

仮想彫刻システムのための彫刻材料の 位置測定法に関する研究

徳永 修一* 中谷 彰吾** 白田 智大***

A Method to Measure Position of sculpture Material for Virtual Sculpture System

Shuichi Tokunaga* Shougo Nakatani** and Tomohiro Shirata***

Synopsis

Many people who were born in the first baby boom period in Japan are facing the mandatory retirement. It is called Year 2007 problem because there are a lot of retirees from enterprises in 2007. Making retirees' skills a manual is difficult. It is very important to hand down the skills and know-how from the retirees to the next generation.

The purpose of this paper is to describe a research on the continuation of sculpture skills using a virtual workspace as an example of the traditional sculpture. We propose a method to measure position of the sculpture material during sculpture work by image processing technique for Virtual Sculpture System. This system can display the material of the sculpture in the virtual work space based on the measurement result at the position of the material.

1. 緒言

第一次ベビーブームで生まれた世代の多くが一斉に定年退職を迎え、企業からの退職者が最も多く発生することから、この事態は2007年問題¹⁾と呼ばれている。特に製造業はマニュアル化しづらい職人的作業のような現場固有の技能が存在するため、ベテラン社員から若手社員への技能やノウハウの継承が難しいものとなっており、技能やノウハウの継承を迅速かつ円滑に行っていくことが課題となっている。そこで、さまざまな産業における技能の継承を工学的立場から支援することを目標として、技能のデジタル化およびコンピュータによるバーチャリアリティ、つまり人間の感覚を擬似的に

作り出すことによって、技能者の作業工程の再現や本来はやり直すことができない作業の訓練を繰り返すことができるシステムを開発していくことが急務であると考えられる。

本研究では、技能者の高度な技能と知識の継承を支援するために、手に持った工具(道具)を用いた技能の継承について、具体的な作業対象として香川県の伝統工芸である讃岐彫り²⁾工程を取り上げ、仮想現実感を取り入れた彫刻システムの開発を進めている。これまでの仮想の彫刻システムに関する研究としては、簡易的な入力装置を用いたデザインや彫刻作業の簡略化等を目的とした研究^{3),4)}が主に行われており、技能の継承を目的とした研究が今後重要となると考える。これまでに彫刻作業中の彫刻刀についてその位置や把持力の測定手法^{5),6)}を提案したが、本稿では画像処理技術を用いて彫刻作業中の材料の位置を測定する手法を提案する。

* 電子制御工学科

** 専攻科情報制御システム工学専攻

*** 株式会社アジル・ラボ

2. 仮想彫刻システムについて

本研究で目標としている仮想彫刻システムは彫刻作業において彫刻刀の使い方（力の入れ方や持ち方）のような見聞きしただけでは理解や習得が難しい技能の継承を支援することを目標にしている。そのためには技能者が経験によって得た彫刻刀や動かし方や材料の位置や方向を再現できる必要があると考える。本システムは図1に示すように、仮想の作業環境を表示する表示部、彫刻刀の位置、把持力および頭部の位置を測定する測定部、彫刻作業で受ける力覚を提示する力覚部、そして彫刻刀の動かし方の再現や把持力に関する技能データベースを用いた支援部の4つの部分で構成している。

表示部は、測定部から彫刻刀の変位、把持力、彫刻材料および頭部の位置情報を受け取り、仮想空間内の彫刻刀の位置、把持力、彫刻材料の位置が変化していく様子をディスプレイに表示する。支援部は彫刻刀の動きと彫刻材料の位置を彫刻技能データベースに登録した技能者の作業情報と比較し、技能者との違いを継承者に示すことで技能継承の支援を行うことを想定している。そのため、本システムを実現するには以下に示す7つの機能を実現する必要があると考える。

(1) 仮想作業空間の表示機能

仮想作業空間の表示機能は仮想の作業空間内において仮想の彫刻刀と材料を表示でき、彫刻

作業を任意の角度から見せることができる機能である。また彫刻作業における各種の情報、すなわち彫り方や彫刻刀の把持力などを表示する。作業者はこの仮想作業空間内に入り、仮想の彫刻刀と材料を使って彫刻技能の習得を行う。

(2) 頭部の位置の測定機能

頭部の位置測定機能は頭部の位置の変化を測定する機能で、その変化に従って仮想作業空間の表示を行うために必要である。

(3) 彫刻刀の位置の測定機能

彫刻刀位置の測定機能は彫刻刀の動き方を測定する機能で、作業者が彫刻している状態で彫刻刀の3次元座標を計算する。求めた3次元座標より表示機能を用いて仮想作業空間内に彫刻刀を表示する。

(4) 彫刻刀の把持力の測定機能

把持力の測定機能は彫刻刀を持つ手と彫刻刀の接触する部分に圧力センサを取り付け彫刻時の力の入れ方を測定する機能である。これより見ただけではわからない技能者の把持力を測定し、表示機能を用いて力の入れ方を表示する。

(5) 彫刻刀使用感覚（力覚フィードバック）の提示機能
力覚フィードバック機能は実際の材料を彫っている場合に相当する感覚を作業者に提示するための機能で、仮想空間内の彫刻刀の先端が仮想の材料に接触していると判断された時、彫刻刀の動きに制限を加えることで彫刻刀を使用している場合と同様な感覚の提示を行う。

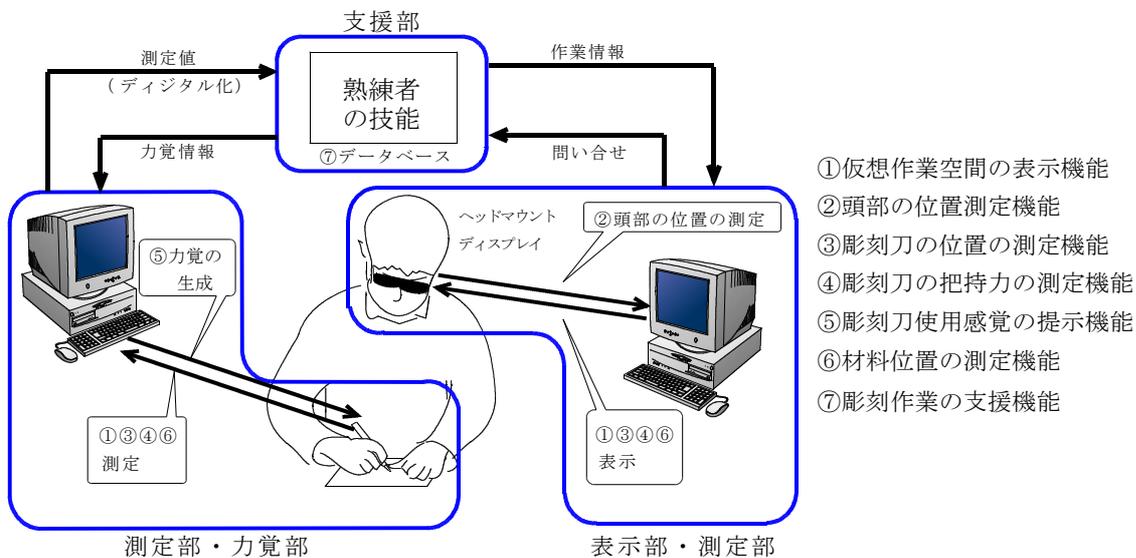


図1 仮想彫刻システム

(6) 彫刻材料の位置の測定機能

彫刻材料の位置の測定機能は仮想空間内に仮想の材料を表示するために材料の位置を測定する機能で、通常の線の下側を彫った後に材料の上下を回転させて、線の上側を彫ることによって断面を V 字型に彫刻する場合や任意の方向に彫刻する場合に材料の位置を測定する。

(7) 彫刻作業の支援機能

技能者の彫刻作業を空間位置センサおよび圧力センサにより測定したデジタル情報を彫刻作業のデータベースに登録する。作業者の必要に応じて作業の再現や作業情報の表示を行うことで技能習得の支援を行う。

本稿では、(1)仮想作業空間の表示機能および(6)彫刻材料の位置の測定機能について述べる。

3. 仮想作業空間の表示機能

仮想作業空間は仮想の作業台や彫刻刀、材料などの品物を 3D コンピュータグラフィックスによって描画することで仮想空間内での作業の様子を作業者に伝えるとともに彫刻刀の位置の測定と彫刻刀の把持力の測定より得られた彫刻刀の空間位置、彫刻刀にかかる圧力に関する情報、彫刻材料の位置をディスプレイ上に表示する。彫刻作業を行う仮想作業空間は図 2 に示すような 3 次元座標空間 (X, Y, Z) において縦・横・奥行きを、それぞれ、409.6 × 409.6 × 409.6 mm の空間として設定し、実空間における長さ 409.6 mm を 4096 ドット (0.1 mm を 1 ドット) で表示可能な仮想の作業空間を構築する。プログラム開発環境は 3D 表示に OpenGL を用いた C 言語である。

4. 彫刻材料の位置の測定機能

提案する測定手法は、仮想空間内の作業台の平面上で彫刻作業を行う場合を仮定し、作業中の材料をカメラを用いて撮影する。撮影した映像から材料に貼り付けたマーカを抽出し、その情報から作業台の平面上の材料の位置と傾きを測定する方法である。以下、本手法による計測手順を示す。

4.1 画像入力

長方形の彫刻材料 (縦 210mm, 横 300mm, 厚さ 10mm) は色情報を用いて処理するために、図 3 に示すように材料の表面は水色とし、材料

の上下および左右が判別できるように 30 × 30mm の赤色と緑色の正方形の用紙を緑色を上として対角線上に貼り付ける。この材料を図 4 に示すように垂直から 30° の角度に設置した CCD カラーカメラ (CIT-761, 三菱電機) を用

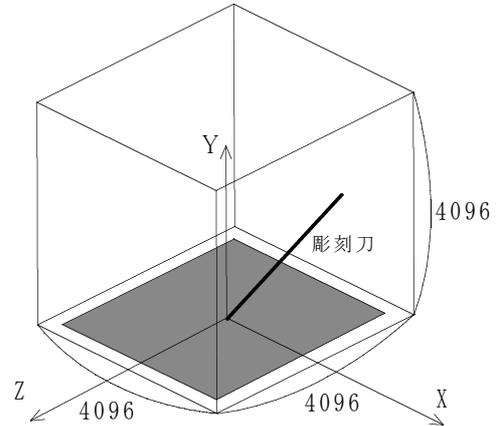


図 2 仮想作業空間の設定

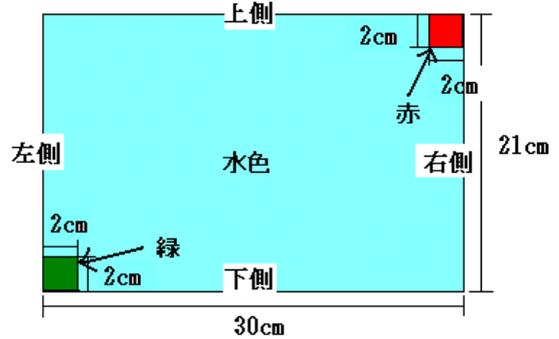


図 3 彫刻材料

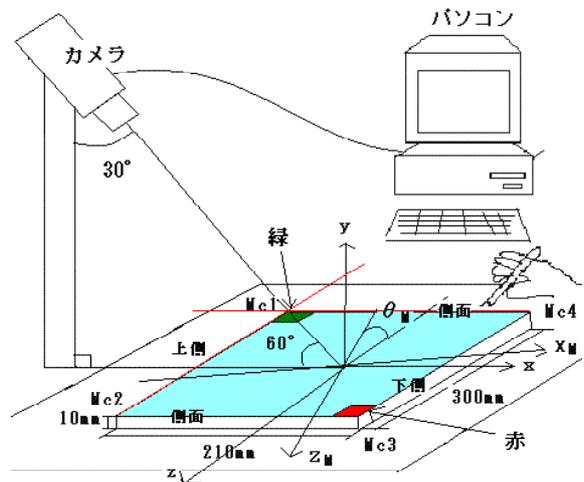


図 4 システム構成図



図5 入力画像



図6 2値化処理画像

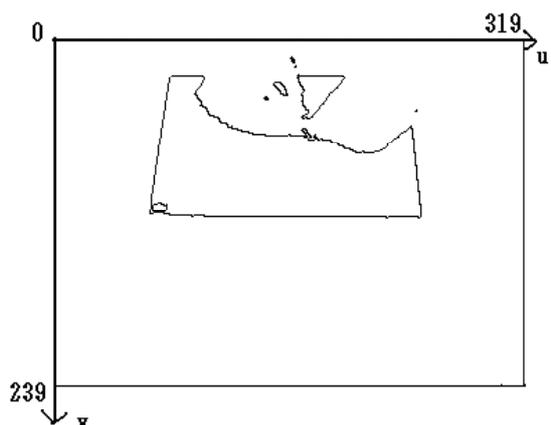


図7 微分処理画像

いて撮影し、その画像を画像入力ボード（FLX-PCI，フォトロン）を用いて図5に示すような横軸方向に320画素，縦軸方向に240画素，個々の画素は赤，青，緑の色成分毎に8ビットの入力画像としてパソコンに録画する。

4.2 2値化処理

入力画像から彫刻材料の領域を抽出するために2値化処理を用いる。入力画像の平面を $u v$ 平面で表し，青色の成分の画像を $Ib(u, v)$ ($0 \leq u \leq 319, 0 \leq v \leq 239$) とする。青色成分画像 $Ib(u, v)$ から式(1)を用いて，図6に示すような2値化処理画像 $b(u, v)$ を求める。ここで定数 t は2値化処理を行うしきい値である。

$$b(u, v) = \begin{cases} 255 & | Ib(u, v) \geq t \\ 0 & | Ib(u, v) < t \end{cases} \quad (1)$$

$$0 \leq u \leq 319, 0 \leq v \leq 239$$

4.3 微分処理

彫刻材料の領域を抽出した2値化処理画像 $b(u, v)$ から彫刻材料の周囲（エッジ部分）を抽出するために画像の微分処理⁷⁾を用いる。2値化処理画像 $b(u, v)$ から式(2)を用いて図7に示すような彫刻材料のエッジ部分を抽出した微分処理画像 $d(u, v)$ を求める。

$$\begin{aligned} \Delta xe(u, v) &= b(u+1, v) - b(u, v) \\ \Delta ye(u, v) &= b(u, v+1) - b(u, v) \\ d(u, v) &= (\Delta xe(u, v)^2 + \Delta ye(u, v)^2)^{1/2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$0 \leq u \leq 318, 0 \leq v \leq 238$$

4.4 直線成分の抽出

彫刻材料のエッジ部分を示す微分処理画像 $d(u, v)$ から彫刻材料の傾きを求めるために図7に示すエッジ部分の直線成分(画素値が255の場合)についてハフ変換⁸⁾を用いる。図8に示すような $u v$ 平面から $\rho \theta$ 平面への変換処理を式(3)を用いて行う。

$$\rho = u \cdot \cos \theta + v \cdot \sin \theta \quad (3)$$

4.5 材料位置の計算

$u v$ 平面上のハフ変換されたエッジ部分の個々の点の曲線が $\rho \theta$ 平面で一番多く交差する点の極大値を求め，その点を $\alpha(\rho_\alpha, \theta_\alpha)$ とする。次に多く交差する極大値を求め，その点を $\beta(\rho_\beta, \theta_\beta)$ とする。 $\rho \theta$ 平面上の2点よりハフ逆変換を用いて図9に示すように $u v$ 平面上の彫刻材料の角の位置 $(uc1, vc1)$ を式(4)，(5)より求める。

$$uc1 = \frac{\rho_{\beta} \sin \theta_{\alpha} - \rho_{\alpha} \sin \theta_{\beta}}{\sin(\theta_{\alpha} - \theta_{\beta})} \quad (4)$$

$$vc1 = \frac{\rho_{\beta} \cos \theta_{\alpha} - \rho_{\alpha} \cos \theta_{\beta}}{\cos(\theta_{\alpha} - \theta_{\beta})} \quad (5)$$

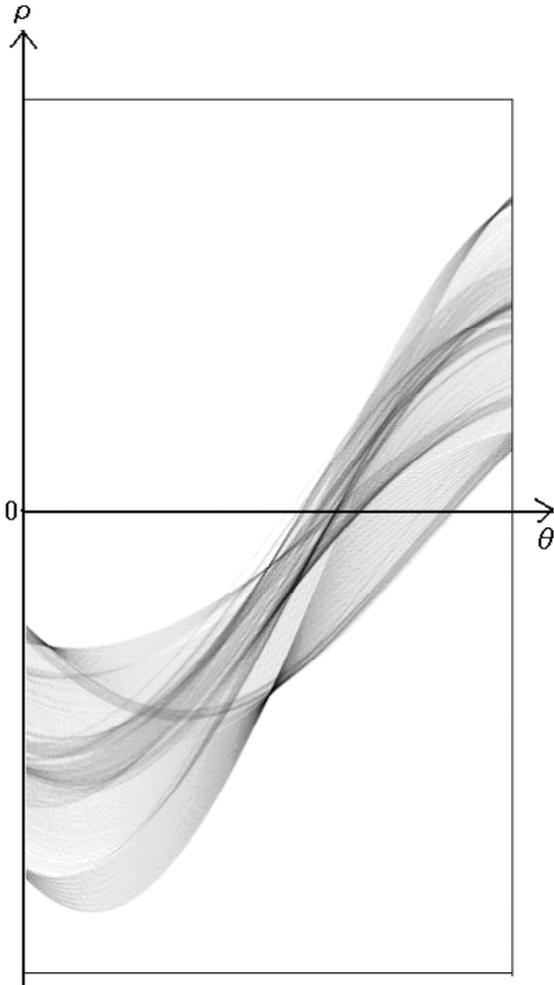


図 8 ハーフ変換処理

彫刻材料の上下については角の位置 ($uc1$, $vc1$) の周辺の領域の画素値に ($uc1 - n \leq u \leq uc1 + n$, $vc1 - n \leq v \leq vc1 + n$) に赤色または緑色の領域の存在を調べることにより判定する. ここで, 赤色または緑色の領域は u v 平面上の大きさが約 10×10 画素であるので $n=10$ を用いる.

u v 平面上の彫刻材料の角の座標 ($uc1$, $vc1$) から作業台平面上の 3 次元位置 ($Mx1$, $My1$, $Mz1$) を式 (6), (7), (8) により求める.

$$\begin{cases} Mx1 = (120 - uc1) \times (3/2)^{1/2} & (6) \\ My1 = 10 & (7) \\ Mz1 = uc1 - 160 & (8) \end{cases}$$

作業台平面上における彫刻材料の傾き θ_M を式 (9) により求める.

$$\theta_M = \frac{-(\theta_{\alpha} - 90)}{\cos 30^{\circ}} \quad (9)$$

5. 適用例

彫刻作業を撮影した映像を入力画像として 2 値化処理画像, 微分処理画像を式 (1), (2) を用いて求め, 直線成分の抽出処理を式 (3) から (5) を用いて行った. ここで, しきい値は $t=180$ を用いた. これより, u v 平面上で 0.1 秒毎の彫刻材料の角の座標と傾きを求めた結果を図 10 に示した. 彫刻材料の最初の位置を u v 平面における角の座標 ($66, 122$) および傾き $\theta_{\alpha} = 91^{\circ}$, $\theta_{\beta} = 8^{\circ}$ を求め, その結果を図 11 に示した.

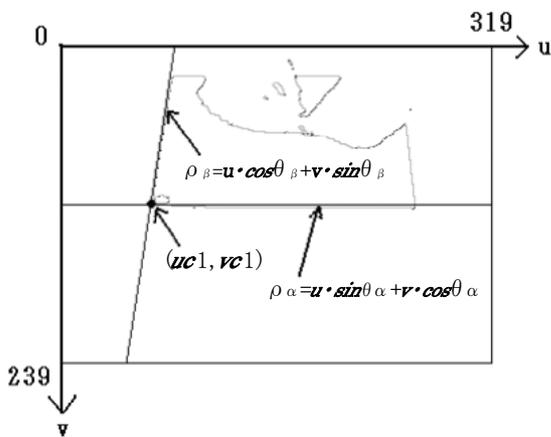


図 9 直線成分の抽出

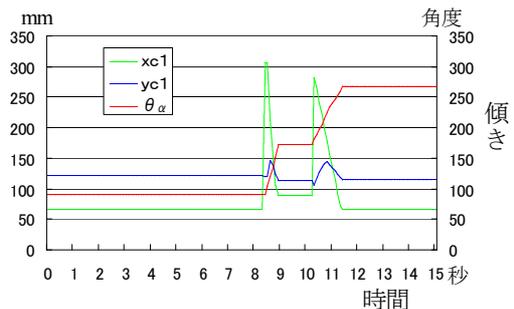


図 10 彫刻材料の位置と傾きの測定結果

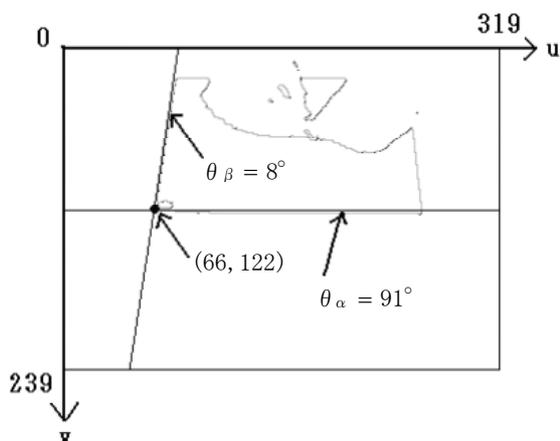


図 1 1 彫刻材料の測定結果

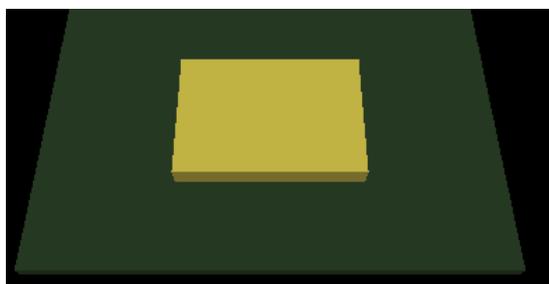


図 1 2 彫刻材料の仮想作業空間への表示

このとき、式(6)、(7)、(8)より作業台平面上の彫刻材料の位置(-2, 10, -94)および式(9)より彫刻材料の傾き $\theta_M = -1.15^\circ$ を求め、図 1 2 に示すように彫刻材料を仮想空間内に表示できる仮想作業空間の表示機能を実現した。

6. まとめ

彫刻材料の位置の測定機能を実現するために画像処理技術を用いて彫刻材料の位置の計測をする手法を提案し、彫刻作業中の材料位置の測定実験を行った。その結果、作業中の被験者の手とともに録画した入力画像から被験者の手の領域と彫刻材料の領域を区別し、彫刻材料の位置を測定することができた。今後の課題は、実時間の入力画像から彫刻作業中の材料の位置を連続して測定できるようにし、仮想彫刻システムに必要な頭部の位置の測定、彫刻刀使用感覚の提示、彫刻作業の支援などの機能を実現することである。

参考文献

- 1) 経済産業省, 厚生労働省, 文部科学省, 2005 年版ものづくり白書(製造基盤白書), p. 202-221
- 2) 小林大吾, 水野慎士, 岡田稔, 鳥脇純一郎, 山本眞司, 筆圧に基づく操作の強さを考慮した仮想彫刻・版画システム, 情報処理学会インタラクシオン 2005, pp. 43-44, 2005.
- 3) 岡田稔, 水野慎士, 鳥脇純一郎, モデル駆動による仮想彫刻と仮想版画, 芸術科学学会論文誌, Vol. 1 No. 2 pp. 74-84.
- 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) 徳永修一, 白田智大, 仮想彫刻システムのための空間位置センサーの試作, 詫間電波工業高等専門学校研究紀要第 35 号, pp. 61-66, 2007
- 7) 酒井幸市, デジタル画像処理入門, C Q 出版社, pp. 54-55, 2002
- 8) 安居院猛, 長尾智晴, C 言語による画像処理入門, 昭晃堂, pp64-65