



入門講座

鋼の防錆・防食技術－7

自動車の防錆・防食

Corrosion and Its Protection of Automobiles

藤田 栄

Sakae Fujita

JFEスチール(株)スチール研究所
部長 主席研究員

1 はじめに

世界の自動車生産台数は1980年に2900万台で、生産地、消費地共に米国、欧州、日本が大勢を占めていた。30年後の2010年には世界の自動車生産台数は7200万台に達した。その自動車市場の内訳をみると中国、インドを含む新興国が急増し、全体の約半分に達した。自動車車体には、自動車本来の機能である走行性に併せて居住性、安全性、耐久性、燃費性能など様々な性能が求められる。これまで自動車の防錆仕様は主に融雪塩散布地域を対象にその地域での腐食実態調査と塩化物を含む各種腐食加速試験との結果を総合的に解析することにより改良されてきた。しかし、現在、生産地・消費地のグローバル化により融雪塩散布地域から高温多湿な熱帯地域に至る幅広い消費地環境を満足する競争力のある防錆設計が求められている。

本稿では、自動車の防錆品質とその対策の概要を紹介するとともに、鉄鋼材料を中心に代表的な部位の腐食機構とそれを再現する腐食試験法の現状を述べる。

2 自動車の防錆品質

2.1 自動車の平均使用年数、平均車齢

日本の乗用車の平均使用年数は、1981年－8.70年、1991年－9.17年、2001年－10.40年、2011年－12.43年と年々延びてきた。また平均車齢も1981年－4.33年、1991年－6.02年、2001年－6.04年、2011年－7.74年と長期化している。自動車の寿命は、駆動系、電子制御系の不具合や、疲労、腐食、衝突などの車体損傷により使用不能となる物理的寿命、付帯する機能が陳腐化して上位機能に移行する機能的寿命、車体整備費用と新車購入費用とのバランスなどから判断される経済的寿命に分類される。2011年度の主要耐久消費財の買替え状況(平成22年4月～平成23年3月)¹⁾をみると、乗用車の

買替え要因は上位品目への移行24.9%、故障25.2%、その他50.9%であった。全体の1/4が故障による買替え要因である。

1990年登録者の世界における自動車の新車販売台数と保有台数の時系列解析を行い自動車の国別残存率を推計した解析結果が報告されている²⁾。この報告では自動車全体の故障特性は、個々のモジュールの平均的な故障特性ではなく、最弱のモジュールの故障特性だけで決まるため、残存率はワイブル分布に従うことが明らかにされている。図1²⁾にワイブル分布に基づいて1990年新規登録車の自動車残存率を推定した結果を示す。乗用車の平均廃車年数は、日本が最も短く、欧州主要国がそれに続き、米国、ブラジル、オーストラリアの順で長くなり、途上国のインド、中国では、日本の約2倍と推計されている。各国間に見られる残存率の差異は、乗用車の車種・用途構成や、国土構造・交通環境の違いに起因しているのではないかと推察されている。腐食が自動車の寿命を決定する要因であるかどうかは国によって異なると考えられるが、古くから融雪塩散布地域では自動車の腐食はその寿命を決定する最重要要因であった。

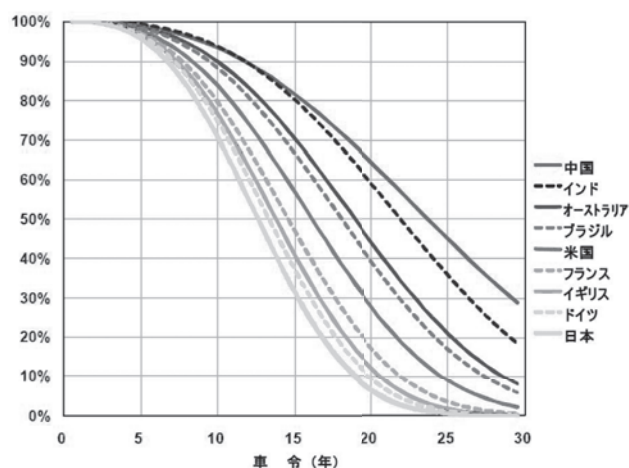


図1 主要国の乗用車残存率推定値(1990年登録車)²⁾

2.2 自動車の防錆品質

1960年代以降、北米、欧州では自動車の走行安全を確保するために冬季間に融雪塩を散布してきた。その散布量は年々急増し、1970年代になって融雪塩による自動車腐食が顕在化し社会問題として取り上げられた。自動車を安全に走行させるために散布した融雪塩が自動車車体の腐食を引き起こし、皮肉にも自動車の安全走行を損なう要因になった。そのため米国や北欧では自動車車体の防錆品質目標、カナダコード(1981年、穴あき腐食なし：20万kmあるいは5年、外観錆なし：6万kmあるいは1.5年)、ノルディックコード(1983年、穴あき腐食なし：6年、外観錆なし：3年)、米国BIG3自主目標(GM、FORD、Chrysler、1989年、穴あき腐食なし：10年、外観錆なし：5年、エンジン内錆なし：2年、床下部品錆なし：1年)が提示された。米国BIG3の自主目標は法的拘束力がなかったが、世界の自動車メーカーの防錆品質指針として長い間位置付けられてきた。同目標は、現在も米国の防錆自主目標として堅持されている。

1998年、ドイツの自動車メーカーから12年穴あき腐食なしの防錆目標が提示され、日本の自動車メーカーに衝撃が走った。米国の10年穴あき腐食なしの目標達成に向けて、日本の自動車メーカーは車体構造・化成処理・塗装の改良と表面処理鋼板の適用化率増大を図り、10年穴あき腐食なしの防錆設計が完成域に入っていた矢先であった。12年防錆の背景には、持続可能な環境保護を目的として欧州連合内で長い間議論を重ねてきた廃棄物管理に向けた一連の活動があった。1997年欧州委員会からELV指令提案(Proposal for a directive on End-of-life vehicles)が提案され、同年ドイツでもドイツ自動車工業会(VDA)とドイツ自動車輸入業会(VDIK)に鉄鋼、金属、プラスチック、ガラス、繊維など14の自動車関連工業、協会が加わって作成した「廃車およびリサイクルのための使用済自動車令」が成立し、翌年1998年4月に施行された。この自動車令発効以後に登録された使用年数12年以内の自動車はすべて無料で引き取ることが義務づけられた。また自動車の廃棄物量をメーカーあたり2002年15%、2015年に5%に削減することが盛り込まれた。輸入車もその対象であった。2002年の段階では12年防錆を保証する自動車メーカーは全体の半分程度であったが、現在はほぼ全自動車メーカーが12年穴あき腐食なしを保証している。

3 自動車の防錆必要部位と防錆技術の進化

3.1 防錆必要部位

図2³⁾に、自動車車体の腐食の厳しい部位を示した。腐食の厳しい部位は、下記の3部位である。

- ①水分や塩化物が滞留しやすい「鋼板合わせ部」
- ②飛び石などにより塗膜損傷を受けやすい「外板外面部」
- ③鋼板端面が露出しやすい「鋼板端部」

鋼板合わせ部の隙間は、化成処理や電着塗装、その後の塗装が廻りにくいところである。またこの隙間には水や塩化物が滞留しやすい。そのため、隙間内部から鋼板が腐食して、最終的に外部に貫通する「穴あき腐食」が問題となる部位である。これはいわゆる隙間環境における裸腐食に分類される。外板外面部は、塗膜損傷部から塗装下地の鋼板が腐食して塗装が膨れ、また赤錆が発生する塗膜下腐食が問題となる部位である。これは、「外観錆」に分類される。「鋼板端部」は塗装硬化時に塗膜が収縮しやすいために、鋼板端部が露出し腐食するところである。この腐食は「端面腐食」に分類される。外観錆や端面腐食は塗装による補修が比較的容易なのに比較して、穴あき腐食は外観から判明したときには外板内面から外板外面にまで達しており、補修が非常に難しい。そのため穴あき腐食は自動車車体の最重要防錆課題として位置付けられている。

3.2 自動車防錆技術の進化

自動車の腐食を防止するために、大別して以下の4通りの対策が実施されている。

- ①自動車構造の改良
- ②化成処理や塗装の強化
- ③防錆鋼板の適用
- ④ワックス、シーラーなどの副資材付与の強化

以下に、自動車構造の改良、化成処理技術、電着塗装技術の技術進歩の概要を紹介する。なお、ここでは中塗り塗装、上塗り塗装、副資材については割愛する。

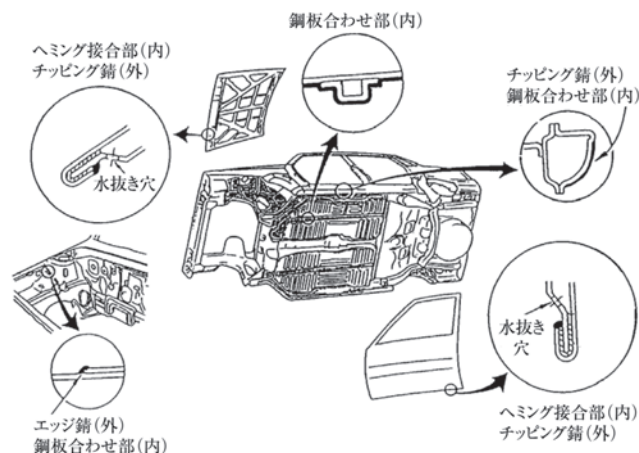


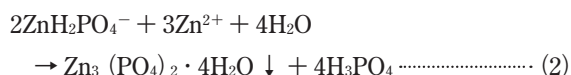
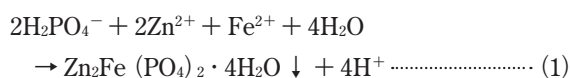
図2 自動車ボディーの防錆重要部位³⁾

(1) 自動車構造の改良

自動車車体には、鋼板合わせ部や袋部に電着塗装が入りやすくするために鋼板合わせ部の接触面積をできる限り小さくすることや袋部内板に孔をあけるなどの構造上の対策が講じられている。日本車は世界で最もきめ細かく構造改良による防錆対策が実施されている。その防錆力向上効果は大きい。

(2) 化成処理技術の進歩

自動車鋼板には下記の反応⁴⁾により2種類の皮膜が生成する。鋼板上では $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ （フォスフォフィライト）が生成する。亜鉛めっき鋼板上では $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ （ホパイト）が生成する。



自動車の化成処理は、古くはスプレー方式であったが、鋼板合わせ部内部や袋部内部での化成処理性を改良するために、1980年頃から自動車を全浸漬するフルディップ方式が採用された。スプレー方式からフルディップ方式への変更により自動車の防錆性は格段に向上した⁵⁾。亜鉛めっき鋼板ではホパイトが析出するが、フォスフォフィライトと同等の特性を出すために化成処理液にNiやMnイオンを添加している。最近ではリン価格の高騰、Ni、Mnの廃液処理やスラッジ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)の廃棄物処理の点から酸化ジルコニウム系(ZrO_2)による化成処理も一部実用化され始めている^{6,7)}。

(3) 電着塗装技術の進歩

自動車の塗装は、下塗り塗装としての電着塗装、スプレー

塗装による中塗り、上塗りにより達成される。電着塗装の塗膜厚さは通常20 μm 程度である。

電着塗装はイオン性を持った樹脂、顔料を含んだ水溶液を電気分解することにより、金属表面に塗装を施す技術である。電着塗装技術にはアニオン型とカチオン型がある。自動車塗装技術としては古くはアニオン電着塗装であった。耐食性向上の要求から1970年代後半頃からカチオン電着塗装へ移行した。カチオン電着塗装への移行後、厚膜型、高エッジ防錆型、低温焼き付け型の塗料改良が行われた。ELV指令案により鉛使用量の規制が始まり、2000年から鉛フリー型カチオン電着塗装技術が急速に展開が進み、現在でボディーライン、部品ラインはすべて鉛フリーにおき換わっている⁸⁾。最近では、袋部内部の耐食性を向上させるために、電着の塗装回り性を向上させた高付き回り型電着塗料の開発が行われている。

(4) 表面処理鋼板の適用

自動車表面処理鋼板は、1980年代に盛んに開発研究が行われた。商品化されたものだけでもZn-Fe合金系電気めっき鋼板、Zn-Ni合金電気めっき鋼板、有機複合めっき鋼板、溶融亜鉛めっき鋼板、合金化溶融亜鉛めっき鋼板、有機系を含めると10種類程度ある。図3に表面処理鋼板のこの30年間の変遷を示した。現在は日本の自動車メーカーが主に採用している合金化溶融亜鉛めっき鋼板と欧米の自動車メーカーが主に採用している溶融亜鉛めっき鋼板とに二分化している。合金化溶融亜鉛めっき鋼板は、塗装性、溶接性が溶融亜鉛めっき鋼板に比較して優れており、併せて耐食性、プレス性が溶融亜鉛めっき鋼板と同等の特徴を備えるもので、日本が世界に先駆けて開発した高機能表面処理鋼板である。近年、プレス成形性を向上させるために、めっき層の上層に薄い皮膜を生成させたプレス成形性に優れた合金化溶融亜鉛めっき鋼板が

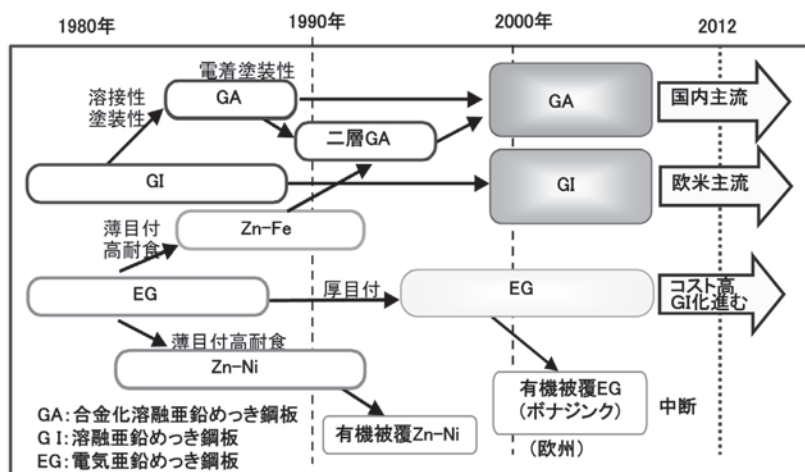


図3 自動車用表面処理鋼板の変遷

採用されている^{9,10)}。

最近、自動車車体の軽量化を目的として様々な高強度鋼板が開発され、自動車用材料として適用されている。鋼板を高強度化し、かつ機械特性を向上させるためには、鋼中へのSi、Mn等の固溶強化元素の添加が極めて有効である。しかしながら、Si、Mnは連続式溶融亜鉛めっきラインにおける再結晶焼鈍工程において、鋼板表面に選択的に外部酸化されるため、溶融めっき濡れ性を劣化させてめっき欠陥を発生させる傾向がある。この問題を解決するため、製造条件の最適化による焼鈍工程での選択外部酸化を抑制する方法が提案されており、同時に様々な高強度合金化溶融亜鉛めっき鋼板が実用化されつつある^{11,12)}。

4 自動車鋼板の腐食機構

4.1 穴あき腐食

藤田らは、北米融雪塩地域で5年から10年間使用した自動車を回収して、その腐食現象を詳細に解析をして、鋼板合わせ部を4段階に分割したモデルを提示した。図4¹³⁾および図5^{14,15)}に、4段階腐食モデルを示す。このモデルでは、①第1段階を、めっき皮膜が下地鋼板を全面被覆しており、その

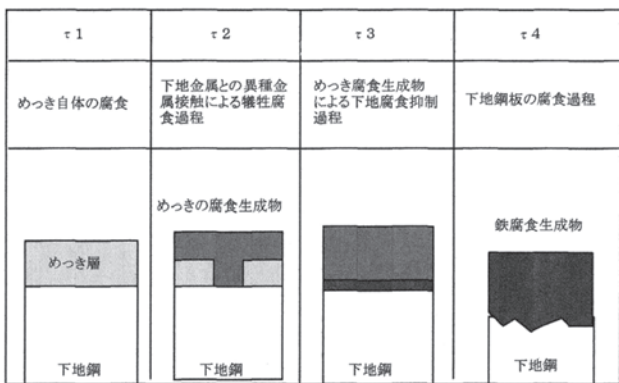


図4 亜鉛めっき鋼板の腐食過程¹³⁾

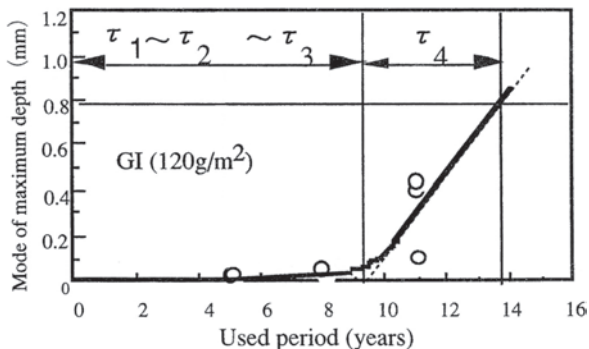


図5 防錆鋼板 (GI120g/m²) が穴あきに至るまでの期間¹⁴⁾

めっき皮膜が腐食する過程 (期間: τ_1)、②第2段階を、めっき面の一部において下地鋼板が部分的に露出し、めっき皮膜が下地鋼板を犠牲防食する過程 (期間: τ_2)、③第3段階を、下地鋼板が露出した周辺にめっき皮膜が残存していても犠牲防食の距離が長い、あるいは腐食生成物の閉塞効果などにより露出した下地鋼板への犠牲防食効果が機能しなくなるが、亜鉛の腐食生成物の効果で下地鋼板の腐食が抑制される過程 (期間: τ_3)、④第4段階を、亜鉛の腐食生成物による下地鋼板の腐食抑制効果が失われ、下地鋼板が腐食し穴あきに至るまでの過程 (期間: τ_4) としている。自動車の鋼板合わせ部では、めっき皮膜が下地鋼板を犠牲防食する過程の期間、 τ_2 は比較的短く、亜鉛の腐食生成物の効果で下地鋼板の腐食が抑制される過程の期間、 τ_3 が比較的長いと報告されている。また亜鉛の腐食生成物の効果で下地鋼板の腐食が抑制される過程を模擬して、回収車のサイドシル内部で検出されたZnOやZnCl₂・4Zn(OH)₂と鉄錆を腐食試験前にあらかじめ充填した合わせ部模擬試験を行い、亜鉛腐食生成物が下地鋼板の腐食におよぼす影響を検証した結果、冷延鋼板合わせ内部にZnOやZnCl₂・4Zn(OH)₂などの亜鉛系腐食生成物を充填するとオキシ水酸化鉄(III)とFe₃O₄の生成が抑制されていることから、ZnOやZnCl₂・4Zn(OH)₂などの亜鉛系の腐食生成物は、鉄錆の酸化還元反応を抑制し、下地鋼板に対して腐食抑制剤として作用しているものと報告されている¹⁵⁾。

図6¹⁶⁾に走行8年におけるドアヘム部およびサイドシル鋼板合わせ部の最大腐食深さの最頻値とめっき付着量の関係を示す。この試験では当時実用化されていためっき鋼板を評価した。その結果、鋼板合わせ部の腐食はめっき種の違いに依存しなく、めっき付着量が多いほど鋼板の穴あき腐食が抑制されることが明らかにされた。

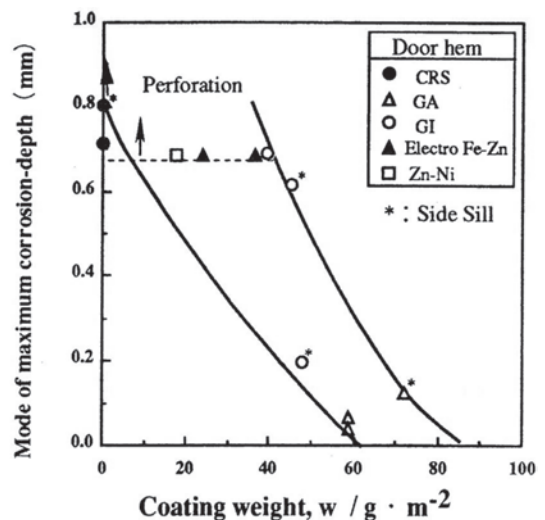


図6 臨海工業地帯8年走行車の腐食穴深さとめっき付着量の関係¹⁶⁾

4.2 外観錆

図7¹⁷⁾は自動車の外板外面にカッターナイフで人工的に損傷を加え、臨海工業地帯を8年間走行した後、塗膜を剥離し、塗膜下の腐食進行状態を観察した結果である。亜鉛めっきを施さない冷延鋼板では、糸錆腐食が進行している。これに対して溶融亜鉛めっき鋼板（めっき付着量90g/m²）では、糸錆の発生が抑制されていることが分かる。併せて同報告では外観腐食についても、穴あき腐食と同様にめっき種の違いに依存しなく、めっき付着量が多いほど塗膜膨れが抑制されることが明らかにされた。

塗膜下腐食の劣化現象には、図8¹⁸⁾に示したように、①傷部周辺の塗膜が膨れる現象と、②傷部から赤錆が発生し、錆びの生成により塗膜膨れが成長する現象とがある。①は塩水

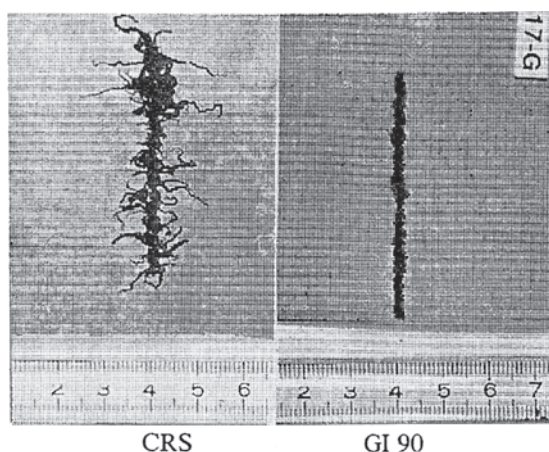


図7 自動車外板外面に発生した塗膜下腐食の形態¹⁶⁾

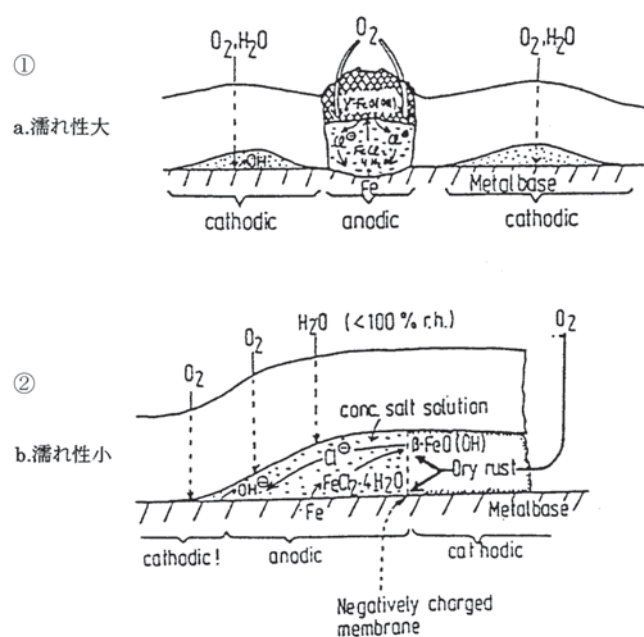


図8 塗膜下腐食機構モデル (W.Funke)¹⁸⁾

噴霧や塩水浸漬のような環境の濡れ性が高いときに起きる塗膜下の腐食現象である。傷部がアノードとなりその周辺の塗膜下部がカソードとなる電池を形成して塗膜下はアルカリ環境となるため塗膜膨れが進行する。②は比較的湿潤が低い環境で起きる塗膜下の腐食現象である。冷延鋼板の場合には塗膜膨れ先端部が局部アノードとなって糸状に塗膜膨れが進行する。実態腐食から明らかなように、自動車外観では②の腐食形態で塗膜下腐食が進行する。

図9¹⁹⁾に、外観腐食に関するカッター傷部の塗膜膨れ幅とめっき付着量の関係を示す。亜鉛めっき付着量が多いほど、塗膜の膨れ幅が小さくなり、腐食が抑制されていることが分かる。

4.3 シャーシー・足回り溶接部腐食

足回り部品は自動車車体を支えている部品である。自動車の走行安全性を確保する上で、足回り部品の防錆確保は重要である。足回り部品は化成処理と電着塗装により防錆されており、一般的に上塗り塗装は施されない。この部品はアーク溶接による鋼板を溶接しているため、非めっき鋼板では溶接熱により溶接部近傍に鉄の酸化皮膜が生成しやすい。鉄の高温酸化皮膜が生成したところでは化成処理皮膜が生成しにくいために、そこを起点にして塗膜劣化が進行し、鋼板の腐食が起きやすくなる。防食対策として電着塗装の強化やめっき鋼板の適用が有効とされる。溶接技術を改良することにより耐食性を改善できるとの報告もされている¹⁹⁾。

5 自動車腐食試験法

腐食試験の使用目的は、品質管理（工場出荷検査、受入検査など）と材料評価（材料開発試験、材料施工性試験、腐食クレーム再現試験、腐食機構説明試験など）に大別される²¹⁾。

表1および表2に、自動車用腐食試験法（工業規格）と自動車用腐食試験法（企業規格の一例）を示す。評価部位を明

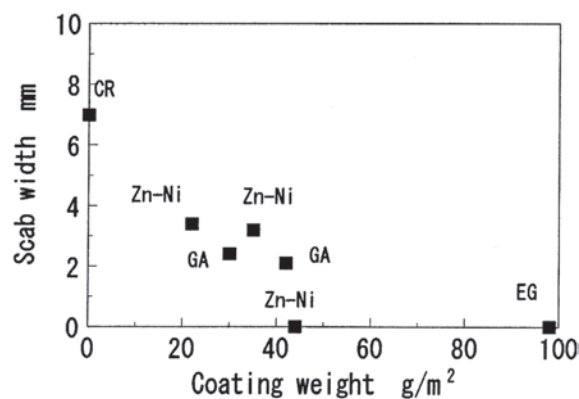


図9 沖縄10年走行車の塗膜膨れ幅とめっき付着量の関係¹⁹⁾

記していないが、その多くは外観腐食試験法として用いられている。代表的な試験法が塩水噴霧試験方法 (SST、JIS Z 2371) である。この試験法は、試験方法が非常に簡易的でかつ短期間に評価結果が得られることから金属の品質管理試験法として広く使われている。

図10²²⁾に沖縄海岸暴露における塗装表面処理鋼板の塗膜膨れ幅の経年変化と同塗装鋼板の塩水噴霧試験による結果を示す。沖縄の海岸暴露では冷延鋼板を下地とした塗装鋼板に発生した塗膜膨れ幅が最も大きく、亜鉛めっきを施すと塗膜膨れが抑制される。これに対して、常時濡れている塩水噴霧試験では、亜鉛めっきを下地とする塗装鋼板の塗膜が最も大きく、冷延鋼板が最も小さくなり、耐食性の序列が大気環境と逆転している。この耐食性の逆転は4.2節で紹介したように塩水噴霧試験と実環境との腐食機構が異なるためである。塩水噴霧試験法は工場出荷検査、受入検査など金属の品質管理試験法としては非常に優秀な試験法であるが、実環境での

材料評価腐食試験には適さない試験法であることが分かる。

塩水噴霧試験に替わる自動車用腐食試験法が国内外で開発されてきた。国内では、日本自動車技術会は実車適合性の高い外観腐食試験法を開発するプロジェクトを1980年代後半に開始した。各種表面処理鋼板の無塗装材、塗装材を供試材として、沖縄暴露試験との相関から試験条件を絞込み、1991年に「自動車用外観腐食試験法JASO M 610-1991」が規格化された。この試験法は、無塗装材については板厚減少および腐食減量で、塗装材については人工傷からの塗膜膨れ幅と剥離幅で耐食性を評価する方法である。同規格は1999年にJIS規格「めっきの耐食性試験方法 (JIS-H8502-1999) の中性塩水噴霧サイクル試験」として、また2001年に「塩化物を含んだ乾湿環境における腐食促進試験法”Corrosion of metals and alloys - Accelerated testing involving cyclic exposure to salt mist, “dry” and “wet” conditions. (ISO 14993 : 2001 (E) “)」としてISOに規格化されている。米国では、米国自動車技術

表1 自動車車体用腐食試験法の工業・協会規格

規格No	機 関	規格名	試験条件	JIS, ISO 規格関係
JIS Z2371	日本工業規格	塩水噴霧試験方法	中性塩水噴霧試験 5%NaCl水溶液, 35℃, 6.5 < pH < 7.2	ISO 9227
			酢酸塩水噴霧試験 5%NaCl + 酢酸, 3.0 < pH < 3.1, 35℃	
			キヤス試験 5%NaCl + 塩化銅+塩化銅 (II) 水和物, 3.0 < pH < 3.1, 35℃	
JASO M609 : 1991	日本自動車工業会	自動車用材料腐食試験方法	SST (5% NaCl, 35±1℃, 2h) → Dry (60±1℃, 20-30%RH, 4h) → Wet (50±1℃, > 95%RH, 2h)	→JIS H8502 →ISO 14993
JASO M610 : 1992	日本自動車工業会	自動車部品外観腐食試験方法	同 上	→ISO11997-1 A
SAE J 2334-2003	Society of Automotive engineers Standards	Laboratory Cycles Corrosion Test	Daily: Wet (50℃, 100%RH, 6h) → Salt application-Dip, Fog or Spray (0.5%NaCl+0.1%CaCl2+0.075%NaHCO3, 25℃, 15min) → Dry (60℃, 60% RH, 17h 45min) -Weekend and Holiday only: Dry (60℃, 20-30% RH, 48hrs)	
VDA 621-415	Verband der Deutschen Automobilindustrie	Testing of Corrosion Protection of Vehicle Paint by Alternating Cycles Test	Monday: SST (5%NaCl, 35℃, 24h) → Tuesday to Friday: Wet (40℃, 95% RH, 8h) → Wet (23℃, 50% RH, 16h) → Sturday&Sunday: (23℃, 55% RH, 24h) 全部で10週間で終了	ISO 11997-1 B

表2 自動車車体用腐食試験法の企業規格例

規格No	企業名	規格名	試験条件
GM9540P	General Motors	Accelerated Corrosion Test	Daily: Ambient climate (directSST×4times, 25℃, 40-50% RH, 8h) → Wet (49℃, 100% RH, 8h) → Dry (60℃, < 30% RH, 8h) -Weekend and Holiday only: ambient climate 塩水噴霧はambient climate 8時間内に4回行う
STD1027, 1375	VOLVO	Accelerated Atmospheric Corrosion Test- Volvo Indoor Corrosion Test (VICT)	温度一定-相対湿度変化 Humid stage (35℃, 90%RH, 7hr) → Transition stage (35℃, 90 → 45%RH, 30min) → Dry stage (35℃, 45%RH, 4hr) → Transition stage (35℃, 45 → 90%RH, 30min) → 【Every 84 hours (7wet/dry cycles)】 Salt dip (1wt%NaCl, 1hr)
ECC-1	Renault	Corrosion test with automatic changeover of humidity & drying phases	【main test cycle】 Contamination (NaCl1%, 35℃, 30min, pH4) → Flush (35℃, 5min) → Wall rinsing (35℃, 5min) → Flush (35℃, 5min) → Forced drying (35℃, 20% RH, 1hr35min) → Drying (35℃, 55% RH, 1hr35min) → 【Sub test cycle】 Humidity (35℃, 90%RH, 1hr20min) → Drying (35℃, 55% RH, 2hr40min) main test cycleを行った後にSub test cycleを5回繰り返す

者協会 (SAE) と米国鉄鋼協会が1980年代後半に外観腐食試験法開発の共同プロジェクトを開始した。北米およびカナダで、自動車に試験材を取り付けて走行する on-vehicle 試験と19種類の腐食試験を行い、「自動車用外観腐食試験法 (SAE J2334)」を1998年に規格化した²³⁾。この試験法は、めっき鋼板の種類および化成処理の種類によらず、実車の腐食と最も高い相関性を示したことが報告されている。これらの腐食試験法はいずれも外観防錆を対象としたものである。

穴あき腐食を特定した工業規格はない。自動車の防錆設計上、穴あき腐食対策は極めて重要であることから、米国では穴あき腐食試験法として自動車用外観腐食試験法 (SAE J2334) の腐食条件と鋼板合わせ部の模擬的な試験片を組み合わせる試験法を推奨している²⁴⁾。藤田らは、穴あき腐食試験法の実環境再現性を評価する指数、PCI (Perforation Corrosion Index) を提案し、それを用いて国内外の自動車用に規格化された工業規格と自動車メーカーの腐食試験法を評価した²⁵⁾。また、国内では自動車用外観腐食試験法 (SAE J2334) を基本腐食条件として、穴あき腐食におよぼす試験片構造の影響を調査した結果、防錆鋼板の穴あき腐食を腐食試験法により評価する場合鋼板合わせ部の隙間の幅などを模擬的に調整することなく、自動車の製造工程に従った試験片を用いることが重要であると報告している²⁶⁾。

さらに最近、欧州から新自動車腐食試験法 (N-VDA 法) が提案され、自動車の外観腐食試験法ならびに穴あき腐食試験法として再現性が高いと報告されている²⁷⁾。

自動車車体では、前述した外観腐食、穴あき腐食の他に、エンジン回りや足回りの腐食なども自動車防錆設計上重要な課題である。これらについても各社各様の腐食試験法が規格化されているが、今後、自動車の生産地域、消費地域がグローバル化するに伴って自動車車体に係わる各種腐食試験法が統一化されることを期待したい。

6 まとめ

自動車の防錆品質目標と防錆対策の変遷を述べるとともに、鉄鋼材料を中心に代表的な部位の腐食機構とそれを再現する腐食試験法の課題を紹介した。

自動車の防錆技術は、日本の自動車産業の興隆に後押しされる形で、高生産性 (加工、溶接、塗装) と高耐食性を兼ね備えた化成処理、塗装、表面処理鋼板の研究開発により急速に進化した。しかし、その一方で、鉄鋼材料の観点では、腐食試験において高耐食性を示す新防錆鋼板の多くが、実車では期待したほどの耐食性を示さなかった。材料の耐食性序列が腐食試験と実環境とで入れ替わるという現象は、鉄鋼材料の材料開発方針そのものを揺るがした。この貴重な教訓から、その後実環境における亜鉛系めっき鋼板の耐食機構と腐食試験法の実環境再現性の研究が表面処理鋼板の分野で盛んに行われてきた。腐食試験は、品質管理試験と実環境腐食再現試験の両方の位置付けがある。大量消費時代には物理的寿命に達する前に、ほとんどの商品は機能的寿命が尽きて陳腐化して寿命に達していたと思われる。その時代には腐食試験は品質管理試験としての位置付けで済んでいた。しかし、現在、社会は、資源・廃棄物・エネルギーを最小化する循環型システムへ移行しようとしている。このような中で、材料・装置・構造物の物理的寿命を定量的に予測する寿命予測技術が求められている。今や、腐食試験は品質管理試験に加えて実環境再現試験としての位置付けが重要になってきた。また、それによる寿命予測技術へ展開が必要となっている。

自動車の生産地・消費地は全世界的に拡大している。商品の使われる環境は多種多様になり、従来とは異なった寿命、機能を備えた新表面処理鋼板が必要とされてくることが期待される。21世紀の急変する社会構造、生産地域、消費地域での材料の需要に的確にかつ敏速に対応できる新表面処理鋼板を開発していくために、定量的な予測ができる評価技術の開発は不可欠であると考えている。

参考文献

- 1) 消費動向調査 (全国、月次) 平成23年3月実施調査結果 (平成24年4月公表), 内閣府経済社会総合研究所, (2012), 13.
- 2) 佐野雅之: 同志社大学 技術・企業・国際競争力研究センター, ITEC Working Paper Series, (2008) 08-06.
- 3) 深田新: 表面技術, 43, (1992) 6, 516.
- 4) 最新工業塗装ハンドブックハンドブック (第1刷), 株式会社テクノシステム発行, 東京, (2008年), 159-167.
- 5) T.C.Simpson, A.W.Bryabt, G.Hook, R.J.Swinko and R.W.Miller: Corrosion 95, NACE, Orlando, (1995), 394.

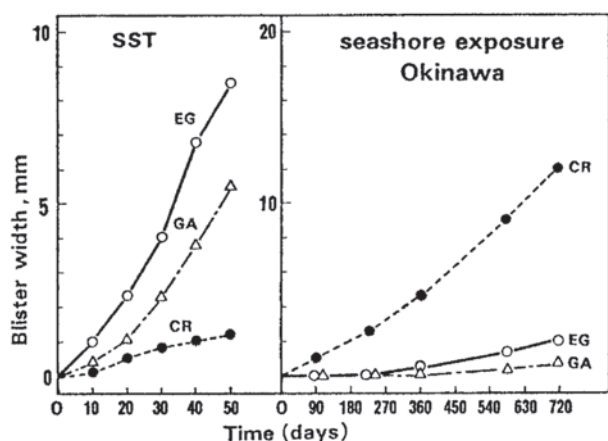


図10 沖縄暴露と塩水噴霧試験における塗装鋼板の塗膜膨れ幅¹⁹⁾

- 6) P.Kuhm (Henkel AG&Co) , 8th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech2011) , (2011) , 283.
- 7) 細野宏, 岡田栄作 : (社) 自動車技術会学術講演会前刷集, (2006) 46-06.
- 8) 村松孝亮 : 塗装工学, 46 (2011) 11, 363.
- 9) 落合忠昭, 鈴木眞一, 宮坂明博, 福井政治, 平田雅裕, 伊藤健 : 新日鉄技報, (2003) 378, 44.
- 10) N.Yoshimi, H.Masuoka, S.Taira, T.Imokawa, M.Nagoshi, Y.Yamasaki, Y.Sugimoto and S.Fujita : Proceedings of The 7th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech'07) , (2007) , 504.
- 11) 例えば, Y.Suzuki, T.Yamashita, Y.Sugimoto, S.Fujita and S.Yamaguchi : ISIJ Int., 49 (2009) 4, 564.
- 12) Y.Suzuki : 8th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel Sheet (Galvatech'11) , Genova, Italy, (2011) , 61.
- 13) 藤田栄 : 亜鉛系表面処理鋼板の防錆機構フォーラム活動記録, (社) 日本鉄鋼協会, 材料の組織と特性部会, (2001年7月20日) , 193.
- 14) 藤田栄, 梶山浩志 : 第43回腐食防食討論会講演集, (1996) , 331.
- 15) 藤田栄, 梶山浩志, 山下正明 : 材料と環境, 50 (2001) , 115.
- 16) 佐々井圭三, 馬淵晃, 藤田栄, 梶山浩志, 山下正明 : CAMP-ISIJ, 9 (1996) , 474.
- 17) S.Fujita : Proc. of The Int. Conf. on Zinc and Zinc Coated Steel Sheet (GALVATECH98) , ISIJ, Tokyo, (1998) , 686.
- 18) W.Funke : Prog. Org. Coatings, 9, (1981) , 29.
- 19) 本田和彦, 西村一実, 林公隆, 山崎文男, 湯浅健正, 井上郁也 : CAMP-ISIJ, 9 (1996) , 473.
- 20) 鈴木励一 : 溶接技術, (2012) 5, 52.
- 21) 第2版鉄鋼便覧Ⅲ (CD-ROM), 日本鉄鋼協会編, 丸善, 東京, 第4章2編4・8・5, (1980)
- 22) 黒川重男, 番典二, 大和康二, 市田敏郎 : 鉄と鋼, 72, (1986) 8, 223.
- 23) H.E.Townsend, D.D.Davidson and M.R.Ostermiller : Galvatech98, (1998) , 659.
- 24) D.Davidson, L.Thompson, F.Lutze, B.Tiburcio, K.Smith, C.Meade, T.Mackie, D.McCune, H.Townsend and R.Tuszynski : SAE TRANSACTIONS, 112 (2003) 6, 1236.
- 25) S.Fujita and D.Mizuno : Corrosion Science, 49, (2007) , 211.
- 26) 大塚真司, 星野克弥, 水野大輔, 藤田栄 : CAMP-ISIJ, 21 (2008) , 554.
- 27) A.LeGac, N.LeBazec and D.Thierry : Eurocorr 2010, Moscow, (2010) , 1668.

(2012年7月23日受付)