アルミニウム及びアルミニウム合金と表面処理

丸 山 禮 二 郎*

1. はじめに

世間一般に言う“アルミニウム”は“アルミニウム及びアルミニウム合金”の総称である。Al 及び Al 合金は、鉄と同様、機械加工後の仕上工程で表面処理される場合が多いが、加工前に表面処理される場合もある。

ここでは、それらの表理処理される素材の種類と代表的表面処理である陽極処理及び色材と関係が深いコイル塗装のカラーアルミの現状と問題点について、用途開発の立場から考察する。

乗用車のタイヤのゴムは、天然ゴムを含有しないため、再生不可能とのことである。ところが、今年の10月の世界ゴム会議で、再生可能の新合成ゴムが日本人技師によって開発されたことが公表されて、非常に注目されている。オイルショック以来“使い捨て時代”から“省資源時代に転換し、Al は電力多使用型と批判されたが、その“回収及び再生可能性”が再認識され、その需要も漸増傾向にある。

又、“エコノミックアニマル”の時代から、“人間性回復”の時代に移行した昨今、この種の産業に関係する者は従来以上に公害問題をも念頭に置かねばならない。特に表面処理は、何等かの化学品類を使用するので、特に注意を要する。早晚排出物の総量規制が問題になるう。

ところで、Al 及び Al 合金材料は、展伸材、鋳物、に大別される。就中、表面処理に関係が深いのは、使用実績から展伸材である。従って展伸材を中心に表面処理に関連づけて考察する。

2. 表面処理と素材

2.1 表面処理の種類と材料

Al の比重は 2.703 で鉄の約 3 分の 1 —— 航空機、車

昭和 50.12.8 受理
Surface Treatment of Aluminum and Aluminum Alloys
Reijiro MARUYAMA

* 三菱アルミニウム(株)技術部

東京都千代田区大手町 1-5-1 (東京海上ビル別館)

両、船舶、自動車に使用。熱伝導率は 0.48~0.504 で鉄の 3~4 倍——鍋、釜、熱交換器(冷蔵庫、風呂釜)等を使用。導電率は銅の 62%——電線、ブスバー、電子部品、他に加工性、耐食性等の長所を利用した用途がある。原子量 26.97, 原子番号 13, 面心立方格子、色は銀白色、戦前戦中派は模型飛行機のニューーム管、日の丸弁当の梅干穴が御馴染(おなじみ)。当時の弁当箱の表面はシュウ酸陽極酸化皮膜(アルマイト)処理されたものであるが、素材は“スクラップ再生複雑合金”のため、皮膜が一旦破壊されると腐食の進行が速い。昨今は品質管理が発達し、穴あき弁当のイメージはもうなくなった。

Al 及び Al 合金の種類も多いが、その表面処理の方法も多様である。大きくは、機械的処理法、化学的方法、電気化学的方法、塗装法、貼合法、メッキ法等に分類される。表-1 は目的、仕上、実用例との関係を概説したものである。これらの方法は、複合して使用されることが多いので、被処理材の選定と共に処理工程の管理には充分注意を払う必要がある。

さて、Al 及び Al 合金の展伸材は板(条)・箔(はく)・押出材に大別される。ボーキサイトからアルミナを作り、これを電気分解して地金を生産する。それには下記の一般地金に 5 種類がありその他精製地金がある。

	Al	Si	Fe	Cu	色別
特種	99.85以上	0.12以下	0.12以下	0.01以下	緑
1種	99.7以上	0.20以下	0.20以下	0.01以下	黒
2種	99.5以上	0.30以下	0.30以下	0.02以下	白
3種	99.0以上	0.60以下	0.60以下	0.02以下	赤
4種	98.0以上	1.50以下	1.50以下	0.03以下	茶

この他に、電気用 Al 地金、鋳物用 Al 合金地金、ダイカスト用 Al 合金地金があり、夫々 JIS に規格化されている。

板・条はこの地金からスラブを作り、熱間ロール圧延、冷間ロール圧延の後、切断又はスリットされて作られる。同様の工程を経た、はく用コイルを更に冷間ロール圧延したのが、タバコ、チョコレート、チューインガム、ケーキ、コンデンサー等に使用されるはくである。勿論材質は異なる。

押出材は形材、管、棒として使用されるもので、圧延

表-1 表面処理と材質

	(種 類)	方 法	目 的	(材 質)	仕 上 り
1.	機械的処理	機 械 研 摩 羽 布 グラインダー スクラッチブラシ ブ ラ ス ト ショットピーニング エ ン ボ ス ク ラ ッ ド	研磨, 清浄 模 様 {自然発色 溶接性改善}	1100, 3003, 5005, 6063, 5357, 5457, 5357, 6463他 不 問 " " " 1100, 5005, 5052他 A 3003 P+発色合金, A 3003 P+A 4043 P 他	光 輝 ヘアライン ヘアライン 梨 地 梨 地 凹凸模様 MF
2.	化学研磨		研 摩	99.5~99.99, 5257, 5457, 5657	光 輝
3.	電解研磨		"	"	"
4.	化学洗条	アルカリ, 酸, 溶剤	洗 条	不 問	洗浄, 脱脂
5.	エッチング		エッチング	"	エッチング模様
6.	化成皮膜	Boehmite 法 M. B. V. 法 E. W. 法 Alrok 法 アロジン (アロクロム) ボンデライト法 アルボンド法	防食, 下地処理 " " " " "	" " " " " "	酸化皮膜 " " " " "
7.	陽極処理	シュウ酸電解法 硫酸電解法 クロム酸電解法 硬質アルマイト法 自然発色法 " " 電 解 発 色 " " 染 色 法	防食及着色 防 食 " 防食, 硬質皮膜 強耐候着色 " " 強耐候着色 " " 着 色	" " " " 4043 1200, 6063 Mn 系合金 1100, 1200, 5005, 6063 " " 不 問	薄黄色の酸化皮膜 無色透明の酸化皮膜 灰色の酸化皮膜 黒 灰 色 灰色~黒灰色酸化皮膜 アンバー色 ブロンズ色 ブロンズ色 黒 色 ステンカラー 色調不問 (金属色)
8.	陽極処理+ 塗装	封孔処理せずに塗装 (ハニー化成法, 他)	防 食	6063他	クリヤー (含浸) 塗装
9.	塗 装 (化成皮膜の 上に塗装)	1. ハ ケ 塗 2. スプレー塗装 3. 浸セキ法 4. 静電塗装 5. 電着塗装 6. 粉体塗装 7. カーテンフローコート 8. ロールコート	塗 装 " " " " " " "	不 問 " " " " " " (通例) 1050, 1100, 1200, 3003, 3004, 5052 (") "	通常は加工後に塗装 " " " " " " 通常は塗装後に加工可 "
10.	貼 合	PVC, PE, PVF のフィルム。 メラミン (デコラ) 等の板を貼。	防食, 化粧	(") "	貼合後に加工可
11.	ホ ー ロ ー	ホーローエナメル	防食・着色	3004, 5052他	ホーロー引仕上
12.	食 刻	感 光 法 他		1050, 1070	食刻 (文字, 模様)
13.	メ ッ キ	電気メッキ (無電解メッキ)	メ ッ キ	1080~1050, 5052~5056, 4043~4047, 2014~2024	銅, ニッケル, クロム, 銀, カドミウム, 金, すず

文献: S. Wernick, R. Pinner, Surface Treatment of Aluminium 田島栄編, 表面処理ハンドブック

品の中でも前二者と異った工程を経る。即ち、地金から直径 6", 7", 9", 11", 13" 等の所定の成分のビレットを作り、押出機 (通常, 1,650 t~4,000 t プレス) でトコロテンの様に押出すと、セットされた型により成形された形材、管、棒を製造出来る。約 30m の長さに押出されたものをストレッチャーできょう正して所定の寸法に切断、必要により熱処理を行う。押出材の最大需要はサッシ用形材であるが、15年前には歩留が悪いため不採算視されていた住宅サッシの薄肉形材も、現在では技術の向上により生産性が向上している。更に押出機も高精度の押出が可能な静水圧押出機や間接押出機が普及し始めている。

さて、これらの展伸材が表面処理される場合、問題になるのは成分、組織、表面状態、形状等である。

2.2 Al 及び Al 合金の分類と特性

ところで、Al 及び Al 合金の分類には次の三つある。

1. 用途別分類
2. 熱処理別分類
3. 添加元素別分類

まず、用途別には展伸材 (板 (条), はく, 押出) と鋳物材に大別される。次に、熱処理合金と非熱処理合金即ち、熱処理により強度を増加するものとそうでないものとに分けられる。更に、添加元素により耐食性、強度、加工性、表面処理性、溶接性、成形加工性等を改良するが、これ等添加元素により分類する方法がある。即ち、JIS 規格がそれである。これは、米国 Al 協会 (The Aluminum Association) の規格 (AA 規格) に準じたもので、成分や特性が判別容易な分類法である。次の 7 種類がそれである。

1000 番系	工業用純 Al 系
2000 "	Al-Cu 系
3000 "	Al-Mn 系
4000 "	Al-Si 系
5000 "	Al-Mg 系
6000 "	Al-Mg-Si 系
7000 "	Al-Zn 系

これ等夫々の特性は主として次の通りである。

(1000 番系) 純度が 99.0% 以上 99.9% 未満の Al は工業用純 Al で、99.9% 以上のものは高純度 Al と呼ばれ、電気、熱の伝導性、光の反射性、溶接性、加工性が良好で家庭器物、電気、化学方面に広く利用されている。

(2000 番系) Cu を添加した熱処理合金で、軟鋼程度の強度を得られる。ジュラルミン、超ジュラルミンはこの系の合金である。欠点は耐食性と溶接性が劣ること

ある。この欠点をカバーするためには、純 Al 又は Al-Mg-Si 系合金をライナーにしたクラッド板にする。

(3000 番系) Mn 1.0~1.5% を含有、溶接性、耐食性、加工性が純 Al に劣らず、純 Al より多少強度が高い。深絞性、耐候性がよい材料で、3004 はビール缶やキャップ材 (びんの)、外国では 3003 がカラー Al として建築外装材に多くの実績がある。

(4000 番系) 鋳造性、溶接性良好で、鋳物用合金、溶接棒、ブレージングシートにして使用される。Si が Al の融点を下げ、流動性をよくする。Si の含有量により押出材、板材共に陽極酸化処理によりダークグレイ色に自然発色して、ビル建築外装として実績がある。その際、クラッド材にすると Si をより均一化出来、比較的ロットサイズを大きく出来るので、色違い、色むらの防止に役立つ。

(5000 番系) Mg の添加量により強度を上げ得る非熱処理合金で耐海水性が良好。Mg が 5% 以上の場合には Mn, Cr を添加して応力腐食割れを防ぐ。5052, 5083 は代表例で船舶用材である。

(6000 番系) 化合物 Mg_2Si との熱処理合金で、強度、加工性、耐食性が良好、溶接も可能。Cu の添加により強度増大可能。サッシ用材は 6063、構造用材には 6061 が定評がある。

(7000 番系) 主添加物 Zn と Mg の化合物 $MgZn_2$ と熱処理合金で、応力腐食割れ防止のため Mn や Cr を添加する。航空機用材の超々ジュラルミン 7075 は合金中強度最大である。溶接性、耐食性が悪いのが欠点。7N01 は Cu を含まない Al-Zn-Mg の合金 (三元合金) で、溶接性、耐食性が比較的良好であり、溶接軟化部の強度は自然時効により回復可能である。

2.3 種類・成分・機械的性質

以上 7 種類は、その添加元素により、更に小分類され、JIS H 4000 の規格でも 21 種類ある。

添加元素 Cu, Si, Fe, Mn, Mg, Zn, Cr, Ti, Zr の含有量及び調質により機械的性質が異なる。

例えば、一般的な材質である 1100 H₁₄ はロール半硬であり、同じ半硬質の H₂₄ はなまし半硬である。熱処理時期の差によるが、H₂₄ の方が H₁₄ よりも伸びが良好故、仕様の決定に注意を要する。

又、A 5052 P-H₃₄ も一般的な材質であるが、この調質は加工硬化後安定化処理した半硬質である。サッシ用形材は A 6063-S-T₅ が一般的であるが、T₅ は押出加工の高温時に急冷したものを、人工時効硬化して機械的性質の改善・寸法の安定をはかったものである。

Al 合金には鋼の様な降伏点がない。即ち弾性限界が

表-2 化 学 成 分

種類	合金材	化学成分 %										Al
		Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Zr	その他 ⁽¹⁾ 合 計	
1080	—	0.03 以下	0.15 以下	0.16 以下	0.02 以下	0.02 以下	0.03 以下	—	0.02 以下	—	—	99.80 以上
1070	—	0.04 以下	0.20 以下	0.25 以下	0.03 以下	0.03 以下	0.04 以下	—	0.03 以下	—	—	99.70 以上
1050	—	0.05 以下	0.25 以下	0.40 以下	0.05 以下	0.05 以下	0.05 以下	—	0.03 以下	—	—	99.50 以上
1100	—	0.05~0.20	Si+Fe 1.0 以下		0.05 以下	—	0.10 以下	—	—	—	0.15 以下	99.00 以上
1200	—	0.05 以下	Si+Fe 1.0 以下		0.05 以下	—	0.10 以下	—	—	—	0.15 以下	99.00 以上
2014	—	3.9 ~5.0	0.50~1.2	0.7 以下	0.40~1.2	0.20~0.8	0.25 以下	0.10 以下	0.15 以下	—	0.15 以下	残 部
2014	心 材	3.9 ~5.0	0.50~1.2	0.7 以下	0.40~1.2	0.20~0.8	0.25 以下	0.10 以下	0.15 以下	—	0.15 以下	残 部
2014	合せ板 皮 材 (6003 ⁽²⁾)	0.10 以下	0.35~1.0	0.6 以下	0.8 以下	0.8 ~1.5	0.20 以下	0.35 以下	0.10 以下	—	0.15 以下	残 部
2017	—	3.5 ~4.5	0.8 以下	0.7 以下	0.40~1.0	0.20~0.8	0.25 以下	0.10 以下	—	—	0.15 以下	残 部
2024	—	3.8 ~4.9	0.50 以下	0.50 以下	0.30~0.9	1.2 ~1.8	0.25 以下	0.10 以下	—	—	0.15 以下	残 部
2024	心 材	3.8 ~4.9	0.50 以下	0.50 以下	0.30~0.9	1.2 ~1.8	0.25 以下	0.10 以下	—	—	0.15 以下	残 部
2024	合せ板 皮 材 (1230 ⁽²⁾)	0.10 以下	Si+Fe 0.7 以下		0.05 以下	—	0.10 以下	—	—	—	—	99.30 以上
3003	—	0.05~0.20	0.6 以下	0.7 以下	1.0 ~1.5	—	0.10 以下	—	—	—	0.15 以下	残 部
3203	—	0.05 以下	0.6 以下	0.7 以下	1.0 ~1.5	—	0.10 以下	—	—	—	0.15 以下	残 部
5005	—	0.20 以下	0.40 以下	0.7 以下	0.20 以下	0.50~1.1	0.25 以下	0.10 以下	—	—	0.15 以下	残 部
5052	—	0.10 以下	Si+Fe 0.45 以下		0.10 以下	2.2 ~2.8	0.10 以下	0.15~0.35	—	—	0.15 以下	残 部
5154	—	0.10 以下	Si+Fe 0.45 以下		0.10 以下	3.1 ~3.9	0.20 以下	0.15~0.35	0.20 以下	—	0.15 以下	残 部
5083	—	0.10 以下	0.40 以下	0.40 以下	0.30~1.0	4.0 ~4.9	0.25 以下	0.05~0.25	0.15 以下	—	0.15 以下	残 部
5N01	—	0.20 以下	0.20 以下	0.30 以下	0.30 以下	0.20~0.6	0.03 以下	—	—	—	0.10 以下	残 部
6061	—	0.15~0.40	0.40~0.8	0.7 以下	0.15 以下	0.8 ~1.2	0.25 以下	0.04~0.35	0.15 以下	—	0.15 以下	残 部
7075	—	1.2 ~2.0	0.40 以下	0.50 以下	0.30 以下	2.1 ~2.9	5.1~6.1	0.18~0.35	0.20 以下	—	0.15 以下	残 部
7075	心 材	1.2 ~2.0	0.40 以下	0.50 以下	0.30 以下	2.1 ~2.9	5.1~6.1	0.18~0.35	0.20 以下	—	0.15 以下	残 部
7075	合せ板 皮 材 (7072 ⁽²⁾)	0.10 以下	Si+Fe 0.7 以下		0.10 以下	0.10 以下	0.8~1.3	—	—	—	0.15 以下	残 部
7N01	—	0.25 以下	0.30 以下	0.40 以下	0.20~0.9	1.0 ~2.2	3.8~5.0	0.30 以下	0.20 以下	0.30 以下	0.15 以下	残 部

注 (1) その他の元素は、通常の分析過程において含有が認められた場合に限り分析を行なう。

(2) 参考 アメリカ・アルミニウム協会合金名

不明確であるので、応力-ヒズミ線図において永久ヒズミが0.2%になる点を求め、これを耐力 (Yield stress) と呼び、計算の基礎とする。

3. 陽極酸化処理

3.1 陽極酸化処理と材料

陽極酸化処理は Al 及び Al 合金特有の表面処理であり、他の金属に余り例が無く、今なお、その主流である。これは、電気化学的酸化皮膜の製法である。各種金属の通常電位は次の通りで、

金属名	通常電位 (V)
白 金	+1.6
金	+1.38
銀	+0.81
銅	+0.35
鉄	-0.44
Al	-1.69
Na	-2.71

貴金属は一般に安定であるが、Al は高い反応性がある。即ち、酸素と極めて迅速に化合して表面に薄い酸化皮膜を形成する (Al_2O_3)。初期の膜厚は数 Å、数ヵ月間に 100 Å 程度まで成長することがある。この皮膜は硝子状で透明であり、耐候性、耐食性が優れ内部の金属層の保護皮膜となる。この作用を Selfstopping Action と呼ぶ。 Al_2O_3 は硬く、人造のルビーやサファイヤに利用される程である。又、この皮膜を厚くするには次の方法がある。即ち沸騰水で数時間処理すると、約 1μ の酸化皮膜が得られる。更にこの沸騰水にある種の酸化剤を添加すると、短時間に約 10μ まで厚く出来る。この方法は MBV 法と呼ばれる下地処理法である。

更に、沸騰水の代りにシュウ酸・硫酸・クロム酸・リン酸等の電解質を用いて電気化学的に酸化皮膜を作る陽極酸化処理法がある。この方法によると数 10μ の皮膜が得られる。硫酸法の場合は、被処理体が $\oplus$ に荷電し、電解浴は pH が 0.3 程度で、主なイオンは H^+ と HSO_4^-

表-3 陽極酸化処理材料 (展伸材)

規格 番号	JIS H 4000					JIS H 4010	JIS H 4040			JIS H 4008		JIS H 4090	JIS H 4100	JIS H 4120	JIS H 4140	
種 類	板	合せ 板	条	合せ 条	円 板	波 板	押 出 棒	引 拔 棒	引 拔 線	押 出 管	引 拔 管	溶 接 管	押 出 形 材	リ ト ベ 材 ッ	型 鍛 造 打 品	自 鍛 造 由 品
1080	○		○													
1070	○		○		○		○	○	○	○	○			○		
1050	○		○		○	○	○	○	○	○	○	○		○		
1100	○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1200	○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1230		○														
3003	○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			
3203	○		○		○	○	○	○	○	○	○	○	○			
5005	○		○		○											
5052	○		○		○		○	○	○	○	○	○	○	○		
5154	○									○	○					
5056							○	○	○	○	○			○	○	
5083	○		○				○	○	○	○	○		○		○	○
5N01	○		○		○											
50N2														○		
6003		○														
6151															○	○
6061	○						○	○	○	○	○		○	○	○	○
6063							○			○	○		○			
7072		○														
7N01	○						○			○			○			

備 考 ○印は JIS に規定している種類を示す。

である。即ち Al 又は Al 合金と電解浴界面にはコンデンサー (電気二重層) が形成される。成形加工後表面処理される場合が多く、表面処理後加工する場合もある。又、バッチ方式がほとんどで、最近、Coil 連続処理も可能になって来た。陽極酸化処理材料については、JIS H 9500 に規格化され板、押出等形状別に 16 種、材質別に 21 種類が規定されている。

さて、本来は保護を目的とする酸化皮膜であるが、その特性を利用して様々な分野に応用されている。ビルディングの内外装、住宅サッシ等の建材、鍋、ヤカン等器物、トランス用コイル、誘導体として電解コンデンサー、コンピューター記憶装置素子、増幅作用を利用したメタルベース・トランジスター等電子機器関係にも応用されている。

3.2 陽極酸化処理機構

陽極酸化皮膜は、メッキや塗膜とは異った形成である。電子顕微鏡により Keller が解明した (1953 年) model が皮膜構造の一般的概念である。即ち、単純皮膜

電顕 ×36,000
硫酸皮膜表面

×36,000
硫酸皮膜断面

写真-1

でなく中心部に星型断面の小孔をもつ六角柱の Al 酸化細胞の連続により形成されている。孔の径は約 330 Å で孔の底面から素材の表面迄の距離を Barrier 層と呼ぶ。(写真-1)

この皮膜は電子顕微鏡写真により形成状態が明らかにされているが、理論的に未解決の点もある。孔は単純な 1 本の試験管状でなく、枝分かれしているとの説もある。又、電圧の変化により分岐することも知られている。

一般に、電解条件と皮膜形成の関係は次の通りであ

る。

電解質の強弱により 孔の直径が大小になり、
電解温度が高いと 孔口がラッパ状、硬度下る、
電解電圧が高いと 孔数少く、バリアー層厚く、
電流強度が強いと 孔が長く、
電流密度と時間が長いと 孔口がラッパ状になる。

皮膜は透明のガラス状であり、金属表面が透視される。従って、表面処理前の表面状態は処理後の仕上り外観に影響大である。このところにも陽極酸化処理の問題点があると思う。皮膜は剛性膜であり、薄板の場合折り曲げ時にクラック発生の小音を発する。又、地金部を融解して皮膜丈を取出せるし、20 μ 程度のはくを皮膜化することも可能である。

電解処理仕上りの表面は多孔質吸収性強で、耐食性が悪い、これを封孔処理により改善する。封孔処理には高圧水蒸気法、常圧水蒸気法、煮沸法が一般的である。水和反応 ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{AlOOH}$) によりセル壁が膨張し、孔径が小さくなり孔口も封じられる。封孔処理は時間、温度及び pH に影響されるので、その管理が重要である。酢酸ニッケル系の薬品を添加した液で封孔処理する方法もある。

硫酸皮膜は通常無色透明であるが、有色の皮膜も熱心に研究され続けている。その方法には次の様なものがある。

1. 液温による……0°C～30°C
2. 電流による……交直重畳法
交直併用法
不完全整流法
パルス波形成
3. 電圧による……電解電圧急降下 (回復現象利用)
4. 電解質による
5. 電流と電解質の組合せによる……浅田法……電解発色。
6. 発色用合金成分による……自然発色法

Al-5% Si 系	灰色
Al-Mn-Cr 系	ブロンズ色
Al-Mn-Cu 系	ベージュ色

3.3 陽極酸化処理の問題点——素材面から

陽極酸化処理皮膜は文字通り身から出たサビである。メッキや塗装の様に素材表面に累積皮覆されるのではなく、素材表面自身が酸化されて皮膜が形成される。従ってメッキや塗装と異質の問題が発生する。更に又、一般的に成形加工後に表面処理され、表面処理後になって初めて、表面欠陥が発見される場合があり、技術的に経済的にも問題となる場合がある。その例を挙げると次の様

なものがある。

3.3.1 押出材の場合

- 1) 中空材に黒斑点が発生する
建材用角パイプ等に発生する灰黒色の斑点で、カセイ脱脂時に発生、中和工程で消滅、電解時に再出現。
- 2) 巻込……異物 (酸化物等) が表面に巻込んでいて、素材段階では発見されず、処理後に出現する。

3) 粗大晶……表面仕上り外観に差異

素材の押出し初めと押出し終りでは加工熱によりビレットに温度差を生じ部分的に粗大結晶粒を生じ、肌荒れの原因になると共に表面処理仕上むらを生じる。防止法としては合金組成、HO 処理、押出し温度管理、等の方法による。可能ならばビレットのテーパ加熱も効果がある。6063 の場合 HO 処理の冷却速度が遅い程押出性は良好であるが、遅過ると Mg_2Si の析出が過大になり、押出加工時に十分再固溶出来ず、機械的性質が低下する。

4) 要求品質の多様性

様々な加工性、所定の強度その上に表面処理性を要求される場合がある。即ち、素管の押出性、引抜加工性、スエジング加工性、研磨性、陽極酸化処理及び染色性、更に強度が要求される場合がある。スキーのストック用管材がそれである。少くともスエジング加工された約 1/3 の部分は他の部分より組織に変化がある。スキーのストックは約 200 万本生産されていると言う。

5) 自然発色材の色むら、色違い

自然発色は、Al 素材から析出する金属イオンにより酸化皮膜が発色するとされているが、同一材料内即ち押出材の前端、中央、後端で色調差を生じる場合がある。又、同一ロット内の押出材の間でも色調が異なる場合もある。更にたとえ同一材質でも押出材と板材では外観差が生じる。成分拡散の差、組織の差、表面粗度の差等々の原因があり、電解時の電流密度 (リード線の固定方法 or 端子の取り方) の差、形状差による差、電解液及び時間の差等により色むらが生じると考えられている。ビル外装の場合、朝夕、晴雨で色むら色違いが見えかくれる厄介なケースもある。

3.3.2. 板材の場合

電解条件差による色むら色違いの発生は押出材の場合と同様であるが、ストリークの発生は特異である。これは 1100 の場合でも含有成分の偏析による構造的欠陥であり、同一板内に帯状に色むらが生じる。同一チャージのスラブでも色違いが発生するし、同一スラブ即ち、同一 coil 内でも発生する。それは、熱間圧延条件により異なるし、又、更に厳密には同一 coil 内でも圧延幅の中

央部分と端部では圧延加工度が異なる。従って、中央と端部では色調光沢に差を生じることがある。同一 lot の板を liner にした clad 材を使用するのは、素材の表層部を同一 lot 化しようとする一つの方法であろう。

組織の微細化剤投入、真空脱ガス、連続浄化、電磁鋳造法及大型ストリップ圧延は、この種の問題解決に威力を発揮し始めている。

Al curtain wall で特に自然発色及び電解発色の場合には、色違を cover するために色合せを厳重に行う。高速羽田線際浜離宮正門前に建設中の浜離宮ビルには、当社材、板約 70 トン、形材約 50 トンが採用されたが、3 mm×1,540 mm×4,530 mm の curtain wall はステンカラー色に浅田法の電解発色され、見事な出来映である。

3.4 陽極酸化皮膜と塗装の複合表面処理及び其の他

陽極酸化皮膜に封孔処理をせずに、塗装する方法もある。未封孔の孔に水溶性塗料が侵入し、焼付時に水和反応により封孔処理を行うことになるため密着が強化されると言う。この方法は、住宅用サッシの表面処理法として実用化されている。これに関する JIS A 4706 も改正の方向にある。

又、陽極酸化皮膜を染色して後封孔処理を行い、着色皮膜を形成する“染色法”もある。最近では耐候性も改善され、建築外装にも (30 μ 有色皮膜) 使用され始めている。

要するに陽極酸化処理は成分、圧延、加工及電解条件が一体化してはじめて所定の仕様に仕上げる事が出来る。表面を単純に被覆するものではないので、素材の選定から注意を要する。一般に素材メーカーでは、“アルマイト保証”と言う特別仕様を設けている場合が多い。“片面アルマイ保証”と区分しているものもある。加工時には養生フィルムによる保護やマテハンの注意も大切である。

又、硫酸電解の場合、電解質中の Al 溶存量は 15% 硫酸浴の場合 0.2~0.8% が最適とされている。温度や濃度管理と共に重要な管理項目である。この範囲を越えると電解効率が悪化し、前述の色むら、色違の原因になるからである。

4. 塗装——Coil Coating Al について

Al 及び Al 合金の着色法の代表的なものは、染色法、自然発色法、電解発色法及び塗装法がある。前述の通り、Al 及び Al 合金の表面はガラス状の皮膜で覆われているので接着性、塗料の密着性を良くするには下地処理が重要である。現在は、リン酸・クロム酸の混酸によ

るクロメート系の化成皮膜処理が主流であるが、環境汚染の問題もあって、ノンクロムタイプへの移行が急がれており、一部、既に実用化されているものもある。

4.1 塗装 Al

Al に塗装した製品の例は様々あるが、ビールや清涼飲料のかん、ウイスキービンのキャップ、トランジスタラジオパネル、自動車の No. プレート等々。又建築関係では新宮殿の白壁(従来はシッキイ塗仕上)が Al の板に焼付塗装したものであり、その他ビルの内外装、住宅内外装にも使用されている。建築外装には耐候性が要求されるが、最近では汚染大気に対する問題も付加しなければならない。

又、厳しい温度条件下に使用されているものがある。航空機のマークの部分がそれである。地上での実体温度が 30~40°C であっても、1万mの上空では-40~-50°C で、且強い紫外線に照射される。又、航空機の風防、新幹線先頭車の最前部の円形連結機カバーにはアクリル系樹脂が使用されている。このアクリル樹脂が塗料化され、熱硬化性アクリル樹脂塗料が、Al & Al 合金の塗装に使用され最も多くの実績がある。この塗料は米国の PPG 社が開発し“Duracron”の商標で知られている。新宮殿の白壁にもこの塗料がスプレー塗装(4回計 60 μ)された。アクリル系その他、従来実績があるのはアルキドやビニール系塗料である。耐候性や加工性向上のためシリコナイズドアクリルやフッ素樹脂系塗料が普及し始めているが、一般に高価で、cost down が望まれている。塗装方法については、板、条の場合は、スプレーやロールコーターによる方法が多い。

4.2 Line 塗装

以前は、必ず成形加工後にスプレー等で塗装されていたが、最近では、特に板・条の大量生産の場合にはロールコーターによる(カーテンフローコートの場合もあるが)連続焼付塗装が行われる。“カラー Al”と呼ばれるプレコート Al がこれである。即ち塗装後にロールフォーミング、絞り、プレス、折曲等により成形加工される。特に、カラー Al coil の供給により成形加工の自動化・連続化が可能となる。塗装工程、塗装設備が不要のため公害発生の心配も不要である。スクラップは再溶解により再生可能である。

カラー Al の素材は厚さ 0.3~1.6 mm で、幅 600~1,200 mm 前後の 2~4 トンの coil で、Roll coating line で、連続 2 度塗 2 度焼付の塗装される。塗装ラインは、大別すると、前処理、塗装、焼付のゾーンに分けられる。ラインの型式には直線式と環状式とある。line speed は毎分 30~60 m で、line ののみ込量は条約 300

写真-2 modern metals 9.1972

mである。条は洗浄、脱脂、化成処理、下塗及び焼付、上塗及び焼付の後、巻取られる。裏面も同時に塗装及び焼付が出来る。仕上塗膜は通常 2c2b で 13~25 μ 程度で、裏面は service coating 5 μ 程度である。

当社、三菱アルミニウム(株)の場合、42年11月、大日本塗料(株)の“Duracron”塗料を日新製鋼(株)に依頼して当時最新鋭の Midland-Ross Corp. 製の Roll coating line で coil 塗装し、わが国初の2度塗2度焼付のカラー Al “ダイヤカラー”を発売した。

英国向海上コンテナの外板用カラー Al もこの system で製作した。

42~43年当時は、カラー Al の塗装は 1c1b で充分であるとの意見が支配的であったが、素地への密着性強化と塗膜欠陥(第1回目の塗装の)カバーのため、この方法を採用した。その後、米国でも、日本でも設備を 2c2b 方式に改造した。現在では 2c2b が支配的であり、3c3b も出現している。

品質については、昭和50年に JIS 規格化された JIS H 4001-1975 Al 及び Al 合金の塗装板及び条に規定されている。素材には、1050, 1100, 1200, 3003, 5005, 5052, 3004, 3005 が選定され、色は 10 系統に区分けされ、膜厚は 13~23 μ である。

ところで、米国では、10トン coil を 120 m/min の line speed で塗装する設備もか働している。米国では、我国と逆に、カラー Al の塗装面積の方が、カラー鉄板の塗装面積よりも多く、Al 板生産量の 30% がカラー Al である。

1973 年の塗装面積は、カラー鉄板が 3.2 億 m^2 、カラー Al が 5.5 億 m^2 同年の日本の塗装面積は、カラー鉄板が 1.3 億 m^2 、カラー Al 0.16 億 m^2 である。

品質については AA 規格で規定されていて、主として住宅建材特に外装材として使用されている。シカゴ郊外

写真-3 右: 18 年経過 左: 16 年経過

のモバイルホーム団地で、16 年間及び 18 年間も無補修で使用されていたモバイルホームのカラー Al 外板を見聞して来たことがある。米国には、line 塗装業界の団体として NCCA (National coil coaters Association) があり、会員数 150 社である。ヨーロッパには、同様に European Coil Coating Association がある。

4.3 用途

我国では、米国とは逆にカラー鉄板が先行し、カラー Al が後発であったため、市場開発の際必ずカラー鉄板と比較され売込に苦労した。

写真は塩水噴霧試験品の比較写真であるが、これは客先説得のための一つの武器である。主要な用途例をその採用動機別に大別すると次の通りである。

1) 耐候性を理由に採用された例

住宅: 外装, 屋根

工場: 外装, 屋根

2) 耐食性及び耐候性

海上コンテナ外板

3) 色調(明るいソフトな色調が可能)

地下鉄ホーム天井, 地下通路天井(地下水が漏れて陽極酸化処理品と異なり耐蝕性がよい)。

4) 加工性(絞加工, 曲加工, エンボス加工)

弱電部品, 自動車 No. プレート, 建築用水切, 扉

5) 接着性, 軽量性, 美化

プレハブ冷蔵庫, 冷凍庫外板

今迄の用途開発で一番印象深いのは、冷凍型海上コンテナの外板に我国で初めて採用され、しかも英国に輸出された時のことである。高速コンテナ船の波シブキを浴びながらの航海に耐えねばならないからである。コンテナの色彩化が盛んになり、その後引き続き受注している。この実績により用途開発に一段と自信を持てるようになった。

塩水噴霧 1,000 時間
右: カラー鉄板, 白色 左: カラー A1, 白色

塩水噴霧 1,012 時間
右 4 枚: 端面無シール カラー A1 と カラー鉄板 (右)
左 4 枚: 端面シール カラー A1 と カラー鉄板 (右)

写真-4

写真-5

×50 Al 0.5 mm 塗膜 20 μ ×100 塗膜 20 μ

写真-6

4.4 カラー A1 の問題点

1) 化成処理については非クロム系の処理方法の開発が急務である。“Accomet-C”等実用化され始めたものも一部あるが1日も早い開発が望まれる。特に新ライン設置の場合、現行の処理剤ではその廃液が問題であり、関係先の了解を得るのに困難がある。

2) 耐久性の限界とメンテナンス又は補修

カラー A1 の発売期には、受注生産が多く、その仕様決定交渉に苦労した経験がある。耐久性について、陽極酸化皮膜の水準で評価されたり、カラー鉄板との比較で評価されることが多かったからである。従来の塗料は通常の耐候性は数年と言われている。カラー鉄板屋根の数年毎の塗装、自動車のワックス塗布と同様、カラー A1 も促進試験及び実用試験に基いて仕様を決定すると共に、必要により、適正なメンテナンス、又は補修塗装を必要とする。この耐久性の限界を夫々の使用条件下で見極めて、メンテナンス又は補修の処置を行うのが重要である。

3) 素材の加工性限界と塗膜の加工性限界

カラー A1 をプレス加工する場合、曲げ半径が問題となる。例えば、写真の断面の様に内曲げ半径を極端に小さくして加工され、R部の密着不良とクレームづけされる場合が多い。この写真の場合は、A1 素地が肌荒して塗膜がハク離状態にある。A1 及び A1 合金の加工性カラ

ー A1 の加工性標準 (JIS) 等を確認して仕様を決定する必要がある。

4) 色合せの最終は目視

不況になると化粧品の需要が増大すると言われる。美人は美人程に beauty サロン等で、普通人は鏡の虚像に自己批判しながら内作塗装する。化粧室の照明、内装の色調等により仕上りが違うはず。色別力は環境にも支配されるからである。“顔色明度”測定機が出来れば、時間の節約にも社会も明るくなる。

同様に、より精度の高い“色合せ機”が出来ないものであろうか。カラー A1 も色合せには色々な測定機械を使用するが、最終的には一番精確な“目視”により判定されているからである。青丹よし奈良の都では“色事”でもめ続けているとのこと。校舎の色について、市は「青丹色」の薄緑色を主張し、県は環境との関係でクリーム色を助言し、既に6ヵ月も色採論争中とのこと。“色”の道は難しいものである。

4.5 カラー A1 の需要

我国のカラー A1 の出荷量は次の通りであり、50年1月～9月の8,657tの中63%が建設、住宅関係向である。

(暦年)	(出荷量 m, t)	(前年比%)
44	2,500	—
45	4,945	197.8

46	6,368	128.8
47	9,437	148.2
48	16,887	178.9
49	9,620	57.0
50 ¹ ~9月	8,657	

昭和 55 年には、カラー Al の生産量が Al 板条総生産量の 10% (米国は既に 30%) に達すると推測されている。景気刺激策としての住宅建設促進と共に需要は回復、伸長するものと考えられる。

5. 最 後 に

最後に Al 及び Al 合金の表面処理の将来と Al 及び Al 合金の将来について考えて見よう。

先づ第 1 に、表面処理の将来であるが、その代表的な陽極酸化処理と塗装について考えるとき、忘れてならないのは公害・環境問題との関連である。

生活環境、作業環境、又、大きくは食糧危機の問題の研究と対策に、我々関係者も協力及び努力しなければならない。

先般、世界 31 ヶ国、科学者 600 名で国際環境保全科学会議が京都で開催され、日本の科学者代表の都留名譽教授は三つの根本原則に立脚した 4 つの提案をして、科学者の良心と注意を喚起した。3 つの根本原則とは、環境権の法的確立化、公害は発生源で防止並びに汚染者負担の原則の法的規制強化である。

又、一方、労働省は初めて実施した (今年 9 月) クロム関係 3,215 事業場の全国一斉監督指導の結果を発表した。それによると、6 ヶ月毎に義務づけられている作業環境の測定について 54.9% の事業所が未実施であった。排気装置の定期自主検査未実施が 47.9%、呼吸用保護具不備が 43.6%、立入禁止の明示不備 38.1%、除塵装置未設置 37.5% 等で予想以上に違反が多かった。1 万 4 千人の中、有症者 553 人が判明、545 の事業場に一部設備の使用停止命令、862 事業部に設備の是正勧告を行った。これが実状である故、危険物を使用する工程あるいは発生する工程があれば、作業環境の悪化、公害の発生は当然である。

又、更に国土庁は第 3 次全国総合開発計画で、21 世紀を展望して、“パンと肉”を“米と魚”に転換するよう主張し、農林水産の振興を提唱した。これは又、食糧危機の警告になるかも知れない。我国は年間 2 千万トン強の世界第 1 の穀物輸入国で、我国農地の 1.7 倍約 1 千万 ha の外国の農地を使用していることになる。従来通りの離農及び農地転換が継続すると、25 年後の 2,000 年には、1 億 4 千万人分の食糧をわずか 90 万人の農民が生産しなければならないと言う。又、動物タン白に

についても先行不安になって来た。輸入飼料依存の畜産振興が不調な上に、新海洋法による 200 海里経済水域設定の時代になるからだ。全漁獲高 1 千万トンの中沿岸漁業は 250 万トンしかない。12 海里水域、水深 200m の日本沿岸は約 3 千万 ha で、現在 203 万 ha しか利用されていない。残りを全部開発すれば、年間 1 千万トンの漁獲高になると言う。確かに、のり、マグロ、卵は韓国産、ウナギはフランス産、ソバはカナダ産、エビ・タイはアフリカ産、味噌の大豆はアメリカ産、北欧のシシヤモに横文字の深海魚。これでは食料ショックの危険性もある。衣食足りて礼節を知る、早く自給自足を再現しなければならない。しかし問題は既に汚染した河川、海の浄化である。これは山の草木から、谷川の水量、河川及び沿岸に至る迄の雨水の自然サイクルの調節作用を復元しなければならないので、容易な事ではない。しかし、英国人がテムズ河を浄化したように、日本も努力しなければならない。

ところで、電解質 (硫酸系) 中の溶存 Al を分離して、従来は廃棄処分していた電解質の再生利用を実用化しているサッシメーカーもあるが、大量の電力、カセソーダ及び硫酸等を使用する陽極酸化処理法は、いづれ現行の塗装との複合処理法に、更に陽極酸化皮膜を薄くして塗膜の比重を大きくする方向に移行するものと思われる。49 年度の圧延品の内需計 85 万 5 千トンの中、建設向約 45 万 8 千トンは何等かの表面処理され、この中のサッシ、ドア向け約 42 万トンは形材が主で、陽極酸化と塗装の複合処理がなされた。

しかし、高層ビル等耐用年数が長い建築用材等は従来通り、陽極酸化皮膜が当分の間依然主流であろう。

Al 及び Al 合金用塗料、塗装の改善が更に一層要求される。唯単に塗膜を形成するのではなく、素材の固有の性質との組合せて塗膜を形成する方法の開発が望まれる。

又、カラー Al 等の本来の塗装も他の処理法に代って

写真-7

需要が伸びると思われる。しかし、更に一層次の夫々についての要求が強まるであろう。

先づ、化成処理の無公害型化、無排液型化で、従来の様な6個にせよ3個にせよクロムと名のつくものは敬遠されるであろう。

塗料については、低溶剤型、水溶性型、粉体型等が要求されよう。一般に溶剤型スプレイ塗装は、溶剤50%は勿論、塗装歩留30%で70%が霧と消える。又、某塗料メーカーの場合、トルエン、キシレン等の溶剤を月間3千トンも消費しているが、これを半減することにより年間10数億円のコストダウンが可能と言う。我国の塗料の年間総使用量は百数十万トンであるが、その50%が溶剤であるとする、原価低減額は大きい。大気汚染及び災害防止のためにも、1日も早く改善の実現が望まれる。又Radiation curing等、極短時間で硬化する塗料の実用化の促進が要求される。coil塗装で、現行熱硬化型塗料の場合、line speed 60 m/minの場合、約60 mの炉長を必要とする。この場合、機械設備費が10億円を越す。従って損益分岐点は700 t/月位となり、附加価値に比較して固定比率が高い。硬化時間が短縮されれば炉長を短縮出来る。今後益々、素材一化成処理一塗料一塗装一加工一用途の夫々の設計は一連の総合開発の型で努力せねばならなくなる。塗料は半製品であって、所定の仕様の塗膜に仕上げて完成品となり、その性能が問われるからである。

Ⅱ. 第2に、Al及びAl合金の将来について考える時、忘れてならないのは、省資源との関連である。Al及びAl合金は再生利用可能で、畜材型材料であるので、将来性有りと考えられよう。

オイルショック以来、量産・量販使捨経済から、省資源、省力化、低成長経済に移行した。ここで注目の必要があるのは、資源の総合歩留と繰返利用である。

某鳥料理店社長の経営方針は“歩留100%”とのことで仕入原材料の100%を換金し一切捨てないと言う。我国は穀物の輸入世界第1位。ブロイラーは運動制限のため小型ケージに入れ、昼夜連続して給餌して時間当生産性の向上を計る。ふんは処理して新しいえさに混入するか、糞こいのえさ、肥料にする。丸焼、唐揚げの残材の頭・首は肉ダango、内臓はヤキトリ、足等は動物園へ、羽毛は布団や赤い羽に、タレは繰返して使用して、ニオイは客寄せに利用する。養鶏数は人口と同数必要と言われる。我国の場合、飼料の100%近くを輸入しているが、資源の総合歩留が高い。この例に比較すると、塗料の溶剤は不経済なものである。Alサッシも、Alかんも、鍋釜も屑はトン当たり10数万円で回収され、溶解して再

利用可能である。某サッシメーカーの工場の屋根はAl板でふいてあり、その使用量は数百トンである。これは耐久性の問題と共に賢明な一種の蓄財の手段である。

ところで、資源はどうか。クラーク数では酸素49.5、ケイ素25.6、Al 7.56で世界のボーキサイト埋蔵量は1973年の推定で、約158億トン。豊富な資源と言える。しかし我国は電力料が高い。そこで海外の水力発電を開発して、外国で精練することが進められている。日本・ブラジル合弁のアマゾンアルミ精練計画は、トウクルイ地区に出力135万kWの水力発電所を建設して、アマゾン・トロピカス地区の約5億トンのボーキサイトを開発、Al地金年産60万トンを生産して、30万トンを我国に引取る計画である。又、インドネシアのアサハン河に51万3千kWの水力発電所を開発して、22万5千トンの精練計画も進められている。そのような計画は、ベネズエラとも展開されようとしている。これらのプロジェクトは資源開発と共に、我国にとっても蓄財が出来ることになる。

需要はどうであろうか。AA方式によると、1974年の1人当りのAl消費量は：

米国	ノルウェー	西独	スイス	カナダ	日本	豪州
27.2 kg	23.4	16.4	14.0	17.4	14.5	15.2

世界基礎原材料需給動向調査によると、1人当り消費量の予測、1975～1985年の平均増加率は：

日本 7.5% 北米 4.4% 西欧 4.6%

又、ロンドン金属会議でのペシネー社アンドレ・ジャコメ副社長の短期見通しでは、1975年の自由世界の地金消費は870万トンで昨年の20%減。1976年は1,040万トンで19%増、北米25%、日本23%、ヨーロッパ16%増の見通しとのことである。尚、我国の昭和48年度の内需は、順調に伸びて130万トン、49年度は86万トン、50年度は可成回復が見込まれている。

米国ボーグワーナー社のJ・Hインガソル副社長によると自動車は軽量化と燃費節減が必須。GMでは1980年迄に各モデルについて1,000ポンド(453 kg)の軽量化と、燃料効率を56%引上げるための研究に着手したとのこと。現在は、自重1.6トン以下が全生産量の40%であるが、1980年には60%強になると言う。Alとプラスチックで軽量化する方針とのこと。

約170年前に英国の化学者ハンフリー・デーヴに発見されて以来新しい合金が開発され続けて来た。溶接も容易になり、プラズマジェット溶断や電子ビーム溶接が一般化された。極低温のLNG容器、新幹線車両、高速バス等々若い金属らしく今後益々その用途を広げて行くものと思われる。未だ記憶に新しい甲子園での若人の熱

戦, あれ金属バットも Al 合金製である。年間需要 250 万本の過半数が, 金属バットになるのも数年の中であろう。

以上, Al と Al 合金と表面処理, 就中, 陽極酸化処理と塗装 (カラー Al) について, 用途開発の立場から考察した。命題が広範であるので, 特に焦点を絞らずに, 広く浅く考察したが, 問題の所在を御賢察願えれば幸甚である。

参考文献

- 1) 日本規格協会: JIS ハンドブック
- 2) 軽金属通信: 50, [11], [31] 2
- 3) 軽金属協会: 最近 10 年間における内外の Al 動

向資料 [10], (1975)

- 4) 梅原義雄: 新しい電解用硫酸の回収方法について表面技術 [11], (1975)
- 5) 金属表面技術協会: [98], (1975)
- 6) S. Wernick, R. Pinner: *Surface treatment of Al.*
- 7) C. Th. Speiser, Sandoz Ltd. 陽極酸皮膜の染色の考察
- 8) K. Schmoll: *Schweizer aluminum rundschau* [9], (1973)
- 9) *Modern metals* [9], 60 (1972)
- 10) *Sheet metal industries* [9] (1972)
- 11) K. Wefers, Alcoa Center: *The mechanism of sealing of anodic oxide coatings on aluminium.*

新刊紹介

最新板金塗装ハンドブック

桜庭寿彦・末森清司著

A5 判・176 頁・¥1,200 理工出版社

出版企図の目的が実に明確な本である。「工賃売上げ 50 万円以上の板金塗装工場は日本全国 45,000 軒のうち 1/20 に満たず, ましてや 65 万円以上というとはんの数えるぐらいしかないのである」「人件費だけで工賃売上げが食われてしまい, 経営は完全に赤字になるであろう」「上から自動車 1 台当たりの補修費におさえられ, 下から人件費・原材料費の急激なアップにはさみうちにあっている状態」「収益率を上げていくことが非常に厳しい世界である」「これを突破するには経営の合理化以外に方法はない」「アメリカではボディショップが非常に補修塗装料金で高収益をあげており」「工夫に工夫を重ねた合理化の現われである」と出版の企図をまえがきで述べている。

〔目次〕

- 第 1 章 収益をあげるための基本的考え方
- 第 2 章 作業工程の組み立てかた
- 第 3 章 工具と資材の組み合わせの研究
- 第 4 章 塗料の選択による工程合理化と新しい価値づけの可能性
- 第 5 章 塗料以外の補助材による工程の合理化
- 第 6 章 速く良く仕上げるための注意事項
- 第 7 章 その他の合理化のやり方
- 第 8 章 塗装例における必要材料の量と作業時間
- 第 9 章 その他の合理化できる塗装工程
- 第 10 章 塗装時および塗装後の欠陥と対策

目次からわかるように, 他にみられないユニークで詳細な内容であり, その表現にも多大の工夫が試みられている。写真・図表・事例をふんだんに利用して, 新しい塗料が結果的に大きな収益をもたらすことをわかりやすく述べている。

研究熱心で粘り強い性格の塗料技術者桜庭氏と塗装技能一筋に生きる末森氏によってのみできる貴重な労作と思われる。

(U. K)