

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-9847

(P2018-9847A)

(43) 公開日 平成30年1月18日(2018.1.18)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 F 23/292 (2006.01)	G O 1 F 23/292 Z	2 F 0 1 4
G O 6 T 7/20 (2017.01)	G O 6 T 7/20 C	4 E 0 0 4
B 2 2 D 11/16 (2006.01)	B 2 2 D 11/16 1 O 4 H	5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2016-137867 (P2016-137867)	(71) 出願人	000006655
(22) 出願日	平成28年7月12日 (2016.7.12)		新日鐵住金株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
		(74) 代理人	100090273
			弁理士 國分 孝悦
		(72) 発明者	山本 浩貴
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新
			日鐵住金株式会社内
		Fターム(参考)	2F014 FA04 GA01
			4E004 MB15 MB17 SC08
			5L096 AA06 CA04 DA02 FA70 HA02

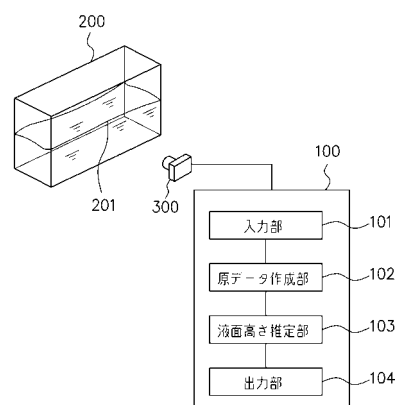
(54) 【発明の名称】 液面形状の抽出方法、装置及びプログラム

(57) 【要約】

【課題】 容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する画像に基づいて、正確な液体の流動状況、液面挙動を把握できるようにする。

【解決手段】 液面形状の抽出装置100において、入力部101は、カメラ300で撮影した容器内の自由液面の動画データを入力する。原データ作成部102は、入力部101で入力する動画データを用いて、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを作成する。原データは、各時刻での画像について、例えば動的計画法により曲線を抽出する手法で作成される。液面高さ推定部103は、原データ作成部102で作成した原データを対象として、原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数を構築し、この評価関数を最小にする幅方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する複数の画像に基づいて液面形状を抽出する液面形状の抽出方法であって、

前記時間的に連続する画像を用いて作成される、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを対象として、

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、前記一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定することを特徴とする液面形状の抽出方法。

10

【請求項 2】

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項は、 j を前記一水平方向の各位置 ($j = 1、2、\dots、M$)、 t を各時刻 ($t = 1、2、\dots、T$) とし、前記原データにおける液面高さ $y_j(t)$ と、液面高さの計算値 $d_j(t)$ との誤差絶対値 $|y_j(t) - d_j(t)|$ の前記一水平方向の各位置、各時刻に関する和で表わされることを特徴とする請求項 1 に記載の液面形状の抽出方法。

【請求項 3】

スラック変数を用いて前記誤差絶対値を不等式制約に置き換え、前記評価関数を 2 次計画法により解くことを特徴とする請求項 2 に記載の液面形状の抽出方法。

【請求項 4】

前記液面高さの計算値の時間差分に関する項は、時間方向における液面高さの 1 階差分又は 2 階差分の二乗和で表わされることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の液面形状の抽出方法。

20

【請求項 5】

前記液面高さの計算値の空間差分に関する項は、空間方向における液面高さの 1 階差分又は 2 階差分の二乗和で表わされることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の液面形状の抽出方法。

【請求項 6】

容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する複数の画像に基づいて液面形状を抽出する液面形状の抽出装置であって、

30

前記時間的に連続する画像を用いて作成される、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを対象として、

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、前記一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する推定手段を備えたことを特徴とする液面形状の抽出装置。

【請求項 7】

容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する複数の画像に基づいて液面形状を抽出するためのプログラムであって、

前記時間的に連続する画像を用いて作成される、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを対象として、

40

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、前記一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する処理をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する画像に基づいて液面形状を抽出する液面形状の抽出方法、装置及びプログラムに関する。

50

【背景技術】

【0002】

鉄鋼製造プロセスにおける鋼の連続鋳造工程においては、鋳型内の湯面挙動が鋳片欠陥に影響することが知られている。

従来から、鋳型内の溶鋼の流動状況、湯面挙動を適正化するのに必要な操業因子を明らかにするために、水モデル実験が用いられている（非特許文献1を参照）。水モデル実験とは、透明なアクリル樹脂板等を用いて鋳型を模した容器を作成し、溶鋼の代わりに水を満たすことで、溶鋼の流動状況、湯面挙動を模擬する実験である。このような水モデル実験において水面高さを定量測定する必要がある場合には、非特許文献1で示されるように、通常、フロートとレーザー変位計を利用し、レーザー変位計の設置位置での水面高さを測定することが行われるが、この場合、レーザー変位計で測定していない位置での水面高さを知ることができなかった。

10

【0003】

このような課題に対し、特許文献1では、液体が注水される水槽を挟んで、一方の側に光源を設置し、他方の側に近赤外CCDカメラを設置して、近赤外CCDカメラの撮影画像から輝度比（水槽が空の位置と注水位置との輝度比）を算出し、エッジ処理により液面位置を検出する手法が開示されている。

また、非特許文献2では、ビデオカメラ等の撮影画像から、画像処理技術により曲線を検出する手法が開示されている。非特許文献2では、微分フィルタで山岳の稜線を含むエッジを強調した上で、稜線の連続性を利用し動的計画法により稜線を抽出する手法が提案されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2005-291830号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】手嶋ら：スラブ高速鋳造時の連鋳鋳型内溶鋼流動におよぼす鋳造条件の影響，鉄と鋼，vol.79，No.5，1992.

【非特許文献2】W. Lie, T. T. Lin, K. Hung, A robust dynamic programming algorithm to extract skyline in images for navigation. Pattern. Recogn. Lett. 26, 221-230 (2005).

30

【非特許文献3】R.A.Maronna, R.D.Martin, V.J.Yohai: Robust Statistics: Theory and Methods, Wiley, 2006.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、水のような無色透明な液体の気液界面付近は、輝度のコントラストが小さく、特許文献1のような単純なエッジ処理では、画像中のノイズ成分と気液界面を見分けることは困難で、気液界面を見誤ることがある。

40

また、非特許文献2の手法では、動的計画法による曲線（液面）の抽出の際、画像中のノイズに反応し、液面を誤識別することがある。

このように気液界面を見誤ったり、液面を誤識別したりすると、正確な液体の流動状況、液面挙動を把握できなくなってしまう。

【0007】

本発明は上記のような点に鑑みてなされたものであり、容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する画像に基づいて、正確な液体の流動状況、液面挙動を把握できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

50

上記の課題を解決するための本発明の要旨は、以下のとおりである。

〔１〕 容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する複数の画像に基づいて液面形状を抽出する液面形状の抽出方法であって、

前記時間的に連続する画像を用いて作成される、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを対象として、

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、前記一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定することを特徴とする液面形状の抽出方法。

〔２〕 前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項は、 j を前記一水平方向の各位置（ $j = 1, 2, \dots, M$ ）、 t を各時刻（ $t = 1, 2, \dots, T$ ）とし、前記原データにおける液面高さ $y_j(t)$ と、液面高さの計算値 $d_j(t)$ との誤差絶対値 $|y_j(t) - d_j(t)|$ の前記一水平方向の各位置、各時刻に関する和で表わされることを特徴とする〔１〕に記載の液面形状の抽出方法。

〔３〕 スラック変数を用いて前記誤差絶対値を不等式制約に置き換え、前記評価関数を２次計画法により解くことを特徴とする〔２〕に記載の液面形状の抽出方法。

〔４〕 前記液面高さの計算値の時間差分に関する項は、時間方向における液面高さの１階差分又は２階差分の二乗和で表わされることを特徴とする〔１〕乃至〔３〕のいずれか一つに記載の液面形状の抽出方法。

〔５〕 前記液面高さの計算値の空間差分に関する項は、空間方向における液面高さの１階差分又は２階差分の二乗和で表わされることを特徴とする〔１〕乃至〔４〕のいずれか一つに記載の液面形状の抽出方法。

〔６〕 容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する複数の画像に基づいて液面形状を抽出する液面形状の抽出装置であって、

前記時間的に連続する画像を用いて作成される、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを対象として、

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、前記一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する推定手段を備えたことを特徴とする液面形状の抽出装置。

〔７〕 容器内の自由液面を撮影した、時間的に連続する複数の画像に基づいて液面形状を抽出するためのプログラムであって、

前記時間的に連続する画像を用いて作成される、各時間において一水平方向の各位置で液面高さが単一に定まる原データを対象として、

前記原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、前記一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する処理をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数に基づいて、一水平方向の各位置、各時刻の液面高さを推定するようにしたので、原データにおいて液面の誤識別が生じていても、その誤識別を取り除いて、時間方向及び空間方向になめらかに変動する液面形状を抽出することができる。これにより、正確な液体の流動状況、液面挙動を把握することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】実施形態に係る液面形状の抽出装置の機能構成を示す図である。

【図２】実施形態に係る液面形状の抽出装置による液面形状の抽出方法を示すフローチャ

10

20

30

40

50

ートである。

【図 3】原データと、原データを対象として液面形状を抽出した結果とを示す特性図である。

【図 4】原データにおける液面形状を表わす写真と、原データを対象として抽出した液面形状を表わす写真を示す図である。

【図 5】本発明を適用して液面形状を抽出した結果の例を表わす写真を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態について説明する。

図 1 に、実施形態に係る液面形状の抽出装置 100 の機能構成を示す。

10

図 1 に示すように、透明なアクリル樹脂板等を用いて鋳型を模した容器 200 を作成し、溶鋼の代わりに水 201 を満たす。そして、容器 200 の一面に対向させるようにしてカメラ 300 を設置し、カメラ 300 により、容器 200 内の自由液面を撮影した時間的に連続する画像、ここでは動画像を取得する。カメラ 300 で撮影する画像は、可視光画像に限らず、赤外線画像等としてもよい。

【0012】

液面形状の抽出装置 100 において、101 は入力部であり、カメラ 300 で撮影した容器 200 内の自由液面の動画像データを入力する。

【0013】

102 は原データ作成部であり、入力部 101 で入力する動画像データを用いて、各時間において一水平方向（以下、幅方向と呼ぶ）の各位置で液面高さが単一に定まる原データを作成する。原データは、各時刻での画像について、例えば高さ方向に微分フィルタ演算を行い、その輝度変化のピーク位置を液面と判定する手法で作成される。或いは、原データは、各時刻での画像について、例えば非特許文献 2 のように動的計画法により曲線を抽出する手法で作成される。

20

【0014】

103 は液面高さ推定部であり、原データ作成部 102 で作成した原データを対象として、原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項とを含む評価関数を構築し、この評価関数を最小にする幅方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する。

30

【0015】

104 は出力部であり、液面高さ推定部 103 で推定した液面高さから得られる液面形状の抽出結果を出力する。例えば液面形状の抽出結果を表示装置に表示したり、ネットワークを介して外部機器に送信したりする。

【0016】

以下、実施形態における液面形状の抽出方法の詳細を説明する。

図 2 は、実施形態に係る液面形状の抽出装置 100 による液面形状の抽出方法を示すフローチャートである。

ステップ S1 で、入力部 101 は、カメラ 300 で撮影した容器 200 内の自由液面の動画像データを入力する。

40

【0017】

ステップ S2 で、原データ作成部 102 は、ステップ S1 で入力する動画像データを用いて原データを作成する。

図 3 (a) に、非特許文献 2 のように動的計画法により曲線を抽出する手法（以下、単に動的計画法と呼ぶ）により作成した原データの例を示す。また、図 4 (a) に、ある時刻において、原データにおける液面形状 401 を原画像に重ね合わせて示す。

図 4 (a) に示すように、画像中のノイズに反応し、液面をなす曲線を誤識別することが原因で、幅方向の広い範囲（図中の左側の領域 X）で液面の誤識別が生じている。このように広範囲に渡る誤識別は、空間方向のローパスフィルタ処理等で除去することが困難である。

50

【0018】

ステップS3で、液面高さ推定部103は、ステップS2で作成した原データを対象として、原データと液面高さの計算値との差分に関する項と、液面高さの計算値の時間差分に関する項と、液面高さの計算値の空間差分に関する項との重み付き和として評価関数を構築し、この評価関数を最小にする幅方向の各位置、各時刻の液面高さを推定する。

具体的には、図3(a)、図4(a)のような原データを対象として、式(1)の評価関数を最小にする幅方向の各位置 j ($j = 1, 2, \dots, M$)、各時刻 t ($t = 1, 2, \dots, T$)の液面高さ $d_j(t)$ を計算する。 $y_j(t)$ は、原データにおける液面高さ(動的計画法により求めた液面高さ)である。

【0019】

10

【数1】

$$J = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M \{y_j(t) - d_j(t)\}^2 + \lambda_1 \sum_{t=2}^{T-1} \sum_{j=1}^M \{d_j(t+1) - 2d_j(t) + d_j(t-1)\}^2 \\ + \lambda_2 \sum_{t=1}^T \sum_{j=2}^{M-1} \{d_{j+1}(t) - 2d_j(t) + d_{j-1}(t)\}^2 \quad (1)$$

【0020】

式(1)の第1項は液面高さの推定誤差を表わし、第2項は液面の時間方向変動のなめらかさに関する正則化項を表わし、第3項は液面の幅方向変動のなめらかさに関する正則化項を表わす。式(1)は、液面が時間方向及び空間方向にわたりなめらかに変化することを利用して、液面の時間及び空間変動のなめらかさの制約の下で、再構成誤差を最小化するものである。なお、 λ_1 、 λ_2 は推定値変動のなめらかさを制御する調整パラメータである。

20

【0021】

なお、第2項及び第3項のなめらかさに関する正則化項として、式(1)のような時間方向及び幅方向における液面高さの2階差分の二乗和でなく、式(2)のように、時間方向及び幅方向における液面高さの1階差分の二乗和としてもよい。

【0022】

30

【数2】

$$J = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M \{y_j(t) - d_j(t)\}^2 + \lambda_1 \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{j=1}^M \{d_j(t+1) - d_j(t)\}^2 + \lambda_2 \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{M-1} \{d_{j+1}(t) - d_j(t)\}^2 \quad (2)$$

【0023】

また、動的計画法により求めた液面高さ $y_j(t)$ は、大きな外れ値を含む場合がある。このため、観測値とのあてはまりの尺度として二乗誤差 $\{y_j(t) - d_j(t)\}^2$ を選んだ場合に、外れ値に推定結果が引きずられ過ぎるおそれがある。これを防ぐため、観測値とのあてはまりの尺度として、二乗誤差でなく誤差絶対値 $|y_j(t) - d_j(t)|$ を選ぶようにしてもよい。この考え方は、ロバスト統計学の分野においてL1損失最小化と呼ばれるものである(非特許文献3を参照)。この場合、式(3)の評価関数を最小にする液面高さ $d_j(t)$ を計算する。

40

【0024】

【数 3】

$$J = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M |y_j(t) - d_j(t)| + \lambda_1 \sum_{t=2}^{T-1} \sum_{j=1}^M \{d_j(t+1) - 2d_j(t) + d_j(t-1)\}^2$$

$$+ \lambda_2 \sum_{t=1}^T \sum_{j=2}^{M-1} \{d_{j+1}(t) - 2d_j(t) + d_{j-1}(t)\}^2 \quad (3)$$

【0025】

式(3)の数理計画問題は、スラック変数 $\xi_j(t)$ を追加し、式(4)のように書き換えることができる。この変換により、誤差絶対値の項を不等式制約に置き換えることができ、2次計画法を用いて解くことができる。

10

【0026】

【数 4】

$$J = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^M \xi_j(t) + \lambda_1 \sum_{t=2}^{T-1} \sum_{j=1}^M \{d_j(t+1) - 2d_j(t) + d_j(t-1)\}^2$$

$$+ \lambda_2 \sum_{t=1}^T \sum_{j=2}^{M-1} \{d_{j+1}(t) - 2d_j(t) + d_{j-1}(t)\}^2 \quad (4)$$

20

Subject to $-\xi_j(t) \leq y_j(t) - d_j(t) \leq \xi_j(t)$.

【0027】

図3(b)に、図3(a)の原データを対象として、式(4)の評価関数を2次計画法を用いて解いて得られた、液面形状の抽出結果(再構成結果)を示す。なお、 $M=176$ 点、 $T=12$ フレーム(0.2sec間)とした。

図3(b)の再構成結果では、図3(a)の原データに含まれる異常値が除去され、時間方向及び空間方向になめらかに変動する液面形状を抽出できている。

なお、この計算にあたり、式(4)の調整パラメータは $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.5$ とした。また、計算量低減のため、幅方向に関して10点間隔(約10mm間隔)に間引いて計算し、得られた計算結果を幅方向に補間し最終的な出力としている。

30

【0028】

また、図4(b)に、図4(a)と同時刻(12フレーム中の3フレーム目)において、液面形状の再構成結果402を原画像に重ね合わせて示す。図4(b)に示すように、図4(a)で生じていた液面の誤識別が取り除かれ、なめらかな液面形状を抽出できていることがわかる。

【0029】

ステップS4で、出力部104は、ステップS3で推定した液面高さから得られる液面形状の抽出結果を出力する。出力部104から出力する液面形状の抽出結果としては、例えば図3(b)のようにグラフとして出力してもよいし、図4(b)のように原画像に液面形状の再構成結果402を重ね合わせて出力してもよいし、単に液面高さの値を出力するようにしてもよい。

40

【0030】

図5に、本発明を適用して液面形状を抽出した結果の例を表わす写真を示す。 $T=61$ フレーム(1.0sec間)とし、計算して得られた液面形状の再構成結果を原画像に重ね合わせた結果を6フレーム毎(0.1secピッチ)に10枚表示した例である。図5からもわかるように、時間方向及び空間方向になめらかに変動する液面形状を抽出できている。

【0031】

50

以上述べたように、液面形状の変動は、幅方向、高さ方向及び時間方向の三次元空間においてなめらかな曲面を構成することを見出し、液面の誤識別を含む原データの異常値除去アルゴリズムを構築した。この異常値除去アルゴリズムにより、原データにおいて液面の誤識別が生じていても、その誤識別を取り除いて、時間方向及び空間方向になめらかに変動する液面形状を抽出することができる。

これにより、正確な液体の流動状況、液面挙動を把握することが可能となり、安価なコスト、簡易なセッティングで、連続鋳造機の鋳型を対象とする水モデル実験での水面高さの定量測定ができるようになる。この結果、実機では実施困難な各種実験を可能とし、良好な鋳片品質を可能とする操業因子を明らかにすることができる。

【0032】

以上、本発明を種々の実施形態と共に説明したが、本発明はこれらの実施形態にのみ限定されるものではなく、発明の範囲内で変更等が可能である。例えば図1では、液面形状の抽出装置100において原データを作成するようにしたが、原データは外部で作成するようにして、液面形状の抽出装置100では、作成済みの原データを入力して、液面高さ推定部103で液面高さを推定する構成としてもよい。

【0033】

また、本発明は、連続鋳造機の鋳型の水モデル実験に限定されるものではない。例えば電力会社における原油燃料タンクや原子炉溶融プール等におけるスロッシング現象解明を目的として水モデル実験が行われることがあり、このような場合においても本発明は適用可能である。また、容器200の形状は、用途に合わせたものとすればよい。

さらに、本発明は、水モデル実験に限定されるものではなく、一般に、誤差やノイズを含む動画像から、なめらかな変化を有する自由液面形状を抽出するのに適用可能である。

【0034】

本発明を適用した液面形状の抽出装置は、例えばCPU、ROM、RAM等を備えたコンピュータ装置により実現される。

また、本発明は、本発明の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータがプログラムを読み出して実行することによっても実現可能である。

【符号の説明】

【0035】

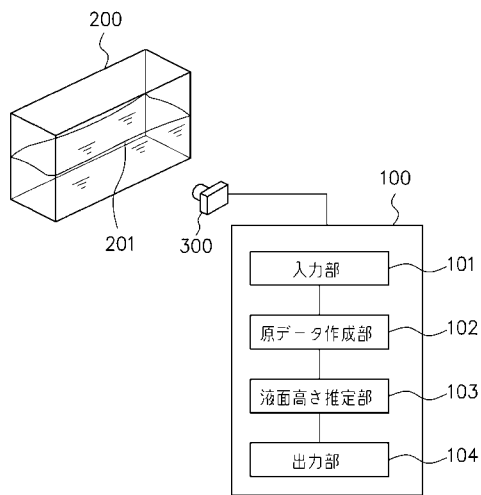
- 100：液面形状の抽出装置
- 101：入力部
- 102：原データ作成部
- 103：液面高さ推定部
- 104：出力部
- 200：容器
- 201：水
- 300：カメラ

10

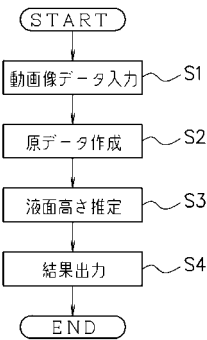
20

30

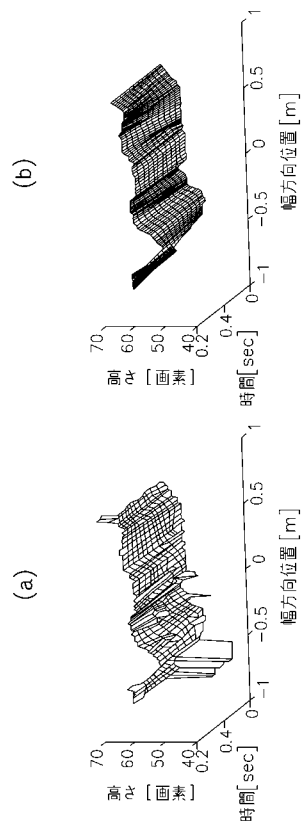
【 図 1 】



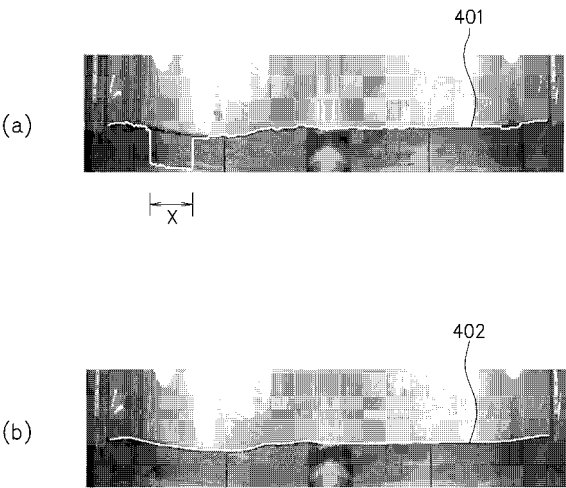
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



【図 5】

