

# OpenCV を利用した非接触 3 次元座標測定技術に関する研究

浅野 良直

## Study on a Non-contact Type Measurement Method using OpenCV

Yoshinao Asano

製品加工における寸法測定分野は、他社との差別化や品質管理および加工技術向上を図る上でも重要視されている。一般的に寸法測定は設計図面に記載されている寸法との比較であるが、形状全体の歪みなどを検証する要求も増しており、形状全体の測定には表面上を点群座標として取得できる非接触式測定システムが適している。

近年では、非接触測定システムを構成するカメラなどの機器は低価格化が進んでおり、非接触測定が可能なフリーライブラリも存在し社内開発も可能な環境となっている。そこで、本研究ではフリーライブラリの 1 つである OpenCV を利用した非接触測定システムの開発支援を図るため、測定精度の基礎となるキャリブレーション方法について検証を行った。結果として、チェッカーパターンのマス寸法やキャリブレーションを行うための設置方法について知見を得ることができた。

### 1. はじめに

近年、非接触測定システムの構成機器であるカメラや PC 端末などは、低価格で揃えることも可能である。また、画像処理を行う開発ライブラリとして OpenCV (Open Computer Vision)<sup>1,2)</sup> が利用できる。OpenCV はフリーウェアのライブラリであり、モノクロ変換や特徴点検出などの画像処理機能の他に非接触測定で必要となるカメラキャリブレーション機能やステレオマッチング機能なども有している。したがって、OpenCV を利用することでニーズに合わせた非接触測定システムを低価格で開発することも可能となる。

非接触測定の測定精度は、測定範囲におけるキャリブレーションが基準となるため、製造現場における精度維持管理や研究開発中のシステムにおける測定精度の検証に不可欠な作業である。しかし、キャリブレーションに多くの時間を要すると作業効率が低下する。そのため、キャリブレーション精度を維持しながら作業工程を簡素化する技術開発は、製造現場での精度維持管理における効率化や非接触測定システム開発の一助となり、非接触測定システムの普及を図る上で有用な技術と考えられる。

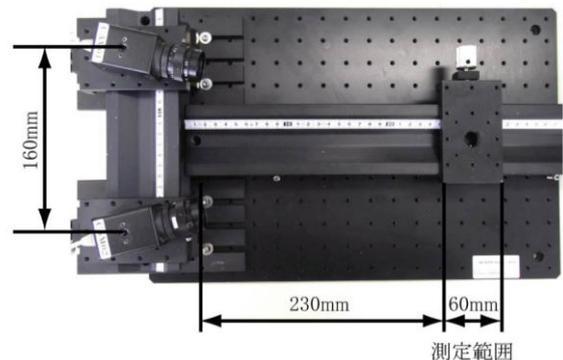
OpenCV におけるカメラキャリブレーションは、Z.Zhang の手法を用いており、複数枚の異なる姿勢のチェッカーパターンを撮影した画像からカメラの外部及び内部パラメータの推定とレンズ歪み補正のパラメータを得ることができる。本研究では、3 種類のマス寸法のチェッカーパターンと様々な姿勢の画像を組み合わせるカメラキャリブレーションを実施し、各カメラキャリブレーションのパラメータを利用してステレオ視による距離測定を行い、測定値の変動が少ないキャリブレーション方法について検証する。

### 2. 実験

#### 2. 1 実験条件

##### 2. 1. 1 測定機構

実験で使用したステレオ測定機構を図 1 に示す。



- ・カメラ : IUC-130CN2 (トリニティ製) ※130 万画素
- ・レンズ : VS-LD10 (ヴェイ・エス・テクノロジー製)
- ・輻輳角 : 約 20 度

図 1 測定機構

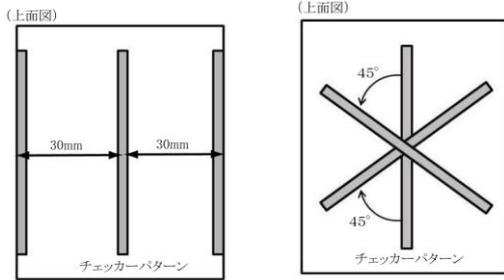
##### 2. 1. 2 キャリブレーション条件

キャリブレーションでは、表 1 に示す 3 種類のチェッカーパターンを使用し、図 2 のような姿勢で撮影した画像を利用する。

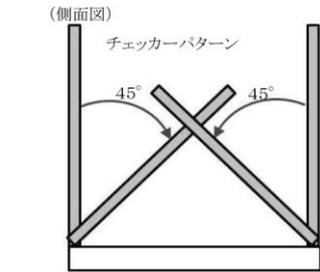
キャリブレーションで使用するチェッカーパターンの姿勢は表 2 に示すように組分けを行い、条件毎にカメラの内部パラメータ (焦点距離、レンズ歪み係数、画像主点位置、画素サイズ) 及び外部パラメータ (回転、平行移動) を取得し、測定する対象点の視差からカメラまでの距離を算出する行列 (以下、距離変換行列) を推定した。

表1 チェッカーパターン

マス寸法 [mm]	マス数	
	X	Y
2.5×2.5	41	28
5×5	21	14
10×10	11	8



・正面：前後 30mm      ・回転：5～45° (5° 間隔)



・傾斜：5～45° (5° 間隔)

図2 チェッカーパターンの姿勢

表2 カメラキャリブレーションの比較条件

	キャリブレーションで使用する撮影姿勢	姿勢数
条件1	全姿勢	39
条件2	正面	3
条件3	正面+回転(5°～45° :5° 間隔)	21
条件4	正面+回転(10°～40° :10° 間隔)	11
条件5	正面+前傾(5°～45° :5° 間隔)+後傾(5°～45° :5° 間隔)	21
条件6	正面+前傾(10°～40° :10° 間隔)+後傾(10°～40° :10° 間隔)	11
条件7	正面+回転(45° のみ)	5
条件8	正面+回転(45° のみ)+前傾(45° のみ)+後傾(45° のみ)	7
条件9	正面+回転(10° 間隔)+前傾(45° のみ)+後傾(45° のみ)	20

## 2.2 ゲージブロックによる実験

### 2.2.1 奥行き/幅方向の検証

高さ 10mm、15mm、20mm、25mm のゲージブロック (ミットヨ製) を図3のように、3ヶ所に配置して撮影を行う。撮影した画像における各ゲージブロックの角を対象点 (図4) として視差を取得し、表2に示すキャリブレーション条件毎に距離変換行列を作成して対象点とカメラ間の距離を算出する。各算出距離の検証は、平均値を基準値とした差分で行う。

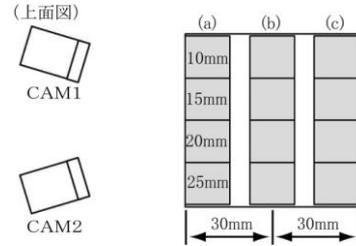


図3 ゲージブロックの配置 (奥行き)

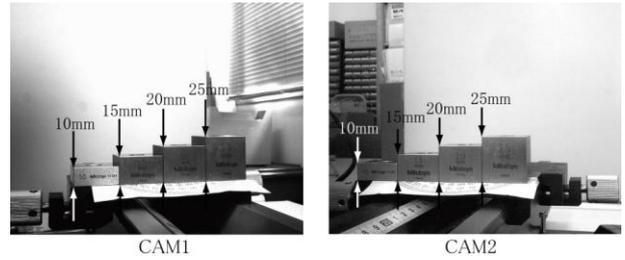


図4 対象点の位置 (奥行き)

### 2.2.2 高さ方向の検証

高さ 25mm、50mm、75mm のゲージブロックを測定範囲の中心付近に設置 (図5) して、段差測定と同様の検証を行う。なお、ゲージブロックの対象点は図6に示す。

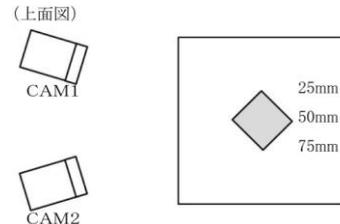


図5 ゲージブロックの配置 (高さ)

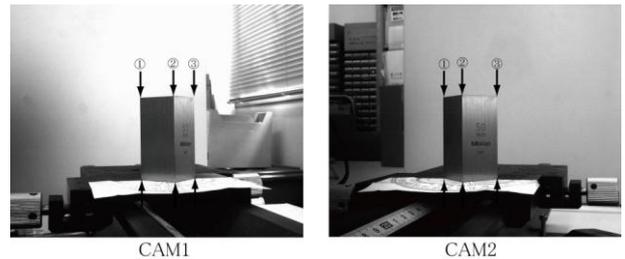


図6 対象点の位置 (高さ)

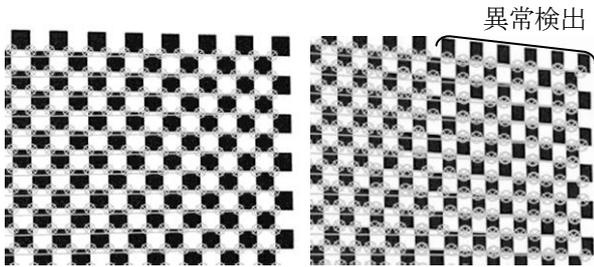
## 3. 結果及び考察

### 3.1 チェッカーパターンの交点検出

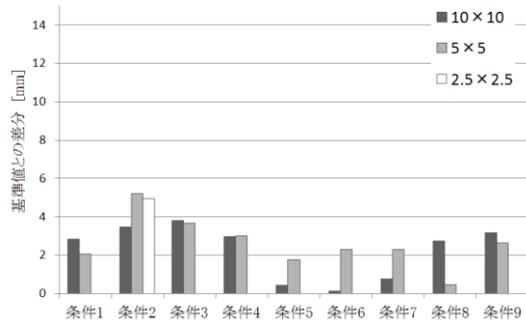
チェッカーパターンの全ての交点座標を検出すると図7(a)のような結果が得られた。5mm×5mm マス及び10mm×10mm マスでは全ての姿勢で交点座標を検出できたが、2.5mm×2.5mm マスにおいては、回転角度および傾斜角度が 15° 以上になると、「検出した交点座標が画像上の交点位置と異なる (図7(b))」、「全ての交点座標が検出できない」などの問題が生じた。

そこで、5mm×5mm マス及び10mm×10mm マスにお

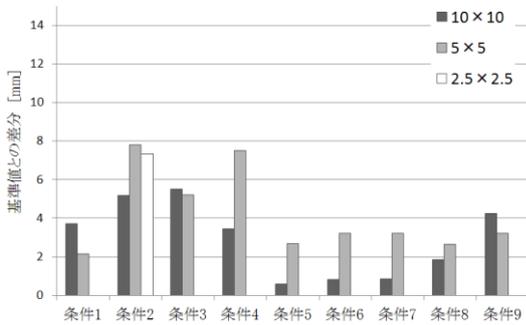
いては、全ての比較条件で精度を検証するが、2.5mm×2.5mm マスにおいては、正面画像のみを使用する条件2のみで検証を行うことにした。



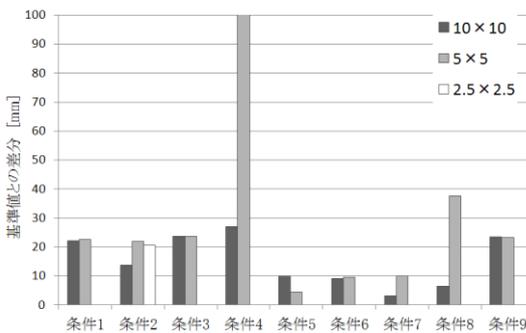
(a)良好 (b)不可  
図7 交点座標の検出状態



(a)配置位置

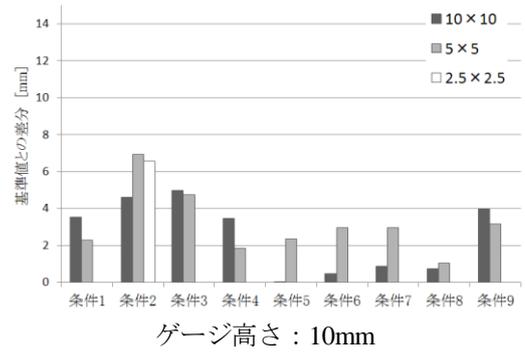


(b)配置位置

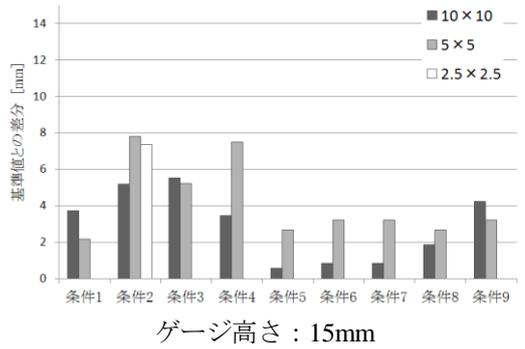


(c)配置位置

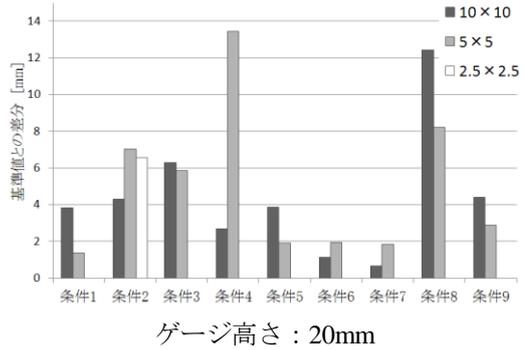
図8 奥行き方向の検証 (高さ: 15mm)



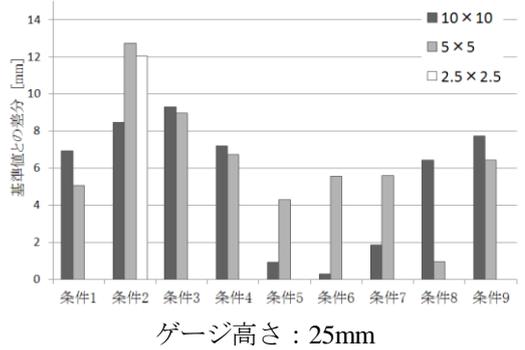
ゲージ高さ: 10mm



ゲージ高さ: 15mm



ゲージ高さ: 20mm



ゲージ高さ: 25mm

図9 幅方向の検証 (配置位置(b))

### 3. 2 奥行き／幅方向の検証

奥行き方向及び幅方向の算出距離を比較し、代表データとして奥行き方向はゲージ高さ 15mm のデータ(図8)、幅方向は配置位置(b)のデータ(図9)での検証を行った。

チェッカーパターンのマス寸法を小さくすることで、測定精度は向上して測定値のバラツキは低下すると思えたが、結果としてマス寸法は大きい方が基準値との差が小さくなる傾向となった。このような原因の1つとして

マス寸法を小さくすることで交点検出数が多くなるため、交点検出した座標における誤差量の蓄積が増加したと考えられる。

キャリブレーション条件を比較すると以下のような傾向となった。

- ・正面姿勢のみよりも回転姿勢や傾斜姿勢を加えた条件 3~6 の方が、基準値との差は小さい。
- ・正面姿勢に傾斜姿勢を加えた条件 (条件 5、6) の方が、回転姿勢を加えた条件 (条件 3、4) よりも基準値との差が小さい。
- ・傾斜姿勢の数を多くすることで基準値との差が小さくなる傾向となった (条件 5、6)。
- ・図 8 及び図 9 の結果から対象点がカメラから離れるほど基準値との差が大きくなることが確認できた。

キャリブレーションで使用する姿勢数を増やすことで基準値との差は小さくなったため、測定精度は向上したと考えられる。また、チェッカーパターンの回転画像は角度が大きくなると撮影画像の奥行き方向の変形が旋回画像に比べて大きいため、交点検出した座標の誤差量も増加したと考えられる。但し、図 8 の配置位置(c)条件 4 や図 9 のゲージ高さ 20mm 条件 4、8 のように周辺データと比較して突出したデータについては、他の検証データでも生じているため原因の特定が必要である。

### 3. 3 高さ方向の検証

図 6 の対象点①、②、③の算出距離を比較し、代表データとして対象点②における各キャリブレーション条件の算出距離で検証 (図 10) を行うことにした。

図 10 から高さ方向の算出距離についても奥行き及び幅の検証結果と同様にチェッカーパターンのマス寸法は大きい方が基準値との差が小さくなり、キャリブレーション条件も正面姿勢に傾斜姿勢を加えた条件 (条件 5、6) の方が、基準値との差が小さくなると考えられる。また、高いゲージブロックほどカメラからの距離が長くなるため、基準値との差が大きくなる傾向となった。

高さ方向の検証データにおいても、周辺データと比較して突出したデータが生じているため、原因の把握が必要である。

### 4. まとめ

OpenCV を利用した非接触測定システムの開発支援を図るため、測定精度の基礎となるキャリブレーション方法について検証を行った。

キャリブレーションで使用するチェッカーパターンは、交点検出数の少ない方が算出距離と基準値との差が小さくなり、測定範囲に対して正面方向に配置し、チェッカーパターンを前傾および後傾させた姿勢を加えることで、算出距離と基準値との差が小さくなる傾向が得られた。キャリブレーションにおいて算出距離と基準値との差が小さいことは、視差から算出される測定値の誤差を低減でき、適当な撮影姿勢等の仕様を把握することは作

業時間の短縮につながる。但し、算出距離が突出するケースもあるため原因の特定が必要である。

本研究では OpenCV に搭載されているステレオ測定機能及びキャリブレーション機能を利用したため、距離変換行列のパラメータ算出方法など不明瞭な部分がある。そのため、高精度測定を要する場合には、新たなキャリブレーション方法や測定値の算出方法についても、検討する必要があると考えられる。

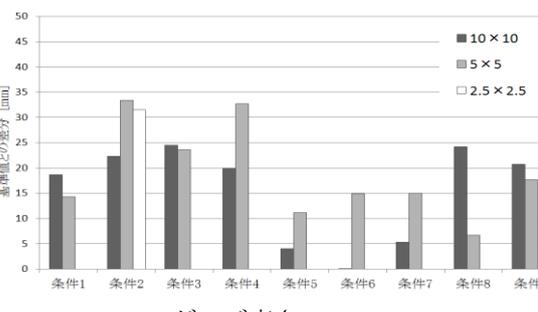
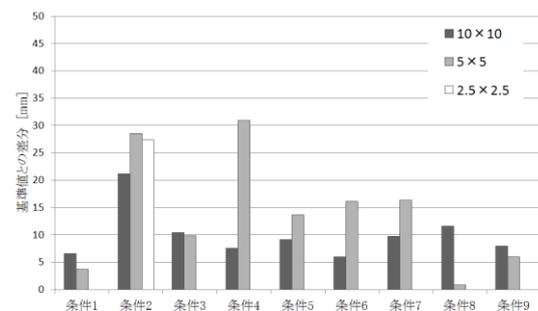
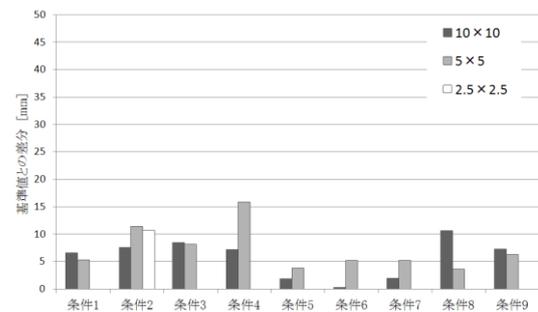


図 10 高さ方向の検証 (対象点②)

### 【謝 辞】

本研究を遂行するにあたり、(財) 遠藤斉治朗記念科学技術振興財団から研究助成金をいただきました。ここに感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 永田ら, 実線 OpenCV 映像処理&解析, カットシステム
- 2) OpenCV2.0 プログラミングブック制作チーム, OpenCV プログラミングブック, マイナビ