

レーザー3次元計測によるプレス穴部品の穴位置計測手法の開発

佐藤 諒一[†] 加藤 邦人[†] 原田 耕太[‡]

[†] 岐阜大学工学部 〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1 番 1

[‡] KYB(株) 〒509-0297 岐阜県可児市土田 505 番地

E-mail: [†] {rsato, kkato}@yam.info.gifu-u.ac.jp [‡] harada-kou@kyb.co.jp

あらまし プレス部品に対し非接触な穴位置計測を行い、コストの削減、計測時間の短縮を目指し、さらに計測対象に汎用性を持った計測システムを目標とする。穴位置計測を穴中心間距離を求めることとし、本研究では、カメラとレーザー、回転テーブルを用いた3次元計測を行い、プレス部品の穴位置を非接触に計測するシステムを構築した。

キーワード 3次元計測、光切断法、プレス部品、穴位置計測

1. まえがき

プレス部品のボルト等取り付け穴の寸法は高い精度を要求される。穴位置計測に接触センサーを用いる場合、高精度に測ることができるが、コストや計測時間等の問題がある。そこで、カメラとラインレーザー、回転テーブルを用いた非接触計測を用い、低コストで高速な計測システムを構成することを目指す。

本研究では3次元計測で図1に表すプレス部品に開けられている2つの穴中心間距離を計測する。

3次元計測で広く用いられるステレオ計測では、金属面に画像特徴がないため対応点を検出するのが困難である。そこで、レーザーを用いた光切断法を採用し、3次元点取得の精度向上を図った。

取得した1枚の画像から得られるレーザーの切断点は穴1つに対し最大2点である。そこで、回転テーブルを用い計測対象を回転させ、レーザーの照射位置をずらすことで、穴円周上の三次元点を複数得ることとした。これらの3次元点は回転テーブルによる回転量が既知であるため、同一円周上に復元することができ、円を空間内で一意に決定できる。

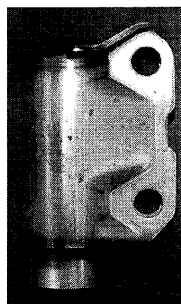


図1 計測対象

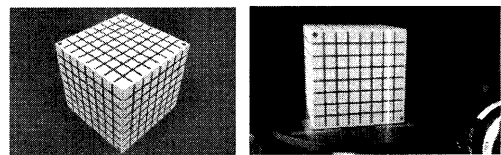


図2 カメラとレーザーのキャリブレーション

2. キャリブレーション

カメラキャリブレーションは、図2に示すようなキャリブレーションボックスを用いた。このとき、図2右で示されるキャリブレーションボックスの右上の頂点を世界座標系の原点とした^{[1][2]}。また、レーザーのキャリブレーションを行うために、キャリブレーションボックスを移動させ、レーザー平面推定精度を向上させた。

さらに、回転テーブルについてもキャリブレーションボードを用いキャリブレーションを行った。

3. 計測アルゴリズム

3.1. レーザー光切断点の取得

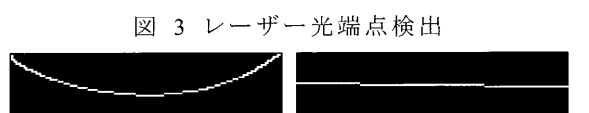
レーザー光がプレス穴により切断される座標を取得した結果を図3に示す。しかし、検出された点は穴円周上に対しやや内側になった。これは、金属面の荒れやレーザーの鏡面反射、またプレスによる変形が原因と考えられる。

そこで、穴円周エッジの情報もレーザー光切断点の取得に用いた。画像取得の際にレーザーを照射した画像と、照射していない画像の2枚を取得し、照射していない画像からCanny法により穴に対応するエッジ検出を行った。照射した画像からはガウス近似^[3]を用いてレーザー領域を直線検出した。両者を統合することで、穴円周のエッジとレーザーの交点を求めた。各過程の画像を図4に示す。

図5に比較画像を示す。エッジ情報とガウス近似を用いた結果では、より正確に穴円周上の座標を検出できている。



(a) 入力画像(拡大図) (b) レーザー端点検出



(a) 穴円周エッジ検出 (b) レーザー光直線検出



(c) 穴円周エッジとレーザー光直線の交点

図4 エッジ情報を加えた端点検出



図 5 端点検出結果の比較

3.2. 回転量による座標復元

計測対象を回転テーブルに設置し、図 6 に示すように一定角回転させながら穴円周上の 3 次元点を複数取得する。図 6 の①は最初の設置した状態で、①から θ_1 回転させた状態が②であり、①から θ_2 回転させた状態が③である。 θ_1, θ_2 が既知なので②、③の状態 で取得した 3 次元点を①の状態に復元できる。

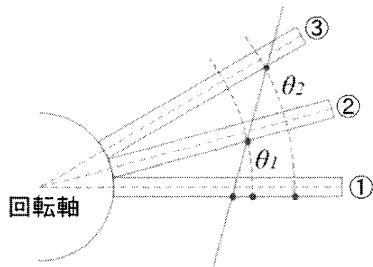


図 6 回転量による座標復元の概念図

3.3. 穴間距離の導出

世界座標系で求めた円上の 3 次元点を 2 次元平面に射影して、2 次元座標として穴中心座標を求める。概念図を図 7 に示す。世界座標系 XYZ 上の 3 次元点群から最小二乗法で近似面を求める。この平面の法線ベクトルと Z 軸の方向ベクトルが一致する新たな座標系 $X'Y'Z'$ に変換する。新たな座標系では 3 次元点の Z 成分は一致する。よって 3 次元点を XY 平面に射影し 2 次元座標として、平面上での円を式(1)を用いて求める。ただし、円を中心座標 (a,b) 、半径 r とした一般式とし、わかりやすくするため $A=-2a$ 、 $B=-2b$ 、 $C=a^2+b^2-r^2$ とする。

2 次元座標として求められた中心座標を 3 次元点に再射影し、3 次元中心座標を求める。

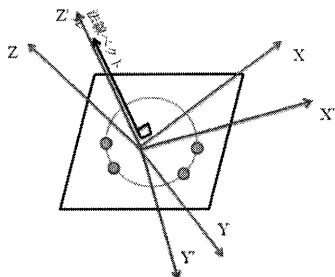


図 7 円中心推定の概念図

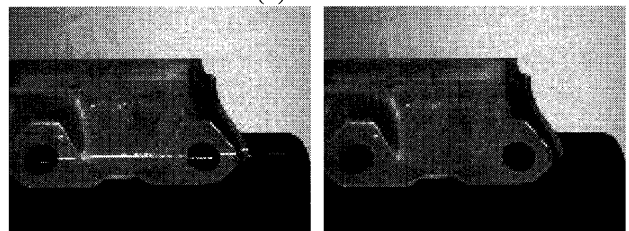
$$\begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum y_i & \sum 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum(x_i^3 + x_i y_i^2) \\ -\sum(x_i^2 y_i + y_i^3) \\ -\sum(x_i^2 + y_i^2) \end{pmatrix} \quad (1)$$

3.4. 実験

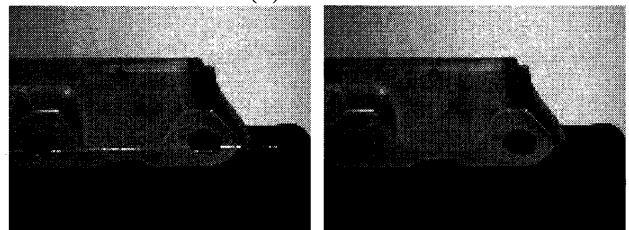
プレス部品に対して 2 つの穴中心間距離を計測する実験を行った。計測対象を回転テーブルに設置した状態を基準とし 45 度まで 5 度毎に回転させ、画像を取得した。取得した画像の一部を図 8 に示す。図 8 の左列はレーザー照射有の画像、右列はレーザー照射無の画像である。



(a) $\theta = 0^\circ$



(b) $\theta = 20^\circ$



(c) $\theta = 45^\circ$

図 8 撮影画像

10 回の計測を行った結果、穴中心間距離を真値 85 mm に対し、平均誤差 0.132 mm で計測することができた。

4. まとめ

カメラとレーザー、回転テーブルを用いた非接触計測システムを構築した。しかし、計測対象が金属であることや、プレスによる変形の影響でレーザー光切断点の検出誤差が精度に大きく関わっていることがわかった。今後は、計測対象が金属であること。また、変形を考慮した計測を行い、精度向上を目指す。同時に、複数の穴の同時計測、汎用的な部品形状への対応も目指す。

文 献

- [1] 井口 征士, 佐藤 宏介: “三次元画像計測”, 昭晃堂, 1990
- [2] 徐 剛, 辻 三郎: “3 次元ビジョン”, 共立出版, 1998
- [3] Fisher, R. B., D. K. Naidu.: “A Comparison of Algorithms for Subpixel Peak Detection: “Image Technology : Advances in Image Processing, Multimedia and Machine Vision”, Springer-Verlag, Sanz, pp. 385-404, 1996