無塗装鉄道車両の外板汚れ[†]

野 谷 秀 雄* 本 田 浩 二**

Stains on Shell of Non-Coating Rolling Stock

by

Hideo NOTANI* and Kouji HONDA**

Stains on the shell of non-coating rolling stock tend to be conspicuous when compared with rolling stock coated with paint. In some cases these stains sticking to metallic surface remain unremoved in a simple water washing process. In this investigation, an attempt was made to clarify the mechanism of stains. At first, the contents of stains on the non-coating rolling stock shell was examined and it was found that stains principally consisted of iron rust and iron compounds supposed to be the wearing powder of wheel and rail. From this finding, the method of accelerated staining with iron filings was developed. The stains of shell were reproduced on dry and wet cyclic environment tests after iron filings on the test specimen. For cleaning of these stains, normal and high viscosity cleansers were compared. The high viscosity one showed a good result for removing stains.

Key words : Rolling stock, Non-coating, Stain, Accelerative test, Stainless steel, Aluminum alloy, Atmospheric corrosion

1 緒 言

安全で迅速な大量輸送手段として、鉄道車両がコストパフォーマンスに優れていることは良く知られている。特に省エネルギー、高性能化を目的とした軽量化に対して、ステンレス鋼製車両、アルミニウム合金製車両への期待は大きく、製造車両数も増加している。また、これらの材料を使用した車両は耐食性が良好であり、定期的な再塗装による保守費および設備費を節減するため、無塗装化されることが多い。この無塗装車両の使用される環境は、レールや車輪、しゅう動部などの摩耗による鉄粉や炭素粉および油脂などの付着が絶えずあり、さらに外環境からの付着物、雨、大気汚染、紫外線などの影響を受けている。このような比較的過酷な環境中でも、現在まで大きな問題の発生はなく、27年間使用された車両の経年調査においても極めて良好な状態を示していることが証明されている¹⁾。

ところが、無塗装車両は車体外板部に付着した汚れが塗装車に比べ日立ちやすく、金属表面と何らかの化学反応を起こすためか、固着して、単純な水洗だけでは十分除去できない場合がある。本報は、この固着した汚れに着目し、その正体を解明するとともに、汚れの過程を推定し、汚れ促進試験方法を検討した。また、その対策として高粘度型洗浄剤の優位性を見いだしたので報告する。

2 車両外板汚れの実態

無塗装車両の外板汚れについては、様々な環境で使用されているため、その環境下での特有な汚れが発生する場合がある。まず、この特殊な環境下での汚れについて、その実態例を紹介するとともに、メカニズムを考察し、次に一般的な環境下での汚れについて検討する。

2・1 特殊な環境下での汚れ

特殊な環境下での汚れの例として、地下鉄ずい道内でのアルカリ分を多量に含んだ漏水による外板汚れや海岸地での台風の塩害による外板汚れなど、通常では考え難い短期間での汚れ例がある。塩害での汚れの例を Fig. 1 に示す。この材質はステンレス鋼であり、台風通過後約数日の間で汚れが拡大したものである。汚れ部を観察すると中心部に鉄粉らしきものが付着しており、これを中心として環状に薄茶褐色の汚れが広がっている。

これは台風一過により、鉄道軌道の上に堆積している鉄分の飛散および車両外板への付着と塩分の供給、さらに適度な湿度が供給されたために発生したと考えられ、付着した鉄はエバンスリング状の腐食状況を呈していた。

Fig. 1. Appearance of specific ringed stains on shell made from stainless steel.

[†] 原稿受理 平成8年2月13日 Received Feb. 13, 1996

* 正 会 員 近畿車輛(株)技術研究所 〒577 東大阪市稲田新町, Tech. Lab., Kinki Sharyo Co. Ltd., Inada-shinmachi, Higashi-Osaka, 577

** 近畿車輛(株)技術研究所 〒577 東大阪市稲田新町, Tech. Lab., Kinki Sharyo Co. Ltd., Inada-shinmachi, Higashi-Osaka, 577

Fig. 2. Mechanism of growing stains illustrated with Evance Ring.

すなわち、Fig. 2のように鉄の付着により、付着部とその周辺部に O_2 の通気差にもとづくマクロアノードおよびマクロカソードを形成し、両者の境界部において中央アノード部より溶出する Fe^{2+} イオンと周辺カソード部から OH^- イオンとの反応によるリング状のさび模様の、いわゆるエバンスリングが形成される。山崎は二次さびを形成するためエバンスリングができた試料を高湿度雰囲気中に放置したところ、カソード部にできるアルカリ溶液 (NaOH) が水分を吸湿するため、リング状の腐食生成物の堆積部が拡大することを見いだしている。Fig. 1の場合には、アノードとなる鉄粉の付着、電解液としての塩分の付着、高温高湿度環境であったことに加えて、マクロセル形成可能な表面状態であったものと考えられる。すなわち、基材部のステンレス鋼が無塗装のため導電性があること、付着鉄粉に比べて電位が貴でありカソードとなること、また、その面積がアノードに比べて大きいことなどが挙げられる。このことから、比較的短時間で腐食に至り、汚れとなったものと考えられる。

2.2 一般的な汚れ

Fig. 3およびFig. 4にはステンレス鋼製車両、アルミニウム合金製車両の一般的な汚れ例を示す。これらの外観は薄い茶褐色あるいは黒色系の曇った汚染状況が代表的である。しかも、この汚染は上部から下部へ流れ模様になっていたり、まだら模様になっているケースが見受けられる。この場合については、上述したエバンスリング状のマクロセルの形成跡は見当たらない。

これらの車両の汚れに対して、保守されるほうも手をこまねいている訳ではなく、通常の定期的なメンテナンス（車体洗浄など）により汚染初期段階での除去に努められており、問題はさほど大きくないが、一旦汚染が拡大してしまうと、その除去に苦慮されていることも否めない。この汚染除去の目的で、ステンレス鋼板やアルミニウム合金板表面を強く擦ったりするため傷つきを生じてしまうこともある。

3 汚れ物質の分析

無塗装車両外板の一般的な汚れ部について、その主成分を特定するため、汚れ物質の分析を実施した。

Fig. 3. Appearance of typical stains on shell made from stainless steel.

Fig. 4. Appearance of typical stains on shell made from aluminum alloy.

3.1 アルミニウム合金製車両の汚れ物質

Fig. 5にはアルミニウム合金製地下鉄車両の屋根外板汚れ部を切り取り、表面分析した結果⁴⁾を示す。外観的には茶褐色を呈しており、これをSEMで観察すると粉体状の付着物質が確認できた。EPMAによる元素分析ではFeが主成分であり、他にC、Siが検出された。

また、別のアルミニウム合金製地下鉄車両の外板部に付着している汚れを採取し、EDXにより成分分析した結果をFig. 6に示す。Fe、O、C、Si、Alなどが検出されたが、主に鉄およびその酸化物すなわち腐食生成物である可能性が高い。

3.2 ステンレス鋼板製車両の汚れ物質

Fig. 7はステンレス鋼板製地下鉄車両に2年間取り付けいていたステンレス鋼板 (SUS301L 材) の汚れ部の表面をEPMA測定した結果である。Fe、Cr、Ni、C、Si、O、Clなどが検出された。

3.3 汚れ成分の特定

無塗装車両の一般的な外板汚れを分析した結果、Fe、C、Si、Oおよび基材の金属成分などが検出されたが、主にFeおよびその腐食生成物が汚れの主原因であると

Fig. 5. Scanning electron micrograph and X-ray images of stained surface on shell.

Fig. 6. Energy dispersive X-ray analysis of dust on shell.

Fig. 7. Electron probe X-ray micro analysis of stained surface on shell.

考えられる。

4 汚れ促進試験

汚れ物質の分析結果から、鉄道車両における外板汚れの主原因は鉄であることがわかった。しかも、この汚れが拡大し Fig. 1 および Fig. 3, Fig. 4 に示すような状況になるためには、付着物質が何らかの化学変化を起こす

ことが必要である。この化学変化は Fig. 2 での Fe の腐食反応と見なすが、妥当である。すなわち、付着物質の中で Fe が核となり、その部位で O_2 不足状況となり、周辺部との電位差によりマクロセルを形成し、アノードで溶解した Fe^{2+} イオンがカソードで発生する OH^- イオンとの間で $FeOOH$ などを生成し、表面に固着する、いわゆる「もらい錆」状況を呈するためである。この時の二次的な腐食反応の雰囲気により Fig. 1 に示すようなエバンスリング状を呈するか、Fig. 3, Fig. 4 に示すような薄曇りのまだら状を示すかが決まるものと考えられる。以下、この汚れ状況の再現を促進試験により検討した。

4・1 サイクル試験条件

試験法は前述したことを裏付けるため、鉄粉の付着およびその腐食促進試験を基本に検討した。

腐食促進試験については代表的な JIS Z2371 の塩水噴霧試験がよく用いられているが、実環境下での腐食との相関はあまりないようである。これに代わって、乾湿を繰り返すサイクル法が自動車業界関係を中心に研究されており、促進性および再現性の点で乾湿を繰り返すほうが良好であると報告されている⁵⁾。このため、乾湿を繰り返すサイクル試験法を中心に検討した。

Table I には今回検討した試験条件を示す。A 法は促進性の高いと考えられている酸性雨サイクル試験⁶⁾をベースとした。噴霧液の性状を酸性雨に近似し、ウェット率（湿潤時間／乾燥時間）を 50% にした。B 法は A 法の溶液をマイルドにするため、塩分濃度を低く (200p.p.m.NaCl 溶液) し、さらに pH を中性にした。C 法はさらに試験条件をウェット率 50% 以下にし、試験温度も低下しマイルドにした。これは、JIS K5621（一般さび止めペイント）の耐複合サイクル防食性試験方法に準じ、噴霧溶液のみ 200p.p.m.NaCl 溶液とした試験である。

4・2 試験方法

供試体には無塗装鉄道車両の外板によく使われている材料を使用した。ステンレス鋼として SUS301L 材の HL（ヘアライン仕上げ加工）、アルミニウム合金として A5083 材の HL（ヘアライン仕上げ加工）を使用した。Table II にはこれらの化学成分を示す。

各供試体の表面に純水を適量スプレーし、その上から鉄粉（32 メッシュのふるいを通す）を適当に上部から振りまき、供試体に鉄粉を付着させた状態でサイクル試験に供した。サイクル試験後は余分な鉄粉、汚れ等をナイロンブラシにて水洗し、通常的水洗では汚れが除去できない状態のものを作成した。なお、用いた鉄粉はなるべく実状に合わせたものを使ったかったため、鉄道軌道上に堆積していたものを用いた。これを X 線回折分析した結果を Table III に示すが、Fe の他に、その酸化物や SiO_2 などが含まれていた。

4・3 試験結果

Fig. 8 および Table IV に試験後の外観変化状況を示す。A 法では Fig. 1 に似た小さなリング状の汚れ状況と

Table I. The method of stained accelerative test.

Test	Method of test
TYPE A	- Acid rain* spray test 35°C 2hour ↓ - Dry test 60°C 20-30%RH 4hour ↓ - Humidify test 50°C 95%RH 2hour The above is one cycle. 6cycles repeated.
TYPE B	- Low concentration salt** spray test 35°C 2hour ↓ - Dry test 60°C 20-30%RH 4hour ↓ - Humidify test 50°C 95%RH 2hour The above is one cycle. 6cycles and 17cycles repeated.
TYPE C	- Low concentration salt spray test 30°C 0.5hour ↓ - Humidify test 35°C 95%RH 1.5hour ↓ - Dry test 50°C 20-30%RH 2hour ↓ - Dry test 30°C 20-30%RH 2hour The above is one cycle. 22cycles repeated

*Acid rain contents :5%NaCl pH3.5

**Low concentration salt contents :200ppmNaCl pH7

Table II. Chemical composition of specimen (WT%).

Stainless steel	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
SUS301L	0.023	0.44	1.07	0.023	0.002	7.02	17.2

Aluminum alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
A5083	0.13	0.22	0.03	0.6	4.4	0.11	0.01	0.02

Table III. X-ray diffraction analysis of iron filings for accelerative test.

Analyzed contents of iron filings
α -Fe
Fe_3O_4 (Magnetite)
γ -FeO (OH) (Lepidocrocite)
α -FeO (OH) (Goethite)
α -Fe ₂ O ₃ (Hematite)
FeO (Wustite)
SiO ₂ (Quartz)
CaCO ₃ (Calcite)

なり、塩害時のような比較的強烈な環境での汚れ状況を再現している。B法ではA法より汚れの程度が軽微で、幾分うす曇りのまだら状を示すが、アルミニウム合金表面が黒く変色してしまう。これは、比較的高温度、高湿度下に置かれたため、水和反応によりアルミニウム合金表面の酸化皮膜の状態が変化したものと考えられる。C法では、アルミニウム合金でも基材表面に変色を起こさず、茶褐色の曇ったような汚れが広がり、一般環境下での汚れ状況である Fig. 3, Fig. 4 の状況を再現している。

以上より、促進試験条件（サイクル試験条件）により、鉄粉の腐食状況が変わることがわかる。これは、A法の

Fig. 8. Appearance after accelerative test.

Table IV. Result of accelerative test.

Test	Stainless steel (SUS301L)	Aluminum alloy (A5083)
TYPE A	ringed and flow stains	no test
TYPE B	small ringed and foggy stains	spotted and foggy stains changed color of based metal
TYPE C	spotted and foggy stains	spotted and foggy stains

ように高温、高湿度条件下で高濃度の塩分が作用すると、濡れの範囲が広がり Fig. 2 のマクロセルが大きくなり、リング状の腐食形態を呈する。逆に、試験条件をマイルドにすると、マクロセルの大きさが小さくなり、点状および曇り状の腐食形態となるものと考えられる。

5 汚 れ 対 策

これらの車両の汚れに対して有効な対策として、車体洗浄がある。しかし、定期的な機械洗浄だけでは十分な効果が得られない場合があることを 2 章にて報告した。その原因の一つに車両外板の汚れが、ほぼ垂直面の部位であり、洗剤を塗布しても通常の溶液状態ならば容易に重力の作用で流れ落ちてしまい、脱汚染と省資源の観点からも無駄が多いようである。そこで、洗剤の粘度を上げることにより、付着性を増し、洗浄性、省資源性について比較検討した。

5・1 試験方法

供試体はステンレス鋼製車両外板によく使われる SUS301L 材を使用し、表面状態の差を見るために金属光沢のある HL（ヘアライン仕上げ加工）および鈍い

光沢に調整した DF（ダル仕上げ加工）の 2 種類の表面加工品を用いた。これらを前章の汚れ促進試験 A 法により汚れを発生させ、ナイロンブラシにて水洗したものを供試体とした。この供試体の下半分に刷毛にて洗浄剤を塗布して、一定時間放置後ナイロンブラシにて水洗除去した。なお、供試体は現車状況を再現するため垂直に立てかけて試験した。洗浄剤の種類は粘度を上げたものと通常のものについて比較検討した。

5・2 試験結果

Fig. 9 および Table V に洗浄試験結果を示すが、洗浄剤の粘度を上げたもののほうが、汚れがよく取れた。これは、その粘性により簡単に流れ落ちることが少なく、薬液が汚れに対して長時間有効に働くためと考えられる。なお、表面加工の差は、比較的 HL のほうが DF より

Fig. 9. Appearance after cleaning test.

Table V. Result of cleaning test.

cleanser	washed with water after 15minutes painted with cleanser
high viscosity	cleaned all of stains
normal	cleaned a part of stains

汚れが取れやすい。これは DF のような不規則な凹凸表面形状を持つものは、その凹部深くに汚れが浸透し固着するためと考えられる。

6 結 言

無塗装鉄道車両の外板汚れについて、その正体を分析して汚れの成長過程を推定し、汚れ促進試験方法を検討した結果、以下の知見を得た。

(1) 無塗装鉄道車両の外板汚れについて、その主成分を分析したところ鉄であることがわかった。

(2) 鉄の付着は、基材に対してアノード化が進み、いわゆる「もらい錆」となり溶解し、鉄酸化物として表面に固着する。

(3) 鉄粉を用いた汚れ促進試験により、実環境下での汚れ状況を再現することができた。

(4) 実車での汚れを効率的に除去するためには洗浄剤に粘度を与えたものの使用が効果的である。

なお、本研究における鉄道車両外板の汚れは、車両の基本的な性能には何ら関係なく、美観上の問題であることを付け加える。

終わりに、本研究に対してご協力、ご助言頂いた姫路工業大学応用化学科・杉江他曾宏教授に感謝いたします。
(平成 7 年 3 月 14 日 日本材料学会腐食防食部門委員会第 185 回例会にて講演)

参 考 文 献

- 1) 軽金属車両委員会, “アルミニウム合金製車両の営団 5453 号車解体調査報告書” (1994).
- 2) U. R. Evans, “An Introduction to Metallic Corrosion”, p. 31 (1963).
- 3) 山崎正二郎, 色材, **49**, 21 (1976).
- 4) 本田浩二, 防錆管理, **38**, 364 (1994).
- 5) 小山 浩, 防食技術, **30**, 34 (1982).
- 6) 須賀 翁, 防錆管理, **38**, 142 (1994).