AI 建材の表面処理の現状と課題

川 端 清*

Actualities and Problems of Surface Finishing for Aluminum Architectural Products

Kiyoshi KAWAHATA*

Key Words : Aluminum Architectural Products, Anodizing, Painting

表面処理の目的は、建材としての美観と耐久性を与えることであり、顧客のニーズでもある。「いつまでも、美しく」に対応することが、表面処理技術開発の40年来の課題で、これからも変わることはない。

1. はじめに

アルミ建材、例えば、住宅用サッシやカーテンウォールなどが、木材や鉄鋼材料にかわって市場に出回るようになってから40年近くになる。アルミニウム建材の表面処理の歴史もこれと同じくらい古く、先ず陽極酸化から始まって、陽極酸化+電着塗装の複合皮膜、化性処理+塗装の着色塗膜が使われ、最近の日本国内での生産量は70万t/年前後である。表面処理の目的は建材としての美観と耐久性を与えることで、顧客ニーズでもある「いつまでも、美しく」に対応することが、表面処理技術開発の40年来の課題であり、これからも変わらない。市場の要請に対応するため表面処理仕様は多様化し、その結果、市場は拡大し、これを維持して向上させるためには、さらなる努力が必要である。アルミニウム建材の表面処理の現状と課題も、陽極酸化皮膜の多色化と複合皮膜の塗膜や着色塗膜の耐候性の向上をはじめ、多品種小ロット化への対応、環境対策など、多様化するのも当然と言える。

2. 陽極酸化

アルミニウムの陽極酸化皮膜は、アルマイトとも言われ、鍋や湯沸しなどの家庭用器物の表面処理に古くから使われてきたが、アルミサッシなどのアルミニウム建材に使われるようになって生産量は飛躍的に伸びた。アルミニウムを陽極として電気分解して得られる陽極酸化皮膜は、当初は、無着色のシルバー色で生産された。その後、皮膜中の多数の微細な孔の中へ、ニッケルやスズなどの金属を電気的に析出させて着色する電解着色法（浅田法）が開発され、サッシのカラー化が始まった。さらにその後、陽極酸化皮膜の表面に水溶性のアクリル樹脂系塗料を電気泳動・析出させて、加熱乾燥して塗膜とする電着塗装法が実用化された。着色（または無着色）の陽極酸化皮膜は、透明樹脂を使った電着塗膜と組み合わせた複合皮膜の一部として多用されている。

2.1 陽極酸化皮膜の多色化

陽極酸化後に2次電解して得られる電解着色皮膜は、30年来、ブロンズ系（ステンカラー→ブロンズ→ブラック）の色のみで生産されてきた。静電スプレー塗装の焼付による着色塗膜と比較して、色の選択の自由度はきわめて小さく、多色化

* 新日軽㈱ 北陸製造所（〒933 富山県高岡市本郷2-5-8）
Shinnikkei Co Ltd., Hokuriku Works (5-8, Hongo 2-chome, Takaoka-shi, Toyama 933)

3次電解着色

4次電解着色

図1 干渉色皮膜による陽極酸化皮膜の多色化の処理工程と皮膜構造の変化

図2 干渉色皮膜の断面顕微鏡写真

は苦手とするところであった。これに対して、着色塗膜は有機化合物である樹脂を主成分としているので、その分子構造から耐紫外線性には限界がある。このように両者は、長所・短所が相反しており、電解着色の苦手とする多色化を成し遂げて、少しでも色の選択の自由度を高め、短所を補うことが陽極酸化皮膜の多色化の目的でもある。

多色化の方法は、皮膜の孔の中へ電析される金属の種類を、ニッケルやスズ以外のものに変えたり、比較的耐候性の良い染料で皮膜を染色する方

法がいくつか実施されてきたが、ここ数年来、光の薄膜干渉を利用して多色化する方法が実施され始めて、陽極酸化皮膜多色化の歴史も変わりつつある。光の波長と同じくらいの厚さの薄い膜で光が干渉し、特定の波長の光を強めたり弱めたりする現象は、光の薄膜干渉として古くから知られている。この現象を利用して陽極酸化皮膜を着色するためには、アルミニウム素地と陽極酸化皮膜の界面に光が干渉しやすい薄膜を作らなくてはならない。これは、皮膜の表面に作っても、耐久性の

確保は困難だからである。

陽極酸化後の2次電解を行う前に、中間処理を施し皮膜の微細孔の底部を拡げ、その後着色電解し孔底に金属を析出させると、アルミニウム素地と皮膜の界面に光学的性質の異なる薄膜ができる。ここで光が干渉し、従来のブロンズ色とは異なったブルー系統やグレー色の着色皮膜が得られる。着色電解の前に施す中間処理を電解で行うので3回電解するから、3次電解着色とも言われている。3次電解と同様の工程で着色電解までの処理を行い、その後さらに陽極酸化し薄膜の厚さを変化させて（厚くする）ピンク、グリーンなどの原色の皮膜を得ることができる。電解回数が1回増えるので4次電解という。

光の薄膜干渉によって、従来のシルバー色や、ステンカラー、ブロンズ、ブラック以外に着色されたアルミニウム建材の生産実績は、30年来の実績をもつ従来の色を越えることはないが、最近、全国の所々で時々目にするようになっていく。3次電解のブルー系のグレー色は、大型のビル用建材として公共的な建物などにも採用されている。4次電解のピンクやグリーンは、原色系の派手な色なので大型ビルの外装全体で採用された例は少ない。ビルの車寄せや柱カバーなど建物のデザインにアクセントを与えるために使われた例もある。

2.2 陽極酸化皮膜の色合わせ

アルミニウム建材の各部材間の色違いを防止することは、従来もそうであったが、これからも表面処理の重要な課題であり続けられると思われる。建築現場でアルミニウム建材の取付けが完了し、保護シールや足場を取り除いた時に、色が合わないと指摘されることがまだなくなっていない。これをなくすためにアルミニウム建材表面処理の生産現場では、以前から色合わせの作業を行ってきた。色合せは、事前に顧客との間で取り交した承認色見本とつき合わせて肉眼判定で行われてきたが、最近、測色の技術が進歩して、皮膜の色もLabや ΔE などの数値で管理されることが多くなった。数値で表現されると統計的な手法でデータ解析し易く、生産条件の決定や管理に役立っている。測色計もコンパクトで持ち運びが便利になり、工場の外からでも色合わせの情報を測色値で交換で

きるようになった。見る人の主観によって影響される肉眼判定のみに頼っていた頃とくらべると進歩したと言える。

しかし、皮膜の色合わせの基準の数値による規格化はされていない。実際に測色してみると、ブロンズ色などのように彩度の高い（a、b値が高い）色では、肉眼判定とも一致して有効に測色できるが、シルバー色や黒色の無彩色に近づくにつれて、明らかに色が違っているのに測色値ではあまり変わらないことがある。皮膜の色は測色値のみでは判断できない微妙なところがあって、規格化が難しい理由のひとつと考えられる。建築現場での最終的な判断も、肉眼で判定されるので、現状では測色値だけでなく、肉眼判定も併用して色合わせ作業をする必要があると考えている。

2.3 陽極酸化皮膜の封孔仕様

陽極酸化の後、着色→塗装と続けて複合皮膜として生産される工程がアルミニウム建材の生産工程としては最も多く、90%以上を占める。最後の塗装をしないで、皮膜の微細孔を水和処理などによって封孔して仕上げる工程は、複合皮膜の工程よりも古くから行われているが、現在ではその1割にも満たない。封孔仕様の生産量が減ったためではなく、大量生産に適した電着塗装方法の出現によって、複合皮膜の仕様が急伸したためである。

封孔処理で仕上げたアルミニウム建材製品は、表面の皮膜の主成分がアルミナであり、表面が樹脂である複合皮膜や着色塗膜と比較して、硬くて傷がつきにくい。しかし、建築工事現場では、モルタルを含んだ水滴やタイルの洗浄液が付着すると脱色や変色が発生し易いので注意が必要である。封孔仕様の受注がなくなれば、生産工場でもユーザーの建築現場でも多様化の繁雑さから解放されるのだが、40年も続いた実績が急になくなることはない。封孔仕様と同じくらい表面が硬くて、塗装と同じくらいの耐酸、耐アルカリ性を備えた製品の生産技術が開発されると良いのだが、大変難しい課題である。

3. 陽極酸化+電着塗装（複合皮膜）

アルミニウム建材の表面処理仕様として、現在、最も広く使われている複合皮膜仕様は、電着塗装の技術が開発される前は、陽極酸化皮膜の上に透明樹脂塗料（クリアー）をスプレー塗装して生産されていた。これはアルミサッシなどの建材が、モルタル中のアルカリや、タイル洗浄剤などの酸と接触して変色や脱色するのを防ぐために行われた。高度経済成長時代にアルミサッシの生産量が爆発的に増える中で、静電スプレー塗装よりも、より大量生産に適した塗装方法の開発が進められた。浸せき塗装も一時盛んに行われたが、最も大量生産向きで塗装効率も良く、地球環境にやさしい電着塗装に収斂された。

電着塗装法は、鋼板を成形した自動車ボディーの下塗り塗装ではカチオン電着で行われているが、アルミニウム建材では陽極酸化皮膜があるので、当初からアクリル-メラミン樹脂系のアニオン電着である。アルミニウム建材の市場拡大に貢献した電着塗装の今後の課題は、耐候性のさらなる向上と多色化が挙げられる。

3. 1 耐候性の改善

アルミニウム建材は、取付後数十年間にわたって使用される場合が多く、その間、退色や腐食が少なく初期の外観を保持することが期待される。外観の経年変化の主な要因として太陽光に含まれる紫外線や大気汚染物質（ SO_x 、 NO_x など）がある。紫外線は、塗膜を構成する樹脂の元素C、O、H、Nなどの化学結合を分解して、塗膜の表面を粗らして光沢の低下や粉ふき（チョーキング）を発生させる。大気汚染物質は、建材の塗膜表面で結露と乾燥が繰り返されるうちに、蓄積、濃縮され、塗膜の表面を粗らして割れを発生させる。このような外部からの劣化要因による化学的、あるいは光化学的な衝撃に長期間耐えることが要求される。

水溶性アクリル-メラミン樹脂系クリアーの電着塗料を使った塗膜は、他のウレタンやアクリル、ポリエステル、メラミンなどのスプレーや粉体塗装による塗膜と比較して、耐候性は良い（悪くは

ない）と言われている、30年来の実績が、このことが間違いないことを証明している。アクリル-メラミン樹脂系の電着塗料が他の樹脂系の塗料にとってかわることは、近い将来においては無いと思われる。しかし、10年、20年の長期暴露試験の結果や、異常な塗膜劣化の原因究明の結果をふまえて改善が進められている。

長期暴露試験で、アクリル-メラミン樹脂系塗膜中のアクリルよりもメラミンの減耗が速く、サンシャインウェザーメータなどの促進耐候性試験でも同じ傾向が認められる。C-CやC-O、C-Hよりも結合エネルギーの小さいC-N結合を分子内に多くもっているメラミンの方が、耐紫外線性において、アクリルよりも劣るためと言われている。

また、建材ではないが、自動車の塗装の耐酸性雨性においてもメラミンの劣化が指摘されており、ここでは対策として、メラミン以外の、例えば、イソシアネートなどの架橋剤の使用や、メラミンの使用比率を低くすることが提案されている¹⁾。

さらに、プロパンや都市ガスを燃料として使用する給湯器の排気孔の近くに取り付けられたアルミサッシやドアなどの建材の、燃焼ガスと接触し結露と乾燥が繰り返される部位で、電着塗膜の劣化が急激に進行し、築後数ヶ月ではく離した事例が多数報告されている。燃焼ガス中には NO_x や SO_x と水分が含まれていて、塗膜の表面で結露と乾燥が繰り返されれば耐酸性雨の促進試験を行っているようなものである。異常な塗膜劣化として注目され、アルミニウム建材メーカーの協同研究のテーマとして取り上げられた。この場合は、 SO_x よりも NO_x の影響が大きいと、研究結果で報告されている。このような異常発生現場では、応急的な補修塗装としてイソシアネート架橋のポリウレタン樹脂のクリアー塗装が多用されている。アクリル-メラミン樹脂のメラミンが問題なのであって、単に、前と同じ仕様のものと取りかえて施工するだけでは再発の恐れがある。ポリウレタンクリアーの補修塗装で対応して再発した例は、今のところ耳にしてない。苛酷な劣化条件に暴されたことが、第一の発生原因であるから、ユーザー側の理解と協力により燃焼ガスとの接触をできるだけ避ける工夫も必要である²⁾。

3. 2 電着塗装の多色化

電着塗装は、アルミニウム建材の大量生産化への対応に適した方法として、大型の皮膜ラインに組み込まれて普及した。多色化には不向きとされていたが、つや有りクリアー仕様のみから、顔料のチタンホワイトを添加したホワイト電着と、塗料の製造工程中に、乾燥後の塗膜の表面が粗く起伏があって光を乱反射する成分を作り込んだつや消し電着塗装が実施されるようになった。

ホワイト電着は、生産の伸びが著しく、注目されたが、複合皮膜全体の10%前後で伸びなやみ、現在では減る傾向にある。白は汚れが目立ち易く、15年以上も経過すると、当初の真白な外観が失われるからではないかと言われている。

つや消し電着は、ホワイトと比較して生産の伸びは少なかったが、つやのない落着いた外観が好まれて、しだいに増産されるようになり、ここ数年間で複合皮膜全体の50%を超えてさらに増えつつある。最近では、黒の電解着色皮膜の上につや消し電着塗装を施した仕様が多数ある。

白や黒、つや有りつや消しのいずれが伸びるかは、ユーザーの好みによって決まるものであり、生産側としては、ホワイト電着の耐候性の向上と、つや消し電着は、かなり進歩したとは言うものの、光沢の安定化とつやむらからの解放と耐候性のさらなる向上が、今後の課題と言える。

4. 化成皮膜+塗装（着色塗膜）

化成皮膜（クロメート処理が多い）の上に顔料入りのエナメルをスプレー塗装して着色塗膜とする方法も、陽極酸化皮膜を使う方法と同様に古くからのアルミニウム建材の表面処理仕様である。色の選択の自由度は、これまで述べた方法と異なり、きわめて高く、色替えが容易で多品種小ロット向きである。生産量はアルミニウム建材全体の1%前後であり、複合皮膜のように急増する傾向はない。大量生産によるコストダウンよりも、多色化が容易な特徴を生かして、特別仕様への対応ができる方法として位置づけされているようである。

アクリルやウレタンよりも耐候性、特に耐紫外

線性の優れたフッ素樹脂系の塗料を使った施工例が、最近増えている。フッ化ビニリデンを主成分として高温焼付された塗膜の耐候性が良いことが、20年以上前の施工例で認められたからとも言われている。

フッ素樹脂系の塗料は、耐候性をさらに良くするために改善されている。メンテナンスによる摩擦と静電気帯電によるほこりの付着を避けるために架橋密度を高くしたり、親水性の添加剤を加えて、塗膜表面のはっ水性を少なくし、雨水やメンテナンスによる洗浄がむらなくできるように工夫した耐汚染性塗料が開発され、実施例もあるが、耐候性の評価は長期間かかるので数年後になろう。

5. おわりに

アルミニウム建材の表面処理の現状と課題について述べた。表面処理の効果は「いつまでも、美しく」できたかどうかで評価される。いつまでもについては、建物の寿命に準じて耐久性が判定されるので長期間を要する。また、建物の立地条件が耐久性に大きく影響するので、明解な評価の結果を得ることは容易ではない。美しくについては、建物が完成したときに評価されるが、見る人の主観によって変わるので一律に決めつけられない。好評を得ることが課題なのであるが、評価が簡単ではないところに難しさがある。難しさの中に面白さがあるのかもしれない。

JIS H 8601と8602、着色塗膜の軽金属製品協会の規格の中には、耐久性に関する項目についてかなり詳細な記載があるが、美観についてはあまり詳しくない。可能なところからさらに規格化を進めながら、これからも「いつまでも、美しく」の課題にとり組まなくてはならない。

(1997-7-22 受理)

文 献

- 1) 山田正毅, 宮本祐三; 工業材料, 42, 95 (1994)
- 2) 軽金属製品協会建材表面処理規格委員会; 防錆管理, 5, 7 (1996)