

大型三次元測定機用非接触測定ヘッドの開発

Development of Noncontact Measuring Head for Large 3-D-Measuring Maschine

広島工機工場 津村 憲治*¹ 井手 健介*²
 繁山 直樹*²
 技術本部 六角 正*³

自動車メーカーのデザイン部門、型製作部門ではクレイモデル、実車、パンチパネルの形状を高速に触圧0で測定するニーズが高まっている。このニーズにこたえ、光切断法を原理とする非接触測定ヘッドを開発した。本測定ヘッドでは、独自の投光光学系構造の考案、及び撮像光学系の配置工夫により高精度化、コンパクト化、被測定物の色や角度等に対する測定性能の安定化を図り、この結果精度 $\pm 50 \mu\text{m}$ 、様々な色に対しても安定して測定できるセンサとして製品化に成功した。また本ヘッドを搭載した大型三次元測定機は、現在客先にて実稼働中である。

Non-contact and high-speed 3-D measurement technique are needed by the design sections and master model generating sections of automobile manufacturers. To meet these needs, we have developed a noncontact measuring head which uses the light cutting method. Its main features are as follows: (1) high accuracy ($\pm 50 \mu\text{m}$), (2) high speed (at the same time a width of 30 mm is measured), (3) compact, (4) highly stable performance whatever the angle and color of measured model. In developing we achieved (1) a slit light generating optical unit with an original structure for a thinner slit light profile, (2) a CCD arrangement for compact size and obtaining a stable measuring performance, and (3) adopted a high-speed image processing unit. This paper presents the above technical points and experimental measuring results of this head.

1. ま え が き

自動車メーカーのデザイン部門、型製作部門ではクレイモデル、実車、金型、パンチパネルの形状を高速に触圧0で測定するニーズが高まっている。

当社広島工機工場では過去にスリットレーザ光を用い非接触で高速に物体形状をラフに測定するセンサ技術（精度 $\pm 1 \text{ mm}$ ）を開発しており、今回このセンサ技術を基に（1）高精度化、（2）コンパクト化、（3）測定性能の安定化を行った。これにより従来主流であった接触式 PTP プローブに替わる三次元測定機の非接触センサとして、適応できることを確認した。また本ヘッドを搭載した大型三次元測定機の製品化に成功し、従来に比べ測定時間を半減できた。

本報では非接触測定ヘッド開発の技術ポイントについて述べる。

2. 要求性能及び仕様

大型三次元測定機は実車やクレイモデルの形状測定を目的とする。この主要センサとして使用されることから以下の性能が要求される。

- (1) 高精度であること。
- (2) 高速な測定が可能であること。

表1 非接触測定ヘッド仕様
Specification of noncontact measuring head

きょう体寸法	212×240×175 mm
測定可能領域	スタンドオフ 80±10 mm
スリット光長さ	30 mm
精 度	±50 μm
測 定 速 度	2 s/スリット光一本分
長時間安定性	±20 $\mu\text{m}/48 \text{ h}$

- (3) 被測定物との接近性を良くするためコンパクトであること。
- (4) 被測定物の色によらず安定して測定できること。
- (5) 被測定物表面の角度によらず安定して測定できること。

本ヘッドの主仕様を表1に示す。

なお、スタンドオフとは本ヘッドと測定可能領域の中心部との距離を意味する。

3. 原理及び構造

3.1 測定原理

本ヘッドは光切断による三角測量を原理としている。図1に原

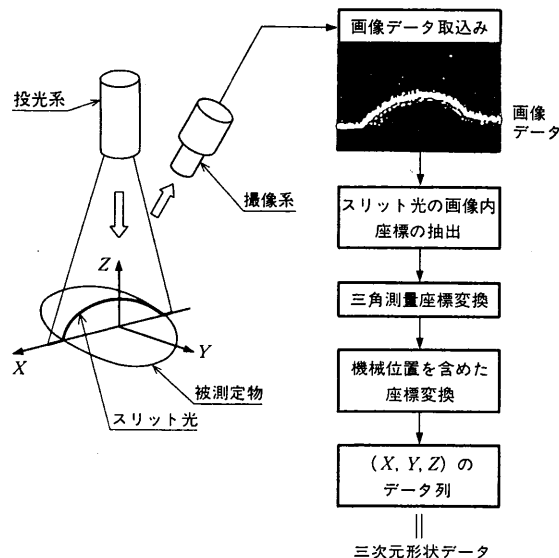


図1 測定原理 光切断法により得た画像データはスリット光の抽出、座標変換を経て実空間座標へ変換される。
Principle of measuring method

*¹ 技術部電子制御課長 *² 広島研究所工作機械研究推進室主務
 *³ 技術部電子制御課

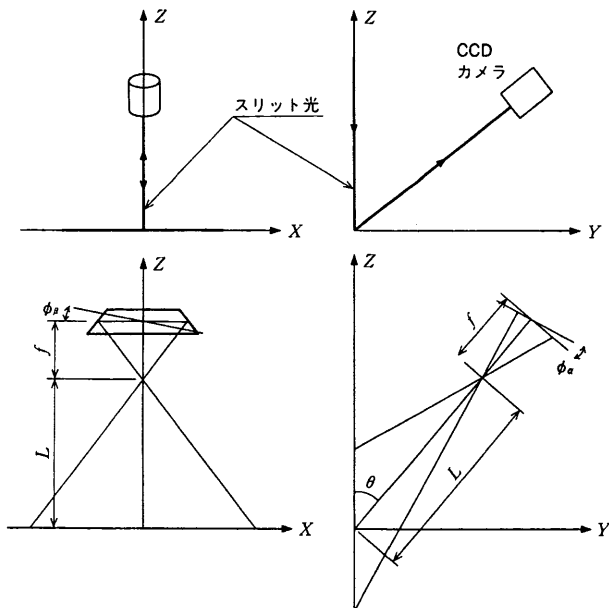


図2 非接触測定ヘッドの座標系 画像内座標は光学系幾何配置パラメータを用いて実空間座標へ変換される。
Dimension of noncontact measuring head

理説明図を示す。スリット光を被測定物体に照射する。これを斜めから CCD カメラで撮像する。被測定物の稜(りょう)線形状を表すスリット光を含む画像が得られる。画像から各走査線ごとのスリット光の重心座標を抽出する。これを三角測量の原理に基づき走査線ごとに式(1)～(4)により座標変換することでスリット光一本分の実空間座標が点列の形態で得られる(図2に本ヘッドの座標系を示す)。なお、本ヘッドを搭載した機械をスキニングすることで Y 座標は得られる。

$$Z = \frac{L \cdot \alpha}{\alpha \cdot \cos \theta + f \cdot \sin \theta} \quad (1)$$

$$X = \frac{L - Z \cdot \cos \theta \cdot \beta}{f} \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{f \cdot \alpha' \cdot \cos \phi_\alpha}{f + \alpha' \cdot \sin \phi_\alpha} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{f \cdot \beta' \cdot \cos \phi_\beta}{f + \beta' \cdot \sin \phi_\beta} \quad (4)$$

ここに、

$L, f, \theta, \phi_\alpha, \phi_\beta$: 光学部品幾何配置により決まる
パラメータ

α', β' : スリット光重心の CCD カメラ内座標

Z, X : 実空間座標

3.2 ヘッド構造

本ヘッドの内部構造を図3に示す。投光系^{(1)~(3)}と、撮像系から構成され、これらを1パッケージ化した構造となっている。

3.2.1 投光系

撮像視野サイズの点からスリット光長さ 30 mm に設定した。また撮像系分解能 50 μm を測定範囲全体に対して得るためには、強度、厚み共に均一なスリット光を形成する必要があった。

そこで投光系には以下の工夫をしている。

- (1) 光源には、出射効率、撮像素子の分光感度を考慮して 680 nm, 20 mW の半導体レーザを採用した。
- (2) 凸凹型の円筒レンズを直交させる独自の光学系を考案した。長手方向にはほぼ平行かつ、幅方向には結像するスリット光が形

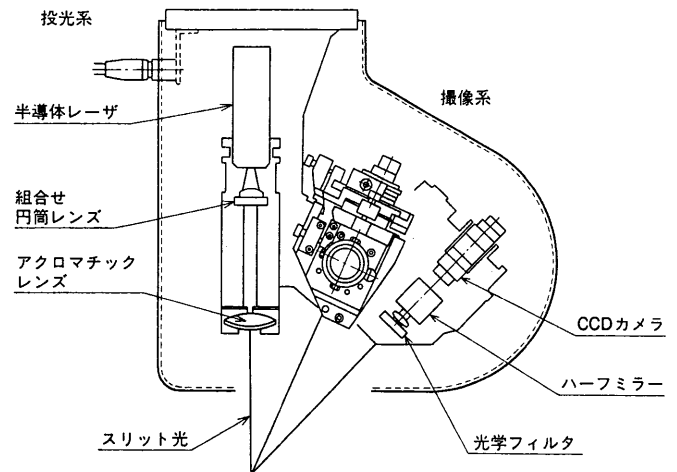


図3 非接触測定ヘッド内部構造 スリット光を生成する投光系、及び2組の見込み角の異なる撮像系を1パッケージ化した構造である。
Internal structure of noncontact measuring head

成される。これにより均一な強度分布を得ている。

- (3) 結像レンズには収差の少ないアクロマチックレンズを用いた。(2)の光学系との組合せによりスリット光の厚み 0.07 mm を達成した。

3.2.2 撮像系

- (1) 1/2"超小型 CCD カメラを採用している。さらにハーフミラーによる光路変更で収納性を向上しコンパクト化を図った。
- (2) 光学フィルタによりレーザ光以外の波長光を遮断している。これにより外乱光の影響を除去し測定性能を安定化している。
- (3) 見込み角の異なる2系統の撮像系を装備している。一般に、反射光を捕えるセンサにとって、多重反射、正反射は誤測定、精度劣化の原因となる。そこで本ヘッドではこの両系統の測定結果を照合することにより、正像と虚像の判別、正反射によるハレーションの回避を行っている。
- (4) 1系統につき2台の CCD カメラを装備している。各々はスリット光 30 mm の左右 15 mm ずつを分担撮像する。これにより分解能の劣化なく広範囲を一度に撮像できる。
- (5) 組立時の光軸調整容易化のため、各 CCD カメラごとに平行3軸、回転3軸の光軸微調整機構を装備している。

3.3 画像処理装置

3.3.1 ハードウェア仕様

画像処理装置のハードウェア構成を図4に示す。

- (1) bus: ダブルハイトサイズ標準 32 bit VMEbus
- (2) 画像処理ボード

各 CCD に対して1枚ずつ合計4枚使用している。本ボードは1 CH 分のモノクロ画像入出力から各種画像演算処理までを1ボードで実施する。このため CCD 4 台の画像に対し並列画像処理が行え、測定の高速化を実現している。

画像処理プロセッサ: HRU-TAICHI-CORE

演算時間: 12.2 ms/1 フレーム

フレームメモリ: 8 フレーム (512×512×8 bit)

- (3) CPU ボード

MPU: MC 68030 (25 MHz)

コプロセッサ: MC 68882 (25 MHz)

メモリ容量: ROM 1 MB, RAM 1 MB

- (4) メモリバッファ通信ボード: KR-32 B (母機の制御装置)との共有メモリ (容量 1 MB)。本メモリを介して KR-32 B と

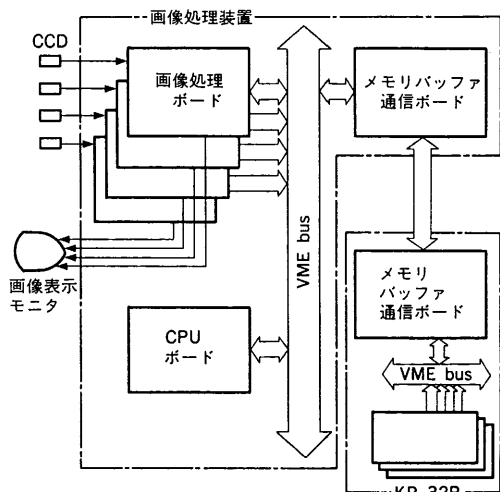


図4 画像処理装置ハードウェア構成 4枚の画像処理ボード、CPUボード、メモリバッファ通信ボードで構成され、4台分の画像データを高速並列処理する。
Block diagram of image processing unit hardware

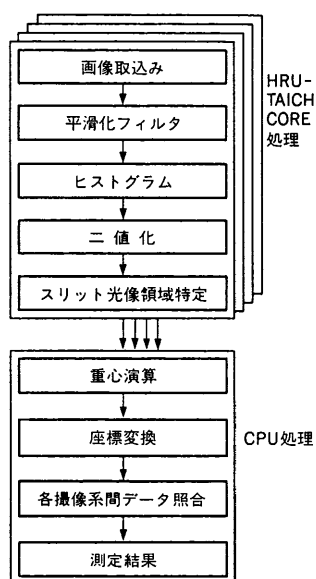


図5 画像処理ソフトウェアブロック図 画像取込み、フィルタ、二値化を画像処理ボードが行い、重心座標抽出、座標変換、各撮像系測定結果の照合をCPUが行う。
Block diagram of image processing unit software

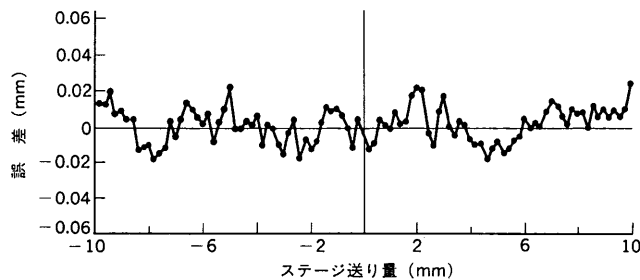
の通信を行う。

3.3.2 ソフトウェア仕様

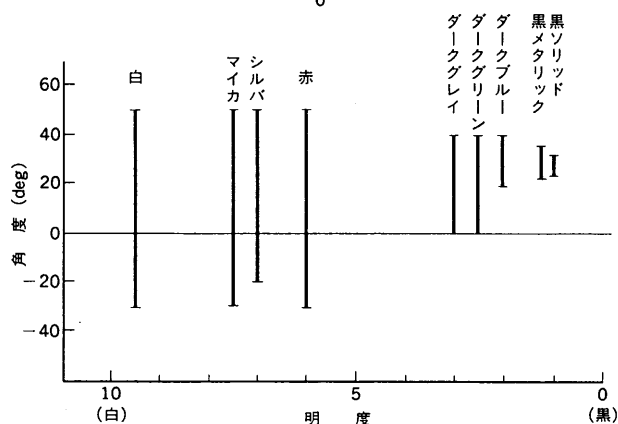
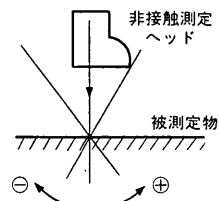
図5に画像処理フローを示す。画像処理ボードに入力された画像データに対して平滑化フィルタをかけノイズ除去を行う。

次にスリット光像の存在する領域を特定する。具体的にはヒストグラム処理、及び二値化処理で背景像とスリット光像を分離する方法を用いる。この領域だけを後述のCPUの処理対象に限定することで高速処理を実現している。ここまでの処理はHRU-TAICHI-COREにより4台分の画像データに対して並列に行われる。

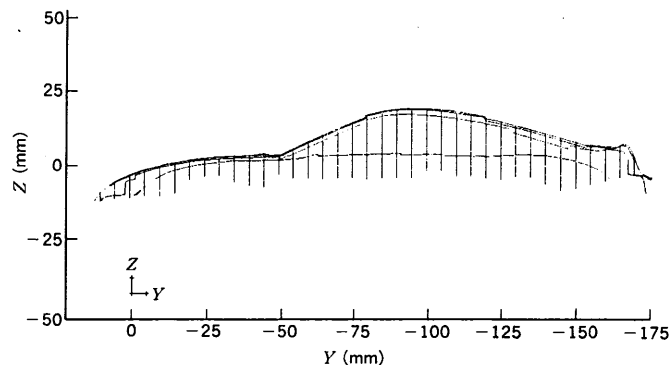
次にCPUがフィルタリング後の多値画像に対して走査線ごとの輝度重心座標を求める。さらに式(1)～(4)で実空間座標へ変換



(a) 出力特性の直線性の検証



(b) 色見本に対する測定可能性の評価



(c) 自動車モデル測定例

図6 非接触測定ヘッドの検証結果 (a) 本ヘッドの直線性を表す。±50 μm以下の精度で測定できることが分かる。(b) 塗装色に対する計測可能なヘッド角度を表す。ほとんどの色について安定した測定が可能であることが分かる。(c) プラスチックモデルの断面を計測した結果を示す。

Experimental results of noncontact measuring head

する。最後に2系統の撮像系の測定結果を照合し、各データの取舍選択を行う。こうして虚像や正反射の悪影響のない測定結果をメモリバッファ通信ボード上に出力する。

4. 検 証

4.1 基本性能

センサの基本性能である直線及び繰返し性、長時間安定性を確認するため、検証を行った。

(1) 直線性及び繰返し性測定

本ヘッドをZ方向にスリット光が投射されるようジグに固定しZ微小ステージに被測定物としてブロックゲージを固定し、本ヘッドとの距離を変え、出力特性の直線性を検証した。ステージ送り量とヘッド出力値の誤差を図6(a)に示す。この結果、要求仕様 $\pm 50 \mu\text{m}$ に対し $\pm 40 \mu\text{m}$ と良好な精度が得られることが確認できた。

また同様の方法により繰返し性は $\pm 15 \mu\text{m}$ を達成した。

(2) 長時間安定性測定

固定したブロックゲージを約2 minごとに計48 h連続測定したときの出力変動を観測した。この結果 $\pm 20 \mu\text{m}$ となり非常に安定した測定が可能であることが確認できた。

4.2 応用性能

(1) 測定可能色検査

被測定物は様々な色に塗装された実車やクレイモデルである。一般に反射光をセンシングするセンサは、暗い色の場合反射光強度が低下するため測定困難となる。また反射光強度は光投射方向、被測定物、受光素子の成す角度により大きく変化する。そこで本ヘッドについても被測定物の色に対する測定可能性を確認しておく必要があった。

図6(b)に塗装色見本9種類に対する評価結果を示す。全サンプル中8色は測定可能であることが確認できた。また、比較的暗い色でもセンサと被測定物の成す角度を測定すれば測定可能である。以上により三次元測定機への適応が十分可能であることを確認できた。

(2) 自動車モデル測定

大型三次元測定機への適用を模擬して自動車プラスチックモデルの断面を測定した。結果を図6(c)に示す。自動車の外形形状を精度良く測定できることが分かる。この結果、実車の測定においては機械系の誤差も含めて形状測定精度 $\pm 0.1 \text{ mm}$ を達成した。

5. 大型三次元測定機概要

本ヘッドを適用した大型三次元測定機の概要について述べる。機械本体はストロークX 6.8 m, Y 1.7 m, Z 2.7 mの横型機で、

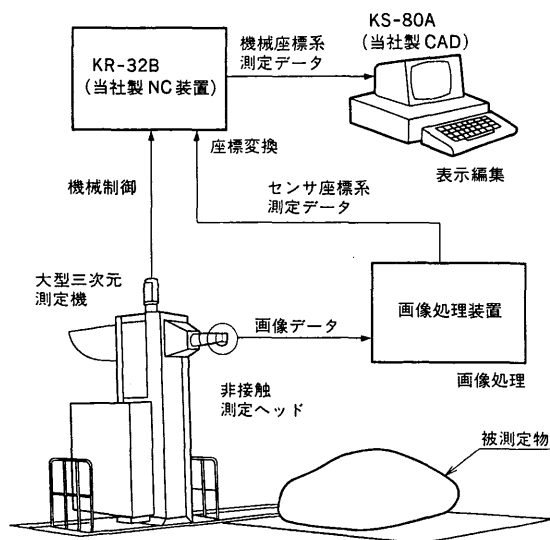


図7 大型三次元測定機の構成 本センサを搭載した大型三次元測定機の測定データはセンサ、画像処理装置、KR-32 B, KS-80 Aの順に伝達される。
Block diagram of large 3-D measuring machine

3自由度の旋回ヘッドをラム先端に装備する。この旋回ヘッドに本ヘッドを取付ける。これ以外にも用途に応じてPTPプローブ、低触圧微いプローブ、室内測定ヘッド等が装着できる。

本大型三次元測定機の構成を図7に示す。本システムはセンサ、画像処理装置、KR-32 B（当社製NC装置）、KS-80 A（当社製CAD）、機械本体から構成される。

画像処理装置は本ヘッドからの画像データを解析しヘッド上の座標データへ変換した上でKR-32 Bへ出力する。KR-32 Bは各種センサからのセンサ座標データを機械座標に変換しKS-80 Aへ出力する。KS-80 Aは測定結果の表示編集を行う。

6. ま と め

大型三次元測定機に適応できる非接触測定ヘッドの製品化に成功した。現在これを搭載した大型三次元測定機は、客先にて実稼働中である。

今後は当社製三次元測定機シリーズの旗手として販売促進を進める。また更なる高精度化を図ることで各種測定分野への展開を進めていく所存である。

参 考 文 献

- (1) 河野健治, 光デバイス光結合系の基礎と応用, 現代工学社, (1990) p.50
- (2) 末田哲雄, 光学部品の使用法と留意点, オプトロニクス社 (1990) p.109
- (3) 谷田貝豊彦, 応用化学 光計測入門, 丸善, (1988) p.125