5

次世代足廻り部品向け防錆技術開発
Development of New Anti-corrosion Process for Suspension Parts

田中　正顕*1　Masaaki Tanaka
家永　篤志*2　Atsushi Ienaga
浅田　照朗*3　Teruaki Asada
落岩　克哉*4　Katsuya Ochiiwa
赤木　宏行*5　Hiroyuki Akaki
重永　勉*6　Tsutomu Shigenaga
深堀　貢*7　Mitsugi Fukahori

要　約

マツダでは，全てのお客様に「走る歓び」と「優れた環境・安全性能」を提供するため，ダイナミクス性能向上と環境性能の両立から，軽量化技術開発に取り組んでいる。しかし，厳しい環境下で使用される足廻りの板金部品は，溶接部近傍やエッジ部の錆による板厚減少の問題があり，薄板化による軽量化が難しい。

一方，錆びにくい部品の実現は，お客様が車を所有する歓びにつながり，魅力性能の一つになると考える。

本技術は，被塗物と電着塗装の改善により，従来工法と比較して，防錆性能を大幅に向上させることを可能とした。この取り組みについて紹介する。

Summary

In order to provide “Driving pleasure“ and “Excellent environmental and safety performance” to all customers, Mazda has been working on weight saving technologies by balancing both better dynamics performance and environmental performance. However, it is difficult to accomplish weight saving by thinning material of the suspension parts which are used under severe environment due to material thickness reduction issue caused by the rust of adjacent welding bead and edge.

On the other hand, creating rust resistant parts is connected to the joy of owning vehicles to customers and can be one of the attractive performances.

This technology made significant progress of antirust performance possible by improving coated object and electro deposition coating compare to the conventional process. Here is our approach.

1. はじめに

二酸化炭素排出量の低減，更なる燃費の向上が必要な中，自動車にはより一層の車両重量の軽減が求められている。また，マツダの理想は，安心感と運転する歓びを実現し，お客様に愛されるクルマを提供し続けることを目指している。しかし，足廻り部品は特に環境が厳しく，市場走行後早期に錆が発生することでお客様に部品破損のイメージを想起させる。更に，早いタイミングでの発錆は，効率的な軽量化手段である鋼板の薄板化を阻害する。マツダではこの市場走行後早期に生じる，信頼性に影響しない軽微な錆を「見栄え錆」と定義し，改善に取り組んでいる。この見栄え錆を抑制することで，車を所有し，ともに暮らす歓びに貢献するとともに，腐食起因の経年劣化による疲労強度の低下を抑制し，今後の更なる軽量化を可能とする。

欧州の一部地域を中心に，防錆上厳しい使用環境が存在し，この地域では，お客様の錆に対する感度が非常に高い。それら厳しい環境を模擬した，開発車両の防錆評価結果をFig. 1に示す。黒色塗装が部分的に赤錆びに覆われていることが分かる。

本報では，これらを改善する「次世代足廻り部品向け防錆技術開発」について報告する。

*1,5 シャシー開発部
Chassis Development Dept.
*3,6,7 技術研究所
Technical Research Center
*2 技術本部
Production Engineering Div.
*4 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

Fig. 1　Chassis Condition after Vehicle Corrosion Test

2. 現状分析

2.1　現状の分析

Fig. 1の発錆している弱点部位は，(1)溶接ビード上のスラグ，(2)エッジ部，(3)酸化被膜付着部，である。Fig. 2にこれらの模式図を示す。

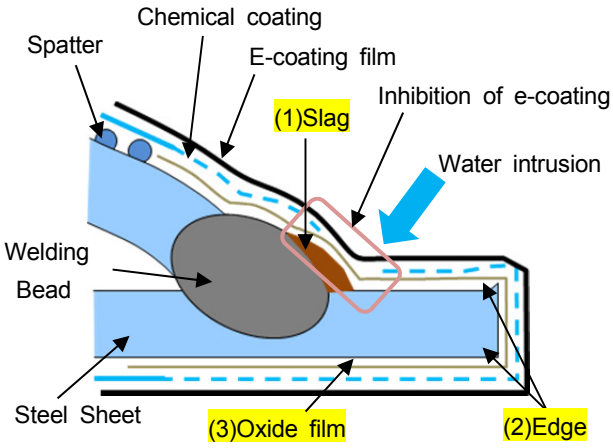


Fig. 2　Schematic of Weak Point in Stamping Parts

自動車の足廻り部品に多く用いられる，加工した鋼板を電着塗装により被覆する構造の場合，防錆性能の弱い部位から発錆する。

鉄は酸化した状態，すなわち錆びた状態で最も安定する性質を持ち，部品の弱点部から酸化鉄に戻ろうとする。これを抑制するには，酸化に必要な水分と酸素を遮断することが最も効果的である。しかし，実際には，使用環境や部品構造などで決まる被水環境が，想定した部品の防錆性能を上回る場合があり，錆が発生する。弱点部位の発錆メカニズムを把握し対策することで，無駄なく防錆性能を向上させることが可能となる。

現行工程を最大限活用しながら，全体の防錆性能を早期に底上げするねらいで，発錆タイミングを遅らせることに寄与度の高い，(1)(2)の改善を重点的に取り組んだ。

2.2　発錆メカニズム

防錆性能は電着塗装により発揮される。塗装層を乗り越えて，水分・酸素が母材に到達し，鉄の酸化反応が始まる（Fig. 3）。

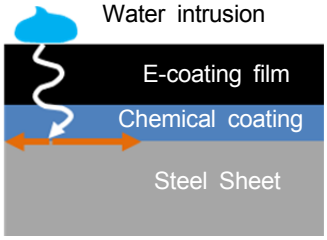


Fig. 3　Corrosion Mechanism

腐食を抑制するためには強固な塗膜で全面を覆うことで，水や酸素の侵入を防ぐことが理想であるが，足廻り部品は路面からのチッピングなどによる塗膜への傷の発生や，さまざまな腐食環境に曝され被塗物側からの耐食性改善も併せて考えることが必要である。Table 1に示すようにそれぞれの弱点部位において，腐食メカニズムに基づいた耐食性改善を検討する。

Table 1　Measures to Improve Issues

	Improvement of coated object	Conversion treatment	e-coating
(1) Slag on welding bead	◎	–	○
(2) Edge	○	△	◎
(3) Oxide film	–	○	△

Priority　High:◎　Middle:○　Low:△

(1) 溶接ビード上の発錆要因は，主にビード上の「スラグ」[1]である。スラグは，Si，Mnを主成分としたガラス質の物質で，電気を通さないため電着塗膜が生成しない。また一見，平滑に見えるが，実際はFig. 4のように凹凸，亀裂があり，容易に水が浸入し，母材に到達する。

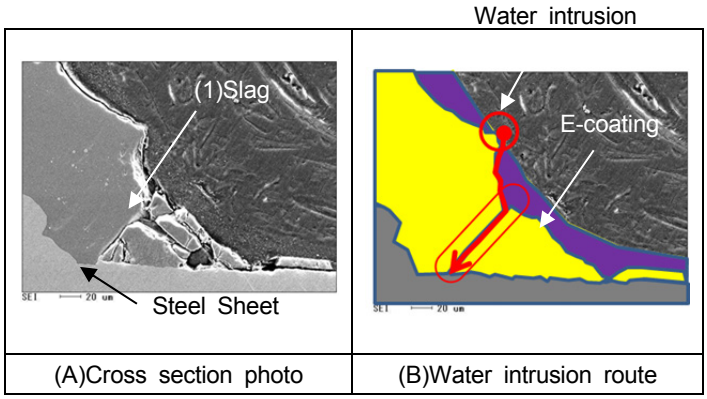
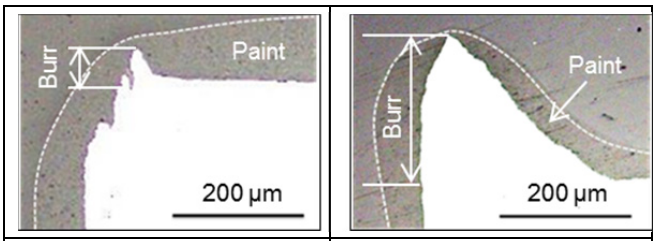


Fig. 4　Appearance of Slag on Welding Bead

(2) エッジ部は，電着直後のウェット膜状態では被覆されているが，焼き付け工程で被覆性が悪化する。これは，電着塗膜は外観品質やボルト締結性から一定の平滑性が求められるため，焼き付け時に一旦粘性が下がり，流動して平滑になる性質「フロー性」を有するためである。更に，プレス加工後のエッジ部には通常，バリが生じるため，更に被覆性が悪化する。Fig. 5にエッジ部の詳細形状を示す。(A)に通常のバリを，(B)に大きなバリを示す。両方ともにエッジ部頂点の膜厚が他の部位に比べ薄くなっている。



(A) Normal Burr　(B) Enormous Burr

Fig. 5　Appearance of Edge[2]

2.3　改善方針

見栄え錆とは，信頼性に影響しない，市場走行後早期に生じる軽微な錆を指す。

従来，信頼性を重視した防錆技術開発を行っており，見栄え錆は許容してきたが，今後は，お客様に愛される車を実現するために，見栄え錆を性能ととらえ，発錆ゼロの期間を重視した開発とする。これにより，経年錆による信頼性劣化も改善できる。

以下にそれぞれの弱点部位の改善方針を述べる。

(1) 溶接ビード上のスラグ

溶接ビード上の耐食性改善には，スラグを縮小することが効果的であり，究極はスラグをなくすことである。しかし現実には，コストと生産性を両立しながら，スラグをゼロにすることは極めて難しい。

スラグを極小化した上で，電着塗膜のフロー性を高める，もしくは，電着塗膜を厚くし，塗料がフローする時の流動する量を増やすことでスラグをカバーする考え方で改善する。

(2) エッジ部

エッジ部の耐食性を改善するためには，エッジ部のバリ部を塗膜で覆うことが重要である。被塗物側のバリ高さを，全ての部位である一定値以下に管理することは，量産時の金型管理を考慮すると現実的でないため，電着塗料の改良で対応することを考えた。ここで，Fig. 6に溶接ビード上のスラグ部とエッジ部の被覆性の模式図を示す。スラグの被覆にはスラグサイズの縮小，電着塗装の塗膜厚さとフロー性を高める必要があるのに対して，エッジの被覆にはフロー性を抑制する必要がある。

この背反を両立する塗料開発が必要である。

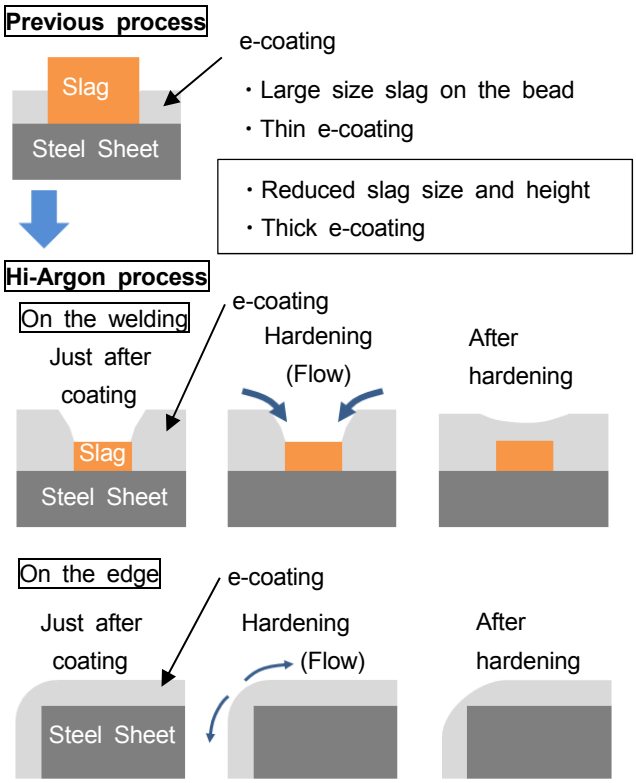


Fig. 6　Mechanism of Painting Flow

3. 要素技術開発と車両適用開発

3.1　溶接ビードの改善（低スラグ化）

溶接には，母材の強度を上げる目的と，溶融金属内部の酸素を外部に排出する目的で添加元素，Si，Mnが必要である。これらがアーク熱により周辺の酸素成分と反応し，溶接ビード部にスラグが生成される。大量生産に適すMAG溶接では，シールドガス中に多量の酸素成分を含むため，スラグを完全になくすことは極めて困難である。

一方で前述のとおり，スラグによる電着塗膜の不完全部を起点とし発錆する。後工程でスラグを完全に除去することは，狭隘部分の多い足廻り部品では困難であり，防錆性能向上には，スラグ生成量の抑制が効果的である。

スラグ生成は以下の化学式で示される。

$(Si / Mn)+O_2 \rightarrow (SiO_2 / MnO)$

金属添加元素のSi，Mn等の易酸化性元素量を個別にコントロールすることは，量産の多種多様な材料に対しては困難なため，シールドガス中の二酸化炭素に代表される酸素成分を抑制することでスラグ生成量を抑制する。

マツダと(株)神戸製鋼所で開発した「ハイアルゴン溶接」[1]により，通常に比べて極めて低い二酸化炭素量での溶接施工性を確保し，電着塗装で被覆可能なスラグ量・サイズとすることが可能となった（Fig. 7）。

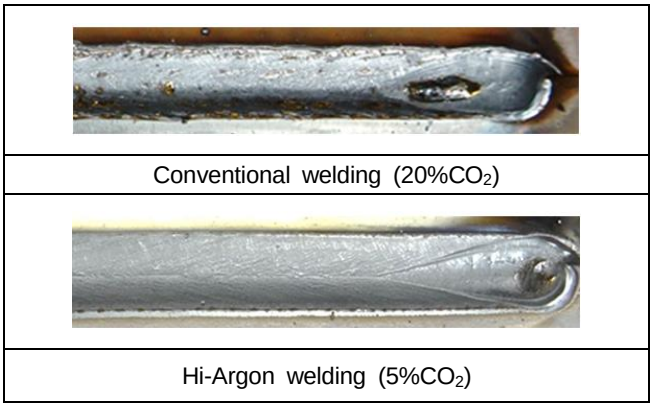


Fig. 7　Welding Bead by Hi-Argon Welding Process

従来溶接工法とハイアルゴン溶接で施工後，量産条件で電着塗装を施した試験片に対する，腐食試験結果をFig. 8に示す。スラグが少ないハイアルゴン溶接は，良好な結果を得た。

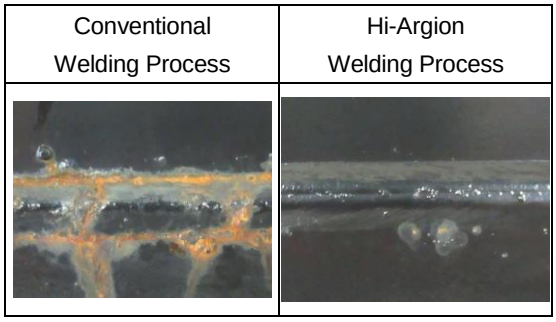


Fig. 8　Result of Combined Cycle Corrosion Test (30cycle) [2]

3.2　新電着塗料の開発

次にエッジ被覆性評価のため，現在の量産電着塗料をベースに，Table 2のように電着膜厚（一般部のねらい膜厚）を固定し，焼き付け時粘性を変動させた試験片を製作し，複合サイクル試験及び実車促進腐食試験を実施した。各試験片はハイアルゴン溶接で施工した。

エッジ部の複合サイクル試験10サイクル及び30サイクルにおける赤錆発生率（＝赤錆が発生したエッジ長÷試験片のエッジ長）の測定結果をFig. 9に示す。粘性の増加とともに，耐食性が大きく向上することを確認した。

Table 2　Test Piece Specification

	E-coating Thickness	Viscosity at baking
A	30μm	Standard
B	30μm	High
C	30μm	More High

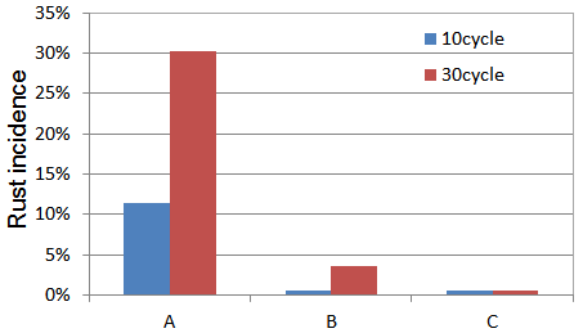


Fig. 9　Result of Corrosion Test (Edge)

しかし，前述のとおり，高い粘性は溶接ビード上のスラグ被覆性を悪化させる懸念がある。

Fig. 10に溶接部の実車促進腐食試験による評価を行い，試験後の発錆量の測定結果を示す。

基本的に粘性が高くなるほど赤錆が増える。エッジ錆を大幅に改善する仕様Cでは，溶接ビードと母材の境界付近の耐食性が低下した。粘性が高すぎて，スラグの被覆性が悪化したためと考える。

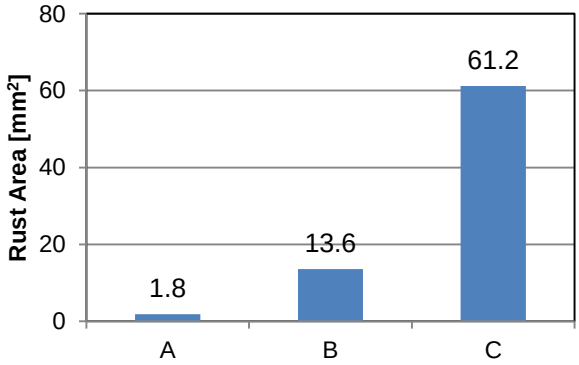


Fig. 10　Result of Corrosion Test (Welding)

溶接ビード上のスラグ部とエッジ部の被覆性に対する背反を解くため，エッジ部被覆性を電着塗料の焼き付け時粘性アップで確保し，逆に不利になる溶接ビード上のスラグ部は，スラグ量とサイズの縮小と，電着膜厚アップで被覆性を確保することとした。しかし，必要以上に厚過ぎる膜厚は，コストアップを伴い，締結部の性能を悪化させるため，膜厚：30μm，塗料仕様Bを対策仕様とした。Fig. 11に示すように標準仕様と膜厚アップ仕様で評価を行い，耐食性向上を確認した。

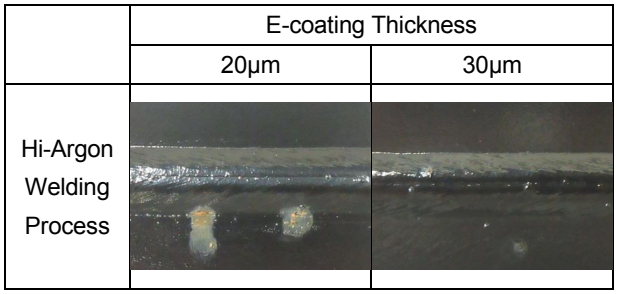


Fig. 11　Result of Combined Cycle Corrosion Test (30cycle)

3.3　電着塗装の厚膜化

厚膜化対応を行うにあたり，4つの制御因子（電圧，電極面積，浴温，溶剤量）を選定し，これらの寄与を評価した。この中で，電圧は上げ過ぎると亜鉛メッキ鋼板に対して，ガスピンと呼ばれる針孔状のピンホールが発生しやすくなることが知られているため制御幅が少なく，浴温も省エネルギーの観点から上昇は最小限に留めたいため，電極面積と溶剤量をメインのパラメーターとして，ラボテストとライントライを実施し，電極の追加本数と溶剤の増加量を決定した。溶剤については成分の見直しも行い，最適な配合にすることで電着塗料のロバスト性を上げ，結果として設備は電極追加のみで対応が可能となった。

溶剤量を上げる懸念点として，付きまわり性の低下，及び，エッジ部被覆性の低下が考えられたが，付きまわり性については，足廻り部品は比較的単純な断面で，電着に必要な穴も十分確保できていること，そして，電流値を上げる対策実施により，断面内に現状同等の膜厚が確保できた。エッジ部については，粘性増大による被覆性向上効果を妨げない条件を確認し，溶剤配合を決定した。

3.4　塗膜耐食性短期評価技術 [2] の適用

塗装部の防錆品質の造り込みには，被塗物と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することが不可欠である。従来，複雑なこれらの因子を制御して品質確立するために実腐食試験が用いられてきた。実腐食試験は対象物を発錆させ，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，防錆品質の造り込みにはおのずと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。

この課題を塗膜耐食性短期評価技術により克服した。本評価技術は極めて短時間（従来3か月⇒約5分）に精度良く実部品のさまざまな部位の耐食性を直接定量化することができる。

この技術を新電着塗料の開発に活用し，従来より開発期間を大幅に短縮できた。

4. 実部品への適用と防錆評価結果

ここまでに検証してきた，見栄え錆改善技術を量産部品に織り込み（Fig. 12），実車促進腐食試験を実施した。部品仕様は以下とした。

・電着膜厚（一般部のねらい膜厚）：35μm
・粘性：仕様B（Table 2）
・被塗物側：ハイアルゴン溶接（Ar+5%CO_2）
・被塗物側の鋼板材料は量産品

Fig. 12　Appearance of Sus-crossmember by New Anti-corrosion Process

Fig. 13に実車促進腐食試験後の部品外観写真を示す。

実線部：溶接ビード，破線部：エッジを示す。従来塗装と比較し，大幅に発錆を抑制することができた。

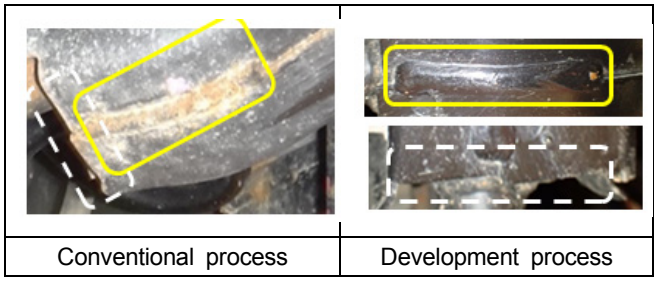


Fig. 13　Appearance of Sus-crossmember after Vehicle Corrosion Test

5. おわりに

見栄え錆の原因である溶接ビード部，エッジ部に対して，電着塗装の改善，厚膜化，被塗物のスラグ極小化の組み合わせで耐食性を大幅に改善し，その開発の過程で以下の知見を得た。

従来背反を解けなかった，溶接ビード上とエッジ部の防錆性能の両立を，以下の考えで解決した。

・ハイアルゴン溶接適用により，スラグ量・サイズを極小化し電着塗料の被覆性を向上した。
・電着塗料の焼き付け時粘性のコントロールで，スラグ被覆性とエッジ被覆性を両立した。
・塗膜耐食性短期評価技術の適用により，緻密なパラメーター・スタディが可能となり，実部品による実車評価に頼らない防錆技術開発の足掛かりを得た。

一方，今後の課題として以下の検討が必要である。
・現状の構造体において，更なる防錆性能向上のため，酸化被膜の完全な除去。
・究極の板金部品・薄板化実現に向け，更なる超ハイテン材の適用拡大が必要。その際，超ハイテン材は耐食性が不利になるので，更なる耐食性の改善，及び疲労強度の改善。

最後に，本研究開発を進めるにあたり多大なご協力をいただいた(株)ワイテック様，(株)神戸製鋼所様，日本ペイント・オートモーティブコーティングス(株)様の皆様に深くお礼申し上げます。

参考文献

(1) 田中・斉藤・深堀ほか：ハイアルゴン溶接の技術開発，マツダ技報，No.34，pp.122-127（2017）
(2) 浅田・重永：車両防錆品質の造り込みと管理プロセ．を革新する塗膜耐食性短期評価技術の実用化，マツダ技報，No.35，pp.90-94（2018）

■著　者■

田中 正顕

家永 篤志

浅田 照朗

落岩 克哉

赤木 宏行

重永 勉

深堀 貢