

自動車ボディ寸法検査

樋口和則，小関 修，山本 新

Dimensional Inspection of an Automotive Body

Kazunori Higuchi, Osamu Ozeki, Shin Yamamoto

要 旨

自動車の高級化・高品質化に伴い，自動車の検査品質の向上と検査の自動化の要望が高まってきた。自動車の寸法検査には，パネル仕上がり寸法検査，塗装前のボディ筐体の建て付け寸法検査および塗装後の完成車ボディの建て付け寸法検査がある。このうち，自動車パネルの寸法検査技術と塗装後の完成車ボディの建て付け寸法検査技術を開発した。

自動車パネルの寸法検査は，パネル部品が設計通りにできているかを検査するもので，パネル端部の曲がりに影響されずに寸法を計測する必要がある。このため，三次元視覚センサを用いてパネルと基準ブロック間の隙間と段差を計測する方式を開発した。この方式は，パネルと基準ブロック間に三次元視覚センサのスリット光

を投射して，その反射光画像に円を当てはめその円弧端点を算出し，これから種々の曲率をもつパネルについて正確に隙間と段差を計測し検査する方式である。

完成車ボディの建て付け寸法検査は，各パネル部品の組み付け寸法を検査するもので，白から黒まで種々の色に塗装されたボディの建て付け寸法（隙間と段差）を計測する必要がある。このため，三次元視覚センサとこれを用いて塗装後の完成車ボディを検査する方式を開発した。このセンサは，投射するパルススリット光の投射強度と投射時間を同時に制御することにより，対象物の幅広い反射率に対応できる。

本報告では，開発した方式と検査システムについて述べる。

Abstract

With recent increase of a high class and high quality cars, there is a great demand for more sophisticated inspection in automobile manufacturing industry. In the manufacturing process, three dimensional inspection is required for automotive body panels, white-bodies before painting and finished-bodies after painting.

An algorithm for the inspection of automotive body panel dimensions using a three-dimensional (3-D) vision sensor has been developed. The slit light of the 3-D vision sensor is projected onto a body panel and the reference block which gives reference coordinates. In order to measure the

gap and flushness between the panel and the block, this algorithm discriminates the form of an edge of a cut off or bent panel and estimates the edge of the panel by fitting a circle.

A pulse-controlled 3-D vision sensor and an algorithm for the inspection of finished-body dimensions using this sensor have been developed. This 3-D vision sensor controls both intensity level and time of the projected slit light pulse in order to measure finished-body dimensions with various reflectances. This report describes these newly developed methods and the performance of the inspection system based on the methods.

キーワード

自動車ボディ，自動車パネル，寸法検査，建て付け寸法，反射率，アルゴリズム，非接触，三次元視覚センサ，スリット光，レーザ，テレビカメラ

1. はじめに

自動車の高級化指向に伴って、自動車ボディの仕上がり品質の向上への要望が益々高まっている。自動車ボディの仕上がり寸法検査は、塗装仕上がり品質検査と並んで、極めて重要な品質検査の1つである。

自動車ボディの仕上がり寸法検査は、ボディを構成する各部のパネル単体での検査、塗装する前のボディ筐体（ホワイトボディ）での検査、および完成車両での最終検査に分けられ、各工程で非常に綿密な検査がなされている。

自動車パネルの検査とは、パネル部品が設計値通りにできているかをチェックするもので、その後工程の品質にも影響するため重要な検査である。このようなパネルの寸法検査では、固定治具にパネルとスリット光センサを取り付けて計測したり¹⁾、ロボットにスリット光センサを装着して計測されている²⁾が、いずれも端部の形状に応じて寸法計測をしているものではない。

ボディ筐体での検査とは、各パネルを組み付けたボディの諸元や各パネルの組み付け寸法を検査するもので、不具合箇所を早い段階で修正してボディ精度を確保するためには重要な検査である。このうち、ボディ諸元の寸法計測では、6軸ロボットにスポット光センサを装着し、筐体の諸元を計測した例^{3,4)}がある。また、ドアやウィンドウシールドの取り付け寸法をロボットに装着したスリット光センサを用いて計測した例^{5,6)}や、ロボットを用いず固定治具に多くのスポット光センサを取り付けて検査するシステム^{7,8)}が報告されている。これらはいずれも計測部位が単純な形状をしたものに限られている。

完成車両の最終検査とは、ラインオフ直前の車両を対象に各パネルの組み付け寸法や塗装品質などを検査するもので、最終的な品質の保証・確認の点から重要な検査である。このうち、完成車両の組み付け寸法検査については、オフラインでの抜き取り検査とオンラインでの全数検査がある。どちらも検査員による綿密な検査が行われていて、検査の自動化に対し強い要望があるが、検査システムの開発の報告はない。

筆者らは、自動車パネルの寸法および完成車ボディの建て付け寸法を光切断法による三次元視覚センサを用いて検査する方式を開発した。その検査方式は、検査部位にレーザスリット光を投射し、その反射光画像

から仕上がり寸法（隙間と段差）を検査する方式である。

本報告では、2章で開発した自動車パネル寸法検査方式と検査システムについて、3章で完成車両を対象とした自動車ボディ建て付け寸法検査方式と試作システムについて述べる。

2. 自動車パネル寸法検査

2.1 検査方式

自動車ボディは、ドアパネル、フェンダパネル、エンジンフードパネルなど各部のパネルからなっている。検査対象は、これら各部のパネルで、材質は防錆処理された鋼板である。

Fig. 1は、自動車パネルの一例を示したものである。この検査は製作されたパネルが設計値を満たしているかをチェックするもので、CADデータに基づいて精密に製作された基準となる治具（以下、基準ブロックと呼ぶ）を標準として、検査すべきパネルと基準ブロックとの間の隙間や段差を計測することによって行われる。

自動車の各部のパネルの端部は規定の曲率で曲げられており、それぞれ異なった形状をしている。Fig. 2はその代表的な端部形状を示したもので、その形状は図のように1)パネル端部が切断されている場合、2)パネルが内側に曲げられている場合、3)パネルが直角に曲げられている場合、および4)パネルが鈍角に折り曲げられている場合の4つに分けられる。隙間と段差は、各場合について図のように定義されているので、それ

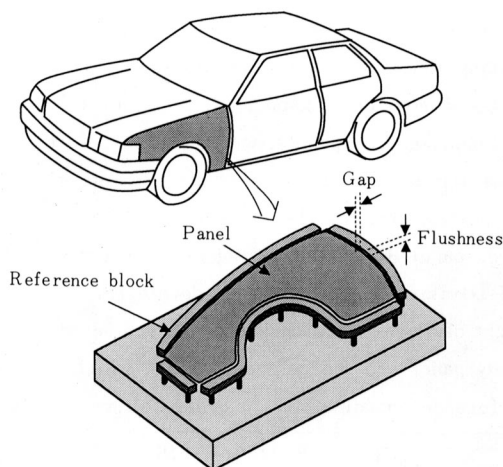


Fig. 1 Automotive body panel.

それぞれの定義された点を検出することが課題となる。

上述の端部形状をしたパネルを高速に検査するためには、光学的手法が有効と考えられ、その具体的な方法として、スリット光を投射してその反射光をTVカメラで撮像する方法がある。

一方、このような曲がりのあるパネル端部にスリット状の光を投射すると、Fig. 3に示すように端部の一部からの反射光が得られにくくなる。この反射光の端点は、パネル端部の形状によって異なってくる。そのため、正確な計測・検査のためには、端部形状に影響されことなく隙間や段差を得る検査方式が必要となる。

開発した検査方法は、検査すべきパネルと基準ブロックにスリット光を投射して得られた反射スリット光画像から、パネル端部の形状を自動判別し、判別したパターンに応じた寸法を計測する方法である。

Fig. 4は、開発した端部形状の判別法である。基本的な判別の方法は、パネル端部の曲げの部分（以下、R部と呼ぶ）の有無と、R部とパネル端部の画像の先端（以下、端点と呼ぶ）の間の相対的な距離から判別

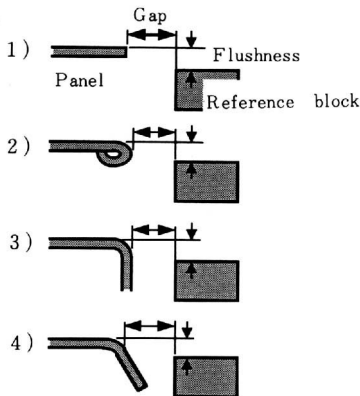


Fig. 2 Four types of typical body panels.

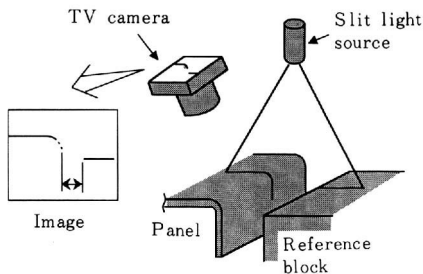


Fig. 3 Slit light image on the bent panel.

するというものである。

Fig. 4 (a) ~ (c)は、前述した4つの端部形状の各々についてスリット光を投射したときの様子を示したものである。各々の場合のパネル端部の反射スリット光画像は、つぎのようになる。Fig. 4 (a)のようにパネル端部が切断による面である場合、端部にR部が無く端点で途切れる画像となる。Fig. 4 (b)のようにパネル端部が内側まで曲げられるかまたは直角に曲げられた面である場合、端部がR部で終わる画像となる。Fig. 4 (c)のようにパネル端部が鈍角に曲げられた面である場合、端部にR部がありさらにその先に平面部がある画像となる。

端部形状の判別は、つぎのような手順で行う。まず、スリット光を計測部位に投射して、パネル側端点(E_p)と基準ブロック側端点(E_r)を検出する。つぎに、曲率を計算し、許容値以上の曲率と長さを持つ領域をR部として検出する。ここで、R部の両端のうちパネル端部から遠い方をR開始点(C_s)、端部から近い方をR終了点(C_e)と定義する。

R部が検出できない場合、すなわち許容値以上の曲率と長さを持つ領域が見つからなかった場合には、R部がない部位と判断する (Fig. 4 (a))。つぎに、R終

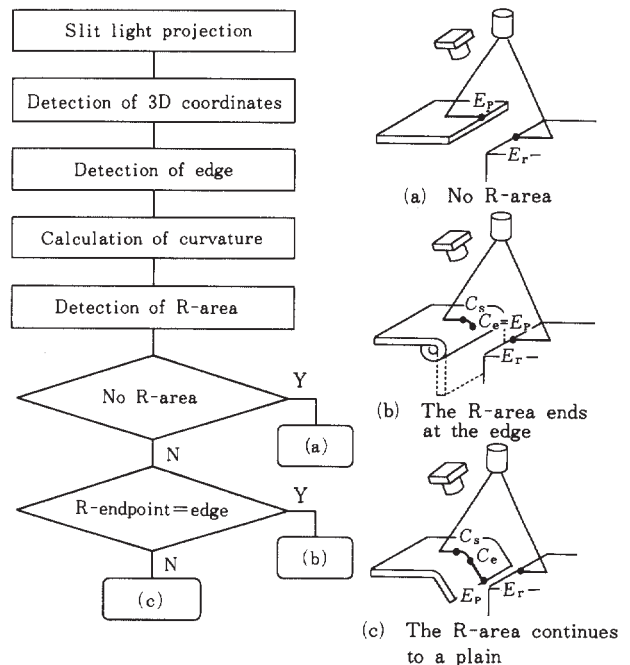


Fig. 4 Algorithm of discriminating a type of the edge.

了点(C_e)と端点(E_p)の間の距離が許容値以下であれば端部がR部で終わる部位と判断し (Fig. 4 (b)), そうでなければ, R部の先に平面部が続いている部位と判断する (Fig. 4 (c)). ここで, 隙間・段差を定義するパネル側の点 (以下, 寸法定義点と呼ぶ) は, パネルの設計上, Fig. 4 (a)では, 隙間・段差ともパネルの先端, Fig. 4 (b) では, 隙間はR部の先端, 段差はR開始点, Fig. 4 (c)では, 隙間はR終了点, 段差はR開始点と決められている。寸法定義点は判別した端部形状にしたがって決定される。

Fig. 5に, 考案したパネル端部の先端の推定法を示す。Fig. 4 (b)のような形状の部位にスリット光を投射すると, Fig. 5に示す断面形状が得られる。このとき, 自動車パネルが金属面であるため, パネル先端の反射スリット光は得られにくく, 端点検出ではパネル先端を正しく検出できない。そこで, パネル端部のR部を検出し, 検出されたR部を円弧近似して円弧の先端を求めることで, パネル先端を検出する。

円弧の中心(Y, Z)と半径 R は, R部上の n 個のサンプル点 (y_i, z_i) $i = 1, 2, \dots, n$ から, 1式のような評価関数 J を定義し, これを最小とする R, Y, Z から求める。

$$J(R, Y, Z) = \sum_{i=1}^n [\pi R^2 - \pi \{(y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2\}]^2 \quad (1)$$

$$\frac{\partial J}{\partial R} = \frac{\partial J}{\partial Y} = \frac{\partial J}{\partial Z} = 0 \quad (2)$$

すなわち, 2式を解くことで R, Y, Z が求められる。

2.2 三次元視覚センサ

高速・高精度にパネル寸法を計測するために, 三次

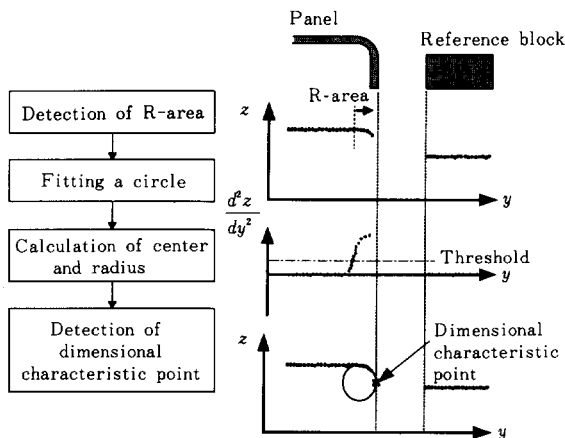


Fig. 5 Algorithm of detecting the dimensional characteristic point by fitting circle.

元視覚センサ (レンジファインダ) を開発した。この視覚センサは, スリット光を用いた三角測量法の原理により三次元座標を検出する。三次元座標の検出は, 専用に設計したハードウェアにより高速・高精度に実行される。

Fig. 6は, この視覚センサの構成である。このセンサは, 撮像ヘッドと座標演算部で構成される。撮像ヘッドは, スリット光源とTVカメラからなる。スリット光は, 光源に赤外の半導体レーザ (波長830nm) を用い, レーザビームを円筒レンズを用いて広げることによって得ている。このため, センサには可動部がなく信頼性が高い。また, 通常の照明下で計測できるように, 可視光をカットする光学フィルタを装着している。TVカメラは, 384 (水平) $\times$ 484 (垂直) 画素の小型CCDカメラを用いている。

座標演算部は, TVカメラの撮像素子上のスリット光画像の位置を検出するスリット光中心位置検出回路, この位置を三次元座標値に変換するためのルックアップテーブル, および対象物の表面性状の影響を低減するための投射光強度制御を行うスリット光反射強度検出回路とスリット光投射強度設定回路からなる。スリット光中心位置検出回路では, 高精度化のため, 重心計算によりスリット光中心が検出される。この方法により, スリット光の中心を ± 0.15 画素の分解能で検出される。これら回路は, 実時間の座標測定を行うために, すべて専用ハードウェアで構成されている。

Fig. 7は, 三次元視覚センサの外観である。座標演算部はマルチバス規格のボード2枚に納められ, 汎用のインタフェースを介して, マイクロコンピュータから制御できる。

Table 1は, 開発したセンサの性能である。測定範囲

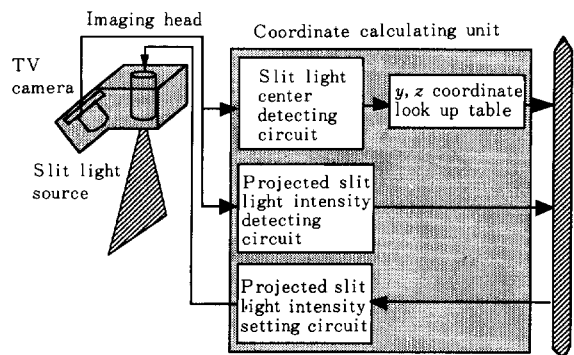


Fig. 6 Block diagram of 3-D vision sensor.

は、センサから80mmの位置で $30\text{mm}(y) \times \pm 10\text{mm}(z)$ 、測定精度は $\pm 0.1\text{mm}(y, z)$ である。測定点数は、CCDカメラの水平走査線の数である484点、測定時間は、実時間処理のハードウェアにより、484点あたり33.3msである。撮像ヘッドの重量は700gとコンパクトに設計されている。

2.3 検査システムの構成

前述した寸法検査方式を用いた検査システムを開発した。Fig. 8は、検査システムの構成を、Fig. 9は、その外観を示したものである。検査システムは、三次元座標を検出するための三次元視覚センサ、パネル寸法の標準を与えるための基準ブロック、および寸法の計測、データの入出力などを行うための処理部で構成される。

この検査システムでは検査すべきパネルの種類が多く、また、その外形が複雑であるため、三次元視覚センサの計測部位への位置決めは治具を用いて人間が行う構成とした。この位置決め用の治具は、センサを基準ブロックに対して一定の姿勢で位置決めできるように、基準ブロックと接する面が作られている。

Fig. 10は、検査の処理の流れを示したものである。まず、検査すべきパネルを基準ブロック上の取り付け治具にあてがって固定する。つぎに、センサを計測部

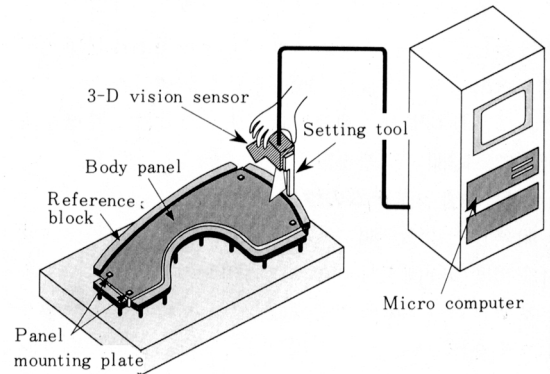


Fig. 8 Inspection system.

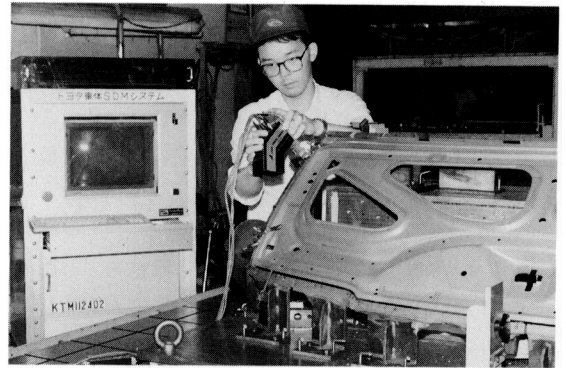


Fig. 9 Practical system for dimensional inspection of body panels.

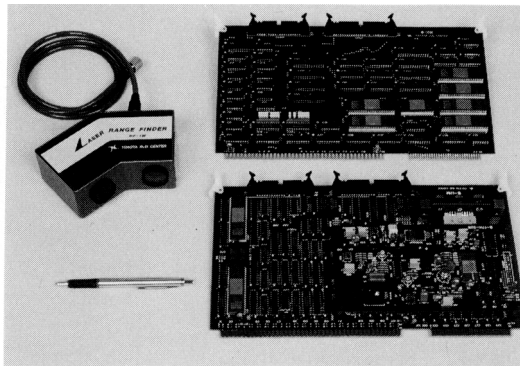


Fig. 7 Photograph of 3-D vision sensor.

Table 1 Performance of 3-D vision sensor.

Stand-off distance	80mm
Measuring area	$30(y) \times \pm 10(z)$ mm
Measuring point	484points
Measuring accuracy	$\pm 0.1\text{mm}$
Measuring time	33.3ms/484points

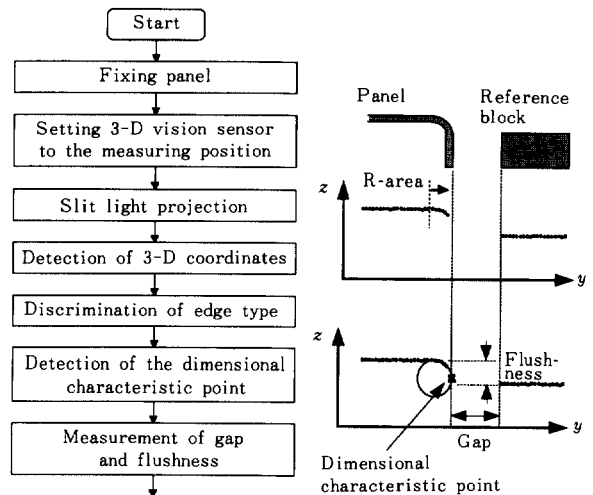


Fig. 10 Flow chart of the inspecting procedure.

位に位置決めしてパネルと基準ブロックにスリット光を投射し、得られた反射スリット光画像から三次元座標を検出する。さらに、端部形状を前述したアルゴリズムにより判別し、端部形状に応じた寸法定義点を決定して、隙間・段差を計算する。

2.4 検査システムの性能

開発した寸法計測アルゴリズムの検証のため、寸法計測精度の評価を行った。計測精度の評価は、パネルと基準ブロックの形状を模擬したFig. 11に示す標準サンプルを作成し、これを用いて行った。この標準サンプルは、アルミ合金製で、その表面は、塗装前の自動車パネルと基準ブロックの表面と同等の表面粗さになるよう製作されている。

Fig. 12は、Fig. 11(1)～(4)の形状のサンプルを計測したときの隙間・段差の計測誤差の例を示したものである。ここでは、各サンプルにつき10回ずつ計測し、測定値はその $\pm 3\sigma$ (σ : 標準偏差)で表している。この検査システムの計測精度は、計測誤差の最大値と最小値の幅を計測精度とした。

Table 2に、検査システムの性能を示す。計測範囲は、1～8mmの隙間および-4～4mmの段差で、計測精度は、隙間で $\pm 0.30\text{mm}$ 、段差で $\pm 0.15\text{mm}$ が得られた。これは目標精度 $\pm 0.30\text{mm}$ を満たすものである。また計測時間は1測定点あたり5秒で、これも従来の計測法に比較してもかなりの時間短縮となっている。

3. 自動車ボディ建て付け寸法検査

3.1 検査方式

自動車ボディは、ドアパネル、フェンダパネルなどのパネル部品が組み付けられて塗装が施された後、エンジン、窓ガラス、シートなどの機能部品が装着され、完成車両となる。検査対象は、自動車製造ラインのコンベア上を搬送される塗装後の完成車ボディで、その表面は、白から黒まで様々な反射率の塗装が施されている。

この検査は最終工程において自動車ボディ各部のパネルの組み付け精度チェックするもので、各部のボディパネル間の隙間・段差を計測することによって行われる。

コンベアで搬送される完成車ボディを静止させることなく、オンラインで検査するためには、非接触で高速な寸法計測を行う必要がある。そのための有効な手

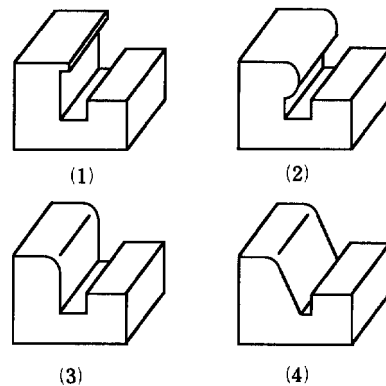


Fig. 11 Four standard test pieces.

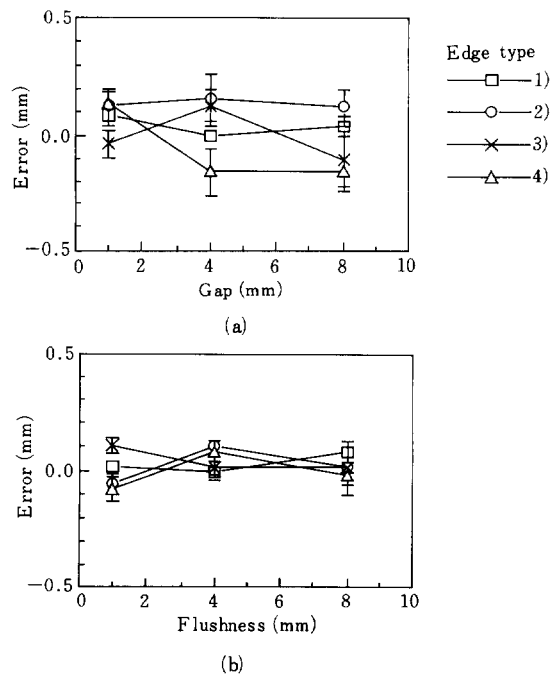


Fig. 12 Measured error : (a) Gap, (b) Flushness.

Table 2 Performance of the inspection system.

Kind of panels	30kinds
Measuring area	Gap : 1 ~ 8 mm, Flushness : - 4 ~ 4 mm
Measuring accuracy	Gap : $\pm 0.30\text{mm}$, Flushness : $\pm 0.15\text{mm}$
Measuring time	5 s/point (Positioning : 4 s, Processing : 1 s)

法として、スリット光を投射し、TVカメラで撮像した反射光画像から計測する方法がある。

この方法をオンラインでの完成車ボディの検査に適用するためには、つぎの2つの技術課題がある。

1つは、ボディの塗装色による反射率の違いの影響である。自動車ボディの塗装色には、白のように明るい色から黒のように暗い色まで各種の色がある。Fig. 13は、代表的な塗装色の反射率（完全拡散面を基準とした相対値）の実験結果である。この図から塗装色による反射率の違いは、500倍以上におよぶことが分かる。

この反射率の変化幅に対し、スリット光の光源である半導体レーザーの出力が安定して制御できる幅は、約30倍である。このため塗装色によらず安定な反射光画像を得ることは、レーザーの出力の増減による投射光強度制御だけでは難しい。

2つめは、完成車ボディの移動の影響である。完成車ボディの検査は、ボディが製造ラインのコンベア上を搬送される間に行われる。そのため、センサを計測部位に位置決めする場合、センサの位置決めとコンベアの同期を図るとしても、センサとボディとの間に、相対的な位置ずれが生じてしまう。

これらの技術課題に対処するために、塗装色による反射率変化に対してはパルス制御三次元視覚センサを、ボディの位置ずれに対しては、寸法計測方式を新たに開発した。ここでは寸法検査方式について述べ、次節でパルス制御三次元視覚センサについて詳しく述べる。

Fig. 14は、開発した寸法定義点の決定法である。この方法は、センサとボディの位置ずれの影響を受けにくくするために、反射光の得られやすいボディ平面部の画像から寸法定義点を決定するというものである。

パネル端部のスリット光画像は端部の曲がりのため、塗装のむらや塗装面の向きなどの影響を受けることがある。特に、反射率の低い塗装色の場合には、反射スリット光の正反射成分が大きいために影響を受けやすい。位置ずれが発生すると、端部の曲がりの部分に対するセンサの姿勢の違いによって、得られるスリット光画像が変化するため、端部のスリット光画像は安定して得られにくくなる。そこで、本方式では姿勢変化の影響を受けにくいボディ平面部の画像を用いる。

まず、スリット光を検査部位に投射して三次元座標値を得、曲率を計算してR部と平面部を検出する。つぎに、平面部の三次元座標値から基準線を計算する。得られた基準線とR部の三次元座標値の距離(D_i)を逐次計算し、これがしきい値(D_{th})を越える点を寸法定義点として検出する。

Fig. 15は、開発したノイズの除去方法である。完成車ボディにスリット光を投射して得られる三次元座標値に含まれるノイズには、反射強度の低下によるデータ欠落、メタリック塗装やほこりでの多重反射によるスパイク状ノイズ、および反射強度むらによるランダ

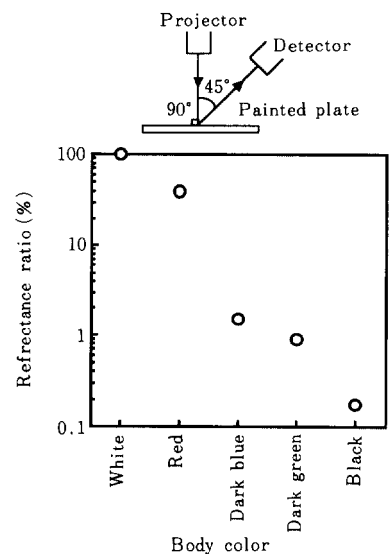


Fig. 13 Reflectance ratio versus body color.

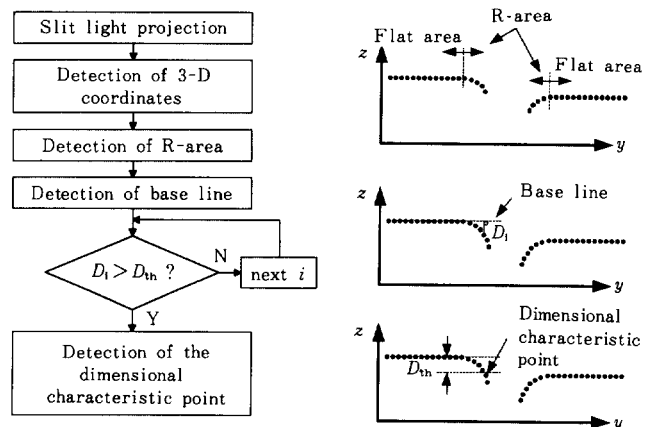


Fig. 14 Algorithm of determining the dimensional characteristic point.

ムノイズの3つがある。まず、データ欠落に対して補間フィルタを、つぎにスパイク状ノイズに対して中央値フィルタを、さらにランダムノイズに対して移動平均フィルタを用いてノイズを除去する。各フィルタのサンプル点の数およびピッチは、端部の形状なるべく保存されるように調整する。このノイズ除去をした後、前述した寸法定義点の検出を行う。

3.2 パルス制御三次元視覚センサ

反射率の大きく異なる塗装色に対応するために、パルス制御三次元視覚センサを開発した。このセンサは2.2で述べた三次元視覚センサと同様に、スリット光とTVカメラによる三角測量の原理により対象物の三次元座標を検出する。

このセンサは、塗装色による反射率の違いに対処するために、スリット光の投射時間と投射強度を同時に制御することで、投射スリット光の平均的なエネルギーを広範囲に設定する。ここで、TVカメラの電子シャッタを利用する方法も考えられるが、現在入手できるTVカメラは、電子シャッタ動作時には垂直方向の有効画素数が1/2になり、測定精度を低下させるため、ここではパルススリット光を投射する方法を用いている。

Fig. 16は、開発したパルス制御三次元視覚センサの構成である。センサは、撮像ヘッドと座標演算部で構成される。撮像ヘッドは、高出力スリット光源とTVカメラからなる。

スリット光源には、暗い塗装色のボディからでも良好な反射光が得られるように、2.2で述べたセンサに比べ高出力（約7倍）の半導体レーザを用いている。また、TVカメラは、入力のダイナミックレンジが広がるよう特別に調整された小型CCDカメラ（384(水平)×484(垂直)画素）を用いている。

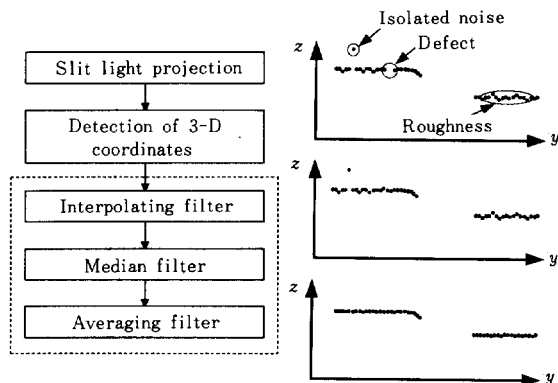


Fig. 15 Algorithm of noise reduction.

座標演算部は、塗装色の影響を受けなくするための投射スリット光パルス制御回路、座標測定の高精度化のためのスリット光中心位置検出回路、この位置を三次元座標値に変換するためのルックアップテーブル、およびスリット光反射強度検出回路からなる。これら回路は、実時間の座標測定を行うために、すべて専用ハードウェアで構成されている。座標演算部はマルチバス規格のボード2枚に納められ、汎用のインタフェースを介して、マイクロコンピュータから制御できる。

これらのハードウェアは2.2で述べたセンサとの互換性を考慮して設計されている。このため、投射スリット光のパルス制御は、2.2で述べたセンサを制御するソフトウェアへの一部ソフトウェアの追加で対応できる。すなわち、マイクロコンピュータ上のソフトウェアにより投射スリット光のパルス幅とパルス高さを独立して設定できる。

Table 3は、開発したセンサの性能である。測定範囲は、センサから80mmの位置で30mm(y)×±10mm(z)、測定精度は±0.1mm(y, z)である。測定点数は、CCDカメラの水平走査線の数である484点、測定時間は、実時間処理のハードウェアにより、484点あたり33.3msである。スリット光投射時間は1/30秒から1/15000秒、スリット光投射強度は1から1/30の範囲で設定できる。したがって、スリット光投射パワーの設定範囲は1から1/15000（相対値）となり、これは、計測すべき自動車ボディの塗装色による反射率変化の範囲を十分満たすものである。

3.3 試作検査システムの構成

開発したパルス制御三次元視覚センサと寸法計測アルゴリズムの有効性を確認するために、Fig. 17に示す

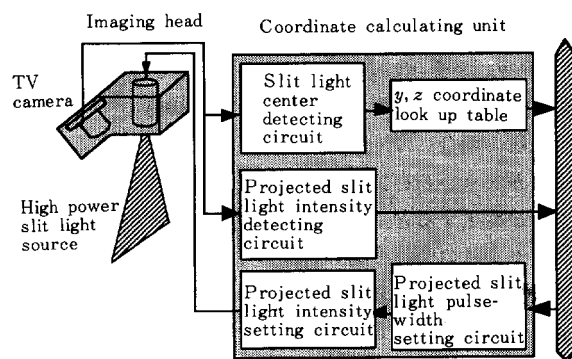


Fig. 16 Block diagram of pulse controlled 3-D vision sensor.

Table 3 Performance of pulse-controlled 3-D vision sensor.

Stand-off distance	80mm
Measuring area	30 (y) × ±10 (z) mm
Measuring point	484points
Measuring accuracy	±0.1mm
Measuring time	33.3ms/484points
Projecting time	1/30~1/1500s
Projected slit light power ratio	1 ~ 1/15000

試作検査システムを開発した。Fig. 18は、開発した試作検査システムの外観を示したものである。試作検査システムは、塗装色に影響されず三次元座標値を得るためのパルス制御三次元視覚センサ、センサの計測部位への位置決めのための6軸ステージ、センサの姿勢角を検出するためのロータリーエンコーダ、および投射パルススリット光の制御、三次元座標の取得、寸法計測などシステム全体を制御する処理部で構成される。

計測対象には、反射光の最も得やすい白と、反射光の最も得にくい黒に塗装された完成車ボディを用いた。完成車ボディを用いたのは、標準サンプルでは完成車ボディの塗装状態を模擬することが困難であったためである。

Fig. 19は、試作システムの検査の処理の流れを示したものである。まず、センサを計測部位に所定の姿勢で位置決めする。つぎに、検査対象の塗装色情報をもとに、対応する投射強度と投射時間のテーブルを参照してこれらを設定し、計測部位にパルススリット光を投射する。つぎに、得られた反射スリット光画像から三次元座標を検出し、前述したノイズ除去を行った後、前述したアルゴリズムにより寸法定義点を検出する。検出された寸法定義点から隙間と段差を検出する。

3.4 試作検査システムの性能

Fig. 20は、試作検査システムを用いて行った計測誤差の実験結果を示したものである。実験は、隙間と段差の測定値を真値と比較することで行った。隙間と段差の真値は、本システムでの測定後、計測部位に樹脂を流し込んで製作した断面を万能投影機で観測し、寸法の定義に対応した点から求める。

ここで、コンベア上を搬送されるボディの計測部位へのセンサの位置決め精度を考慮し、中心位置から z 方向に±5mm、 x 軸回りに±5度の範囲でずらして位

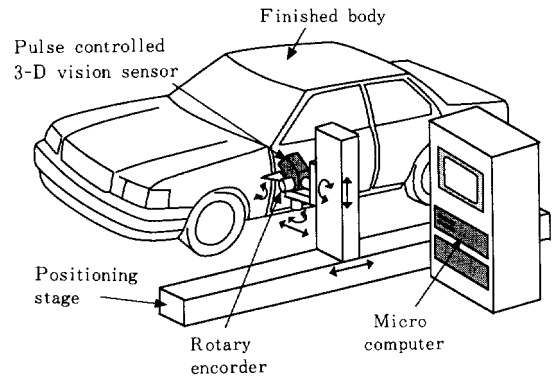


Fig. 17 Experimental system.



Fig. 18 Experimental system photograph.

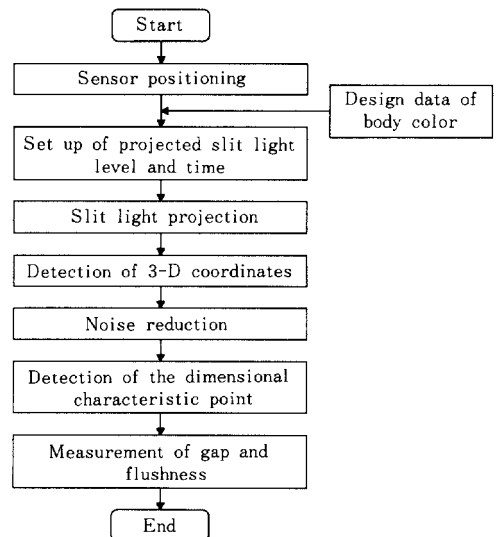


Fig. 19 Flow chart of dimensional inspection.

置決めした場合について計測を行った。結果は、最も計測しにくい黒ボディの代表的な計測部位について10回ずつ計測し、計測誤差の $\pm 3\sigma$ で表している。

Table 4は、試作検査システムの性能を示したものである。検査対象は、白から黒に塗装された完成車ボディである。隙間と段差の計測範囲は、隙間が2～7mm、段差が-3～3mmであり、計測精度は、隙間が ± 0.30 mm、段差が ± 0.22 mmである。この値は、目標精度 ± 0.3 mmを満足している。計測時間は、位置決めに要する時間含まずに、1測定点当たり約1.2秒であり、これも目標計測時間2秒を満足する。また、試作システムの6軸ステージをロボットに置き換えることで、自動検査システムを構築することができ、従来の人手による計測に比較して大幅な省力化と高速化が図られる。

4. むすび

これまで、自動車の試作・生産工程では、自動車ボディの仕上がり寸法を検査するための実用性の高いセンサと検査方式の開発が期待されていた。本報告では、塗装前の自動車パネルの仕上がり寸法検査および塗装後の完成車ボディの建て付け寸法検査のためのセンサと検査方式について述べた。

第2章では、塗装前の自動車パネルの仕上がり寸法検査のための三次元視覚センサとこれを用いた検査方式について述べた。この方式は基準ブロックとそれに固定されたパネルにスリット光を投射し、パネルの端部形状を自動判別し、さらにパネル端部を円弧近似により推定することにより、パネルの端部形状の影響を受けずに隙間や段差を計測する方法である。

第3章では、塗装後の完成車ボディの建て付け寸法検査のためのパルス制御三次元視覚センサと検査方式について述べた。このセンサは、スリット光をパルス上に投射することでボディの塗装色の違いによる反射率変化の影響を抑止している。

現在、これらの研究開発をもとに自動車パネル寸法検査システムが実用化され、また、オンライン完成車ボディ寸法検査システムの実用システムの開発が進められている。今後ともその実用化に努力していくつもりである。

終わりに、これらの研究開発ならびに実用化を進めるにあたりご協力いただきましたトヨタ自動車(株)スタンピングツール部、トヨタ車体(株)生産技術開

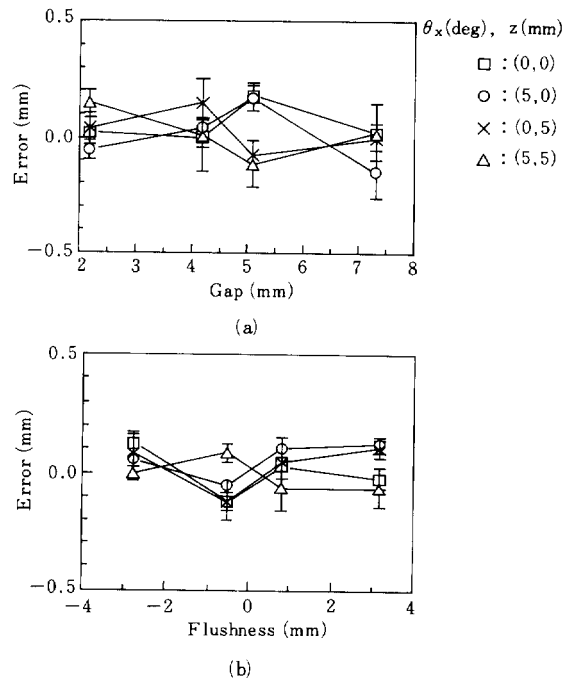


Fig. 20 Measured error : (a) Gap, (b) Flushness.

Table 4 Performance of the experimental system.

Boday color	White~Black
Measuring area	Gap : 2 ~ 7 mm, Flushness : - 3 ~ 3 mm
Measuring accuracy	Gap : ± 0.30 mm, Flushness : ± 0.22 mm
Measuring time	1. 2s/point

発室、ならびに(株)東海理化電機製作所第2開発部の関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) Trepagnier, P. : "Recent Developments in Visual Gaging", Proc. of Vision '85, (1985), 3-12
- 2) Pastorius, W. : "Gaging and Inspection in the Industrial Environment Through the Use of Robot Vision", Proc. of Vision '87, (1987), 7-56
- 3) Sakamoto, Y. and Yamamoto, K. : "Development of a Car Body Inspection System", Proc. of SAE/ESD Int. Computer Graphics Conf., (1987), 101
- 4) 坂本好隆, 山本克己 : "オンラインボディ計測システムの開発", トヨタ技術, 37-2 (1987), 36
- 5) Gardstam, B. : "Car Body Assembly with ASEA

- 3D-vision", Proc. of 5th Int. Conf. on Robot Vision and Sensory Controls, (1985), 29
- 6) Svensson, R. : "Carbody Assembly with ASEA 3D-vision", Proc. 15th Int. Symp. on Industrial Robots, (1985), 819
- 7) Seliger, G., Felsing, W., Lennartz, K. D., and Trilk, H. : "Laser Scanning for Flexibilization of Robotic Assembly Cells", Proc. of Int. Conf. on Robot Vision and Sensory Controls, (1988), 307
- 8) Wilson, W. S. : "The Role of Vision in a Dimensional Control Strategy", Proc. of Vision '85, (1985), 7-43

著者紹介



樋口和則 Kazunori Higuchi

生年：1962年。

所属：画像情報研究室。

分野：画像処理を用いた三次元計測・検査の研究開発

学会等：電子情報通信学会，電気学会，精密工学会会員。



小関 修 Osamu Ozeki

生年：1947年。

所属：画像情報研究室。

分野：画像処理を用いた三次元計測・検査の研究開発。

学会等：電子情報通信学会，電気学会，計測自動制御学会，精密工学会会員。



山本 新 Shin Yamamoto

生年：1942年。工学博士。

所属：システム2部。

分野：三次元画像計測，自動車の走行環境認識および構内通信に関する研究開発。

学会等：電子情報通信学会，情報処理学会，ロボット学会会員。

1984年度 IEEE-VTS 年間優秀論文賞受賞。