

論文・解説

23

## バンパの塗膜除去技術の開発 Development of the Bumper Paint Removal Technology

森 脇 健 二\*<sup>1</sup> 藤 和 久\*<sup>2</sup> 田 中 宣 隆\*<sup>3</sup>  
 Kenji Moriwaki Kazuhisa To Nobutaka Tanaka  
 中 村 浩 一 郎\*<sup>4</sup> 相 澤 誠\*<sup>5</sup>  
 Kouichiro Nakamura Makoto Aizawa

### 要 約

近年の環境問題に対する関心の高まりから、各社とも市場損傷バンパを回収し、アンダーカバー等への再利用を実施している。2001年以降、マツダでは、市場から回収されたバンパ回収材の塗膜の大半を除去し、付加価値の高いバンパ補強材や、表面にシボのあるバンパへ適用拡大してきた。しかし、再生材を、シボのない表面が平滑なバンパ（以下、鏡面バンパ）へ適用するには、塗装外観を確保するために、塗膜をほぼ完全に除去する必要がある。今回、マツダは、塗膜除去率を向上させる施策として、現状のリサイクルプロセスに、塗膜のついた粉砕品を光学的に検出して選別する工法を見出し、新たに塗膜除去プロセスに織り込んだ。その結果、目標の塗膜除去率99.85%をクリアできる条件を見出した。しかし、本工程による再生材をもってしても、材料特性のバラツキ等によって同一の塗膜除去条件でも塗膜除去率の目標値を下回るものもあるため、更にプロセス改善に取り組んだ。その結果、従来のバラツキを4分の1以下に抑制すると同時に、塗膜除去率の平均値も大幅に向上し、目標の塗膜除去率を安定かつ確実にクリアすることができるようになった。

### Summary

Each company is recycling collected, damaged bumpers from the marketplace to reuse the materials for undercovers, etc. due to the rise of a concern about environmental problems in recent years. From 2001, Mazda has been depainting bumpers to a high degree and reusing the materials for value added bumper reinforcements and grained bumpers. However, in order to use these materials for no-grain bumpers (standard) it is necessary to completely remove all paint from the material in order to guarantee high quality paint appearance. At this time, in order to improve the paint removal rate Mazda has incorporated a new sorting process, which optically distinguishes painted granulated pieces from non-painted pieces, into the existing process. As a result, we have achieved the target paint removal rate of 99.85%. However, even though we use this new technology, there remains some variance in the process which makes the target unattainable even under the identical paint removal conditions. Therefore we tried to additionally improve the process. As a result, we have reduced the variance to less than 1/4. At the same time, we have dramatically improved the mean of the paint removal rate and have achieved the target consistency over time.

### 1. はじめに

近年の環境問題、及び資源再利用に対する関心の高まりから、各社とも市場損傷バンパの回収、再利用を実施している。マツダでも1992年より、比較的要求品質の低いアンダーカバー等への適用を開始し、2001年には、機械的物性

低下の原因となる塗膜を除去してバンパ補強材等への適用を開始した<sup>(1)</sup>。しかし、鏡面バンパへ適用するには、塗装外観を確保するため、更に塗膜除去レベルを向上させる必要がある。今回、マツダは、この鏡面バンパへ適用可能なレベルに塗膜を除去する新しいプロセスを開発したので、その内容を紹介する。

\*1, 2 技術研究所  
Technical Research Center

\*3 車両技術部  
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

\*4, 5 ボデー開発部  
Body Development Dept.

Table 1 Applications for the Reclaimed Material from Bumpers and Requirements

Requirements Applications for the reclaimed material	Strength Rigidity	Dimensional stability	Paint quality	
			Paint film performance	Surface appearance
Undercover. etc	△	△	×	×
Bumper reinforcement	○	○	×	×
Grain surface bumper	○	○	○	○
Bumper (without grain)	○	○	○	○

○ Full requirement      △ Partial requirement      × No requirement

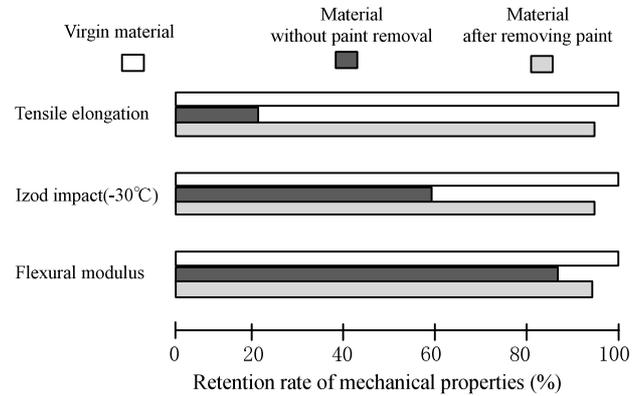


Fig.2 Mechanical Properties of the Paint Removed Material

## 2. リサイクルプロセスの現状

市場回収したバンパのバンパ補強材, 及びシボ面バンパへの現状のリサイクルプロセスをFig.1に示す。

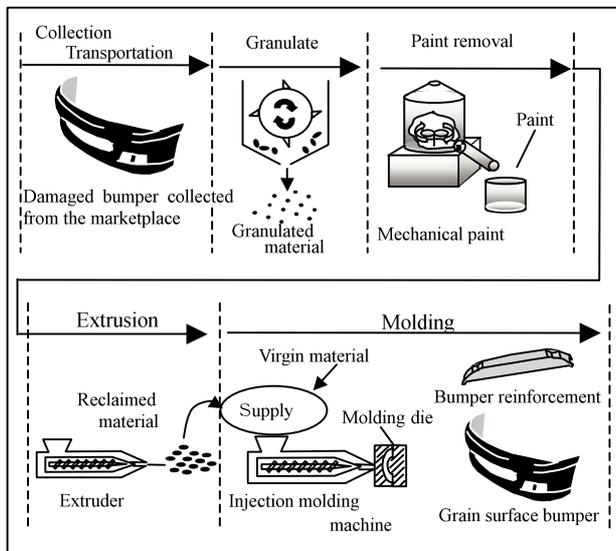


Fig.1 Bumper Recycling Process

ここでのポイントは機械式の塗膜剥離装置を用いて塗膜を除去することで、Fig.2に示すように、機械的物性を新材とほぼ同等にまで回復させたことである。本塗膜除去工程を組み込むことで、これまで再生材の機械的物性が低いことで使えなかった部品への適用が可能となった。

なお、塗膜除去の程度は、Fig.3に示すように、バンパ粉碎後に塗膜剥離処理した粉碎品について、塗装対象面全体の面積に対する残存塗膜面積の比率で表すこととし、本プロセスで塗膜除去した粉碎品の塗膜除去率は98.50%であった<sup>(2)</sup>。

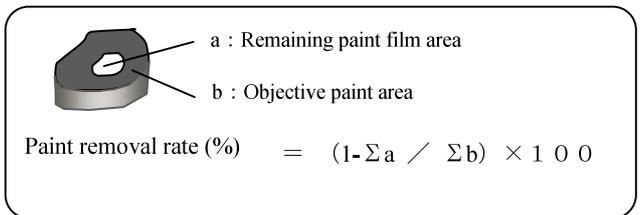


Fig.3 Calculation Method of Paint Removal Rate

## 3. 鏡面バンパ適用時の問題

目標とする再生材の混入率は、バンパの寸法安定性の面から限界となる30wt%となる。バンパ粉碎後に塗膜剥離、その後、押出機によりリペレット化した再生材をバンパ新材に30wt%混入し、鏡面バンパへの適用性を評価したが、塗装外観基準を満足できなかった。シボ面バンパの場合、表面にシボの凸凹があるため、表面欠陥にならなかったものが、鏡面バンパの場合、微細な凹が欠陥として観察された。Fig.4にバンパ塗装表面に発生した微細な凹、及びその断面を光学顕微鏡で観察した結果を示す。Fig.4(b)に見られるように基材表面付近には残存塗膜が認められ、これが原因で微細な凹みが生じるものと考えられる。このことから鏡面バンパへ適用するためには、更に塗膜除去率を向上させる必要があることが分かった。

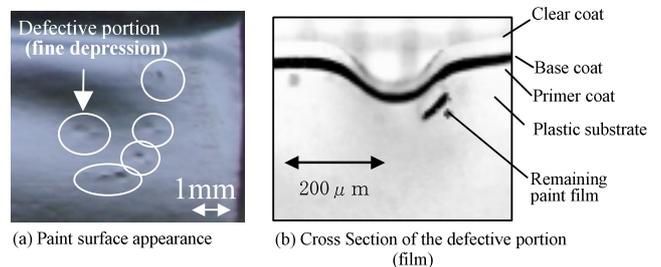


Fig.4 Paint Surface Appearance and Cross Section of the Defective Portion

### 4. 新しい塗膜除去プロセスの開発

今回、従来の機械式剥離工程の後に、精米機の業界で穀物選別に用いる光学選別工程を追加することで、残存塗膜の付いた粉砕品を選別除去し、結果として塗膜除去率を向上させることに成功した。更に、塗膜除去率のバラツキ改善に取り組み、これまでのバラツキを4分の1以下に抑制すると同時に、塗膜除去率の平均値も大幅に向上させ、目標の塗膜除去率を十分クリアできるようになった。以下にその内容について述べる。

#### (1) 塗膜除去率の目標設定

Table 2に、目標設定の考え方を示す。従来のプロセスで塗膜除去した再生材の塗膜除去率は98.50%で、塗膜の残存率は1.50%である。前述のようにこの再生材を30wt%新材に混入した場合は、塗装の外観基準を満足しなかったが、新材への再生材混入率を徐々に下げていくと、再生材混入率3wt%で塗装外観基準を満足した。再生材の混入目標を30wt%とすると、塗膜の残存率は現在の1.50%から1/10の0.15%にする必要があり、塗膜除去率は99.85%以上を目標とした。

Table 2 Setup a Target of the Paint Removal Rate

Mixing rate into virgin material (%)	Remaining paint rate (%)	
	Present	Target
1	○	
3	0.045% ○	
10	●	
20	●	
30	●	0.045%
5	5	5
100	1.500% ●	0.150%
Paint removal rate	98.50%	99.85%

- : Paint surface appearance meets the requirement.
- : Paint surface appearance does not meet the requirement.

#### (2) 塗膜除去率向上のための着眼点

バンバ粉砕後に従来の塗膜除去プロセスで処理した粉砕品について、塗膜除去レベルを詳細に観察したところ、ほとんどの粉砕品に塗膜は見られず、一部の粉砕品だけに塗膜が残存していることが明らかになった。Fig.5にその観察結果を示す。このように86%には全く塗膜がなく、残りの14%の粉砕品に塗膜が確認された。このことにより、仮に10mm<sup>2</sup>以上の面積の残存塗膜が付着した粉砕品のみを選別して、除去できれば、塗膜除去率を向上させた再生材を高い収率で得ることが可能であると考えた。なお、ここでの収率は(塗膜なしとして選別された粉砕品数/全粉砕品数×100)と定義する。

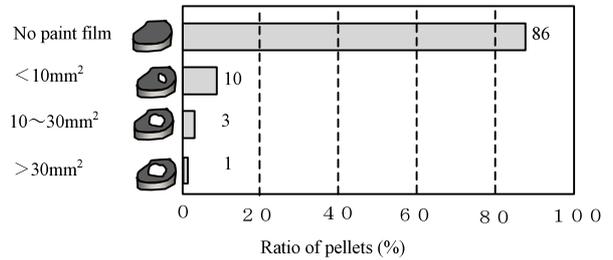


Fig.5 Remaining Paint Area on Pellets Processed for 65 Minutes in Present Paint Removal Process and Ratio of the Size

#### (3) 選別メカニズム

Fig.6に今回用いた選別機の選別メカニズムを示す。バンバ粉砕後に塗膜剥離処理した粉砕品を、選別機のホッパーに投入し、シューターを通過後、所定の位置で光とCCDセンサ(A)により、粉砕品を認識する。この時、粉砕品に塗膜が付いていると、その色は粉砕品(黒色)よりも強い反射強度を放出するため、これを検知し、その直後にエアエジェクター(B)により、選別・除去するものである。

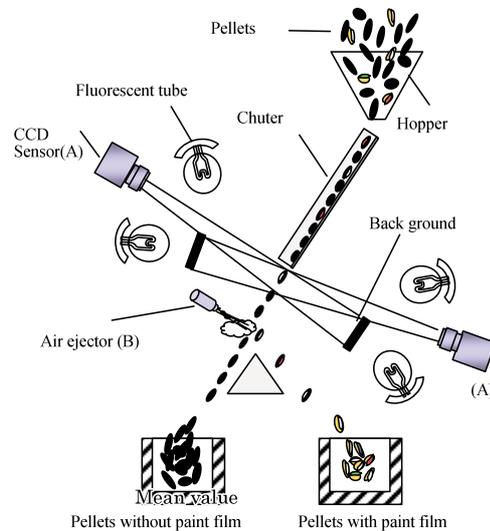


Fig.6 Schematic Drawing of the Sorting Machine

Fig.7に示すように、この選別機により処理された粉砕品の塗膜除去率の平均値は、従来の98.50%から99.85%に向上することが分かった。

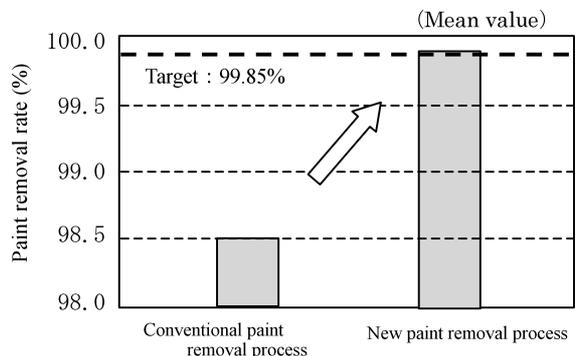


Fig.7 Paint Removal Rate Versus Paint Removal Processes

### 5. ロバスト性開発

しかし、市場から回収されたバンパ再生材は種々雑多な材料が混ざっており、Fig.8に示すように、同一の塗膜除去条件でも塗膜除去率はバラツキ、目標値を大幅に下回るものもある。

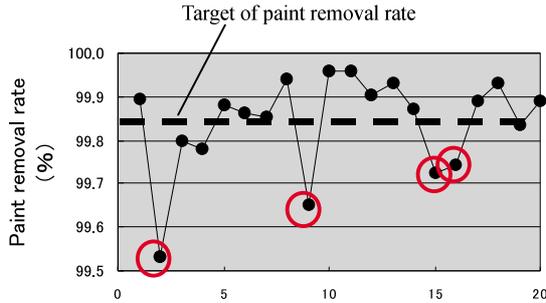
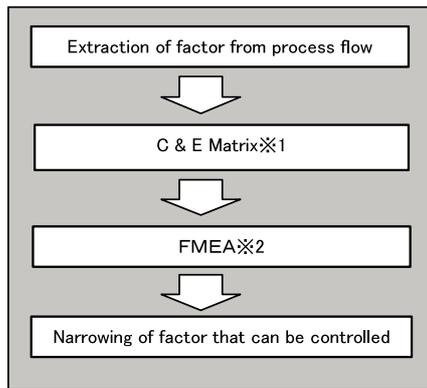


Fig.8 Paint Removal Rate (20 lots)

このため、対策としてシックスシグマ手法を用いてプロセス改善に取り組んだ。Fig.9に本取り組みのフローを示す。はじめにプロセスフローから塗膜除去率に影響を与えると思われる要因161個を抽出。その後、C&Eマトリックスにてプロセスインプットがアウトプットに及ぼす効果を評価し、スコア100以上の22個を要因として抽出した。更にFMEAにてこれらの影響度(危険度)を明らかにした後、コントロール可能な5個に絞り込み、塗膜除去率への影響度を明らかにすることとした。



※1.C & E Matrix : Cause & Effect  
 ※2.FMEA : Failure Mode & Effect

Fig.9 Flow of Method of Six Sigma

#### (1) 目標値を下回った4ロットの分析

目標値を上回ったロットと、目標値を下回ったロットの材料形態を比較分析したところ、残存塗膜の大きさに違いがあることが分かった。Fig.10に目標値を上回った4ロットにおける粉砕品の残存塗膜面積とその比率を、Fig.11に目標値を下回った4ロットにおける粉砕品の残存塗膜面積とその比率を示す。これを見ると、目標値を上回ったロットに比べて、目標値を下回ったロットは、残存している塗膜の面積がより大きいものが存在することが分かった。

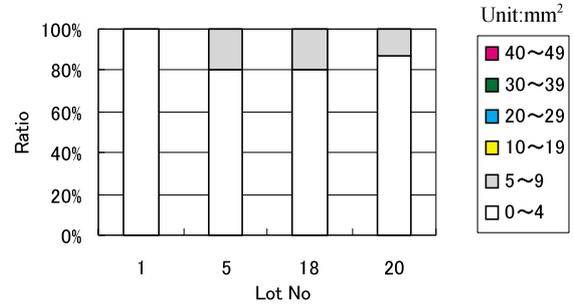


Fig.10 Remaining Paint Film Area and the Ratio of Four Lots which Met the Target

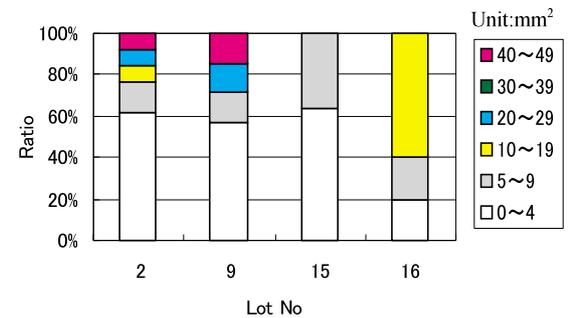


Fig.11 Remaining Paint Film Area and the Ratio of Four Lots which didn't Meet the Target

#### (2) 実験計画による条件の最適化

シックスシグマ手法を用いて、塗膜除去率に影響を与えると思われる要因161個から、最終的に絞り込んだ5個を設計パラメータとし、L8の直交表を使った実験計画を行った。この内、最も残存塗膜の大きさに影響を与えると思われる設計パラメータAに4水準、その他については2水準を直交表に割り付け、最適条件出しを行った。Table 3に、その際の設計パラメータと水準を、Fig.12に各設計パラメータにおける水準とSN比を示す。

Table 3 Design Parameter and Level

Design	Level	Design	Level
A	A1/A2/A3/A4	D	D1/D2
B	B1/B2	E	E1/E2
C	C1/C2		

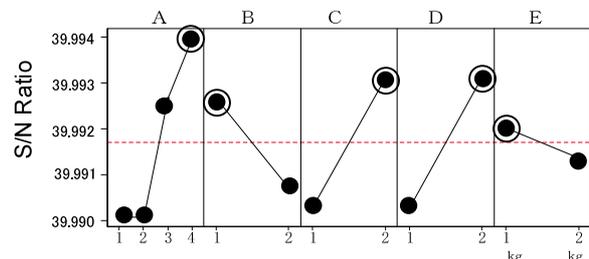


Fig.12 Level and Signal-Noise Ratio in Each Design Parameter

これにより推定される塗膜除去率は、Table 4に示すように、最適化前の条件が99.88%であるのに対して、最適化後の条件では99.98%と高く、効果が期待できることが分かった。

Table 4 Presumption Value by L8 Design of Experiment

Condition	Paint removal rate
Before optimization	99.88%
After optimization	99.98%

(3) 効果確認

実際に最適化した条件で再生材を処理し、効果を確認した。Fig.13に最適化前の条件での塗膜除去率を、Fig.14に最適化後の条件での塗膜除去率を示す。またTable 5に、これらの条件における塗膜除去率と標準偏差を示す。

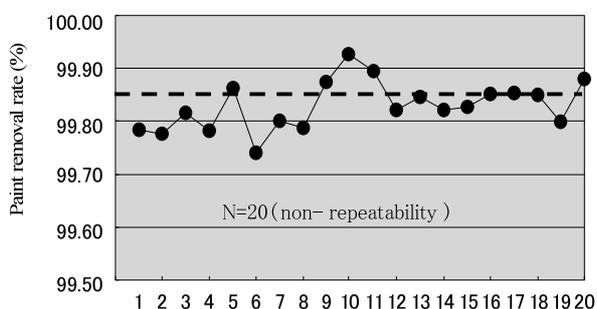


Fig.13 Paint Removal Rate Before Optimization

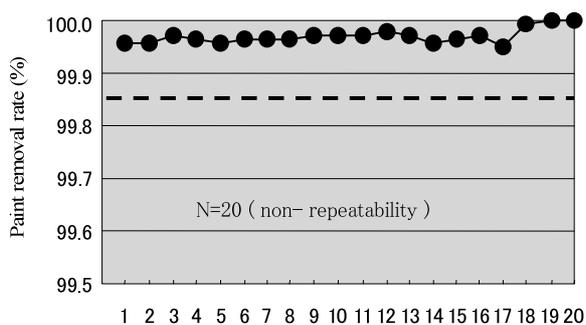


Fig.14 Paint Removal Rate After Optimization

Table 5 Measurement Value

Condition	Paint removal rate	Standard deviation
Before optimization	99.83%	0.045
After optimization	99.96%	0.012

これをみると最適化前の条件は、推定値が99.88%に対して実測値が99.82%、最適後の条件は、推定値が99.98%に対して実測値が99.96%とほぼ一致していた。また、バ

ラツキに関しては、最適化前の4分の1以下(0.045 0.012)に抑制できた。結果として、平均-3でも目標の塗膜除去率(99.85%)をかなり余裕を持ってクリアできるようになった。

6. まとめ

- ① バンパtoバンパリサイクル(30%混入)のために必要となる塗膜除去率の目標値を明らかにした。
- ② 塗膜除去率向上の施策として、現状プロセスに選別機を組合わせた新しいプロセスを見出し、目標の塗膜除去率をクリアした。
- ③ プロセス改善に取り組み、バラツキを4分の1以下に抑制すると同時に、塗膜除去率の平均値も大幅に向上し、目標の塗膜除去率を安定かつ確実にクリアできるようになった。

本技術は、市場回収材の適用範囲を大きく広げ、将来のリサイクルの加速に大きく貢献するものと確信する。最後に、本プロセス開発にあたりご協力いただいた(株)サタケ殿、高瀬合成化学(株)殿に深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 森脇, 藤, 中村: 機械式工法により塗膜剥離した市場回収PPバンパ再生材の物性とその適用開発, 成形加工シンポジア 01, p.91-92 (2001)
- (2) 森脇, 藤: プラスチックバンパの塗膜除去技術の開発, 自動車技術会学術講演会前刷集No.99-03, p.17-20 (2003)

著者



森脇健二



藤和久



田中宣隆



中村浩一郎



相澤誠