



## Abstract

In 2018, Yamaha Motor began production of white outboard motors, in addition to the existing gray color. This white color is achieved via the intermediate coating, but heavier application of paint is required compared to the gray color. As a result, the rate of paint rejects and the intermediate coating time increased, leading to decreased productivity. To address this issue, the coating system was revised, changing the previous method of achieving coloring through one intermediate coating to achieving coloring via two coatings: one base coat and one intermediate coat, and using a primer (base coat) close to the intermediate coating color. The revised specification enabled the intermediate coatings to be thinner, reduced paint rejects, and shortened painting time. This report introduces the initiatives taken as part of the revised coating specification.

## 1 はじめに

ヤマハ発動機では、2018年に既存のグレー色に加え、白色の船外機生産を開始した。この白色は中塗り塗装にて具現化されるが、グレー色と比較した場合、厚く塗り込む必要がある。その結果、塗装不良率および中塗り塗装時間が増加し、生産性の低下を招いた。

その対策として、従来は「中塗り1コートで発色」させていたところを、下地となるプライマー（下塗り塗装）を中塗り塗装色に近づけて「下塗りおよび中塗りの2コートで発色」させる塗装仕様に変更することで、中塗り塗装の薄膜化を図り、塗装不良の低減および塗装時間の短縮に取り組んだ。本稿ではこの取り組みについて紹介する。

## 2 開発の狙い

### 2-1. 現状の問題点

今回対象とした塗装ラインでは、凹凸のある複雑な形状をもつ船外機のアルミ部品に溶剤型塗料の吹付塗装をしている。

その塗膜構成は、下塗り塗装[プライマー]、中塗り塗装[ベース]、上塗り塗装[クリア]の3コートから成る。この時、塗装色を決定づける中塗りの膜厚が薄いと下塗りの色が透けて見えるスケ不良を起こす。また、中塗りの膜厚が厚すぎると塗膜が垂れるタレ不良、あるいは塗膜表面が半乾きの状態で溶剤が蒸発し、ぶつぶつと鳥肌状の塗装外観となるワキ不良が起こりやすくなる。つまり、中塗りの膜厚が薄すぎても厚すぎても塗装不良が発生する。

今回、船外機の外観色として新たに追加された白塗装の特徴の一つは、光の透過性が高いことである。光の透過性が高くなると、下地の色を覆い隠すのに必要な膜厚(隠蔽膜厚)は厚くなる(図1)。そのため、生産展開した白塗装は、グレー塗装と比較して3倍近く必要となり、スケ・タレ・ワキ不良が発生することのない膜厚管理幅が格段に狭くなった(図2)。

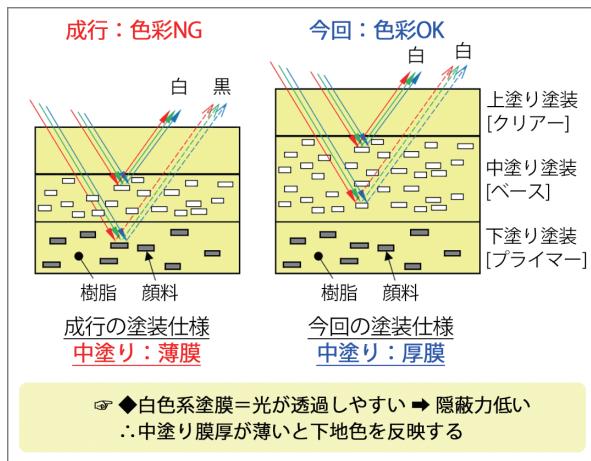


図1 中塗り膜厚による光の透過と発色

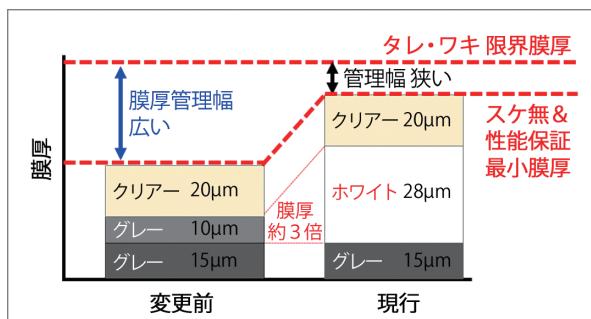


図2 塗装色と膜厚管理幅(1)

その結果、グレー塗装のスケ・タレ・ワキ不良率は0.1%であったのに対して、白塗装では4.9%の頻度で不良が発生した。また、中塗り膜厚が3倍近く必要になったことで、中塗り塗装工程のサイクルタイムが従来の2倍となり、生産性においても大幅な低下を招いた。そこで今回、スケ・タレ・ワキ不良の削減を新たな課題として捉え、改善に取り組むこととし、あわせて中塗り塗装のサイクルタイム短縮も目指した。

## 2-2. 開発方針

対策手段として、下記の4案を検討した。

- 案1) 製品形状の凹凸を削減→商品性上困難
- 案2) 中塗り塗装条件の変更→設備大改造要

※塗装ロボット追加・塗装ブース拡張・コンベア経路変更

- 案3) 隠蔽力の高い中塗り塗料の開発→難易度大
- 案4) 下塗り塗料開発(下／中塗りの2コートで発色)

この中から今回は、採算性や開発期間の面で優れ、かつメカニズム(図3、図4)に効果が期待できる案4)を採用し、対策を進めることとした。

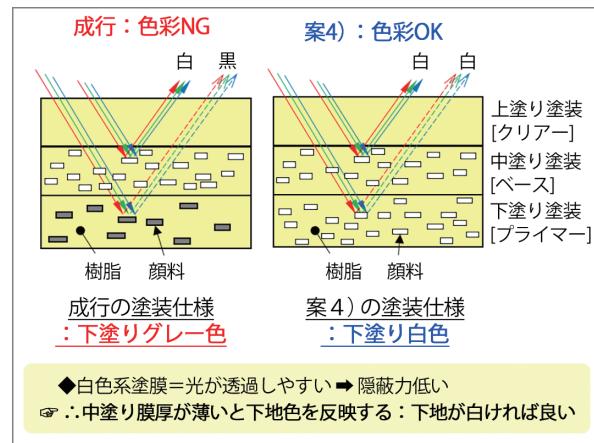


図3 下塗り色による光の透過と発色

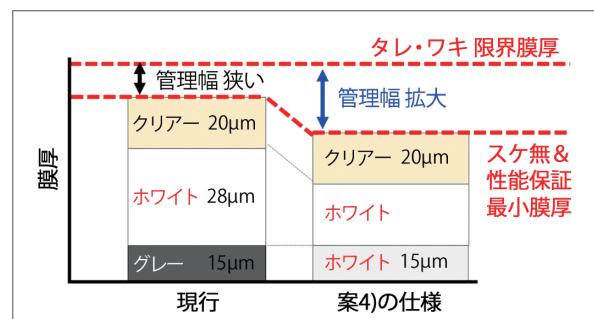


図4 塗装色と膜厚管理幅(2)

## 2-3. 開発目標

船外機は、海水と熱による過酷な環境下で使用されることから、今回の塗料開発は、下塗りに要求されるスペック(素地との付着性、耐食性等)を確実に確保することを前提条件しながら、中塗り塗装の発色膜厚<sup>1)</sup>が低減できる色調を短期間で開発することが求められた。そこで、開発目標値を以下のように定めた。

- ・ 品質：下塗り要求スペックを確保しながら、スケ・タレ・ワキ不良の発生率を0.1%以下に低減
- ・ 生産性：中塗り塗装のサイクルタイムを10%短縮
- ・ 開発期間：船外機F425新規形状ロワーの生産展開前(2019年7月前)に導入

## 3 取り組み内容

### 3-1. 下塗り塗料 開発方針

下塗り塗料の開発は、短期間で下塗り塗膜の要求スペックを確実に確保するため、現行下塗り塗料の調色仕様をベースに対応することとした。

具体的には、図5に示すように塗料成分の変更は行わず、着色顔料として含まれている黒顔料(含有量1%未満)の一部を白系顔料に置き換えることを検討した。

新規塗料組成：現行比			塗料組成 変更内容
	成分	配合	>外観色の微調整
樹脂	同一	同一	*1: 顔料配合
顔料	同一	*1による	カーボン1.0%未満
溶剤	同一	同一	を同量の白系顔料
添加剤	同一	同一	に置き換える。

図5 下塗り変更の考え方

### 3-2. 下塗り塗料の組成(色)選定

本案件の対象工程は、塗装ロボットによる自動塗装のみで、人作業による補正工程が存在しない。そのため、良品条件を設定する過程で、塗装ロボットティーチングの作り込みが重要なってくる。

ここで下塗り塗装色は、中塗り塗装の発色膜厚を低減するために中塗り塗装色に近いことが求められる。しかし、前提条件による塗料組成の範囲で白色に近づけると、下塗りも光の透過性が高まり隠蔽力が低下する(透明に近づく)。下塗りの隠蔽力が低下しすぎると、目視による下塗り膜厚の推測が困難となる。その結果、ロボットティーチングの作り込みを行う

下塗色選定項目	下塗色	黒		白
		現行	N7	N9
下塗り色vs中塗り色(色差)	×	△	○	◎
下塗り膜厚 視認性	◎	◎	○	×
塗膜性能	○	○	○	○

【マンセル記号と色】

現行	N9
中塗	N8
アルミ	N7
素地	N6
現行	N5
下塗	N4
	N3
	N2
	N1
	N0




現行 N7 N8 N9

模厚が目視確認できて  
最も白い色：N8を選択

図6 新規下塗り塗装色選定

中で、下塗り後に焼付乾燥を経て膜厚測定を行う頻度が高くなり、非現実的な作業工数となってしまう。

そこで下塗り塗装の色は、目視による下塗り膜厚の推測が可能な範囲で、最も中塗り塗装色に近い色を選択した。これは、マンセル記号でいうと中塗りN9色に対して、新規開発した下塗り塗装色はN8色である(図6)。

### 3-3. 中塗り膜厚の規格下限確認

新規下塗り塗装の隠蔽膜厚は35 μmである。従って、下塗り下限膜厚の15 μmでは素地色の影響を受けて中塗り塗装の発色膜厚に影響を与える可能性がある。

そこで、新規塗装仕様の中塗り下限膜厚は、「対象被塗物で最も黒い素材(DCのアルマイ特仕様)に、新規下塗りを15  $\mu\text{m}$  塗装した条件で、既定の色に達する膜厚」と定義した。ここで、既定の色に達したかどうかの判定は、「JIS Z 8781-4によるL\*a\*b\*色空間による色差 $\Delta E$ が0.5以下となること」とした。

上述の定義に基づいた中塗り下限膜厚は、新規下塗り塗料を採用することで従来の $28\text{ }\mu\text{m}$ から $23\text{ }\mu\text{m}$ となり、18%削減することが可能となった(図7)。

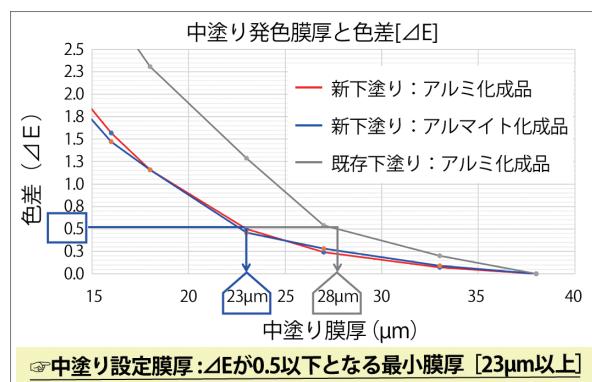


図7 中塗り膜厚と色差

### 3-4. 塗装条件の設定

対象ラインは10台の塗装ロボットで自動塗装を行っている。このとき、対象部品の全塗装プログラムを再設定し直すことは作り込みに膨大な工数を要する。

ここで現行下塗り塗料と新規下塗り塗料は、同一塗装条件で形成される膜厚、タレ限界膜厚<sup>2)</sup>およびワキ限界膜厚<sup>3)</sup>が同一であることが確認できた。そこで新規下塗り塗装条件は、塗料変更以外は現行生産と同条件とした。

中塗り塗装は、塗装ガンの速度による影響を確認した結果、塗装ガンの速度が1.5倍までであれば、塗着効率と外観品質に大きな影響がないことがわかった(図8)。そこで、新規中塗り塗装条件は、原則として塗装ガンの速度のみを変更するこ

とし、単位時間当たりの吹付塗料の速度は前述の色差判定法により導き出した△18%の下限膜厚での塗装が可能な1.2倍に設定した。

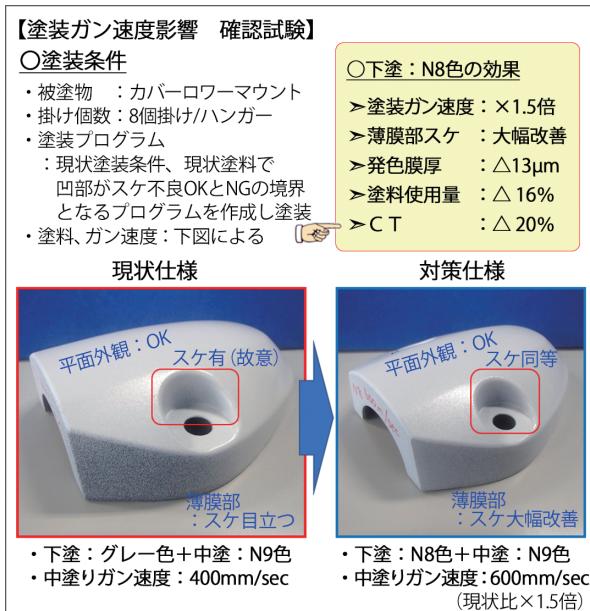


図8 塗装ガン速度の影響試験結果

次に、白塗装対象部品の中で最もサイクルタイムの長いF425用ブラケットクランプ(2ヶ掛け／ハンガー)で上述した塗装条件の妥当性を検証した。その結果、表1に示すとおり概ね目標を達成できる塗装条件であることが確認できた。そこで、生産導入用の新規塗装条件は以下のように定めた。

- 下塗り：新規下塗り塗料\_N8色(他生産同一)
- 中塗り：ガン速度1.2倍に変更(他生産同一)
- 上塗り：変更無し

表1 塗装条件検証 試験結果

評価項目	下塗り		削減値	試験結果
	現行仕様 グレー色	対策仕様 N8色		
外観(スケ・タレ・ワキ)	無し	無し	-	スケ・タレ・ワキ不良問題無し
外観(色差) ※基準: $\triangle E \leq 2.0$	$\triangle E: 0.79$	$\triangle E: 0.95$	-	塗装色問題無し
中塗りサイクルタイム [sec/ハンガー]	57.3	52.3	-5	-8.7%
トータル膜厚 [μm]	100.4	87.8	-13	-13%
中塗り塗料 使用量 [cm <sup>3</sup> /ハンガー]	139.0	123.0	-16	-11.5%

### 3-5. 塗膜性能確認

塗装条件の設定と並行して、新規塗装仕様の性能を確認した。その結果、表2に示すとおり狙い通りの結果を得ることができた。

表2 塗装性能 試験結果

評価項目	評価結果	判定
船外機塗料規格 (テストピース試験：対象 34 項目)	全項目、合格	○
現行仕様との性能比較評価 (テストピース試験：対象 13 項目)	全項目、現行仕様と同一ボテンシャル	○
航走評価 (実機での運転評価)	全項目、合格	○

### 3-6. 新規下塗り導入結果と今後の取り組み

新規下塗り仕様は、計画通り2019年4月に生産試作を行い、6月に生産導入した。生産導入後1ヶ月間の結果は、表3に示すように概ね目標を達成している。

表3 生産導入状況(2019.6.10～2019.7.10)

項目	目標	結果	判定
品質 スケ・タレ・ワキ不良率	0.1% (グレー色同等)	0.1%	○
生産性	サイクルタイム 10% 短縮	8.6% 削減	△
納期	2019年7月前に導入 (F425 ロワー形状変更～)	2019年6月導入	○

ただし、品質目標のスケ・タレ・ワキ不良は季節変動(被塗物温度と塗料の粘度変化)により発生頻度が異なるため、今後も継続して不良率の推移を注視していく。

また、生産性についてはサイクルタイム10%削減の目標に対して1.4%未達成である。今回は、3-4.で述べた塗装条件の設定に基づき、全部品の塗装条件を機械的に設定しているため、部品ごとに改善の余地が残されている。そこで今後は、ガン速度と吐出量条件を中心に、部品ごとに塗装条件を作り込み、残り1.4%のサイクルタイム短縮に取り組んでいく。

## 4 おわりに

今回の取り組みで、発色膜厚が厚くなる塗膜構成においては、「下塗り+中塗り」の2コート発色仕様が、良品率および生産性の改善に効果があることを実証することができた。近年、船外機のカラーバリエーションも多様化が進んでおり、今後も新色設定の機会が増えることが想定される。その機会においては、今回の取り組みで実証することができた「2コート発色」を取り入れた塗料開発を行い、高良品率かつ高効率を実現する塗装条件設定を目指したい。

また、今回の取り組みでは、下塗り膜厚を15 μmに固定した条件で中塗り塗装条件の作り込みを行った。その結果、18%の薄膜化を実現することができたものの、依然として中塗り工程がサイクルタイムのネック工程であることに変わりはない。これについては、下塗り時間を長くし(塗り込み)、中塗り塗装時間を短縮する「下塗り／中塗りの最適バランス」を検討す

ることで、さらなる生産性向上が可能であると考えている。

今後も継続して塗装条件の改善を図り、より低コストでより高品質な価値の高い塗装商品をお客様に提供できるよう努めていく。

1)発色膜厚

指定塗装条件で既定の色を発現するのに必要な最小膜厚値を指定条件における発色膜厚という。この時、素地に隠蔽試験紙(JIS K5600-4)を指定した場合は隠蔽膜厚と同義となる。

2)タレ限界膜厚

タレ不良の発生しやすさを図る指標の一つ。指定塗装条件にて穴のフチで塗料のタレが発生しない最大の膜厚値。

3)ワキ限界膜厚

ワキ不良の発生しやすさを図る指標の一つ。指定塗装条件でワキが発生しない最大の膜厚値。

■著者



水野 正洋  
Masahiro Mizuno

マリン事業本部  
マリンエンジン統括部  
製造部



宗像 弘晃  
Hiroaki Munakata

マリン事業本部  
マリンエンジン統括部  
製造部