

16

車両防錆品質の造り込みと管理プロセスを革新する 塗膜耐食性短期評価技術の実用化

Accelerated Evaluation Technique for Corrosion Resistance of Painted Parts to Facilitate Innovation of Technological Development and Quality Management Process

浅田 照朗*¹
Teruaki Asada

重永 勉*²
Tsutomu Shigenaga

要 約

自動車の防錆品質は、お客様の安全・安心に直結し非常に重要である。防錆品質は、材料、工法、工程条件など影響因子が多岐にわたる上、対象部品が多く多数の企業が関与して担保する品質である。従来、複雑なこれらの因子を制御し、防錆品質を確立するために実腐食試験が用いられてきた。実腐食試験は実際に発錆させ、その状態を定性評価する試験であり、長いものでは半年以上の試験期間が必要である。従って、防錆品質造り込みには長期の開発期間が必要で、車両開発期間短縮のネック項目のひとつであった。この課題を克服すべく、防錆塗膜の耐食性を防錆機能の発現原理に基づき、電気化学的に短時間（従来約3カ月⇒約5分）で高精度に定量評価可能な技術を開発した。本報では、新規開発した塗膜耐食性短期評価技術の評価原理、防錆技術開発（被塗物の制御技術開発、塗料開発）や品質管理に対する有効性について述べ、最後に本評価技術を適用したさまざまな評価事例を紹介する。

Summary

The rust prevention quality in vehicles is extremely important for the safety and security of customers. It involves a wide variety of influential factors, including materials, construction methods, and process conditions, and many companies have a lot of target parts related to the rust prevention quality. Conventionally, actual corrosion tests have been used to control these complicated factors and to establish the rust prevention quality. For an actual corrosion test, in which the parts are actually rusted and the rust condition is qualitatively evaluated, a test period of more than half a year is necessary in some cases. Because of this, an extended period of time is required for the development of a rust prevention technology, which has been a bottleneck in shortening the lead time for vehicle development. To overcome the abovementioned challenge, we developed a new electrochemical evaluation technology for quantitatively evaluating the corrosion resistance of painted parts, with high precision, in a shorter time (shortened from the conventional approx. 3 months to only about 5 minutes) based on the principle of the functional expression of rust prevention. In this technical report, we introduce the evaluation principle of the newly developed technology for evaluating the corrosion resistance, its effectiveness on the development of rust prevention technology and the quality management, and various examples of its utilization.

1. はじめに

鋼材の腐食を抑制する最も一般的な手法として塗装があり、幅広い分野で使用されている。日本国内における

腐食対策費は、数々の防錆手段の中でも塗装の割合が6割以上と最も高く、総額で年間約2.3兆円を占める⁽¹⁾。自動車業界においても世界中のお客様が、さまざまな腐食環境で安全・安心して使用できる高い防錆塗装品質を持つ

*1, 2 技術研究所
Technical Research Center

製品を効率的に開発、生産していくことが極めて重要である。塗装部の防錆品質は、市場での暴露環境以外に、材料、工法、工程条件など耐食性に影響する因子が多岐にわたり非常に複雑である。従来、これら複雑な因子の制御を実腐食試験で腐食環境に長期間暴露後の発錆状況を定性的に確認していたため、防錆品質の造り込みには莫大な開発期間が必要であり、評価も最悪条件の代表的な組み合わせに限定され、高い防錆品質を確立する上で大きな課題であった。また、生産現場で対象物の耐食性を簡便に評価することはできなかったため、効率的かつ高精度な品質管理も難しかった。そこで、品質の効率的な造り込みとその管理技術の構築を目的に、塗装部の腐食原理に基づき耐食性を定量的、かつ極めて短期に評価できる技術を開発、実用化した。本報では、この新規開発した塗膜耐食性短期評価技術の評価原理、材料開発や被塗物の制御技術開発に対する有効性と活用事例を報告する。

2. 実験方法

2.1 耐食性短期評価法の評価原理

塗装部の腐食は、防錆塗膜を腐食因子の水、酸素、塩素イオンなどが透過して、基材に到達することで発生すると考えられる。この腐食原理に着目し、防錆塗膜の腐食因子遮断性を評価した。Fig. 1に評価原理と試験装置外観を示す。塗装面上に腐食因子として塩水を保持して電圧を印加した。防錆塗膜に腐食因子が浸透して基材に到達すると電流が流れる。あらかじめ設定した電流に到達した時点の電圧値を測定し、防錆塗膜の腐食因子遮断性の指標とした。測定された電圧値が高いほど、塗膜中を腐食因子が透過し難い、つまり防錆塗膜の腐食因子遮断性が高い。以降、腐食因子遮断性は電圧値で記載する。

2.2 試験片の調製

非めっき鋼板にリン酸亜鉛化成処理とエポキシ系電着塗装（防錆塗膜）を施した。化成処理条件は全ての試験片で同一とした。耐食性への影響が考えられる材料の影響因子として、電着塗装の膜厚と膜質を変化させた。膜厚は5μm～15μmと変化させ、焼付条件を140 °C×15 min.～160 °C×20min.と変化させ、電着樹脂の架橋密度を制御して膜質を変化させた。また、被塗物の影響因子として、鋼板切断面のバリ高さ（20μm～160μm）や溶接条件を変化させ、併せて電着塗料の種類や膜厚（平面部：20μm～40μm）を変化させた（Table 1参照）。これら試験片を用いて評価法の有効性について検証した。

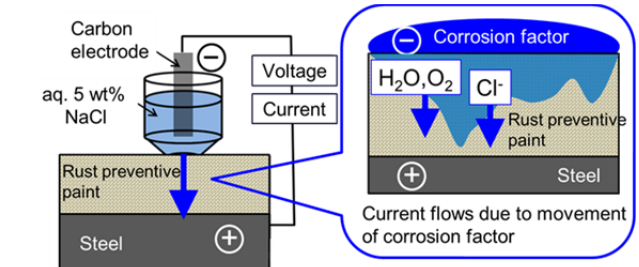
2.3 電着樹脂の架橋密度の測定

動的粘弾性スペクトロメーター（UBM社製、レオゲルE-4000）を用い測定を行った。塗膜樹脂の温度と粘弾性

の関係から架橋密度を求めた。

2.4 実腐食試験（複合腐食促進試験）

塩水噴霧6時間、乾燥3時間、湿潤14時間、送風1時間を1サイクルとした繰り返しモードで試験を実施した。



<(a) Principle of measurement>



<(b) Measurement equipment>

Fig. 1 Principle of Measurement and Measurement Equipment

Table 1 Details of Specimens Used in This Study

Paint type	Thickness / μm	Baking (Crosslink density / mol cm ⁻³)	Burr height / μm	Welding condition
A	5	150 °C × 20 min. (31×10 ⁻⁴)	No burr	No welding
	7			
	10			
	15	140 °C × 20 min. (9.5×10 ⁻⁴)		
	10			
B	20	160 °C × 20 min. (No data)	20-40	No welding
			60-80	
			140-160	
	30		20-40	
			60-80	
			140-60	
	40		20-40	
			60-80	
			140-60	
			140-60	
B	20	No burr	F	
G				
B	30	10-40	F	
C				
D				
E				

3. 実験結果

3.1 防錆塗膜の腐食因子遮断性と複合腐食促進試験における発錆までの期間との関係

複合腐食促進試験における発錆までの期間と腐食因子遮断性（電圧値）の関係を図2に示す。膜厚が厚く、同膜厚では防錆塗膜樹脂の架橋密度が高い、すなわち膜質が良いほど、腐食因子遮断性は高くなった。また、腐食因子遮断性と複合腐食促進試験における発錆期間には高い相関が認められた。本評価技術では、従来3カ月後に発錆する防錆塗膜の腐食因子遮断性250V程度であれば、5分未満で評価可能である。このことから、塗装部の耐食性短期評価法として極めて有効である。

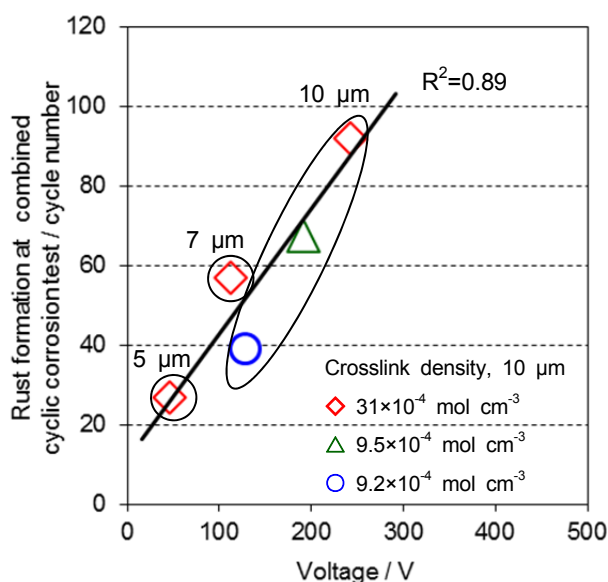


Fig. 2 Relationship between Cycle Number of Rust Formation at Combined Cyclic Corrosion Test and Measured Voltage (Paint Type: A) ⁽²⁾

3.2 塗膜耐食性短期評価技術の有効性

塗装部の防錆品質を造り込むには、被塗物、防錆塗膜双方の極めて多岐にわたる耐食性影響因子を精度良く制御し、管理するプロセスが不可欠である。しかし、従来の実腐食試験に基づく防錆技術開発では、評価に多大な時間を要する、試験後の錆状態を確認することから定性的となる、大型部品は試験槽に入らずモデル試験片での評価となるために実性能を正確に評価できない等の理由で防錆技術開発の効率化と精度向上を両立することが困難であった。これまでに実腐食試験に代わる耐食性の代用指標評価法として、極微弱な電圧を印加するインピーダンス法やターフェル法は存在したが、操作が煩雑で評価に時間が掛かる、外乱の影響を受けやすく電磁遮蔽された空間が必要、複雑な形状物の測定が困難等のさまざま

な制約があり実用性に乏しかった。本評価技術は極めて短時間に、工場等の電磁波ノイズの多い場所でも、複雑な形状物の耐食性をその場で評価できる実践的、かつ革新的な技術である。以降、新規開発した本評価技術が、これらの課題解決にいかにも有効であるかについて被塗物の制御技術開発や塗料開発の事例を交えて紹介する。

(1) 被塗物の制御技術開発に対する有効性

被塗物の状態は塗装後の耐食性に大きな影響を与える。一例として、鋼板エッジ部のバリ高さや防錆塗膜による被覆性の関係をFig. 3に示す。バリが高くなると、被覆性は低下し、耐食性は悪化する。このバリ高さは、鋼種や鋼板の加工条件等によって変化する。一般に、防錆塗膜による被覆性評価は断面観察法による。断面観察法は、対象部位の電着被覆状態を顕微鏡により目視確認できることから有効な手段のひとつである。しかし、評価に時間が掛かる、切断等を行わずに対象部位を直接評価することができない、局所的な一断面の情報である等のさまざまな課題がある。

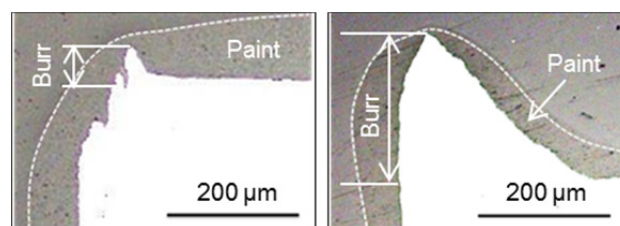


Fig. 3 Case Examples of Relationship between Height of Burr at Edge and Coatability of Electrodeposited Paint (Paint Type: B) ⁽²⁾

鋼板エッジ部の腐食因子遮断性に対するバリ高さ、防錆塗膜の平面部膜厚の関係をFig. 4に示す。バリが低く、防錆塗膜の平面部膜厚が厚いほど、被覆性が向上して腐食因子遮断性（電圧値）は向上した。この傾向は同試験片を用いた複合腐食促進試験における発錆期間の傾向と一致することを確認している。このように、本評価技術は被塗物の状態変化が塗装部の耐食性に与える影響を定量的に評価することができる。また、自動車のボディや大型部品の塗装後の耐食性を直接評価できる。エッジ部相当の防錆性能を持つ部位であれば、1分程度で評価可能であり、耐食性に影響を与える被塗物側の生産条件の詳細な制御に極めて有効である。

次に、被塗物側の具体的な制御事例として、溶接条件を変化させた場合の塗装後の耐食性を示す。ここでは、主に溶接時の不活性ガス流量とガス組成を変化させた。Table 2に複合腐食促進試験後の溶接部近傍の外観、本評価技術で評価した溶接ビード近傍の腐食因子遮断性（電圧値）を示す。溶接条件を変化させることで、溶接ビード近傍のスパッタ（金属粒）やスラグ（ガラス質粒）量

が変化した。スパッタやスラグ量の多い溶接条件G（制御不良）は、複合腐食促進試験で早期に発錆し耐食性が劣った。同傾向が腐食因子遮断性（電圧値）でも確認された。以上のことから、被塗物の状態が塗装部の耐食性に与える影響を精度良くとらえることができたといえる。

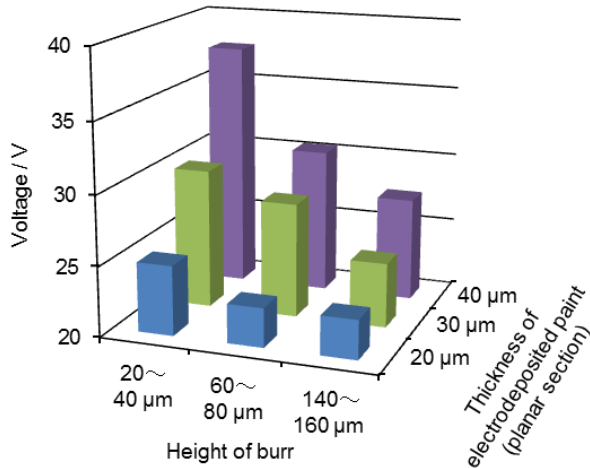


Fig. 4 Relationship among Measured Voltage, Height of Burr at Edge and Thickness of Electrodeposited Paint (Paint Type: B) ⁽³⁾

Table 2 Relationship between Result of Combined Cyclic Corrosion Test and Measured Voltage against Change in Welding Condition (Paint Type: B) ⁽²⁾

Welding condition	After combined cyclic corrosion test	Voltage / V
F		127
G		43

(2) 塗料開発に対する有効性

塗装部の防錆上の弱点部位として、一般に鋼板エッジのバリ部や溶接部が挙げられる。これは、防錆塗膜による被覆性が一般面に対して劣るためである。ここでは、これら部位の耐食性改善、つまり防錆塗膜による被覆性改善に有効な塗料開発に本評価技術を活用した。塗料の焼付時の粘度特性を変化させ、バリ部と溶接部の耐食性を評価した。Fig. 5に塗料の焼付時粘度に対して、バリ部と溶接部の腐食因子遮断性（電圧値）を評価した結果

を示す。塗料の焼付時粘性の増加（B<C<D<E）に伴い、バリ部の腐食因子遮断性は向上した。一方、溶接部には最適値が存在した。このことは、溶接部に共存するスパッタとスラグの被覆性が焼付時粘性に対してトレードオフの関係にあることで説明できる。スパッタの被覆性は粘性が高い方が有利であり、一方でスラグの被覆性は粘性が低い方が有利である。実際に塗料タイプBを用いた部品と塗料タイプDを用いた部品の実車錆耐久試験後の外観（Table 3）を比較すると、塗料タイプBではエッジ、溶接部に赤錆が多く発生しているのが分かる。一方、塗料タイプDでは発錆は認められなかった。従来、このような塗料開発には3~5年を要していたが、本評価技術の適用により1年未満での技術開発を実現した。

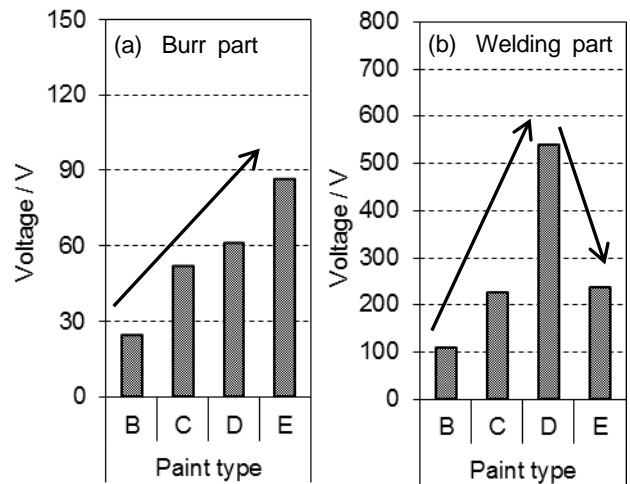


Fig. 5 Measured Voltage of (a) Burr and (b) Welding Part against Change in Paint Type (Welding Condition: F) ⁽²⁾





Table 3 Appearance after Corrosion Test of Underbody Parts Painted by Paint Type B or D

Paint type	After corrosion test	
	Burr part	Welding part
B		
D		

(3) 品質管理に対する有効性

新規開発した塗装部の耐食性短期評価法とその装置の特徴について、従来の複合腐食促進試験と比較した結果をTable 4に示す。本評価技術は、触子の工夫により溶接部、エッジ部、平面部など、あらゆる部位の塗装後の耐食性を極めて短期に精度良く評価することができる。従来であれば、生産現場で変化点が生じた際、それが耐食性に影響するかどうかを確認するためには、部品の切断、搬送、実腐食試験と手順が煩雑で、結果が判明するのに数か月を要することもあった。一方、新規開発した本評価技術と装置は、従来の据え置き型の評価設備とは異なり、容易に可搬できることから(約3kg)、工場等の生産現場や屋外で、対象物の塗装後の耐食性を迅速に直接測定することが可能である。以上のことから、品質の管理精度と効率を劇的に向上させ、安定した高い品質を実現できる。

Table 4 Effectiveness of Newly Developed Evaluation Method for Technological Development and Quality Management

		Conventional method	Newly developed method
Test equipment		 Non-portable	 Portable (ca. 3 kg)
	Evaluation period	Long (e.g. 3 month)  No rust 30 days  rust 90 days	Short (e.g. 5 min.)
Technical development	Accuracy	Qualitative evaluation	Quantitative evaluation
	Variation Point	Difficult to confirm immediately	Possible to confirm immediately
Quality control	Test frequency	e.g. Monthly	e.g. Daily

3.3 その他、評価適用事例

本評価技術は、上記で紹介した活用事例以外にも多くの塗装後の耐食性評価へ応用を既に実施している。一例を以下に示す。

- ・塗料の光劣化による腐食因子遮断性の経時変化評価

- ・チッピング（飛び石）ダメージ塗装部の腐食因子遮断性（≒残存膜厚）評価
- ・粉体塗装部品の腐食因子遮断性評価
- ・塗装ハジキ発生部位の腐食因子遮断性評価

4. おわりに

塗膜耐食性短期評価法を技術開発や品質管理に適用することで、防錆品質造り込みプロセスの革新を実現できる。現在、本評価技術と装置は既に実用化、製品化しており、防錆技術開発や品質確認に弊社内、及び協力メーカー殿で運用を開始している。また、本評価技術は幅広い塗装系でさまざまな用途に適用可能である。従来は定量評価できなかった市場での劣化後の塗膜防錆性能も評価できる。以上のことから、本評価技術は自動車業界のみならず、塗装鋼板を主として製造する産業機械部品、建機部品、製缶部品、その他家電製品や装飾部品を取り扱う他業界での応用が期待でき、将来的には耐食性評価のスタンダードとなり得る技術である。

最後に、本評価技術の構築に多大なご協力をいただいた広島大学大学院工学研究科の磯本良則先生に深くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) 腐食コスト調査委員会：わが国の腐食コスト，材料と環境，50，pp.490-512(2001)
- (2) 浅田照朗ほか：塗装部の新規耐食性短期評価法の開発，及び防錆技術開発・品質管理への活用，2017年自動車技術会 春季大会 学術講演会 講演予稿集，2017，pp.1148-1151(2017)
- (3) 浅田照朗ほか：塗装部の耐食性評価法とその活用事例，第63回材料と環境討論会 講演集，pp.175-176(2016)

■ 著 者 ■



浅田 照朗

重永 勉