アルミニウムの陽極酸化処理と
装飾的表面処理

山口 裕*

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 59, No. 4 (2009), pp. 204-215

Anodizing and decorative surface treatment of aluminum

Hiroshi YAMAGUCHI*

Keywords: ALMITE, decorative anodizing, color dyeing, etching, AL ART

1. はじめに

アルミニウムは地球上の土壌や岩石などに大量に含まれていて地殻の約8%以上を占め、金属としては第1位の量であるのにもかかわらず、元素として発見されたのは約200年前の1807年であった。

銅は紀元前4千年以上前から、また鉄は紀元前千年以上前から人類が関与していたのにくらべて、アルミニウムは人類にとってまったく新しい金属であって、工業的に製造されるようになったのも1886年と120年余りしかたっていない。日本では明治30(1897)年にはじめてアルミニウム地金を輸入したと言われ、国産の地金が供給されだしたのは昭和10(1935)年であった。それにもかかわらず、現在では金属材料として各分野に用途が拡大し、我々人類の日常生活に密着している実用金属として、なくてはならない存在となっている。その用途はビル建築、鉄道車両、自動車、航空機等の大型産業用品から住宅サッシ、家電機器、家庭用日用品や、飲料缶、箔等消耗品類に至るまであらゆる分野に及び、総需要は年間420万トンを超えるほどになっている。

この新しい金属が短期間にこのような目覚ましい需要を喚起した要因を考察してみると、アルミニウムは軽くて美しく、加工が容易で、装飾性に優れるなどの本来の特性のほかに、他の金属にない大きな特徴である陽極酸化法によって、アルミニウムの表面性状が改質されて耐久性を著しく増し、実用面の用途を広範囲に拡大してきたことがあげられる。

本稿前半で最良の表面処理法である陽極酸化法の歴史とその概要を述べる。

陽極酸化法という特殊な表面処理によって得られる皮膜は、耐食性、耐摩耗性など表面性状を著しく改善するが、更にアルミニウムの材質の相違や皮膜生成の条件、生成方法などによって種々の特徴を有することになる。これらの皮膜性能の生かし方によって、それぞれの目的に合致した各種の使われ方が開発されてきて、例えば低温の電解浴で厚く硬い皮膜を生成した硬質アルマイトは、耐摩耗性の要求される機械の摺動部分などに用いられる。そのほかにも潤滑アルマイト、抗菌アルマイト、感光性アルマイト、触媒アルマイト、磁気ア

ルマイトなどの機能的利用分野が多くある。これらに対して装飾的分野に対する需要は機能的分野より格段に多く、あらゆる業界業種で広範に利用されている。これらの用途を実現するための装飾的処理技術の開発がアルミニウム利用の歴史とともに進められてきて、その表現方法は多岐にわたっている。本稿の後半でこれらの装飾的分野の各種表面処理法の概要を述べ、その用途の実例について触れる。装飾の見地からはカラー印刷がよいが、モノクロでお許しいただきたい。

2. アルミニウムの陽極酸化の歴史

陽極酸化法というアルミニウムに対する表面処理法は、前述の通り他の金属にはない独特の表面処理法であって、その優れた性能はアルミニウムが現在のように近代的金属として多方面の業界業種に利用されるようになった最大の理由である。

無処理のアルミニウムは、自然に放置されると表面に空気中の酸素と結合して酸化アルミニウムの薄膜が形成され、この薄膜はアルミニウム母材内部への急激な腐食の進行を防ぐ役目を果たす。陽極酸化法はこの酸化アルミニウムの皮膜をアルミニウムの表面に強制的に何十倍も厚く形成させることであって、アルミニウムの表面の耐食性を著しく改善させることができる。この皮膜は母材のアルミニウムから剥離することなく一体化していて、後述するように多くの特性を有してアルミニウムの実用面で優れた性能を示すことになる。

この表面処理法は、大正6(1917)年に設立されたわが国の理化学開発の中心機関の一大拠点であった財団法人理化学研究所で大正13(1924)年に開発されたものであったが、最初は「耐熱性電気絶縁材料の研究」として鯨井研究室で進められ、更にその後「アルミニウムの防錆法」として特許出願されたものであった。

特許の登録は当時の記録によると次のようになっている。

○大正13(1924)年12月3日 鯨井恒太郎・植木 栄「アルミニウム並びにアルミニウム合金の防錆法」第61920号

○大正14(1925)年2月5日 植木 栄「アルミニウム電気絶縁性皮膜の製法」第62278号

特許の出願は前者が大正12(1923)年12月28日で後者は同年12月20日となっていて「電気絶縁性皮膜の製法」の方

* コロナ工業(株)代表取締役 (〒108-0074 東京都港区高輪4-23-8)。Corona Kogyo Co., Ltd. (4-23-8 Takanawa, Minato-ku, Tokyo 108-0074)。

受付日:平成20年9月8日 受理日:平成20年12月17日

が先に出願されていた。そしてその後数年の間に3件の特許が同氏から出願登録されたが、これらはいずれも電気絶縁性皮膜の製法に関するものであった。昭和9(1934)年9月になってはじめて宮田 聡博士が「防水性電気絶縁防錆皮膜の製法」として特許登録されたものが現在実用化されている陽極酸化皮膜の最初の特許といえるもので、この中で防水性と述べられているのが、4項でまとめた「封孔処理」のことである。

これらの陽極酸化法で用いられる電解液はしゅう酸であって、日本での特許出願に続いて、英、米、仏などの各国にもアルミニウム防錆法として出願された。この頃の海外での陽極酸化法の動向は、大正12(1923)年に英国においてクロム酸による方法が特許公告されて、その後欧米ではクロム酸法、硫酸法の工業化が進められたが、昭和初年以降の陽極酸化法の応用分野での開発実績は、はるかにわが国の方が進んでいたと言えよう。

前述のように日本で最初に開発された陽極酸化法はしゅう酸法であって、理化学研究所では昭和3(1928)年7月に小規模の処理設備を所内に設置して外部からの依頼加工を受け、文房具類や日用品などの処理を行ったが、この商品が好評だったので、昭和6年に商標出願登録をして陽極酸化処理製品を「アルマイト」と命名した。このときの商標出願公告を図1に示すが、指定商品は「文房具類一切」となっていた。このアルマイト製品売出の最初のパフレットを図2に示す。その中で「アルマイトの特徴」として次の諸点を挙示している。

- イ. 耐久・耐腐食力強く、酸、塩類に侵されない
- ロ. 表面は滑らかに硬質であり、めっきのような剥離はない
- ハ. 硬度高く耐摩耗性に優れる
- ニ. 耐熱性、電気絶縁性に優れる

ホ. 着色でき美術品建築その他の装飾部品として期待されるへ。軽くて丈夫で取扱い容易。加熱しやすく、汚れにくく衛生的

そしてその応用範囲は家庭日用品、食器、醸造用器具、工業用部品、航空機、自動車、船舶材料、物理化学用、医療用器材、電機電話用部品、建築用装飾品、化粧品容器などの現在の需要構造をほとんど包含する広範囲の諸用途を列挙して、その当時の創始者の慧眼に感服せざるを得ない。

ちなみに「アルマイト」の命名の由来は当時売出されていた石炭酸樹脂製品を“ベークライト”と称していたが、アルミニウムを短縮してアルミというので語尾を援用してアルミナイトとし、更にこれを言いやすくするために短縮して“アルマイト”とした由である。この名称は、当初のしゅう酸皮膜製品の呼称であったが、その後陽極酸化皮膜もアルマイトと称し、硫酸皮膜が主流となった現在でも酸化皮膜はすべて

昭和六年
商標出願公告第三三三號
願書番號 昭和六年第四五七七號
出願 昭和六年三月二十四日
公告 昭和六年五月二十一日

○指定商品
第五十一類
文房具類
一切

東京市本郷區駒込上富士町三十一番地
出願人 財団法人理化学研究所
東京市麴町區丸の内三丁目二番地九ノ内
ビルデイング内七百五十五番地九ノ内
代理人 辨理士 我清雄

図1 アルマイトの商標出願公告

ムーユニミルア色染、防腐

トイマルア

許 特 賣 専

No. 61920, No. 62278, No. 62962, No. 64069, No. 69138, No. 83043

防蝕、染色アルミニウム

アルマイト!!

アルマイトの特徴!!

- 一、酸化皮膜が非常に厚く其の上防水処理を施したるが故に耐久、耐腐蝕力頗る強く特に酸や鹽類等に侵されません。
- 一、アルミニウムを電気化学的作業に依て陶器のやうに滑らかに表面自体を硬化化したもので鍍金のやうに剥る事は絶對にありません。
- 一、比重はアルミニウムと變りなく硬度は鋼に似て頗る耐熱性があります。
- 一、耐熱力強く、アルミニウム溶解温度六〇度(攝氏)に於てもアルマイト加工品はアルミニウムだけ溶解してアルマイト酸化皮膜には變化ありません。
- 一、電気的絶縁性は雲母に近く、防蝕効果は他の如何なる防蝕法も到底此のアルマイトに及びません。
- 一、美觀なる着色が出来ますからアルマイト加工品を美術化し建築其他裝飾用部分品として各方面より多大の期待を以て迎られて居ります。
- 一、輕くて丈夫で取扱い便利然かも意外易いことはアルミニウム製品の特徴で安易として食物の味を變へず永久に汚れないで衛生前なのは陶磁器類の特徴です此の兩者を兼ねたのがアルマイト製品であります。

アルマイトの用途

- 一、鍋釜、排當皿、水筒其他飲食物用器具。
- 一、醸造用器具、紡績、人絹、製絲、染色、工業用部分品。
- 一、飛行機、軍需品、兵器材料、自動車、其他船舶用材料。
- 一、物理、化學、工業機械用部分品。
- 一、測量器、度量衡、寫眞、醫療器。
- 一、電氣、電燈、電話用部分品。
- 一、天井板、壁板、化粧煉瓦代用、建築用裝飾品。
- 一、製菓、製乳、製藥、化粧品用容器。
- 一、銅真鍮、珐瑯鐵器、陶磁器、硝子製器具等の代用品。

図2 アルマイト売出、最初のパフレット

図3 アルマイト皮膜生成の機構

“アルマイト皮膜”と言われ、陽極酸化製品はすべて“アルマイト製品”と通称されるようになった。JIS規格の「アルミニウム表面処理」用語集にもアルミニウム陽極酸化皮膜の正規の通称として「アルマイト」と規定されている。

海外ではドイツでエロキサール、アメリカでアルミライトなどとやはり登録商標名を通称としているようである。

3. 陽極酸化皮膜の形成

アルミニウムに陽極酸化処理を施して皮膜を形成させる機構は、電解溶液の中で母材のアルミニウムを陽極とし、対極に鉛やカーボンなどの通電材料で陰極を構成して、この間に直流または交流の電圧をかけ通電することで、アルミニウムの表面を電気分解して酸化アルミニウムの皮膜を生成させることである。皮膜生成の機構は図3の通りで、電解液の種類や電圧、電流密度、電解液濃度、pH、液温などの電解条件によって生成する皮膜の構造や性質が異なるが、基本的には電解時間とともに母材の表面が酸化皮膜となって厚く成長する機構は同じで、皮膜成長に伴ってあたかも霜柱が成長するように垂直に伸びてゆき、表面は微細な孔（ポア：直径 $0.01\sim0.03\mu\text{m}$ ）で構成されている。

アルマイト皮膜の表面のポアの電子顕微鏡写真を図4に、アルマイト皮膜の垂直に成長したポアの断面を図5に示す。ポアの数はいずれも 1cm^2 当たり300億個以上あり、この孔が毛細管現象によって染料などの微粒子を強力に吸着して皮膜が着色される。この酸化皮膜は無定形結晶構造で両性酸化物なので、酸、アルカリに溶解されるが、特に、苛性ソーダなどのアルカリに弱い。皮膜はわずかな水分子と約10%の硫酸基を含むセラミック状で安定していて、アルミニウム素材の質感を保有している。

陽極酸化皮膜は電解液の種類によって区別されるが、次に主な種類をあげる。

(1) しゅう酸皮膜

前述のようにわが国で最初に開発された方法で、処理電源は交流と直流を組合せる交直重畳法が知られている。電圧、電流密度が高いので、処理コストが高い。皮膜は薄金色を呈する。

(2) 硫酸皮膜

希硫酸中で処理するもので、コストが安く、皮膜は無色透明で、染色してもアルミニウムの地肌の金属感を損なわないので着色仕上げに向いている。現在ほとんどの陽極酸化処理はこの方法で行われている。

図4 アルマイト皮膜表面のポア

図5 アルマイト断面の電子顕微鏡写真

(3) クロム酸皮膜

昭和5（1930）年に山口要作はクロム酸にけい酸ゲルを添加した電解液によって陽極酸化する特許を出願し、この技術によって工業化したクロム酸皮膜の加工工場はわが国で陽極酸化処理の最初の民間工場となった。この処理皮膜を“エナニューム”と名付けたのは、当時アルミニウムという言葉が長くて煩わしいので関西ではアルミ、関東ではニュームと略称していたので、硬質ガラスのエナガラスのエナを取り“エナニューム”としたとのことであった。航空機用や塗装下地に使われていたが、他の皮膜より耐食性が劣り、また、環境問題などで現在は需要が減っている。

(4) その他の方法

その他の電解液による陽極酸化処理として、りん酸やしゅう酸との混酸、硫酸に有機酸を加えたものなど多くの方式があり、それぞれ特徴のある皮膜を得ることができる。

4. 陽極酸化皮膜の封孔処理

陽極酸化処理を終えた直後の皮膜は、前述の通り表面に無数の微細孔が開いており、皮膜底部のアルミニウム母材は、バリア層と称する薄層で覆われているだけなので、このままでは母材の耐食性は充分とはいえない。さらに、この微細孔はこのままでは吸着性が強いので、指紋がついたり汚染されやすく、また染色のために染料を吸着させても脱色剤に浸けると染料を漂白してしまう。これらの欠点を除くために開発された技術が「封孔処理」である。この処理によって皮膜表面の無数の微細なポアがふさがれて吸着性がなくなり、耐久性が確保された安定状態になるので、陽極酸化処理の後処理または仕上処理と位置付けられるものである。

封孔処理の原理は皮膜表面を水蒸気または熱水中で数十分浸漬することによって皮膜が水和反応を起こして膨潤し微細孔の表層部分が密封状態になるものと思われる。

封孔処理の機構は、陽極酸化法の発明後数年して宮田 聡博士が偶然の機会に陽極酸化した製品を湯洗していて発見されたものであったが、この処理によって微細孔の底部のアルミニウム母材は封孔された皮膜に完全に被覆され、強固で安定したアルマイト皮膜によって外界と遮断されてアルミニウム全体として耐食性、耐摩耗性に優れた性質を保有することが後日明らかにされ、封孔処理技術が陽極酸化法の現在の発展をもたらしたものとと言えるほど重要な発明である。

封孔後の陽極酸化皮膜は結晶性の水酸化アルミニウム（ペーマイト）となり耐食性が著しく向上し、封入された染料の耐光性も向上することになる。図6に封孔処理の模式図を示し、表1に主な封孔処理法を示す。

図2に示した最初のアルマイトパンフレットの中でも「防水処理を施し」と述べられているのが、この「封孔処理」のことであって、宮田 聡博士が瀬藤象二研究室で開発されたものであり、前述したように昭和4年に「防水性電気絶縁防

錆被膜の製法」として特許登録がされたものであった。

後述するような染色や電解着色によって皮膜を着色する場合は、封孔処理する前の工程になり、後処理で上述の封孔処理をすることによって、皮膜中に着色成分を定着させて漏出を防ぐとともに、他の汚染物質の侵入を防ぐことになり、装飾的利用の拡大にも大いに貢献している。

封孔処理されて完成された陽極酸化皮膜は一種のセラミック状の硬い組織になっていて、アルカリ溶液などでは溶解するものの、通常の使用では母材のアルミニウムよりはるかに堅固な保護皮膜で覆われているので、耐久性は母材よりもはるかに強固になるのである。

5. 陽極酸化染色の歴史

アルミニウムの表面に形成された酸化皮膜は、染料を吸着して着色されるという他の金属にない特徴を有し、アルミニウムの装飾的表面処理に絶大な効果を付与することになる。これに関連した特許は陽極酸化皮膜を染色溶液に浸漬して全面着色する方法について大正14（1925）年に英国人ベンゴーフが、またクロム酸皮膜上に部分的に染色する方法について昭和5（1930）年に前述の山口要作が取得していた。当時珍しかった日用品のお盆や食器、レコード盤などを染色して、日本における陽極酸化染色に先鞭をつけたものとされている。染料としては、当時繊維類の家庭用染料として親しまれていた市販の「みやこ染め」を用いて成功したもので、その後需要の増加に応じてドイツ製の染料なども使用したが、黒色だけは「みやこ染め」が好適であった旨書き残されている。先に製品化されたしゅう酸アルマイト処理の弁当箱、洗面器、盆などの日用品類は、薄金色に仕上がるしゅう酸アルマイトによる自然発色のみであり、当時流行していたほうろう製品が模様などで着色した装飾性に富んだ製品であったのに比べて見劣りし、割高感もあったので、単色のしゅう酸アルマイト製品を着色したいとの要望が強くあった。山口要作が昭和9（1934）年に、クロム酸皮膜への着色技術をしゅう酸に適用し、初めは一色の全面染色、ついで防染エナメルでマスキング抜染して一色の模様を染抜き、更に油溶性染料をシンナーに溶解して未封孔のしゅう酸皮膜に吹付けることで多色に着色することを成功させた。これらの方法は当時知られていた他の業界の手法に習ったとのことで、例えば吹付けはほうろうの釉薬吹付け法、模様付けは古くから行われていた繊維の捺染に使われていた型紙を応用したとのことであった。この技法は昭和10（1935）年4月出願、翌年9月に特許第117540号として認可されている。

当時これらのアルマイト着色製品は日用品以外にも軍用機

図6 封孔処理のモデル

表1 主な封孔処理法

種類	組成	温度（℃）	時間（分）	特徴
水蒸気	1～5 気圧，乾燥蒸気	100 以上	15～30	しみ付注意，封孔効果大，設備大
沸騰水	脱塩水	98～100	20～50	長大物も容易
重金属塩溶液	酢酸ニッケル 6g/l 酢酸コバルト 1g/l ほう酸 8g/l	80～90	20～40	有機染色物に有効 封孔促進

図7 アルマイト郵便ポスト

の窓枠，航空眼鏡，軍服用ボタンなど軍需品などにも多用された。珍しい製品として現存しているのは，昭和11（1936）年に旧国鉄名古屋駅の新築に際して製作されたしゅう酸アルマイト染色仕上げの郵便ポストで，同駅で35年間使用されていたものである。図7に示すように存在感のある堅牢な名品で，現在はわが国唯一のアルミニウム製郵便ポストとして明治村（愛知県犬山市）の四日市郵便局に展示されているほかに，企業で2基が保管されている。

一方多色の筆彩や濃淡の吹付けにエッチング技法を応用した美術品なども手掛けられていて，現存するこれらの製品を見ると，70年以上前に，このような装飾性豊かな美術品が造られていたことは驚くべきことで，現在では再現することも難しいと思われるほどである。この美術盆は昭和12（1937）年に貞明皇太后（大正天皇皇后）が大阪に行啓されたときに献上されたもので，エッチングしゅう酸アルマイトに筆彩，吹付け仕上げされたものである（図8）。最初のアルマイトパンフレット（図2）の中でも「着色でき美術品として期待される」と予告されていた通りの製品が製造されていたのである。

その後戦争の進行に伴ってアルミニウムは軍需用に優先供給されるようになり，装飾的民需品にとっては長い空白の時代が続いた。戦後，軍需用のアルミニウム材料が民間に開放されても材質が悪く，装飾性に劣る粗悪な日用品しか出回らなかったが，昭和30（1955）年頃から材質のよいアルミニウムが安定的に供給されるようになり，各種の表面処理技術も開発されてきた。着色用の染料も良質のものが出回るようになって，鮮やかな金色に仕上げた装身具，アクセサリ類，シガレットケース，時計バンド，万年筆などや各色のテーブルウェアなどが供給されるようになった。

昭和40（1965）年以降はアルミニウムの品質がますます向上し，高純度アルミニウムなどが供給されだし，高光沢仕上げなどの装飾を目的とする分野のディスプレイ，ショーカード，看板類の着色製品の開発が相次ぎ，カメラ，時計，家電製品などにも各種の銘板，ダイヤル，表示板，ブランドマークなどに大量に使用されるようになった。

昭和46（1971）年には浅田太平博士が，陽極酸化処理後に

図8 アルマイト美術盆

金属塩水溶液中で交流電解することによって，陽極酸化皮膜の底部に金属粒子が析出して，その金属固有の着色が得られるという二次電解着色法（浅田法と通称される）が開発され，建材などの着色仕上げに適用されるようになり，ビル，住宅などへの装飾的手法が拡大した。

昭和50（1975）年以降は，住宅用，ビル用などの建材部門で，無着色のシルバー仕上げから前項に述べた電解着色法によるブロンズ色などの装飾性に優れた製品が増え，更に自動車，鉄道車両，家電，家庭用機器類など各業界に装飾性に富んだ各種の着色製品が供給されだした。

これらの需要拡大に合せて，次項で述べるようなアルミニウムに対する装飾的表面処理の多くの加工技術が開発され，これに染色技術を組合せた装飾性アルマイトの用途はますます増大している。

6. アルミニウムの装飾的表面処理

アルミニウムは本来美しい金属であって，通常アルマイト処理のままで装飾性があるとされるが，これを用途に合せて装飾性を強調する種々の処理を施すことによって，更に装飾的効果を高めることができる。本項ではこれらの加工を詳述する余裕はないので，その概略を述べるに留め，詳細が必要な場合は巻末の資料を参考にして頂きたい。

6.1 アルミニウム装飾処理の工程

アルミニウムの装飾的表面処理は，まずアルミニウムの表面に要求される装飾目的に合せた前処理を施したのち，陽極酸化を行い，着色処理，封孔処理で仕上げることになる。これらの処理工程の概略を図9の系統図に示す。図9では一部の工程に複数の処理が併記されているが，装飾目的に応じてこれらのうちの1種類を選択することになる。

6.2 アルミニウムの前処理

アルミニウムは前述の通り加工しやすい金属であるから，

図9 アルミニウム装飾処理の工程

本処理である陽極酸化処理の前に前処理を施すことになる。アルミニウムの素地の上に別の処理で被覆する表面処理として、めっき、塗装、印刷、ほうろう、金属溶射などがあるが、これらの処理では素地がそのまま表れないので、前処理は素地調整程度で済まされることが多い。しかし、アルマイト仕上げの場合は装飾用のために計画されたデザインに合せて、各種の前処理が選択されることになる。前処理が不適切であると所望のデザインが得られなかったり、製品の品質を損なうことになるので慎重な対応が必要である。主として装飾用に適用される前処理方法を表2に示す。

・機械的前処理は、アルミニウムの表面に機械的、物理的に外観を変化させて表情を変えさせるもので、アルミニウム本体に変化はない。

・化学的前処理は、酸またはアルカリ性薬品を用いて表面を溶解することで光沢度を増したり、つやを消したり、局部を溶解して機械的前処理では得られない独特の表面効果を与えることである。

6.3 アルミニウムの着色

アルミニウムへの装飾的仕上げについて最も効果的な方法は、アルミニウムにデザインに合せた着色を施すことである。その方法については、塗装や印刷などのように顔料系の着色剤を表面に被覆させる通常の着色法のほかに、アルミニウムの場合はアルマイト皮膜中に染料や金属塩を吸着させて着色するという他の金属にはない独特の方法がある。この着色法と前項で述べた各種の前処理法とを種々に組合せることで、多様な装飾表現が可能となる。表3にアルミニウムの着色法の主なものをあげたが、これらは単独で処理されるほか、組合せて装飾効果を一層高めることに利用される。このうち上3段に示す処理はすべて陽極酸化法に基づくものであって、本表の下2段にあげた塗装や印刷のようにアルミニウムの表面を被覆して着色する方法でなく、アルマイト皮膜の中に染料粒子を定着させて皮膜自体が着色されるもので、固いアルマイト皮膜が母材から削り取られない限り着色部は消滅しない。ただし染料によっては紫外線に弱いものもあるので、長

表2 アルミニウムの装飾用前処理

	仕上の種類	前処理の種類	設備・方法	効用・備考
機械的処理	光沢 艶消 梨地 ヘアライン スクラッチ スピン パンチング エンボス コイニング 槌目 ダイヤカット 模様彫	バフ研磨 ブラシ研磨 ブラスト研磨 ワイヤブラシ研磨 ベルト研磨 グライнда研磨 打抜加工 型付加工 抜打加工 槌打加工 切削加工 彫刻	研磨材、布バフ回転 研磨液、ナイロンブラシ回転 金剛砂、硝子粉等粒状研磨材噴射 ピアノ線、黄銅線等平行または回転 研磨材付ベルト 樹脂系円形砥石バフ、多軸、スライド パンチングプレス機 ロール機、プレス機 鍛造機 手ハンマまたは機械打 エンボス、ダイヤモンドツール切削 彫刻機、母型	荒・中・仕上等 パルトン仕上可 液体ホーニングはソフトな仕上 クロスライン仕上可 荒い引掻き仕上可 スライドスピン仕上可 打抜模様 浮出模様 深い凹凸仕上可 槌目模様 劣化しない鏡面可 深堀可、1個宛加工
化学的処理	鏡面 光沢 艶消 梨地 食刻	電解研磨 化学研磨 化学溶解 化学研磨 エッチング	りん酸、混酸浴 りん酸、混酸浴 酸、アルカリ浴 酸、アルカリ浴 酸、アルカリ浴	鏡面光沢、材質選択必要 高光沢、材質選択必要 液、材質により仕上差あり 液、材質により仕上差あり レリーフ、ダブルエッチング可

表3 アルミニウムの着色法

種類	方法	着色剤	特徴
自然発色	アルミニウム合金の組成，電解液，電解条件などを組合せる	皮膜の原色	耐候性非常に強い 色に制約あり，暗い色調多い
電解着色	陽極酸化後，特殊電解液中で交流または直流で再電解する	金属塩	耐候性強い 色に制約あり
染色	陽極酸化後，浸漬，抜染，吹付，スタンプ，写真焼付，ダイレクト印刷，転写など	無機染料 有機染料（水性・油性）	鮮かなメタリック色，色別可能， 耐光性劣るものあり
塗装	刷毛，吹付，ローラー，静電，充てん，浸漬，電着など	合成樹脂系塗料 水溶性分散塗料	色自由，全面着色，クリアーコート はく離注意，顔料系不透明色
印刷	オフセット，スクリーン，タンポ，ロールコート，転写など	顔料	色自由，部分着色，耐摩耗性 劣る，不透明色中心

表4 アルマイト染色法の種類

期間屋外で使用する場合には耐紫外線性に優れた染料を選択するとともに，更にアルマイト皮膜を厚くしたり，封孔処理を確実に処理するなどの表面処理上の注意で対応が可能な場合もある。

アルマイト染色はアルミニウムの素材感が生かされた鮮かな透明感のある金属の着色が得られる。逆に染料は顔料系の不透明感のある表現は無理なので，これらの要求の場合は前処理で艶消しやパールトン仕上げを施したり，電着塗装との組合せなどを選ぶことが必要である。

染色の色指定として印刷インキや塗料などの色見本や，マンセル記号などで指定されても，アルマイト染料ではこれらの顔料系の色見本と同じ色調を得ることは無理である。

また，染色は染料濃度，アルマイト皮膜の厚さ，染色時間などによって色の濃淡に差が出ることになるので，皮膜形成や染料液管理を含めて一連の工程の品質管理に注意が必要である。特に，大量生産の場合や大型部材については慎重な対応が必要である。このようにアルマイト染色はそれぞれの処理に化学反応などの管理しにくい工程が多いので，需要者側も塗装や印刷と同様な指定色管理は一步譲って，標準見本に対してある程度の濃淡の限度を許容することが望まれる。

表4にアルマイト染色法の染料による区別と処理方法の種類を示す。これらの染色は通常1色染めが多いが有機染料による多色染めでは種々の手法が開発されていて，1枚の製品の中で染色の階調を変えるグラデーション仕上げや，後述する絵画用のフルカラー染色なども実用化されている。

図10 デジタルカメラ外装品

図11 有機染色パネル（ライトレッド）(JR西日本新鹿児島駅外装パネル)

身近で眼にする製品として，携帯電話やデジタルカメラの外装品にアルマイト染色したものが多用されていて，装飾性豊かなデザインが施されているので，図10にデジタルカメラの例をあげる。また建材外装用として有機染色パネルが用いられた例を図11に示す。ドイツなどでは施工例が多いが，わが国では現在までに数例しかない。

表5 アルミニウムの立体的処理

種類	処理	着色材	特徴	立体的効果	コスト	
					小量	多量
エッチング (染色) (着色)	局部的エッチング, ダブルエッチング アルマイト染色, 電解着色	染料	耐久性あり, 精密像可 大面積可	普通	普通	普通
エッチング (色入れ)	局部的エッチング 色入れ, 電着塗装	インキ または塗料	長期的にははく離あり 色入れ面倒	普通	普通	やや大
エンボス	プレス, ロール アルマイト染色, 印刷	染料または 塗料	材料費少, プレアルマイトはクラック注意	大	高	安
コイニング	鍛造, 型打 アルマイト染色, 色入れ	染料または インキ	材料費大, 細部出にくい 大面積不可	最大	最高	高
彫刻	彫刻・色入れ	塗料	手数かかる, 少量小面積向	やや大	高	最高

7. アルミニウムの立体的装飾処理

アルミニウム板や押出材などの加工前の素材表面はおおむね平面であって、各種の表面処理を施しても外観上の仕上がりは平面のままである。これに対して装飾効果を高めるために仕上げ表面に凹凸の模様をつけたり、ロゴを凸または凹にして目立たせるような加工を施すことがよく行われる。

これらの加工は、6.2項で述べた前処理のうち、機械的にはエンボス、コイニング、ダイヤカット、彫刻などで、また化学的にはエッチングによる処理がよく行われている。これらの前処理と各種の本処理、例えばアルマイト染色との組合せなどで立体的な装飾仕上げが効果的に得られる。一般的に用いられる立体的処理法を表5に示す。

7.1 アルミニウムの装飾的エッチング

表5で述べた立体的処理の種々の方法の中で、装飾的な用途に最も適していて、処理コストもそれほど高くない方法はエッチングであるので、本項でその概略を述べる。

エッチングとは化学薬品などで素材の表面を局部的に溶解して、凹凸の画像や文字などを浮彫りにする手法であって「食刻」とも言われる。

この場合にあらかじめ素材を前処理で光沢仕上げにしておけば、凹部はエッチングによって地肌が荒らされてつや消し状になっているので、この状態でアルマイト染色すれば、エッチングによる凹凸の立体感に更に地肌の光沢とつや消しとの差が加わって、外観上コントラストの強いレリーフが得られる。また、凹と凸のアルマイト染色の色を変えれば色調の差によって装飾効果の強調された外観が得られる。これらの製品はたとえ屋外での長期使用で退色しても、エッチング部の凹凸は消滅しないので、装飾効果がまったくなくなることはなく、半永久的に装飾効果を維持できる処理といえる。

7.2 エッチングの方法

エッチング処理の方法にはいくつかあるが、その代表的な例を挙げて簡単に説明する。

7.2.1 フォトエッチング (写真食刻法)

母材の表面に感光性乳剤を均一に塗布し、この上から所望

図12 フォトエッチング工程

の画像から製版したモノクロネガフィルムを密着して紫外線を照射し、透過光によって光化学反応を起こして硬化した保護膜を利用して、それ以外の素材部分を溶解するもので、写真焼付の精度が得られるので再現性に優れているが保護膜の強度が弱いことや、1枚宛ての密着焼付けが量産性を損なう欠点がある。フォトエッチングの工程を図12に示す。

7.2.2 プリントエッチング (印刷食刻法)

前処理またはアルマイト染色済みの素材表面に、オフセット、スクリーンなどの印刷法によって耐食性インキで画像として残す部分をマスクング印刷し、この素材をエッチング処理することでマスクングしていない部分を溶解して素材に凹凸をつける方法である。印刷方式や印刷インキそれぞれに特徴があり、配慮すべき条件があるが、量産向けのライン構成が可能である。工程は図12のマスクング膜を印刷で行う場合は概略同じである。

7.3 エッチング仕上げの種類

エッチングについては用途によっていくつかの種類があるが、以下にその要点をあげる。

7.3.1 エッチングと染色との組合せ

エッチングとアルマイト染色との組合せは、前述の通り装飾的表現に非常に有効である。例えば素材の表面を光沢、ヘヤーライン、スピン加工などの適宜な前処理を施し、エッチング後の凹面と別々に染色をしたり、染色の代わりに電解着色を適用しても装飾効果の優れた外観が得られる。また、全面や凹面のみに電着塗装を施すことで顔料系の着色を組合せたり、クリア塗装で全面を滑らかな光沢化上げにすることもできる。これらの組合せによってシャープなレリーフ効果とメタリックな色調によって高級感のある近代的な表現が可能で、適用範囲は非常に広い。

7.3.2 ダブルエッチング

前述したようなエッチング処理で得られた画像部が凸の場合には、凹部は一樣なつや消し状の背景の部分となるが、この背景部を更に模様や柄などによって凹凸のエッチング処理を施すことで、背景面も立体的に表現することができる。この処理によって通常の立体的な仕上げに更に重厚な奥行のある装飾的效果を与えることができる。この処理はエッチングを2回施すのでダブルエッチング仕上げと称する。

建材用として天井パネルに用いられたダブルエッチング仕上げの例を図13に示す。

以下に最近の実例をあげる。軽量で加工性や装飾性に優れたアルミニウムをデジタルカメラの外装などに用いるケースが増えているのは6.3節に述べたとおりであるが、日本のデジカメ生産量は世界のほとんどを占める年間9,000万台以上でその90%が海外に供給されていて、海外市場で日本のメーカー同士の販売競争が激しくなっている。デジカメの性能は最近各社とも向上しているので、現在では他社との差別化を図るためにはデザインの優位性が非常に大きな要素になっていて、その一例として外装に初めてダブルエッチング染色が採用されたものである。ダブルエッチング仕上げ板をデジカメ外装品のような深絞り加工をするためには多くの処理技術とノウハウが伴うが、これを克服して製品化されたケースに対して、平成16年10月に東京都ベンチャー技術大賞特別賞を授賞したものである(図14)。

7.3.3 スルーエッチング(彫抜き成形法)

前処理およびアルマイト済みのアルミニウム板の裏面に画像保持用の透明フィルムを強固に貼付し、表面にエッチング用のマスキング印刷を施して素材の溶解を板厚分を貫通するまで進行させると、マスキングした部分が裏面のフィルムに貼付けられたまま残り、溶解部分は全部除去されて透明フィルムのみが残る。このようにして仕上げられた成形品の裏面から透過光で照らすと、彫抜かれた部分のみに照明光が通過し、この部分を目盛や数字にしておくと、自動車のスピードメータなどのダイヤルに用いることができる。従来のダイヤルは透明樹脂板に裏面から印刷をして透過光によってダイヤルを読ませる方式であるが、樹脂板表面の装飾仕上げはアルミニウム板の前処理のような多彩なデザインができなくて装飾性に劣っていたものを、アルミニウムの彫抜き成形法の採用によって多様な表面処理を施した仕上げが可能となり、装飾効果が非常に高まって、レベルの高いダイヤルが完成された。

この処理によるダイヤルが自動車用メータに採用され、平成20年4月に第20回中小企業優秀新技術・新製品賞の優秀賞を受賞している(図15)。

図13 ダブルエッチング仕上げ天井パネル

図14 ダブルエッチングキャビネットデジタルカメラ

図15 彫抜き成形自動車用メータ(コロナ工業株式会社納入 LEXUS GS用)

7.3.4 曲面エッチング

アルミニウムの丸棒、パイプなど円筒状の側面や成形した立体面にエッチングして文字や柄などをレリーフしたいというデザイン状の要求が少なくない。この場合は前項のフォトエッチングは適用できないので曲面印刷方式によって立体面にマスキング印刷を施したのちエッチング処理をするが、平面板をエッチングするようなフラットなコンベヤラインの量産方式は適用できない。印刷前に曲面を精密仕上げする必要があるが、アルマイト染色することもあるが、曲面に対する精密印刷方式や印刷用マスキング液の調合などで平面エッチングとは異なるノウハウが必要である。現在この方式によって万年筆のキャップ、化粧品容器、カメラレンズ用リングなどが量産されている。図16に曲面エッチングの例を示す。

図 16 曲面エッチング

7.4 サイドエッチング

エッチング処理工程で画像としてマスクングされている部分を残して不要部の溶解が進行するとともに、画像周辺の側面部でも溶解が起き、このため折角マスクングされている正規の画像が所望のものよりやせてゆく現象をサイドエッチングという。サイドエッチング量を少なくしてエッチングを深くするためには製版、マスクング印刷、エッチング装置、エッチング液の調整、エッチング処理条件等多くの点を満たす必要があり、高度な処理が要求される。

サイドエッチングの模式図を図 17 に示すが、エッチングの初期には図中の“A”のように母材を溶解しだし、エッチングが進むと“B”のようにサイドエッチ量が増えて正規の画像の周囲が侵されてゆく。これらの制約から通常のエッチングの深さは 0.02~0.05mm 程度であるが、エッチング液の調合、エッチング処理工程、製版方式のノウハウなどで、現在では指定の画像を正確に確保しながら、エッチング深さを 0.1~0.3mm 以上とすることが可能となっている。更に 7.3.3 項で述べたスルーエッチング方式ではサイドエッチングを最小にしながら 0.5~2.0mm 板厚の彫抜きエッチングも可能となっていて、これらのエッチング方式をスーパーエッチングなどと称している。

8. アルマイト絵画の複製

前述してきたアルミニウムにアルマイト染色処理した種々の製品は、それぞれに装飾性を目的とした仕上げとすることができる。

しかしこれらの染色は 1 色または 3 色程度までの部分的な色付けであって、絵画のようなフルカラーの染色が可能であれば、この方がアルミニウム装飾品としては最高レベルに位置づけられるアルマイト絵画ということになる。前述した 5 章の図 8 で示した戦前製作の美術盆などはアルマイト絵画の歴史の始まりであるが、この頃の手法は 1 色ごとに絵筆で手書き着色されたものであって、版画のように多量生産する方式には適さない。本項ではアルマイト絵画について述べる。

8.1 絵画のアルマイト複製画

原画の複製をアルミニウム板の上に再現する方式としては、原画を網版に色分解してオフセット印刷などで再現する、いわゆるブリキ印刷方式があるが、印刷方式では印刷インキの剥離などで耐久性に難があり、またアルミニウム素材が顔料系インキで被覆されてしまうのでアルミニウムの金属感を表

$$\text{エッチング係数} \quad F = \frac{D}{S}$$

図 17 サイドエッチング

現できない仕上げとなる。これらの欠陥を除き、アルミニウム絵画を量産する方式として実用化されたのが、アルマイト絵画のアート仕上げである。この方式は、まず原画を 3 原色であるイエロー（黄）、シアン（青緑）、マゼンタ（赤紫）に色分解し、これに墨（黒）版を加えた 4 版をメッシュの多い網版に色分解し、これを用いて、前処理、アルマイトした未封孔皮膜上に感光乳剤によってそれぞれの染色域を確定し、これに各版の色彩を表現できる油性染料で染色することによって、原画のフルカラー複製を再現するもので、フォトプリントを 4 回重ねることになる。

この方式によって錦絵などの版画や日本画、水彩画、油絵、ポスター、フルカラー写真などのカラー原画からの複製量産が可能となっていて、この方式はアルアート（AL・ART）と称されている。図 18 にこれらの例を示す。

8.2 アルマイト絵画の特徴

アルマイト絵画は従来のような紙や布などを基材とした絵画とまったく異なり、軽量で耐久性のあるアルマイト板の上に再現するものであり、次のような多くの特徴を有している。

(1) 高純度アルミニウム板に必要な前処理を施し、厚い皮膜のアルマイト処理と十分な封孔処理を施すことによって、表面硬度の高い耐摩耗性に優れた耐久度の高い金属板絵画が得られる。

(2) 紫外線に強いアルミニウム染料で多色染色仕上げし、アルミニウム独特の透明感と質感に恵まれているので、近代的な装飾表現を可能にしている。

(3) 長期にわたって製作時の美しさを保ち、耐火、耐水、耐汚染性に優れ、表面の汚れも容易に拭き取れるし、色焼けや変色などを起こしにくい。

(4) 墨版で輪郭などをエッチングで残し、エッチング後の面にプリント染色することで、立体感のあるレリーフ効果が得られ、従来の平板な版画などより奥行きのある装飾性に優れた絵画となる。

(5) 額装しても紙や布と違って硝子が不要なので、画面上の光の反射や写り込みによる見にくさから解放される。また、輸送や保管の際の硝子破損のおそれが少なく、重量も軽いの

図 18 アルミニウム絵画

(1) “原生林” (1974, W 10m×H 3.5m)
 (新宿住友ビル・アートコーヒー店)
 原画；富岡惣一郎画伯

(2) “世界地図” (1979, W 5.85m×H 2.5m)
 (旧輸出入銀行本店役員会議室)

(3) “信濃川源流” (1984, W 5m×H 5.5m, R 5m)
 (東京女子医科大学本部入口ロビー)
 原画；富岡惣一郎画伯

図 19 アルミニウム壁画

で運搬、保管などの負担も少ない。

8.3 アルマイト壁画

前項のアルマイト絵画の大きさは、1回でアルマイト処理できるサイズに限界があり、最大でも900m×1800m程度である。これに対して建物の大きな壁面全体を絵画で飾りたいという要求、例えばホール、ロビー、レストラン、ショールーム、会議室などの壁面全体を覆うような大面積の壁画に対しては、特別な工夫が必要である。

まず壁画の原画から版下を作成するが、壁画構成の単位ユニット（例えば40cm×40cm板）を決定し、壁画の大きさによって縦横にユニットを数枚割付けする。各ユニットの版下は原画を壁画の寸法まで何回か拡大した版下から製作し、この各ユニット用の版を用いてユニットごとに表面処理を施す。処理を完了したユニットの裏面に強力圧着剤を貼付してユニットを完成する。壁画の取付はあらかじめ設置した壁画設置用下地パネルに、ジグソーパズルのように原画の拡大図に応じてユニットを圧着貼付して完成する。ユニットの表面処理は前項で述べたフルカラーアルマイトやエッチング仕上げを加えてもよく、モノクロの大画面を網版エッチングで濃淡の階調仕上げにした迫力のある壁画なども設置されている。最近までに首都圏などで40例以上設置されているが、そのうちの3例を図19に示す。

アルマイト壁画の特色をあげると次のような諸点がある。

(1) アルミニウム絵画独特の透明感と金属的な質感があり、設置場所の内外装に適した表現が可能である。

(2) 大面積でも軽量なので下地も簡易なものでよく、重量

が問題になる高層ビルの上層階などにも設置が容易で、タイル画などにくらべて重量は数百分の1以下である。

(3) 小ユニットで構成されるので平面のみでなく局面にも対応が可能である（図19-(3)参照）。

(4) 着色壁画も耐光性に優れた染料を使用し、屋外用には金属塩電解着色法を採用することで退色が少なく、長期間の美しい状態を保つことができる。

(5) 耐汚染性に優れていて、表面の汚れも簡単に拭き取ることができ保守が容易である。

(6) アーティストの筆彩を採り入れたオリジナルの高い壁画も可能である。

参 考 文 献

- 1) 東京アルマイト工業協同組合編：アルマイトの話（改訂版），（2003）。
- 2) 曲面エッチング処理製品について，アルミニウム，No. 541，軽金属協会，（1975）。
- 3) 軽金属製品協会編：アルミニウム陽極酸化五十年，（1976）。
- 4) 日本印刷学会編：印刷工学便覧，（1982）。
- 5) アルミニウム装飾の処理，アルミニウム研究会誌，No. 5，179号，金属表面技術協会，（1983）。
- 6) アルミニウム建材の装飾的表面処理，表面技術11月号，表面技術協会，（1992）。
- 7) 軽金属製品協会編：アルミニウム表面処理の理論と実務 第3版，（1994）。
- 8) 表面処理対策Q & A1000，産業技術サービスセンター，（1998）。
- 9) 成長分野のデザイン意匠トレンド，アルミニウム研究会誌，No. 3，395号，表面技術協会，（2008）。
- 10) アルミニウム表面の機能化，カロス出版，（2008）。