

画像処理を用いた非接触式の液面高さ計測装置の開発

高木陽市*、辻川秋雄**、高藤政雄***、斉藤健****、戒田元子****

* 日立プロセスコンピュータエンジニアリング(株)
日立市大みか町5-2-1

** (株)日立製作所大みか工場
日立市大みか町5-2-1

*** (株)日立製作所日立研究所
茨城県日立市大みか町7-1-1

**** (株)日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

概要

本稿では、液体表面の画像を直接画像解析する方式の液面高さ(液位)計測装置の開発内容を紹介する。液体中に置かれた傾斜板の画像の輪郭が液面境界部で変極点を示すという原理を使っている。この画像処理を用いた液位計測装置は、水、油、液化ガス、酒等の液位の自動計測に有用な方式である。本計測装置は、①非接触式であり液体近くにセンサ等の精密機器を設置する必要がない②液体に影響されない設置施行可能③直接目盛板と液面とを画像で解析するため定期的な計測目盛の校正を必要としない④計測結果の異常をモニタ画面により目視にて容易に検知できる⑤複数台のカメラの映像を1台の画像処理装置で処理可能でありトータルコストが安価である等の特長がある。

キーワード

液位測定、液面高さ測定、画像処理、傾斜板

1. はじめに

水、油、液化ガス、酒等の液位の計測には、機械式や電気式の液位計測装置が使用されていたが、液位計測装置を設置の際、一般にそのセンサ部や制御装置を液体に接するか、液体近くの環境の厳しいところに設置する必要があるため、保守管理等が大変であった。そのため、保守管理が容易な非接触式の液位計測装置が望まれていた。そこで、筆者らは、傾斜板の液面での反射像あるいは、屈折像が、液面境界において変極点を持つという原理を活用した画像処理による非接触式の液位計測装置を開発したので以下その概要を報告する。

2. 従来の液位計測方式

液位の測定は基準の水平面から液体の表面までの距離を測定するものである。従来自動計測に用いられている代表的な測定方法は以下の通りである。

- (1) フロート式 液面に浮かべたフロートの変化を測水プーリを介して電気信号等に変換する方式である。
- (2) 圧力式 液中の圧力が液の深さに比例する原理を使用した方式である。
- (3) 超音波式 超音波パルスを液面に送波し、液面から反射される超音波の伝播時間を液位に換算する方式である。

3. 画像解析による液位計測方式の特長

液面の画像を、直接画像解析してその液位を計測する方式は、以下のような特長を有する方式である。

- (1) 非接触式であり、センサや制御装置を液体から離れたところに設置できる。
- (2) 液体に影響されない設備施工可能
- (3) 直接目盛板と液面とを画像で解析するため定期的な計測目盛の校正を必要としない。
- (4) 計測結果の異常を目視により容易に検知できる。
- (5) 1台の画像処理装置で複数台のカメラ画像を解析できるのでトータルコストが安くすむ。

4. 画像解析による非接触式の液位計測装置

4. 1 開発の基本方針

本計測装置の開発の基本方針は、以下の通りである。

- (1) 昼夜計測可能なこと
- (2) 計測精度は、液の種類と液面の状態（波浪の有無等）により異なるが、静止水面では2 mmから5 mm程度
- (3) 1台の画像処理で、複数のカメラ画像を処理できること
- (4) 1台のカメラで、複数の計測対象物に対応できること（プリセットカメラ）
- (5) 計測対象物の切り替え操作が簡便であること
- (6) 24時間連続運転可能であること

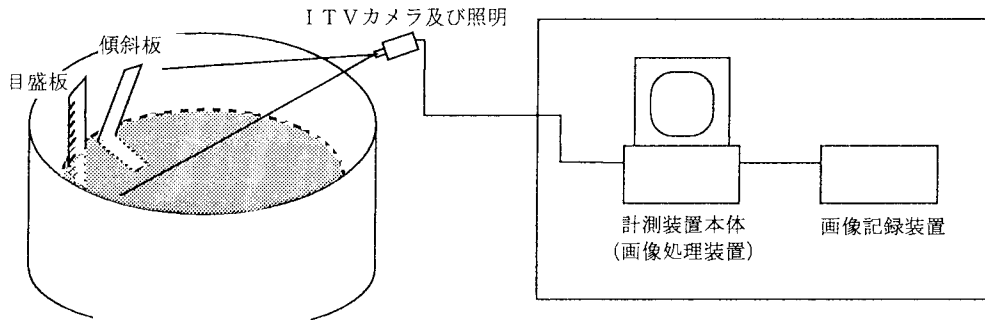


図1 システムの構成

4. 2 システム構成

図1にシステム構成を示す。本液位計測装置は、被計測対象物である目盛板と傾斜板、被計測対象物の画像を取り込むためのI TVカメラ及び照明、取り込んだ画像を解析処理するための計測装置本体（画像処理装置）処理結果画像をエビデンスとして記録するための画像記録装置からなる。

4. 3 画像処理装置ハードウェア

(1) 計測装置本体

a) 画像処理装置

図2に画像処理装置の構成図を示し、24時間連続運転に対応し長寿命化するためディスクレスとした。3台のカメラを接続可能な画像ボードを最大4枚搭載可能とし、システムとして12台のカメラを切り替えなしで接続できるようにした。

b) 画像処理ボード

高性能な画像処理を1チップ化したLSI「ISP-X」を搭載している。

c) 画像処理性能

- ・処理速度：42 ns / 画素
- ・2値画像処理：画像間演算 / 論理演算 / ラベリング
- ・濃淡画像処理：画像間演算 (*、+、-等) / 2値化 / 絶対値化 / 濃度変換 / 積和 / Min / Max フィルタ (3×3、1×9) / 正規化相関演算

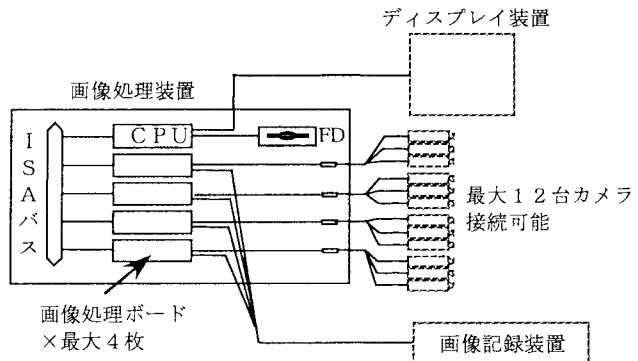


図2 計測装置本体 (画像処理装置)

・ヒストグラム処理：濃度分布／投影分布、ラベル毎頻度分布／投影分布

(2) I T Vカメラ及び照明

- a) 高感度カメラと弱照明：通常の昼夜連続計測
- b) 近赤外線カメラと近赤外線照明：昼夜連続計測で夜間照明を嫌う場合
- c) 通常のモノクロカメラ：昼間のみの計測

4. 4 原理とその処理内容

液面の画像を直接画像解析して液位を計測する場合に問題となるのは、液面境界が明確に画像から得られない点である。今回開発の計測装置の特徴は、液位計測用目盛板の近くに傾斜板を設置し、液面境界が画像上明確に得られるようにした点である。

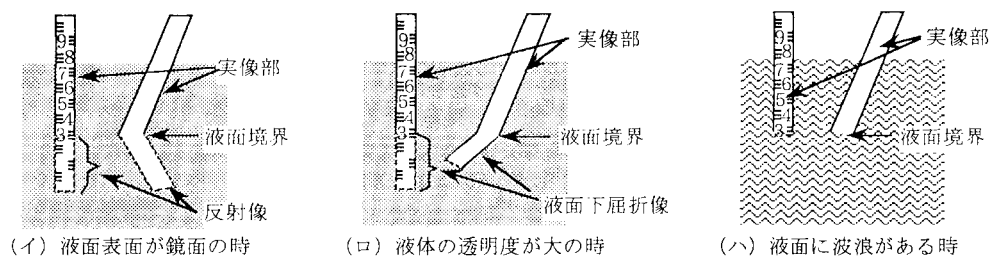


図3 傾斜板の液面境界3態

図3は各種環境条件下での、垂直な目盛板と傾斜板の液面境界部分のカメラ画像の差異を図示したもので傾斜板が液面境界の認識に有効であることを示している。図3(イ)は、液面が鏡面である場合の目盛板と傾斜板のカメラ画像の例である。この場合、垂直に設置した目盛板の実像部と反射像が、液面境界部で連続した図形となるため、目盛板の画像を使用して、液面境界を認識することは困難である。一方、傾斜板の画像は傾斜板の液面上部部の反射像と傾斜板の実像がくの字形に見える。このように、傾斜板の画像では液面境界を容易に認識できることがわかる。図3(ロ)は液体の透過度が高い場合のカメラ画像の例である。目盛板の像は(イ)の場合と同様に、液面境界の認識に役立たない。傾斜板の像は、液面境界部で像が曲がって見える。この場合も、傾斜板の像を使用すれば、液面境界を認識できることがわかる。図3(ハ)は、波浪等により、液面の反射像や屈折像が散乱し見えない場合である。この場合は、実像のみが存在する状態であり、液面境界は容易に認識できる。通常は、上記3態の混合したものが観察されると考えられる。

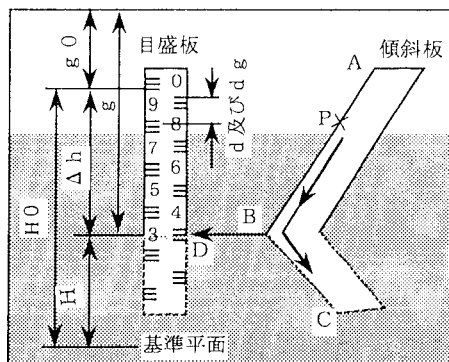
次に、図4により、画像解析による液位計測原理を説明する。最初に、図4に示すようなI T Vカメラ画像を取り込む。画面の中から傾斜板の図形を抽出し、辺A B部分に注目して、変極点Bを求め、これを液面境界とみなす。B点を通り水平な線と、目盛板との交点Dが得られる。目盛板の数字から、D点の座標を画像解析で読み取り、液位を得る。

次に図5により処理内容について説明する。図5(イ)は、システム立上げ時、画像座標系・目盛板座標系・地上座標系相互関係を定義するための処理である。画像座標系と地上座標系の距離変換係数 ϵ は、入力画像を解析して得た情報のみで決定できる。

$$\epsilon = F1(d, dg)$$

ここで

- d：上下に隣接する目盛数字間の距離
(地上座標系：通常は、10cm)
- dg：上下に隣接する目盛数字間の距離
(画像座標系：画素数)



I T Vカメラ画像

図4 画像解析による液位計測の原理

目盛板座標系と地上座標系との相対標高差H0のみ入力が必要とする。

図5(ロ)は、液位計測オンライン処理手順を示す。地上座標系の液位Hは次式で得られる。

$$\Delta h = (g - g_0) \cdot \varepsilon$$

$$H = H_0 - \Delta h$$

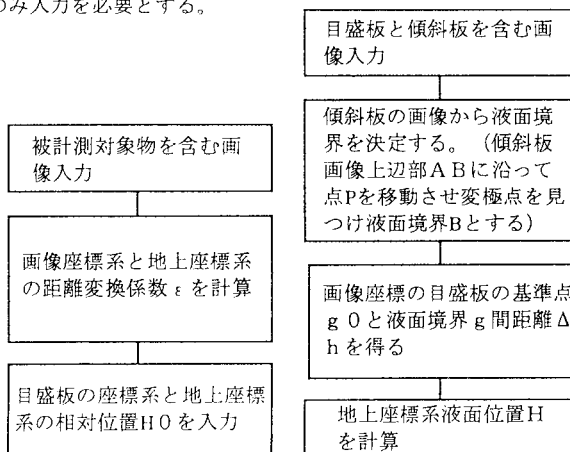
ここで

g 0 : 目盛板基準点 (画像座標系)

g : 液面境界 (画像座標系)

5. 評価実験結果

今回の実験では、液体の種類や液面の状況を種々変えてカメラ画像を入力し評価実験を行い良好な結果を得た。写真1は、液体が透明な場合のカメラ画像の例である。傾斜板の反射像と液面下からの屈折像が液面付近で交差している。写真2は、不透明な液体の例である。いずれも画像解析可能である。



(イ) システム立上げ時の処理 (ロ) 液位計測オンライン処理

図5 計測処理の内容

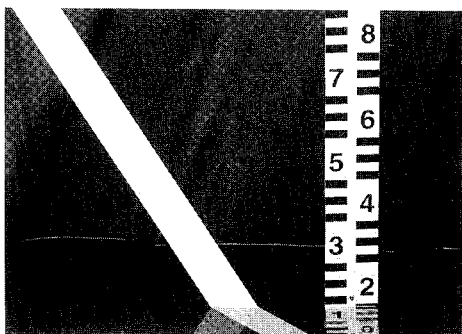


写真1 透明な液体の場合のカメラ画像の例

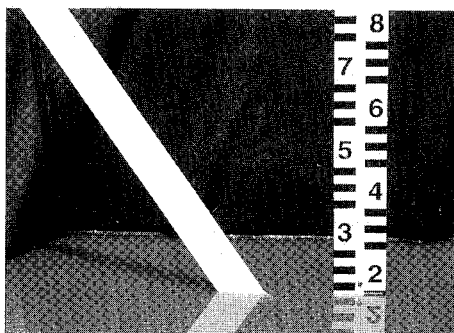


写真2 不透明な液体の場合のカメラ画像の例

6. 今後の課題

油や液化ガス等のような屋内設置環境の対象物への適用については実用上の問題は少ないと思われる。河川、海岸、湖等屋外環境での水位や潮位を計測する場合には、雨、霧、雪等自然環境の計測への影響を今後調査研究する必要がある。

7. おわりに

液体表面の画像を直接画像解析する方式の、非接触式液位計測装置について紹介した。被計測対象物である目盛板の近くに傾斜板を設置することにより、液面境界が容易に認識できるようになるという原理を応用したものである。本計測方式は、原理的には、水、油、酒、その他あらゆる液体の液位を、非接触に計測する手段を提供するもので、画像処理装置の小型化、高性能化により、機械式、電気式に比較しても建設費の差は少ないと思われる。複数のカメラを1台の画像処理装置で対応させる場合には、逆に、トータルコストは有利であるといえる。