外観検査における照明手法

光切断法を用いた部品形状の計測と検査*

山本 新** 小関 修**

3-D Shape Measurement and Inspection with Structured Light /
Shin YAMAMOTO and Osamu OZEKI**Key words :** slit-ray projection, structured light, 3-D vision sensor, shape measurement, solder joint injection

1. はじめに

各産業分野の生産工程では、検査品質の向上と省人化の点から検査の自動化への要望が非常に強い。特に、この数年は3次元形状物体の計測と検査への期待が急速に高まっている。

検査の自動化には画像処理技術が有効で、2値画像処理を用いた検査は広く実用化されているが、3次元画像の本格的活用はこれからという状況である。3次元画像を用いた計測と検査には、検査すべき対象物体の3次元情報を得ることが不可欠である。物体の3次元情報を得るのに最も広く用いられている方法は、スリット光を用いた光切断法である。

本稿では、光切断法の原理とこれを応用した3次元視覚センサ、およびそれらを用いた3次元計測と検査システムについて述べる。

2. 光切断法の原理

光切断法は、図1に示すようにスリット状の光を対象物体に投射してその反射光を受光素子で検出する方法である。スリット光はスポット光を円筒レンズでスリット状にして得るが、スポット光を1次元走査しても得ることができる。スリット光を用いた光切断法は一度に1スリット（光切断線）分の3次元座標が得られることから、現時点では最も実用的な方法である。

図2は、この方法に用いられている三角測量法の原

図1 光切断法

$$X = D \cos \theta_a \sin \theta_b / \sin(\theta_a + \theta_b)$$

$$Y = D \sin \theta_a \sin \theta_b / \sin(\theta_a + \theta_b)$$

$$Z = D \tan \phi_a / \sin \theta_a$$

$$\text{ただし, } \theta_a = \tan^{-1}(f/X_a)$$

$$\phi_a = \tan^{-1}(Y_a \cos \theta_a / X_a)$$

ここで、 D : 基線長、 f : レンズの焦点距離、 X_a , Y_a : 受光素子上のスポット光像の位置

図2 三角測量法の原理

* 原稿受付 平成2年6月6日

** 正会員 (株)豊田中央研究所 (愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道)

図3 3次元視覚センサの構成

表1 3次元視覚センサの性能

動作距離	70 mm(Z)
測定範囲	30 mm(Y) × ±10 mm(Z)
測定点数	484 点
測定精度	±0.1 mm(Y, Z)
寸法	150 mm(W) × 110 mm(H) × 55 mm(D)
重量	720 g

理を示したものである。レンズをピンホールで近似すると、点Pの3次元座標(X, Y, Z)は、図中の式のように受光素子上のスポット光像の位置より求めることができる。

3. 3次元視覚センサ

光切断法を用いた3次元視覚センサを生産工程で使用するためには、スリット光像の高速・高精度検出とセンサヘッドの小型化が必要である。

図3は、このような目的のために開発された光切断法を用いた3次元視覚センサ¹⁾の構成である。このセンサは、センサヘッドと座標演算部で構成されている。高速に3次元座標を検出するために、座標演算はすべてハードウェアによりパイプライン処理され、また高精度化のために光切断線の重心位置が求められている。また、対象物体の表面性状の影響を受け難くするために、スリット光の対象物体からの反射強度に応じて投射する光強度が制御される。

表1にこの3次元視覚センサの性能を示す。測定範囲は、動作距離70 mmの位置で30 mm(Y) × ±10 mm(Z)である。測定精度は±0.1 mm、測定時間は1スリット分の484点の演算に33.3 msである。

図4は、スポット光を1次元走査して得たスリット光の3次元視覚センサである。このセンサは2次元同期走査型²⁾で、光源にHe-Neレーザーが、受光素子に1024素子のリニアアレイが、走査するのにポリゴンミラーが用いられている。測

定範囲は50 cm(X) × 50 cm(Y)、測定精度は±0.25 mmである。

その他、スリット光を交差させた十字スリット光の3次元視覚センサ³⁾も開発されている。

4. 3次元計測と検査システム

4.1 自動車部品の形状計測システム

自動車の検査や試作の工程では、部品やその型の形状計測が頻繁に行われる。その形状計測には、完成部品が設計通りに仕上げられているのかの形状検査と試作品の形状データの測定がある。

図5は、自動車部品の仕上がり形状を検査するシステム⁴⁾の構成である。このシステムは、前述の3次元視覚センサ¹⁾、部品を移動するためのパルスステージ、そのコントローラおよびパソコン等で構成されている。パソコンでは、ステージの位置決め、3次元座

図4 2次元同期走査3次元視覚センサ

図5 自動車部品形状計測システムの構成

図6 形状測定の一例

標の検出と演算処理，およびその結果のグラフ表示が行われる。

図6は，このシステムで自動車部品を測定したときの形状測定例である。パルスステージを0.1 mm ピッチで送り，50 mm(X)×30 mm(Y)の範囲を100 スリット(48 400 点)で測定したときの図である。測定時間は，33.3 sである。このうち，3次元座標の検出に3.3 s，ステージの移動とグラフ表示に30 s要している。

このシステムは，このような全体形状測定の外に断面形状測定の機能も有している。測定対象物体の表面性状により，3次元視覚センサのスリット光の投射強度の自動設定も行える。このシステムの測定範囲は200 mm(X)×200 mm(Y)×100 mm(Z)で，総合測定精度は±0.15 mmである。

図7は，試作品の形状データ測定のために筆者らが開発したシステムである。非接触で高速に測定するために片持ち式の3次元自動測定機の先端に3次元視覚センサ¹⁾が装着されている。

全体形状測定や断面形状測定に加えて，端点や交点の測定機能も持っている。システムとしての性能は，500 mm(X)×800 mm(Y)×600 mm(Z)の範囲を総合精度±0.25 mmで測定する。

4.2 船舶用プロペラの形状計測システム

船舶用プロペラは，鋳造・切削・研磨の各工程を経て製作され，その後工程で代表部位が計測される。しかし，製品の最終検査では全体形状の測定は欠かせない。

図8は，直径14 ftの船舶用プロペラの形状計測用に開発されたシステム⁵⁾である。このシステムは，直交ロボット，3次元視覚センサ，プロペラ支持台等で構成され，ロボットと3次元視覚センサの制御や測定データの処理はパソコンで行われる。3次元視覚セン

図7 自動車部品の形状計測用3次元自動測定機

図8 船舶用プロペラの形状計測システム

サとしては2次元同期走査型のセンサ²⁾が用いられている。

従来は接触式のセンサが使用されていたが，この非接触式の3次元視覚センサを用いることにより従来1日に200点しか測定できなかったものが±0.25 mmの測定精度で1 hで20万点が測定できるようになり，

測定の信頼性と省力化が大幅に改良されたと報告されている。

同種のプロペラ形状計測システム⁶⁾やタービンブレードの形状計測システム⁷⁾も開発されている。

4.3 はんだ付検査システム

はんだ付部の欠陥を検査するのに、はんだ付部の外観形状で検査する方法がある。はんだ付部欠陥は、大別すると図9に示す4種類に分類される。

図10に、この検査システム⁸⁾の概要を示す。スリット光をはんだ付部の垂直上方から投射し、その反射光をTVカメラで検出する。検出されたスリット光像は濃淡画像として得られるので、これから光切断線だけを抽出して、波形解析を行い、その後欠陥の判定が行われる。

欠陥の判定は、図11の設定領域内の4つの特徴量(面積 S_L , S_B , S_H と断線長さ W)を求めることによって行われる。

このシステムの性能評価実験では、欠陥の見落としはなく、前述の4種類の欠陥が安定に検出されている。検査速度は10点/sである。

図9 はんだ付部の欠陥(代表4種類)

図10 はんだ付部外観検査

図11 はんだ付部欠陥の判定

5. ま と め

光切断法を用いた3次元計測の方法と検査システムの開発例について述べた。このような3次元検査の自動化への要望は、今後もますます増加の傾向にある。

生産工程における3次元計測・検査の自動化は、高速・高精度かつ検出安定度の高い3次元視覚センサの開発に尽きる。現時点では死角の問題や対象物体の色と表面性状の制約を受ける問題はあるが、スポット光方式や光切断方式の3次元視覚センサが最も実用性が高く、ここしばらくはこの方式が主流になろう。

今後、より高度な3次元計測・検査システムの実現には、処理手法の高度化やニューロ、ファジィなどの新しい技法の活用が必要である。

参 考 文 献

- 1) 小関 修, 中野倫明, 山本 新: 画像処理技術を用いた非接触寸法測定プローブ, 昭62信学総全大, S12-3 (1987) 224.
- 2) M. Rioux: Laser Range Finder Based on Synchro-nized Scanners, Appl. Opt., 23, 21, (1984) 3837.
- 3) 例えば, 岡田拓史, 秦 清治, 高木裕治: 立体形状の高速認識方式, 精密工学会誌, 52, 6 (1986) 82.
- 4) 樋口和則, 小関 修, 塚田敏彦, 山本 新: 形状計測用3次元視覚センサ, 1989年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (1989) 949.
- 5) F. R. Livingstone et al.: Application of 3-D Vision to Measurement of Marine Propellers, Proc. Vision '87, (1987) 10.
- 6) N. Okina, K. Minowa & K. Okamoto: Three-Dimensional Measurement System by Servomechanism, 11th ISIR, (1981) 437.
- 7) 押田良忠, 黒梅弘嗣, 梅原 昇, 川田陽一: 三次元自由曲面形状のレーザ自動計測装置の開発, 第20回SICE学術講演会予稿集 (1981) 205.
- 8) 中川泰夫, 牧平 担, 秋山伸幸, 蔵部弘敏: 光切断法によるプリント板はんだ付部の自動外観検査, 第19回SICE学術講演会予稿集 (1980) 163.