

# 仮想彫刻システムのための空間位置センサーの試作

徳永 修一\*      白田 智大\*\*

Development of a Spatial Position Sensor for Virtual Sculpture System

Shuichi Tokunaga\* and Tomohiro Shirata\*\*

## Synopsis

Traditional craft goods industry has the longest history in Japan. The traditional craft goods are related to the development of the life culture of Japan as general merchandise over many years. It is important for defending a cultural property of Japan to succeed to the traditional craft goods industry to the future life. However, the number of successors decreases decreasing in the amount of the work in the traditional craft that has been esteemed for a long time. Moreover, passing on the skill of the traditional craft to future generations as the expert ages will become difficult more and more in the future.

In this paper, a spatial positional sensor that measures the movement of the graver is developed and evaluated for the virtual sculpture system that supports the legend of the sculpture technology of Sanukibori that is one of the traditional crafts.

## 1. 緒言

伝統的工芸品産業は、日本において最も長い歴史のある産業であり、伝統的工芸品は生活用品として長年にわたって日本の生活文化の発展に関わってきている。その中でも漆器は、英語で『ジャパン』とも呼ばれ、日本が世界に誇る、優れた工芸品である。今後、伝統的工芸品産業を末代まで大切に継承していくことが日本の貴重な文化的財産を守る上で重要である[1]。しかし、古くから尊重され、受け継がれてきた伝統的工芸は、近年、製造品出荷額等と従業者数の推移（図1）からその仕事の量の減少にともない従業者（後継者）の数が減少している[2]。技能の伝承を円滑に行う為には、彫刻刀など、道具の使い方の指導や数多くの訓練、練習の積み重ねが必要である。また、熟練者の高齢化に伴い、その技能を後世に伝えることが今後ますます難しくなっている。熟練者が経験より得た道具の扱い

方は力の入れ方など言葉や見ただけでは説明することが難しい。そこで、伝統工芸品の制作過程をデジタル化[3]することで伝統技術を保存することや後継者への技能伝承の支援を行うことが重要である。本研究では、伝統工芸の1つである讃岐彫り[4]の彫刻技術の伝承を円滑に行う一つの方法として、図2に示すような技能者の道具（彫刻刀）の使い方の教示や彫刻刀の練習を行うことができる仮想彫刻システムを考える。本システムは、技能者が経験により得た彫刻刀の扱い方等、製作過程をデジタル化した内容をヘッドマウントディスプレイ上に再現するとともに彫刻刀への力の入れ方[5]などを熟練者と比べることで、見聞きするだけでは理解や修得が難しい技能伝承を支援することが目的である。本研究では、仮想彫刻システムに必要な彫刻刀の動きを測定するための空間位置センサーを試作[6]し、その評価を行う。

## 2. 空間位置センサーについて

空間位置センサーは、図3に示すようにフレ

\* 電子制御工学科

\*\* 専攻科情報制御システム工学専攻

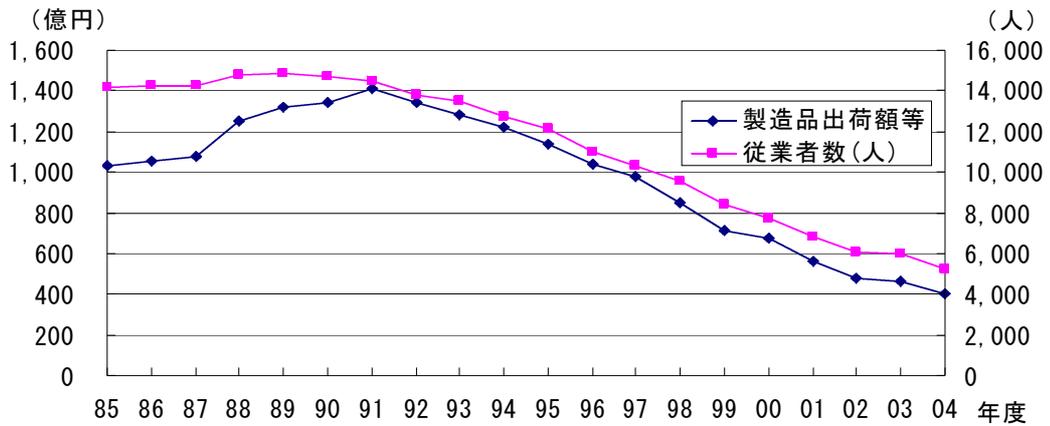


図1 製造品出荷額等と従業者数の推移

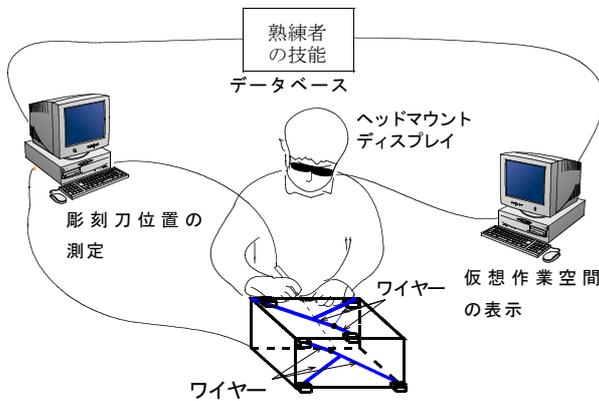


図2 仮想彫刻システム

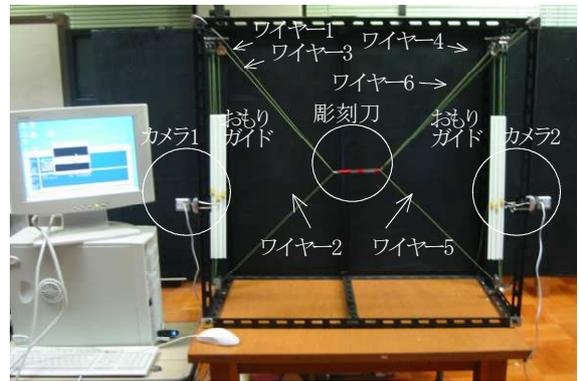


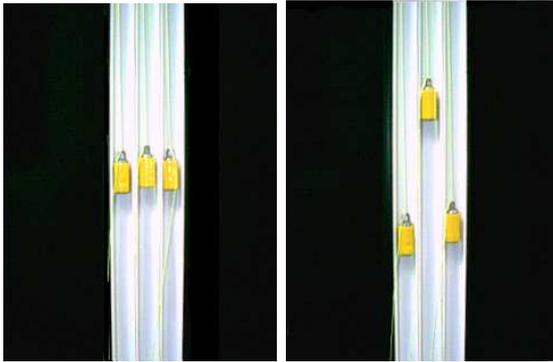
図3 システム構成図

ーム、彫刻刀、ワイヤー、おもり、おもりガイド、2台のカメラで構成される。フレームの大きさは、L型断面(30mm × 30mm)フレームを用い、縦 900mm、横 900mm、奥行き 450mm である。直径 0.27mm のワイヤー 6 本で彫刻刀と黄色に着色した 6 個のおもり (約 11.3 g) を結んでいる。これにより、各ワイヤーに張力を持たせている。ワイヤー 1, 2, 3 は彫刻刀先端と、ワイヤー 4, 5, 6 は彫刻刀後端と結んでいる。ワイヤーの最終端にそれぞれおもり 1 から 6 を取り付けている。このとき、おもり 1, 2, 3 とおもり 4, 5, 6 は、それぞれおもりガイドの中を移動する。ワイヤーの長さはそれぞれ一定であり、彫刻刀を動かすことによりおもりの位置が変化する。おもり 1, 2, 3 の位置はカメラ 1 で、おもり 4, 5, 6 の位置はカメラ 2 で撮影する。おもりの位置の変化を空間位置センサーとして利用する。おもりの位置の測定は動画像処理を用いて行うが、おもりガイドの平面上をおもりが移動する

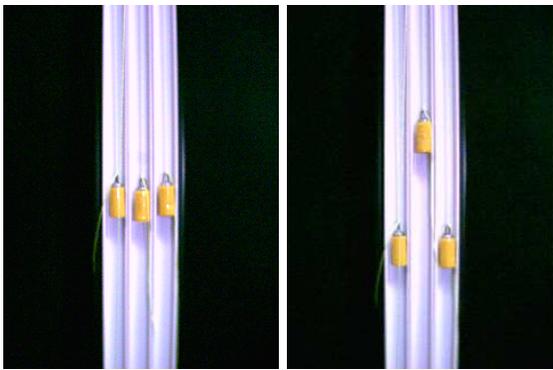
ため、立体的な画像計測に比べ平面上の計測を行うことから精度良くおもりの位置を測定できると考える。カメラ 1, 2 で撮影した動画像から測定したおもりの変位から彫刻刀の 3 次元座標を求める。以下にその手順を示す。

### 2.1 おもりの動画像入力

カメラで撮影した彫刻刀を動かしたときのおもりの動きは画像入力ボード (FLX-PCI, フォトロン) を介して赤、青、緑のそれぞれの成分毎に 8 ビットの解像度のデジタルデータとしてパソコンに 1/30 秒単位の動画像として入力される。図 4, 5 に示すように入力された画像は、横軸方向に 240 画素、縦軸方向に 320 画素、個々の画素値は、0 から 255 のデジタル値で示される。1 画素の大きさは縦横ともに  $p$  とし、カメラからの画像データを  $0 \leq R(i,j,t) \leq 255$ ,  $0 \leq G(i,j,t) \leq 255$ ,  $0 \leq B(i,j,t) \leq 255$ , ( $0 \leq i \leq 239$ ,  $0 \leq j \leq 319$ ,  $t$ : 入力時間) とする。



(a) 基準入力画像 (b) 彫刻刀を動かした画像  
図 4 おもり 1, 2, 3 の入力画像



(a) 基準入力画像 (b) 彫刻刀を動かした画像  
図 5 おもり 4, 5, 6 の入力画像

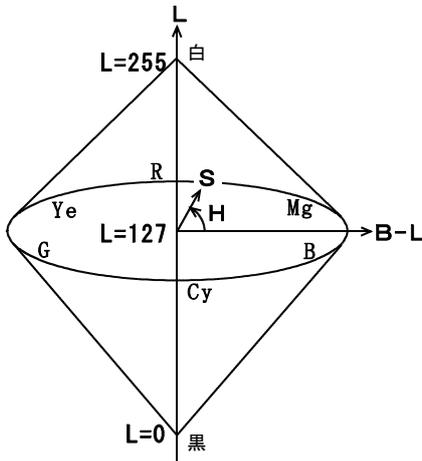


図 6 H L S 色空間

## 2.2 おもりの領域抽出とその重心位置

おもりガイド上を移動するおもりを撮影した画像データからおもりの黄色の領域を抽出する。黄色の領域の抽出は、画像データを RGB 色空間から図 6 に示す H L S 色空間にへの変換 [7] は式 (1), (2), (3) で与えられる。

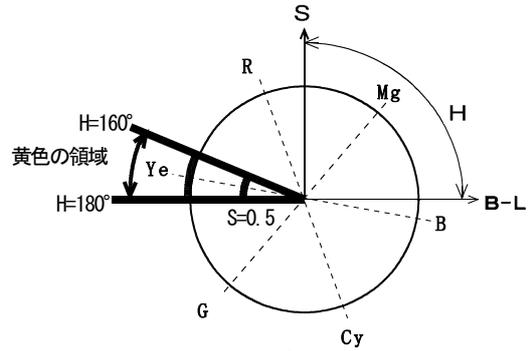


図 7 黄色領域の抽出

$$L(i,j,t) = 0.299 \cdot R(i,j,t) + 0.587 \cdot G(i,j,t) + 0.114 \cdot B(i,j,t) \quad (1)$$

$$H(i,j,t) = \tan^{-1} \frac{R(i,j,t) - L(i,j,t)}{B(i,j,t) - L(i,j,t)} \quad (2)$$

$$S(i,j,t) = \frac{((R(i,j,t) - L(i,j,t))^2 + (B(i,j,t) - L(i,j,t))^2)^{1/2}}{L(i,j,t)} \quad (3)$$

色相 H と彩度 S を用いて図 7 に示すように黄色領域  $E(i,j,t)$  を式 (4) を用いて抽出する。

$$E(i,j,t) = \begin{cases} 1 & | 160^\circ \leq H(i,j,t) \leq 180^\circ \\ & \text{and } S(i,j,t) > 0.5 \\ 0 & | H(i,j,t) < 160^\circ \text{ or } 180^\circ < H(i,j,t) \end{cases} \quad (4)$$

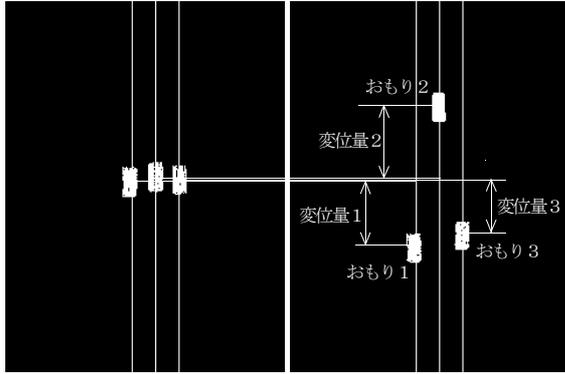
基準画像のおもりの位置におけるワイヤー 1 から 6 の長さを  $BWL_k$ , ( $1 \leq k \leq 6$ ) とするとき、図 8, 9 に示すように時間  $t$  のときの抽出した黄色領域の重心位置の変位量からワイヤー 1 から 6 の長さ  $WL_k(t)$ , ( $1 \leq k \leq 6$ ) を式 (5) により求める。

$$WL_k(t) = BWL_k - \frac{\sum_{i=sx(k)}^{ex(k)} \sum_{j=sy(k)}^{ey(k)} E(i,j,t) \cdot j}{\sum_{i=sx(k)}^{ex(k)} \sum_{j=sy(k)}^{ey(k)} E(i,j,t)} \cdot p, \quad (1 \leq k \leq 6) \quad (5)$$

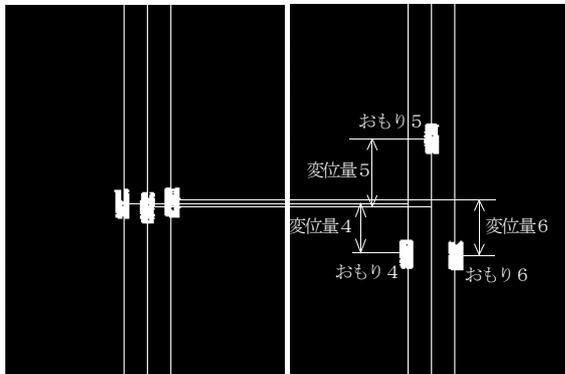
ここで領域  $(sx(k), sy(k))$ ,  $(ex(k), ey(k))$ , ( $1 \leq k \leq 6$ ) はおもりの動く範囲より与える。

## 2.3 彫刻刀の 3 次元座標の計算

彫刻刀の先後端の 3 次元座標は図 10 に示すように A から F の位置からのワイヤーの長さで決定できる。式 (5) により求めたワイヤーの長さより彫刻刀の先端の 3 次元座標  $(tx(t), ty(t), tz(t))$  は式 (6), (7), (8) で与えられ、彫刻刀の後端の 3 次元座標  $(ex(t), ey(t), ez(t))$  は式



(a) 基準入力画像 (b) 彫刻刀を動かした画像  
図 8 おもり 1, 2, 3 の領域抽出結果



(a) 基準入力画像 (b) 彫刻刀を動かした画像  
図 9 おもり 4, 5, 6 の領域抽出結果

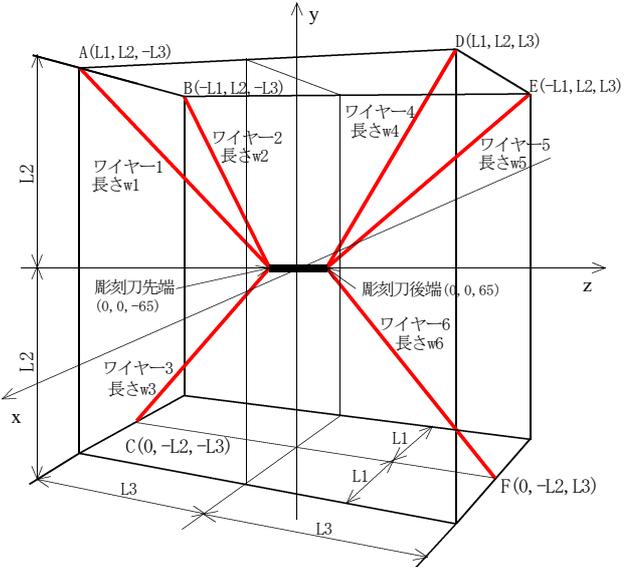


図 10 3次元空間における彫刻刀の座標

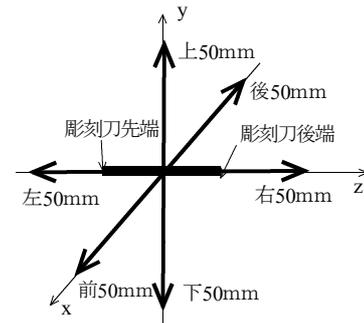


図 11 彫刻刀の移動方向

(9), (10), (11) で与えられる.

$$\begin{cases} tx(t) = (WL2(t)^2 - WL1(t)^2) / 4L1 & (6) \\ ty(t) = (2WL3(t)^2 - WL1(t)^2 - WL2(t)^2 - 2L1^2) / 8L2 & (7) \\ tz(t) = (WL3(t)^2 - tx(t)^2 - (ty(t) + L2)^2)^{1/2} - L2 & (8) \end{cases}$$

$$\begin{cases} ex(t) = (WL5^2 - WL4^2) / 4L1 & (9) \\ ey(t) = (2WL6(t)^2 - WL4(t)^2 - WL5(t)^2 - 2L1^2) / 8L2 & (10) \\ ez(t) = (WL6(t)^2 - ex(t)^2 - (ey(t) + L2)^2)^{1/2} + L2 & (11) \end{cases}$$

### 3. 実験方法

3次元空間における彫刻刀の座標の測定を次の二通りの方法で行う。まず、装置の中心位置に彫刻刀を置いた状態で行う。彫刻刀先端と後端の座標は、それぞれ、(0, 0, -65), (0, 0, 65)とする。図 11 に示すように装置の中心位置から左, 右, 上, 前, 後, 下の順に 6 方向にそれぞれ 50 mm ずつ平行移動する場合について、おもり 1

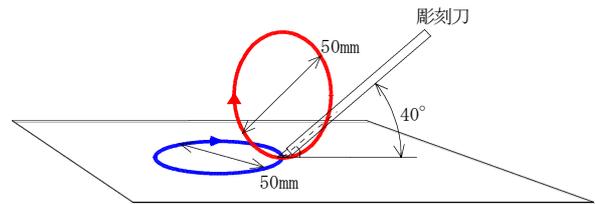


図 12 彫刻刀の回転移動方向

から 6 の位置を動画像処理により 1/30 秒単位で抽出し、おもりの変位からワイヤー 1 から 6 の長さを求め、彫刻刀の先端および後端の 3次元座標を求める。次に、彫刻刀を装置の中心位置に水平方向に対して 40 度の角度で固定し、図 12 に示すように水平方向と垂直方向にそれぞれ直径 50mm の円形に移動させ場合について、おもりの変位から彫刻刀の先端および後端の 3次元座標を求める。

#### 4. 実験結果

装置の中心位置から彫刻刀を前後左右上下の6方向への移動した場合のおもりの変位を求めた結果を図13, 14に示した. おもりの変位

からワイヤーの長さを決定し, 彫刻刀先端と後端の3次元空間座標を計算した結果を図15, 16に示した. これより指定した6方向へ彫刻刀を移動した場合について1/30秒単位で連続的に彫刻刀の前後端の3次元空間座標を求める

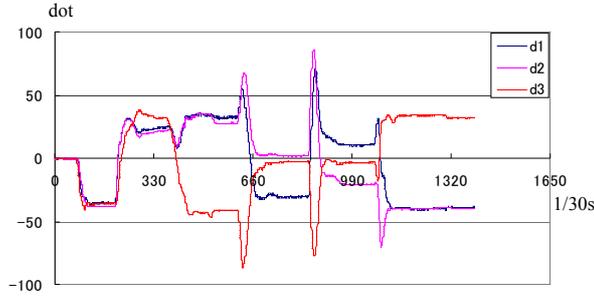


図 1 3 おもり1,2,3の変位の測定結果

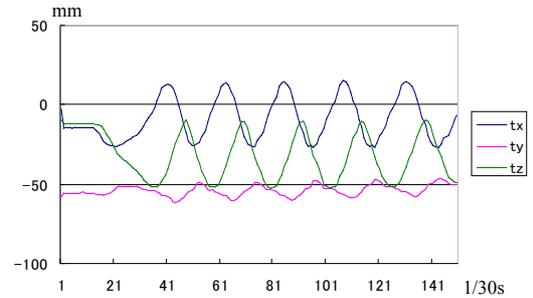


図 1 7 彫刻刀先端座標 (水平)

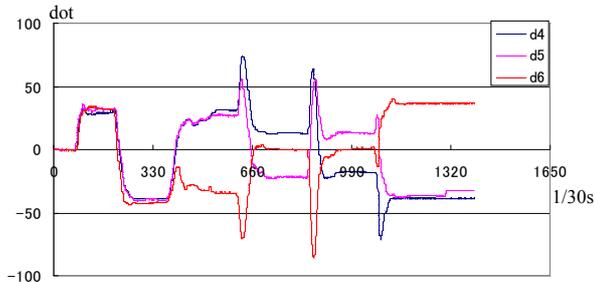


図 1 4 おもり4,5,6の変位の測定結果

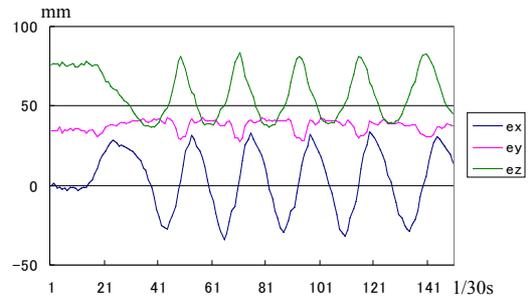


図 1 8 彫刻刀後端座標 (水平)

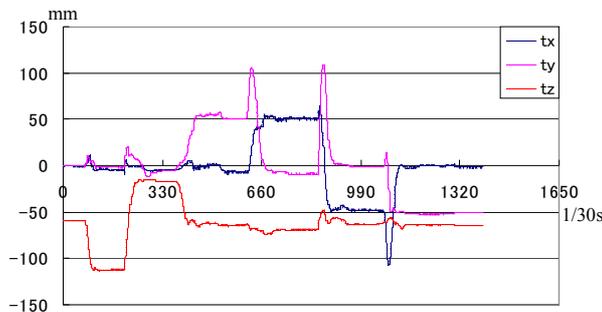


図 1 5 彫刻刀の先端座標の測定結果

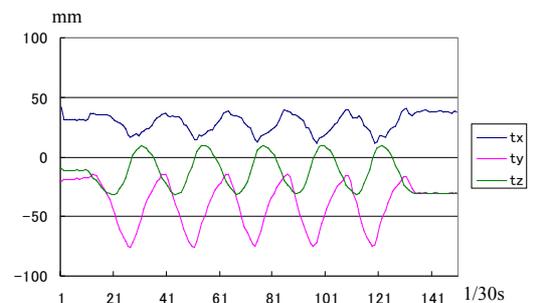


図 1 9 彫刻刀先端座標 (垂直)

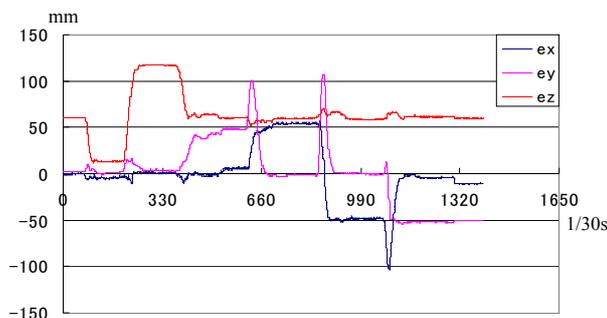


図 1 6 彫刻刀後端の座標の測定結果

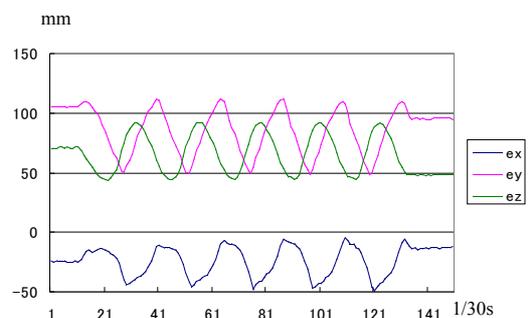


図 2 0 彫刻刀後端座標 (垂直)

ことができた。

水平方向と垂直方向に、それぞれ、彫刻刀を円形に移動させた場合について、彫刻刀先端と後端の3次元空間座標を計算した結果を、それぞれ、図17、18と図19、20に示した。これより、水平方向に移動させた場合の先端の座標の変位は48.6mm、後端の座標の変位は52.1mmで、それぞれ-1.4mm、2.1mmであった。また、垂直方向に移動させた場合の先端の座標の変位は51.6mm、後端の座標の変位は50.3mmと測定でき、それぞれ1.6mm、0.3mmの誤差で測定することができた。

## 5. まとめ

本研究では、彫刻刀の空間位置を測定するためにワイヤーによる空間位置センサーを試作した。本装置を用いて彫刻刀を動かした場合のおもりの位置を動画像処理により抽出し、3次元空間内の彫刻刀の位置を連続的に非接触で求めることができた。

今後の課題は、彫刻刀を介して作業者に力覚提示を行うためにワイヤーをつまむことや引張ることができる機構と仮想作業空間の表示を行う機能の追加により、仮想彫刻システムを開発して技能の伝承に利用することである。

## 参考文献

- [1] 経済産業省伝統的工芸品産業審議会, 21世紀の伝統的工芸品産業施策のあり方について－新たな生活文化の創造に向けて－, p.5, 2000
- [2] 経済産業省工業統計調査, 工業統計ライブラリ従業員4人以上の事業所, 産業コード3461, 漆器製造業, 従業者数
- [3] 藤本英雄, デジタル化による動きを伴う伝統技能の保存、伝承, 文化資源の保存、活用及び創造を支える科学技術の振興－科学技術・学術審議会資源調査分科会報告書, pp.54-69, 2006
- [4] 住谷晃一郎, 讃岐漆芸-工芸王国の系譜, エーアンドエー・コミュニケーションズ, pp.100-101, 2005
- [5] Shuichi Tokunaga, Yoshiomi Munesawa and Hirokazu Osaki, A Study on Handling of Graver in Sanukibori, Proceedings of the Eighth International Conference on Industrial Management,

pp.326-331, 2006

[6] 白田智大, 徳永修一, 仮想彫刻システムのためのワイヤーによる空間位置センサーの試作, 電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, p.54, 2006

[7] 酒井幸市, デジタル画像処理入門, CQ出版社, pp.103-105, 2002