

車体洗浄効果の定量的評価

○入屋 義博 木村 昌敏 (東北交通機械)

[機] 横山 信行 松本 隆 (JR 東日本旅客鉄道)

Quantitative evaluation of the railway vehicle washing effect

○Yoshihiro Iriya, Masatoshi Kimura, (Tohoku Rolling Stock Machinery Co.,Ltd)

Nobuyuki Yokoyama, Takashi Matsumoto, (East Japan Railway Company)

Railway vehicle washing is generally performed by using detergent and the washing machines attached the rotating brushes, and in order to improve washing effect detergent and the washing methods are sometimes changed and the new washing machines are frequently developed.

In this research, we studied which evaluation factors are necessary, and developed the method how we should quantify these factors, for developing and making into practical use the new detergent or the new washing machines etc.

The developed method of evaluation has been utilized for quantifying the railway vehicle washing effect and the paint degradation level.

キーワード：車体洗浄評価, 光学測定, 汚れ分析

Key Words : railway vehicle washing evaluation, optical measurement, dirt analysis

1. 研究の目的

鉄道は、お客さまが日常的に利用される身近な存在であるため、その車体の美観がお客さまのイメージに与える影響は大きい。このため、お客さまに不快感を与えないように、車体洗浄が頻繁に行われている。一方で、洗浄コストや環境負荷低減のために洗浄方法や洗浄剤の改良、新たな洗浄装置の開発などが求められている。また、その洗浄効果を定量的に評価することも必要となっている。ところが、車体洗浄効果の評価の方法は、統一性されたものがない。そこで、本研究では、適切な車体洗浄効果の評価方法を提案するための研究を行った。

2. 研究概要

具体的には、車体洗浄効果の定量的評価を行うために以下の項目について行った。

- (a) 車体の汚れの解析・付着汚れの把握
- (b) ブラシ洗浄装置の洗浄効果
- (c) 評価対象部位の選定
- (d) 光学的測定項目・残留汚れ成分分析項目の選定
- (e) 車体洗浄効果の定量的評価
- (f) 洗浄レベル目安値の設定

3. 車体の汚れの解析・付着汚れの把握

3.1 車体洗浄評価の現状

定量的評価手法としては、光沢度の測定が一般的であり、残留汚れについては、フキン等による拭取りが主である。そのため目視による状態確認や写真撮影を行い洗浄効果の判断を行っているが定量的な分析ではない。

3.2 車体に付着する汚れ

車体に付着する汚れは主に、図1に示す通り全面の「虫汚れ」、側面全体に付着する「排気ガス等を含む雨だれ汚れ」、帯下に主に付着する「車輪レールの摩耗鉄粉」、ドア周辺に付着する「お客様の手垢」等である。



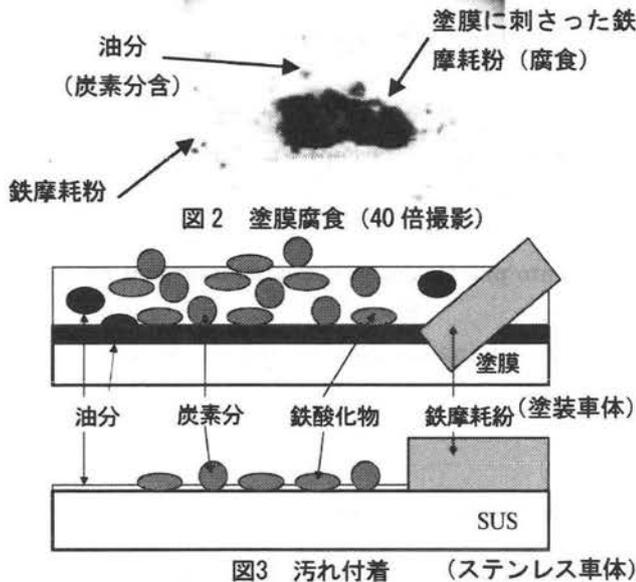
図1 車体の主な汚れ

3.3 車体の汚れの解析

車体は大きく分けると塗装車体とステンレス車体になるが、それぞれ汚れの付着状態には異なる性質が見受けられた。

塗装車体の残留成分で特に塗膜に刺さった鉄摩耗粉は、時間経過と共に酸化し、茶褐色に変色する現象が見られ、刺さった塗膜自体も腐食が発生する(図2)。ブラシによる機械洗浄では塗膜に刺さった鉄摩耗粉や塗膜に染付いた油分・炭素分等は完全に除去できない(図3)。

ステンレス車体の場合、SUS面に鉄摩耗粉が刺さることはないため、初期汚れについてはブラシによる機械洗浄で大部分を洗浄することができる(図3)。しかし、蓄積した付着力の強い汚れや、鉄摩耗粉が酸化した汚れはブラシ洗浄では除去は困難である。これがいわゆるステンレス車体の「もらい錆」現象となり、車体が茶褐色になる。



4. ブラシ洗浄装置の洗浄効果

現状のブラシ洗浄装置の洗浄効果について調査した。洗浄後であっても外観上ステンレス車体のヘアライン部(帯下部)は先に述べた蓄積した「もらい錆」による影響が顕著に見られた。

一方ステンレス車体のなし地については、ブラシ洗浄装置の洗浄効果が低いことがわかった。なし地の表面は、深さ10 μ m程度、凸部頂点間の幅50 μ m程度の凹凸を持つが、機械洗浄によるブラシ繊維は1mm程度を使用しているため、ブラシ繊維の大きさから凹部の底に付着する粒子状物質の除去が期待できないと考えられる(図4)。



図4 ステンレスなし地に対するブラシ洗浄

5. 評価対象部位の選定

鉄分の場合、車輪とレールの摩耗粉を巻き上げて付着することから主に車体の帯下に付着する。また、お客さまの手垢(油分)は、乗降時に手をつくため車体ドア周辺に付着する。

車体側面を測定する場合、図5に示す通り摩耗鉄粉等鉄分を主として調査する際は、車体先頭車帯下を、油分等調査を主とする際は、ドア周辺を調査箇所とした。

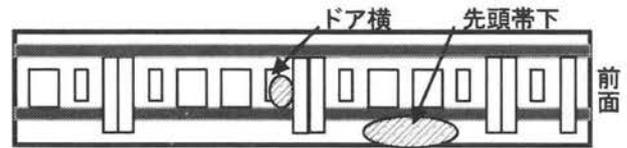


図5 車体の洗浄効果測定部位の選定

6. 光学的測定項目・残留汚れ成分分析項目の選定

6.1 光学的測定項目の選定

光学測定はあらゆる分野において、用途により多種多様な測定器が存在する。そこで車体洗浄評価に適用可能な下記測定法を総合的に評価することとした。

(1) 光沢度計の選定及び測定方法

人間の目の識別力は明確ではなく、個人差により定量的に把握することができない。

そこでJISの規格を満たし、車体のステンレス面、塗装面を測定できる計測方法を選定した。

光沢度の測定結果は、ステンレスなし地仕上げのように凹凸があると、凸部上面を測定する。また、ステンレスヘアライン部については、横方向の鏡面仕上げとなっているため、定量的に測定・評価するために、縦向きと横向きで測定を行いそれぞれの平均値で評価した。また、なし地は縦向きと横向きの全平均値で評価した。

(2) 色差の測定方法、評価方法

色差の測定は、洗浄効果を定量的に評価するために、通常視覚(見た目)でしか判断できない色差変化を定量的に評価できる。

色差計は色彩をL*, a*, b*を表色系で数値化し、さらに、汚れの除去率について数値化する手法を検討した。感覚的な色の変化を示す尺度として、 ΔE_{a*b} 採用することとした。色差は次式で求められる。

$$(\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*) = \text{洗浄後} - \text{洗浄前}$$

$$\Delta E_{a*b} = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$$

この手法を用いると個人差無く定量的に評価することが可能である。

(3) マイクロスコープによる評価

デジタルカメラの撮影は、汚れの状態が判別しにくい場合もある。詳細の表面状態を確認する必要性もあることからマイクロスコープによる外観測定を採用した。これにより、汚れ状態等を拡大撮影し確認できる。

6.2 残留汚れ成分分析対象項目の選定

車体の汚れには様々な成分が含まれているが、主な成分は下記に示す油分、炭素、珪素、銅、鉄分が多く含まれており、それらとその他成分を含む全蒸発残留物に項目を絞り込み分析を行うこととした。成分抽出方法と該当する汚れを表1に示す。

表 1 汚れ分類

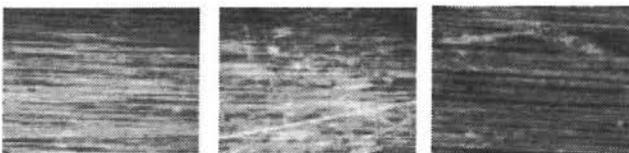
成分	抽出方法	該当する汚れ
全蒸発残留物	JIS K0102.14 重量法に準拠	採取された汚れ成分総量
油分	四塩化炭素抽出-赤外線吸収法	鉱物油、蛋白・動物性油、飛来油分
炭素	元素分析計による燃焼赤外線吸収法	乗用車等の不完全燃焼物、パンタ・制輪子の磨耗粉等
珪素	アルカリ溶解・酸溶解	大気中の埃分、塵埃 等
銅	-ICP 発光分析	パンタグラフスリ板磨耗粉、架線磨耗粉等
鉄		車輪とレールの磨耗鉄粉

7 車体洗浄効果の定量的評価

JR東日本が所有する複数の車両センターに配置されているステンレス車両について、機械洗浄による洗浄前後の洗浄効果の調査を定量的に行った。調査結果を表 2 に示す。また、ステンレス面の最もきれいと思われる状態（特別清掃後）と機械洗浄前後の状態を図 6 に示す。

表 2 ステンレス車両の洗浄効果

項目	車両	A 車両	B 車両	C 車両	D 車両	平均
	汚れ除去率	鉄・銅	92%	89%	92%	85%
	炭素・珪素	74%	75%	72%	76%	74%
	油分	8%	0%	0%	20%	7%
	全蒸発残留物	82%	77%	68%	70%	74%
光沢回復率		99%	98%	96%	98%	98%
色差変化量		1.8	1.5	1.3	1.4	1.5



最も綺麗な状態 機械洗浄前 機械洗浄後

図 6 ステンレス車両表面の汚れ状態 (40 倍撮影)

また、同様に複数の車両センターに配置されている在来線塗装車両について、機械洗浄による洗浄前後の洗浄効果の調査を定量的に行った。調査結果を表 3 に示す。

表 3 塗装車両の洗浄効果

項目	車両	E 車両	F 車両	G 車両	平均
	汚れ除去率	鉄・銅	82%	82%	93%
	炭素・珪素	72%	70%	72%	71%
	油分	0%	0%	23%	8%
	全蒸発残留物	62%	63%	60%	62%
光沢回復率		99%	94%	99%	97%
色差変化量		1.1	1.2	1.2	1.2

8 洗浄レベル目安値の設定

ステンレス車両と塗装車両の調査結果を踏まえ、機械洗浄装置が有する望ましい目安値を設定した(表 4)。現行の機械洗浄の洗剤は、鉄分(車輪とレールの磨耗鉄粉)除去を主目的としているため、鉄分等除去可能な洗剤を主に使用している。鉄分除去等可能な洗剤では、油分の除去は困難であるため未設定とした。

表 4 機械洗浄装置による洗浄効果目安値

項目	目安値	目安値
	汚れ除去率	鉄・銅
	炭素・珪素	70%以上
	油分	— (未設定)
	全蒸発残留物	60%以上
光沢回復率		90%以上
色差変化量		ΔE_{a*b} が 1 以上改善

(要求レベルに応じ、都度目標値を設定すること可能)

9 車体洗浄効果測定の実用例

このように洗浄効果の目安値を定量的に設定することができた。この技術を活用し、国内外の複数の洗浄装置の測定を行ったが、今回は試作した洗浄装置や海外の洗浄装置についての実用例を紹介する。

9.1 試作した洗浄装置の測定

(1) 測定概要

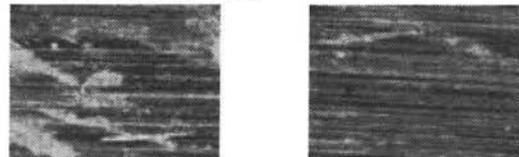
JR 東日本で試作した新しい洗浄装置の洗浄効果について、これらの定量的評価手法を用い評価を行った。

試作した洗浄装置を設置した車両センターにおいて、ステンレス車両と塗装車両について洗浄試験を行った。今回はステンレス車両の結果について記載する。

(2) 測定結果

ステンレス車両のステンレス仕上げは、ヘアライン仕上げとなし地仕上げがある。新しい試作洗浄装置と従来洗浄装置のそれぞれについて、各種測定を行い比較した(図 7、図 8、表 5)。

ヘアライン部については、試作洗浄装置は従来洗浄装置と比較すると洗浄効果は及ばないことがわかった。なし地については、試作洗浄装置は従来洗浄装置以上の洗浄効果を得ていることがわかった。



洗浄前 洗浄後
図 7 試作洗浄装置ヘアライン洗浄前後 (40 倍撮影)

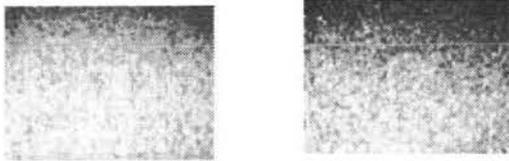


図 8 試作洗浄装置なし地洗浄前後 (40 倍撮影)

表 5 試作洗浄装置と従来機洗浄装置の比較

項目	ステンレス車両結果				
	試作洗浄装置		従来洗浄装置		
	ヘアイン	なし地	ヘアイン	なし地	
汚れ除去率	鉄・銅	65%	67%	92%	44%
	炭素・珪素	42%	43%	60%	20%
	油分	—	—	—	—
	全蒸発残留	48%	50%	64%	45%
光沢回復率	87%	97%	96%	96%	
	(93%)				
	※				
色差変化量	1.5	1	1.8	0.8	

※洗浄有効範囲における光沢度回復率

9. 2 国外洗浄装置の測定

(1) 測定概要

JR 東日本では、今後の車体洗浄装置を開発するにあたり、ドイツ鉄道ベルリン総合車両センターの洗浄装置の調査と今回の定量的評価を用いた洗浄効果の測定を行った。

(2) 測定結果

ドイツ鉄道ベルリン総合車両センターの洗浄装置による洗浄効果は、清掃頻度等条件が異なるので、参考となるが今回提案した洗浄装置の目安値より低い項目が多かった

(表 6)。これは両国の洗浄に関する美観の要求レベル、清掃頻度、洗浄剤や洗浄水、車両の塗料の種類、塗装方法、塗装周期の違いなどが関係していると思われる。具体的に述べると、清掃頻度について、日本では通常 2, 3 日に 1 回の清掃を行うが、ドイツでは約 10 日に 1 回の清掃であること。また、ドイツでは洗浄剤に PRTR 法に該当しない環境にやさしい洗浄力の弱い洗浄剤を使用していることや、洗浄水にリサイクルした水を使っていることで、この中に不純物が含まれていること。塗装周期については、日本では通常約 2 年に 1 回塗装を行うが、ドイツでは約 10 年に 1 回塗装であること。こういった点である。



図 9 洗浄風景



図 10 洗浄後の表面状態

表 6 ドイツ国鉄洗浄装置効果

項目	箇所	ドイツでの測定結果	今回提案した目安値
汚れ除去率	鉄・銅	50%	80%以上
	炭素・珪素	60%	70%以上
	油分	0%	— (未設定)
	全蒸発残留物	30%	60%以上
光沢回復率		82%	90%以上
色差変化量		1.2	1 以上

10 塗装の適用評価への応用例

洗浄評価以外への適用として、今回の評価手法を用いることで、塗装状態の経年劣化に関する定量的評価を行うことが可能である。表 7 は新幹線車両の塗料変更の適用の検討ため、3 年相当の塗装劣化の加速試験を実施した例であるが、光沢度、色差、マイクロスコープ (図 12) 測定等により、その変化量から新規採用の可否について明確に検討できた。比較検討した塗料について、E4 系新幹線に採用となっている。

表 7 光学測定による車体塗装評価 (試験例)

塗料種別	試験項目	促進加速試験 (3 年相当)	
		耐候性・耐食性	
		光沢保持率	色差 $\Delta E_{a^*b^*}$
旧塗料		95.3%	1.51
新塗料 (環境配慮)		95.6%	1.81

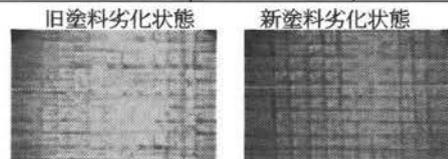


図 12 マイクロスコープによる状態 (基盤目測定)

11 おわりに

車体洗浄の洗浄効果を光学測定、汚れ分析等により定量的に評価することで新たな洗浄装置や洗浄剤等の導入時に客観的に判断をすることが可能となった。

また、本研究を活用し国内外複数の車体洗浄装置の洗浄効果を定量的評価することができた。更に応用し塗料評価にも活用することができた。

今回研究した車体洗浄装置の定量的評価手法を用いて、今後も新たな洗浄装置等の開発における評価基準として活用していく所存である。

参考文献

1) 木村昌敏, 田中誠, 江成孝文: SUS 車両外板汚れの解析, J-Rail2003, pp. 247-250, 2003.