

炉内目視点検向け 3次元計測システム

Three-Dimensional Measurement System for In-Vessel Visual Inspection

(株) 東芝	相川 徹郎	Tetsuro AIKAWA	Nonmember
(株) 東芝	佐藤 美徳	Yoshinori SATOH	Nonmember
(株) 東芝	大嶽 達哉	Tatsuya OODAKE	Nonmember
(株) 東芝	落合 誠	Makoto OCHIAI	Nonmember
(株) 東芝	湯口 康弘	Yasuhiro YUGUCHI	Member

The main roles of in-vessel visual inspection (IVVI) are to detect cracks on the surface of internal structures and measure the length of the cracks. For accurately performing those matters by visual inspection, inspectors sometimes need to obtain three-dimensional (3D) measurements of cracks and 3D shape of the surface. We have been developing a prototype system to obtain 3D measurements. This system is based on stereo vision technique and has only one measurement head that has an inner movable camera module. This paper reports the outline of the prototype measurement head and its performance.

Keywords: In-Vessel Visual Inspection, Image Processing, Three Dimensional Shape

1. 緒言

原子炉内の目視検査は、モニタに表示したカメラの映像を観察する間接目視が一般的であり、検査員は被検査体の奥行き感を得づらい。このため、対象の深さや高さの識別が重要なケースでは、カメラの位置を試行錯誤で調整して被検査体の奥行き感を判断している。また、撮影された物体の任意の長さを測定するには、カメラの映像だけでは定量的な測定が難しいため、映像に映っている既知寸法の機器や被検査体と一緒に撮影したスケールなどと比較して測定している。このように従来の検査方法では、奥行き情報を直接得ることができないため、作業効率の面で課題がある。

そこで我々は、狭あい部の多い原子炉内において、対象の3次元位置を計測し欠陥の長さから構造物の寸法計測までを行える3次元計測システムを開発した。

本稿では、3次元計測システムの概要と、試作機の性能に関する試験結果について報告する。

2. 計測方法

代表的な3次元位置の計測方法としては、三角測量

法を用いた方法と、レーザなどを照射し、その飛行時間を計測する方法がある。前者の方法は面もしくはラインを一度に計測でき、後者の方法は点計測となる。

開発した3次元計測システムは、欠陥の長さや構造物の寸法計測を目的としているため、2台のカメラを用いたステレオ視法を計測原理とする面計測が可能な三角測量法を用いている。

ステレオ視法とは、Fig.1に示すように実空間における計測点 $P(X,Y,Z)$ と、計測用のカメラの位置 $O_k(X,Y,Z)$ 、および、計測点 P が写像されたカメラの画像上の位置 $p_k(x,y)$ の3点が一直線上に並ぶとした共線条件を利用する方法である。ここで、カメラの位置 $O_k(X,Y,Z)$ と回転角 (ω, ϕ, κ) が既知の場合、2台以上の k 台のカメラ間で計測点 P が写像された画像上の位置 $p_k(x,y)$ を画像処理により同定し、この共線条件を解くことにより、計測点 $P(X,Y,Z)$ の位置が計測できる[1]。

よって一般的なステレオ視法では、カメラの位置を固定にする必要があり、このため対象までの計測距離が固定されるが、狭あい部の多い原子炉内では計測器の設置空間の問題から計測距離を固定にすると適用範囲が限定される。

そこで本システムでは、Fig.2に示すように計測距離を可変に使用できるようにした。本システムでは、異なる計測距離に対応するために、図中カメラ2をカメラ1に対して回転させ、カメラの光軸が計測対象で交差するようにカメラの回転角を制御している。なお、

連絡先:相川徹郎

株式会社東芝

〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町 8

E-mail:tetsuro.aikawa@toshiba.co.jp

カメラの回転は、画像処理の結果を用いて最適な回転角に自動制御している。具体的には、2台のカメラの画像中心に写像された箇所を一致させる手法を採用している。

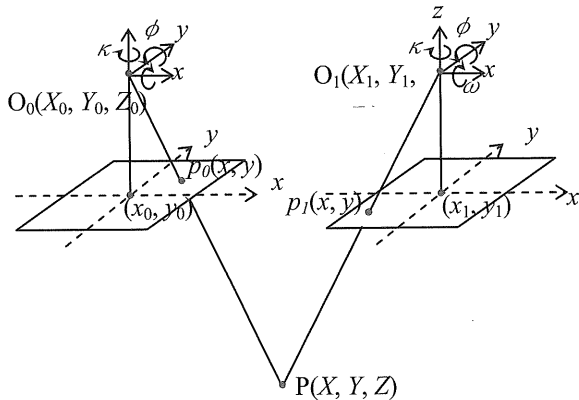


Fig. 1 Principle of stereo method

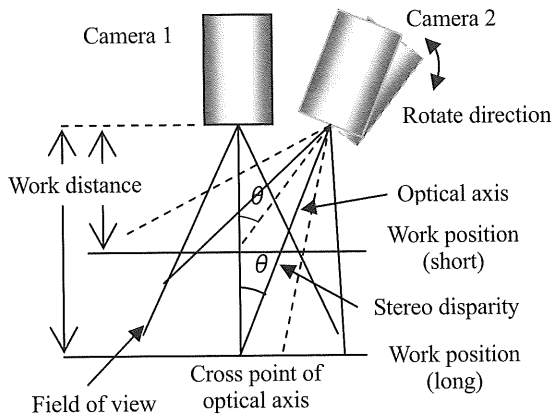


Fig. 2 Rotation control of camera

3. 3次元計測システムの概要

3次元計測システムは、2台のカメラを搭載した計測ヘッドと、計測ヘッドを制御する制御ボックス、計測ヘッドの外部制御や2台のカメラの画像から3次元位置を計測するPCで構成される。

今回、Table 1の仕様の計測ヘッドを試作した。Table 1の仕様は、従来欠陥の長さをmm単位で記録していることから最小計測精度を0.1mmとした。また、機器寸法については目的によって要求される精度が異なるが、狭あい部での炉内保全・補修を考慮して計測精度を1.0mmとした。計測距離については、目視検査の際に用いるASMEのVT-1グレードの定義に基づいた。

試作した計測ヘッドをFig.3に示す。2台のカメラの前面に配置したミラーで、光軸を90°屈折させて計測対象を撮影する。本計測ヘッドでは、固定したミラー1に対してミラー2を回転させることにより、カメラと計測対象間の計測距離を可変に使用できる構成とした。これにより機構を簡略化することで、約70×90×150mm(W×H×D)までの小型化を実現した。

Table 1 Specification of Measurement System

Measurement accuracy	0.1mm(W.D.=50mm)~1.0mm (W.D.=600mm) less or equal
Work distance	underwater:50~600mm [variability] (in the air:40mm~450mm)

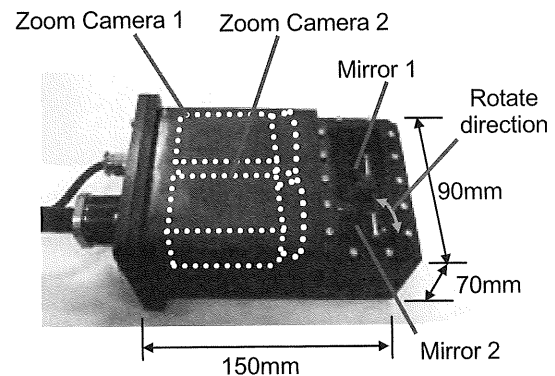


Fig. 3 Prototype of Measurement head

4. 計測性能確認試験

試作した計測ヘッドの性能を評価するために、Fig.4に示すφ115mmの円筒試験片を用いて性能確認試験を実施した。

気中における40mmと450mmの計測距離で、円筒試験片の表面形状を復元した結果をFig.5とFig.6に示す。

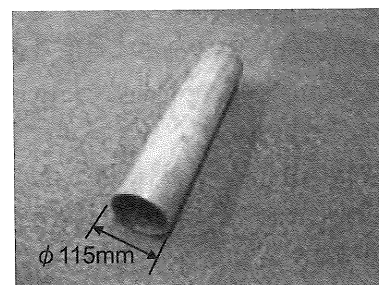


Fig. 4 Cylinder test piece

また、円筒試験片の周方向に対する計測結果の断面プロフィールを Fig.7 と Fig.8 に示す。Fig.7 と Fig.8 は、横軸に周方向位置、縦軸に計測深さを示しており、グラフの太線が計測結果、破線が試験片の加工精度を±0mmとした設計値である。本計測結果から分かるように、円筒試験片表面の形状が計測できていることが確認できる。

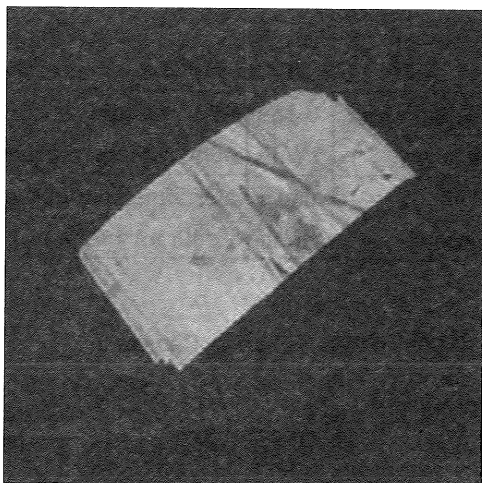


Fig. 5 Measurement result of W.D.40mm

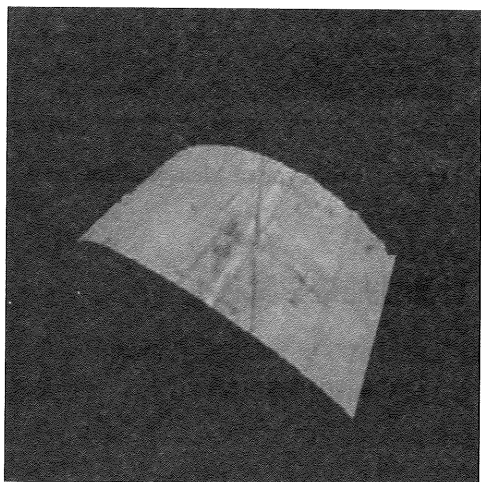


Fig. 6 Measurement result of W.D.450mm

次に、Fig.7 と Fig.8 の計測結果について、円筒試験片の設計値を真値とした誤差標準偏差を Table 2 に示す。誤差標準偏差は、計測距離 40mm で 0.1mm であり、計測距離 450mm で 0.7mm である。

以上の試験結果から、本計測ヘッドが仕様の±0.1mm(計測距離 40mm)と、±1.0mm(計測距離 450mm)を満たすことを確認した。

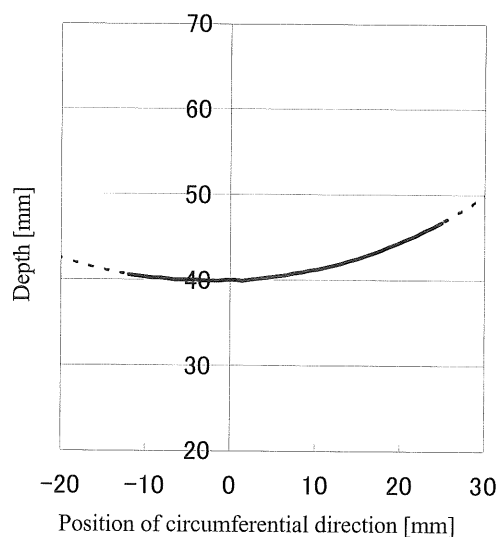


Fig. 7 Measurement profile of W.D.40mm

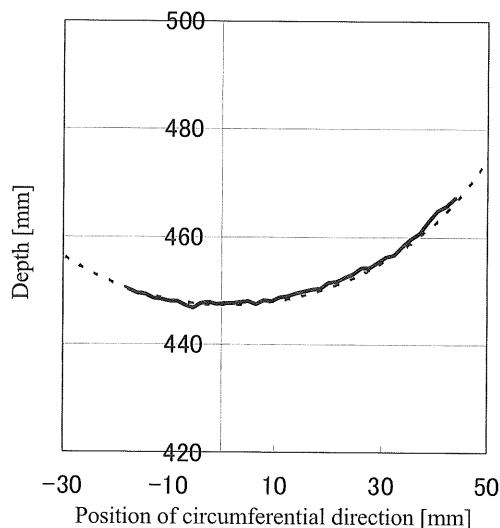


Fig.8 Measurement profile of W.D.450mm

Table 2 Measurement Results

Work distance	Focal length of lens	Standard deviation
40mm	5.1mm	0.1mm
450mm	17.3mm	0.7mm

5. 結言

ステレオ視法を計測原理とする 3 次元計測システムについて、カメラの前面に配置したミラーを回転させることにより計測距離を可変に使用できる小型な計測ヘッドを開発した。また、性能確認試験を実施し、開発した計測ヘッドが仕様を満足することを確認した。

本開発により 3 次元計測システムは技術的には確立したと考えており、今後はシステムとしての操作性などの改善を実施し、原子力プラントへの実機適用を目指す。

参考文献

- [1] 村井俊治、“解析写真測量 改訂版”、(社)日本写真測量学会、1997、pp.46-56.
- [2] 佐藤美徳、“炉内目視検査における 3 次元計測システム”、日本非破壊検査協会、平成 21 年度春季大会講演概要集、2009、p.109-110.
- [3] 相川徹郎、“炉内目視点検向け 3 次元計測システム”、日本保全学会、第 6 回学術講演会概要集、2009.