自動車用鋼材の腐食防食について

三 吉 康 彦*, 門 智*

*新日本製鉄株式会社製品技術研究所

On the Corrosion and Protection of Steels Used in a Motor Car

Yasuhiko Miyoshi* and Satoshi Kado*

*Products Research and Development Laboratories, Nippon Steel Corporation

Corrosion of a motor car is an electrochemical process caused by retained moisture and trapped water. De-icing salts spread on high ways accelerate the corrosion during winter. Flying stones and gravel from the roads damage the paint. Galvanized-, galvannealed and zinc primer coated steels are used successfully in main corroded parts, e. g. doors, front fenders, rocker panels. The coating itself gives the protection and when these steels are painted, the protective effect is more striking. The current change from anodic to cathodic electrophoretically deposited primer is also expected to bring about more resistance.

1. はじめに

自動車用鋼材の腐食防食が最近大きな注目を集めてきた大きな原因としては、次の二つが挙げられる。一つは自動車の普及に伴って寒冷地域にも道路が整備された結果、冬期道路凍結防止の目的で散布される塩による腐食が増大してきたことである。塩は普通 2 車線道路で 1 マイル当り 500~600 ポンド (140~168 kg/km) 散布されるが¹⁾、年間散布量は年々増大し、米国においては 1960 年に 200 万トンであったものが 1975 年には 1000 万トンと 15 年間で 5 倍となり、西独においては 250 万トン、フランス 45 万トン、英国 140 万トン (1970 年)、カナダ 137 万トン (1970 年) といわれている²⁾。

他の一つは米国で自動車燃費基準が法制化され、現在米国車の平均で 18.6 mile/gal (7.9 km/l) である燃費を年々向上させ、1985 年には 27.5 mile/gal (11.6 km/l) を達成する義務が生じたことである³⁾。燃費向上のための車体軽量化を目指して、ハイテン化による使用鋼材の肉厚低下が推進されているが、肉厚低下によって腐食代の減少、従ってより有効な防食対策が要求される。

ドイツ車検協会が 1977 年に発表したデータによれば、車検時に発見される欠陥のうち腐食に関係するものの割合は、2 年以内の車では 1% 以下であるのに対して、6 年以上経過した車では約 1/3 を占めている。ユーザーの自動車保有期間が年々伸びていることは世界的な傾向で

あり、これによって腐食問題はますます重要となってきた。

カナダ政府はこれらの事情を踏まえて、カナダコードと呼ばれる車体防食基準を発表した。これはあくまでもガイドラインであって法的強制力はないが、カナダで自動車を販売しているメーカーはいずれもこれを受け入れ、防食対策推進の大きなインパクトとなった。表 1 にまとめて示す⁴⁾。米国にはこのようなガイドラインはないが、外板発錆なし 3 年以上、外板穴あきなし 5 年以上、機能部品の保証 10 年以上という防食基準法制化の動きがある⁵⁾。ちなみに 1976 年に行われた調査によれば、寒冷地を走行した車のうち 10% が 2 年間で外板に穴があいていた。

車体の腐食については次章で詳述するように、デザイン (構造) と表面処理の影響が大きい。防食法としては次の三つが挙げられる¹⁾。

(1) 表面処理鋼板の利用。例えば Zn めっき鋼板、合金化 Zn めっき鋼板、プレコート鋼板。

(2) 車体構造の設計変更。例えば腐食因子の侵入・蓄積をはばむ構造、侵入した因子の排出を容易にする設計。

(3) 塗装による重防食化。例えば念入りな塗装、耐食性のすぐれた塗料の適用、車体防食剤やシーラーの利用。

これらの内から適用する部位に応じて最適な方法が選ばれるが、(2)、(3) に関しては既に多くの解説が発表されているので^{1), 2) 6) ~12)}、ここでは (1) を中心に解説し、

* 〒229 神奈川県相模原市淵野辺 5-10-1 (5-10-1, Fuchinoqe, Sagamihara, Kanagawa 229, Japan)

表 1 カナダコード (自動車防食基準)

型 式 年 度	要 求 さ れ る 耐 食 性		
	外板発錆なし	外板穴あきなし	構造上の損傷なし
1978～1980年	1年又は4万km以上	3年又は12万km以上	6年又は24万km以上
1981年以降	1.5年又は6万km以上	5年又は20万km以上	同 上

(3) に関しては最近非常に注目されているカチオン型電着塗料について述べて見たい。

2. 自動車車体の腐食

2.1 腐食の要因

車体の腐食は表面に結露又は付着した水分を媒体とする電気化学反応である。よく知られているように大気の大気湿度と結露水膜厚さとの間には図 1 の関係があり¹³⁾、60% 以下では水膜が薄くて腐食はほとんど起こらない。

図 1 大気中の湿度と研磨した鋼表面に結露する水膜厚さとの関係¹³⁾

腐食を支配する要因としては次のものが挙げられる。

(1) 温度、(2) 湿度、(3) 表面濡れ状態 (水珠等)、(4) 塩の散布量、(5) 海浜粒子、(6) 大気汚染 (SO_2 , NO_x 等)、(7) 飛石による塗膜損傷、(8) 土、ほこりの付着。

すなわち高温高湿地域では激しく、乾燥地帯ではゆるやかである。寒冷地においては、保温されたガレージの中では屋外に比較して腐食が著しく促進されるといわれている¹⁴⁾。道路凍結防止の目的で寒冷地に散布される塩は主として NaCl であるが、我国やヨーロッパでは CaCl_2 を散布することも多い。飽和水溶液に平衡する水蒸気圧を相対湿度で表わした値は、 20°C において NaCl では 76%、 CaCl_2 では 32% となる。従って CaCl_2 は水分を吸収・保持し易く、 NaCl よりも腐食性が高い。塩の作用は現在最も大きな問題となっている。次に、自動車走行中に路面からはね上げられた小石、砂、岩塩などは塗膜を損傷し、素地にまで達するきずが生じれば、チップング腐食, scab corrosion の原因となる。

2.2 腐食の種類

腐食には全面腐食と局部腐食があり、局部腐食としてはすき間腐食、孔食、付着物腐食が挙げられる。場所によっては異種金属接触腐食 (galvanic corrosion) も起こる。

全面腐食は、鋼材が裸で露出した面に全体として生じる。袋構造部等で塗料がつきまわりにくい面、飛石によって塗膜が脱落した面などである。前者では錆が急速に

a すき間腐食

b 孔食

c 付着物腐食

図 2 自動車に生じる局部腐食の形態¹⁴⁾

発達して、甚しい場合には鋼板の穿孔にまで至る。後者では塗膜きず部に錆が生じ、或いは湿気的作用できず部を基点として糸状腐食が成長するが、これらはチップング腐食と呼ばれている。特に寒冷地では塗膜の損傷が更に広がってかさぶた状を呈する場合があって、scab corrosion と名付けられており、冷却・加温による収縮・膨張のくり返しや乾燥・湿潤による脱水・膨潤のくり返しが塗膜破壊を促進すると考えられている。塗膜が破壊された後は、全面的に腐食が進行する。

局部腐食の形態を図2に示した¹⁰⁾。溶接部やボルト締付部などの酸素不足に起因するすき間腐食、部分的な結露による孔食、水を含んだ泥の付着による酸素不足に起因する付着物腐食が知られている。

2.3 腐食部位

統計によれば腐食は車体全体に起こるのではなく、次に述べる限られた部位に多い。まず塩や飛石が問題となる寒冷地では、ヨーロッパにおける調査の結果、

- (1) ホイールハウス、フロアー、ロッカーパネルなど飛石による塗膜損傷を受けやすい部位
- (2) 鋼板かさね部、ギャップ、排水不完全な底部など湿気や水分が溜まりやすい部位
- (3) ドア・袋構造部、ジョイントなど塗料のつきまわりにくい部位

に多く見られた。表2に各部材の腐食の種類と原因をまとめて示す¹¹⁾。米国でも同様であって、塩を含んだ泥水を直接浴びるフェンダー、ドア、クォーターパネルなどに穴あきが生じていた。

一方、昼間の熱気と朝夕の霧による乾湿くり返しや海浜粒子が問題となる高温多湿地域では、フード、屋根など水平な部位の穴あきが多かった。

3. 防食法

自動車の防食の基本は塗装である。図3に塗装工程の一例を示す。

図3 自動車塗装工程の一例

脱脂および化成処理（磷酸塩処理）は前処理として重要であり、従来はスプレー法によっていたが、袋部等に処理液が充分にはとどかず前処理不良となるために、車体を液に浸せきするハーフディップ、フルディップ等の

表2 自動車部材の腐食の種類とその原因¹¹⁾（ヨーロッパにおける調査）

部 材	材 料	腐食の種類	原 因
シャーシー部材 ピラー	スチールシート	隙間腐食 全面腐食 付着物腐食	部材、隙間、溶接部にはいる水分およびドロ。 飛石による塗膜の損傷
バネ装着部 駆動装着部	スチールシート	隙間腐食 全面腐食 疲労腐食	装着部の補強材によって形成される隙間やポケットにはいる水分およびドロ
床 部	スチールシート	全面腐食 隙間腐食 付着物腐食	隙間やカーペットの下に集まる水分とくにエッジに沿って
ウイング (フェンダー ホイールハウス)	スチールシート	孔 食 全面腐食 隙間腐食 付着物腐食	飛石による塗膜の損傷 付着土が水分を保持する隙間。表面塗膜を損傷する小石
ド ア	スチールシート	全面腐食 隙間腐食 付着物腐食	排水不十分なドア構造による水の滞留。
ブレーキパイプ	銅/亜鉛被覆された スチールチューブ	異種金属接触腐食 孔 食	亜鉛被覆が腐食して、下の銅層を露出する。銅層に孔がある ときに異種金属接触腐食がおこる
バンパー	装飾的なクロム-ニッケルめっきをしたスチール アノード化されたバンパー	孔 食	路上のドロおよび排気ガスが腐食を促進

方法が採用され始めた。電着塗装は、一般の吹付塗装では困難な内面、凹面、袋部等にも塗装できる利点があり、ほとんどすべての自動車メーカーに普及している。中塗は静電塗装、上塗はエアースプレー法が一般であって、外板の防食・美観が主目的である。

3.1 表面処理鋼板の適用

塗装工程からわかるように車体の塗装状態は部位によって異なり、完全塗装された部位、電着塗装のみ施された部位、電着塗装も薄い部位、塗料が全く付着していない部位が生じる。それぞれ防食性能が違い、そのうえ腐食因子の作用にも部位による差がある。これらの点を考慮して、冷延鋼板では耐食性が不十分な部位に、Znめっき鋼板、合金化Znめっき鋼板、プレコート鋼板等の表面処理鋼板が使用されている。

米国において最初はフローア等の外から見えない部位に用いられたが、1963年溶融Znめっき鋼板を適用してロッカーパネルの防食に成功して以来、外観仕上げがそれ程重要ではない外板部にも用いられ始めた。その後、フェンダー、ドア等の美しい外観仕上げが要求される部品にまで適用範囲が拡大するにつれて、片面処理鋼板が使われるようになって来た。これは、表面処理面の塗装仕上りが冷延鋼板よりも劣るため外面には使えないこと、腐食は内面側で激しいこと、スポット溶接性が両面処理鋼板に比較してすぐれていること、等の理由による。

フォードの1978年車の一つを例として、表面処理鋼板の使用部位を図4に示した¹⁸⁾。ドア、フロントフェンダー、ボディポスト、リヤクォーターパネル、カウ

ル、ロッカーパネル、ホイールハウス、インナートランクリッドに適用されている。

3.1.1 Znめっき鋼板

Znめっき鋼板は裸使用の状態で大気腐食環境において表面に $2\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn}(\text{OH})_2$ および ZnO を生じ、 Cl^- を含む環境では更に $\text{ZnCl}_2 \cdot 4\text{Zn}(\text{OH})_2$ が加わって、これら腐食生成物の保護作用ですぐれた耐食性を示す。表面に塗装された状態についても、冷延鋼板の塗装材に比較して腐食環境下での錆の発生が著しく小さい(後述の図6参照)。また、ZnはFeよりも卑な金属であるから、チッピングによって塗膜にきずを受けた場合にもFe錆の発生は抑制される。

従ってZnめっき鋼板は自動車用に広く使用されており、例えば米国の1977年の実績は70万トンである。しかしながら、Znめっき鋼板と冷延鋼板とが接合された塗装部分では、腐食環境下でZnをアノード、Feをカソードとする局部電池が形成され、アルカリを生じて塗膜が剝離するという欠点がある。これは接触腐食(saponification)と呼ばれており、絶縁シーラーの利用、電着塗料の改良などで対処している。

製造法としては電気めっき法と溶融めっき法があり、片面めっき鋼板は、片面研削、片面電解剝離、酸化物などのめっき防止剤の利用、溶融Znを片面にのみ接触させる方法などで作られる¹⁹⁾。めっき量は通常 $90 \sim 150 \text{ g/m}^2$ である。

3.1.2 合金化Znめっき鋼板^{20)~22)}

表面層は FeZn_7 と書ける δ_1 合金が主成分で、 $\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$ と書ける Γ 合金が多少認められる。Znめっき鋼板に比

図4 フォード車1978年モデルにおける表面処理鋼板の使用例¹⁸⁾

較してスポット溶接性がすぐれていることもあって、我が国の自動車メーカーでは年間 5~7 万トンと広く採用されている。

裸材について、塩水噴霧試験による重量変化を試験ままの状態および NH_4Cl 溶液で錆除去後の状態で測定した結果は図 5 の通りである²³⁾。Zn めっき鋼板よりも耐食性は良好であった。

電着塗装を 10μ または 20μ 施した試料の評価試験結果によれば、比較材の冷延鋼板、溶融および電気 Zn めっき鋼板、防錆塗装鋼板よりも錆が発生しにくく、クロスカット部のふくれ幅も小さい²⁴⁾。(図 6, 7)。電着塗装を $1\sim 20\mu$ の間で変えたとともに化成処理の効果も調べた実験の結果を図 8, 9 に示す²⁵⁾。 2μ 以上の膜厚があれば、塩水噴霧試験での白錆発生を著しく抑制する。塗膜ふくれも小さい。また、化成処理の効果が非常に大きい

図 5 裸材の塩水噴霧試験における重量変化²³⁾
(AS: 合金化 Zn めっき鋼板)
(HDG: 溶融 Zn めっき鋼板)

ことがわかる。

このように合金化 Zn めっき鋼板は塗装後の耐食性に特徴がある。 2μ 程度の塗膜が有効なことから、正常な条件下では 20μ 前後付着する電着塗装がつきまわりにく

グレード	さびの状況
0	さびなし、外観良好
1	点状または線状白さび
2	点状白さび多数または帯状白さび
3	帯状白さび多数または全面白さび
4	点状または線状赤さび
5	点状赤さび多数または帯状赤さび
6	帯状赤さび多数または全面赤さび

図 6 塗装材の塩水噴霧試験結果²⁴⁾
発錆状況 (電着塗装 10μ クロスカットなし)

図 7 塗装材の塩水噴霧試験結果²⁴⁾
クロスカット部からのふくれ幅 (電着塗装 20μ)

図8 塗装材の塩水噴霧試験結果 (33日)²⁵⁾
電着塗装膜厚および化成処理の影響

図9 塗装材の塩水噴霧試験結果 (33日)²⁵⁾
最大ふくれ径 (クロスカットなし)

い袋部などに使用しても効果的だといえる。表面層のNaCl溶液中の自然電極電位はZnめっき鋼板よりもFeに近いために接触腐食も起こりにくい²⁶⁾。

製造法としては、溶融Znめっきした鋼板を450～600°Cに加熱して表面層を合金化した後に片面を研削する方法と、片面電気Znめっきした鋼板を加熱する方法が工業化されている。めっき量は通常45～60 g/m²である。

3.1.3 プレコート鋼板

鋼板表面をあらかじめ塗装しておけば、電着塗装がつきまわりにくい部位でも良好な耐食性が確保できると考えられる。自動車用に適用する場合には、プレス加工に耐えることと、スポット溶接可能なように表面層の電気抵抗が低いことが要求され、この点に種々の工夫をこら

した製品が開発された。

最も広く使用されているプレコート鋼板はジंकロメタルの商品名で呼ばれているものであり、1971年に開発されて以来需要が伸び、米国では1976年に62万トン使われた。これはクロム酸と金属Zn粒子を含むダクロメットと称する薬液をロールコートして焼付けた鋼板の上に、エポキシ樹脂ベースのジंकロメットと称するジंकリッチペイントを焼付けた2コートをもっている。断面図を図10に示した。膜厚は12.5～20μmを標準とするが、加工性向上のためにダクロメットの耐食性を高めて膜厚7.5～12.5μmとした製品も作られている⁴⁾。

裸材の耐食性は、1000hの塩水噴霧試験で赤錆がほとんど発生しない程度に良好である。この上に更に化成処理、電着塗装を施すこともできる。スポット溶接性も合格ラインにあり、接触腐食の恐れはない²⁷⁾。

ジंकロメタルの腐食防止機構は次のようにいわれている²⁸⁾。①ダクロメット中のクロム酸イオンによる鋼板表面の不働態化。②Zn末が初期には鋼を電気防食するが、その作用はクロム酸によって調節される。腐食の進行に伴って、形成されたOH⁻イオンZnが不働態化し保護皮膜を作る。③ジंकロメット中の樹脂による水分、塩分の侵入抑制。抑制作用はZnが酸化物、炭酸塩に変わることによって強力になる。

ジंकロメタル以外では、20 g/m²のZnめっき後クロメット処理を施した上に、Znと硬質導電粉末とを混合した塗料を8μm以上塗布した鋼板があり、一部の自動車メーカーで採用されている。裸の状態500hの塩水噴霧試験後もクロスカット部に赤錆は生じなかった。1年間の屋外暴露試験結果も同様であった。これはZnの電気防食作用によるものと考えられる。0.1 N HCl中に浸せきしてFe板とのカップリング電流を測定し、初期にはZnめっき層が、塗膜が水を含むに従って塗膜中のZnも電気防食作用を及ぼすこと、Znめっき鋼板に比較して防食効果は著しく長く継続することが明らかになった。加工性、溶接性も合格ラインにある²⁹⁾。

3.2 電着塗装の改良

電着塗装は下地塗装としてほとんどすべての自動車に利用されており、中塗、上塗がつきにくい内部、凹部、袋部等にもつきまわるために、防食上最も重要な塗装である。従ってその防食性能の改良は耐食性の向上につな

図10 ジंकロメタル表面皮膜の断面図⁴⁾

がる。電着塗料は水溶性または水分散性樹脂および顔料などよりなる⁸⁰⁾。従来はカルボキシル基を有して水溶液中でアニオンとなる樹脂、すなわちアニオン型電着塗料が用いられたが、1976年カチオン型電着塗料が開発されるや、そのすぐれた防食性能の故に非常に早急に普及し、ボディおよび部品ラインとして米国では1/2以上、日本では約1/3に採用され、切り換えは現在もなお続いている。

3.2.1 カチオン型電着塗装の原理

カチオン型電着塗料樹脂のほとんどは、エポキシ樹脂と有機アミン化合物を化合させた後、有機酸で中和して水溶性を持たせた樹脂である。一例を図11に示す。

図11 カチオン型電着塗料樹脂

これを顔料とともに分散させた水溶液中で鋼板側をカソードとして電解する。カソードでは水の電気分解で生じたOH⁻イオンが図12に示した反応でカチオン型樹脂を凝集し、塗膜が析出する。水洗後、焼付によって硬化させる。

図12 カソードにおける反応

一方アノードでは、同じく水の電解生成物であるH⁺イオンが図13の反応で有機酸を遊離する。

図13 アノードにおける反応

形成された皮膜は電気抵抗が高く電解反応を抑制する

ために、膜厚は通常20μ程度となる。電解による塗装であるから、吹付塗装では困難な内部、凹部、袋部にもつきまわる。補助電極を用いれば更に良い。

3.2.2 カチオン型電着塗装の塗膜性能

カチオン型はアニオン型に比べて一般に高分子樹脂で(平均分子量: アニオン型 1200~1300, カチオン型 約3000) 腐食抑制効果を持つアミノ基などを含んでいるので、耐食性がすぐれている。表3に電着特性と塗膜性能とを両者の比較で示した⁸¹⁾。

耐食性は塩水噴霧試験結果によればアニオン型の2~3倍である。特に脱脂ままで化成処理なしの試験片での差が大きい。化成処理は前処理として防食上極めて重要だといわれてきたが、カチオン型を採用すればスプレー法では化成処理がとどきにくい袋部等でも大きな防食効果が期待できることになる。また、実車走行テストでは塩水噴霧試験結果以上に両者の差が大きかったとの報告もある⁸²⁾。

なお、カチオン型電着塗装の採用によって表面処理鋼板は不用となり冷延鋼板へ切り換えるとの動きもあるようであるが、電着塗料すら充分にはまわり切れず、通常の20μの膜厚が全く確保できない部位も多い以上、両方の併用が最も望ましいと考えられる。

3.3 その他の防食対策

フロア下部、ロッカーパネル等のチップング腐食やscab corrosion 対策としては、カチオン型電着塗料の切り換えも有効ではないので、弾力性のあるアンダーコートやエポキシ系塗料の塗布で対処するのが一般である。鋼板の合せ部等塗料のつきまわらない部分はシーラーによって保護される。袋部等については塗装工程終了後、外板にあけた穴からワックス状の重防錆油を吹き込んで防食する、いわゆるワックスインジェクションも採用されている。

以上述べたように、自動車の腐食は使用環境や部位によって大きく異なる。腐食が激しい部位には重点的に防食が施されるが、防食法は車体のデザイン(構造)によって表面処理鋼板、電着塗装、シーラー、アンダーコート等を適当に組み合わせ、経済性も考慮して最適なものが選ばれる。

4. あとがき

自動車用鋼材の腐食防食に関して、現在までに公表されたデータをもとに解説した。この研究は自動車メーカー、塗料メーカー、鋼材メーカーにおいて鋭意実施中であって、多くの興味ある実験結果が公表できるまでにはまとまっておらず残念である。

腐食としてはここで述べた以外に、ガソリン中の水分に起因するガソリタンクの腐食²⁰⁾、稼動中のエンジン

表 3 電着塗料の電着特性と塗膜性能⁸¹⁾

		カチオン型電着塗料	アニオン型電着塗料	特 記 事 項
電 着 特 性	固 型 分	18~20	12~14	%
	pH	6.2~6.7	8.5~9.0	
	液 電 導 度	800~1500	1800~2100	μ mho/cm
	塗 装 電 圧	250	250	V
	通 電 時 間	3	3	分
	クーロン効率	35	23	mg/クーロン
	つきまわり性 膜 厚	25 20	22 20	cm (マイブ法) μ
単独塗膜性能	焼 付 条 件	170°C×30分	170°C×30分	被塗物表面温度
	鉛 筆 硬 度	3 H	H	
	ゴバン目付着性	100/100	100/100	1 mm幅クロスカット
	耐 衝 撃 性	50cm合格	50cm合格	1/2" ϕ × 500 g
	耐 水 性	500時間以上	500時間以上	40°C温水浸漬
	耐アルカリ性	240時間以上	24時間	0.1N NaOH水溶液
	耐 酸 性	48時間	48時間	0.2N H ₂ SO ₄ 水溶液
	耐チッピング性	4 以上	4 以上	SS240時間 5 点滴点
	耐 糸 さ び 性	0.5~1.0mm 以下	2.5mmMD	40°C90%RH×240時間
	耐 食 性	脱 脂 の み 10 μ 20 μ	24~48時間 72~96時間	ソルトスプレー 35°C × 5 % NaCl
		磷酸亜鉛処理 10 μ 20 μ	500時間以上 1000時間以上	
総合塗膜性能	コバン目付着性	100/100	100/100	2 mm幅クロスカット
	耐 衝 撃 性	30cm合格	30cm合格	1/2" ϕ × 500 g
	耐 水 性	240時間以上	240時間以上	40°C温水浸漬
	耐チッピング性	4 以上	4 以上	SS240時間 5 点滴点
耐 食 性		1000時間以上	400時間以上	ソルトスプレー

総合塗膜性能は化成処理+電着+中塗+上塗で評価

より出る高温排気ガスによるマフラー等排気系統の高温腐食⁸³⁾、排気ガスからの結露水に起因する排気系統の湿式腐食がある⁸⁴⁾。ガソリタンクとしては主として溶融 Pb-Sn 合金めっき鋼板、排気系統にはステンレス鋼および溶融 Al めっき鋼板が使用されているが、これらに関しては腐食要因が異なるので触れなかった。

表面処理鋼板に関しては、プロパー材として販売・使用されているものに限って解説した。Zn めっき鋼板の耐食性を改善した新しい表面処理鋼板として、現在各社が開発中の鋼板がいくつか公表されており、これらは将来自動車用として適用されるであろう。

(1979 年 8 月 11 日受理)

文 献

- 1) 伊神英逸: 自動車技術, **30**, 641 (1976).
- 2) 奥谷徳康, 菊島仙夫: 同上, **30**, 829 (1976).
- 3) 小西健吉: 同上, **32**, 24 (1978).
- 4) 山本辰次郎, 西川俊夫: 防錆管理, **22**, No. 2, 23 (1978).
- 5) 田村幸雄, 貴堂悦弘: 溶接技術, **26**, No. 1, 27 (1978).
- 6) 大木敏男: 自動車技術, **28**, 616 (1974).
- 7) 大木敏男: 同上, **30**, 122 (1976).
- 8) 筒井伸和: 同上, **29**, 265 (1975).
- 9) 山崎不二雄, 山崎良輔: 塗装技術, **17**, No. 4, 105, No. 6, 91, No. 8, 123 (1978).
- 10) 沖田嘉人: 防錆管理, **22**, No. 8, 9 (1978).
- 11) 櫻庭壽彦: 工業材料, **25**, No. 4, 54 (1977).
- 12) 山本辰次郎: 防食技術, **24**, 427 (1975).
- 13) N. D. Tomashov: "Theory of Corrosion and Protection of Metals", p. 373, Macmillan (1966).
- 14) F. Theiler: Corros. Sci., **14**, 405 (1974).
- 15) "International Critical Tables" Vol. I, p. 67 McGraw-Hill (1926).
- 16) M. S. Jacobson: "I. Mech. E. 1974, Corrosion of Motor Vehicles" p. 35, The Institution of Mechanical Engineers (1974).
- 17) G. E. Svenson: *ibid.*, p. 29.
- 18) フォード社カタログ (1978).
- 19) G. McManus: Iron Age, **220**, No. 10, 17 (1977).

- 20) 吉田勝可: スチールデザイン, No. 192, 39 (1979).
- 21) 北島之夫: 金属, 49, No. 6, 66 (1979).
- 22) 営業旬報, 1979-2, 16, 11.
- 23) 吉田勝可, 鈴木章平, 北島之夫: 金属表面技術, 21, 430 (1970).
- 24) 目黒 明, 山本 司, 相川 潤: トヨタ技報, 27, 553 (1978).
- 25) 門 智, 三吉康彦, 生明忠雄: 鉄鋼協会第96回講演大会討論会 (1978), 鉄と鋼, 64, No. 8, 44 (1978).
- 26) 垂水英一, 渡辺 孝, 高橋靖雄: 自動車技術, 31, 848 (1977).
- 27) 小川辰也, 中村 徳, 赤松定美, 五百住啓之, 中森元樹, 四十万小二: 川崎製鉄技報, 10, 121 (1978).
- 28) 原田俊一: “表面処理製品の製造技術と関連分野の最近の進歩”, p. 153, 日本鉄鋼協会 (1978).
- 29) 岡 襄二, 岩倉英昭, 田中 忠: 金属表面技術協会第58回学術大会要旨集, p. 156, 158 (1978).
- 30) 大藪権昭: 金属表面技術, 28, 306 (1977).
- 31) 大森 洋: 高分子加工, 28, 19 (1979).
- 32) 川井 均, 本間通夫, 宮崎竜平: 塗装技術, 18, No. 1, 82 (1979).
- 33) 山崎恒友: 防食技術, 27, 77 (1978).
- 34) 渡辺 孝: 自動車技術, 30, 886 (1976).