

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 28 日現在

機関番号：56203

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25560159

研究課題名(和文) 技能作業の測定・分析法に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Measurement and Analysis Method of the Skill Work

研究代表者

徳永 修一 (Tokunaga, Shuichi)

香川高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号：10197874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円

研究成果の概要(和文)：日本の伝統工芸の彫刻作業について、技能分析のために技能者の彫刻刀の位置と把持力を同時に測定するシステムを開発した。測定結果から左手の親指の圧力で彫刻している状態が判別できることが分かった。材料を彫刻している時の彫刻刀の位置を抽出し、仮想3次元空間内で作業者の視点で彫刻作業の再現(仮想の彫刻刀と同時に把持力の表示)が可能となった。また、熟練者のデータを基準とした彫刻作業の評価法を提案した。

研究成果の概要(英文)：About the sculpture work of the Japanese traditional craft, we developed the system which measured a position and the grasp of the graver of the skill person for skill analysis at the same time. From the result of a measurement using this device, we made clear that we could judge a sculpture state of the expert from the pressure of the left hand thumb. Reproduction of sculpture work (the indication which is gripping force simultaneously with a virtual graver) became possible by the angle of the worker by virtual three dimensional space by extraction in the location of the graver when the expert carving the material. And evaluation method of the sculpture work which made the expert's data the standard was proposed.

研究分野：機械工学

キーワード：技能作業 動作分析 技能伝承

1. 研究開始当初の背景

日本の伝統工芸品は、長い年月を経て風土と歴史の中で生まれ、時代を越えて受け継がれた伝統的な技術・技法により作られていて、手作りの素朴な味わい、親しみやすさ、優れた機能性等が、大量生産される画一的な商品に比べて、私たちの生活の豊かさと潤いを与えてくれる。伝統工芸は地域に根ざした地場産業として地域経済の発展に寄与するとともに、地域の文化を担う大きな役割を果たしてきている。このように古くから尊重されてきた伝統工芸はその仕事の量の減少とともに、従業者数が減少している。そのため、熟練者の技能を後世に伝えることがますます難しくなっている。伝統工芸の伝承が一度でも途絶えれば、再び伝統工芸品をよみがえらせることは不可能に近い。伝統工芸品の製造過程をデジタル化して再現できるようにすることは、伝統技術の保存と、後継者への技能伝承の支援をするために大変重要な課題であると考えた。

2. 研究の目的

熟練者の高度な技能を後継者に伝承するためには、その技能を分析する必要がある。本研究の目的は、技能作業の過程を保存し、技能作業を測定・分析することである。そして、人間の感覚に即した作業（例えば、どのように道具を扱っているのかなど）を測定・分析、デジタル化により後世へ伝えることである。本研究では具体的な対象として日本の伝統工芸の彫刻作業を取り上げ、道具（彫刻刀）を用いた彫刻作業の計測システムの開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 彫刻刀の姿勢の測定方法

技能者の彫刻刀の扱い方（動かし方）を測定するために、図1に示すような6自由度ロボットアーム型の装置を開発した。

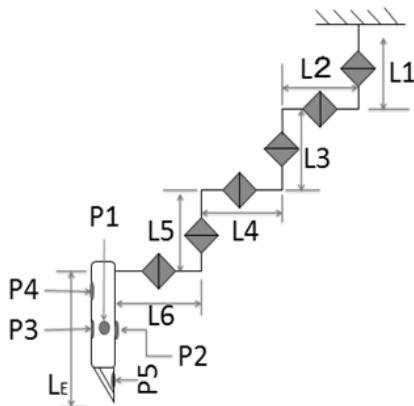


図1 6自由度ロボットアーム型測定装置の概略図

ロボットアームの関節軸間の距離 L 、関節軸 $k-1$ から関節軸 k の場合は、その間の

角度センサの値を k とするとき、式(1)で求められる。

$$\begin{aligned}
 {}^{k-1}A_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (-1)^{k-1} & 0 \\ 0 & (-1)^k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^{k-1}P_k &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^{k-1}R_k &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_k) & -\sin(\theta_k) & 0 & 0 \\ (-1)^k \sin(\theta_k) & (-1)^k \cos(\theta_k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^{k-1}T_k &= {}^{k-1}A_k {}^{k-1}P_k {}^{k-1}R_k \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_k) & -\sin(\theta_k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (-1)^{k-1} & L \\ (-1)^k \sin(\theta_k) & (-1)^k \cos(\theta_k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1) \\
 &\quad (k=1, 2, 3, 4, 5, 6)
 \end{aligned}$$

彫刻刀の刃先位置 0T_E は、彫刻刀の長さを L_E 、彫刻刀の取り付け位置を ${}^6T_E = [0 \quad -L_E \quad 0 \quad 1]^T$ 、彫刻刀の柄の位置を 0T_6 とするとき、式(2)より求められる。

$${}^0T_E = {}^0T_1 {}^1T_2 \cdots {}^5T_6 {}^6T_E = {}^0T_6 {}^6T_E \quad (2)$$

(2) 彫刻時にかかる力の測定方法

彫刻時にかかる力は、図2に示すように彫刻刀に5個の圧力センサを取り付け、右手の親指($p1$)、人差し指($p2$)、中指($p3$)、人差し指の第3関節の側面($p4$)と左手の親指($p5$)と彫刻刀の間にかかる力(把持力)を測定した。

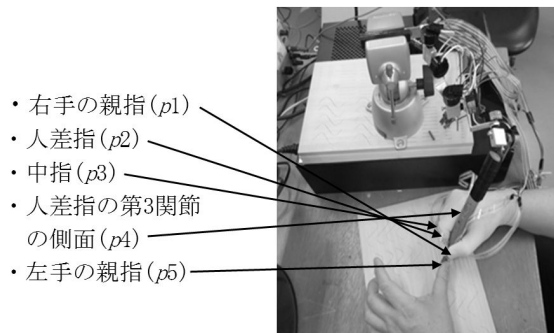


図2 圧力センサの取り付け位置

(3) 彫刻刀の扱い方の評価法

彫刻刀の扱い方の評価法には、彫刻作業を行う作業者と熟練者との相違を容易に認識できる指標が求められる。ここでは、彫刻作業の測定結果から角度による熟練度と面積による熟練度を提案する。

角度による熟練度は、彫刻作業中の刃先位置を同一位置とする座標変換を柄の位置座標に対して行う。角度による熟練度の評価方法を図3に示す。まず、彫刻作業前後の刃先位置の差分より刃先の進行方向を求める。次に、一定期間の柄の位置の座標平均値を求め

る．彫刻作業前の刃先位置を原点とする進行方向の第1軸を角度 θ_1 、これに垂直な第2軸を角度 θ_2 とする．それぞれの方向における角度による熟練度を $E_{\theta 1}$ 、 $E_{\theta 2}$ とすれば、この評価尺度は式(3)、(4)で求められる．ただし、 θ_B 、 θ_M は、作業者と熟練者の彫刻刀の傾きの最大値と最小値の差をそれぞれ表す．

$$E_{\theta 1} = \frac{\theta_B}{\theta_M} \times 100 \quad (3)$$

$$E_{\theta 2} = \frac{\theta_B}{\theta_M} \times 100 \quad (4)$$

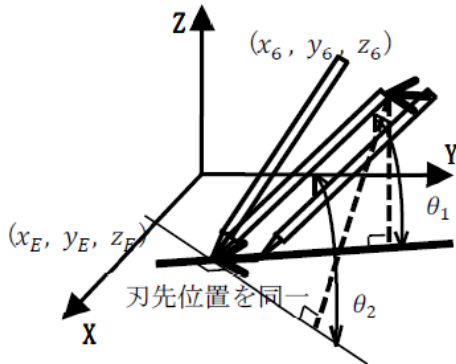


図3 角度による熟練度の評価尺度

左手親指の圧力 p_5 の値が出力された時、すなわち彫刻開始時の刃先位置の分布より求められる彫刻作業始点範囲(矩形領域面積)を基に面積による熟練度 E_p を算出する．この評価尺度は式(5)で求められる．

$$S_B = (x_{Bmax} - x_{Bmin}) \cdot (y_{Bmax} - y_{Bmin}),$$

$$S_M = (x_{Mmax} - x_{Mmin}) \cdot (y_{Mmax} - y_{Mmin})$$

$$E_p = \frac{1}{\frac{S_B}{S_M}} \times 100 \quad (5)$$

ここで S_B 、 S_M は初心者と熟練者の彫刻作業を行った場合の彫刻開始時の材料を刃先が掘り始める位置を含む矩形領域の面積である．

(4) 彫刻作業の測定実験

彫刻作業の手順を図4に示す．彫刻作業の測定状況を図5に示す．装置を用いて業者に断面が三角形になるように、材料に描いた絵模様の下側をまず彫り、次に材料を上下逆にして線の反対側を彫る．基本図形として、図6に示す長さ50mmの直線と曲線、縦67mm、横53mmの葉を彫刻し、熟練者、初心者の彫刻作業に対して圧力センサと角度センサの値をサンプリング周期100Hzで同時に測定した．ここで、ロボットアームの関節軸の間の距離 $l=30$ mm、彫刻刀の長さ $LE=210$ mmである．

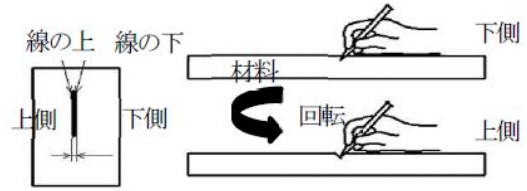


図4 彫刻作業手順



図5 彫刻作業の測定

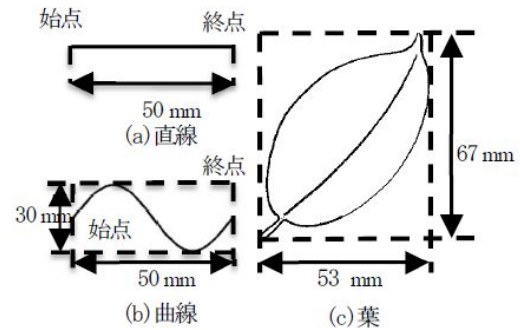


図6 基本図形

4. 研究成果

(1) 実験結果

熟練者が基本図形の直線を彫刻した場合の圧力センサの測定結果を図7に示す．材料を彫刻している場合は、左手親指の圧力 p_5 の値が約5秒から約12秒間と約15秒から約20秒間の2つの時間内に行われたことがわかった．同時に測定した角度センサの値から計算した彫刻刀の姿勢データを図8に示す．また、これより最初の彫刻時間内の彫刻刀の姿勢データを抽出した結果を図9に示す．

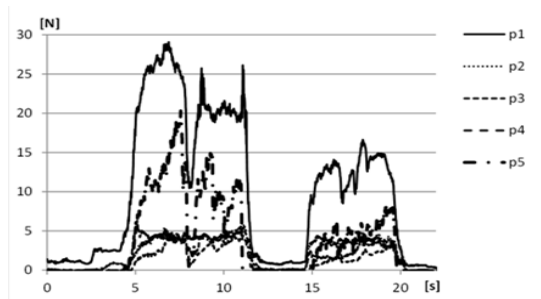


図7 直線の場合の熟練者の圧力測定結果

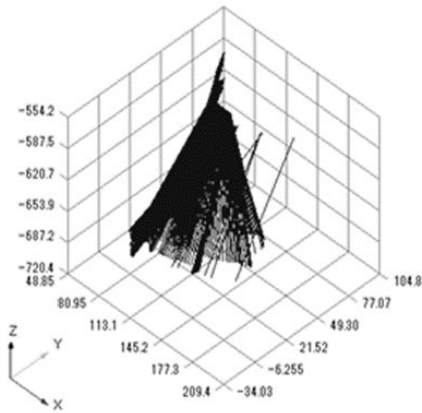


図 8 彫刻刀姿勢データの計算結果

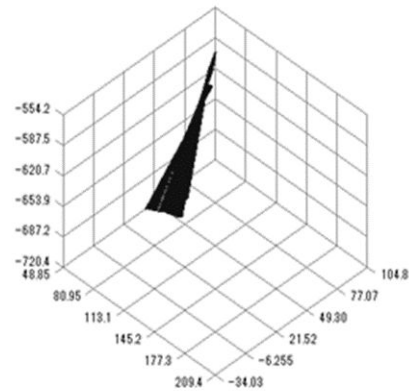


図 9 彫刻時の彫刻刀姿勢データ

初心者が基本図形の直線を彫刻した場合における彫刻刀の圧力センサの測定結果を図 10 に、熟練者の場合と同様に処理した彫刻刀の姿勢データを図 11、図 12 に示す。

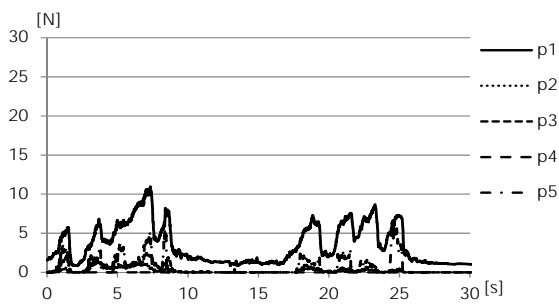


図 10 直線の場合の初心者の圧力測定結果

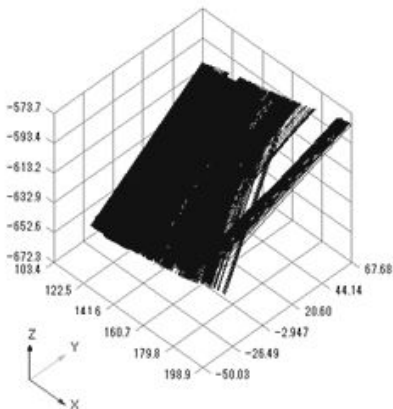


図 11 彫刻刀姿勢データの計算結果

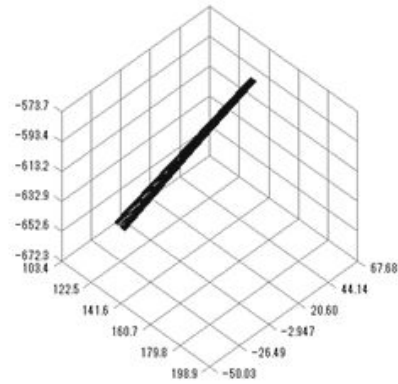


図 12 彫刻時間内の彫刻刀姿勢データ

熟練者の彫刻時の彫刻刀の傾き角度を求めた結果を図 13 に示す。彫刻作業前後の刃先位置の差分より求めた刃先の進行方向と彫刻刀の角度 θ_1 の最大値は 110.7° 、最小値は 92.8° であり、角度 θ_1 に垂直な方向との角度 θ_2 の最大値は 66.8° で、最小値は 58.1° であった。

初心者の彫刻時の彫刻刀の傾き角度を図 14 に示す。刃先の進行方向との角度 θ_1 の最大値は 89.4° 、最小値は 87.6° で角度 θ_1 に垂直な方向との角度 θ_2 の最大値は 52.6° 、最小値は 51.1° であった。これより熟練者は初心者比べて彫刻刀の傾きが徐々に増えて、その後減少していることがわかった。提案した角度による熟練度は $E\theta_1 \cong 10\%$ 、 $E\theta_2 \cong 17\%$ が得られ、初心者は、彫刻刀の傾きの変化が少ないことがわかった。

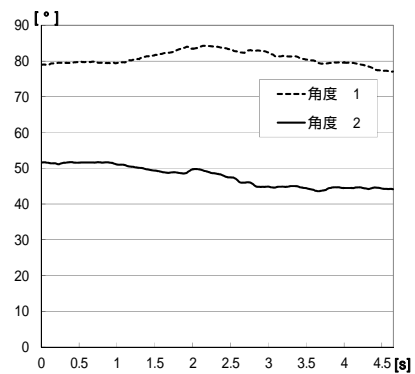


図 13 熟練者の彫刻刀の傾き

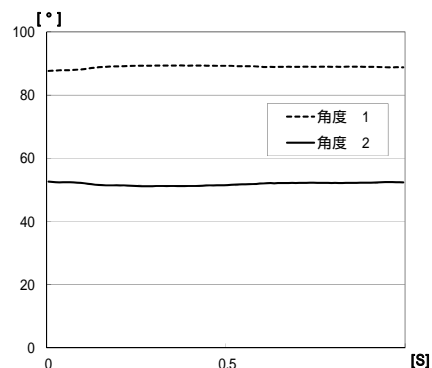


図 14 初心者の彫刻刀の傾き

熟練者が基本図形の曲線を彫刻した場合の圧力センサの測定結果を図 15 に示す。彫刻刀姿勢データの計算結果を図 16 に、左手親指の圧力 p_5 が最初に出力された時間内から抽出した姿勢データを図 17 に示す。

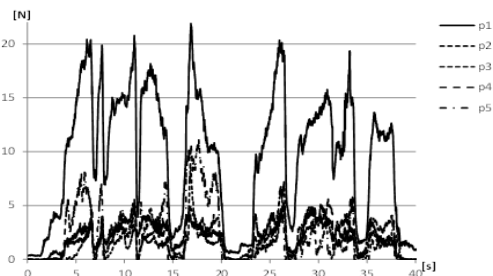


図 15 曲線の場合の熟練者の圧力測定結果

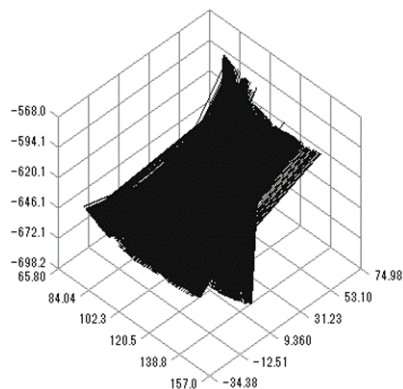


図 16 彫刻刀姿勢データの計算結果

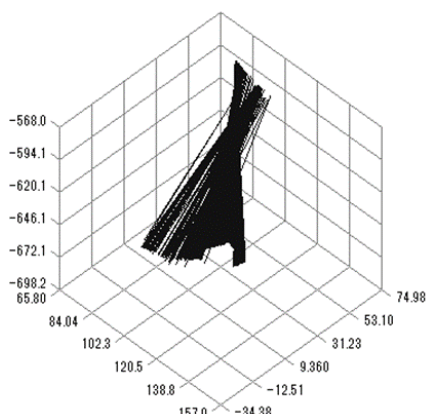


図 17 彫刻時の彫刻刀姿勢データ

初心者が基本図形の曲線を彫刻した場合における彫刻刀の圧力センサの測定結果を図 18 に、熟練者の場合と同様に処理した彫刻刀の姿勢データを図 19、図 20 に示す。

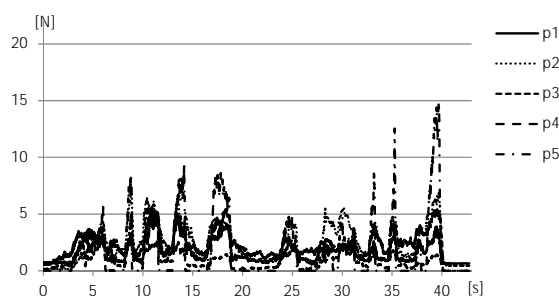


図 18 曲線の場合の初心者の圧力測定結果

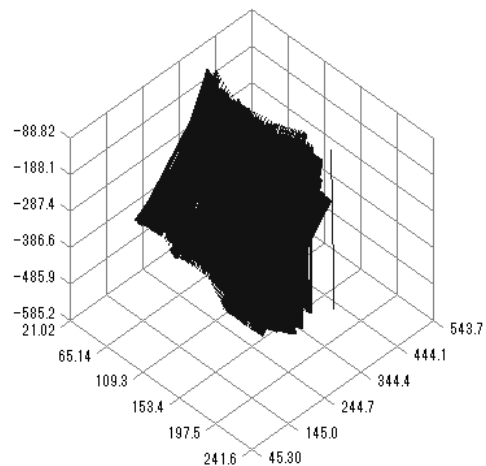


図 19 彫刻刀姿勢データの計算結果

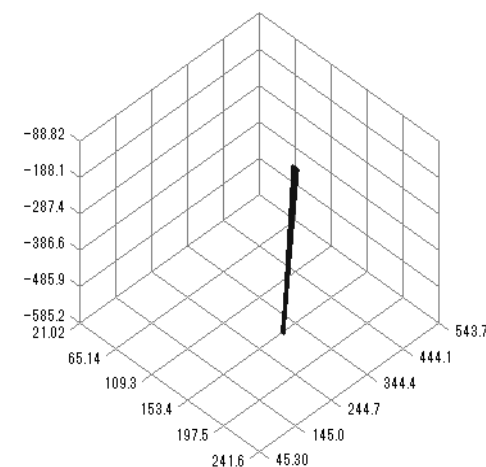


図 20 彫刻時の彫刻刀姿勢データ

(2) 彫刻刀の扱い方の評価

熟練者が葉を彫刻した場合の彫刻刀の刃先位置の分布を図 21 に示す。熟練者の刃先位置の分布は縦 45 mm、横 70 mm の矩形領域内に収まっていた。圧力測定の結果から左手親指の圧力 p_5 の値が出力されたのは 22 回であった。そのうち 1 秒以上出力された場合に注目すると 9 回となり、1 回当たりの彫刻時間の平均は 9.75 秒であった。ここで、1 秒未満の場合は刃先の移動でない場合である。また、熟練者が葉を彫刻するのに要した時間は、125.12 秒であった。

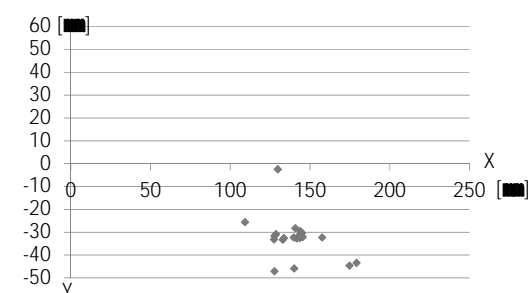


図 21 熟練者の彫刻開始時の刃先位置の分布

次に、初心者が彫刻した際の彫刻開始時の刃先位置の分布を図 2 2 に示す。刃先位置の分布は縦 89 mm、横 84 mm の矩形領域に収まっていた。これより、提案した面積による熟練度は、 $E_p \approx 42\%$ となり、初心者は熟練者の約 2.4 倍広い範囲で彫刻作業をしていることがわかった。圧力測定の結果から初心者の場合は左手親指の圧力 p_5 が出力されたのは 39 回となった。そのうち 1 秒以上出力されたのは 30 回でその平均は 2.63 秒であった。また、初心者が基本図形の葉を彫刻するのに要した時間は 207.13 秒かかっていた。熟練者は初心者より 1 回当たりの彫刻時間の平均時間は長く、彫刻回数は少ないことから、1 回あたりの彫刻時の刃先の移動距離が長いことがわかった。

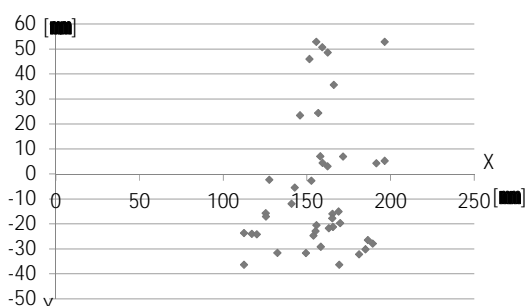


図 2 2 初心者の彫刻開始時の刃先位置の分布

(2)まとめ

本研究では、道具を用いた技能作業の計測システムの開発を行った。本装置を用いて彫刻作業を測定した結果、仮想 3 次元空間内で作業者の視点で彫刻作業を再現(図 2 3)することができた。また、彫刻刀の把持力から左手の親指の圧力で彫刻している状態が判別できることが分かった。

提案した角度による熟練度は $E_{\theta 1} \approx 10\%$ 、 $E_{\theta 2} \approx 17\%$ が得られ、初心者の彫刻刀の傾き具合を評価することができた。これより、熟練者の彫刻刀の傾きの変化に比べ、初心者の彫刻刀の傾きの変化が少ないことがわかった。彫刻開始時の彫刻刀の刃先位置の分布図より熟練者は、ほぼ同じ位置から彫刻を始めしており、提案した面積による熟練度は $E_p \approx 42\%$ となり、初心者は熟練者の約 2.4 倍広い範囲で彫刻作業をしていることがわかった。

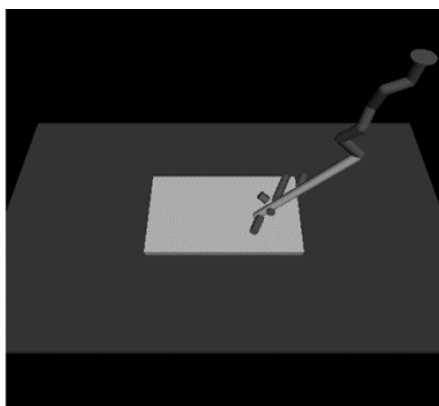


図 2 3 仮想 3 次元空間内の再現表示例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- (1) Shuichi Tokunaga, Seiya Kanbayashi, Hirokazu Osaki, A Study on Measurement Method of How to Handle Tool, Proceedings of the 12th International Conference on Industrial Management, pp.339-343. (2014), 査読有。
- (2) 徳永修一, 上林聖也, 道具の扱い方の計測方法に関する研究, 香川高等専門学校研究紀要第 6 号, pp.113-118, (2015), 査読無。

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) 上林聖也, 徳永修一, 道具の扱い方の測定装置の開発, 平成 26 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 2014 年 9 月 13 日, 徳島市
- (2) 上林聖也, 徳永修一, 道具の扱い方の評価法に関する研究, 平成 27 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, 2015 年 9 月 26 日, 香美市

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

徳永 修一 (TOKUNAGA, Shuichi)

香川高等専門学校・情報工学科・教授

研究者番号: 10197874

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号: