

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 observe internal structures and crack on the structure surface. For accurately checking those matters by visual inspection, inspectors sometimes need three-dimensional (3D) recognitions. Therefore, we developed a prototype system that has only one inspection head to obtain 3D measurements. This system is based on our 3DVT (3 Dimensional Visual Testing) technique that we have been developing. This report proposes that prototype measurement head and performance of this prototype evaluates by flat test piece and measures test piece which is simulated actual internal structure.

Keywords: 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、作業効率や計測精度の面で課題がある。

そこで我々は、2台のカメラを用いて3次元位置を計測し、欠陥の長さから構造物間の寸法計測までを行える3次元計測システムを開発している。今回、3次元計測システムの技術を利用して炉内機器であるCRDスタブチューブの形状を計測する計測ヘッドを開発した。本報告では、3次元計測システムの概要と、炉内機器のCRDスタブチューブの形状計測を目的として開発した計測ヘッドと、その試験結果について報告する。

連絡先:相川徹郎、〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町 8、株式会社東芝、電話: 045-770-2307、e-mail:tetsuro.aikawa@toshiba.co.jp

2. 3次元計測システムの概要

開発している3次元計測システムは、図1に示すように2台のカメラを用いたステレオ視法を計測原理としたものである。

本システムでは、距離の異なる計測に対応するために、図中カメラ2をカメラ1に対して回転駆動させ、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する構成とした。また、カメラの回転制御に画像処理を適用することで、撮影距離に応じて最適な回転角にカメラを自動制御している。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ことで回転角を制御している。これにより、カメラと計測対象間の撮影距離を可変に使用でき、計測対象とカメラ間の撮影距離を短く配置することで撮影範囲が狭角な欠陥の長さ計測等のマクロな計測、逆に撮影距離を長く配置することで撮影範囲が広角な構造物間の寸法計測等のマクロな計測が可能となる。

なお、ステレオ視法とは、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]。

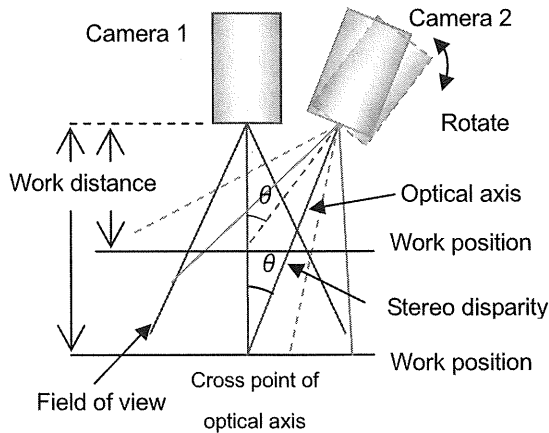


Fig. 1 Rotation control of camera

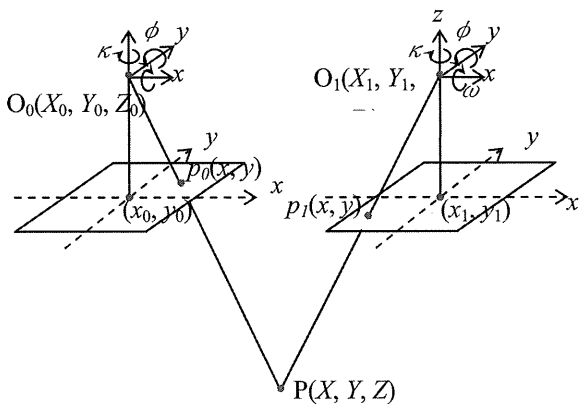


Fig. 2 Principle of stereo method

適用先の一例として、原子炉内のジェットポンプ周り（水面下 20~25m）を計測対象とし、Table 1 の仕様の 3 次元計測システムを試作した。本システムは約 145 × 210 × 145mm の計測ヘッド(Fig.3)と、計測ヘッドを制御する制御ボックス、手動走査用の操作パネル、計測ヘッドの外部制御や 3 次元位置を計測する PC で構成される。

Table 1 Specification of Measurement System

Measurement accuracy	0.5mm less or equal (W.D.=150mm)
Work distance	150~600mm (variability)
Head size	150 × 150 × 500mm less or equal

本システムについては、原子炉を実形状・実寸法で模擬した試験タンクにて性能確認試験を実施し、寸法計測精度が仕様精度である 0.5mm 以下であることを確認している。

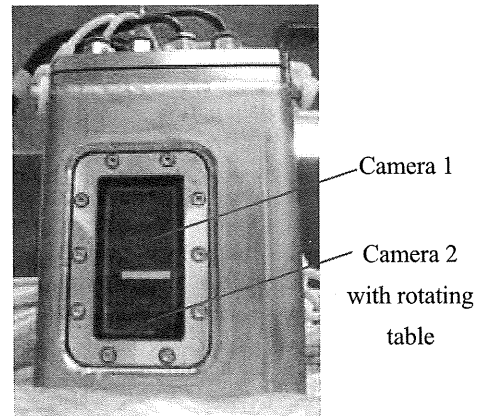


Fig. 3 Prototype of Measurement head for Jet-pump

3. CRD スタブチューブ形状計測用ヘッド

炉内機器である CRD スタブチューブの溶接接合部の形状を計測するため、3 次元計測システムの技術に基づき Table 2 の仕様の計測ヘッドを試作した。

計測該当部は、Fig.4 に示した CRD スタブチューブと CRD ハウジングを接合した上部溶接部 (J weld part)、CRD スタブチューブと原子力圧力容器を接合した下部溶接部 (3D weld part) である。

Table 2 Specification of Measurement head for CRD stub tube

Measurement accuracy	0.5mm less or equal
Work distance	200mm
Head size	100(W) × 50(D)mm less or equal

試作した計測ヘッドは、Fig.5 に示すように 2 台のカメラとカメラ間に配置した照明で構成される。3 次元計測システムでは、カメラを回転駆動させることでカメラと計測対象間の撮影距離を可変としていたが、本計測ではアクセス装置を用いるために撮影距離が固定である。そこで、カメラを固定式とし、カメラを最適配置することにより計測ヘッドを約 50 × 85 × 35mm ま

で小型化を図った。

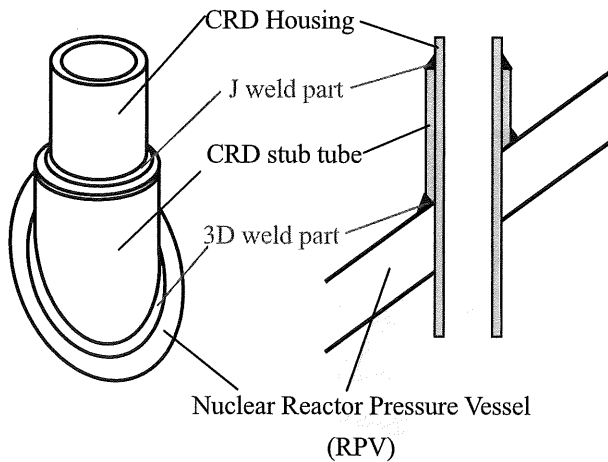


Fig. 4 Measurement part

本試験では、実計測と同様に計測ヘッドをアクセス装置に取り付けた状態で、試験片と計測ヘッド間の距離をアクセス装置により変化させ、試験片までの距離を計測した結果を基に性能を評価した。各位置で試験片までの距離を計測した結果を Table 3 に示す。Table 3 には、各位置で計測した 2 回の計測結果について、計測距離の平均値と誤差標準偏差を示している。この結果から、各位置における計測距離の平均誤差は最大 0.1mm であり、誤差標準偏差は 0.2mm であることが確認できる。また、計測した平板試験片の形状について、試験片の設計形状を真値とした場合の RMS 誤差は 0.3mm であることを確認した。

以上の試験結果から、本計測ヘッドが目標計測性能 $\pm 0.5\text{mm}$ 以下であることを確認した。

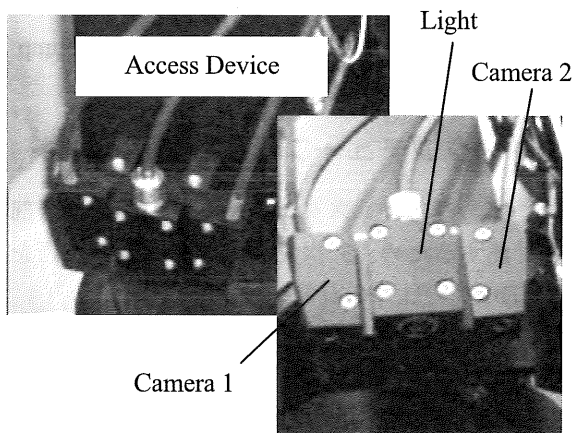


Fig. 5 Measurement head for CRD Stub Tube

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.6 に示す平板試験片を用いて性能確認試験を実施した。

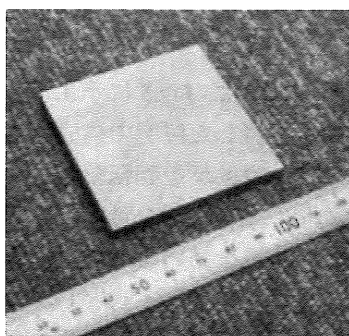


Fig. 6 Flat test piece

Table 3 Measurement Result

True value	1 st trial		2 nd trial	
	Mean	Standard deviation	Mean	Standard deviation
152.1mm	152.1mm	0.2mm	152.1mm	0.2mm
152.6mm	152.6mm	0.2mm	152.5mm	0.2mm
153.1mm	153.1mm	0.2mm	153.0mm	0.2mm

5. モックアップ試験

開発した計測ヘッドの実機形状に対する適用性を確認するために、実機形状を模擬した試験体を用いて計測の可否について試験を実施した。

本試験における 3 次元形状計測結果を Fig.7 と Fig.8 に示した。この結果から見て取れるように、CRD スタブチューブと CRD ハウジングとを接合した上部溶接部 (J weld part)、CRD スタブチューブと原子炉圧力容器 (RPV) を接合した下部溶接部 (3D weld part) の双方とも溶接部の形状が計測できていることが確認できる。

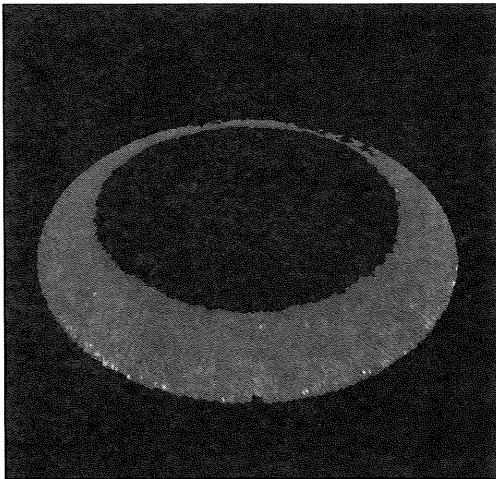


Fig. 7 Measurement result of J weld part

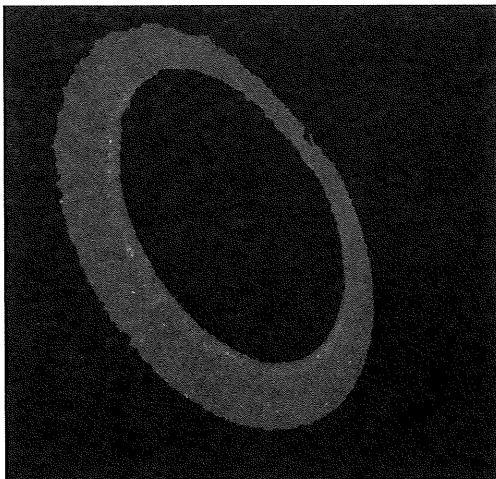


Fig. 8 Measurement result of 3D weld part

もに、3次元計測システムに関するカメラ可動式計測ヘッドの小型化、寸法計測の高精度化を目指す。

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.

7. 結言

3次元計測システムの技術をベースに、炉内機器であるCRDスタブチューブの形状を計測する計測ヘッドを試作した。また、開発した計測ヘッドの有効性を確認するために、性能確認試験と実機を模擬した試験体を用いてモックアップ試験を実施した。

その結果、CRDスタブチューブとCRDハウジングを接合した上部溶接部(J weld part)、CRDスタブチューブと原子炉压力容器(RPV)を接合した下部溶接部(3D weld part)の計測該当部の形状を計測可能であることを確認した。

今後、原子力プラントへの実機適用を推進するとと