

## 安全教育のため手の甲によるバルブ速度測定画像認識法

みの 輪 弘 嗣<sup>†</sup>・宗 澤 良 臣<sup>††</sup>・橋 本 康 平<sup>†††</sup>

人的要因の事故を防止する為、仮想現実感を利用した訓練の実現が期待されている。仮想環境での訓練の利点は実環境に近い環境で訓練できる点にある。しかし、プラント内で基本操作であるバルブの操作をシステムへ伝えるユーザ・インタフェース (UI と省略) は現在なく、実環境に即した訓練ができない問題がある。

そこで本研究では、仮想環境におけるバルブ開操作訓練を実現するバルブ操作 UI 開発のため、バルブの丸ハンドルの回転速度を測定する画像認識手法を提案する。本手法はバルブの丸ハンドルを回す手から取得した光学的自然特徴点を利用する。本バルブ開操作 UI は PC, Web カメラといった一般的な製品を用い平易に実現できる利点がある。

本手法は、評価実験で 22.5-90deg/s を測定できる事を確認できたため、発火危険を想定したバルブ操作訓練のための UI に適用できる事が明らかとなった。

キーワード：画像認識, 仮想現実感, ユーザ・インタフェース, バルブ, プラント安全

### 1. 緒 言

人的要因による事故の防止が求められている。人的要因とされる事例は、石油コンビナート等の特定事業所の災害<sup>1)</sup>では 46.2 % (96 件), 高压ガスに関する事故分析<sup>2)</sup>では 10 % (82 件) 発生しており、その頻度は軽視することはできない。人的要因の事故の中には、バルブの急開によって引き起こされる事故がある<sup>3)~7)</sup>。バルブの急開による圧縮熱により、微粒子と配管との摩擦、衝突による発熱等が起こる<sup>8)</sup>。結果、機器故障や、爆発や火災等の事故を起こす問題がある。

バルブを開く時の発火特性を測定した事例として、有機系材料ガスケットに用いられる Nylon66, PCTFE の圧縮熱による発火頻度を評価した結果<sup>8)</sup>を紹介する。この評価実験では、同じ条件下で試験を 25 回以上繰り返し、ガスケットの発火の有無を確認した。PCTFE, Nylon66 の発火頻度の結果では、25 MPa の酸素圧力下において PCTFE では、3 秒かけて開けた時の発火頻度は約 3 % に対して、1 秒の時の発火頻度

は約 33 % となった。また、Nylon66 においては、10 秒かけて開けた時の発火頻度は約 45 % に対して、0.3 秒の時の発火頻度は約 90 % となった、と報告されており、開速度の違いで発火頻度が上昇し、事故に繋がる危険が増すことがわかる。バルブ開速度による事故を防止する手段として、スロースタートバルブ<sup>9)</sup>といったバルブの急開を防ぐ機器を組み込む方法が考えられる。しかし、全てのバルブへ組み込む事は難しいため、人為的にも事故が起きないようにする取り組みが必要である。

人的要因による事故を減らすため、産業界ではモックアッププラントを建設し、実プラントに近い環境で作業訓練を実施している<sup>10), 11)</sup>。ただし、モックアッププラントによる訓練には、建設費や管理費等多大なコストがかかる事や、作業員に危機感を持たせる訓練が難しいといった問題がある。そのため、近年、作業員のスキル向上のため仮想現実感 (Virtual Reality. 以後 VR と略記) を利用した訓練が期待されている。VR 訓練では、映像や音で火災や爆発といった事故を擬似的に再現できるので、作業員に危機感を持たせた訓練を行える利点がある。

VR 訓練の実現には、訓練に没入できる VR 環境の構築が必要である。そのため、プラントを模した VR 環境の構築<sup>12)~14)</sup>や、触覚や力覚といった没入感を得られる VR 環境の構築<sup>15)~18)</sup>の研究が進められている。しかし、現状の VR プラントの訓練では、操作

2013 年 9 月 1 日 原稿受付, 2014 年 7 月 25 日 受理

† 岡山大学大学院 知能機械システム学講座：〒 700-8530  
岡山市北区津島中 3-1-1

E-mail : minowa-h@okayama-u.ac.jp

†† 広島工業大学 工学部 機械システム工学科：〒 731-5193  
広島市佐伯区三宅 2-1-1

††† (株) 今仙電機製作所：〒 484-8507 愛知県犬山市字柿畑 1

にマウスやキーボードが使われており訓練に適した環境とは言い難い。そのため、実作業に即した操作を体感できるユーザ・インタフェース (User Interface. 以後 UI と略記) の開発が望まれている。

そこで、本研究では PC や Web カメラといった一般的な製品で容易に構築できるバルブの開操作訓練のための VR 環境構築を目指し、バルブ操作 UI の開発に必要な丸ハンドルバルブの角速度測定のための画像認識法を提案する。バルブハンドルの開速度が分かれば、作業員が自身のバルブ開速度を知り、安全な開操作ができていないか、自覚を促すきっかけになると期待する。本手法の特徴は、安価な Web カメラで角速度測定が可能で、ハンドルの大きさやバルブの種類に違いがあっても、丸ハンドルのバルブであれば適用できる汎用性にある。

本論文では、提案する画像認識法と、本手法の測定性能を評価した結果について報告する。

## 2. 研究内容

### 2.1 研究方針

バルブ操作 UI を開発するため、工業プラントにおけるバルブの種類について調べた結果、バルブの種類は操作別に丸ハンドルと、レバーハンドルの 2 種類に大別できる。VR 訓練には両方のバルブの操作 UI が必要であるが、本研究では丸ハンドルのバルブを研究対象とした。

ハンドルの角速度の測定には画像認識技術を用いる事にした。他の測定手段として磁気センサや機械的な測定装置を組み込む手段がある。磁気センサでは、バルブといった金属の磁性体の影響で精度よく測れない可能性がある。エンコーダ、レゾルバといった機械的な計測装置では、精度良く正確に開速度を測定できるだろうが、訓練に応じて種類や大きさの異なるバルブ操作 UI を安価に実現するのは難しい。一方、画像認識であれば、ハンドルの大きさやバルブの種類に違いがあっても、1 つの装置で対応できる利点がある。

丸ハンドルの角速度を測定するためには、ハンドルの回転を画像認識しなければならないが、ハンドルを操作する手でハンドルは隠れてしまい、ハンドルから角速度を測定するのは難しい。そこで本研究では、ハンドルを回す手の甲の映像からバルブの角速度を測定する事にする。

### 2.2 カメラとバルブの位置

カメラとバルブの位置と訓練のイメージを Fig.1 に示す。訓練において訓練者は、訓練マニュアルに沿った姿勢で操作ができるようバルブのハンドル正面に立つ。カメラは訓練者の手の回転を正面から撮影しな

ければならないので、訓練者とバルブの間に位置し、バルブを正面から撮影できる位置に固定する必要がある。本手法を VR 訓練に用いる場合には、必要に応じてバルブの実物を用意し VR 環境を構築する。この VR 環境上で、配管、設備といったプラント空間の CG に加え、作業者に事故や異常のシーンに応じた CG を訓練者へ示し、バルブ開操作を含む対応操作の訓練を実施する事を想定している。

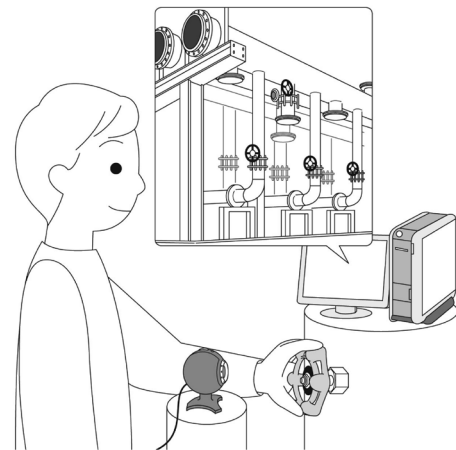


Fig.1 Camera position and direction

### 2.3 角速度の測定方法

手の甲の回転を画像認識するには、主に光学的な自然特徴点を用いるマーカーレス方式、決められた文様パターンを目印として認識するマーカー<sup>19)</sup>方式による方法がある。マーカー方式を用いた認識方法は計測精度が高くなると期待できる利点はあるが、マーカーレス方式であれば、バルブ類の大きさや位置を正確に把握し、バルブの操作量や操作状態を随時モニタリングできるようになる。また、認識したバルブの配置を取り込む事で、訓練 VR 環境上で設備の設計変更や操作をトレーニングできる利点がある。そのため、本手法では自然特徴点を利用した方法を採用する。

自然特徴点は、手の甲上の辺の交差点や輝度の変化から取得でき、主に移動検出や対象物認識に用いられる。バルブを回す手の自然特徴点の軌跡は円弧を描くようになる。手の自然特徴点を取得する事で単位時間あたりの特徴点の移動距離 (円弧の弦の長さ) が分かり、円弧の中心座標も知る事ができれば角速度を求めることができる。角速度測定の論理の説明のため各変数の関係を Fig.2 に示す。ハンドルの中心軸の座標  $p^c = (x^c, y^c)$  と軌跡の両端の座標である始点  $p^s = (x^s, y^s)$  と終点  $p^e = (x^e, y^e)$  の 3 点から逆正接関数により中心角  $\theta$  を求める事ができる。中心角  $\theta$  を求める計算式を式 (1) に示す。

$$\theta = \text{atan} \left( \frac{|y^e - y^c|}{|x^e - x^c|} \right) - \text{atan} \left( \frac{|y^s - y^c|}{|x^s - x^c|} \right) \quad (1)$$

始点 $p^s$ から終点 $p^e$ までの移動にかかる時間を $t$ とすると、角速度 $\omega$ を求める計算式は式(2)となる。

$$\omega = \theta / t \quad (2)$$

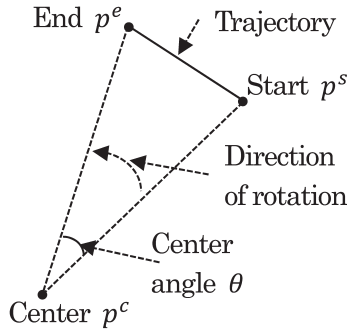


Fig.2 Symbols to measure the rolling

よって、軌跡の始点、終点に加えてハンドルの中心座標 $p^c$ が分かれば角速度 $\omega$ を求めることができる。ハンドルの中心軸の座標は、手の甲の中心座標とした。両座標が一致するとした理由について説明する。人間は軽い力でハンドルを回せるよう、均等に指を掛けてハンドルを持つ。この時、手の甲の中心位置が自然とバルブの回転軸近くへ来る。事前調査で、著者が素手で直径50, 60, 70 mmのハンドルを握った時の手の甲の縦と横の長さ、バルブの回転軸と手の甲の中心との距離を求めた。その結果をTable 1に示す。直径50 mmのハンドルは小さいため、自然体では親指、人差し指、中指で握る形となり、両座標の距離は20 mmも生じたが、それでも、直径50~70 mmのハンドルを持った時、両者の軸の座標の距離は5~20 mmに収まり、近いことがわかった。他の持ち方でハンドルを回す事もできるが、作業マニュアルでは力が入るよう均等にバルブに指をかけてバルブを回す回し方を指導しているため、それ以外の持ち方は本手法の適用対象外とする。

#### 2.4 本手法を適用可能なハンドルの大きさ

バルブの丸ハンドルには、片手に収まる大きさのハ

ンドルもあれば、両手で回さなければならない大きさのハンドルもあり、ハンドルの大きさは様々である。

手の甲を正面から見た時の見え方の違いでハンドルの大きさを分けると4種類に分けられる。①手の平より小さく、バルブのハンドルを握った時に指の第3関節まで見える大きさ、②ハンドルを握った時に指の第2関節まで見える大きさ、③ハンドルを握った時に指の第1関節まで見える大きさ、④丸ハンドルの回転軸を中心として点对称にハンドルの箇所を両手で持って回転させなければならない大きさ、である。①~③に関しては、手の甲とバルブのハンドルの回転軸が一致もしくは近いのでハンドルの回転を認識できる可能性は十分ある。しかし、④に関しては、手の甲とハンドルの回転軸は一致しないため、本手法を適用することはできない。

よって、本研究では、①~③の片手で操作できる大きさの丸ハンドルのバルブを、本手法を適用可能な大きさとする。

#### 2.5 画像認識手順

画像認識手順は、大きく2段階に分けられる。Step 1は手を認識する段階であり、次にStep 2は回転量を測定する段階である。

幅 $w$ 、高さ $h$ の入力画像を $g^{Base}$ とし、その画素値は $g^{Base}(i, j)$  ( $1 \leq i \leq w, 1 \leq j \leq h$ )と表現する。また、一般的なWebカメラにより撮影した $g^{Base}$ はRGB色空間となっている前提で説明する。

##### Step 1 手の認識

###### Step 1.1 ノイズ除去

ノイズ除去には平滑化フィルタや微分フィルタ等があるが、本論文では、フィルタサイズが $3 \times 3$ セルの、画素の変化率を抑えるメディアンフィルタを適用する。

###### Step 1.2 HSV色空間へ変換

色を手がかりに、手の位置を特定するためRGB色空間をHSV色空間へ変換する。RGB色空間は、赤と緑と青の3色を使って他の色を表現するのに対して、HSV色空間は、色相(H)、彩度(S)、明度(V)で他の色を表現する。HSV色空間に変換する事で手袋を着けた手や素手等の特定の色相を持つ領域の検出がしやすくなる。HSV色空間へはA.Smith<sup>20)</sup>らの手法

Table 1 Distance between the centers of the hand and the handle

Diameter of the circle handle (mm)	Longitudinal length of the back of the hand (mm)	Horizontal length of the back of the hand (mm)	Distance between the centers of the hand and the handle (mm)
50	105	90	20
60	105	90	10
70	110	100	5

に基づいて変換する。  $g^{Base}$  を HSV 空間に変換した画像を  $g^{HSV}$  とする。

Step 1.3 2 値化

2 値化とは、閾値に応じて画像の画素値を変換する処理である。色空間を持つ画像の処理負担は大きい。そこで負担を減らすべく閾値に応じて画像を白と黒へ 2 値化して処理する。この時、手だけが残るように閾値を設定できれば、手以外の物体を画像から消せるので、以後の処理負担や誤判定を減らすことができる。本手法では手と認識した箇所画素を最大画素値 255 (白) とし、手以外の背景や物体の画素を最小画素値 0 (黒) にした。

本段階では、式 (3) に従い  $g^{HSV}$  の画像を閾値で 2 値化した画像  $g^{Bin}$  を求める。式 (3) 中の色相、彩度、明度の閾値の下限値を  $TH^L, TS^L, TV^L$ , 上限値を  $TH^H, TS^H, TV^H$  とする。  $H, S, V$  は、  $g^{HSV}(i, j)$  の色相、彩度、明度とする。

$$g^{Bin}(i, j) = \begin{cases} 255, & (TH^L < H < TH^H) \wedge (TS^L < S < TS^H) \wedge (TV^L < V < TV^H) \\ 0, & (H < TH^L \vee TH^H < H) \vee (S < TS^L \vee TS^H < S) \vee (V < TV^L \vee TV^H < V) \end{cases} \quad (3)$$

Step 1.4 距離画像の算出

2 値化によって  $g^{Bin}$  に手だけしか映らなければ良いが、ノイズや外乱、他の対象物等が  $g^{Bin}$  に入る。  $g^{Bin}$  から手を特定するため、カメラの配置から画像  $g^{Bin}$  に手が大きく映る事を利用する。

領域の大きさを得るためには、距離変換を用いる。距離変換は、輪郭線上のすべての点からマスク画像を用いて距離を求め、求めた距離の大きさを画素値の大きさを示す手法である。距離変換した画像を距離画像と呼び、距離画像の例を Fig.3 に示す。また、対象物の領域を弁別する境界線として、対象物を囲う黒と白の画素が隣接する画素の集まりを輪郭線とする。 Fig.3 では、長方形の外周の輪郭線から中心へ行く程、輪郭線から遠いため画素値が大きく白くなる。任意の点  $(p, q)$  から任意の点  $(m, n)$  への距離を表す画素値  $D(p, q)$  は式 (4) の通り求められる。 Fig.3 の最大画素値の座標は、距離画像上に破線円で示した対象物の中心座標  $(x/2, y/2)$  であり、この時の最大画素値  $v^{Max}$  は式 (5) の通りとなる。距離画像の画素値は輪郭線から中心へ近づく程大きくなる。そのため、最大画素値  $v^{Max}$  を含む領域が最も大きい領域となる。

本研究では G.Borgefors<sup>21)</sup> の手法に基づき、  $3 \times 3$  セルのマスク画像を用いてラスタ走査、逆ラスタ走査し距離画像を求める。そのマスク画像のセル  $C(a, b)$

の値は、式 (6) の通りである。画像  $g^{Bin}$  の距離画像を  $g^{Dist}$  とする。

$$D(p, q) = \min_{\substack{g^{Bin}(m,n)=0 \\ 1 \leq m \leq W \\ 1 \leq n \leq H}} \frac{(p-m)^2 + (q-n)^2}{2} \quad (4)$$

$$v^{Max} = \max_{\substack{1 \leq p \leq W \\ 1 \leq q \leq H}} D(p, q) \quad (5)$$

$$C(a, b) = \frac{a^2 + b^2}{2} \quad (6)$$

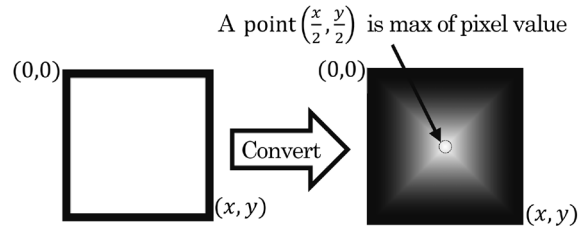


Fig.3 Example of a distance image

Step 1.5 輪郭線群の抽出

手の甲を見つけ出すため、物体の輪郭線を抽出する。輪郭線の抽出には 8 近傍法<sup>22)</sup> を用い一番外側の輪郭のみを抽出する。画像  $g^{Bin}$  より求めた輪郭線群を  $Cont$  とする。

Step 1.6 手の輪郭線の特定

輪郭線群  $Cont$  の中から手の輪郭線を特定する。カメラ配置及び 2 値化により、画像に映る一番大きな対象物は手となるため、 Step 1.4 で求めた距離変換画像  $g^{Dist}$  の最大画素値  $v^{Max}$  を持つ画素  $v^{Max}(i, j)$  を内包する輪郭線で囲まれた領域を手の領域とする。  $v^{Max}(i, j)$  を内包する輪郭線の特定は Eric Haines らの手法<sup>23)</sup> を用い、  $v^{Max}(i, j)$  を通る線分と輪郭線が成す領域との交わり方から見つけ出すことができる。説明のため、手の輪郭線を  $Cont^{Hand}$  とする。

Step 2 手の角速度認識

Step 2.1 手の中心座標の算出

角速度算出のために手の甲の中心座標を求める。  $Cont^{Hand}$  を内包する外接矩形領域の左上端座標を  $(left, top)$ , 右下端座標を  $(right, bottom)$  とする。中心座標  $p^c(x^c, y^c)$  を式 (7) の通り求める。

$$p^c(x^c, y^c) = \left( \frac{left + right}{2}, \frac{top + bottom}{2} \right) \quad (7)$$

Step 2.2 角速度の算出

Lucas Kanade 法<sup>24)</sup> により手の甲上の自然特徴点群  $NP^s(x_k^s, y_k^s) (1 \leq k \leq n^{NP})$  と、手を回転させて  $NP^s$  が

移動した時間  $t$  後の自然特徴点群  $NP^e(x_k^e, y_k^e)$  から軌跡を求める。次に式 (8) より、各 2 点間の角速度群  $\omega_k$  を求める。式 (9) より、平均角速度  $\omega^{Ave}$  を求める。Lucas Kanade 法の誤りを取り除くため、式 (10) の通り、 $\omega^{Ave}$  が正規分布に従う性質を利用して、 $\omega^{Ave} - \sigma \sim \omega^{Ave} + 2\sigma$  の範囲に収まる  $\omega_k$  を要素に持つ  $\omega^{Ex}$  を求める。 $\omega^{Ex}$  の要素数は  $n^{Ex}$  個とする。式 (11) より、角速度  $\omega^F$  を求める。

$$\omega_k = \frac{\text{atan} \left( \frac{|y_k^e - y^c|}{|x_k^e - x^c|} \right) - \text{atan} \left( \frac{|y_k^s - y^c|}{|x_k^s - x^c|} \right)}{t} \quad (8)$$

$$\omega^{Ave} = \frac{\sum_{k=1}^{n^{NP}} \omega_k}{n^{NP}} \quad (9)$$

$$\omega^{Ex} = \{ \omega_l (1 \leq l \leq n^{Ex}) \mid \omega^{Ave} - \sigma \leq \omega_l \leq \omega^{Ave} + 2\sigma (1 \leq k \leq n^{NP}) \} \quad (10)$$

$$\omega^F = \frac{\sum_{l=1}^{n^{Ex}} \omega_l^{Ex}}{n^{Ex}} \quad (11)$$

### 3. 評価実験

#### 3.1 目的

実バルブを回転させた時の角速度を本手法で求めた角速度と比較し、本手法の正確性について検証する。

本手法は画像認識手法であるため背景のテクスチャや照明の輝度、性質によって性能が異なってしまう。その度に閾値の調整が必要であるため、本評価実験では、外乱の影響がない時の本手法の性能について評価する。

#### 3.2 実装

本手法は DirectShow, OpenCV1.1 を使って C 言語で実装した。実験に用いたカメラは最大フレームレート 30 fps で有効画素数 500 万画素の Microsoft 社製 LifeCam Cinema を用いた。

評価に用いた PC は、CPU は Intel® Core™ i7-

2640M の 2.80 GHz, OS は Windows7 であった。マルチスレッドに対応した実装はしていない。

#### 3.3 実験環境

ノイズの影響が無い状態で測定するため、背景は白い壁で評価した。バルブは、直径が 50, 60, 70 mm の KITZ 社製 100 型青銅製グローブバルブ A シリーズを使用した。カメラとバルブの配置を Fig.4 に示す。カメラの配置は Fig.1 の通りで、バルブとカメラの距離は 250 mm とした。また、外乱要因を取り除くため、バルブ周辺を白紙で覆った。カメラから見たバルブを Fig.5 に示す。

#### 3.4 実験手順

バルブを手動で回した時の角速度と、それを本手法で測定した結果を比較する。測定対象は、ハンドルを握る手の中指が真上に向く位置から時計回りに 90 度回転するのに 1, 2, 4 秒間かかる 90, 45, 22.5 deg/s で手動で回転させたハンドル直径が 50, 60, 70 mm のハンドルである。

手順の適用にあたり、カメラから取得した画像  $g^{Base}$  を Fig.6 に示す。Step 1.1 に従いメディアンフィルタを適用する。Step 1.2 に従い画像  $g^{Base}$  から画像  $g^{HSV}$  を得る。Step 1.3 の 2 値化には、式 (3) の閾値を  $TH^L = 0$ ,  $TH^H = 16$ ,  $TS^L = 51$ ,  $TS^H = 171$ ,  $TV^L = 0$ ,  $TV^H = 255$  に設定し  $g^{HSV}$  から 2 値化した画像  $g^{Bin}$  を求めた。2 値化した画像  $g^{Bin}$  を Fig.7 に示す。Step 1.4 に従い、算出した距離画像  $g^{Dist}$  を Fig.8 に示す。Step 1.5 に従い、求めた輪郭線群  $Cont$  を Fig.9 に示す。Step 1.6 に従い、抽出した手の領域  $Cont^{Hand}$  を Fig.10 に示す。取得した 500 の特徴点から、式 (8) ~ (10) を用い、 $Cont^{Hand}$  の中にあり、誤りを除いた平均約 100 個の  $n^{Ex}$  点から角速度  $\omega^F$  を求めた。自然特徴点を得た時の画像を Fig.11 に示す。本環境での画像の取得速度はカメラの取得限界に近い約 30 fps であった。

#### 3.5 結果・考察

各項目毎の測定速度の平均や標準偏差を調べるた



Fig.4 Layout of the camera and the valve

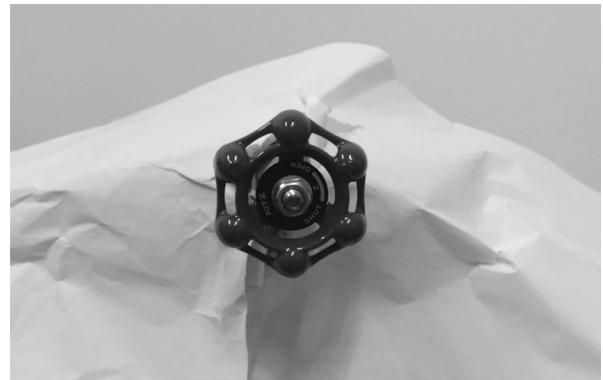


Fig.5 View of the valve from the camera



Fig.6 Raw camera image

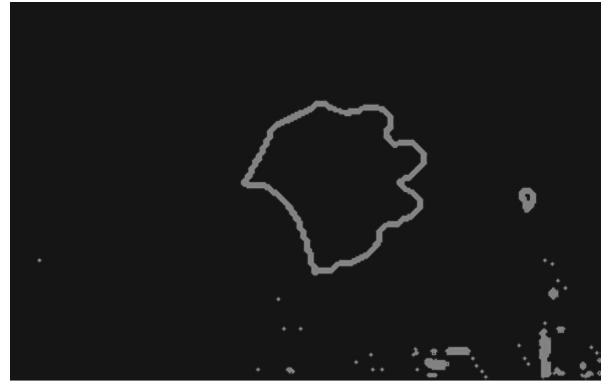


Fig.9 Contour plots image



Fig.7 Binarization image

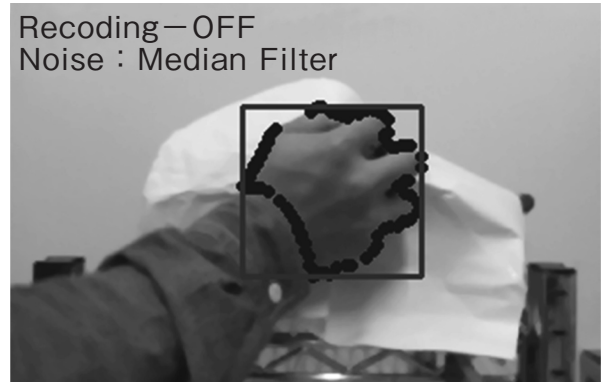


Fig.10 Region recognized the back of hand



Fig.8 Distance image

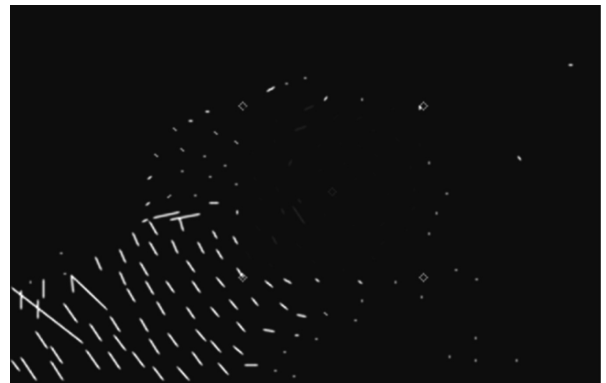


Fig.11 Optical flow on the back of hand

め、各項目の5回測定した速度データから、ハンドル操作の開始と終了といった速度変化がある両端60% (片側30%) を除外した速度データから求めた箱ひげ図を Fig.12 に示す。Fig.12 の縦軸は計測した角速度、横軸は速度とハンドル径毎の測定項目を示している。グラフの各測定項目の下からの水平線は、測定した速度値を昇順に並べた時の最小値、25%、50%、75%、最大値、"+" は外れ値を示す。ただし、"\*" は波形の両端を除外しなかった時の平均値を示す。25~75% の範囲から、速度に比例して標準偏差が大きくなる事を見て取れた。この要因は、測定中に速度が急激に落ちる箇所があった事や、Webカメラが30fpsまでしか取得できないため、手の動きに画像取得速度が追いつ

いていなかった事が要因に挙げられる。技術の進歩と共に普及してくるだろう60fps以上で画像を取得できるカメラを用いれば、画像取得の遅延、コマ落ちの問題等は解決できるので、本手法の精度は安定し性能の向上が期待できる。

先述した、5回測定し両端60%を除外した平均速度データに対して、有意水準1%で分散分析した結果を Table 2 へ示す。Table 2 の Velocities の行は、速度の主効果を調べている。帰無仮説が棄却できる確率であるP値は、 $1.2 \times 10^{-39} \ll 0.01$  となり、速度差には強い有意差を確認できた。また、Table 2 の Diameters の行は、ハンドル径の主効果を調べている。P値は、 $4 \times 10^{-3} < 0.01$  となり、ハンドル径の違いに

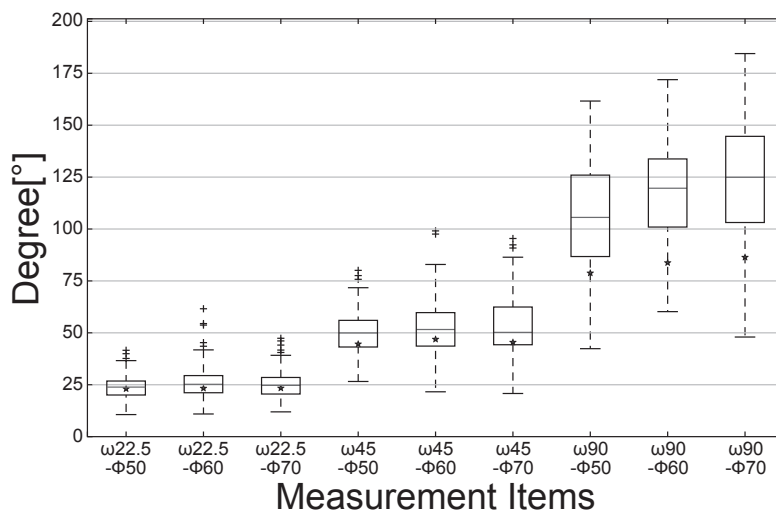


Fig.12 Boxplot showing the measured valve opening velocity

Table 2 Variance analysis by Excel 2010

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	Variance Ratio	P-value	Critical F value
Diameters	169	2	84.5	6.3	$4 \times 10^{-3}$	5.25
Velocities	$694 \times 10^2$	2	$35 \times 10^3$	$26 \times 10^2$	$1.2 \times 10^{-39}$	5.25
Interaction	112	4	28.0	2.10	0.1	3.89
Within	480	36	13.3			
Total	$702 \times 10^2$	44				

有意差はある，となったが，その比は小さく，影響は弱い事が分かった．交互作用は，速度とハンドル径の各主効果の組み合わせ方で，効果の違いが現れるか否かを示す指標である．交互作用のP値は $0.1 > 0.01$ のため有意差はない．つまり，誤差は速度とハンドル径の組み合わせ方に依存せず，上記で述べた通り，ハンドル径の影響は小さく，速度差に比例する事がわかった．

22.5 ~ 90 deg/s のハンドル回転の測定結果から，-11 ~ 6 度の誤差を生じる事がわかった．最も大きい誤差 -11 度は 90 度を 1 秒で回そうとした時に 11 度の角度不足に相当し，時間にしては 0.11 秒と小さい誤差である．バルブのハンドルは厳密に回さない現状から，-11 ~ 6 度の誤差は，訓練者が知覚するには小さい誤差であるため，訓練における影響は小さいと予想される．

以上から，22.5 ~ 90 deg/s のバルブのハンドル開操作の速度を画像認識できている事を確認した．これにより，土屋ら<sup>8)</sup>の論文には，評価用ガasketの開口量と内圧の変化データが記されていないため厳密に比較できないが，10 ~ 0.3 秒で開けた時の発火頻度が 45 ~ 90 % と高い頻度で事故へ至る Nylon66 といった物質が充填されたタンクのバルブ開操作の危険を訓練できる VR 訓練システムのバルブ開操作 UI に本手

法を適用可能であることを確認した．

#### 4. 結 言

PC と Web カメラで容易に構築できるバルブの開操作訓練の VR 環境構築のため，バルブ操作 UI 開発に必要な丸ハンドルバルブの角速度測定のための画像認識法を提案した．本手法では，バルブのハンドルを回す手の回転とハンドルの回転がほぼ一致する事に注目して，ハンドルの角速度を測定した．

評価結果より，本手法は 22.5 ~ 90 deg/s までの速度違いを認識できることから Nylon66 といった発火性が高い物質が充填されたタンクのバルブ操作訓練のための VR システムのバルブ操作 UI に本角速度測定手法を適用可能であることを確認した．

#### 参 考 文 献

- 1) 平成 21 年版 消防白書，<http://www.fdma.go.jp/html/hakusho/h21/h21/html/k1311000.html>
- 2) 高圧ガス関係事故集計，[http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/jiko2506.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/jiko2506.pdf)
- 3) 10. 災害事例（異常現象），<http://www.pecj.or.jp/japanese/safer/operation/doc/no-322.doc>
- 4) 価値あるサービスエンジニア ガス溶接・溶断編，<http://www.kinreiko-marutoku.com/safety/images/04.pdf>

- 5) 平成 22 年に発生した高圧ガス保安法事故一覧表 (1) 災害事故: 製造事業所の事故, [http://www.khk.or.jp/activities/incident\\_investigation/hpg\\_incident/pdf/H22jikoitiranr1.pdf](http://www.khk.or.jp/activities/incident_investigation/hpg_incident/pdf/H22jikoitiranr1.pdf).
- 6) 高圧ガス事故事例情報シート - 液化炭酸ガス廃棄時のガス噴出, <http://www.pref.kanagawa.jp/uploaded/attachment/422110.pdf>.
- 7) プラントからの緊急脱圧によるフレアラインの脱落, <http://www.pecj.or.jp>.
- 8) 土屋茂, 高圧酸素供給における安全技術の確立 - 有機系ガスケットの発火特性把握 -, 大陽日酸技報, 26, pp. 12-17, (2007)
- 9) 折田隆, 羽坂智 他, 断熱圧縮熱抑制技術の開発, 大陽日酸技報, 25, pp. 34-35, (2006)
- 10) Mockups/Simulated Environments, <http://www.rovtech.com/Exclusive/Index.html#Mockups>
- 11) Keisuke Tsuruga, Effective Use of Plant Simulators and Mock-up Facilities for Cultivation and Training of Younger Regulators, INIS, IAEA-CN-181/28, 42-2, pp.1-4 (2010)
- 12) C. Jorge and A. Mól, Nuclear plants and emergency virtual simulations based on a low-cost engine reuse, Nuclear Power. InTech. , pp. 367-389 (2010)
- 13) M. Cha, S. Han et al., A virtual reality based fire training simulator integrated with fire dynamics data, Fire Safety Journal, 50, pp. 12-24 (2012)
- 14) J. R. Wilson, M. D'Cruz, Virtual and interactive environments for work of the future, International Journal of Human-Computer Studies, 64-3, pp. 158-169 (2006)
- 15) W. C. Brunner, J. R. Korndorffer et al., Laparoscopic virtual reality training: are 30 repetitions enough?, The Journal of surgical research, 122-2, pp. 150-6 (2004)
- 16) 箕輪弘嗣, 中尾恵, 湊小太郎, 弾性体の三次元操作における力覚情報の追体験方法に関する研究, 日本 VR 医学会誌, 5-1, pp. 17-23 (2007)
- 17) Keiichi Watanuki, Virtual Training/On-the-Job Training Based Skill Transfer and Human Resource Development, The Japan Society for Precision Engineering (In Japanese) , 76-4, pp. 382-389 (2010)
- 18) 山本倫也, 岩田大司, 長松隆 他, 大規模プラント保守訓練のための分散仮想環境のシミュレーション手法, 日本バーチャルリアリティ学会, 5-4, pp. 1-10 (2000)
- 19) 加藤博一, M. Billingham et al., マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション (<特集> 複合現実感), 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 4-4, pp. 607-616 (1999)
- 20) A. Smith, Color gamut transform pairs, ACM Siggraph Comput. Graph, 12-3, pp. 12-19 (1978)
- 21) G.Borgefors, Distance transformations in digital images, Computer Vision, Graphics and Image Processing, pp.344-371 (1986)
- 22) 村上伸一, 画像処理工学, p.33-35, 東京電機大学出版 (2009)
- 23) E. Haines, Point in polygon strategies, Graphics gems IV, Academic Press Professional, Inc., pp. 1-7 (1994)
- 24) B. D. Lucas and T. Kanade, An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision, International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2, pp. 674-679 (1981)

## Image Recognition Method to Measure Angular Velocity from Movement of a Back of Hand for Safety Education

by Hirotsugu Minowa <sup>†</sup>, Yoshiomi Munesawa <sup>††</sup> and Kohei Hashimoto <sup>†††</sup>

The realization of training of virtual reality is expected to prevent the accidents caused by human factor. The benefits of training in virtual environment is a realization of training in a simulated real environment. However, there is a problem that a trainee cannot train in the simulated real environment because there is no user interface (UI) to transmit the valve operations which is basic manipulation in the industrial plant to the training system.

In this study, we propose an image recognition method for developing a valve manipulation UI which aims to realize the training of valve opening manipulation in virtual environment. The method to measure the angular velocity of the circular handle of a valve utilizes the optical natural feature points obtained from the hand turning the handle. The advantage of our valve manipulation UI is that the UI can construct easily by popular products such as PC, web camera.

Our method was revealed to be able to be applied to the UI of training system for worker to train valve operating manipulation which assumed fire risk because it can measure the velocity of 22.5 ~ 90 deg/s.

**Key words** : Image Recognition, Virtual Reality, User Interface, Valve, Plant Safety

- |     |  |
|-----|--|
| †   | Okayama University Graduate School of Natural Science and Technology, Department of Intelligent Mechanical Systems : 3-3-1, Tsushima Naka, Kita-ku Okayama-shi, Okayama, 700-8530, Japan |
| ††  | Hiroshima Institute of Technology, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Systems Engineering : 2-1-1, Miyake, Saeki-ku Hiroshima-shi, Hiroshima, 731-5193, Japan              |
| ††† | Imasen Electric Industrial Co.,Ltd., Production engineering dept. : 1, Kakibata, Inuyama-shi, Aichi, 484-8507, Japan   |