

論文・解説

36

接着剤塗布時の形状計測技術開発 Development of Adhesive Shape Measurement System

菅 康之*¹ 木村美昭*² 美本和彦*³
Yasuyuki Kan Yoshiaki Kimura Kazuhiko Mimoto

要約

車両組立工場では、顧客満足向上を狙いとして、量産で発生する作業や部品ロットのばらつきに対して、安定した高い品質を継続して得られる工程作りを目指している。車両組立工程には、締め付け、はめ込み、貼り付け、充填等の作業があり、管理特性も締め付けトルク、組み付け位置、挿入力、塗布形状、注入量等、多岐にわたっている。マツダではこれまで、締め付けトルク・液体注入量等の管理特性を定量的に把握し、全数管理することで、ばらつきの要因を解明して品質向上に結び付けてきた。しかし、部品の組み付け位置や接着剤の塗布形状等は、量産の中での計測が困難で定量的に全数管理できる状態には至っておらず、品質向上を図る上で課題となっている。

そこで、これらの特性のうち、後工程に対し影響が大きい接着剤の塗布形状について、量産の中で定量的に全数管理できる計測技術の開発に取り組んだ。これは、二次元レーザ変位計を用いて、塗布ノズルから出てきた直後の接着剤断面寸法を測定するもので、従来困難であった量産サイクルタイム内での全塗布領域の接着剤形状を計測することが可能となった。

Summary

We aim to create a Car Assembly process which is robust against dispersion in mass production to constantly output stably high quality. Car Assembly line has many processes such as tightening, fitting, bonding, and filling. We worked for quality improvement by quantitatively grasping control characteristics such as tightening torque and liquid filling rate and conducting total control for positive identification of a possible cause for the dispersion, however, assembly positions of parts and application shape of the adhesive were difficult for us to conduct total control quantitatively in mass production, which were issues in attaining high quality.

We worked toward the development of the instrumentation technology capable of conducting total control, quantitatively in mass production, for the adhesive shapes which may have significant loss if discrepancy flows to the downstream side. This instrumentation technology can measure the height and width of the adhesive coming out from a spreading nozzle with a 2D laser displacement pickup, thus enables us to conduct hitherto difficult measurement of the adhesive shapes in the full application range within a mass production cycle time.

1. はじめに

お客様の満足度を向上させるために、車両組立領域では、各組立工程内で確実に品質を作り込み、安定した高い品質を継続して得られる工程作りを進めている。

車両組立工程には、締め付け、はめ込み、貼り付け、充填等の作業があり、管理する特性も多岐にわたっている。

その中で、ウインドガラス等への接着剤塗布については、量産工程の中で品質を定量的に管理することが難しく、始業時に抜き取りで定量的に品質を確認し、その後は作業者の目視確認で品質管理を行っている。

そこで、接着剤の塗布品質を自工程で保証するための技術開発に取り組んだ。これは、全塗布領域において、塗布中の接着剤の断面寸法を測定し、自動判定処理することに

*1~3 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

より異常時には作業員へ異常を知らせるもので、塗布不良の場合はその場で修正をかける。これにより、自工程で塗布品質を確実に保証し、後工程への不具合流出を防止する。更に、量産品質のばらつきを定量的に把握することが可能となり、ばらつきを発生させる要因を追究して、塗布品質の安定化につなげることができる。

2. 開発のねらい

2.1 接着剤塗布について

例えば、ウインドガラスをボデーへ接着するため、ウインドガラスの周囲には、Fig.1のようにウレタン接着剤が塗布される。車両のデザインによってウインドガラスの形状は大きく異なり、更に、曲面の複雑な形状であるため、全周にわたって規定の形状でウレタン接着剤を塗布するには熟練を要する作業となる。そこで、早期から、品質安定化のためにロボットでの自動塗布を進めてきたが、ウインドガラスの寸法や位置決めのためばらつき、また、吐出圧や周辺温度の変化によって、塗布した接着剤形状にばらつきが生じている。この対策として、ウインドガラスをボデーに接着する前に、作業員が目視によって塗布状態を全数確認し、塗布不良の流出を防止しているが、目視に頼らず塗布品質を確実に保証することが望まれている。

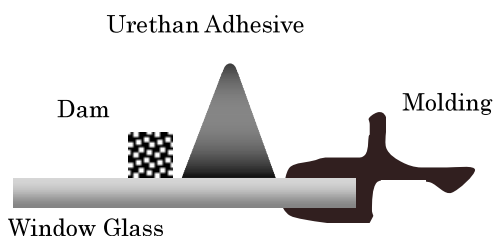


Fig.1 Image of the Urethane Adhesive Coating

2.2 これまでの取り組みと課題

これまで、接着剤塗布不良を確実に防止するために、塗布形状を量産工程内で自動計測するための活動を進めてきた。その内容は、画像処理装置やレーザ変位計を活用した方法であるが、塗布領域の一部分しか管理できないという問題があった。塗布不良は、塗布領域のどこに発生するか不確定であり、本来、全塗布領域を管理する必要がある。しかし、接着剤を塗布し、部品を貼り合わせるまでのわずかな時間内に、全塗布領域の塗布状態を計測し、よし悪しを判定するためには、高速でデータ処理できる計測技術が必要となる。更に、マツダでは複数の車種を混流生産しており、様々な形状の部品に対応する必要もあった。

2.3 接着剤塗布管理の考え方

我々は、この活動によって、後工程に不具合を流出させないこと、および、車両検査で不具合が発生した場合には、

工程内での特性データをもとに早期に問題解決できる体制作りを進めている。これらの考え方のもと、今回の取り組みでは、重要管理特性として塗布した接着剤の高さ、幅、位置を選択し、全塗布領域の品質を管理できる計測技術の開発、および、特性データを車両番号と結びつけて記録できるシステム作りに取り組んだ。

3. 計測技術の開発

3.1 計測方法の概要

これまでの自動計測は、選択した一部の塗布領域を測定するもので、計測位置に合わせて塗布工程に計測機器を配置している。そのため、部品形状が異なる場合には、形状に合わせて計測機器を移動させる必要があった。これに対し、今回の取り組みでは、接着剤の塗布ノズルに計測機器を配置し、塗布ノズルから出てきた直後の接着剤断面形状を測定する方法を構築することで、異なる部品形状でも、全塗布領域の測定を可能にするという方針で活動を進めた。

3.2 計測機器の選定

計測機器を選定するにあたり、データ処理時間の短縮が重要課題であると考えた。処理時間が速いほど測定間隔を短くすることができ、局所的な塗布不良を検出するのに有利となるからである。計測機器の候補として、レーザ変位計、画像処理装置を選び、複数機種にて比較実験した。実験は、接着剤を塗布したクォータウインドを用い、ロボットに計測機器を取り付けて、高さ、幅の計測テストを実施し、Table 1に示す項目で比較した上で選定を行った。

Table 1 Comparison of Measurement System

Measurement system	Comparison item			Evaluation
	Processing time	Ability of measurement		
		Height	Width	
Displacement pickup A	10	○	○	◎
Displacement pickup B	30	○	×	×
Image Processor A	120	○	○	○
Image Processor B	200	×	×	×
Image Processor C	78	○	○	△
Image Processor D	80	○	○	△
Image Processor E	30	○	○	○
Image Processor F	60	×	×	×
Image Processor G	200	×	×	×

その結果、検出処理時間が最も速く、高さ、幅を検出可能である2次元レーザ変位計を選定することとした。この機器は、スリット状レーザ投光部と、その反射を受光するCCDで構成されており、短時間露光でも十分な明るさの高出力スリットレーザとCCDライン数の大幅な削減によって高速での検出処理時間を実現している。

また、接着剤の高さ、幅だけの数値情報に加えて、スリットレーザの光切断画像を並行出力する機能も備えており、実際の接着剤断面形状と測定データの相関を目視で確認することができる。

3.3 計測テストの概要

実際の使用状態での実力値を確認するため、量産工程を模擬的につくった環境で計測テストを実施した。まず、テスト用ロボットに塗布ノズルを設置し、ノズルから塗出した直後の接着剤断面形状を検出できる位置に計測機器を配置した。測定物はウインドガラスに塗布して乾燥した状態の接着剤を用い、ロボットにより、スリットレーザ光が接着剤をなぞるように動作させて、接着剤の高さ、幅を計測することとした。

ガラス位置決めは、ガラスの端面を基準としてローラに押し当てて真空吸着で固定し、ローラ位置の変更で形状の異なるウインドガラスに対応できる構造とした。

計測データは、Fig.2のように接着剤断面形状の頂点部、底辺部のXY座標値が約10msec周期で得られ、接着剤の高さ、幅はこの座標値から算出する。このウインドガラス一周分のデータ群は、コントローラのメモリに一時的に保管され、作業完了により全周のバッチデータをパソコンへシリアル送信する。Fig.3に車種Aのフロントウインドガラスを用いて計測した時の接着剤高さのデータ例を示す。これは、頂点部のY方向のデータで、横軸は計測ポイント数であり、縦軸にY値を示している。計測する部位によって、接着剤の頂点位置がばらついていることが確認できる。

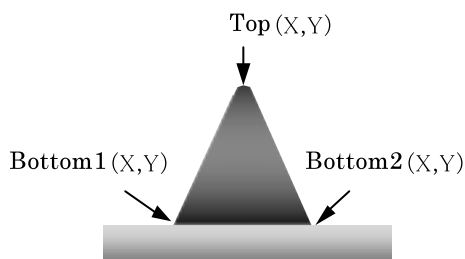


Fig.2 Measured Point

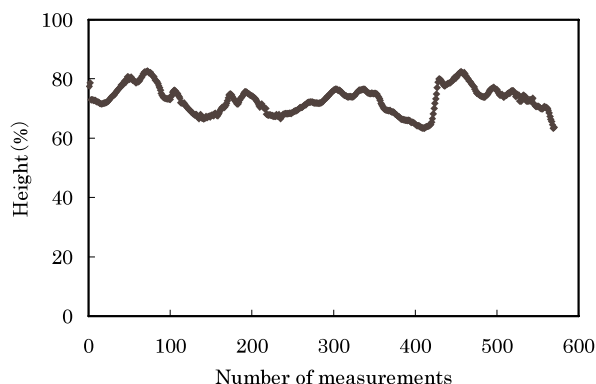


Fig.3 Example of Measurement Data

Table 2 Evaluated Item

Evaluated item	Confirmed condition
Adjusted item	Optical amount
	Averaging frequency
	Setting of detected range
	Setting of detected data
Possibility of measurement	Height, width, position
Certainty measurement	Speed of robot
	Shape of the glass
	Influence of luster
	Repeatability of accuracy

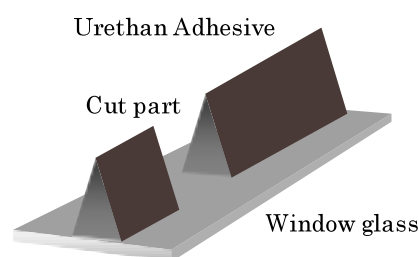


Fig.4 Image of Tested Parts

3.4 計測テスト

量産工程への適用に向けた課題の明確化と、対策の織り込みを目的として、Table 2に示す評価項目を挙げてテストを進めた。まず、計測機器の基本設定であるが、接着剤とガラス表面のセラミックは黒一色で判別が困難であるため、コントラストが強調できる光量に調整した。また、誤検出を除去するために、平均処理回数は最小とし、埃や乱反射の影響による誤検出が顕著にデータに現れるようにした。更に、必要となる検出範囲の設定や座標値の抽出方法等、基本的な設定を完了した後に、計測テストを開始した。主なテスト結果を以下に記す。

(1) 高さ、幅の計測

量産工程では、ロボットが高速で移動しながら接着剤断面形状を検出する必要があるが、その速度差によって検出精度に影響を及ぼすことが考えられる。そこで、実際の量産で考えられる高速、低速の二つの水準で検出精度に差が出るか確認してみた。

このテストでは、Fig.4のように接着剤に切り込み形状を入れて計測し、それぞれのデータを比較することとした。高さの計測結果をFig.5に示すが、速度差によって計測データに差は見られず、どちらの速度でも切り欠き形状を捉え、接着剤高さをノギスで計測した値との差は0.5mm以内であることが確認できた。

次に、計測の再現性を確認するため、30回の繰り返し計測を実施した。Table 3に計測結果を示す。高さ計測のば

らつきは目標とする±0.5mm以内であったものの、幅計測ではばらつきが大きく、目標を達成できない結果となった。

また、部品形状によって計測の再現性に差が出ることが懸念されたため、形状が大きく異なる3車種のウインドガラスを用いて繰り返し計測テストを行った。一例として、車種Aのリヤウインドガラスで実施した高さの計測結果をFig.6に、幅の計測結果をFig.7に示す。高さ計測では、ばらつき±0.5mm以内を達成できたものの、ウレタン幅の計測では、部位によって計測ばらつきが大きくなり、全ての形状で目標を達成することができなかった。

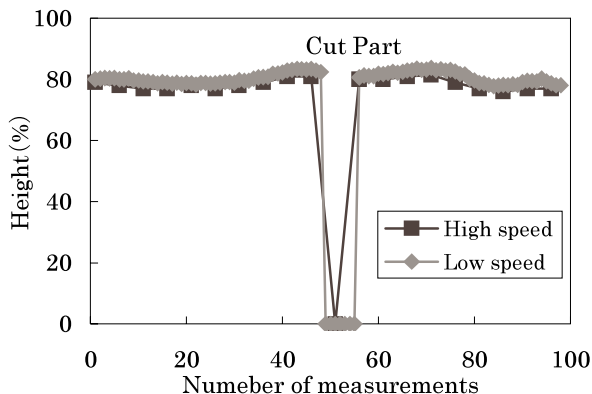


Fig.5 Influence of Robot Speed

Table 3 Result of Repeatability Test

Height		
Robot speed	Average (%)	Three sigma (Target <0.5)
High	88.00	0.34
Low	88.73	0.30

Width		
Robot speed	Average (%)	Three sigma (Target <0.5)
High	49.46	0.82
Low	45.67	1.05

(2) 塗布位置の計測

ウインドガラスに関して、接着剤の塗布位置はウインドガラスやモールの端を基準としている。したがって、塗布位置を計測するためには、これら端の位置の検出が必要である。しかし、接着剤を塗布するときのウインドガラスの位置決めばらつき、作業者が行うモールの貼り付け位置のばらつき、また、車種ごとのモール位置の違い等を考慮すると、接着剤の塗布形状とモールやウインドガラスの端の位置を同時に計測するためには、約80mmの計測範囲が必要となる。しかし、高さ、幅を計測するための計測機器の位置や設定条件では、計測範囲が20mmになってしまい、塗布位置を計測することができなかった。

(3) データ通信

接着剤高さ、幅の計測データは、一旦、計測機器コントローラのメモリ内に保存され、計測終了後にパソコンへ転送される。ウインドガラスの場合、全塗布領域の計測データは、頂点部と底辺部のXYデータ、および、ウインドガラスとの距離データであり、ウインドガラス一枚当たりのデータ容量は312,480byteに相当する。

一方、計測機器のシリアル転送の最高速度は38,400bpsで通信所要時間は33secかかる。量産サイクルタイム内で計測を完了するためには、通信時間を9sec以内にする必要がある。

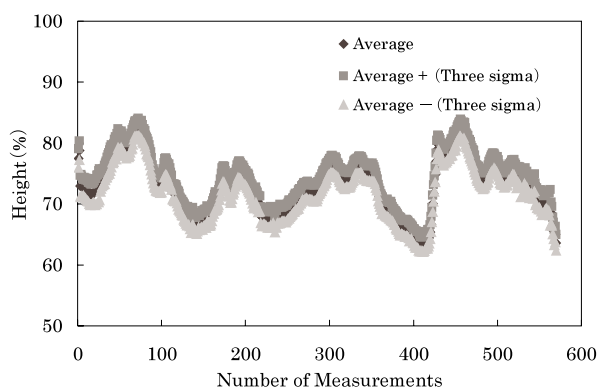


Fig.6 Example of Measurement Result of Height in A Car

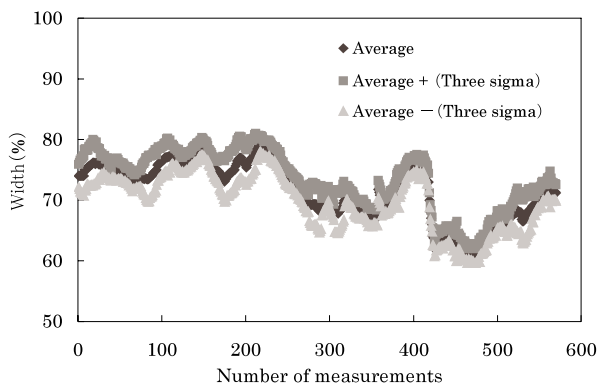


Fig.7 Example of Measurement Result of Width in A Car

3.5 課題

これらの計測テストを通じ、実際の量産工場に導入する上で、次の三つの課題が顕在化した。

- 接着剤の幅計測での再現性向上
- 接着剤塗布位置の計測方法を確立
- 通信速度の高速化

3.6 課題への対応

(1) 幅計測の再現性向上

幅計測の再現性が低下する理由として、Fig.8に示すように、接着剤の上方向から投光されたスリットレーザ光が、接着剤の斜面で反射して受光部に戻り難くなることや、接

着剤の傾きによって死角ができ、スリットレーザ光を照射できていないことが挙げられる。そこで、計測機器を傾斜させ、スリットレーザ光を斜めから照射する方法を試したところ、片側だけであるが接着剤底辺部を安定して計測できることが分かった。

この結果から、Fig.9に示す、二つの計測機器を組み合わせる方法を考案した。この場合、互いのスリットレーザ光が干渉して誤検出しないよう二つのスリットレーザ光を一つのスリットレーザ光として扱える位置に計測機器を配置することとした。この配置を決めるに当たっては、CADを用い、焦点距離を考慮しながら二つのスリットレーザ光軸が同一の平面になる計測機器の取り付け位置、角度を設定して、ロボットのハンド設計を行った。また、計測機器が傾いて配置されているため、接着剤の高さ、幅はこの傾きを補正して算出することとした。

この方法により、前述と同様の計測テストを実施した。一例として、車種Bのリアウインドガラスで実施した高さの計測結果をFig.10に、また、幅の計測結果をFig.11に示す。底辺部の検出が安定し、幅の計測においてもばらつきが±0.5mm以内となり、再現性の目標を達成することができた。

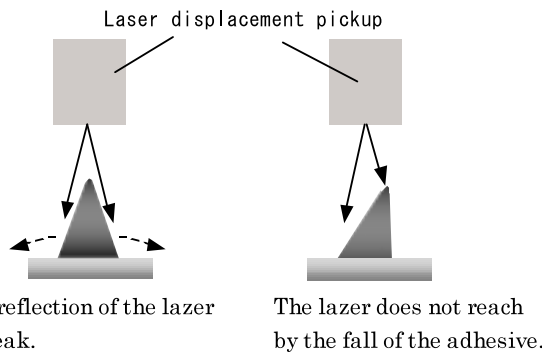


Fig.8 Factor to Obstruct Detection of Base Part

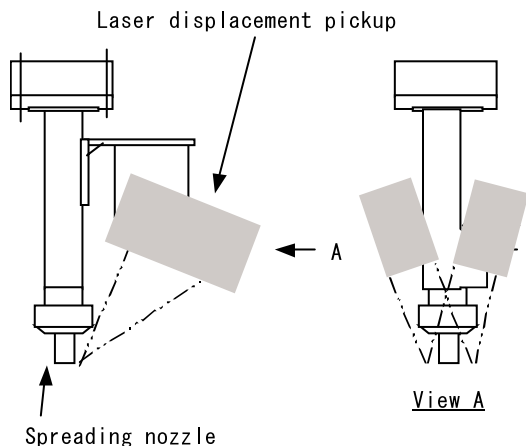


Fig.9 Arrangement of Laser Displacement Pickup

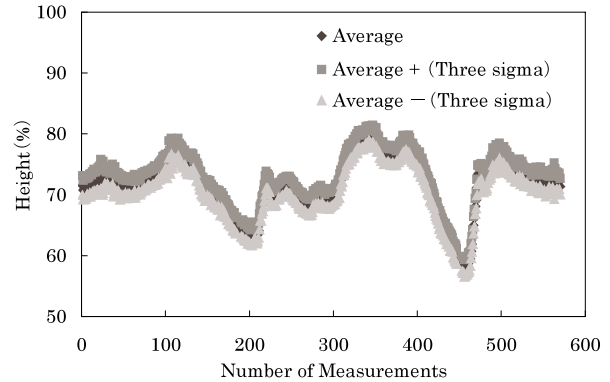


Fig.10 Example of Measurement Result of Height in B Car

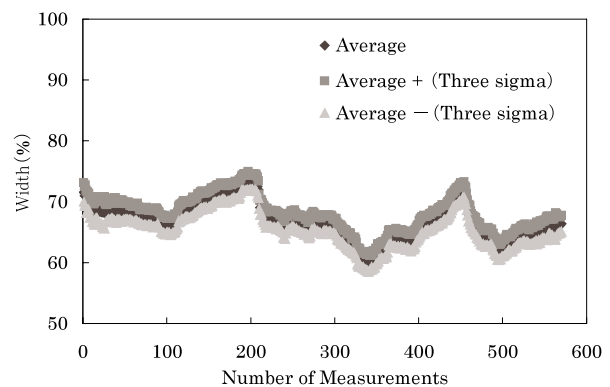


Fig.11 Example of Measurement Result of Width in B Car

(2) 塗布位置の計測

対象とする部品がウインドガラスの場合、接着剤の高さ、幅の計測と同時に塗布位置を計測するには、約80mmの計測範囲が必要であり、今回採用した計測機器では計測できない。量産工程のサイクルタイム内で計測でき、かつ、様々な形状に対応するためには、ロボットに複数の計測機器を取り付ける方法もあるが、塗布ロボットへの重量負荷の増大や、ロボットハンドと部品の干渉の恐れにより望ましくない。

そこで、接着剤塗布時の部品の位置を計測し、このデータから接着剤の塗布位置を算出する方法を立案した。

この方法は、ロボットハンドに小型の距離センサーを付け、Fig.12のようにウインドガラスの前後、左右で走査させる。ウインドガラスがない場合は、距離センサはエラー値を返してその時間を記録し、ウインドガラスがある場合は、検出した時間を記録する。そして、あらかじめ基準となるガラスの時間波形（時間をX軸、距離をY軸とした波形）と接着剤の塗布位置を登録しておき、この基準との差をずれ量として算出するものである。時間から距離への変換はロボット速度から算出する。

ここで、計測誤差要因としてロボット速度のばらつきが考えられる。そのため、計測基準となる治具によってサイ

クルごとにロボットの速度を測定し、基準との速度差を補正して検出精度を高めた。これらの施策により、量産のサイクルタイム内で接着剤塗布位置を計測することが可能となった。

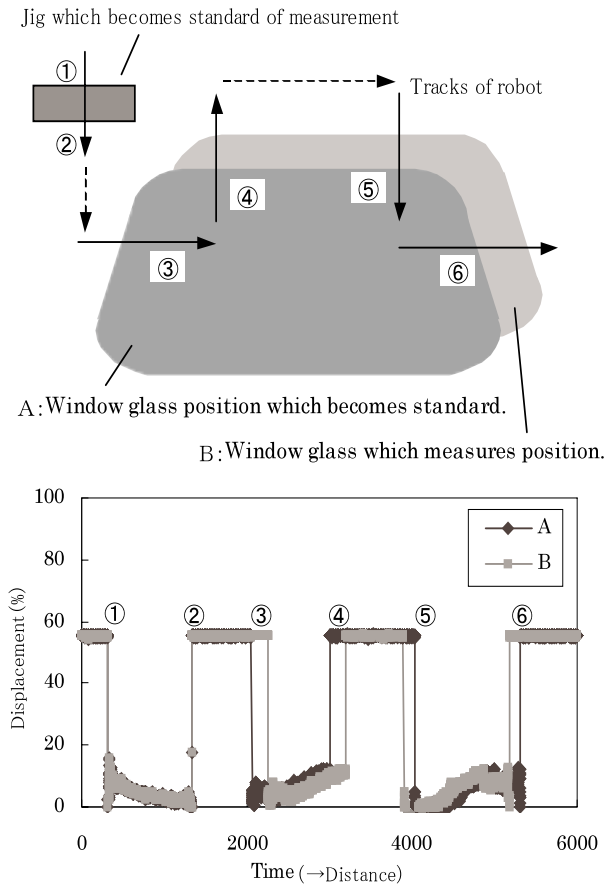


Fig.12 Method of Measuring Window Glass Position

(3) 通信速度の高速化

ガラス一枚当たりのデータ通信時間9sec以内を達成するために、塗布品質を保證する最小限までデータ容量の最小化を図った。計測機器は、12桁の通信バイトを持っており、必要精度に対して過剰な品質である。そこで、まず、必要桁数の6桁になるようにソフト変更を行い、更に、塗布不良の検出に必要な最低ピッチを確保できる走査時間を設定した。この結果、通信時間は8secにまで短縮され、目標を達成することができた。

4. まとめ

以上の取り組みにより、接着剤塗布に関し、量産のサイクルタイム内で全塗布領域の形状計測が可能となった。

本計測技術は、現在、量産工場のウインドガラスへの接着剤塗布工程に導入し、耐久性、信頼性の検証を行っている。Fig.13, Fig.14に量産工程での計測結果例を示す。

本計測技術を活用して接着剤塗布工程の品質を保證するためには、塗布の良し悪しを判定する確実性が鍵であり、計測機器が誤検出したときのデータ除去方法や、塗布不良

の判定基準を早期につくりあげていく必要がある。そのため、現在、量産での計測を全数実施して、誤検出の発生状況や塗布状態と計測データとの相関を分析し、信頼性の高いシステム構築に向けて活動を進めている。更に、今後は、接着剤塗布品質の安定化を図るため、品質に影響を与える工程内のパラメータを明確にし、ばらつきに強い工程作りを進めていく計画である。

最後に、この計測技術は、すでに車体の隙間を塞ぐシーラの塗布品質を定量化する技術としても展開を始めており、従来定量化が困難であった特性の工程内保証技術として完成させ、車両の品質向上に貢献していく所存である。

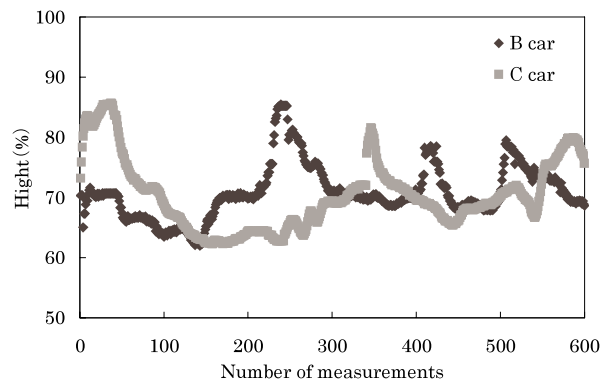


Fig.13 Example of Measurement Result of Height in Mass Production

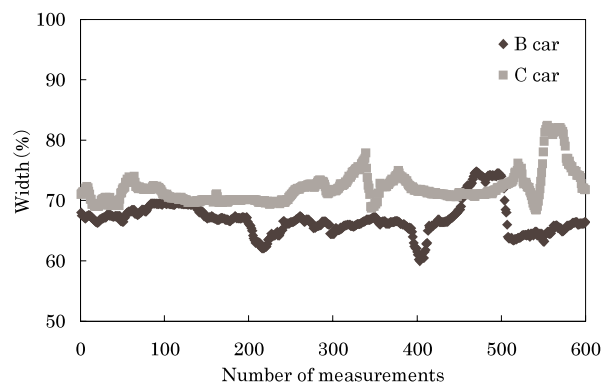


Fig.14 Example of Measurement Result of Width in Mass Production

著者



菅 康之



木村美昭



美本和彦