

道具の扱い方の評価法に関する研究

徳永 修一*, 上林 聖也**, 近藤 祐史*

An Evaluation Method for Handling Tool

Shuichi TOKUNAGA, Seiya KAMBAYASHI and Yuji KONDOH

Abstract

The technical succession of the traditional handicrafts is a very important problem because lack of a successor is the very serious situation in Japanese traditional handicrafts. When even one time of succession of the traditional technique is cut off because a main part of the process of manufacture is handmade, it is difficult to revive it. Therefore it is necessary to store a traditional technique by digitizing the feature of the traditional industrial art object. In addition, using this, it is important that I support the skill tradition of the successor. We propose a virtual sculpture system of preservation and the succession of the traditional technique about sculpture work until now.

In this paper, we proposed evaluation method of how to handle it a graver from the measure of the position and gripping force of the graver which is the function of this system. The following thing became clear by using the measure for evaluation we proposed from measured values (the gripping force, the angle of the graver and the rectangular area including the sculpture starting point of the graver) of an expert of traditional handicrafts and a beginner. The power by which a beginner holds a graver was the small power of the about 1/3 of expert. The angle change of the beginner's graver was little compared with an expert, and the rectangular area was about 2.4 times of the expert.

Key Words: Skill Succession, Lacquer ware, Digitized Skill

1. はじめに

伝統的工芸品は、古くから各々の地域で職人たちにより受け継がれてきた工芸品であり、長きにわたって多くの人の目や手に触れることで、使いやすさ、美しさが向上する、日本が世界に誇れる文化である。ところが近年、熟練技能者の高齢化が進み、需要の低迷から後継者の数も減少し、海外輸入の影響もあり、伝統的工芸品の出荷額が減少し、それに伴い従業者数も減少している¹⁾。伝統的工芸品は、製造工程の主要部分は手作りであり、一度、伝統技術の伝承が途絶えると、伝統的工芸品の再興は困難となるため伝統工芸の技術の継承が重要な課題となっている。そのため、伝統的工芸品の製作過程をデジタル化し、伝統技術の保存

や、後継者の技能伝承を支援する必要があると考える。

本研究では、彫刻作業について、その伝統工芸の技術を保存し、伝承の支援をするために仮想彫刻システムを提案し、その機能である彫刻刀の動きと彫刻刀の把持力の測定を同時に用いて得られた結果から道具の扱い方の評価方法を提案する。

2. 仮想彫刻システム

仮想彫刻システムの概略を図1示す。本システムは、熟練者が経験によって得た彫刻刀の動かし方を再現できるだけでなく、彫刻刀の把持力や彫刻刀を介して受ける感覚(力覚)の提示や熟練者の技術の参照を行う機能が必要である。また、技能伝承を支援するために、彫刻刀の扱い方を評価する機能が必要である。よって本システムは彫刻刀の位置、把持力、頭部の位置を測定する「測定部」、仮想の作業環境を表示する「表示部」、

* 香川高等専門学校詫間キャンパス 情報工学科

** 大阪ガス(株)

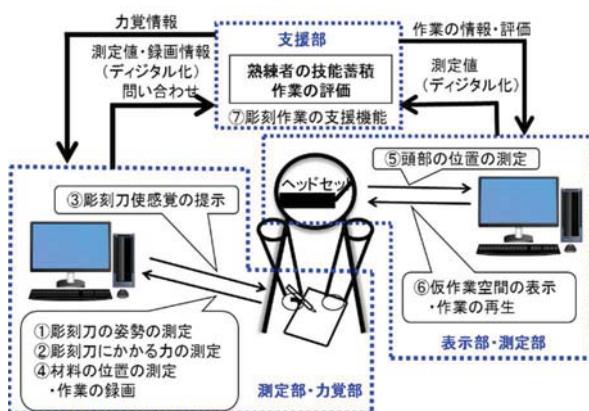


図1 仮想彫刻システム概略図

彫刻作業で受ける力覚を提示する「力覚部」、彫刻刀の動き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つのサブシステムで構成し、次に示す①から⑦の機能が必要となる。

①彫刻刀の姿勢の測定機能

彫刻刀の姿勢の測定機能は彫刻刀の動き方を測定する機能で、彫刻作業中の彫刻刀の刃先の3次元位置と傾きを求める。

②彫刻刀にかかる力の測定機能

彫刻刀にかかる力の測定機能は彫刻刀に圧力センサとひずみセンサを取り付け彫刻作業時の力の入れ方を測定する機能である。

③彫刻刀使用感覚の提示(力覚フィードバック)機能

彫刻刀使用感覚の提示機能は力覚フィードバックにより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機能である。

④材料の位置の測定機能

彫刻材料の位置の測定表示機能は彫刻作業中の材料の位置の変化を測定する機能である。

⑤頭部の位置の測定機能

頭部の位置の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。

⑥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再生することができる機能である。

⑦彫刻作業の支援機能(データベース)

熟練者の彫刻作業を空間位置センサと圧力センサにより測定した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、作業情報の表示、彫刻刀作業の評価を行うことで技能習得の支援を行う。

本システムに関して、現在までに①彫刻刀の姿勢の測定機能、②彫刻刀にかかる力の測定方法、④材料の位置の測定方法、⑥仮想作業空間の表示機能を提案している²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。本稿では⑦彫刻作業の支援機能に含まれる彫刻刀作業の評価を行うために、図2に示す6自由度ロボットアーム型測定装置から得られた彫刻刀を把持する力と彫刻刀の姿勢の測定結果を用いて彫刻刀の扱い方を評価する方法について述べる⁶⁾。



図2 6自由度ロボットアーム型測定装置

3. 評価方法

彫刻刀の扱い方の評価方法には、彫刻作業を行う初心者が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_{θ_1} , E_{θ_2} とすれば、この評価尺度は、式(1), (2)で求められる。ただし、 θ_B , θ_M は、初心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。

$$E_{\theta_1} = \frac{\theta_B}{\theta_M} \times 100 \quad (1)$$

$$E_{\theta_2} = \frac{\theta_B}{\theta_M} \times 100 \quad (2)$$

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(3)で求められる。

$$Ep = \frac{\frac{1}{S_B}}{\frac{1}{S_M}} \times 100 \quad (3)$$

ここで S_B , S_M は初心者と熟練者の矩形領域面積をそれぞれ表し、彫刻開始時の刃先位置の座標を (x_i, y_i) , ($i = 1, \dots, n$) とするとき、 x 方向と y 方向の最大値と最小値より $S_B = (x_{B\max} - x_{B\min}) \cdot (y_{B\max} - y_{B\min})$, $S_M = (x_{M\max} - x_{M\min}) \cdot (y_{M\max} - y_{M\min})$ として求められる。

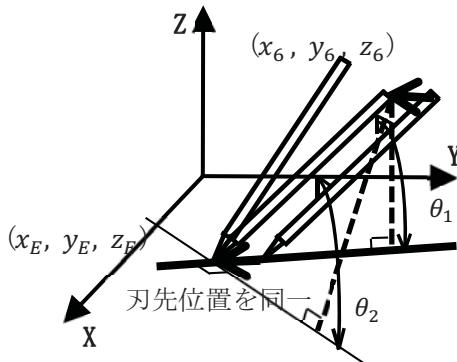


図3 角度による熟練度の評価尺度

4. 実験方法

彫刻作業の手順を図4に示す。彫刻作業は図4に示すように断面が三角形になるように、材料(板)に描いた線の下側をまず彫り、次に材料を上下逆にして線の上側を彫る。基本図形として、図5に示す長さ 50 mm の直線と曲線、縦 67 mm、横 53 mm の葉を彫刻し、熟練者、初心者の彫刻作業時の圧力センサと角度センサの値をサンプリング周期 100Hz で同時に測定する。ここで、圧力センサは、右の手の親指(p_1)、人差指(p_2)、中指(p_3)、人差指の第3関節の側面(p_4)と左手の親指(p_5)の5箇所が接触した状態で熟練者が彫刻刀を扱うことから手と彫刻刀が接触するこれらの位置に5個の圧力センサを取り付ける。

5. 実験結果

5.1. 直線の場合の実験結果

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6に示す。材料を実際に彫刻している場合に、左手親指の圧力 p_5 の値が出力される。したがって、彫刻は図中の約 5 秒から約 12 秒の間に約 15 秒から約 20 秒の間の 2つの時間内に行われたことがわかった。図6の測定期間における角度センサの値から計算した彫刻刀の姿勢データを図7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8に、さらに刃先位置を同一位置に移動処理した結果の彫刻刀の姿勢データを図9に示す。

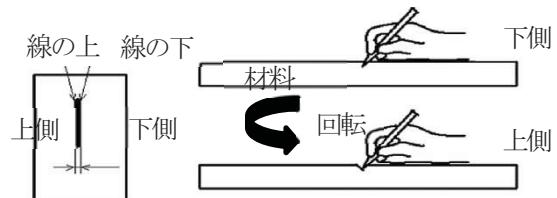


図4 彫刻作業手順

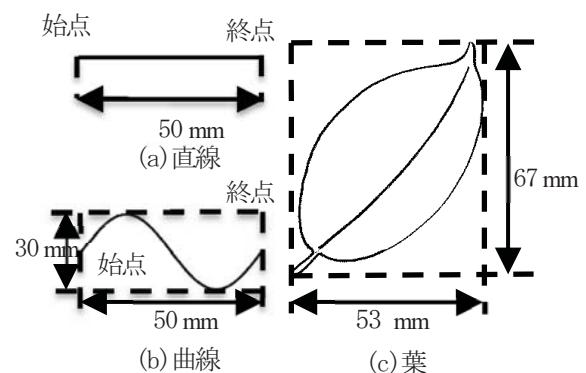


図5 基本図形

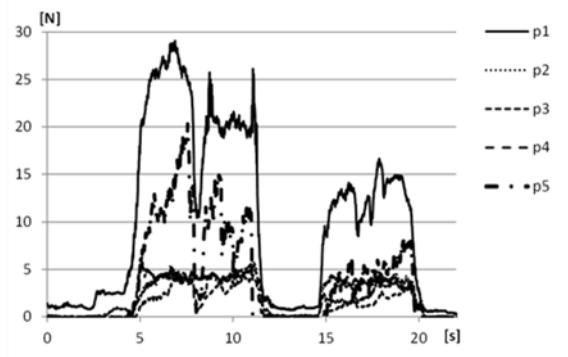


図6 直線の場合の熟練者の圧力測定結果

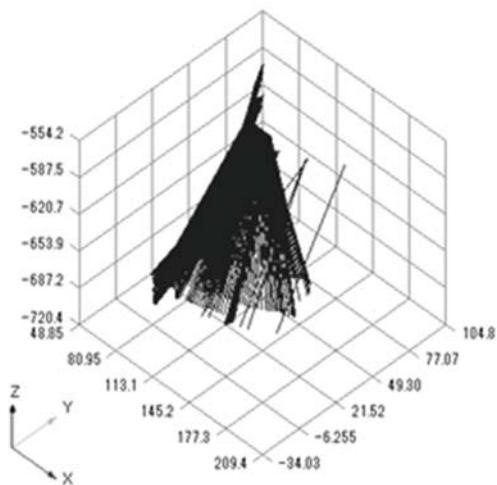


図7 彫刻刀姿勢データの計算結果

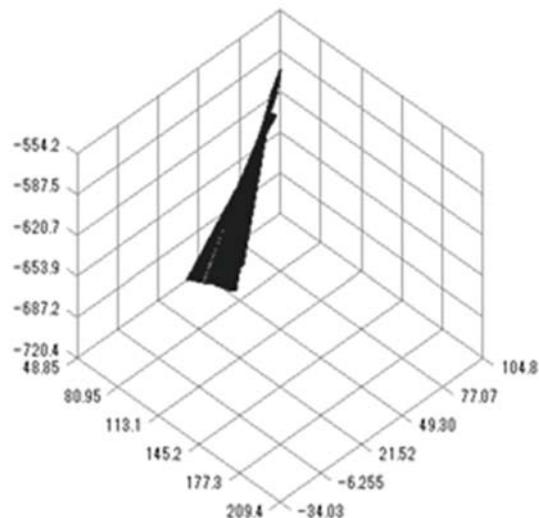


図8 彫刻時間内の彫刻刀姿勢データ

何度も途切れていた。これより、初心者は直線の彫刻作業を少しずつ行っていることがわかった。

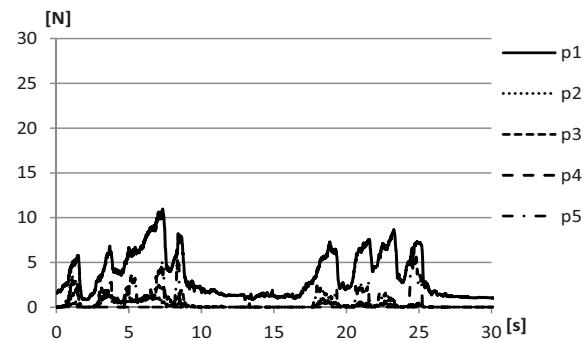


図10 直線の場合の初心者の圧力測定結果

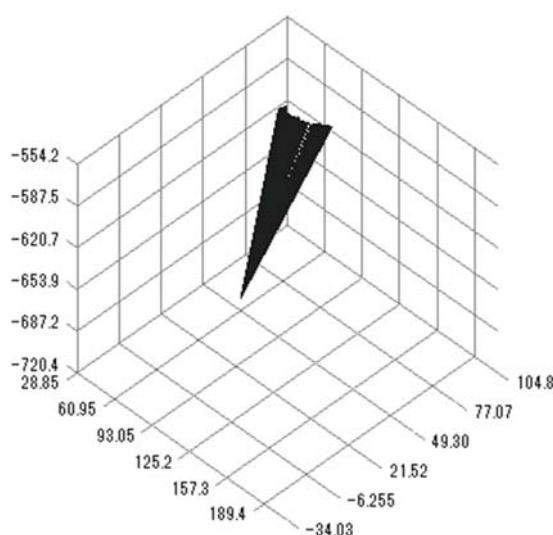


図9 刃先位置の同一処理後の彫刻刀姿勢データ

初心者の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から図13に示す。図10の圧力センサの測定結果より、初心者の把持力の最大値は約10 Nであり、これは熟練者に比べて小さく、熟練者の約1/3であった。また、熟練者と大きく異なり、初心者の場合には、人差指の第3関節の側面の圧力 p_4 が全く測定されていないことがわかった。さらに、直線の彫刻作業において、1つの直線を彫刻する間の彫刻開始から終了までが、熟練者の左手親指の圧力 p_5 が連続して出力されていることに比べ、初心者は左手親指の圧力 p_5 の値が出力されている時間が短く、また、

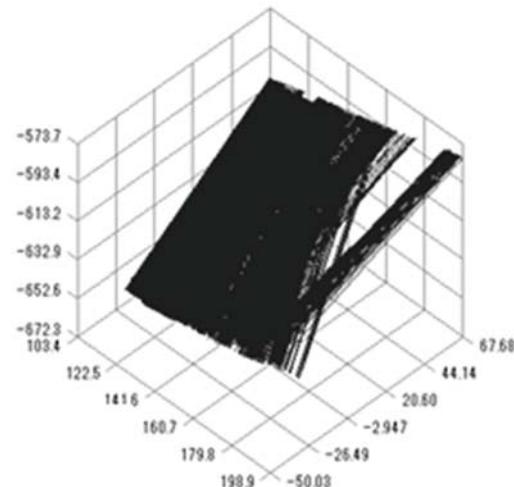


図11 彫刻刀姿勢データの計算結果

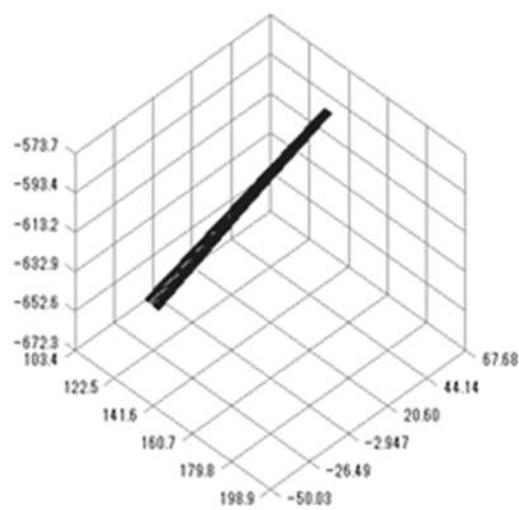


図12 彫刻時間内の彫刻刀姿勢データ

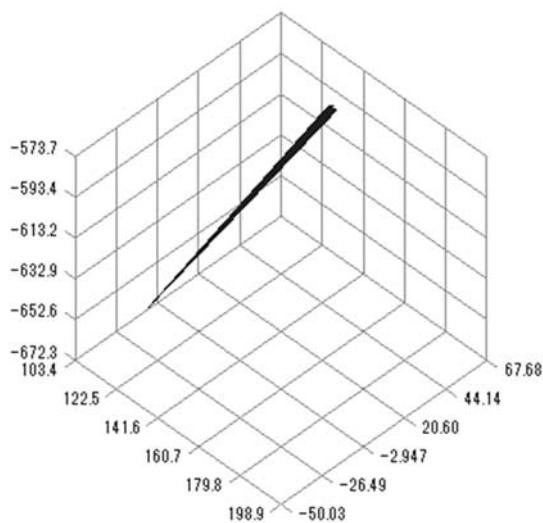


図13 刀先位置の同一処理後の彫刻刀姿勢データ

熟練者の場合における彫刻時の彫刻刀の傾き角度を求めた結果を図14に示す。彫刻作業前後の刀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。初心者の場合における彫刻時の彫刻刀の傾き角度を図15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に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。

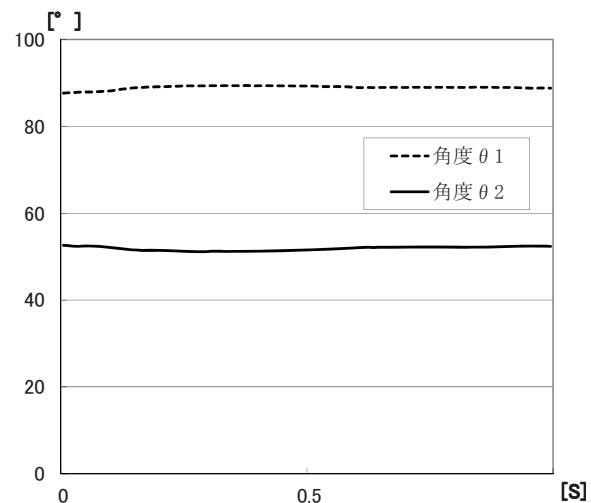


図15 初心者の彫刻刀の傾き

5.2. 曲線の場合の実験結果

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16に示す。彫刻刀姿勢データの計算結果を図17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18に示す。

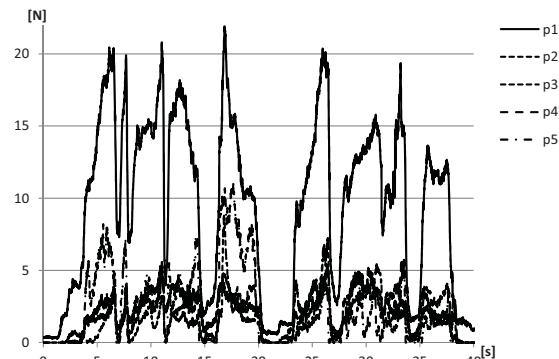


図16 曲線の場合の熟練者の圧力測定結果

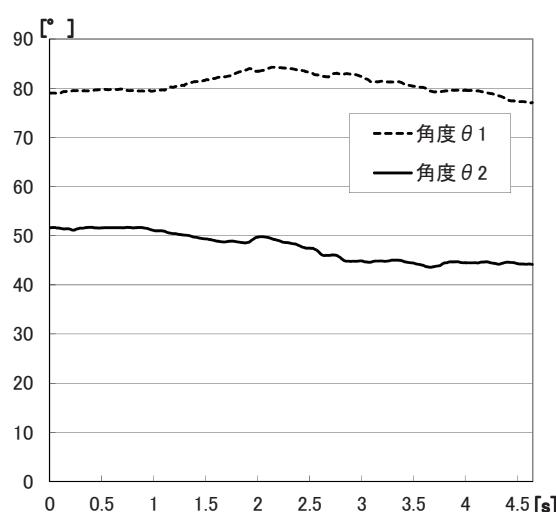


図14 熟練者の彫刻刀の傾き

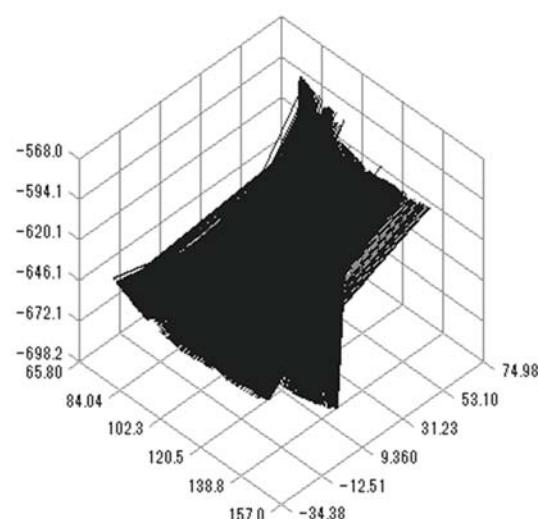


図17 彫刻刀姿勢データの計算結果

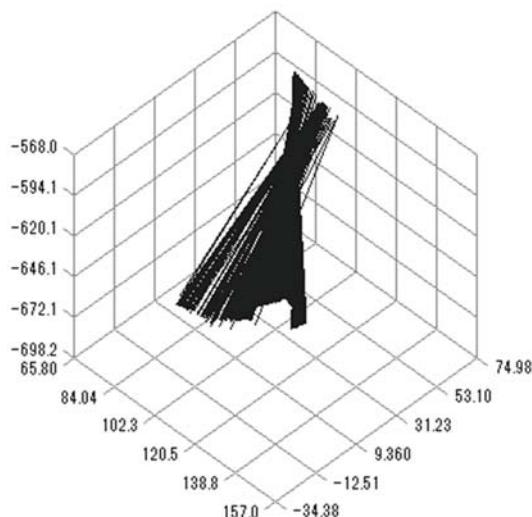


図18 彫刻時間内の彫刻刀姿勢データ

初心者の場合における彫刻刀の圧力センサの測定結果を図19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20、図21に示す。

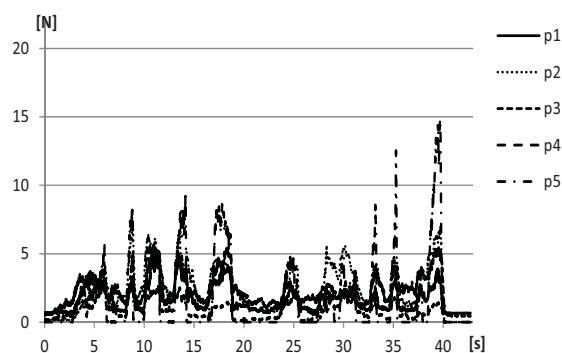


図19 曲線の場合の初心者の圧力測定結果

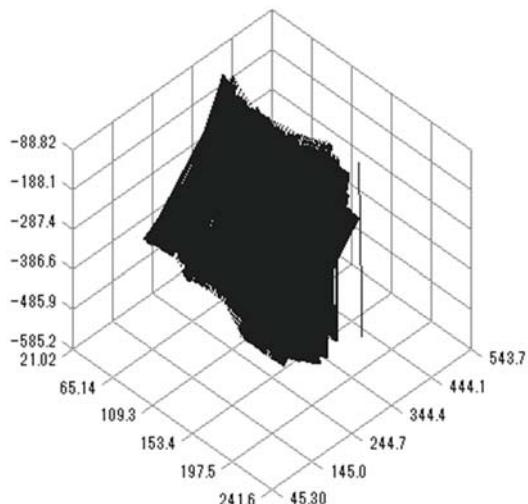


図20 彫刻刀姿勢データの計算結果

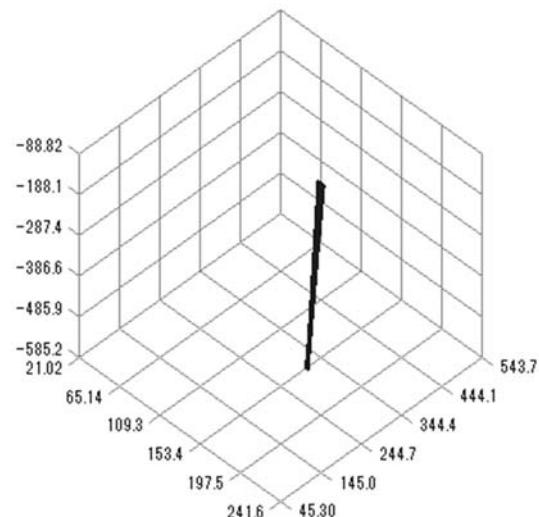


図21 彫刻時間内の彫刻刀姿勢データ

5.2. 葉の場合の実験結果

熟練者の彫刻刀の刃先位置の分布を図22に示す。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 の値が測定されたのは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。

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23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、 $Ep \cong 42\%$ 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 が測定されたのは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

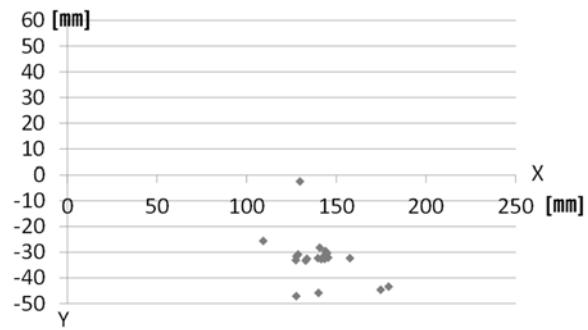


図22 熟練者の彫刻開始時の刃先位置の分布

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。

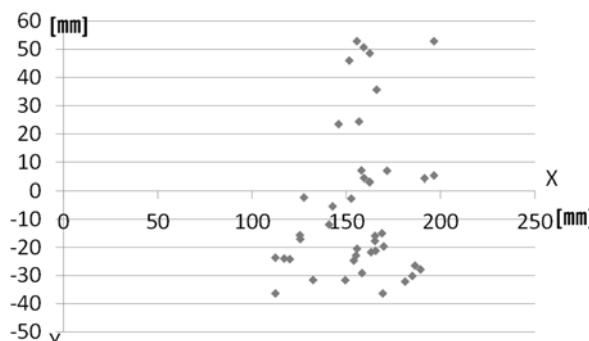


図 2 3 初心者の彫刻開始時の刃先位置の分布

5.まとめ

彫刻刀の把持力は、初心者は熟練者に比べ、約 1/3 の力で把持しており、熟練者のように強い力で彫刻刀を把持していないことがわかった。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ており、提案した面積による熟練度は $Ep \cong 42\%$ 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。

今後の課題は、熟練者の作業データをより多く測定して、評価結果の確認を行い、彫刻作業のデータベース化を進めることと、材料を動かしながら彫刻作業が行われていることから材料の動きと彫刻刀の動きを同時に測定し、材料に彫刻した絵柄を取得することである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25560159 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 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 3270、漆器製造業、従業者数、2015
- 2) Shuichi Tokunaga, Seiya Kanbayashi, Hirokazu Osaki, A Study on Measurement Method of How to Handle Tool, Proceedings of the Twelfth International Conference on Industrial Management, pp.339-343, 2014
- 3) 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 7-6, p.84, 2014
- 4) 徳永修一、中谷彰吾、大西祐生、工具の把持力の測定法に関する研究、平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会 7-1, p71, 2008
- 5) 中谷彰吾、徳永修一、仮想彫刻システムのための材料位置の測定に関する研究、平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会 7-5, p75, 2008
- 6) 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 7-12, p.84, 2014