



# 自動車用防錆鋼板

北 山 實\*

## Precoated Steel Sheets for Automotive Use

Minoru KITAYAMA

### 1. ま え が き

われわれ人類の生活、文明に最も密接な関係にある交通の発展、とりわけ自動車のそれは目をみはるものがあるが、環境にからむ排ガス規制、石油危機による省エネルギー対策としての燃料規制などと共に、カナダコード<sup>1)</sup>(表1)に代表される自動車車体防錆規準が世界的に提起されて久しい。

以来自動車用防錆鋼板の使用が、防錆のために必要となり、いまや自動車鋼材中10%以上<sup>2)</sup>に達し、今後その比率は増すものと思われる。

自動車車体の防錆対策としては、表面処理鋼板自体の防錆力向上および化成処理、塗料の改善などが考えられるが、さらに車体自体の構造にかかわる事項も挙げられる。一方こうした防錆手段が防錆以外の加工性、溶接性をそこなつてはならないばかりでなく、最近では、生活様式としての自動車文化にふさわしいより美しささえ要求されるようになった。

1985年頃までにアメリカでは、車体の30%が表面処理鋼板化され、総使用量は400万<sup>3)</sup>にも達するものと予測されているが、信頼度の高い自動車防錆の鍵は、車体のみならず、燃料タンク、排ガス系統を含めた材料の開発による防錆システムの構築にあるといえよう。

これらを目的として鉄鋼製造業が今日までに開発した防錆鋼板の製品ならびにその特徴について述べる。

### 2. 電気亜鉛および亜鉛系合金めつき鋼板

電気亜鉛系めつき鋼板は、従来溶融亜鉛めつき鋼板に

比して、めつき量が少ないことから、加工性が良く表面がなめらかで綺麗なため、家電製品、鋼製家具、厨房器など表面外観や加工性が問題となる屋内用途に用いられていたが、車体防錆鋼板として利用されてからは耐食性を活かした厚めつき指向に変わり始めた。しかし車体用としては、塗料の密着性はもとより、加工性、溶接性に悪影響を与えてはならないことから、これらと関係のある目付量を増加することなく、より耐食性がありかつ塗料密着性にもすぐれたものとして亜鉛系合金めつき鋼板の開発と製造が世界に先駆けて日本で行われ、量、質ともにこの分野における大きな技術的発展をみた。

この技術的基盤としての考え方は、亜鉛の腐食生成物が外面を覆うことにより以後の腐食を防止するという現象を合金化することにより強化することであり、さらにその合金化が他の特性例えば塗料密着性に影響があればその改善にさらに三元合金化金属元素を検討するというものである。

こうして開発された電気合金めつき鋼板として、Zn-Co、Zn-Ni、Zn-Ni-Co<sup>4)~15)</sup>などが挙げられる。

これらは、おおよそ10%前後の合金元素の添加で亜鉛のみの場合(同一目付量)に比べて耐食性が4~8倍に向上し(塩水噴霧試験)、仕上りも美しく加工性、溶接性にもさして影響はなく、電気亜鉛めつきラインをもつ鉄鋼各社で現場製造が行われ最も需要が多い。(図1)

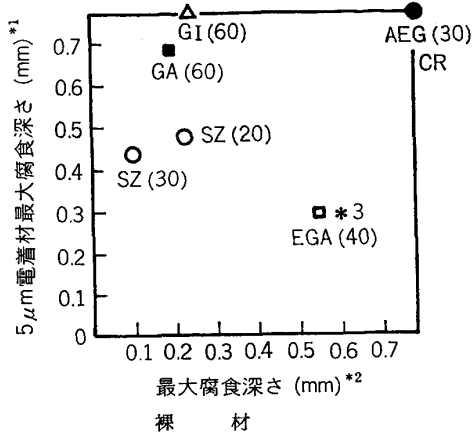
しかしながらこの間、合金めつきの温水浸漬塗膜密着試験で代表される塗膜の二次密着特性に関する論議がなされた。すなわち塗膜二次密着特性にかかわる事項として、化成処理皮膜のホパイト、フォスフォライト結

表1 車体防錆目標<sup>1)</sup>

	エンジンルーム内の錆	外観錆	孔あき腐食	構造錆	備考
カナダコード	—	1.5年	5年	6年	拘束力なし
スキャンナビアコード	—	3年	6年	6年	拘束力なし
米国 NHTSA 安全条項	—	—	—	8年	拘束力あり
米国自主的目標	2年	5年	10年	—	

昭和60年10月7日受付 (Received Oct. 7, 1985) (依頼解説)

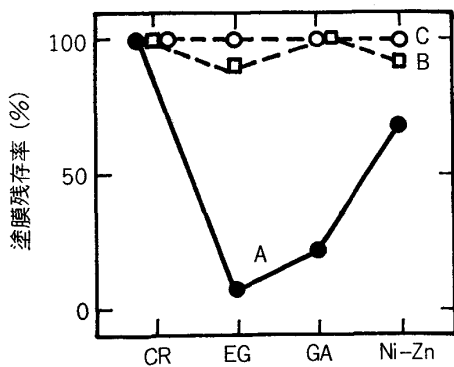
\* 中国塗料(株) 工博 (Chugoku Marine Paints, Ltd, 2-1-1 Uchisaiwai-cho Chiyoda-ku Tokyo 100)



\*1 130 サイクル暴露  
 \*2 30 サイクル暴露  
 \*3 かつこの数字はめつき付着量 (g/m<sup>2</sup>) を示す  
 CR: 冷延鋼板  
 SZ: Zn-Ni 電気合金めつき鋼板  
 GA: 合金化溶解 Zn めつき鋼板  
 GI: 溶解 Zn めつき鋼板  
 EGA: 熱処理した電気 Zn めつき鋼板  
 AEG: Zn-Fe 電気合金めつき鋼板  
 CCT 条件: (サイクルテスト) GM 法  
 GM 法

高温高湿室 (60°C 85% RH 22.5 時間)  
 塩水浸漬 (5% NaCl 室温 15 分) → 室温放置 (75 分) →  
 月曜日のみ: 室温放置後 → 加熱 (60°C 1 時間) → 冷凍  
 (-13°C, 30 分) → 高温高湿室  
 土・日: 高温高湿室  
 1 日 1 サイクルで 20 サイクル (4 週間) 実施

図 1 Zn-Ni めつき鋼板の裸および 5μm 塗装材の耐孔あき性



化成剤 A: ClO<sub>3</sub> 系 化成剤 B: F 系(I)  
 化成剤 C: F 系(II)

図 2 化成処理剤による耐水 2 次密着性の改良 (イオン交換水 40°C × 240h)<sup>23)</sup>

晶形態<sup>16)17)</sup>, めつき成分のアルカリ可溶性<sup>18)~26)</sup>などが論ぜられた。本来塗膜密着特性は、めつき外面と化成皮膜を通しての塗膜界面にかかわることがらであり、めつき合金成分とその濃度<sup>27)</sup>, また化成処理液成分 (図 2) およびその濃度<sup>28)</sup>, 電着塗膜成分<sup>29)</sup>など数多くの影響因子がある。塗膜密着特性はこれら因子の総合的な検討による判断が必要であり、最終的な論争のしめには今しばらくの時を要するであろう。

また時をおなじくして鉄面の塗膜密着性の優れていることから、溶融 Fe-Zn 合金鋼板の開発とおなじように

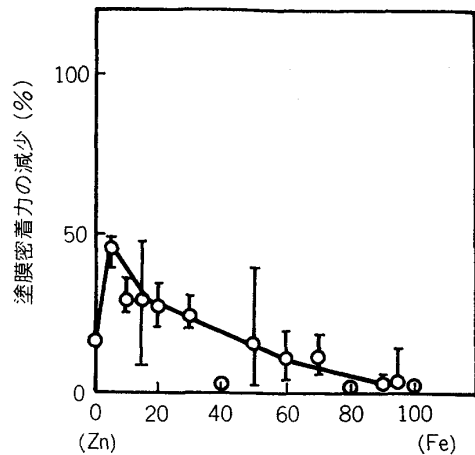
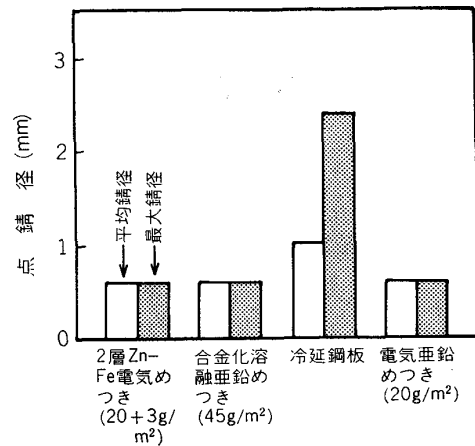


図 3 各種 Zn-Fe 合金めつき鋼板の耐水 2 次密着性<sup>24)</sup>



80 μm 塗装材: 点状さび入り糸錆試験 4 週間  
 図 4 2 層 Zn-Fe 電気めつき鋼板の耐スキャブ腐食性<sup>31)</sup>

電気めつきによる Zn-Fe 合金めつき法が開発され期待どおり優れた塗装後の耐食性をもつものが製造され始めた<sup>24)~26)</sup>。鉄合金化率の高いほど耐水密着性が良好なことから (図 3)<sup>24)</sup> 鉄成分を変えた二層めつき鋼板の出現ともなつた<sup>30)32)~43)</sup> (図 4)。このように多くの要求項目に応えるべき手段としての二層化が発展, Zn/Zn-Ni, Zn-Cr/Zn-Ni, Zn-Fe/Zn-Ni<sup>46)</sup>などが検討された。例えば塗膜密着性の改善として Zn-Fe-Sn<sup>47)</sup>, Fe-P 合金めつき<sup>48)</sup> (図 5) Mn/Zn などが試されている。これらの代表を表 2<sup>49)</sup>に示す。一方電気亜鉛系めつき鋼板が自動車用鋼板に使用されるようになってからは、一部では耐食性指向として厚めつきの要望があり、通常目付量片面で 3~50 g/m<sup>2</sup> のものが現在では、60~90 g/m<sup>2</sup> のものまで試されている。

### 3. 溶融亜鉛めつき鋼板

溶融亜鉛めつき鋼板は、一般的にめつき量が多くまた

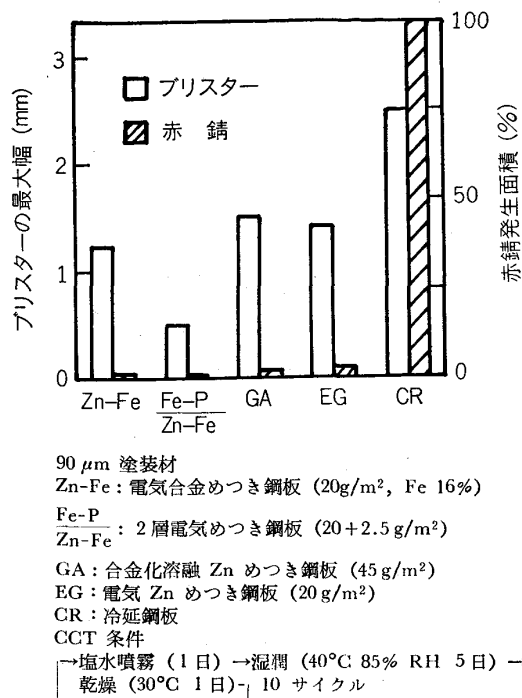


図 5 異種 2 層めつき鋼板の耐外観錆性

表 2 亜鉛系合金電気めつき鋼板<sup>45)</sup>

合金系	組成例 (メーカー)
Zn-Co-Cr	Co 0.3%, Cr 0.05% (鋼管)
Zn-Ni	Ni 13% (住金, 川鉄, 鋼管, 神鋼), さらに Co 0.3% (新日鉄)
Zn-Fe	Fe 10~25% (鋼管, 新日鉄, 神鋼, 川鉄, 住金)
Zn-Al	Al 10~15% 粉末として (川鉄)
Zn-Mn	Mn 30~80% (鋼管)
(2層タイプ) 表層 Zn-Ni 系	Zn-Ni (γ 単層) / Zn-Ni (η+γ) (川鉄), Zn-Ni/表層より卑な Zn 合金 (住金)
表層 Zn-Cr 系	Zn-Cr (0.005~0.5%) / Zn-Ni (神鋼), Zn-Cr (0.05~1.0%) / Zn 系 (川鉄)
表層 下層 Fe 系	表層 Fe または Fe-Zn (鋼管, 新日鉄, 神鋼), さらに P (~0.5%) 添加 (川鉄)
	Sn (~0.1%) 添加 (住金)

めつき時の熱時効のため材質が電気めつき鋼板に比べてやや硬めであるが, 高耐食性を要求される部位ではわが国のように電気代の高い条件ではコスト的に優位で, 技術開発により超深絞り用から加工用ハイテンまで製造可能となり, 自動車車体の内外板に用いられるようになった。

車体防錆用溶融めつき鋼板には, 通常の亜鉛めつきしたもの, めつき後熱処理により, Fe-Zn 合金を形成させた合金化処理亜鉛めつき鋼板があり, また片面 Zn/他面 Fe-Zn 合金とした鋼板も外面錆防止鋼板に利用されている。

亜鉛めつき鋼板に比べて合金化処理溶融亜鉛めつき鋼板は, Fe-Zn 合金層となつていることから前述のように塗膜密着性が良好であり, また腐食電位が亜鉛に比べて貴となり腐食速度が小さく<sup>50)</sup>, 塗装後の塗膜ふくれが発生しにくい特徴があり<sup>51)</sup>, 溶接性も優れわが国の自動

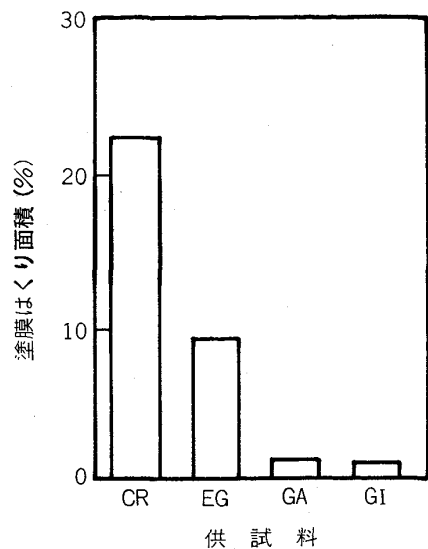


図 6 溶融めつき鋼板の耐外観腐食性<sup>50)</sup>

車メーカーでは溶融亜鉛めつき製品のなかでは早くから広く使用されてきた<sup>52)53)</sup>(図6)。特に片面亜鉛めつき鋼板は, 外面は塗装性のよい鉄面を塗装し, 内面は亜鉛で耐食性をもたせるのによく, 内面の耐久性を重視する場合めつき量の多いところでは溶融めつきが有利となる。しかしながら合金化亜鉛めつき鋼板は, 亜鉛量が多くなるとめつき層を均一に保ちつつ加工性をそこのことなく合金化することが難しくなり, 現在の亜鉛付着量は片面通常 60 g/m<sup>2</sup> とされている。また亜鉛系表面処理鋼板としての外国製品に, Galfan<sup>54)</sup>, Monogal<sup>55)</sup>などがある。最近, 溶融めつき鋼板の特徴を活かして薄目付量を狙った蒸着亜鉛めつき鋼板が注目を浴びている<sup>56)~58)</sup>。

#### 4. ターンめつき鋼板

ターンめつき鋼板は, 湿潤状態での耐食性が良好なこと, 従つて腐食生成物の少ないこと, はんだ性, 加工性が良いことにより耐孔あき, 燃料循環系が目詰まり対策に適合し, 欧米はもとより, わが国における自動車の燃料タンクに多く使用されている。通常 8~16% のすずを含み, フラックス方式による連続溶融めつき法が代表的な製造法であるが, 最近耐食性向上をはかつて鋼板表面にニッケルめつきをほどこした後ターン溶融めつきし均一な合金層を生成させることによるピンホールを減少させたもの<sup>59)</sup>(図7)が開発された。また石油資源対策としてのガソリン使用による水の混入が原因の腐食対策に, ガソリンに強いターンめつき鋼板を基板として, 亜鉛リッチ熱可塑エポキシ/アルミニウムリッチ熱可塑

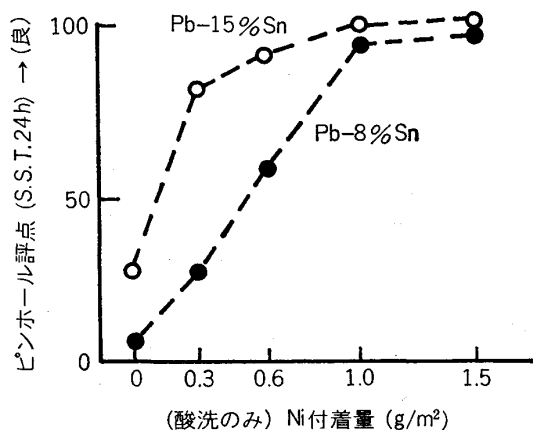


図 7 Ni プレめつきによるターンシートのピンホール減少<sup>56)</sup>

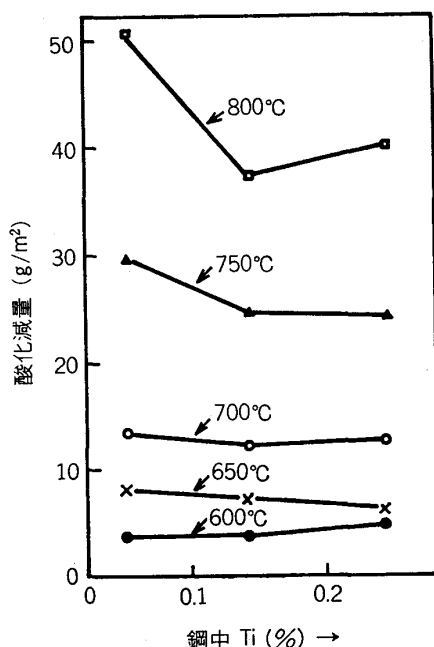


図 8 溶融アルミニウムめつき鋼板の耐熱性に及ぼす鋼中チタンの影響(繰返し加熱)<sup>59)</sup>

エポキシ樹脂 (221°C 焼付け) 塗装鋼板が米国マグネー工業で開発され<sup>60)</sup>GM で使用されている。

### 5. 溶融アルミニウムめつき鋼板

溶融アルミニウムめつき鋼板は、近年自動車排気系材料、燃料機器、家電製品に大量に使用されるようになり、この 10 年間でわが国の生産量は、4~5 倍に増加した。溶融アルミニウムめつき鋼板は、ゼンジャー方式で行われているが、合金化反応が速く、アルミニウム/鉄合金層がめつき界面に生成し、これがめつき層の加工剝離の原因となる。この軽減のため珪素が 1~10% 添加される。

溶融アルミニウムめつき鋼板は、自動車の排気部品材

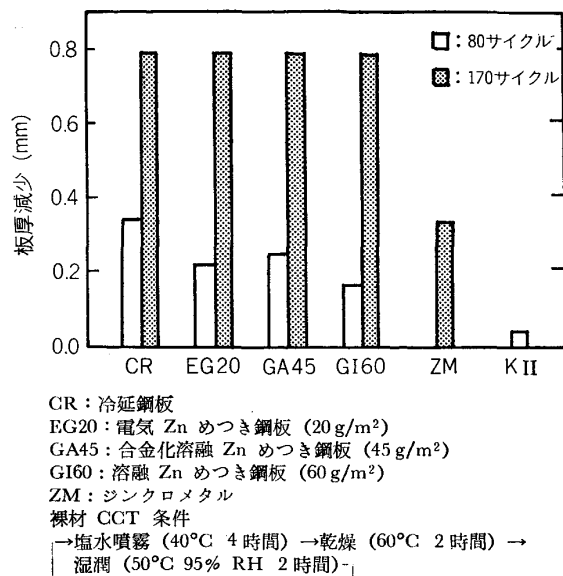


図 9 有機複合めつき鋼板 (K II) の耐孔あき性<sup>73)</sup>

料として、より高度な性能が求められるようになりここ数年種々の新製品が開発された。

低級ステンレス鋼板なみの耐高温酸化を狙った極低炭素 Ti 添加鋼に溶融アルミニウムめつきを施したものは (図 8), Ti 添加量 0.15~0.20% で、800°C での酸化量は、無添加に比して 70% に減少する<sup>61)62)</sup>。これは鋼中 Ti が少ない場合、めつき部、ピンホール、合金層のき裂などから地鉄の酸化が生じるが、Ti 量が多いと地鉄とめつき層の合金化速度が大きくなるため、酸化より合金化が先行し、酸化を防止するためと考えられる。また 700°C 付近で、低クロム鋼板なみの耐酸化性と高温強度を得るために、鋼中に Ti, Si, Mn, P を加えたものがある<sup>63)</sup>。さらに塗装後 500°C 以上に加熱すると、めつき層と地鉄が合金化し、塗膜剝離が生じるがこの合金化防止に鋼中の窒素が有効であることがわかり<sup>64)</sup>、排気ガス部品に使用可となった。またマフラー用材料として排気ガス凝縮水に対する耐食性を高めるための耐熱塗装 (下塗りエポキシ樹脂系塗料, 上塗りシリコン変性ポリエステル系塗料) したものの<sup>65)66)</sup>、下地鋼板にクロムを添加して耐食性をより高めたものの研究も行われている。

### 6. 無機有機複合鋼板

車体防錆用塗装鋼板は、鋼板表面に電導性塗料を塗装することにより、鋼板素地の腐食を防止する溶接可能で、かつ成形加工に耐え、密着性のよい上塗り塗装性を有するプレコート鋼板の一種で、代表的な製品としてジクロメタル<sup>67)~69)</sup>、すなわち冷延鋼板に亜鉛粉末塗料を 10 μm 程度塗布したもの、また亜鉛めつき鋼板をベースに特殊な金属粉末を含有させた塗料を塗布して溶接性、犠牲防食性を向上させた製品 (W<sub>N</sub>, K II) があ

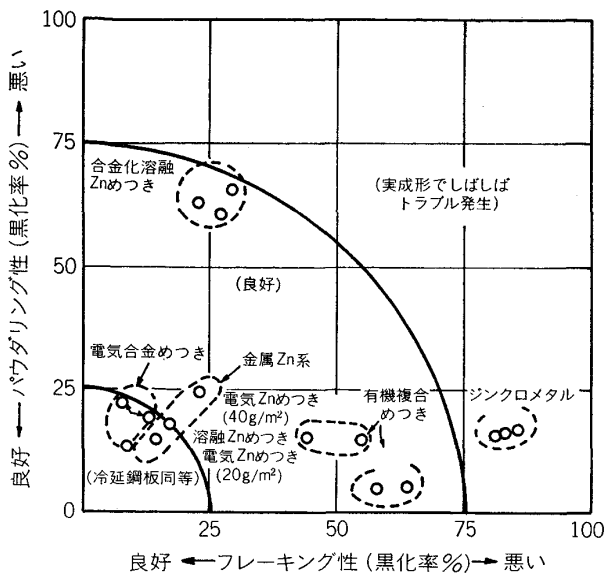


図10 パウダリング性及びフレーキング性評価例

塗装系	溶融めつき系		電気めつき系		分類
	種類	めつき付着量 (g/m²)	種類	めつき付着量 (g/m²)	
塗装系	ジンクロメタル				溶接電流 (kA)
	有機複合めつき鋼板				
溶融めつき系	アルミめつき鋼板	150/150	電気合金めつき鋼板	Zn-Ni系 20/20	6 7 8 9 10
	ターンシート (Pb-Sn)	30/30	電気合金めつき鋼板	Zn-Fe系 20/20	
	合金化溶融	75/75	電気亜鉛めつき鋼板	20/20	
	亜鉛めつき鋼板	90/90	冷延鋼板		
	溶融亜鉛めつき鋼板	45/45			
	溶融亜鉛めつき鋼板	90/90			

Tip=CF 4.5mm φ  
 (Tip形状 Core Flat □)  $dn=4\sqrt{T}$  (ナゲット径)  
 $P=200\text{kg}\cdot\text{f}$  (加圧力)  $W.T=10$  サイクル (溶接時間) 散り発生

図11 各種表面処理鋼板の適正溶接電流範囲

る70)~76)。(図9)

しかしこれらは塗装鋼板であるためめつき皮膜と比べると溶接、加工ともに使用時の配慮が必要であろう。

### 7. ま と め

自動車用防錆鋼板として、世に販売されている表面処理鋼板ならびにその特徴を防錆を中心に紹介した。しかしながら防錆とはいうものの自動車用鋼板である限り加工性、溶接性を無視することはできない。これらの特性について整理した代表的な一例を図10、図11に示した。

このように防錆以外の特性をも含めた総合的多機能防錆鋼板の開発への道は遠く、既に開発された合金めつき

鋼板といえどその日は浅く、基盤研究という見地からはいまだの感がある。

このことは、車体のみならず、エギゾーストパイプ、燃料タンク材にとってもおなじであり、新たなニーズに呼応して、今後も例えば多層めつき鋼板、分散めつき鋼板などの開発と製造が行われ、さらには新素材との競合とあいまつて果てしない変遷とそれにとともなる進歩があるものと思われ、新たな期待を改めて持つものである。

### 文 献

- 1) 松本和勝: 塗装工学, 19 (1984) 7, p.297
- 2) 堀 敬二: 住友金属, 33(1981), p. 461
- 3) IISI/PROM/16 June 13813 (1978) Apendix 1
- 4) 池田貢基, 佐藤広士, 下郡一利: 鉄と鋼, 71 (1985) 5, S 447
- 5) 渋谷敦義, 栗本樹夫, 是川公毅, 野路功二: 鉄と鋼, 66(1980), p. 771
- 6) 渋谷敦義, 栗本樹夫, 西原 実, 藤野允克, 保母芳彦: 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A61
- 7) 北山 實, 齊藤隆穂, 岡 襄二, 三吉康彦: 鉄と鋼, 68 (1982) 2, A65
- 8) 渋谷敦義, 栗本樹夫, 保母芳彦: 住友金属, 33 (1981) 4, p. 87
- 9) 入江泰佑, 中川善隆, 渡辺幸一, 多々納政義, 広瀬佑輔, 築地憲夫: 日新製鋼技報, 49(1983) 3, p. 20
- 10) M. R. LAMBERT, R. G. HART and H. E. TOWNSEND: SAE (1983) 831817
- 11) T. KURIMOTO, Y. HOBOSH, H. OISHI and K. YANAGAWA: SAE, (1983) 831837 ©19
- 12) R. NOUMI, H. NAGASAKI, Y. HOBOSH and A. SHIBUYA: SAE, (1982) 820332
- 13) 齊藤隆穂, 和気亮介, 岡 襄二, 北山 實: 製鉄研究 (1984) 315, p. 6
- 14) A. SHIBUYA, T. KURIMOTO, Y. HOBOSH and N. USUKI: Trans. ISIJ, 23(1983), p. 923
- 15) D. W. SITARI, M. SAGIYAMA and T. HARA: Trans. ISIJ, 23(1983), p. 959
- 16) 吉田佑一: 色材, 54 (1981) 9, p. 40
- 17) 置田 宏: 塗装技術, 21 (1982) 10, p. 154
- 18) 前田重義, 浅井恒敏, 岡田秀弥: 防食技術, 31 (1982) 4, p. 268
- 19) 前田重義: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 1388
- 20) 吉岡克昭, 吉田佑一: 鉄と鋼, 69(1983), S 1175
- 21) 迫田章人, 若野 茂, 西原 実: 鉄と鋼, 71 (1985), S 434
- 22) 内藤 茂, 米野 実: 金属表面技術, 33 (1982), p. 345
- 23) 若野 茂, 西原 実, 迫田章人, 渋谷敦義: 鉄と鋼, 70 (1984), A80
- 24) 西村一実, 北山 實, 三吉康彦: 鉄と鋼, 70 (1984), S 1194
- 25) 山下正明, 田尻泰久, 本間俊之, 小川正浩, 安谷屋武志, 原 富啓: 鉄と鋼, 68(1982), S 453
- 26) 三木賢二, 池田貢基, 福塚敏夫, 下郡一利: 鉄と鋼, 68(1982), S 1098
- 27) 北山 實, 小田島寿男, 齊藤隆穂, 平野吉彦: 鉄と鋼, 71 (1985), p. 1343
- 28) 北山 實, 小田島寿男, 齊藤隆穂, 平野吉彦: 鉄と鋼, 71 (1985), p. 1351
- 29) 北山 實, 小田島寿男, 齊藤隆穂, 平野吉彦, 吉

- 田輝男: 鉄と鋼, 71(1985), p. 1550
- 30) 本間俊之, 鷺山 勝, 登内 明, 安谷屋武志, 渡辺 勉: 鉄と鋼, 70(1984), S385
- 31) 羽田隆司, 金丸辰也, 中山元宏, 新井勝利, 藤原俊朗, 末光敬正, 佐藤道夫, 小川 裕: 製鉄研究(1984) 315, p. 16
- 32) 本庄 徹, 菊池勝平, 黒川重男, 大和康二, 市田敏郎, 入江敏夫: 鉄と鋼, 70(1984) 5, S386
- 33) J. B. VRABLE: SAE (1985) 850002
- 34) 小池哲弘, 渡辺 勉, 本間俊之, 土谷康夫, 鷺山勝, 安谷屋武志: 鉄と鋼, 70(1984) 13, S1195
- 35) 福塚敏夫, 梶原和一, 三木賢二: 鉄と鋼, 66(1980)7, p. 807
- 36) 安谷屋武志, 原 富啓, 福島久哲, 東 敬: 鉄と鋼, 69(1983), p. 959
- 37) 仲川政宏, 深田 新: プレス技術, 22(1984) 12, p. 58
- 38) 安谷屋武志, 本間俊之, 大久保豊, 渡辺 勉, 大村 勝, 阿南達郎: 日本鋼管技報(1981)90, p.41
- 39) 越野健司, 深田 新, 伊藤亀太郎, 金丸辰也: 自動車研究, 5(1983) 7, p. 246
- 40) 渡辺 勉, 大村 勝, 登内 明, 本間俊之, 安谷屋武志: 金属表面技術, 33(1982) 10, p. 531
- 41) T. WATANABE, M. OHMURA, T. HOMMA and T. ADANIYA: SAE (1982) 820424
- 42) M. TODA, H. KOJIMA, T. MORISHITA, T. KANAMARU and K. ARAI: SAE (1984) 840212
- 43) H. KOJIMA, T. YAMAMOTO, K. ITO, T. KANAMARU and T. FUJIMURA: SAE (1984) 840214
- 44) T. KURIMOTO, Y. HOBOH, H. OISHI and K. YANAGAWA: SAE(1983) 831837
- 45) 本庄 徹, 京野一章, 大和康二, 市田敏郎: 鉄と鋼, 70(1984), S1193
- 46) 桐原茂喜, 堺 裕彦, 岩井正敏, 小久保一郎, 福家敏夫, 三木賢二: 鉄と鋼, 68(1982), A69
- 47) 若野 茂, 浅野和夫, 迫田章人, 蔵保浩文, 村山順一郎: 鉄と鋼, 69(1983), S339
- 48) 本庄 徹, 菊池勝平, 黒川重男, 大和康二, 市田敏郎, 入江敏夫: 鉄と鋼, 70(1984), S386
- 49) 乾 恒夫, 安谷屋武志: 鉄と鋼, 71(1985), p. 520
- 50) 吉田勝可, 鈴木章平, 北島之夫: 金属表面技術, 21(1970), p. 430
- 51) Y. MIYOSHI, M. KITAYAMA, K. NISHIMURA and S. NAITO: SAE 850007 (1985)
- 52) 目黒 明, 山本 司, 相川 潤: トヨタ技術, 27(1978), p. 553
- 53) 垂水英一, 渡辺 孝, 高橋靖雄: 自動車技術, 31(1977), p. 848
- 54) D. C. HERRSCHAFT and S. F. RADTKE: SAE (1983) 830517
- 55) J. SAMSON, C. BRUN and S. MATHIEN: SAE (1982) 820335
- 56) 前田正恭, 梅田昭三, 愛甲琢哉, 橋本一義, 古川平三郎, 柳 謙一: 鉄と鋼, 70(1984), S1189
- 57) 築地憲夫, 橋高敏晴, 片山喜一郎, 伊藤武彦, 下里省夫, 和田哲義: 鉄と鋼, 70(1984), S1190
- 58) 橋高敏晴, 森田有彦, 築地憲夫, 内田幸夫, 石田英明: 鉄と鋼, 70(1984), S1191
- 59) 樋口征順, 田野和広, 蒲田 稔, 野村幸雄, 藤永実, 伏野哲夫: 鉄と鋼, 66(1980), S1016
- 60) Magni Industries Inc (U.S.A.) カタログ(1985)
- 61) 浜中征一, 築地憲夫, 森田有彦, 内田幸夫: 鉄と鋼, 66(1980), R378
- 62) 樋口征順, 麻川健一, 藤永 実, 山本二三夫, 丸田昭憲: 鉄と鋼, 71(1985), S479
- 63) 樋口征順, 麻川健一, 大森隆之, 藤永 実, 山本二三夫, 岡田伸義: と鋼鉄, 71(1985), S480
- 64) 日戸 元, 森田矩夫, 矢部克彦, 板東誠志郎, 沼倉行雄: 鉄と鋼, 70(1984), S475
- 65) 若林耕二, 山吉和雄, 増原憲一, 埜本敏江, 福本博光: 鉄と鋼, 70(1984), S1186
- 66) 増原憲一, 山吉和雄, 若林耕二, 高村久雄: 日本金属学会会報, 23(1984) 5, p. 407
- 67) R. A. IEZZI: SAE(1984) 840209
- 68) R. G. HART, D. J. FRYDRYCH and H. E. TOWNSEND: SAE (1985) 850209
- 69) 小川辰也, 中村 徳, 赤松定美, 五百柱啓之, 中森元樹, 四十万小二: 川崎製鉄技報, 10(1978) 1, p. 121
- 70) 岡 襄二: 第58回表面处理技協学術講演大会要旨集(1978) C-21 22
- 71) 松屋三千夫, 塩田俊明, 林 豊, 西原 実, 松井 要: 鉄と鋼, 70(1984), S331
- 72) 江夏 亮, 山下正明, 安谷屋武志, 原 富啓: 鉄と鋼, 70(1984) 5, S332
- 73) 津川俊一, 毛利泰三, 細田 博, 小林 繁, 市田敏郎: 鉄と鋼, 71(1985) 5, S437
- 74) 塩川昌男, 佐藤 章: プレス技術, 22(1984) 12, p. 52
- 75) 新藤芳雄, 岡 襄二, 米野 実, 江島瑞男, 山田有信: 製鉄研究(1984) 315, p. 25
- 76) S. TSUGAWA, T. MOHRI, S. KOBAYASHI and T. ICHIDA: SAE (1985) 850004