販売を開始した。既に5年間の実用実績を重ね、安定した品質性能を市場から高く評価されてきている。

図2にカラー鋼板の代表的な塗膜断面構成と各塗膜・皮膜の主な役割を示す。「Jクラフト®」ではクロメートフリー化された化成処理皮膜、および下塗り塗膜が溶融55%アルミニウム-亜鉛合金めっき鋼板（以下 GL と称す）の表面に形成され、その上に各色の上塗り塗膜が形成されている。長年の研究開発によって培ったクロメートフリー防錆技術において、単独の防錆剤によってクロメートの代替とすることは、性能面で困難であることが判明し、効果要素の異なる複数の防錆剤の適用や改質技術を組み合わせた新技術を確立した⁴⁾。

図3に示すように、カラー鋼板には、コイルの出荷・運搬から施工後の耐久性に至るまで、様々な性能が求められる。特に、様々な工程の中で要求される耐疵付き性と、耐久性の要である耐食性と耐候性が品質上のポイントと考えられる。「Jクラフト®」は JFE 鋼板の主軸商品ブランドとすべく、クロメートフリー化と同時に、これらの塗膜性能を高めた設計を行い、保証内容の強化を図っている。

「Jクラフト®」には、汎用タイプの「和み-FIT®」とハイグレードタイプの「極み-MAX®」の2商品をラインアップした。「和み-FIT®」は、赤錆・穴あき10年の保証(日

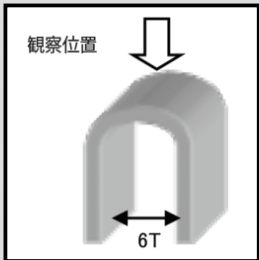
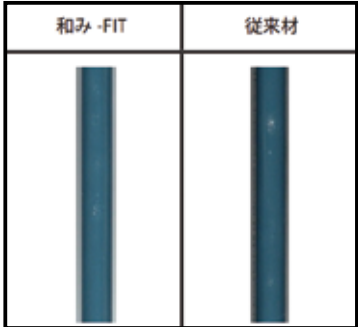
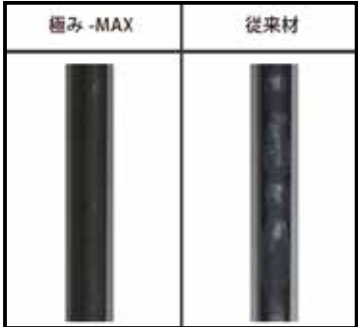
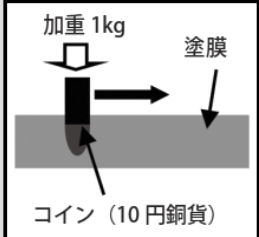
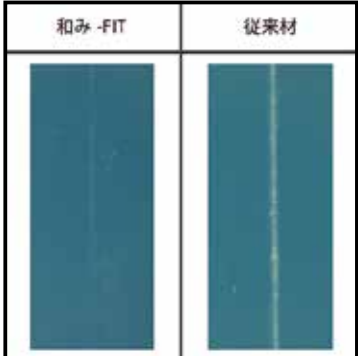
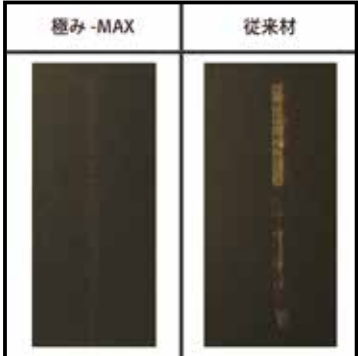
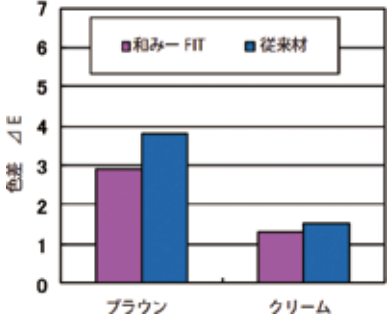
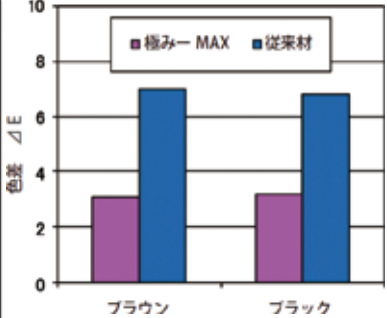
項 目	和み - FIT	極み - MAX
加工部耐食性 	複合サイクル腐食試験 90 サイクル後 	複合サイクル腐食試験 150 サイクル後 
耐疵付き性 コインスクラッチ試験 	加重 1kg 	加重 1.5kg 
耐候性	沖縄暴露 3 年 	沖縄暴露 7 年 

図 4 開発材と従来材（クロメートカラー鋼板）の各種性能比較

本鉄鋼連盟の標準保証規格⁵⁾とし、つやありからつや消しまで幅広いお客様ニーズに対応できる商品とした。「極み-MAX®」は、特殊骨材を配合して耐久性をより高めたつや消し調の塗膜により、全色で穴あき 25 年に加えて塗膜のわれ・はがれ・ふくれ 15 年の保証とした。さらに濃色系では変褪色 15 年保証が可能な色も設定した。両商品とも海岸から 500m 以遠の地域（従来は 1 km 以遠が標準）を標準保証の対象とした。

本開発商品では、主要性能である耐疵付き性と耐候性の向上を設計の中に取りこんでいる。建材用カラー鋼板の上塗り塗膜には、性能のバランスが優れることからメラミン硬化型ポリエステル樹脂が以前から広く使用されている。本開発商品の塗膜は、硬化剤およびポリエステル樹脂に最新の技術を取り入れることにより、加工性を維持しつつ、耐疵付き性と耐候性を向上させている。

以下、「J クラフト®」の主な塗膜性能を紹介する。図 4 に、「和み-FIT®」および「極み-MAX®」の 2 商品に対して実施した曲げ加工部の耐食性、耐疵付き性、および耐候性の評価結果を示す。

1) 曲げ加工部の耐食性

伸び歪率 14.3% (6T 曲げ) の曲げ加工部に対し、図 5 の腐食促進試験によって所定時間後の腐食状態を調べた。

2 商品とも従来のクロメート系カラー鋼板より優位であることがわかる。

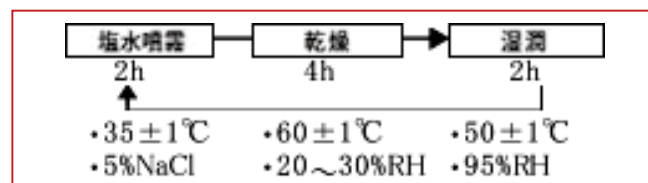


図 5 複合サイクル腐食試験条件 (JIS H 8502)

(2) 耐疵付き性

成形用金属ロールや工具類による疵を想定して、コインスクラッチ法による疵の発生状態を調べた。

2 商品とも従来材に比べて疵の発生が抑制され、塗膜が強化されていることが確認された。

(3) 耐候性

代表色による沖縄暴露試験を実施し所定年数経過後の色差* (初期からの変退色の度合) を調べた。

2 商品とも各色で従来材に比べて色差が小さく、変退色が抑えられていることが確認された。

*色差：ハンター色差式による

$$\text{色差 } \Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)}$$

(4) 遮熱性・防汚性

「J クラフト®」では、全色を日射反射率 40% 超にして遮熱機能を標準付与している。屋根材として用いた場合、太陽光の吸熱による屋内温度上昇を抑える効果がある。

また、主に壁に使用される淡色の塗膜には、防汚性（雨筋状の痕が目立たない機能）を付与した。実暴露試験による雨筋汚れ性試験結果例を図 6 に示す。防汚性を付与した本開発商品では、雨筋がほとんど目立たないことが確認された。



図 6 開発材および従来材の雨筋汚れ性（工場地域暴露 3 ヶ月）

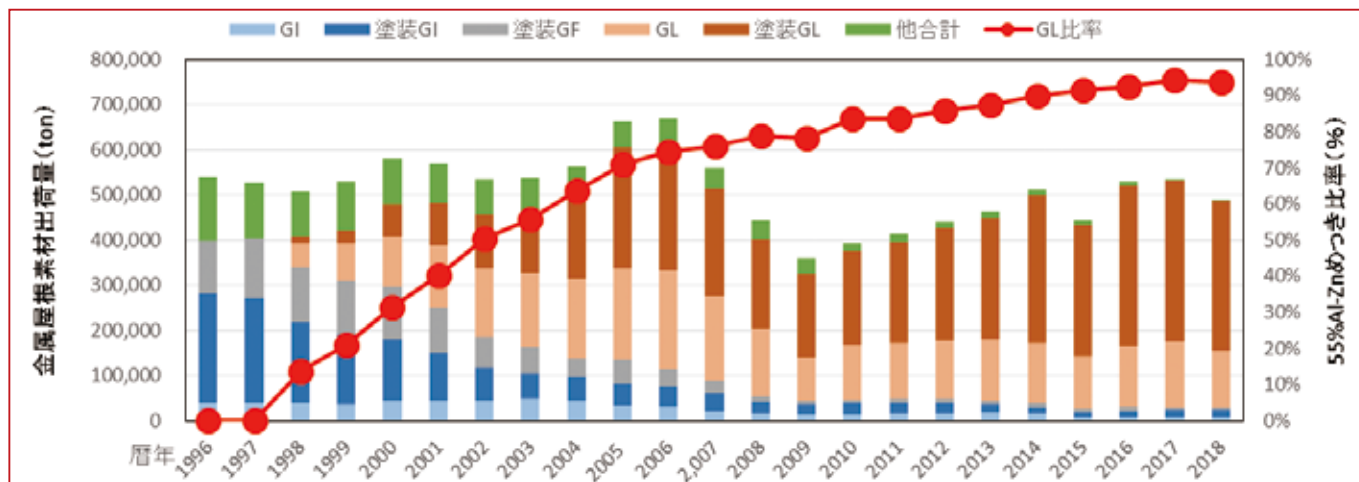


図7 金属屋根素材に占める各種めっき素材の推移

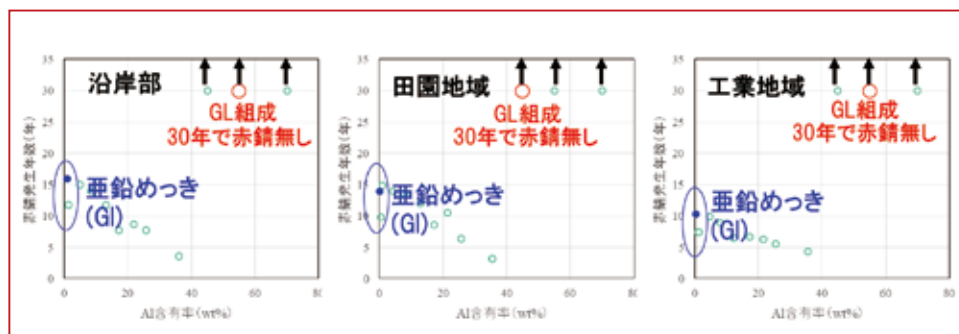


図8 30年間の曝露試験による耐食性とめっき中Al含有率との関係（参考文献6のデータから作図）

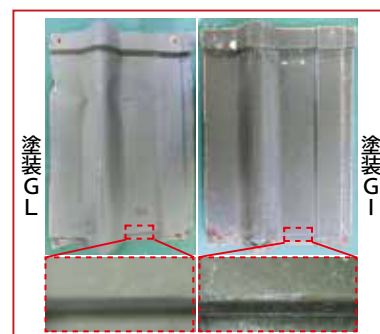


図9 20年間の曝露によるカラー鋼板の腐食状況（めっき種影響）

3. 溶融 55% アルミニウム－亜鉛合金めっき鋼板の課題

はじめに述べたように、国内における金属屋根の比率は年々増加している。さらに金属屋根に使用される材料に注目してみると、図7に示すように1990年代の半ばまではJIS G 3302の溶融亜鉛めっき鋼板（以後GIと称す）及びJIS G 3312の塗装溶融亜鉛めっき鋼板が全体のほぼ半分を占めていた。

1998年にJIS G 3321の溶融55%アルミニウム－亜鉛合金めっき鋼板、及びJIS G 3322の塗装溶融55%アルミニウム－亜鉛合金めっき鋼板が登場すると、その使用比率はまたたくまに増加して2014年には両者の合計で90%に到達、2018年には94%を占有するに至っている¹⁾。

ここまで急速にGLの普及が進んだ理由は言うまでもなく、外装建材が使用される環境における耐食性に優れているためである。GLは1960年代に米国のベスレームスチ

ール社で開発に着手され、1970年代に商業生産が開始され、その後国内に導入された。開発者らが実施した30年間の曝露試験において、めっき層中のAl含有率と耐食性との関係が明らかにされ、図8に示すようにGLは、沿岸部、田園地域、工業地域のいずれの環境においても30年間の曝露で赤錆の発生が認められないことが報告されている⁶⁾。

このように優れた耐食性を示すめっき鋼板を下地にして塗膜を形成したカラー鋼板の耐食性が優れることは容易に想像できる。図9はポリエステル系塗膜を有するカラー鋼板を用いた屋根部材を沖縄県うるま市の海岸線から約100mの地点で20年間曝露した後の腐食状況を示す外観写真である。めっき種の影響が明らかにみとれる。GI鋼板を下地にした検体には加工部を起点にした赤錆が認められる。一方でGLを下地にした検体には腐食の形跡が見られない。暴露地点は海岸線から100m以内の距離にあり、屋根材の使用環境としては国内で最も厳しい場所の一つであると考えられるが、GLを基材とするカラー鋼板は少な

くとも 20 年間程度では全く問題無いことが分かった。

近年、GL の耐食性を更に向上させることを狙いにして、マグネシウム等の第 3 元素を添加する技術が検討されている⁷⁾。しかしながら、耐食性という観点からは、国内の通常の使用環境下での GL は既に十分なレベルにある。むしろ課題は他にある。

GL のめっき皮膜は、主として亜鉛を過飽和に含有したアルミニウムがデンドライト凝固した部分（デンドライト相）と、残りのデンドライト間隙の部分（インターデンドライト相）からなっており、デンドライト相はめっき皮膜の膜厚方向に積層している。このような特徴的な皮膜構造により、GL は優れた耐食性を示す。優れた耐食性を有する反面、機械的特性、特に伸び特性に劣る傾向がある。そのため折り曲げ等の加工を行うと、加工の程度によっては被加工部のめっき鋼板部分に亀裂が生じ、使用上大きな問題になる場合がある。図 10 に曲げ加工を施した GL の断面組織を示す。アルミリッチなデンドライト相には亜鉛が過飽和に固溶しているためにインターデンドライト相よりも硬度が高く変形しにくい。このため、応力がインターデンドライト相部分に集中し、めっき層の亀裂がインターデンドライト相内に生じると考えられる。より厳

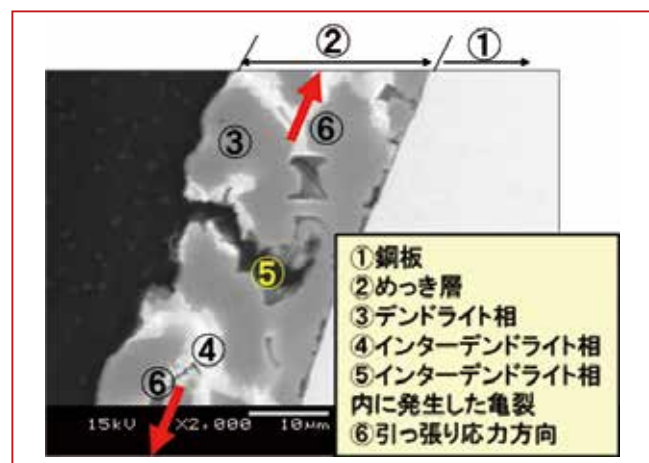


図 10 GL の曲げ加工部断面 SEM 写真

しい加工を受けると、このような亀裂が素地鋼にまで到達し開口部が大きく広がりめっき層による犠牲防食性が低下する。

めっき層に亀裂が生じること自体も問題であるが、その他に現場施工時の折り曲げ加工に大きな力を要すること、折り曲げ加工時に鋼板が破断してしまうことなどの問題もある。

4. 高加工 GL 仕様「ガルフレックス[®]」

前節で述べたように、溶融 55% アルミニウム－亜鉛合金めっき鋼板（GL）は耐食性に優れる反面、加工性に問題があることから、JFE 鋼板では GL を下地にしたカラー鋼板に、加工性を高めた「ガルフレックス[®]」仕様を設けている。図 11 に「ガルフレックス[®]」仕様の概念を示す。めっき皮膜の構造制御によって GI や GF（溶融亜鉛－5% アルミニウム合金めっき鋼板）に匹敵するレベルにまで軟質化させて曲げ加工性を向上し、加工部においても平坦部に近い耐食性を発揮させることができる。

通常の GL（塗膜無し）と「ガルフレックス[®]」仕様の GL（塗膜無し）の曲げ加工部の様子を図 12 に示す。通常の GL では 6T 程度の緩やかな加工でもめっき層に素地鋼

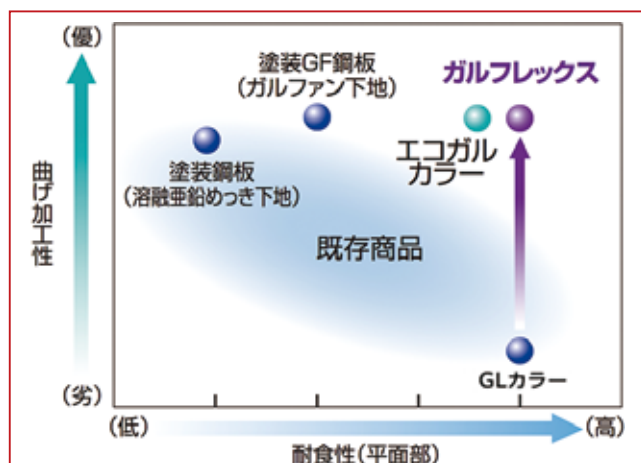


図 11 ガルフレックス[®]仕様の概念図

に到達する亀裂が認められるのに対して、「ガルフレックス®」仕様では加工部のめっき層が健全な状態に保たれていることが分かる。このように優れた加工性を付与するためには JFE 鋼板が独自に確立した技術が必要となる。

通常の GL（塗膜無し）と「ガルフレックス®」仕様の加工性を高めた GL（塗膜無し）に曲げ加工を施した試験片を千葉市工業地域の屋外に 4 年 8 か月暴露後の外観写真を図 13 に示す。通常の GL（塗膜無し）は 5T 程度の加工部にも点状の赤錆が認められ、さらに厳しい加工部はほぼ全面に赤錆が発生している。この赤錆は図 12 に示しためっき層の亀裂を起点にしていると考えられる。一方で、「ガルフレックス®」仕様の加工度を高めた GL（塗膜無し）にはほぼ赤錆が認められない。前節で述べたように GL の加工部ではめっき層に素地鋼に達する大きな亀裂が入り犠牲防食性が低下する。GL 本来の耐食性は 30 年間の暴露後も赤錆が発生しないレベルであることから、「ガルフレックス®」仕様で加工性を高めることが耐食性向上に大きく寄与することが分かる。

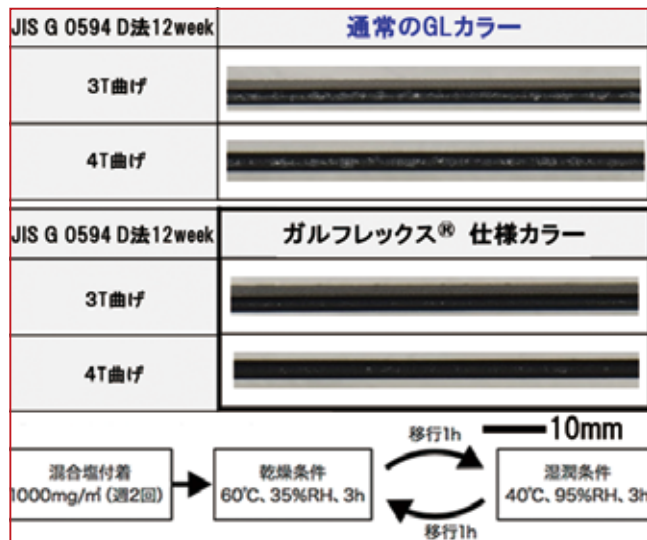
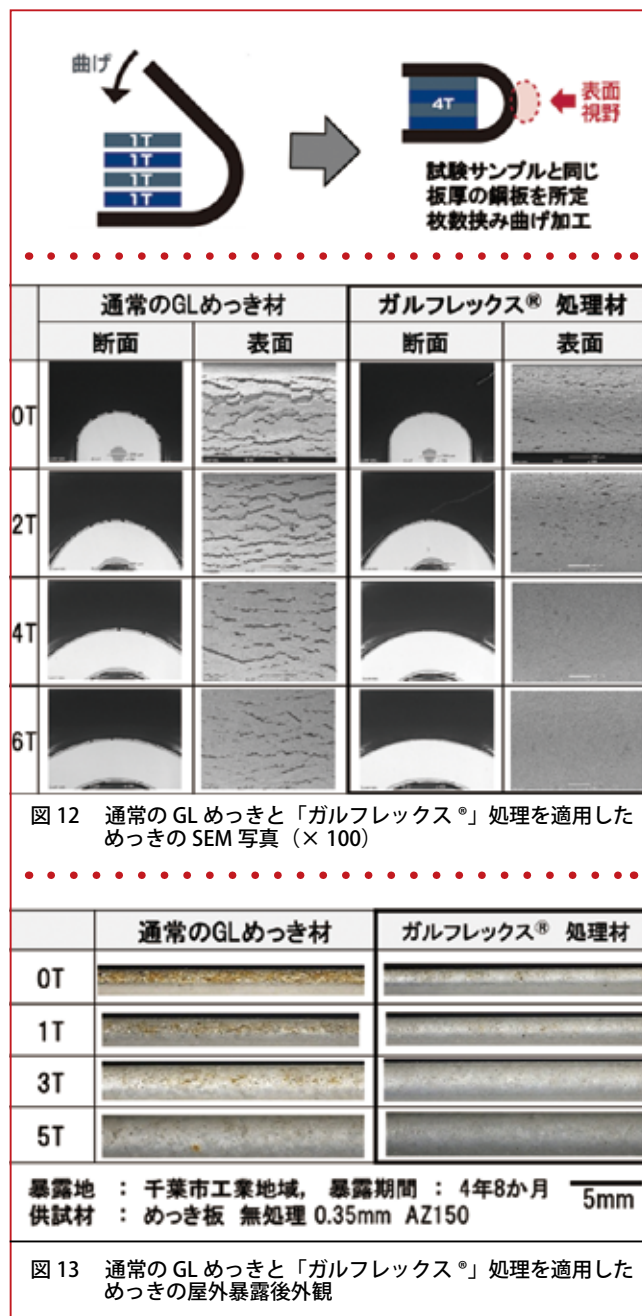


図 14 通常の GL カラーと「ガルフレックス®」仕様のカラー鋼板の加工部耐白錆性比較



〈軒天・軒下錆発生メカニズム〉

海塩粒子飛来…付着

雨により海塩洗い流し

軒天・軒下に海塩堆積



屋根や外壁に腐食因子物質(海塩粒子)が飛来し付着、堆積します。

雨が降ること腐食因子物質は洗い流されます。しかし軒天・軒下部は雨掛りしないため腐食促進物質が洗い流されません。また日当たりも悪いため湿潤環境が長く続きます。

軒天、軒下部は腐食因子物質が濃化し湿潤し続けるため腐食が促進されやすくなります。曲げ加工などで塗膜ワレが発生した場合顕著になります。

● 腐食因子物質(塩素イオン)の表面吸着量推移

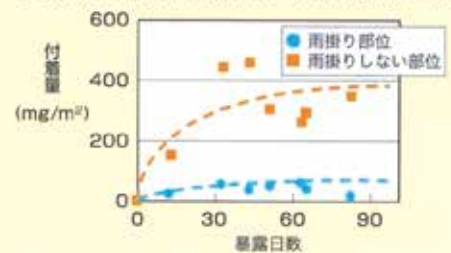


図 15 軒下腐食のメカニズム



図 16 屋根施工時に現場で行われる加工を模擬した曲げ加工性のテスト方法



図 17 ハゼ部曲げ加工後の外観

屋根 形式	スノーダクト方式(低勾配)	スノーダクト方式(低勾配)	切妻(3寸勾配)
			
軒先 加工部			
物件情報	小樽市内、離岸距離60m、築10年	小樽市内、離岸距離250m、築10年	苫小牧市内、離岸距離100m、築12年

図 18 「ガルフレックス®」仕様カラーを用いた築 10 ～ 12 年後の屋根加工部外観

ここまでは塗膜の無いめっき層そのものの耐食性にについて述べてきたが、塗膜を有するカラー鋼板においても「ガルフレックス®」仕様による耐食性の向上効果は大きい。

図 14 は建材用カラー鋼板の促進腐食試験において、暴露試験との相関性が高い⁸⁾と考えられている JIS G 0594 D 法（塩分付着サイクル試験）で加工部からの白錆発生挙動を評価した結果の一例である。

この評価法は、一定量の海塩粒子が飛来する大気環境による鋼板の腐食を模した試験である。試験条件として塩分量を設定できるため、塩分量の異なる様々な大気環境を模することができる⁸⁾。図 14 の評価では付着塩分を 1000mg/m²に設定した。この付着塩分濃度は離岸距離 1km 以内に建てられた家屋の軒下部に相当する⁹⁾。通常の GL カラーでは 4T 曲部に白錆が見られるが「ガルフレックス®」仕様カラーの加工部は健全な状態が保たれている。加工部の白錆は屋根材ではさほど目立たず大きな問題になることも少ないが、至近距離で目につきやすい外壁材は外観への要求が厳しく、加工部の白錆を抑えることが重要である。特に雨がかりしない軒下部の外壁は図 15 に示すように付着塩分が洗い流されずに高濃度になることから加工部の白錆が問題になりやすい。以上のことから、「ガルフレックス®」仕様カラーは外壁材としての用途において耐食性向上効果が期待できる。

図 16 に屋根施工時に現場で行われる加工を模擬した曲げ加工性のテスト方法を、図 17 にそのようにして評価した結果を示す。通常の GL カラー鋼板ではハゼ部に素材割れが発生するのに対して、「ガルフレックス®」仕様のカラー鋼板は健全な状態を保っていることが分かる。

「ガルフレックス®」仕様のカラー鋼板について、実際の屋根として長期間使われた後の状況を各地で調査を行っている。国内で最も金属屋根の普及率が高い北海道地区に

て、腐食環境の厳しい地域である小樽市と苫小牧市の沿岸部で調査した結果の一例を図 18 に示す。離岸距離 60 ～ 250m の地点で施工された築 10 ～ 12 年の屋根において、厳しい加工部にも腐食の形跡は見られず、問題無く使われていることが確認された。

5. おわりに

JFE 鋼板のカラー鋼板商品構成と、建材用の主軸商品である「J クラフト®」シリーズについて紹介した。

更に金属屋根素材の 90% 以上に使われている溶融 55% アルミニウム－亜鉛合金めっき鋼板の加工性を大幅に改善する「ガルフレックス®」仕様について述べた。

建材用カラー鋼板を評価する際に最も重要なことは、実際に使われる環境で発現する現象を正確に見極め、お客様が本当に必要とされるニーズに応える商品の提供につなげることと考える。

JFE 鋼板はさまざまな用途に適正な材料・製品を供給することで地球環境の保全に貢献するとともに、持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）をきっかけ、これからもお客様にとって使いやすく、長く安心してお使いいただける商品の開発と商品化を目指して行く。

【参考文献】

- 1) 日本金属屋根協会統計データ
- 2) Official Journal of the European Union : Directive 2002/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of Life Vehicles (2000)
- 3) Official Journal of the European Union : Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electric Equipment (2003)
- 4) 特許第 6509604 号, JFE 技報, No.41, 95(2018)
- 5) 屋根用塗装 / 亜鉛系めっき鋼板の標準保証規格 (日本鉄鋼連盟 建材薄板技術・普及委員会)
- 6) Thirty-Year Atmospheric Corrosion Performance of 55% Aluminum-Zinc Alloy-Coated Sheet Steel, H. E. Townsend, A. R. Borzillo, COATINGS & LININGS, 30 (1996)
- 7) 藤井史朗, 山中慶一, 下田信之, 第 36 回防錆防食技術発表大会講演予稿集, 33 (2016)
- 8) 梶山浩志, 藤田栄, 藤井和美, 酒井正則, 材料と環境, 55, 356 (2006)
- 9) 中田湖雄, 森田大, 辻川茂男, 第 47 回材料と環境討論会 A-106 (2000), 腐食防食協会