航空機の新機体外装塗装システム

徳 永 俊 二*

New Exterior Paint System for the Fuselage of Aircraft

Shunji TOKUNAGA*

Key Words : Aircraft Exterior Decorative, Paint System

航空機の機体外装塗装システムを中心に、航空機用として使用されている塗料の現状と地球環境保護の見地から現在取り組んでいる新塗装システムの概要を紹介する。

1. はじめに

航空機の胴体および主翼などの外板の80%程度は、アルミ合金（2024，7075 など）が使用されているが、そのままでは航空機の飛行中の過酷な環境下でアルミ合金の腐食が進行するため、塗装などの防食処理が必要となる。

一方では、航空会社のトレードマークともなり、営業面にも大きな影響を与える図1の胴体塗装は化粧処理として不可欠なものである。

* 日本航空(株) 整備本部技術研究部 (〒144-0041 東京都大田区羽田空港1-6-3)

Japan Air Lines, Research & Development, Engineering & Maintenance Dept. (6-3, Haneda-Airport 1-chome, Ota-ku, Tokyo 144-0041)

図1 航空機の胴体塗装

表1 従来の塗装システム

下塗り	ブチラル樹脂を主成分としたウオッシュアッププライマー	DMS 1913 (下地プライマーの規格)
中塗り	エポキシ樹脂塗料を主成分としたクロメートタイプ・プライマー	BMS 10-79 (耐食性プライマーの規格)
上塗り	ポリウレタン樹脂塗料を主成分とした Low Solid Type の塗料	BMS 10-60 (防錆エナメル規格)

* DMS : Douglas Material Specification (ダグラス社規格)

BMS : Boeing Material Specification (ボーイング社規格)

さらに昨今では、地球環境保護の観点から揮発性有機化合物（VOC/Volatile Organic Compound）およびクロム系物質の削減に取り組む必要性が生じてきており、今後の大きな課題となっている。

本稿では、航空機の機体外装用塗装を中心に現在取り組んでいる新塗装システムの一旦を紹介する。

2. 航空機用塗料の変遷について

航空機の胴体外板の塗装は、従来は表1のように3層の塗装システム（下塗り／中塗り／上塗り）で構成され、航空機塗装の最大目的である機体の腐食防止に効果を上げている。

航空機用塗料は航空機の変遷とともに歩んでき

ており、木と布から始まった機体の羽布塗料から始まり、全金属構造体さらに金属材料と各種繊維複合材との併用化に伴って防錆対策を主目的に合成樹脂塗料が広く使用されるようになった。

外装用塗料は構造上ほとんど常温乾燥型塗料であり、溶剤が蒸発して塗膜となるニトロセルローズ・ラッカー塗料から始まって、架橋型の塗料に変わり、酸化重合型（アルキッド樹脂塗料）、2液反応型（エポキシ、ポリウレタン樹脂）へと架橋密度が高く堅牢な塗膜へと進んできた。

3層の塗装システムにおける各塗膜の概要は以下の通りである。

2. 1 下塗り塗料（ウオッシュ・プライマー）

ウオッシュ・プライマーは、アルミニウム金属面と塗膜（プライマー層）の付着付与と一次防錆塗膜としての機能を有するもので化成処理技術が今日のように進歩しておらず、プライマーにエポキシ樹脂塗料が使用される前までは不可欠な塗料であった。現在はアロジン1200Sなどの化成皮膜処理に変更されている。

2. 2 中塗り塗料（インター・ミディエイト・プライマー）

プライマーは、顔料成分中に防錆顔料（ジクロロメート、クロム系化合物など）を含有したもので上塗り塗料と同様に塗膜要求の向上に従って変遷したものである。現在はウオッシュ・プライマーを外して、直接金属面にプライマーを塗装する方法が主体となりつつあるが、航空機ではウオッシュ・プライマーの代わりに化成皮膜処理を施し、その後プライマー、トップコートを採用している状況である。

2. 3 上塗り塗料（トップ・コート）

ニトロセルローズ・ラッカー、アクリル・ラッカーおよびアルキッド樹脂塗料が2液反応型塗料の出現するまでは主力であった。エポキシ樹脂塗料は優れた密着性と、耐油・耐薬品性に強い塗膜を形成するため、外装用に使用された時期があったが、耐候性に難点があり、まもなくポリウレタン塗料に代わり、現在では主力となった。

3. 航空機用塗料の種類と関連規格について

航空機には美観と防錆を目的とする機体外装塗装、防食を目的とする機体内部構造部塗装およびエンジン部品塗装、装飾を目的とする客室内部塗装など、目的に応じた塗料が使用されている。特に、機体外装塗装は航空機メーカーのボーイング社などの規格（塗装システムの規格：BMS 10-72 Type V, VI, VII, VIII, 塗料の規格：BMS 10-79, BMS 10-60）を準拠している。

表2は航空機用塗料の種類と代表的な規格を示したものである。

4. 新機体外装塗装システムについて

現在、機体外装塗装システムはWorld Wideで表3の2つのシステム（European System & USA System）に大別されており、当社は米国のボーイング社およびダグラス社（現在はボーイング社と合併）から機体を購入している関係でUSA Systemを採用する形となっている。

航空機は製造されてから実に長い期間使用され、平均的には30年程度となっている。

そのため、製造時の塗装などの防食処理では維持が困難であり、定期的に整備を実施せざるを得ない状況となっている。当社では、従来から採用している塗装システム（下塗り／中塗り／上塗り）を総合的に検証した結果、上塗りは塗布後3年程度より多少の劣化とグロスの低下が認められたが、中塗り、下塗りについては特に顕著な劣化が見られなかったため、4～6年の周期で再塗装している整備内容を改め、現在では塗装の状況をモニターしながら、4～6年の周期で上塗りのみ再塗装（Overpaint）と全体の再塗装（Repaint）を繰り返し実施するようになった。

また、後述する米国環境保護庁（EPA）による揮発性有機化合物規制により航空機機体メーカーのボーイング社などでは塗料メーカーと共同で揮発性有機化合物低減の課題に取り組んできた。その結果、新造機の機体に対して'93年11月より上塗り塗料（トップコート）のみLow VOC対応

表 2 主要な航空機用塗料の種類と関連規格

	塗 料	規 格	用 途	摘 要
プ ラ イ マ ー	ウォッシュ・プライマー	MIL-C-8514 MIL-P-15328 DMS-1913	機体外装下地用	エッチング・プライマー、軽合金との付着、付与と一次防錆塗膜 ウレタン用のウォッシュ・プライマーもある
	アルキッド・フェノール型 ジンククロメート・プライマー	MIL-P-8585A TT-P-1757	機体内面構造部 機体部品	速乾性、エポキシ・プライマーの出現までは機体外装の主力プライマー
	ラッカー型 ジンククロメート・プライマー	MIL-P-7962	機体内面構造部 機体部品	速乾性、用途はアルキッド型と同じ
	エポキシ・ポリアミド型 プライマー	MIL-P-23377D BMS-10-79 LAC-C-37-1126	機体外装用	付着性が良く、耐油・耐溶剤・耐薬品性に優れ、現在の外装用プライマーの主力
	エポキシ・ポリアミン型 プライマー	BMS-10-11 Type 1 LAC-C-37-1045	機体内面構造部 機体部品	速乾性、基本的には外装用プライマーと特性は変わらない
ト ッ プ コ ー ト	フタル酸 アルキッド・エナメル	MIL-E-7729 TT-E-489 TT-E-529	機体外装・標識	アクリル・ウレタン以前の外装に使用付着・光沢に優れるが、乾燥に時間がかかる
	ニトロセルロース・ラッカー	MIL-L-7178 TT-L-20	機体室内用	速乾・作業性に優れている
	アクリル・ニトロセルロース・ラッカー	MIL-L-19537 MIL-L-19538	機体外装用	速乾性・アクリル樹脂が耐候性に優れる
	エポキシ・ポリアミド・エナメル	MIL-C-22750	機体内面・部品	耐光性に難があり内部用となったが、エポキシ樹脂の特性で塗膜は強靱
	ポリウレタン・エナメル	MIL-C-81773 LAC-C-37-1340B BMS-10-60 Type 1 MIL-C-83286B BMS-10-60 Type 2	機体外装用 機体外装用	硬質タイプ 強靱な塗膜は、耐候性・耐油性に優れ、光沢も良く鮮映性に優れる 軟質タイプ 硬質タイプと同様の特性のほかに、柔軟な塗膜は耐エロージョン性に優れる
そ の 他	シリコーン樹脂エナメル		エンジン部品	300～400℃の耐熱性を要求する部位
	耐酸ラッカーエナメル	TT-L-54	バッテリー格納部	耐酸性（主に希硫酸）を要求する部位
	ウォークウェイ塗料	MIL-W-5044	通路・タラップ	けい砂を混ぜ滑り止めにしたアルキッド塗料
	水性塗料	BMS 10-55B	客室内・壁・天井	エマルジョン塗料、難燃性
	ビニル樹脂エナメル		客室内・壁・天井	塩化ビニル樹脂が主力
	静電防止用塗料		航空機器周辺	コックピット内部、エポキシ樹脂塗料
	CAB ドープ塗料	MIL-D-5549	羽布用	グライダー、ホビー用

* MIL : Military Standards (or Specification) [米軍規格]
TT : Federal Specification [連邦規格]
BMS : Boeing Material Specification [ボーイング社規格]
LAC : Lockheed Process Specification [ロッキード社規格]
DMS : Douglas Material Specification [ダグラス社規格]

表 3 現在のワールドワイドの塗装システム

ヨーロッパシステム	アメリカシステム
ウォッシュ・プライマー	化成皮膜処理
インター・ミディエイト・プライマー	プライマー
トップコート	トップコート

の High Solid Type (顔料など固形分が多い、溶剂量が少ないもの) の塗料に切り替えた。

当社でも機体整備の見地から同様な取り組みを

行い、'94年6月より同様に High Solid Type の塗料を採用した。その後、下塗り塗料 (ウォッシュ・プライマー)、中塗り塗料 (インター・ミディエイト・プライマー) に関しても代替方法を検討し、約1年間の実機トライアルなどを経て表4の新塗装システムを確立した。再塗装の手順は、通常旧塗膜を塗装はく離剤で全面はく離し、腐食状態に応じた防食処理を行う。その後、乾燥・塗装養生した後塗装の段階に入るが、塗装方法は一般

図2 一般的な機体外装塗装手順

表4 新塗装システム

下地処理	ウォッシュプライマーに代えて化成皮膜処理（アロジン1200S）を採用
中塗り	クロメートタイプ・プライマーに代えてノンクロメートタイプ・プライマー*を採用
上塗り	Low Solid Type 塗料に代えて High Solid Type 塗料を採用

*クロム系化合物を含有しない系統の中塗りプライマー（非含有クロム系化合物タイプ）

的にはスプレー方式を採用し、塗布個所に応じてローラー方式も併用している。機体外装塗装の主力はエアースプレー・エアレススプレーなどの噴霧式塗装で、立体形状における仕上がり外観の均一性に適している。

現在の塗装システムは2液反応型のポリウレタン樹脂など塗料が主流であり、そのため、塗料の混合比率・粘度調整・熟成時間並びに温度・湿度の塗装条件の確保が重要な要素となっており、塗膜の品質に影響を与える結果となる。

一般的な機体外装の塗装手順を図2、機体の塗

装作業・場所を図3に示している。

5. 品質検査について

航空機の機体外装塗装システムの品質検査はボーイング社などの技術基準（BMS 10-72）に定められており、特に新たに導入する塗装システムは、原則として航空機メーカーの規格（25の試験項目）*1を満足していなければ採用できない体制となっている。例えば、塗料メーカーで開発した新塗料を航空会社が採用する場合は、原則として以下の手順を踏んだ上で導入している。

① 塗料メーカーにて航空機メーカーの規格に定

*1 代表的な試験項目は以下の通りである。

- (1) 耐水性試験
- (2) 腐食試験（塩水噴霧試験および糸状腐食試験）
- (3) 密着性試験
- (4) 耐候性試験
- (5) 耐衝撃性試験

図3 塗装作業・場所

- められた試験を実施し、すべて満足しているデータを提出してもらう。
- ② 当社でも試験片を使用し、腐食試験などの主要な試験項目を実施し、規格を満足することを合わせて確認する。
 - ③ 新塗料の作業性を確認するため、旧機体の一部を利用したモックアップと称する試験台にて塗布作業を行い、だれ、わきなどの確認も合わせて実施する。
 - ④ 塗装は塗布場所の温度・湿度条件により差が生じるため、機体への採用にあたっては夏期および冬期の期間に実機を使用したトライアル（実機トライアルと称する）を行い、品質および作業性を最終確認する。
 - ⑤ 実機トライアルの結果を評価し、導入の可否を決定する。

6. 今後の取り組み

従来の航空機用塗料には、比較的多量の有機溶剤が含まれていたが、地球環境保護、作業環境並びに火災危険の見地から好ましくないと考えられていた。特に、米国では塗料に含まれる揮発性有機化合物（VOC）が太陽光の下で、窒素化合物と反応してオゾンやスモッグを生成すると判定し、'91年7月1日よりVOCを規制する航空機用塗料

規制である「Rule 1124」の強化策が打ち出された。この「Rule 1124」は航空機用塗料として使用されるものに対して、製品中の揮発性有機化合物の最大量を規制しているものである。具体的なVOC規制値は、プライマーで350Gram/Litter未満、トップコートで420Gram/Litter未満と規定している。

そのため、航空機メーカーおよび塗料メーカーでは航空機用塗料として優れた耐久性と使用特性を維持しつつ、VOC規制に対応する塗料の開発が積極的に行われ、High Solid Typeの塗料が誕生する状況となった。

さらに、米国では航空宇宙製造業および関連の修理工場に関して、'98年9月1日から有害大気汚染物質規制（NESHAP National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants）の発効を予定しており、施行された場合は影響が大きく、特にプライマーに含まれるクロム系物質などの防錆顔料が使用不可となる。そのため、当社ではボーイング社より先行する形で前述した新塗装システムを開発し、実機にて採用してきているが、未だ完全に確立したとは言えずさらに検討を重ねる必要がある。また、揮発性有機化合物と有害大気汚染物質の規制を考慮したさらに新しい塗装システム（化成皮膜処理が不要で、かつクロムなどの有害物質の含まないプライマー）の検討

が急務となっている。

7. おわりに

航空機用塗料と機体外装塗装システムの現状と今後の取り組みについて、その一旦を紹介してきた。将来の問題点を含めて、塗料に求められる課題は多い。また、航空機の塗装作業は、現在でも多くの労力がさかれており、その効率化の一助として寿命の長い塗装システムの開発、さらに塗装作業上の安全・衛生面から非有害汚染物質化や水性塗料化の検討も必要とされる。

以上の状況から考えると航空機の機体外板防食

に関して、究極は塗装などの防食処理が不要な方法を検討すべきと思われる。

(1997-12-15 受理)

文 献

- 1) 桜庭寿彦 ; 「塗料はこうしてつくられる」 塗装技術 (1985年増刊号)
- 2) 奥田 裕 ; 「アルミの表面処理と塗装の科学的考察」 塗装技術, (1) (1988)
- 3) 浅井 渡 ; 「航空機の防食処理」 金属, (7) (1986)
- 4) BMS 10-72 ; 「Boeing Material Specification」, 1997年2月27日 - Exterior Decorative Paint System -