

論文・解説

34

プライマ塗布品質保証技術の開発 Development of Window Glass Primer Applying Quality in Process

木村美昭^{*1} 菅 康之^{*2} 鈴木尚文^{*3}
Yoshiaki Kimura Yasuyuki Kan Naofumi Suzuki
和泉昭雄^{*4} 美本和彦^{*5}
Akio Izumi Kazuhiko Mimoto

要 約

車両組立領域では、自工程で品質を造り込み、高いレベルで精度維持することを目指した工程内品質保証活動を進めている。その活動の中で、工程内の品質レベルを定量的に捉えることは、品質向上に取り組む上で特に重要となる。組立領域には、締付、嵌め込み、接着、充填といった作業分類があり、その中で接着剤の塗布管理は作業者の目視検査に頼っており、特にガラスへのプライマ塗布工程では、目視での検査も難しく、これまでも自動検査装置を導入してきたが、タクトやスペースの制約から部分的な運用に留まっていた。そこで、ガラス全周の塗布状態をインラインで測定し、塗布状態を識別判定する技術開発に取り組んだ。これは、プライマを塗布しながら塗布面にレーザ光を照射し、その反射光濃度を測定するもので、その波形の特徴によって良否判定を行い、後工程への不具合流出を防止するものである。本稿では、この技術開発内容を紹介する。

Summary

We proceed with activity of “ the In-process quality assurance system ” for stable quality. In these activities, the inspection technology for quantifying quality is one of the most important problems. As for the element work of assembling such as fastening, mounting, adhesion and filling, it is needed quality assurance. However, adhesion quality assurance depends on visual inspection mostly. Therefore quantification of quality is difficult. And automatic inspection machines are not applied positively to an adhesion process by the limitation of time and space. We developed the measuring system to quantify application quality of a primer that applied on all around the windshield glass. For this system, we can stabilize a quality by analyzing a tendency and an effect to the problem. We introduce the content of development and an instance of introduction to the factory of UJINA.

1. はじめに

マツダは顧客満足度向上を目指し、品質向上に取り組んでいる。その中で車両組立領域では、自工程での品質造り込みを目指した工程内品質保証活動を行っている。多くの品質保証項目の中で、ウインドガラスの接着工程では、ガラスへのプライマの塗布状態の良否が、接着強度、水漏れ防止を保証するために非常に重要である。そこで、自工程での品質保証を目指して、塗布時のプライマ塗布の状態を瞬時に計測する技術を開発した。これは、プライマを塗布しながらガラス全周の塗布状態を計測し、記録するものである。このシステムにより、後工程への不具合流出防止を

図るとともに、工程のネックとなるバラツキを定量的に把握、分析して品質向上に取り組む。本稿では、このシステムの開発内容と本社工場の組立ラインの適用事例を紹介する。

2. 開発のねらい

2.1 プライマ塗布について

ウインドガラスをボデーへ接着するため、Fig.1のようにガラスの周囲にはプライマ材が塗布され、その上にウレタンが塗布される。車両のデザインによってガラスの形状は大きく異なり、三次元曲面の複雑な形状であるため、図面に指定された軌跡にプライマを一定幅で塗布するのは熟練を要する作業となる。そこで、品質安定化のために以前

*1~5 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

からプライマ塗布の自動化を進めてきた。

しかし、プライマの塗布状態のチェックは主に作業者の目視確認となっている。また、Fig.2のようにガラス表面には黒色セラミック層があり、これを背景に同色のプライマの塗布状態を細かに確認するのは熟練を要する作業である。そのため、全数シャワーテストを実施して車両品質を検査し、出荷保証しているが、水漏れが発生した場合には手直し費用・工数が必要となりロスコストの発生に繋がっている。

2.2 これまでの取り組みと課題

プライマの塗布品質を保証するため、これまでも塗布状態を自動チェックする装置を導入してきた。その方法は、後工程流出防止を目指したもので、レーザ光電センサや、画像パターン認識による方法である。しかし、運用条件の狭さや、処理時間の制約でいずれもガラスの部分的な領域しか検出できないという問題があった。プライマの塗布不具合は、塗布軌跡のどこに発生するか不確定で、ガラス全周をもれなく測定することが課題であった。

3. 装置開発内容

3.1 プライマ全周検出の計測特性の候補選択

プライマの塗布品質を精度よく安定して判定するためには、どの物理特性を計測すべきか、基礎実験で検証を行った。その結果をTable 1に示す。

この結果、残念ながら市販測定器ではプライマを安定して検出ができるものがなかった。しかし、Table 1の項目

「①膜厚」のA社のレーザ変位センサにおいて、レーザ光の濃度分布の中心を検出する機能に着目した。

この機能がない場合、ワーク表面の艶の変化によってレーザ反射光の強度が変化し、レーザ反射部の大きさや反射状態が変化して測定の基準となるレーザ光の発光部の中心と違う部分を抽出してしまい、距離の誤測定を起こしてしまう。しかしこのセンサはレーザ光の濃度分布の中心を検出することによって、ワーク表面の艶状態に影響されず、高速で安定した距離計測をすることができる。

Fig.3は向かって左にセラミック面、右にプライマを塗布した状態でのレーザ光反射濃度画像を表している。この図で、セラミックのレーザ光反射画像は、発光部と背景の境がぼやけ、発光部の線幅は太くなる。

一方、プライマのレーザ光反射画像では、発光部と背景の境界は鮮明で、発光部の線幅は細くなる。このような見え方の違いをFig.4のグラフに示す。縦／横軸はそれぞれ濃度およびピクセル値である。セラミックのレーザ光反射画像の濃度分布は背景からの濃度差が緩やかで裾野が広い。またプライマのレーザ光反射画像の濃度分布は、背景からの濃度が急激に立ち上がり発光部の幅が狭い。このよ

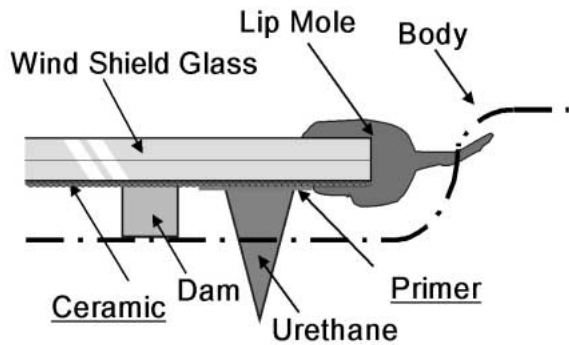


Fig.1 Glass Adhesion Structure

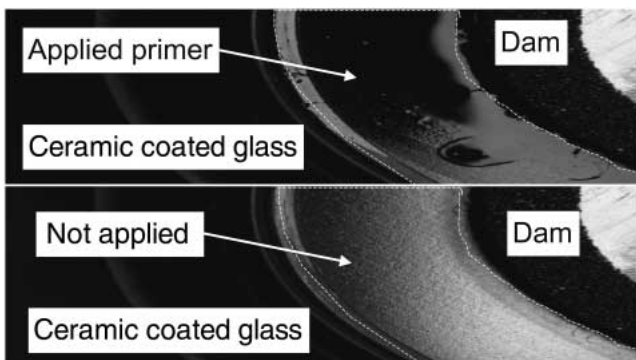


Fig.2 Difference of Surface

Table 1 Comparison of Measurement Method

evaluation item	maker	measuring instrument	detection result	Evaluation
① application primer thickness	A	Laser displacement sensor	No good	No good
② application primer thickness	B	Laser displacement sensor	No good	No good
③ density of image	C	Laser photoelectric sensor	No good	No good
④ color image	D	RGB sensor	No good	No good
⑤ Temperature	E	Thermo pile sensor	No good	No good

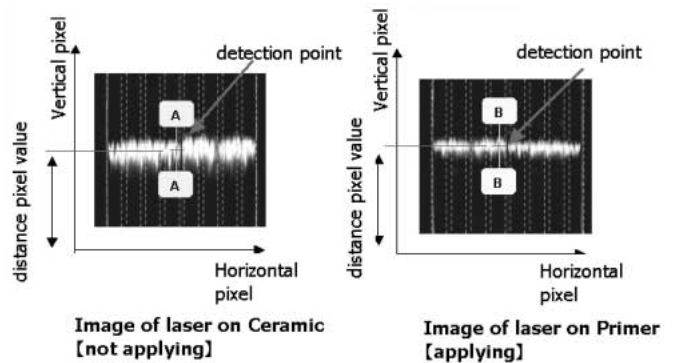


Fig.3 Difference of Image of Reflection

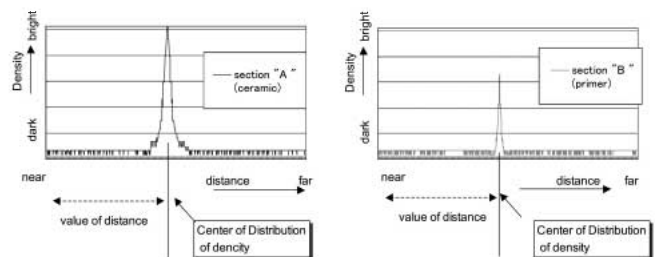


Fig.4 Difference of Laser Reflection

うな濃度分布の違いは、表面の反射状態が違うことに起因する。

ウインドガラスのプライマ塗布部の表面はセラミック粒子に覆われており細かい凹凸がある。このような微小な凹凸の表面にレーザ光を照射すると、レーザ光はFig.5内の左図のように拡散反射の状態になる。またセラミックにプライマを塗布した場合は、セラミック粒子の凸凹がプライマ液で満たされ、鏡面のような平滑面に変化し、レーザ光はFig.5の右図のように正反射の状態になる。この特性を利用して反射濃度の特性のうち、Fig.6で示すように、レーザ反射部の「濃度総和」をプライマ塗布の計測特性に採用することにした。

しかし、基礎実験においてレーザ光の反射光量で測定する方法は、レーザ光の距離や角度のバラツキで、反射濃度や反射の部の大きさなどが変化してしまい、表面粗さ起因による明るさの変化なのかどうか、判別が困難であることがわかった。そのため反射濃度を計測特性にする条件として、レーザ光の距離や角度のバラツキへの対応機能が新たに必要であることがわかった。

3.2 プライマ全周検出の測定器開発

プライマ品質保証での測定技術開発で、最も重視した点が次の二つである。一つは、処理時間である。処理時間が短いほどプライマ測定間隔が短縮でき、局所的な刷毛のかすれ現象等を検出するのに有利である。もう一つは信頼性の確保である。量産での突発的な不具合を確実に捉えるには、量産の様々なバラツキ環境で安定した検出能力を維持することが絶対条件である。これらのことを考慮して次のような開発機能考えた。

- 必要機能①；高速での濃度情報の抽出機能
- 必要機能②；位置・角度バラツキに強いレーザ光
- 必要機能③；全周塗布データの欠陥判定機能

上記必要機能項目①について、濃度情報の測定器の候補をTable 2に示すように複数あげ、候補の選定を行った。

高速性を重視した場合、A社のレーザ変位センサが最も高速である。しかし、濃度情報を持っていても、外部へ出力ができない。そこで外部出力機能を付加した新しいレーザ変位センサをメーカーと協同開発し、これを候補とした。

次に必要機能項目②について、レーザ光の反射で不安定となる要因は、ワーク位置決めや距離バラツキなどが起因している。Fig.7およびFig.8に示すようにレーザ投光部とワークの距離や、角度などが変化すると、反射光の距離や角度も基準から変化し、そのために受光部の濃度が変化する。このようにスポットレーザ光は指向性が強く、位置や角度によって反射光の方向や強度が変化しやすい。このため、プライマ検出では、Fig.9のようなライン状のスリットレーザ光とした。これは反射光を受けやすくするように、レーザ光の面積を線状に増やし、塗布検出の評価を行うこととした。

Table 2 Measurement Evaluation Result List

maker	measurement method	Sampling time(msec)	Ability for detection	communication function	Evaluation
A	Laser displacement sensor	10	Good	Unavailable	Good
B	Vision sensor	30	Good	Available	Good
C	Laser displacement sensor	30	No good	Unavailable	No good
D	Vision sensor	120	Good	Available	No good
E	Vision sensor	78	Good	Available	No good

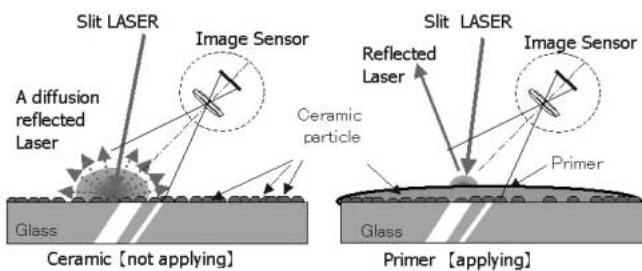


Fig.5 Optical Reflection Models

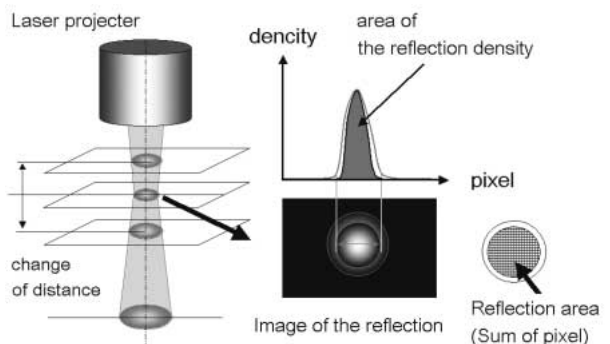


Fig.7 Size of Reflection Depends on Work Distance

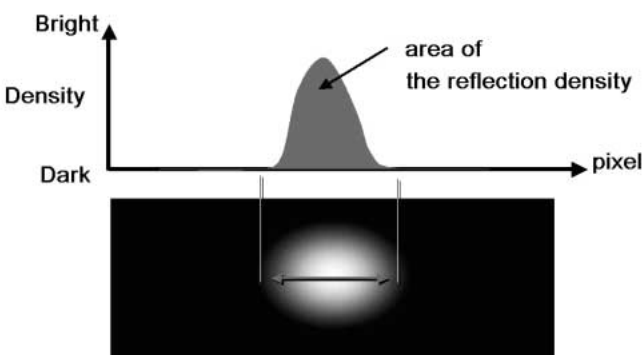


Fig.6 Measurement Characteristic

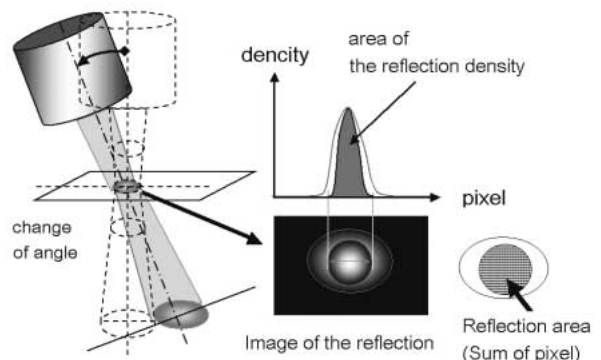


Fig.8 Shape of Reflection Depends on Laser Projection Angle

次に必要機能③の全周塗布データの欠陥判定機能については、通常はセンサが取得したデータを、センサ内部にあらかじめ設定した任意の閾値によって良否判定を行う。ガラス全周塗布では、莫大な数のデータをノイズ除去し、データ群の特徴から不具合現象を判定する機能が必要である。特に、ガラスのピラーやコーナの部位では、微妙に異なる波形データが得られ、センサの判定機能では、全領域で一律の閾値で処理するので、ピラーやコーナ部を両立させた安定検出ができない。そこで、ガラス全周の波形データを精度よく判定させるために、内製開発した波形判定処理システムで判定を行うことにした。

これは波形データを任意数の区間に分割し、その区間内に含まれるデータの特徴（生データ値、移動平均値、FFT変換値、区間平均値、区間分散値）を使い、各区間で設定した閾値と比較し、判定を行うもので、異常検出時には外部とのインターロックにより、後工程の作業者へ警報で知らせる。このようなシステムをプライマ塗布工程で実用化するため、実際に塗布を行い、判定に必要なロジックやノイズフィルタなどの機能を抽出し、対応する処理機能を織り込んだ。

3.3 プライマ全周測定テスト概要

ライン導入に向けた課題を明確にして、対策を打っていくため、実際の使用状態での計測実力を確認するため、Fig.10のような異常判定システムを実験棟に入れ、評価テストを進めた。このシステムの構成は大きく検出部、判定部、表示部で構成されている。

またFig.11のように、複数車種に対応したガラス位置決め装置や、プライマ吐出ポンプ、ロボットハンドに塗布刷毛を設置した。レーザの反射光の濃度総和を測定するセンサはFig.12のように刷毛から塗出した直後のプライマにレーザ光を照射し検出できる位置に装着した。このように量産工程を模擬的につくった環境で、複数車種のガラスを用いてプライマ塗布しながら測定テストを行った。

3.4 プライマ塗布全周測定テスト

量産工程では、Fig.13のような様々なバラツキ要因があり、これらが変化することによって検出に影響を及ぼすこ

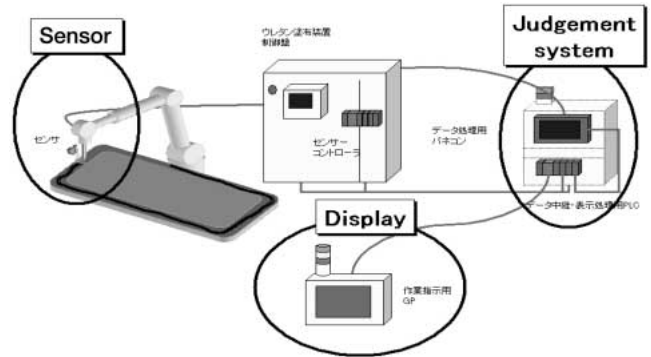


Fig.10 Judgment System Constitution

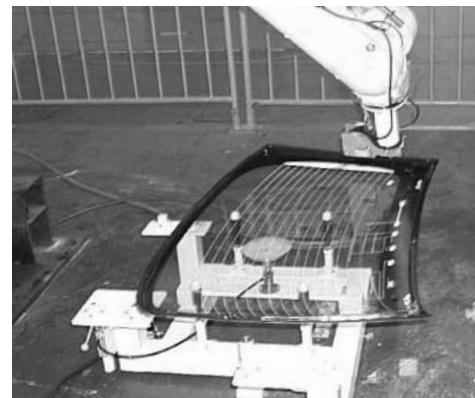


Fig.11 Primer Application Detection Experimental Device

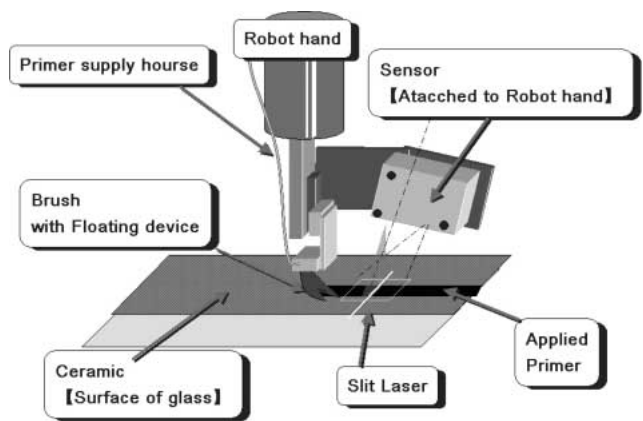


Fig.12 Attachment of a Sensor to a Primer Application Robot Hand

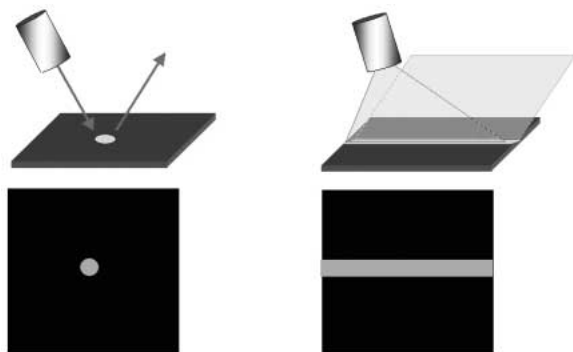
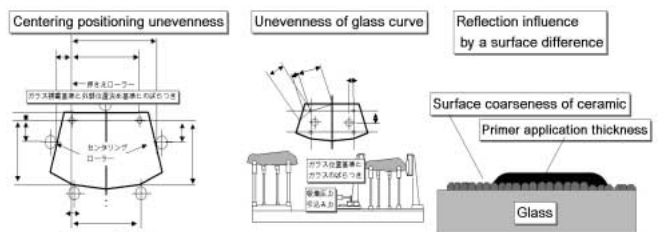


Fig.9 Pattern of Laser Projection



The repeatability of measurement by laser reflection
 The reflection influence by a position gap(X,Y,Z)
 The reflection influence by an angle gap(TX,TY,TZ)
 The reflection influence by vacuum absorption condition
 The reflection influence by a surface difference

Fig.13 Influence Factors to Ability for Detection

とが考えられる。そこで、位置決めバラツキや、ガラス自体の反り、ガラス真空吸着による反りの変化によって、プライマ塗布状態が、濃度総和測定によって安定的に検出できるかどうか実験を行った。

実験はプライマを吐出する場合と、プライマの供給ポンプを休止させた状態をつくり、塗布状態とかすれ状態を再現した。

Fig.14のグラフに検出テストの特徴的な一例を示す。グラフは縦軸に濃度総和値を、横軸は塗布開始から塗布終了の時間軸である。このグラフのように、プライマ塗布の波形は濃度総和値が小さい波形が得られ、一方のセラミックの波形は、濃度総和値が大きい波形が得られることを確認した。

このような波形の傾向が、各種のバラツキ要因が変化するとどうなるか、位置決め条件、ガラス吸着条件、生産ロットの違うガラスなどの条件を変えて濃度総和の再現性を検証した。

Fig.15のグラフは全ての実験の平均と±3 の上限下限値の波形である。縦軸に濃度総和値を、横軸は塗布開始から塗布終了の時間軸である。

実験の結果、バラツキ条件を変えても、反射表面の違いによって、プライマは正反射によって濃度総和値は小さい傾向が、またセラミックは拡散反射により濃度総和値が大きい傾向であると実験で確認できた。次にプライマとセラミックのそれぞれの濃度総和の波形で、波形判定システムが正しく判定ができるかどうか検証した。実験データから、波形データを複数区間に分け、各区間の平均値や分散値などの特徴量について、各々閾値を設定し、正常と異常を正しく検出できるかどうか検証を行った。

Fig.16はプライマを正常塗布した時のデータを、塗布正常と判定した時の画面である。塗布全周で異常がない状態を、波形上に青い点で表示した例である。

またFig.17は、プライマの吐出を止めて空塗り動作させた時の判定結果画面である。プライマ塗布異常と判定して波形上に赤い点を表示している例である。このような判定検出を、各種のバラツキ要因に対し実施し、更に全てのバラツキが最悪になる実験においても、安定した良否判定が確認できた。この実験の結果、プライマ塗布をレーザ光反射の濃度総和という代用特性で判定できる目途がたった。

4. 量産ラインへの導入対応

これらの活動の結果、基本的な検出、および判定機能の開発ができた。そして更に量産導入に向けて、データの抽出機能と、波形判定システムの不具合判定方法の造り込みを行った。

まずデータの抽出機能について、Fig.18はプライマ塗布面の濃度総和値を測定する領域を表す。この図の右は一つの領域を測定するものである。局所的な塗布異常が出た場合、領域内の一部の濃度が変化する。しかし、一つの領域

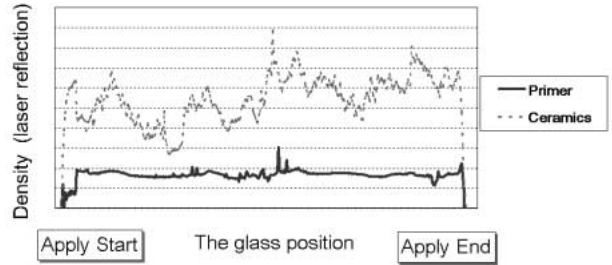


Fig.14 Difference of Laser Reflection

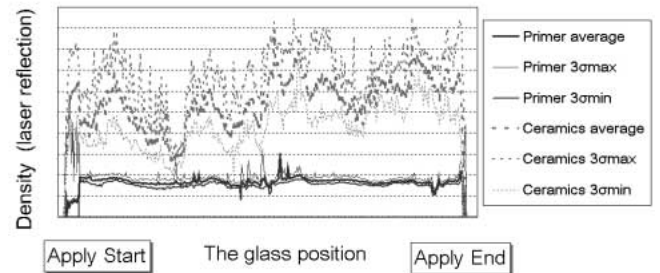


Fig.15 Difference of the Unevenness of Laser Reflection



Fig.16 Screenshot Showing the Sample of " Judgment OK "

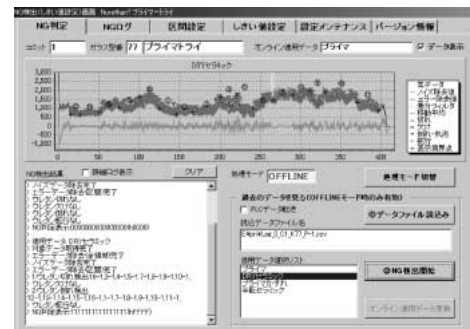


Fig.17 Screenshot Showing the Sample of " Judgment NG "

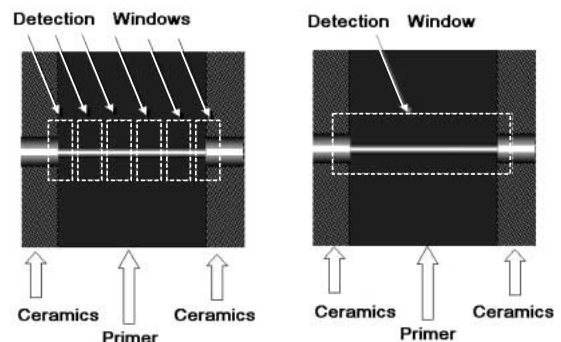


Fig.18 Difference of the Detection Method

での測定では、塗布幅全体で一つの濃度総和値しか抽出できないため、異常部位の特定できず、また異常部分が小さいと濃度総和値の変化も小さいため、不具合の安定的な検出は困難であると予想された。

そこで、Fig.18の左のように測定領域を細く複数に分割した。複数領域化によって、局所的な塗布異常であっても、領域単位で複数の濃度総和の抽出ができ、プライマの塗布幅の中で、どの部位がどれくらい変化したかが捉えられる。この領域の複数化によって通信データ数が増えるため、タクト内で処理できるように通信の高速化を併せて行った。

次に波形判定システムの不具合判定方法については、「プライマかすれ」や「吐出量大による垂れ」など不具合現象の識別ができるように、二段階に分けた判定処理とした。この判定処理の概念をFig.19に示す。

まず、ロボットでプライマを塗りながら、センサに設定した複数の測定領域でガラス全周の濃度総和値を得る。

次に、第一判定を、ガラスの部位に相当する区間単位で行う。この判定は、区間内に含まれるデータ群の平均値や分散値などの特徴量を用い、その値が良品の正規分布内かどうか、あらかじめ設定した閾値と比較して大小判定を行う。

次の第二判定では、一つの区間内で各領域の大小判定結果の組合せを抽出し、あらかじめ設定した「塗布状態別の組合せ」からと比較照合を行い、合致した組合せで塗布状態の識別を行う。この二段階の判定によって「塗布の均一さ」、「かすれムラ」、「垂れのはみ出し」など、大小判定だけでは困難な塗布状態の識別を行う。この一連の処理をガラス全周の各部位で行い、塗布状態の判定を行う。

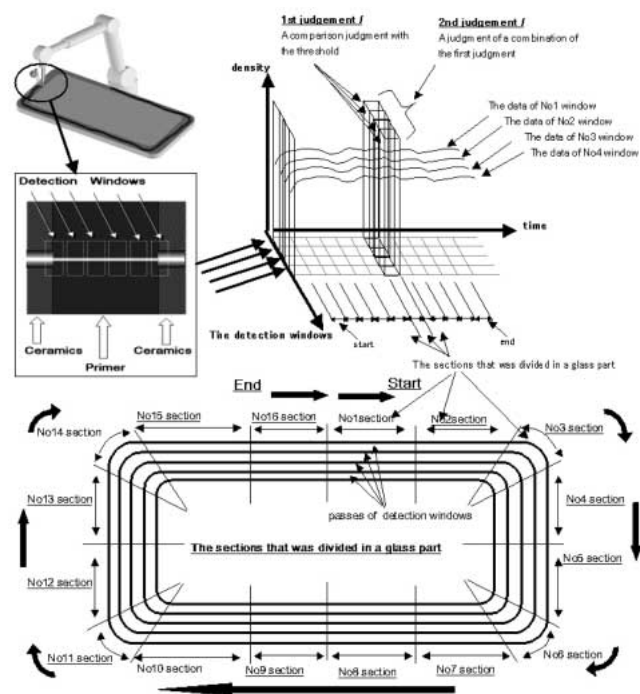


Fig.19 Judgment by Series Data of Reflection Density of All Around Glass

5. 量産ラインへのテスト導入

開発したプライマ塗布検出装置機能を、量産使用条件での耐久性、および、測定データの信頼性をN増しで検証するため、工場側の協力のもと、組立ラインの既設のウインドガラスプライマ塗布装置へ本測定システムを導入している。導入に際して、塗布不具合発生要因分析につなげられるように、結果系であるプライマ全周計測センサに加え、要因系であるプライマ供給ポンプや、配管や開閉バルブに圧力センサを設置した。また塗布に使用する刷毛の交換信号や、プライマのパーージ指令の実施時間も記録し、刷毛の寿命や交換頻度、またパーージ回数などの要因系の情報を、結果系と紐付きで記録できるものとした。

6. 成果と今後の取り組み

今回開発した計測技術により、これまで不可能であったプライマの全周塗布検知が可能になった。本技術を活用して、まず、プライマかすれ、塗布量大による垂れ現象のような不具合を後工程に流出させないように、検出の信頼性を上げていくとともに、ポンプ運転状態や圧力状態等の各種の要因系のデータを分析し、この分析結果を工程管理基準や、設備設計基準に反映して、「後工程へ不良を流出させない」から不良を未然防止するロボスタな工程づくりにつなげ、常にお客様から信頼を得られる車づくりへ発展させたいと考えている。

参考文献

- (1) 菅ほか：接着剤塗布時の形状計測技術開発，マツダ技報，No.22，p.192-197（2004）

著者



木村美昭



菅 康之



鈴木尚文



和泉昭雄



美本和彦