

特集：新世代商品群の生産技術

30

## リヤホイールアーチヘムの高精度シーリングと品質保証システム The High Accuracy Sealing and All Number Guarantees of the Rear Wheel Arch Hem

服部 博晃\*1      石崎 剛\*2      福田 靖英\*3  
Hiroaki Hattori      Go Ishizaki      Yasuhide Fukuda  
辻 雅一\*4  
Masakazu Tsuji

### 要 約

新型MAZDA3では、「魂動デザイン」の更なる深化に向けて、リヤホイールアーチのフランジを従来の90度折り曲げて接合するL型構造から180度折り曲げて接合するヘミング構造へ変更することによってタイヤを極限まで車両の外側に出し、ボディとタイヤの一体感、強い踏ん張り感を実現した。

しかし、ヘミング構造を採用するにあたって、目視確認できないヘミング部の防錆保証とタイヤとのクリアランス確保を両立させる必要があった。本稿では、ヘミング部の防錆保証のために、ねらいの厚みで塗布する高精度シーリング及び全数保証検査システムを開発し、日本・メキシコ・タイ・中国の工場へ導入したので、その紹介を行う。

### Summary

For All-New Mazda3, tire position is designed wider to express “Sense of unity” and “Strong holdout feeling” to evolve “Kodo design”, by changing structure of rear tire arch from L-shape flange that are angled at 90 degree to hemming that are angled at 180 degree.

For hemming structure, it is necessary to secure both anti-rust performance for the area unable to confirm visually, and clearance to tire. In this report, we would like to introduce the development of accurate sealer application and all units inspection system of hemming sealer introduced to Japan, Mexico, Thailand, and China plants.

**Key words** : Production・Manufacture, Painting, Inspection/Measurement, Quality Assurance, Rust Prevention, Seal

### 1. はじめに

新型MAZDA3では、ボディとタイヤの一体感、強い踏ん張り感を際立たせ、「魂動デザイン」を更に深化させるため、リヤタイヤをボディ外側に張り出させる車両構造を実現した。具体的には旧型アクセラでは、リヤホイールアーチ部のボディ外板パネルと内板パネルの接合構造に起因し、結果的に奥まった位置にタイヤを配置する必要があったが、新型MAZDA3では、両パネルの接合構造を新たにする事で、タイヤを外側に張り出させ、デザイン意図を具現化した (Fig. 1)。



Fig. 1 Design Comparison

\*1~4 車両技術部 塗装技術 Gr.

Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept. Painting & Plating Engineering Gr.

## 2. 従来構造との違い

旧型アクセラでは、リヤホイールアーチにおいて、L型フランジ構造と呼ばれる、ボディ外板パネルと内板パネルをタイヤ側に90度折り曲げて接合する構造を採用していた。この構造では、①スポット溶接、②サイドフレームアウターとリヤピラーインナーのアッシー公差、③防錆シール保証に必要な寸法などの積み上げにより、長いフランジ幅を必要とし、更に④フランジエッジによるタイヤの傷付き防止の安全マージン（バースト要件）を確保した位置にタイヤを配置する必要がある。一方、新型MAZDA3ではヘミング構造と呼ばれる、ボディ外板パネルをタイヤ側に180度折り曲げて接合する構造を採用することで、タイヤを車両外側に張り出す車両構造を実現した (Fig. 2)。

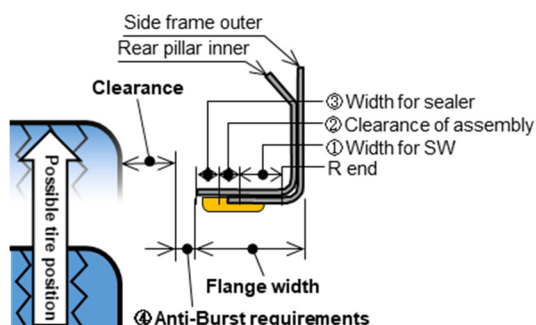


Fig. 2 Relations of a Tire and Body

## 3. 実現に向けた課題

リヤタイヤアーチにおけるヘミング構造を実現するにあたっての最大の課題は、ボディ外板パネルと内板パネルの合わせ目に塗布するシーリングの品質保証である。具体的には以下の3つの観点での品質保証を実現しなければならない。

### 3.1 水を侵入させない防錆性能保証

ホイールアーチは、サイドフレームアウターとリヤピラーインナーの2枚のパネルで構成されているが、同部位はタイヤが泥水を巻き上げ厳しい環境にあり、この2枚のパネルの合わせ部に水が浸入しないよう、確実にシールしなければならない (Fig. 3)。

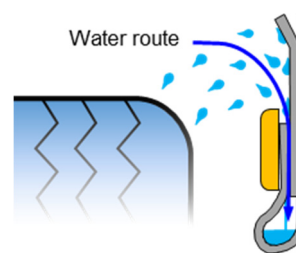


Fig. 3 Route of Water into Hemming Structure

### 3.2 タイヤとのクリアランス保証

ヘミング構造の採用により、タイヤを最大限外側へ出すためには、シーラーを塗布した結果の全体の厚みをヘミング厚み以内に管理しなければならない (Fig. 4)。

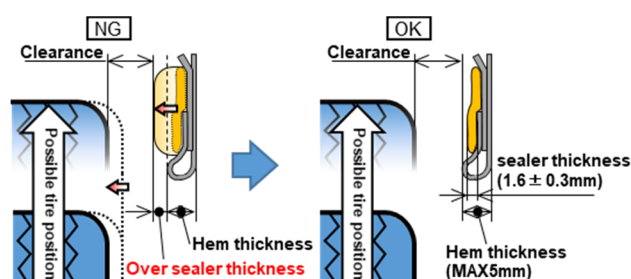


Fig. 4 Relations of a Sealing Thickness

### 3.3 目視困難部位としての品質保証

ヘミング構造のホイールアーチでは、塗布欠陥があっても適切な方向から目視できない。また、シーラー厚みの上限管理も目視では容易に検査できない (Fig. 5)。

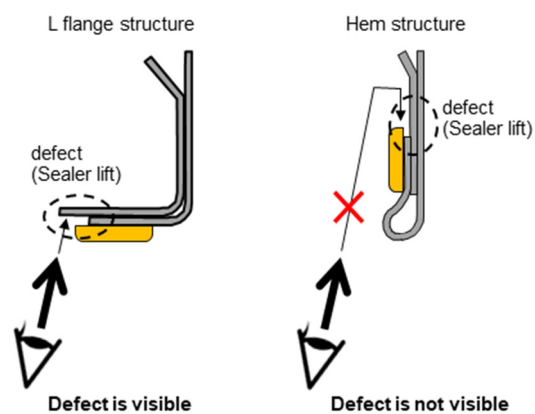


Fig. 5 Visibility of Sealer Applied Area

### 4. 課題解決

#### 4.1 シーラー塗膜位置保証

##### (1) ねらいの寸法リレーション

水を侵入させない防錆性能を確保するためには、ボディー外板パネル（サイドフレームアウター）と内板パネル（リヤピラーインナー）の鉄板どうしの接合精度とシーラー塗布位置精度の寸法リレーションを成立させ、さまざまな故障モードに対してもロバストかつ確実なシーラー塗布を行う必要がある。

代表的な故障モードとして、以下の2つが挙げられる。

- a) シーラー浮き：板厚やパネル板間隙による段差によりシーラーが着地せず、シーラーが浮いた状態。
- b) シーラー外れ：シーラーがサイドフレームアウターパネルに被さっていない状態（Fig. 6）。

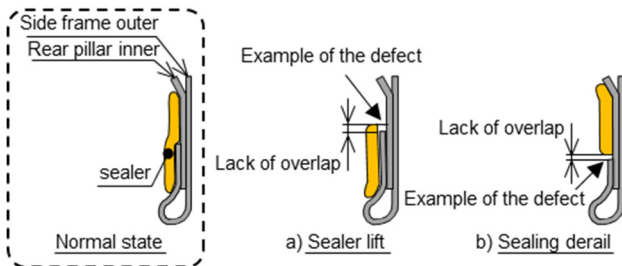


Fig. 6 Target Position of the Sealer and Failure Mode / Sealer Dimension Criteria

これらの故障モードに対して、シーラー浮きを発生させないためのオーバーラップ寸法A（以下『寸法A』）と、シーラー外れを発生させないための寸法B（以下『寸法B』）を考慮する（Fig. 7）。

寸法A：最悪条件（段差・吐出量・塗布速度・塗着角度などが最も不利な状態）でもシーラー浮きなく必ずリヤピラーインナーパネルに塗膜を着地させるために必要なオーバーラップ寸法。

寸法B：最悪条件（上記同等）でもシーラーが合わせ目から外れることなく被せるために必要なオーバーラップ寸法。

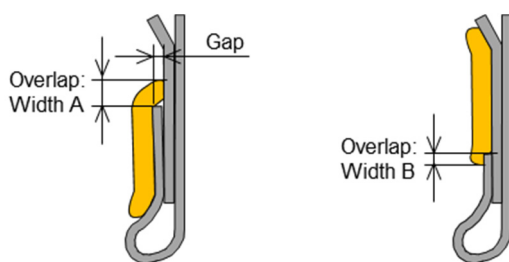


Fig. 7 Overlap Width of Sealer and the Hem Flange

シーラー浮きを発生させない寸法Aを保証するためには、寸法A $\geq$ ③-(①+②)が必要である（Fig. 8）。

##### ①ヘミング長さMAX寸法

サイドフレームアウターがヘミングされた状態で管理された、寸法公差の最大値。

##### ②シーラー塗布位置ばらつき寸法

シーラー塗布作業で起こる塗布ばらつき寸法の最大値。

##### ③シーラーノズルの製作公差MIN寸法

ノズル納品時のガイドからノズル上端までの管理寸法の最小値。

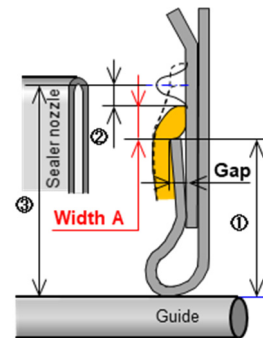


Fig. 8 Width A Relation

シーラー外れを発生させない寸法Bを保証するためには、寸法B $\geq$ ④-(⑤+⑥+⑦)が必要である（Fig. 9）。

##### ④ヘミング長さMIN寸法

サイドフレームアウターがヘミングされた状態で管理された、寸法公差の最小値。

##### ⑤シーラー塗布位置ばらつき寸法

シーラー塗布作業での起こる、シーラー位置のばらつき寸法の最大値。

##### ⑥シーラーノズルの製作公差MAX寸法

ノズル納品時のガイドからノズル下端までの管理寸法の最大値。

##### ⑦シーラーノズルのガイド摩耗限界寸法

日常使用でのガイドの摩耗の点検管理寸法の最大値。

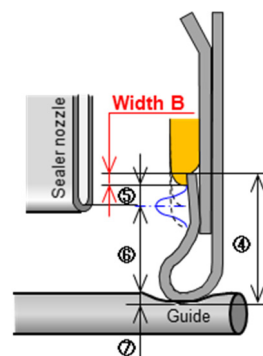


Fig. 9 Width B Relation

(2) ねらいの塗布位置を実現する相対位置決め

前述の寸法リレーションを成立させるため、合わせ目に対してねらいの位置に確実に塗布できるロボット塗布システムを開発した。このシーリングシステムは、工場ごとにワーク（ホワイトボディー）の搬送精度が異なる国内外工場に展開することを前提に開発を進めた。

シーラー塗布の塗布位置を保証するために、従来は作業者が、合わせ目そのものにノズルを接触させ、ズレ量を目で見つつ触感を働かせながら瞬時にノズルの位置を補正して塗布していた。このシステムでは、ホイールアーチ位置の合わせ目がどこにあるかをレーザーセンサーにて測定した上で、ガンツールをボディーにフィットさせて塗布する機構により、ワーク位置のばらつきの影響を受けずに人間作業同等以上の塗布精度を実現した。

まず Fig. 10 に示すように、ホイールアーチの2か所を測定し、おおまかな位置を認識し、相対位置のズレを補正する。具体的にはホイールアーチ前端と最上部の2か所で、ボディー前後方向：X、ボディー左右方向：Y、ボディー高さ方向：Zの3方向を測定している。

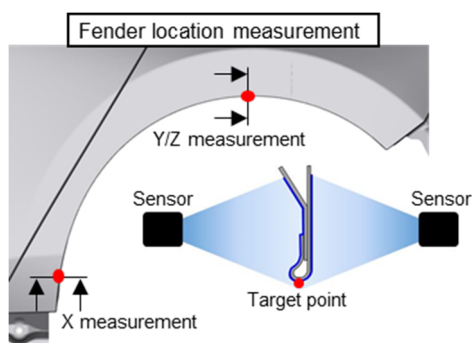


Fig. 10 Fender Measurement for Location Correction

次に、Fig. 11 に示すガンツールにより、合わせ目とノズルの相対位置をねらいの位置関係に保ちながら塗布する。

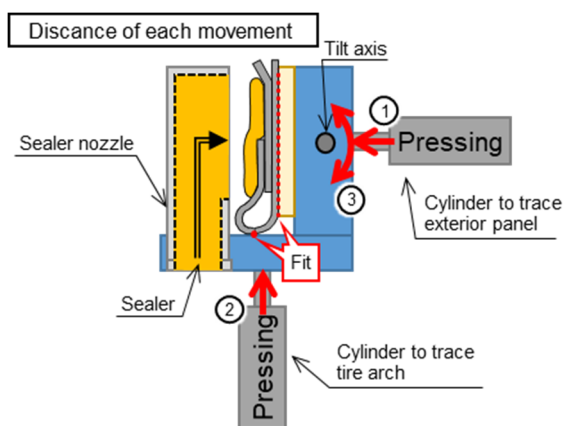


Fig. 11 Gun Tool

具体的には以下の3つの機構により、ホイールアーチを3次元トレースする。

- ①外板パネルにガイドを押し当てるシリンダー
- ②ヘミング端にガイドを押し当てるシリンダー
- ③外板パネルに傾きをフィットさせる回転機構

上述のように、人による塗布では合わせ目にノズルを接触させているが、3.2 で述べたクリアランス確保の目的で全体の厚みを管理するため、このツールでは、外板基準でヘミング構造に完全にフィットさせて、ノズルの相対位置を保証するようにした。

具体的には、まず①のガイドを押し当てるが、その接触時に③がフリーで回転して外板とノズルが平行になるようにし (Fig. 12) , その後②のシリンダーにより全体がヘミング端に当たるまで動くことにより、合わせ目とノズルの相対位置を一定に保つことができる。

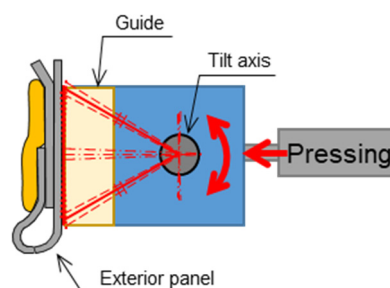


Fig. 12 Mechanism to Fit Exterior Panel

フィットさせるときの力加減は、人間作業の技能を参考に、エアシリンダーの圧力で制御している。

以上により、防錆を保証するためのシーラー塗膜位置の保証を実現した。

4.2 シーラー厚み保証

(1) ねらいの寸法リレーション

ヘミング構造の採用による効果を最大にするために、シーラー厚みの上限をヘミング厚み（5mm以内）より厚くならないようにする必要がある。また、シーラー厚みが薄くなり過ぎても、シーラー切れの発生要因となるため、シーラー厚みを高精度に管理する必要がある。具体的には、シーラー厚みを $1.6\pm 0.3\text{mm}$ にコントロールする (Fig. 4)。

(2) ねらいの塗膜厚みを実現する塗布システム

そして、これまで経験にない高い精度であるねらいのシーラー厚み $1.6\pm 0.3\text{mm}$ にコントロールするためには、ノズルから出る塗料の吐出量とそれを塗るロボットの速度を高精度に制御する必要がある (Fig. 13)。

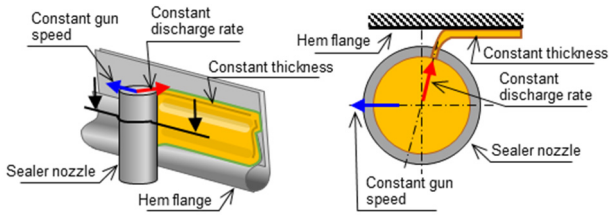


Fig. 13 Sealer Thickness Control

塗料の吐出量については、定量ポンプを用いて制御している。しかしながらシーラー材料は非常に粘度が高く（歯磨き粉と同等）、一般的にこのような塗料の供給システムにおいて、高精度な吐出精度を実現することが難しい。粘度の高い液体は、ドロドロの飲み物を飲む時に吸いにくいのも同じで、塗料供給する時にホース内を通るだけで抵抗が大きい。そして抵抗が大きいため高い圧力で圧送が必要で、ホースは風船のように微小だが膨らむ。そしてホースの湾曲により、ホース内の圧力が変動し、結果として吐出量の変動を引き起こす。逆に言えば安定した吐出を実現するためには、ノズル出口での圧力を安定させることが必要である。

具体的に実装した機能としては、吐出前の準備圧制御と吐出中の間の塗料温度調節機能である。

シーラー塗料は、温度が高くなると柔らかくなり、温度が低くなると固くなるという特性を持っている。塗料の温度の変動は、塗料の粘度の変動に大きく影響し、塗料温度が高いほどホース内では流れやすく、変動は小さくなる傾向にある。これを利用し、比較的高い温度域で高精度に塗料温度を制御することで、吐出量の変動を最小限に抑えるようにした。具体的には、塗料の出始めから終わりまでの塗料温度を一定にするため、1台のワークに塗布するために必要な塗料の全量を同じ温度に保つ必要があるが、そのために経路全体を温調するのではなく、ガン近傍の塗料温度を制御する温調システムを組み込むことで、それを実現した。

ロボットの塗布速度については、オフラインプログラミングの高精度化により、実機速度の安定化を行った。

オフラインプログラミングでの重要ポイントは、

- ・ 教示点を同じ間隔にする
- ・ 形状の接線方向とロボットのベクトルを合わせるという2つである。

従来のオフラインプログラミングでは、教示点を人が1ポイントずつノウハウに基づいて設定していたが、これではわずかな教示点間距離の差が生まれ、速度変動が発生する。また、教示点群が形状に完全に沿っていないと、速度の進行方向成分に狂いが生じ、結果的にノズルの進行方向速度が変動してしまう。

今回これを解決するために、ボディーの3DCAD図面から自動的に教示点を作成し、プログラムに変換することをおこなった (Fig. 14)。

これにより、塗布開始から終わりまでねらいの一定速度でロボットを動かすことを実現し、吐出量制御と併せて、塗着量一定の塗布を実現した。

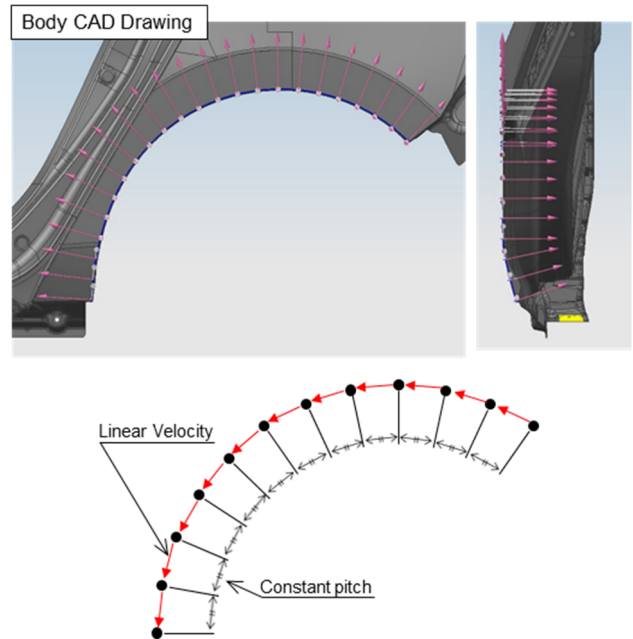


Fig. 14 Robot Teaching Point

### 4.3 目視困難部位の品質保証

4.1と4.2によりねらいの塗膜形状 (Fig. 15) を塗布するシステムを構築したが、この品質保証を行うため、塗布した部位の塗膜品質を全数検査するシステムを開発し導入した。

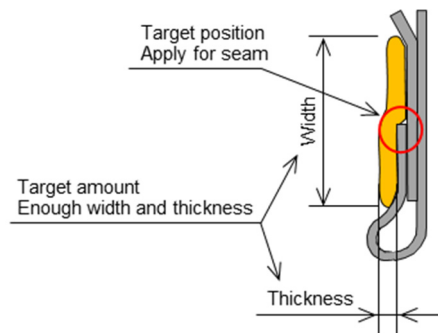


Fig. 15 Target of Sealing

当部位は目視困難であるため、上述した位置補正システムのセンサーを利用して、塗布と同じロボットで品質検査を行う。

検査内容としては、

- ①シーラー塗布前のヘミング形状が適切であること
- ②塗布後のシーラー塗膜位置と厚みがねらいどおりであること

の2点を検査している。

まず①については、塗布前に、Fig. 16のようなヘミング形状の異常を判別検査している。

判定は、下記の a b c に示す。

- a：ヘミング長さが適正な長さで閾値内であること
- b：板厚とパネル板間隙の段差が閾値内であること
- c：ヘミング厚みが5mm以内であること

上記 a b c の寸法を検査している。

計測はFig. 16に示すようなヘミング形状を表す寸法を、塗布開始点から終了点までの全範囲にわたって 1mm 以内の間隔で検査する (Fig. 17)。

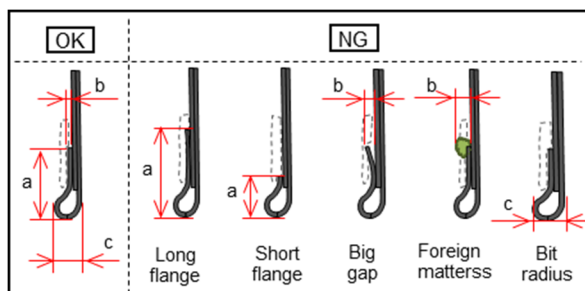


Fig. 16 Hemming Structure Criteria (Before Sealing)

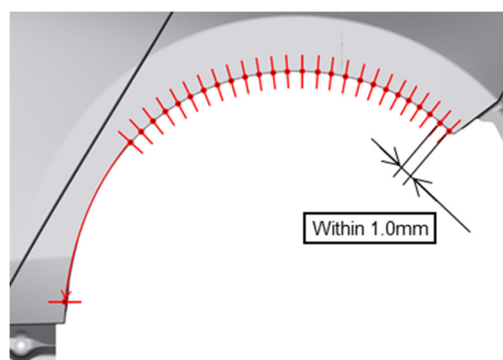


Fig. 17 Sensor Measurement Interval

このような詳細な検査を行うにあたっては、測定～データ処理～判定の繰り返しでは、処理時間がかかってしまい、生産効率が下がってしまう。今回はホイールアーチ全ての部位の寸法をセンサーで一とおり計測してデータを蓄積し、塗布前にまとめてデータ処理及び判定を行うことで計測時間を短縮し、なおかつ高分解能での検査を可能にし、最終的には0.5mm間隔で計測を行うようにした (Fig. 18)。

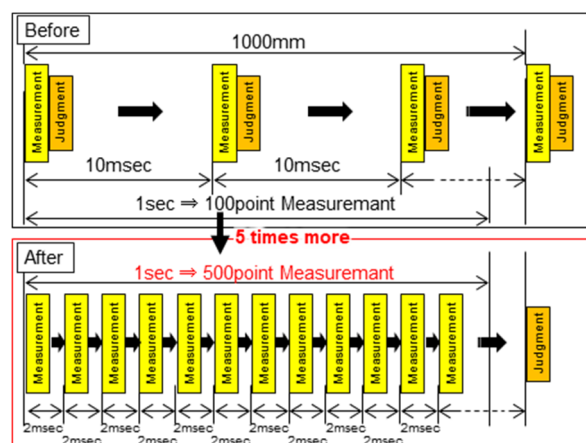


Fig. 18 New Sensor Measurement Interval

次に②については、塗布後に、塗布後のシーラーが防錆保証に必要な範囲にあり、シーラーの厚みがねらいどおりになっているかを計測し判別している。機能として、Fig. 19のThin/Cut/Derail/No seal/Thickを判定することができるようにした。

判定は、下記の a b に示す。

- a：外板面からの最小厚みが閾値内であること
  - b：外板面からの最大厚みが閾値内であること
- 上記 a b の寸法が閾値内か検査している。

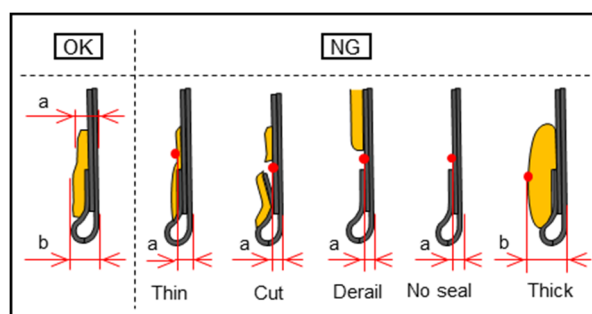


Fig. 19 Sealer Dimension Criteria (After Sealing)

具体的には、ヘミング断面を計測するために、前述のセンサーをFig. 10のように向かい合わせにすることで、外板からの厚み・幅を計測し検出判定を行っている。

この計測は、わずかな塗料温度の変動により塗着後の塗膜の断面形状が変動することも考慮に入れ、ロバストな検出を行うために、Fig. 20に示すように、計測範囲(青線枠)を指定し、シーラー厚みの最大値と最小値を検査している。

この最小値 a を測定し、Fig. 19のようにThin/Cut/Derail/No sealなどの防錆保証に関わる検出をしており、また、最大値 b を測定してシーラーの厚みを検出し、タイヤとの干渉がないことを保証している。

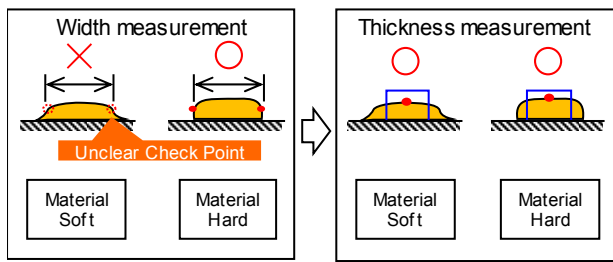


Fig. 20 Items to be Checked by Sealer-Shape Sensor

シーラー塗布後検査は、シーラー厚みの寸法を1台1台データとして残しており、品質状態がパソコンで確認できる。縦軸がシーラー厚み、横軸がポイント数でグラフ表示する (Fig. 21)。

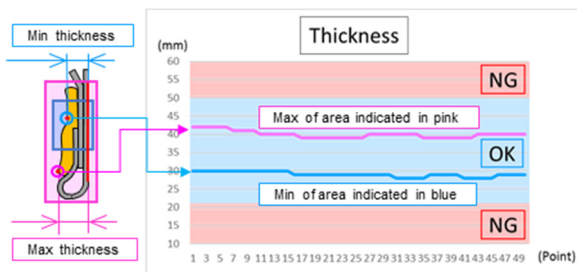


Fig. 21 Measurement Result of Sealer Thickness

本システムでは検査データを残すことで、不良を逃さないだけでなく、どの部位の厚みに変動しているのか確認し、品質の傾向監視と要因系との相関分析にも役立てられる。

不良例をFig. 22に示す。上図が作為的に異物を付着させた塗膜を検出した時の結果で、下図が作為的にシーラーの切れを設けた塗膜を検出した結果である。

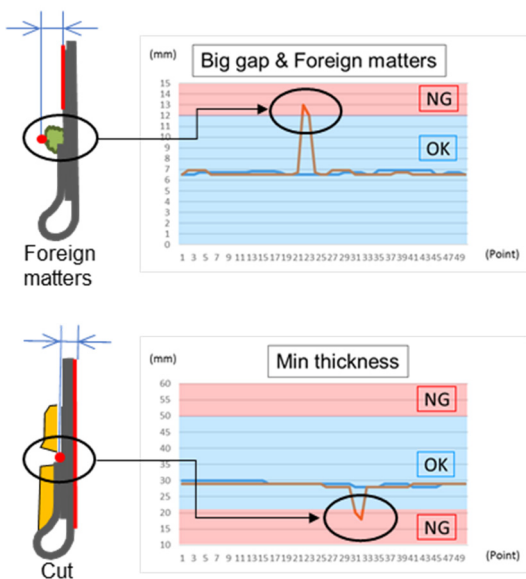


Fig. 22 Graph of Defects

今後は要因系データと結果系データをIoTで結びつけて、世界中の各生産拠点での品質向上を、より効率的に行っていくるようにシステムを進化させていく。

### 5. おわりに

今後も世界中のお客様に、マツダブランドとして同じ価値の商品を提供し続けていくため、工程を革新しながら、全世界の拠点で等価な品質を実現し、1台1台を大切に造るクルマづくりを進化させ続けていきます。

#### ■ 著 者 ■



服部 博晃



石崎 剛



福田 靖英



辻 雅一