

NSX用オールアルミニウムボディの 表面処理・塗装技術

Pretreatment and Painting Technology for All Aluminum Body of NSX

小松 泰典*

Yasunori Komatsu

鈴木 英治*

Eiji Suzuki

宮崎 勝男*

Katsuo Miyazaki

西野 俊哉*

Toshiya Nishino

要 旨

NSXは、軽量化及び長期耐久品質の確保を目的として、オールアルミニウムボディが適用されたが、オールアルミニウムボディの量産を実現するためには、その表面処理・塗装技術を開発しなければならなかった。本報では、アルミニウムボディの内外板の防錆技術と、車格にふさわしい高外観品質を得るための塗装技術について述べる。

アルミニウムボディに特有の腐食として、主に糸状腐食と電位差腐食の2つが挙げられる。これらの問題を解決するため、前者に対しては耐糸錆性に優れた外板用6000系アルミニウム合金の開発と、クロム酸クロメート処理の採用による防錆技術の確立を行い、後者に対してはダクロ処理を中心とした電位差腐食防止を行った。

高外観品質を得るためには、水性ベースコートを含む、5コート4ベーク塗装システムを開発した。特に、水性ベースコートの採用により、高外観品質の実現に加えて、EPA（米国環境保護庁）の定める溶剤規制への適合も可能とした。

ABSTRACT

In the case of the NSX, an all aluminum body was developed in order to create a lightweight vehicle with long-term durability. To produce this all aluminum body, it was necessary that pretreatment and painting technologies be developed. This paper describes the development of the rust prevention technology for the aluminum inner and outer panels and the associated painting process designed to achieve the high quality finish which a car in its class demands.

The two major corrosion problems for an aluminum body are filiform corrosion and galvanic corrosion. To solve the first problem, a 6000 series aluminum alloy was developed which had good filiform corrosion resistance properties followed by application of chromium chromate as a pretreatment for the aluminum body. For the second problem, Dacro-coating was used as a preventative means.

A 5-coat 4-bake painting process including a water-borne base coat process was established to meet high quality appearance requirements. The water-borne base coat system was especially useful in achieving high quality appearance while satisfying the VOC limitations established by the Environment Protection Agency.

1. はじめに

NSXは車体およびシャーシ部品の多くをアルミニウム化することにより大幅な軽量化が図られている。

一般にアルミニウムは鉄に比べて耐食性が良いと考えられているが、アルミニウムの特徴的な問題として、塗膜下の糸状腐食（糸錆）や異種金属（主に鉄）との接触部の電位差腐食等があり、これ

らの問題を種々の表面処理技術により解決した。一方、高級外観品質を得るために塗装プロセスには独自の水性ベースコート技術が導入された。

本報では以下の項目を中心に報告する。

(1) オールアルミニウムボディの長期品質保持のための表面処理技術

①表面錆防止技術としての新前処理法

②異種金属部品及びゴム部品との締結部に

* 栃木研究所

表1 NSXに使用されたアルミニウム材とその目的

ボ デ ィ 部 位	材 料 の 種 類	主 目 的
パネルアウター	6000系開発材料	高成形性・高耐食性
パネルインナー	5052-0	高成形性・高耐食性
骨 格	5182-0	高強度・高溶接性
サイドシル	6000系開発押出し材料	高押出し性・高溶接性

おける電位差腐食防止技術

- (2) 高級スポーツカーにふさわしい水性ベースコートを用いた高外観品質塗装技術

2. アルミニウムボディに求められる防 錆 技 術

NSXのボディに使用されたアルミニウム材料の種類と主目的を表1に示す。

アルミニウムボディの防錆に対する考え方は鋼板ボディと同様、車として寿命を長く保つことであるが、オールアルミニウムボディを開発する上では次のような問題点があった。

- (1) 表面錆
- ・前処理不十分による塗膜密着不良
 - ・チッピング等の塗膜傷付き部及びエッジ部からの糸錆の広がり(図1)
 - ・外装部品との電位差腐食による塗膜膨れ
- (2) 穴あき錆
- ・異種金属締結部廻りの電位差腐食による穴あき
 - ・板合わせ部の孔食

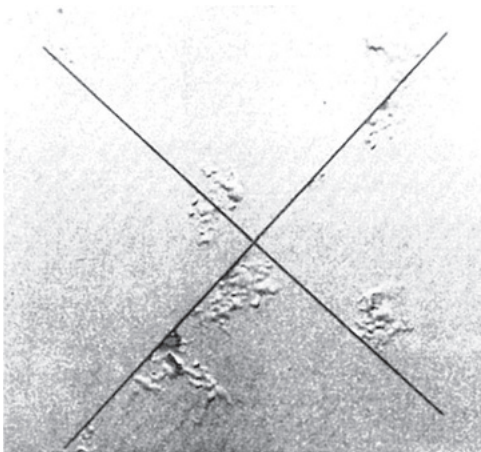


図1 塗膜傷付きからの糸錆の広がり

- (3) 錆による機能劣化

- ・サスペンションの締結部電位差腐食
- ・ヒンジ部の締結部電位差腐食(図2)
- ・アース部の締結部電位差腐食
- ・ゴムの締結部電位差腐食

したがって、これらの問題点を解決することによりオールアルミニウムボディの実用化が可能となった。



図2 ヒンジ部の締結部電位差腐食

3. 前 処 理 シ ス テ ム

3.1. 前処理方法の選択

アルミニウム表面処理方法については、陽極酸化法、化学処理法が挙げられるが、ドアヒンジ等の鉄部品を締結されたアルミニウムボディにおいては、陽極酸化法は適さず、化学皮膜法を選んだ。

化学皮膜法として従来鋼板ボディに用いられているリン酸亜鉛法をはじめとして、クロム酸クロメート法、リン酸クロメート法、ノンクロム法を検討した。その塗膜性能結果を表2に示す。

リン酸亜鉛法においては、アルミニウムを処理した場合、表面よりエッチングされたアルミニウム

表2 化学皮膜法に対する塗膜性能

◎ 優 ○ 良 × 不良

テスト項目	アルミニウム素材	5000系アルミニウム合金				6000系アルミニウム合金				テスト評価内容
	化成皮膜	リン酸亜鉛	リン酸クロメート	クロム酸クロメート	ノンクロム	リン酸亜鉛	リン酸クロメート	クロム酸クロメート	ノンクロム	
	塗装	厚膜カチオン電着＋中塗り＋上塗り								
①耐水性		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	ゴバン目カット部をテープ剥離した時の塗膜残存状況
②耐湿性		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
③耐塩温水性		○	○	○	×	○	○	◎	×	カット部からの錆広がり
④耐糸錆性		×	○	◎	○	×	×	×	×	
⑤塩水噴霧試験		◎	◎	◎	◎	×	×	○	×	
⑥複合腐食試験		◎	○	◎	○	○	×	○	×	

主要元素	Cu	Mg	Si	Fe	Mn
5000系アルミニウム合金	0.15以下	4.0~5.0	0.2以下	0.35以下	0.2~0.5
6000系アルミニウム合金	0.27	0.45	1.70	0.17	0.17

ムがイオンとなって処理液中に溶解込み、このアルミニウムイオン (Al^{3+}) が蓄積されて濃度が高くなるにつれて、アルミニウム上の化成皮膜が形成しにくくなる。また、同様に鉄部品の化成性も

損なわれる。その理由は、溶存アルミニウムイオンが処理液中のフッ素と錯体化することによりフッ素のエッチング力が低下し、素材表面のpH上昇が十分行われないためと推定される。図3にリン

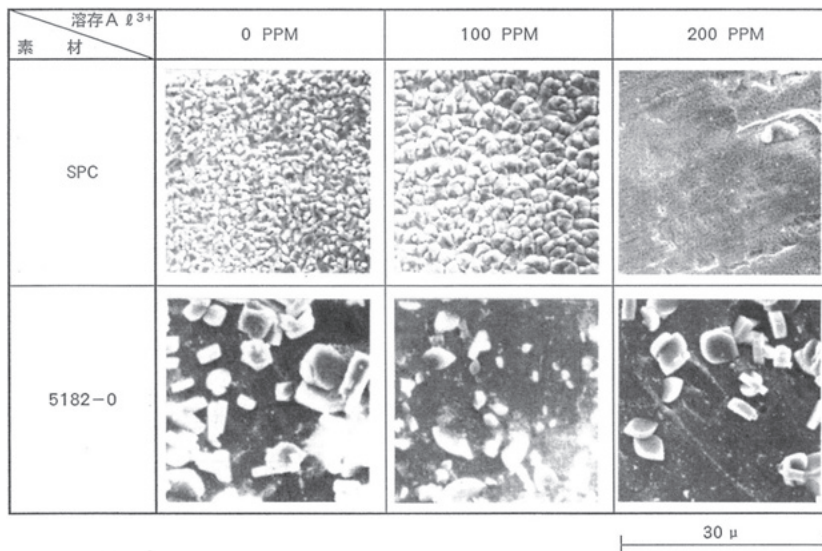


図3 リン酸亜鉛法における蓄積アルミニウムイオンの影響

酸亜鉛法における蓄積アルミニウムイオンの影響を示す。したがって、リン酸亜鉛法を除いたクロム酸クロメート法・リン酸クロメート法・及びノンクロム法の内、塗膜性能面から、クロム酸クロメート法を選定した。

3.2. クロム酸クロメート処理

(1) 脱脂剤の選定

アルミニウム材料の表面には自然酸化膜、微量不純物偏析層、圧延油およびプレス油の残存、さらには溶接時の表面汚染物が存在する。これらが塗膜密着性不良を引き起こす要因となる。したがって、健全なクロメート皮膜を得るためには、脱脂剤としては油分の除去性能のみならず、適度にアルミニウム材の表面をエッチングする性能が要求される。

そこで、脱脂剤とCr付着量の関係、脱脂剤と耐

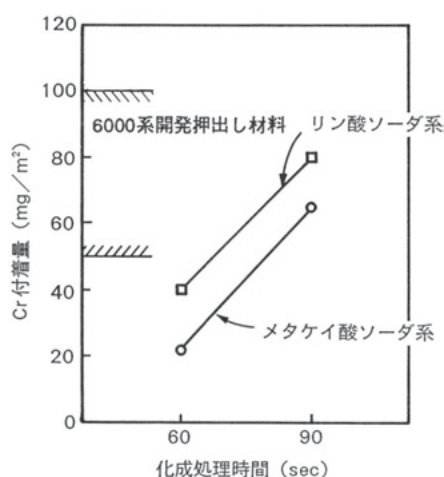


図4 脱脂剤とCr付着量の関係

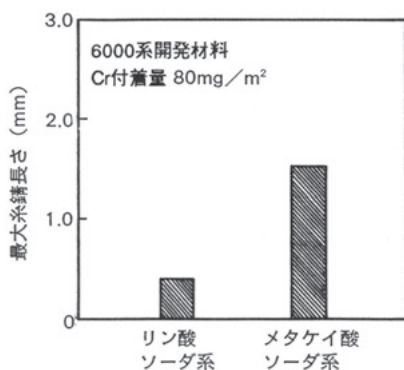


図5 脱脂剤と耐糸錆性の関係

糸錆性の関係を調べた。結果を図4、図5に示す。ここでは、エッチング力の比較的強い脱脂剤としてリン酸ソーダ系を、エッチング力の比較的弱い脱脂剤としてメタケイ酸ソーダ系を例にあげた。図4からは、同一クロメート処理時間では、リン酸ソーダ系脱脂後の方がCr付着量が多いことがわかる。図5からは、同一Cr付着量であっても、リン酸ソーダ系脱脂後の方が耐糸錆性に優れた皮膜が得られることがわかる。

次に、脱脂剤の劣化についても考察した。図6は、エッチングにより脱脂浴中に溶出し、蓄積する溶存アルミニウムイオン量とその脱脂剤のエッチング性能（アルミニウム材のエッチング量）の関係を示したものである。溶存アルミニウムイオンが増加するに従ってエッチング量が減少し、脱脂性能が低下することが明らかになった。また、5000系合金の中でも5182-0材は5052-0材よりエッチングされにくいことが明らかになった。

これらの結果から、エッチング力を確保しやすいリン酸ソーダ系脱脂剤を選定し、かつ蓄積アルミニウムイオン量を管理している。

(2) クロメート処理条件

選定したリン酸ソーダ系脱脂剤、クロム酸クロメート処理剤を用いて、液温、液濃度、処理時間等を同一にして処理しても、アルミニウム材料の製造加工条件や成分系によりCr付着量に差異が生じる。このため各アルミニウム材料について、ク

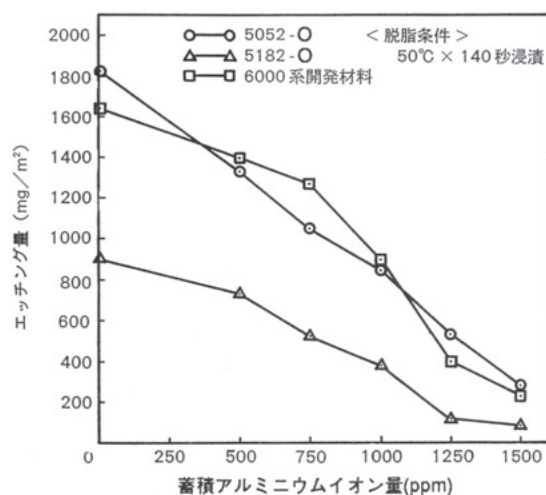


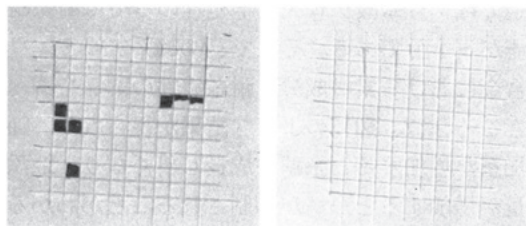
図6 蓄積アルミニウムイオンと脱脂剤のエッチング性能

ロメート処理液濃度とCr付着量の関係、クロメート処理時間とCr付着量の関係を調べ、いずれのアルミニウム材料にも十分なクロメート皮膜が形成される条件範囲を設定した。図7、図8にこれらの試験結果の一部を示す。

次に、Cr付着量が同一になるようクロメート処理液のCr濃度と処理時間を変えて、クロメート皮膜上の塗膜密着性についてテストを行った。その結果、図9に示すように高Cr濃度－短時間処理に比べ、低Cr濃度－長時間処理の方が密着性に優れることがわかった。

これにより素地エッチング状態に違いがあると考え、グロー放電発光分析(GDS)を行ったところ図10に示すようなディプスプロファイルが得られた。処理時間50秒に比べ、90秒の方がCrの層が厚く、アルミニウム素地のチャートがブロードになることから、図11のようなモデル図を予測

している。このことより、低Cr濃度－長時間処理によるCr付着量管理とした。



(1) 高Cr濃度で短時間処理 (2) 低Cr濃度で長時間処理

図9 Cr濃度・処理時間に対する塗膜密着性

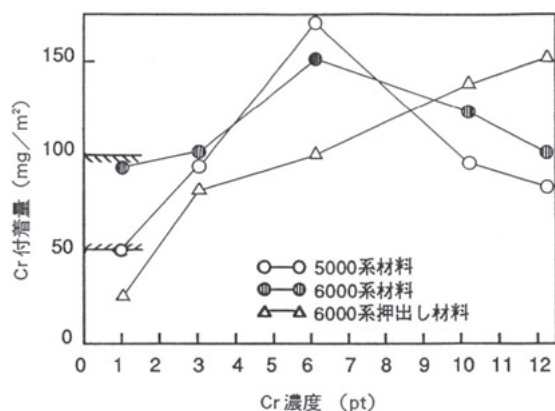


図7 Cr濃度とCr付着量

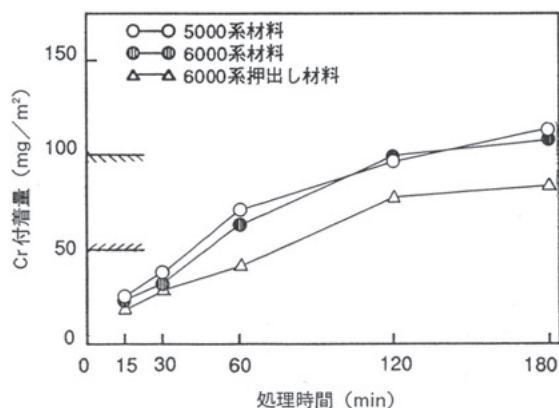


図8 処理時間とCr付着量

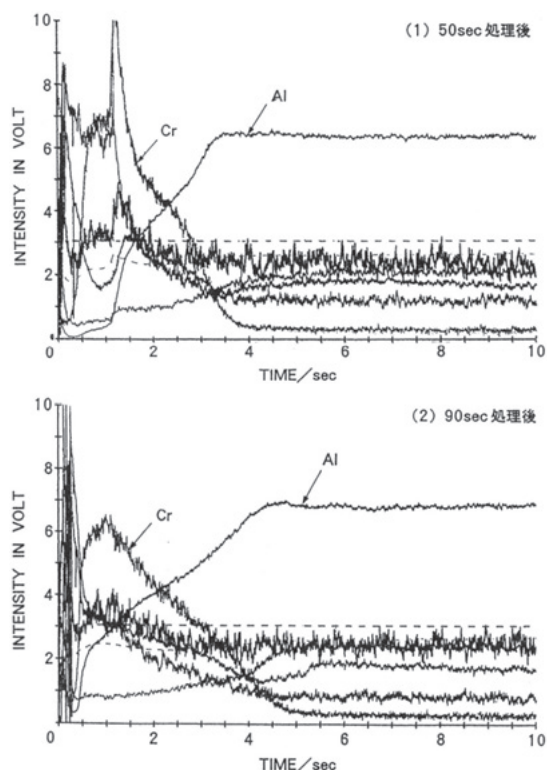
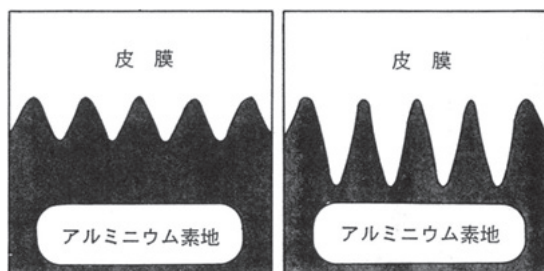


図10 クロメート皮膜のディプスプロファイル



(1) 50sec化成処理後

(2) 90sec化成処理後

図11 クロメート皮膜のモデル図

4. パネルアウター材料の耐糸錆性改良

表2に見られるように、6000系アルミニウム合金ではクロム酸クロメート処理のみでは耐糸錆性能が不十分である。そこで、6000系アルミニウム合金における素材成分と耐糸錆性の関係を調べたところ図12、図13のような結果が得られた。Cu添加量が増加すると糸錆が成長し易くなり、Mg添加量が増加すると糸錆が抑制されることがわかる。

これらのことからCu添加量を低減し、それに応じてMg添加量や添加合金元素を調整することで成形性と耐糸錆性に優れた合金を開発し外板適用を可能とした。

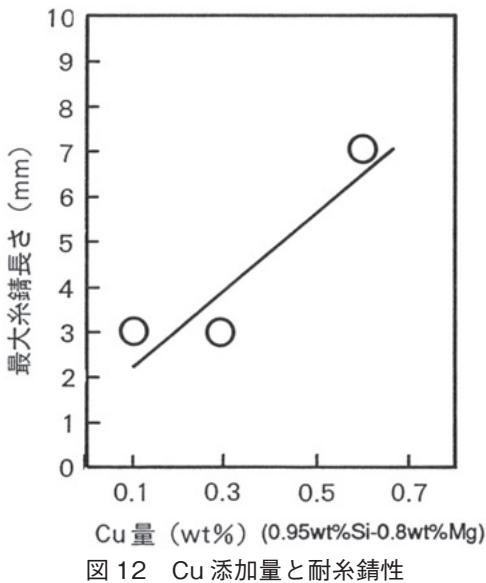


図12 Cu添加量と耐糸錆性

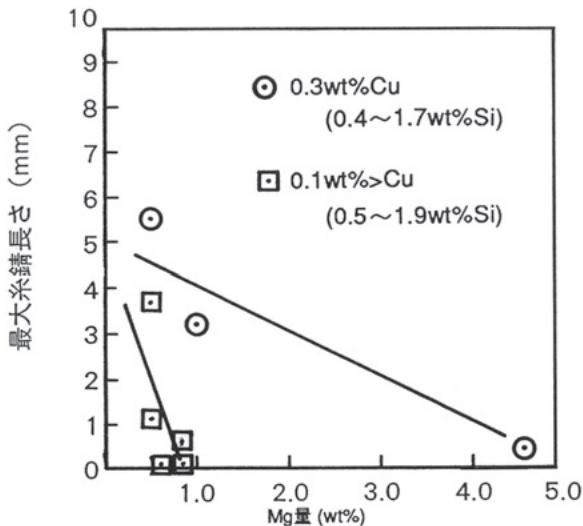


図13 Mg添加量と耐糸錆性

5. 電位差腐食防止技術

5.1. 鉄部品との電位差腐食防止技術

アルミニウム材料の電位差腐食防止技術として下記が挙げられる。

- ①異種金属の接触を避ける
- ②異種金属の締結がある場合は
 - ・腐食環境にならないようにする
 - ・異種金属間に絶縁物を介在させる
 - ・アルミニウム材料より電位の卑な金属によって犠牲防食させる。

実際の自動車のボディは強度面から鉄部品を使用せざるを得ない部位がドアヒンジ等各所にある。アルミニウム材料の表面処理のみでは無処理の鉄部品との電位差腐食を防止できない。したがって鉄側の表面処理を中心に電位差腐食の防止技術を検討した。防錆力の評価は塩水噴霧試験に湿潤及び乾燥条件を組み合わせた複合腐食試験法を用いた。テストパネルは図14に示す形状とし、ボルト廻りのアルミニウム材料の板厚減少を測定した結果を同図に示した。

鉄の表面処理としてダクロ皮膜 (Zn、Al フレーク及びクロム酸バインダーからなる皮膜)、Zn-Niめっき上のSi系有機皮膜、合金化溶融亜鉛めっき鋼板上のカチオン電着塗装が電位差腐食防止に優れていることが見いだされた。ダクロ皮膜については皮膜中のクロム酸が亜鉛の犠牲防食反応の速度を抑制する働きがあり、従来の亜鉛めっき (有色クロメート) よりも長時間の防錆効果が得られた。アルミニウム材料と亜鉛めっき及びダクロ皮膜を組み合わせた部位を想定し、定電位電解試験を行い、電流-時間変化を測定した結果を

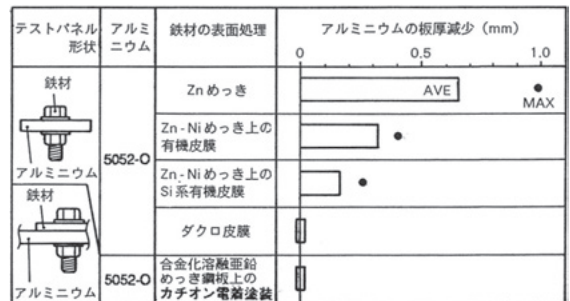


図14 表面処理による電位差腐食防止効果

図 15 に示す。このグラフから、ダクロ皮膜は亜鉛めっきに比べて溶出速度が遅く犠牲防食機能が長時間保持されることがわかる。

5.2. アース部の電位差腐食防止技術

自動車には鉄以外にも多種の材質が用いられているがアルミニウムボディを電位差腐食によって腐食させるものとして、黄銅、ゴムが挙げられる。黄銅は電装部品のアース端子に用いられており重要な機能を果たしているが、電位的には鉄よりさらに貴な方向にあるためアルミニウムの電位差腐食をより促進する可能性がある。従って NSX においては図 16 の様な構造をもったアースを適用することによって電位差腐食を防止した。

5.3. ゴム部品との電位差腐食防止技術

ゴムは、一般的に絶縁物と考えられているが、

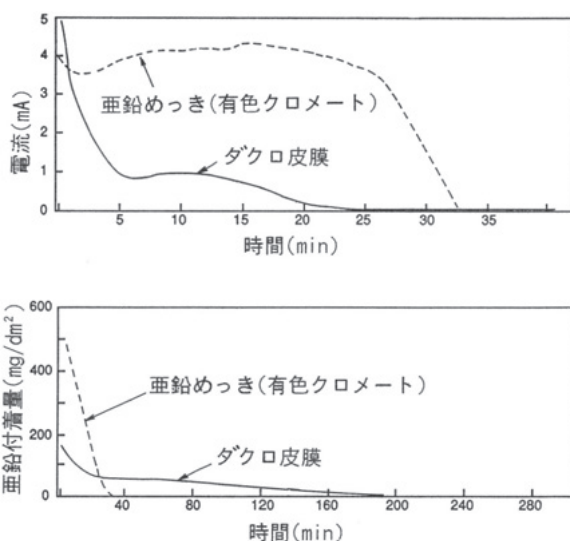


図 15 ダクロ皮膜の犠牲防食効果

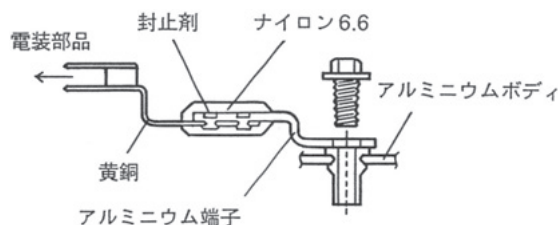


図 16 アース部の断面図

材質によってはアルミニウム材料を選択的に腐食させるため、ゴム材料構成成分別にアルミニウム材料への腐食性を確認した。その結果、次の構成成分の影響が大きいことが見いだされた。

- ①補強剤としてのカーボン
- ②加硫促進剤としての金属有機化合物
- ③脱水剤としての酸化カルシウム

特に影響の大きかったカーボンについては、一種の電位差腐食と考えられる。ゴム中のカーボン量と電気抵抗及びアルミニウム材料の電位差腐食発生有無を調べた結果を図 17 に示す。カーボン量を減らし電気抵抗を上げることにより電位差腐食防止の効果が得られることがわかる。

6. 水性ベースコート塗料による外観品質向上

6.1. 高外観品質塗装技術

塗装による外観品質は一般にツヤ感、肉持ち感、平滑性、深み感などで表現されるように多くの因子が複合的に絡み合った品質である。それらは素材及び塗料の材料特性や塗装設備、塗装条件などに左右される。

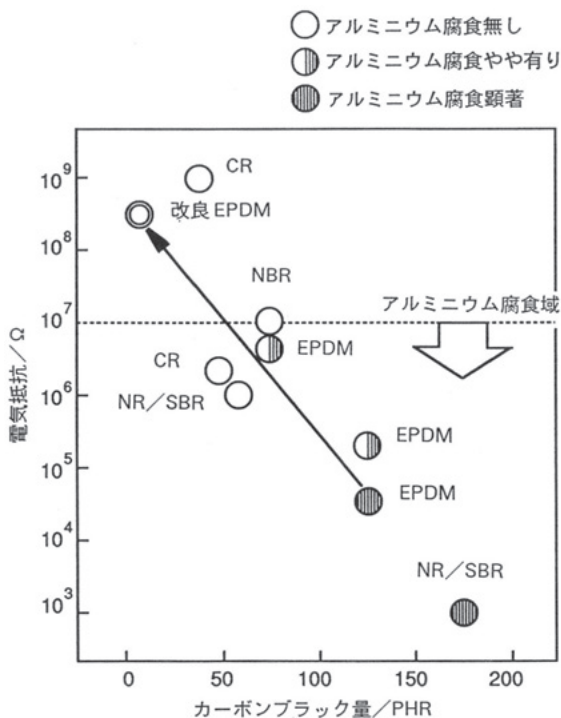


図 17 ゴムの電気抵抗値と電位差腐食

この外観品質を向上させるため、NSXには次の技術を取り入れた。

- ①第一中塗り工程での100%の水研ぎ
- ②上塗り工程での2液ウレタンクリヤー
- ③更に新技術として上塗り工程での高外観品質
 - ・低公害性の水性ベースコート

ここでは、この高外観品質の得られる水性ベースコートを中心に述べることにする。

6.2. 塗膜肌の平滑性向上

NSXで採用した水性ベースコートは、アクリルエマルジョンを主体とした高チクソトロピックタイプの塗料である。従来の溶剤型ベースコートの塗膜肌に比較すると表面粗度が明らかに向上しており、最終外観品質の平滑性に大きく寄与している。図18にそのベースコート塗膜肌の比較を示す。

また、図19では各工程の塗膜面の平滑性を三次元面粗度で示した。図18、19に見られるようにNSXの塗膜表面の平滑性の良さが判る。

6.3. メタリック色の白さ感の向上

メタリック塗装には、明るさ、方向性(フリップフロップ性)といった外観表現があるが、これ

らはベースコート中のアルミニウム顔料の種類及び配列により大きく影響される特性である。

アルミニウム顔料の配列を向上させる手法としては、ボディに塗着したベースコート塗膜の乾燥時の体積収縮率を大きくすることが挙げられる。水性ベースコートは溶剤型ベースコートに比べ、この特性に著しく優れる。図20に、この特性比較の模式図を示す。

また、図21にはレーザー変角光沢計(ALCOPE LMR-100)を用いて測定したシルバーメタリックの白さ感表示値(IV値)を示す。水性ベースコートは乾燥工程時に塗膜が大きな体積収縮を起こし、

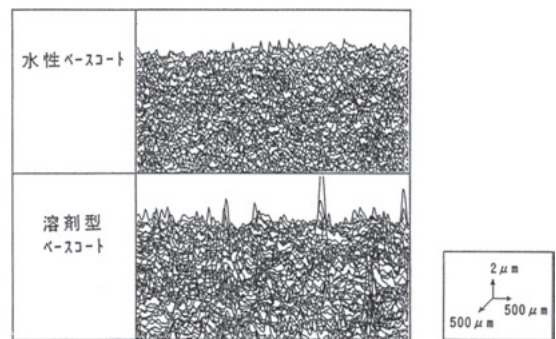


図18 ベースコート塗膜肌比較

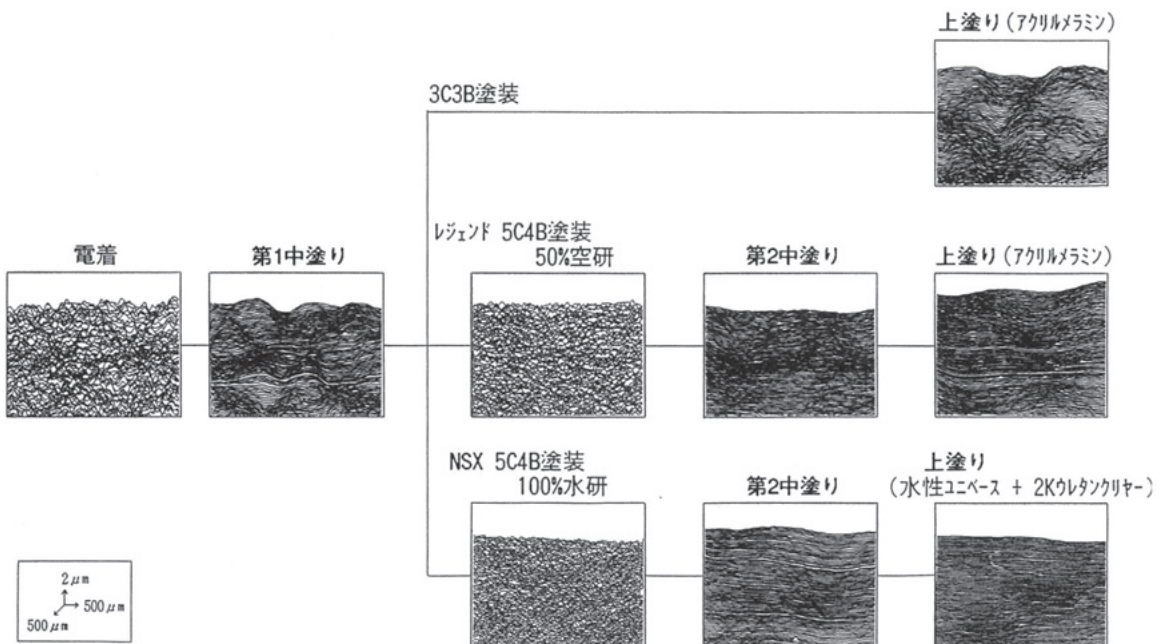


図19 各塗装工程における塗膜肌の表面粗度

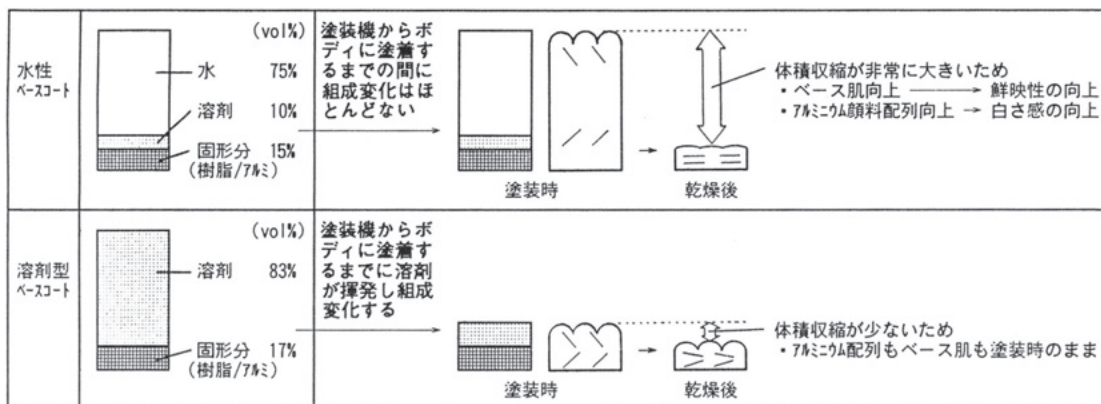


図 20 体積収縮による外観品質向上の模式図

アルミニウム顔料の配列を向上させることにより、白さ感を増していることが判る。

6.4. 高外観品質を与えるための塗料粘度特性

水性ベースコートにより高外観を達成した要因のひとつにレオロジーコントロール技術がある。

本水性ベースコートは高体積収縮を得るために100 μ m以上のウェット状態の塗着膜厚でもタレないことが必要である。そのため塗料状態で極めて高粘度で、高チクソトロピックなエマルジョン塗料とした。

さらにこの塗料は塗装霧化時に構造粘度がぐずれ粘度低下することで微粒化を向上させる。また、ボディ塗着後に急激に増粘することでアルミニウム顔料の流動を押え塗料のタレを防いでいる。この最適なチクソトロピー性能の制御技術なしには高外観品質は得られない。図 22 には溶剤型ベース

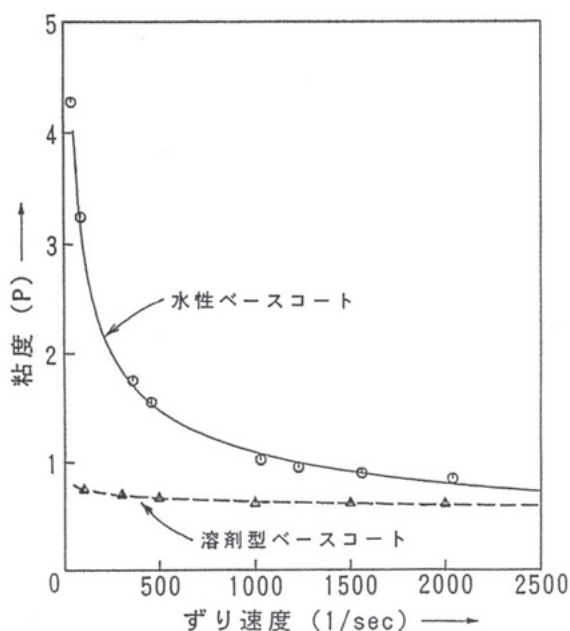


図 22 粘度特性比較

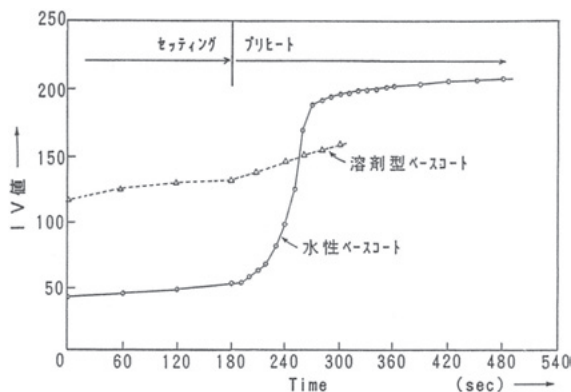


図 21 乾燥工程時の白さ感変化

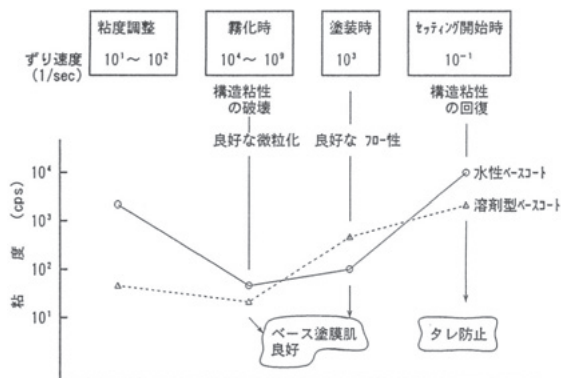


図 23 水性ベースコートの粘度挙動

コートとの粘度特性の違いを示し、図 23 には塗料からボディ塗着後セッティングまでの粘度挙動を示す。このように水性ベースコートは溶剤型ベースコートに比べ、構造粘性特性に優れていることが判る。

6.5. 塗装ブース内の温湿度コントロール幅の拡大

一般に水性塗料は塗装されるブース内の湿度に影響されやすい。高湿度のもとではウェット状態の塗膜中の水分の揮発が抑制され、フロー性が良くなる反面、塗料のタレやアルミムラの欠点を生じやすい。逆に低湿度では水分の揮発が速く、肌荒れなどを起こしやすい。

本水性ベースコートは、湿度コントロールのための設備対応のむずかしい高湿度域で、塗料のタレ、アルミムラに起因する外観品質低下の問題に対し、メラミン樹脂を水溶性ではなく分散型とすることで解決した。図 24 に水性ベースコートの塗装ブース内の温湿度条件と白さ感 (IV 値) 及び鮮映性 (PGD 値) のマップを示す。

6.6. 最適な塗装機の選定

水性ベースコートは高粘度、高チクソトロピックな塗料であるため、塗装機としては良好な微粒化が得られるものでなければならない。塗料の微粒化、塗着効率を考えた場合、ベルによる静電塗装が適している。反面、外観品質重視の観点では

エアスプレーが適している。

今回、NSXのシステムでは少量生産でかつ外観品質を重視することからエアスプレーを選定した。

また、US EPA の排出溶剤規制の厳しい、米国イーストリバティー工場には、図 25 に示すベル／エアの方式が導入されている。図 26 には、その外部印加型ベルの写真を示す。

6.7. 最適プリヒート条件

水性ベースコートはプリヒートと呼ばれる工程でクリヤー塗布前にボディに塗着した塗膜中の水分を蒸発させることが必要である。この工程を設けないと、クリヤー塗布後の焼付時にピンホール、ワキ、ハジキなどの欠陥を生じる。これらの問題

塗装機	1st ステージ	ベル静電塗装	エアスプレー	ベル静電塗装
	2nd ステージ	ベル静電塗装	エアスプレー	エアスプレー
外 観				
塗着効率 (%)	約 80 約 30 約 45			
	外観が黒くなる NSX適用 大量生産適用			

図 25 塗装機条件の選定

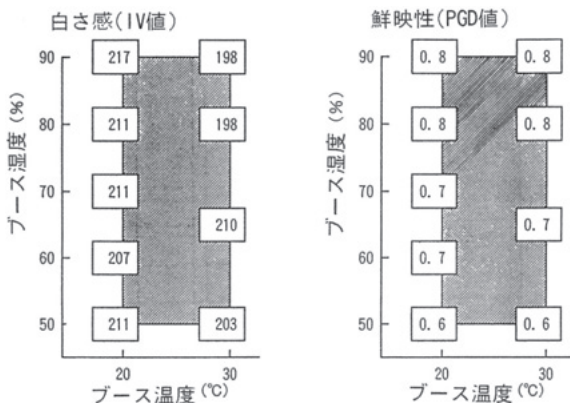


図 24 外観品質とブース内温湿度

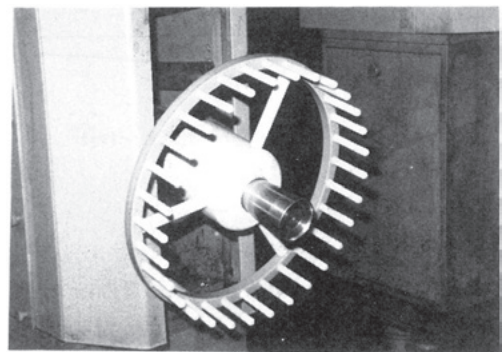


図 26 外部印加型ベル (Behr 社)

を生じさせないためには、比熱が大きく蒸発しにくい水分を強制的に乾燥する必要がある。

図 27 にはホットエアブロー及び I R ヒータによる乾燥テスト結果を示す。ホットエアブローでは

温度均一性は良好であるが昇温に時間がかかり、処理時間が長くなる。I R ヒータでは昇温は速いが照射面をはずれると極端に乾燥性が低下する。

N S X においては少量生産であるため温度均一

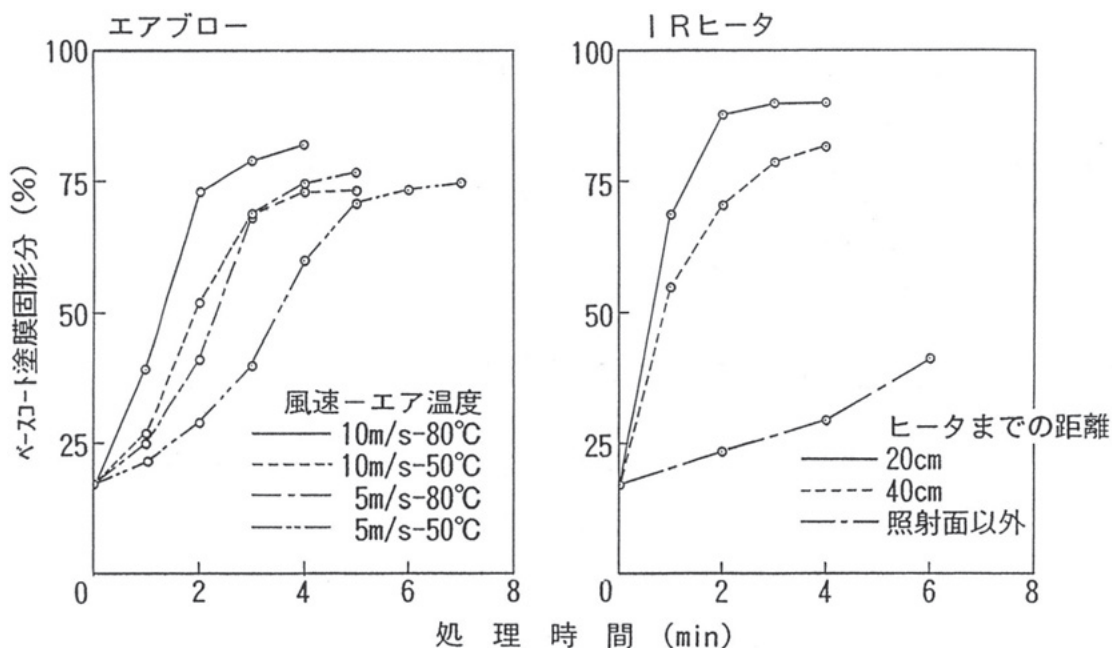


図 27 プリヒート条件設定テスト

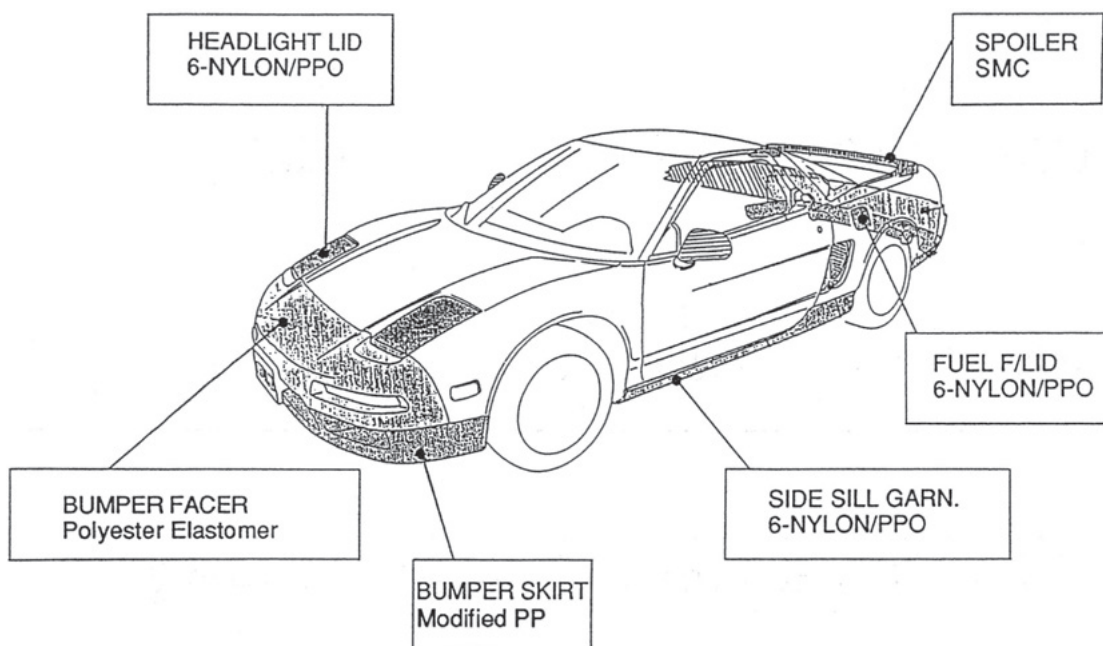


図 28 N S X における適用樹脂

性に重点を置き、ホットエアブローを選択した。
大量生産にはIRヒータ+ホットエアブローの併
用方式が最適で、米国イーストリバティー工場に
はこのシステムが採用されている。

6.8. アルミニウムボディと樹脂部品の一体 塗装

NSXは軽量化のためオールアルミニウムボ
ディを採用しているが、エアロダイナミックなデザ

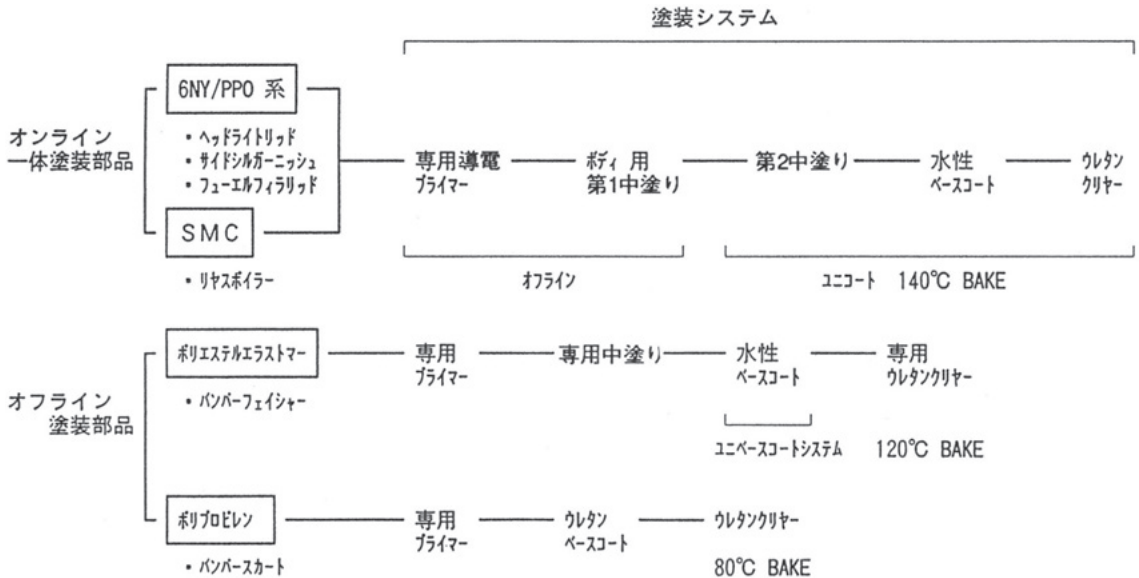


図 29 NSXにおける一体塗装システム

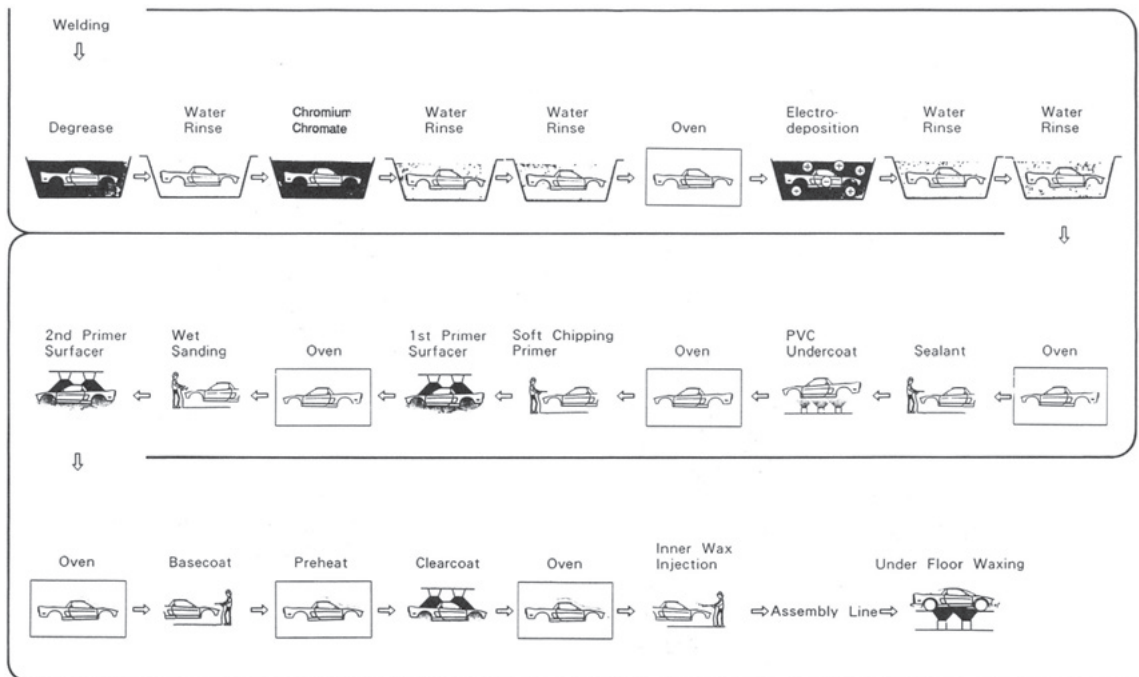


図 30 NSXの塗装工程

インを成立させるためいくつかの部品に各種の樹脂が採用されている。図 28 にその部品と材料の種類を示す。

図 29 に示すように、色合わせを必要とする部品には、高耐熱樹脂材料を適用し、その素材の種類に応じた一体塗装システムが採用されている。

7. 結 論

(1) アルミニウムボディの前処理システム

- オールアルミニウムボディとしての前処理方法はクロム酸クロメート処理を選定した。
- 脱脂剤は Cr 付着量確保と耐糸錆性からリン酸ソーダ系とした。
- Cr 付着量についてはアルミニウム材料の表面状態、成分系により差異を生じるため、Cr 濃度、温度、処理時間の最適条件範囲を設定した。
- 塗膜密着性の観点からクロメート処理は低 Cr 濃度で長時間処理条件を設定した。

(2) パネルアウター材料の耐糸錆性改良

- 6000 系アルミニウム合金における耐糸錆性は Cu 添加量を低減し、Mg 添加量等を調整すれば良好となる。

(3) 電位差腐食防止技術

- 鉄の表面処理としてダクロ処理が良好な電位差腐食防止となる。
- ゴム材料も電位差腐食を引き起こすことを見い出した。それはゴム材料中のカーボン量調節によって解決できた。

(4) 高外観品質塗装技術

- 乾燥時の大きな体積収縮特性を持つ水性ベースコートにより、塗膜肌の平滑性及びメタリックの白さ感を向上させた。
- 高チクソトロピックなエマルジョン塗料技術により、タレなどの生じない安定した塗装作業性を実現した。

以上の結果より構成された塗装ラインを図 30 に示す。

■ 著 者 ■



小 松 泰 典



鈴 木 英 治



宮 崎 勝 男



西 野 俊 哉