

# 道具の扱い方の測定法に関する研究

徳永 修一\* 上林 聖也\*\*

## A Study on Measurement Method of How to Handle Tool

Shuichi TOKUNAGA, Seiya KAMBAYASHI

### Abstract

In all manufacturing industry, it is one of the big problems in corporate management to succeed to skills such as knowledge or the know-how that the skilled worker cultivated so far efficiently. There is the expert skill that it is difficult to make a manual in the production spot. Because it is handed down, long time is necessary for the method that the acquisition of such a skill learns with a body by an experience and training. Therefore the digitization of the skill is tried to support the acquisition of the skill from the situation of the engineering in inheritance by the skill. Because the lack of successor is the very serious situation in the Japanese traditional-handicrafts, it is thought that the digitization of the skill is essential. When there is not a successor, and the succession of the skill is cut off, it will be impossible to let a skill make resurrection again in future. Since many tools are used for manufacture of a traditional handicrafts article, the measurement of how to treat a tool is indispensable.

In this paper, we proposed a method to measure the movement and the grasp of the graver at the same time to digitize collecting how to handle of the graver during sculpture work. At first we attached the graver to a robot arm of 6 degree of freedom, and the movement of the graver was given from the measurements of the angle of 6 joints of the robot arm. Then, we develop the system measuring the grasp of the graver by a pressure sensor to measure collecting how to handle of the graver. As a result, digitization of collecting how to handle of the graver was enabled because we could measure movement and the grasp of the graver at the same time. The sculpture working state could be judged from the pressure value of the left thumb, and the graver position under sculpture work was able to be extracted. And we display result of a measurement continually in the virtual work space that we built.

*Key Words:* Skill Succession, Lacquer ware, Digitized Skill

### 1. はじめに

伝統工芸は、長い年月を経て風土と歴史の中で育まれ、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や潤いを与えてくれる。伝統工芸品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が図1に示すようにその仕事の量の減少とともに、従業者数が減少している<sup>1)</sup>。

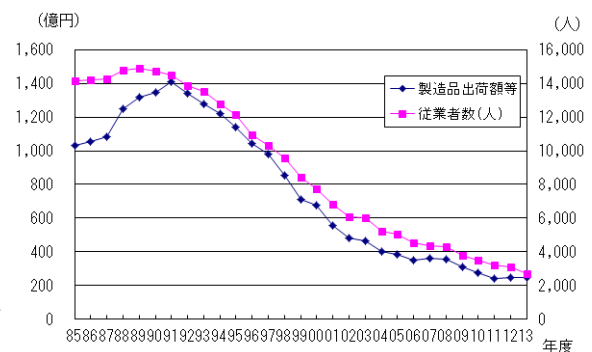


図1 伝統工芸品の生産額と従業者数の推移

\* 香川高等専門学校詫間キャンパス 情報工学科

\*\* 香川高等専門学校詫間キャンパス 専攻科

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と考えられる。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られる。

本研究では、彫刻作業を対象として、開発した6自由度ロボットアーム型の測定装置<sup>2)</sup>を用いて彫刻刀の姿勢と把持力を測定する方法と、彫刻刀の扱い方を任意の視点から表示する方法を提案する。

## 2. 彫刻作業の測定・表示方法

### 2.1 彫刻刀の姿勢の測定方法

彫刻刀の姿勢（刃先と柄の位置）は、図2に示す彫刻刀を取り付けた6自由度ロボットアーム型測定の装置の各関節の角度センサの値から計算<sup>3)</sup>により求められる。ロボットアームのリンクパラメータを表1に示す。ここで、関節軸間の距離  $l$  はロボットアームの各部とも同じ長さである。

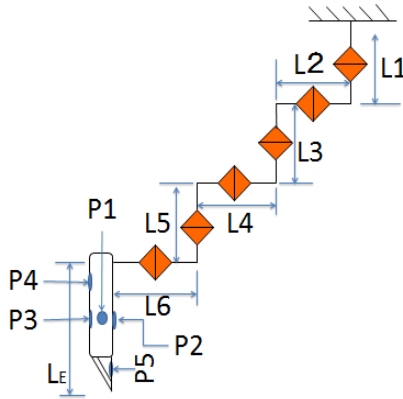


図2 6自由度ロボットアーム型測定装置概略図

表1 ロボットアームのリンクパラメータ

$i$	$a_{i-1}$	$\alpha_{i-1}$	$d_i$	$\theta_i$
1	0	$90^\circ$	$l$	$\theta_1$
2	0	$-90^\circ$	$l$	$\theta_2$
3	0	$90^\circ$	$l$	$\theta_3$
4	0	$-90^\circ$	$l$	$\theta_4$
5	0	$90^\circ$	$l$	$\theta_5$
6	0	$-90^\circ$	$l$	$\theta_6$

ロボットアームのリンク0とリンク1の関係 ${}^0T_1$ は、リンク1の共通垂線の長さ $a_0=0$ 、関節軸0と関節軸1の直交射影間の角度 $\alpha_0$ による変換を ${}^0A_1$ 、関節軸0と関節軸1の間の距離 $l$ による平行変換を ${}^0P_1$ 、

関節の角度 $\theta_1$ による回転変換を ${}^0R_1$ とするとき、式(1)で与えられる。

$$\begin{aligned}
 {}^0A_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (-1)^0 & 0 \\ 0 & (-1)^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^0P_1 &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^0R_1 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ (-1)^1 \sin(\theta_1) & (-1)^1 \cos(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 {}^0T_1 &= {}^0A_1 {}^0P_1 {}^0R_1 \\
 &= \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & (-1) & 0 \\ (-1)^1 \sin(\theta_1) & (-1)^1 \cos(\theta_1) & 0 & l \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)
 \end{aligned}$$

ロボットアームの関節軸 $k-1$ から関節軸 $k$ の場合は、その間の角度センサの値を $\theta_k$ とするとき、式(1)と同様に式(2)で与えられる。

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

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 ${}^6T_E=[0 \ -L_E \ 0 \ 1]^T$ 、彫刻刀の柄の位置を ${}^0T_6$ とするとき、式(3)より求められる。

$${}^0T_E = {}^0T_1 {}^1T_2 \cdots {}^5T_6 {}^6T_E = {}^0T_6 {}^6T_E \quad (3)$$

### 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3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( $p_5$ )と彫刻刀の間にかかる力(把持力)を測定する<sup>4)</sup>.

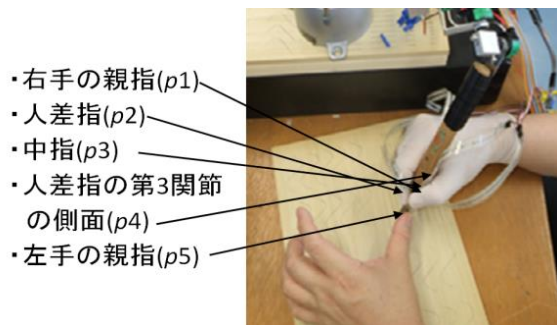


図3 圧力センサの取り付け位置

### 2. 3 彫刻刀の表示方法

彫刻刀の表示は、開発した測定装置を用いて測定した彫刻刀の姿勢および彫刻刀にかかる圧力の測定結果より、OpenGL<sup>5)</sup>を用いてディスプレイ画面内の仮想3次元空間内に任意の視点で連続的に表示する。作業者の視点における仮想3次元空間内の彫刻刀と圧力の表示例を図4に示す。

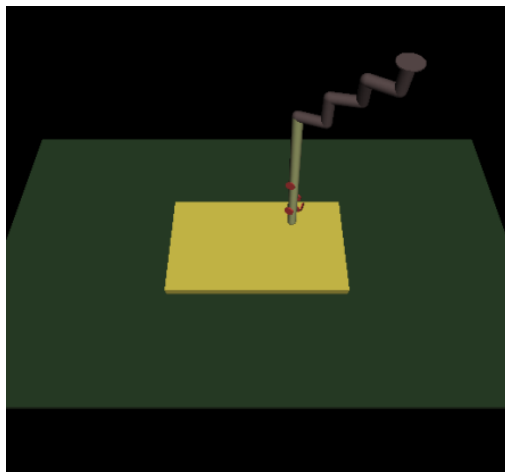


図4 仮想3次元空間内の表示例

### 3. 実験方法

彫刻作業は、断面が三角形になるように、材料(板)に描いた直線の下側をまず彫り、次に材料を上下逆にして線の反対側を彫る。基本の直線の長さを50mmとして、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で同時に測定する。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 $L_E=210$ mmである。

### 4. 実験結果

初心者が基本的な直線と曲線を彫刻した場合について、ロボットアーム型測定装置の6つの角度センサの測定結果をそれぞれ図5、6に示した。これより、彫

刻刀の姿勢を計算した結果をそれぞれ図7、8に示した。また、圧力センサの測定結果をそれぞれ図9、10に示した。左手親指の把持力( $p_5$ )は材料を彫っている時にのみ大きな値として測定結果より得られた。左手親指の把持力( $p_5$ )の変化から直線の場合は2つの区間を、曲線の場合は11の区間を彫刻している状態として抽出することができ、それぞれ、2回、11回の彫刻している状態があったと判定できた。これより、彫刻している時の彫刻刀の姿勢をそれぞれの区間ごとに抽出した。直線の場合の抽出結果を図11、12に、曲線の場合の抽出結果を図13から図23に示した。

ディスプレイ画面内に作業者の視点における仮想3次元空間内に角度センサと圧力センサの測定結果から求めた仮想の彫刻刀と同時に把持力を連続的に表示した。その表示例を図24に示した

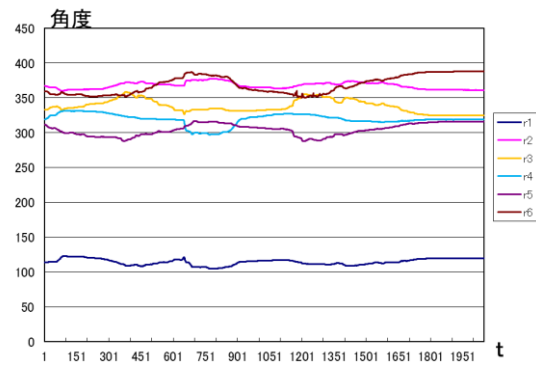


図5 直線の場合の角度の測定結果

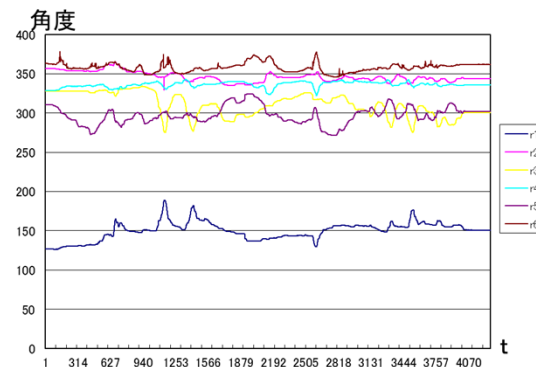


図6 曲線の場合の角度の測定結果

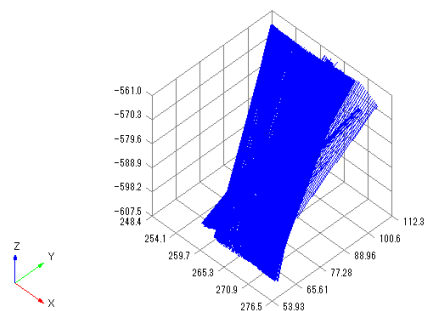


図7 直線の場合の彫刻刀の姿勢の計算結果

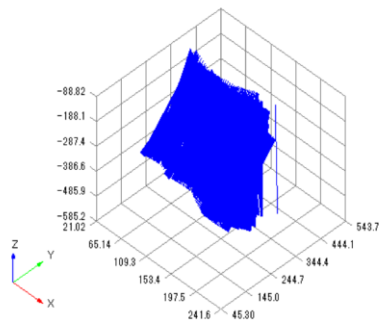


図8 曲線の場合の彫刻刀の姿勢の計算結果

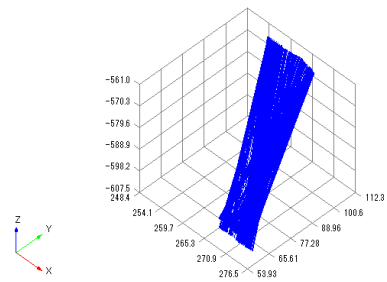


図12 直線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果②

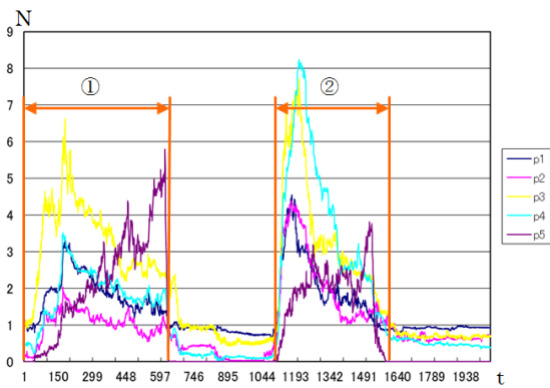


図9 直線の圧力の測定結果

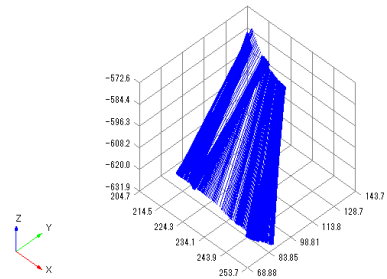


図13 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果①

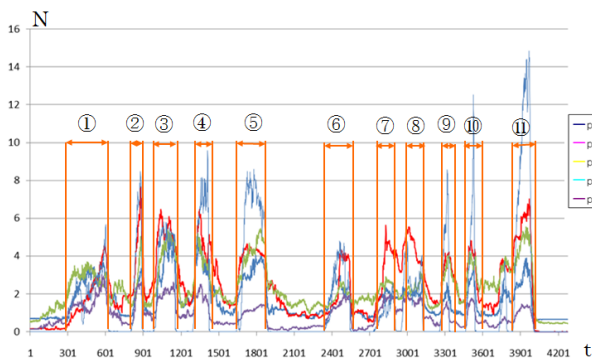


図10 曲線の圧力の測定結果

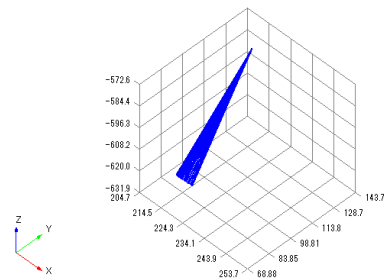


図14 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果②

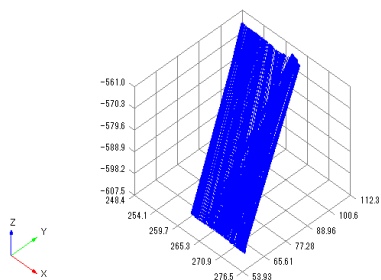


図11 直線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果①

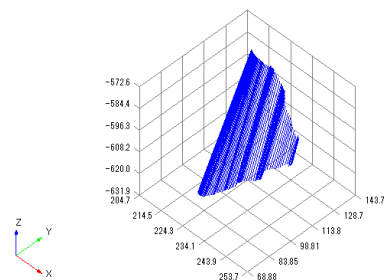


図15 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果③

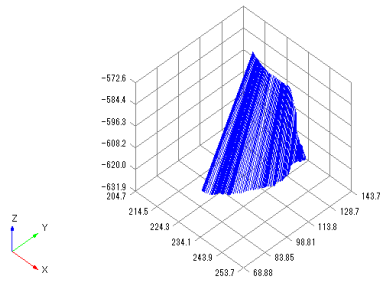


図 1 6 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果④

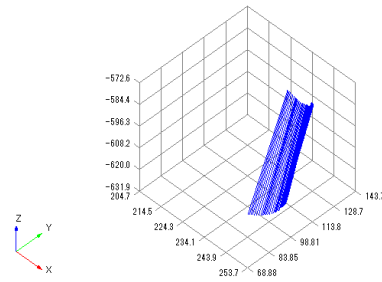


図 2 0 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑧

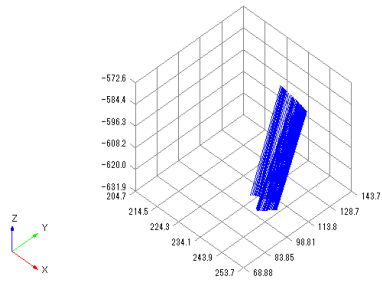


図 1 7 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑤

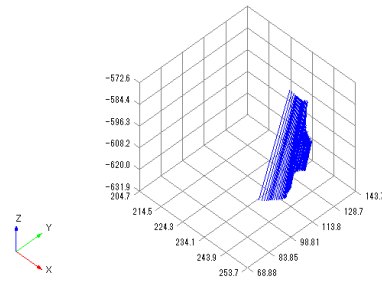


図 2 1 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑨

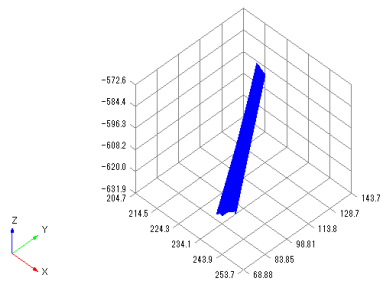


図 1 8 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑥

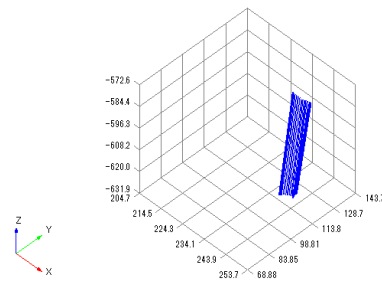


図 2 2 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑩

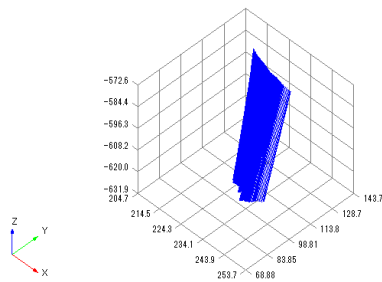


図 1 9 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑦

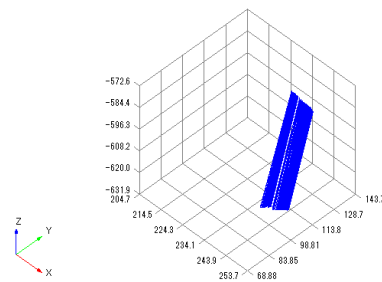
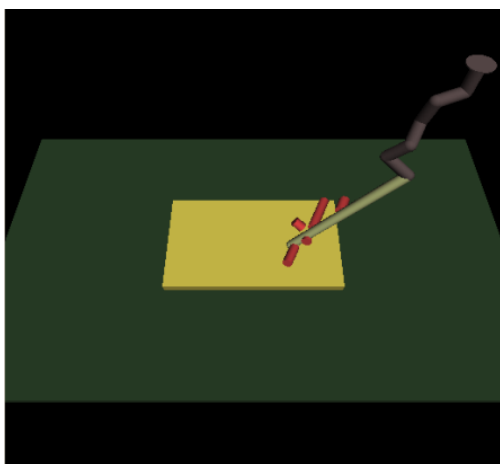


図 2 3 曲線彫刻時の彫刻刀の姿勢の抽出結果⑪



ス, 森北出版, pp.130-134, 2001

図2-4 作業者の視点における彫刻刀と圧力の表示例

## 5. まとめ

彫刻作業中の彫刻刀の扱い方をデジタル化するために、開発した6自由度ロボットアーム型測定装置の先端に取りつけた彫刻刀を用いて彫刻作業を行い、彫刻作業中の彫刻刀の姿勢と把持力（圧力）を同時に測定することができた。測定結果より、左手親指の圧力の測定値から彫刻している状態を判断することができ、彫刻中の彫刻刀の姿勢を抽出することができた。また、ディスプレイ画面上に作業者の視点における仮想3次元空間内に角度センサと圧力センサの測定結果から求めた仮想の彫刻刀と同時に把持力を表示することができた。

今後の課題は、材料を動かす場合に対応することで材料面上の彫刻を再現できるようにすることである。

## 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) 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, 2014
- 3) 吉川恒夫, ロボット制御基礎理論, コロナ社, pp.20-37, 2000
- 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, 2008
- 5) 安居院猛, 関根詮明, 入門 OpenGL グラフィック