

ロボット教示高度化のためのセンシング手法に関する研究の実用化 —「筆を用いた匠の絵付け再現ロボット」—

横山 貴広 久富 茂樹 光井 輝彰

Developing and Implementation of Sensing Methods for Novel Sophisticated Robot Teaching

- Facilitate The Reproduction of experienced Painter's arts -

Takahiro YOKOYAMA Shigeki KUDOMI Teruaki MITSUI

あらまし 陶磁器・看板・染色などの伝統工芸における絵付けなどは、熟練作業による手作業で行われる。これらの作業に必要な技能や技法の伝承は高齢化や後継者不足の問題を抱えている。さらに海外からの輸入製品の増加によるコスト競争力強化のため、手作業で行われる製品の高効率化が求められている。県内地場産業の存続、技術伝承、活性化にはこうした熟練技能者の技能をデジタルデータで保存し再現する必要がある。以上の問題を解決するため本研究では平成12年度から14年度の3年間でロボット教示システムに関する研究を行い、教示の簡易化、時間の短縮化に成功し、ペン型教示ツールを用いたシステムの基礎技術を確立した。本年度はこの技術を応用して県内の地場産業に実用化させるため、昨年度までのシステムを「筆を用いた絵付け」作業に特化してシステムの構築を行った。

キーワード ロボット教示, 筆, 絵付け, 実用化

1. はじめに

県内の伝統工芸を中心とする地場産業には、熟練技能者の手作業による技能を必要とする工程が数多く存在する。とりわけ熟練作業者の技能は長年の経験を必要とするため技能の伝承が難しい。そのため近年地場産業の存続、活性化には技能者の高齢化、後継者不足が深刻な問題となっている。伝統工芸の育成、技術伝承、後継者不足問題の解決のため熟練技能者の作業を保存し再現する必要がある。さらに海外からの低価格製品の輸入の増加により、産業全体の高効率化、低コスト化が求められている。しかし諸外国に比べ人件費が高い我が国ではコスト競争力には限界があるため、産業の生き残りのためには海外製品より製品の高付加価値化も必須となる。この高付加価値製品の製造に必要な熟練技能者の技能を再現し、伝承するシステムが必要となってくる。

そのため本研究では熟練技能者の作業をロボットで簡単に効率良く再現するシステムの開発を目指す。人の作業をロボットで再現するには人の位置と姿勢の動きを正確に把握し、ロボットに教示する技術が必要となる。この教示に関する研究を平成12年度から3年間実施^{[1]~[2]}、ペン型教示ツールを用いた簡易教示システムを開発した。本年度は開発したシステムを県内の地場産業に実

用化出来る事を目的とする改善を行った。その中で特に陶磁器、提灯、タイル製品等の製造に必要な「筆を用いた絵付け」作業に特化してシステム開発を行った結果、磁器の絵皿の絵付けに応用できる事を確認し、産業に応用、実用化できる可能性を確認した。

2. システムの概要

システムの構成を図1に示す。このシステムは人の筆記動作に用いる筆の位置と姿勢をリアルタイムで測定し、デジタルデータに変換するデータ測定部(①)とデジタル化したデータを採取、蓄積し、人の作業空間からロボットの作業空間へ座標変換するシステムPC部(②)と筆記動作を再現するロボット部(③)で構成されている。

データ測定部(①)ではポヒマス社の6軸磁気センサ(3SPACE FASTRAK)を用い、筆記動作時に動く筆の動作の位置(X, Y, Z)と姿勢(アジマス, エレベーション, ロール)を同時に測定している。またロボットには(株)三菱重工業製のPA-10ロボットアーム(7軸垂直多関節形)を用い、先端姿勢制御を採用して筆の動作を再現している。なおデータ取り込み開始と終了のタイミングはスイッチ入力をデータ測定部(①)の信号中継器を用いてシステムPC部にスイッチ信号を送信している。

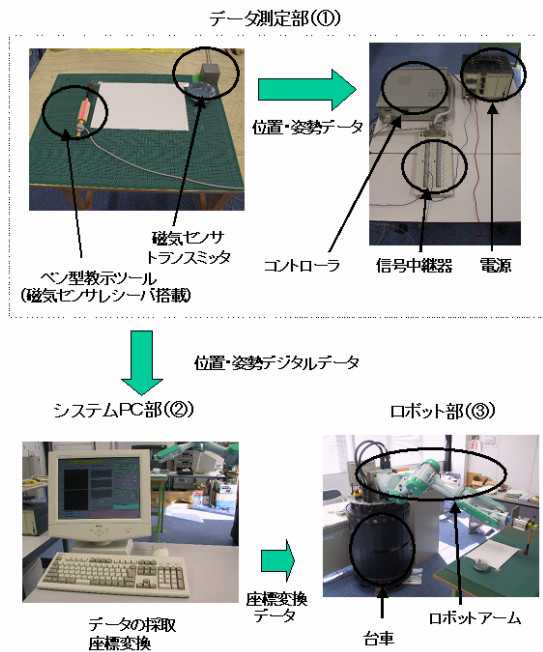


図1 システムの構成

3. システムの改善

3.1 位置と姿勢測定精度の改善

本システムは筆の位置と姿勢の検出にポヒマス社の磁気センサを用いている。この磁気センサから出力するデータは周囲の金属の存在による磁場の歪みの影響を受けやすい特性を持っている。そのため磁気センサのレシーバやトランスミッタの周囲に金属が存在すると出力データに歪み誤差が生じる。人が生活する環境には必ず金属が存在する。そのためにこのセンサを使う際、教示を行う環境での歪み誤差の量を把握し、歪みが大きければ環境を改善する必要が出てくる。

作業空間（研究室環境）の磁気センサの歪み特性を知るため、縦250mm、横350mm、高さ100~200mmの教示作業空間を縦25通り、横35通り、高さ3通りの格子状に分割し、その交点にレシーバを置いた時の出力データを測定した。レシーバを図2（レシーバがトランスミッタより100mm高い空間）の様な空間の格子点に置いたところ、レシーバの出力からは図3（a）環境改善前のような出力を得た。A3用紙の空間の範囲内でトランスミッタから最も離れた箇所での出力は高さ方向に約45mm程度の歪みが生じていることが分かった。この環境のデータをそのまま利用すると筆の位置を忠実にデータとして取り込むことが出来ない。そのため金属によるセンサの歪み誤差を減らすために、教示作業台として使用した市販の机（フレームと脚に金属を使用）を釘などの金属を一切使用せずに製作した木製作業台（縦900mm、横900mm、高さ750mm）に変更し、筆記動作を行う教示作業台付近に存在する金属を取り除いた。このような環境改善を行った後に同じ

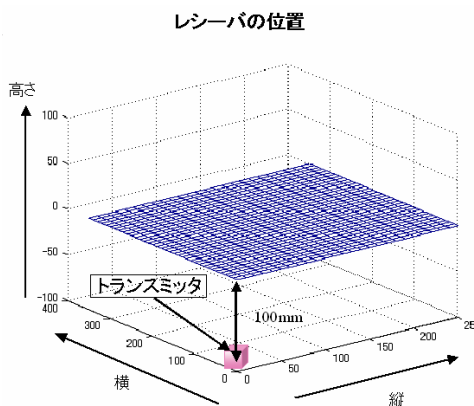
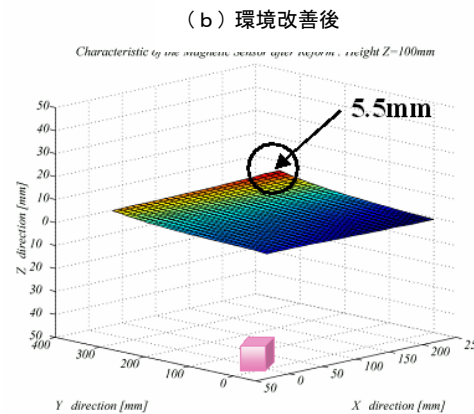
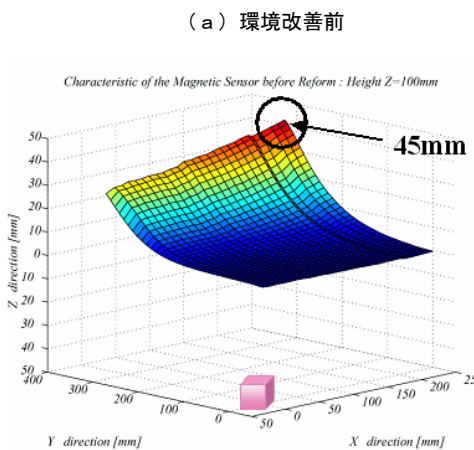


図2 レシーバの位置（高さ100mm）



(c) 拡大図

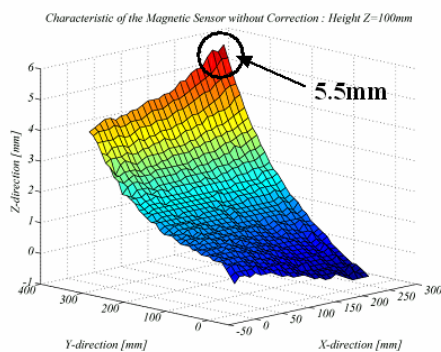


図3 環境改善前後の出力歪み特性

測定をしたところ図3 (b) (c) 環境改善後の様に最大約5.5mm程度の歪みに収まった。また姿勢に関しても同様に環境改善によって歪みが減少した事を確認している。

以上の環境改善を行った後、改善の効果を確認するため筆記動作の評価を行った。この結果を図4に示す。

(a)環境改善前の人間とロボットの文字を比較すると、トランスミッタとの距離が離れている箇所ほど太字になる傾向があり、近いほど細字になっている。これは図3

(a) 環境改善前のグラフが示すように、センサの歪み特性の影響を直接受けているからである。(b)環境改善後の両者を比較すると人間で筆記した文字をロボットが正確に再現出来ている事が分かる。

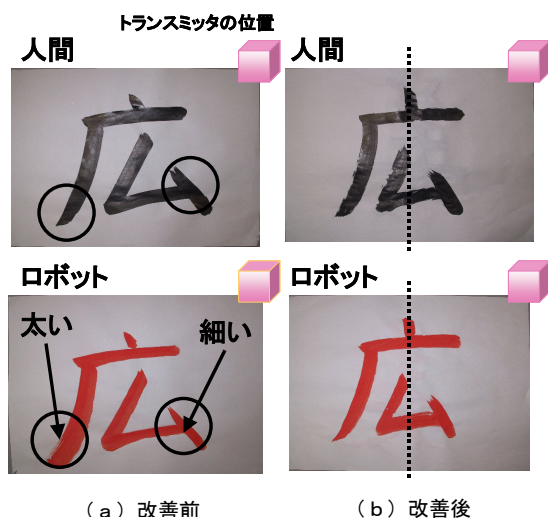


図4 環境改善による筆記文字の比較

3. 2 システム全体の改善

従来のように教示動作の確認のために実施した比較的短時間で行う「習字作業」ではなく、本年度は「筆を用いた絵付け」に特化してシステムの構築を行ったためシステムを改善する必要が生じる。システム全体の問題点と改善点を表1に示す。以下にシステム構成別に改善点を報告する。

(1) データ測定部

比較的長時間の絵付け作業を想定して筆を持ちやすくし、筆記動作中に筆先が見やすいように、グリップと磁気センサ以外の部品をすべて取り外した。さらに紙、絵皿の位置決めが行いやすいように方眼紙マットを敷いた。

(2) システムPC部

システム画面(筆の軌道の表示)を見やすくし、教示採取時間を長くできるようにシステムプログラムの変更を実施した。

(3) ロボット部

絵付け作業中における筆の位置、姿勢、速度の多様な変化をロボットで再現すると、動作中に全体が揺れるため精度や位置決めの問題が生じる。この件に関しては今後一体型ロボット教示システムの製作によって解決をする。

絵付け作業は習字作業と異なり作業時間が長時間に及ぶため、筆先にインクや顔料を補充する動作と、筆先を整えるため容器に筆を撫でる動作が必要となるので、筆の移動範囲が広くなり、筆の回転動作が多くなる。この改善としてロボットが筆記をする際、腕を伸ばした姿勢(図5 (b))で筆記をさせて可動範囲を拡大し、アーム先端の手首を改善(図6 (b))することにより絵付け作業における動作を再現しやすようにした。

表1 システム全体の改善点のまとめ

問題点	改善内容
データ測定部	
1. 位置・姿勢データの測定精度が悪い 2. ペン型教示ツールが持ちにくい 3. トランスミッタと紙の位置決めにかかる時間がかかる	1. センサの特性を測定し環境改善を実施。 2. グリップと磁気センサ以外の部品をすべて取り外した 3. 方眼紙マットを敷設
システムPC部	
1. システム画面が解りにくい 2. 教示データ採取時間が短い(約2分)	1. 教示システム画面の全面改良(解りやすい表示に変更→今後さらに使いやすいシステムに変更予定) 2. システムプログラムの変更(約2分→約15分に変更)
ロボット部	
1. ロボットアームが高速動作をすると全体が揺れる(60cm/秒以上) 2. ロボットと作業台の位置決めにかかる時間がかかる 3. ロボットアームの可動範囲が狭い	1・2. 一体型ロボット教示システムを製作することによって解決予定 3. ロボットアームの姿勢のプログラム変更とアーム先端の形状の変更により解決

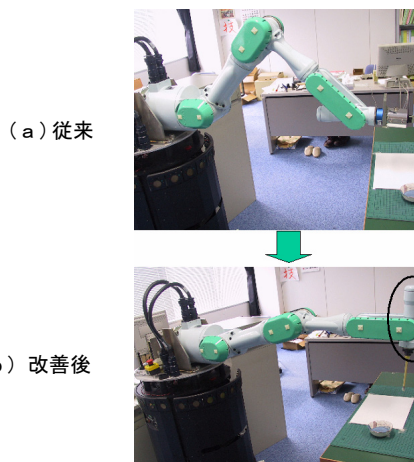


図5 ロボットアームの姿勢改善

(a) 従来 (b) 改善後

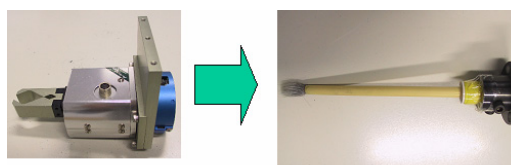


図6 手首の改善

4. 磁器の絵皿を用いた評価試験

本システムを用いて素焼きの磁器の絵皿に絵を描いて製品を製作する評価試験を行った。この試験では単に素焼きの絵皿に絵を描かせる動作だけでなく、描画途中に筆に容器内の顔料を補充させたり、顔料補充後に筆先を整えたり、顔料を拭き取るため容器の縁に筆を撫でる動作もすべて教示した。顔料には磁器製品に用いる“ゴス”を用い、筆も磁器の絵皿専用の筆を使用した。

図7 (a) に陶芸作家の完成作品、(b) にロボットが描いた素焼き状態の作品、(c) にロボットが製作した完成作品の結果を示す。人間(陶芸作家)とロボットの出来上がった製品を比較すると細部には若干の違いは見られるが、ロボットが筆で描いた絵皿はプリントで磁器製品に印刷したものでは表現できないような顔料の濃淡が見事に表現されている。

今後さらに両者を近づけるためには筆の位置と姿勢をロボットに忠実に再現させるだけでなく、顔料の調整、筆記動作中の筆の状態、その他環境などを一致させる事が必要になってくると思われる。

5. まとめ

本年度はロボット教示システムを県内の地場産業へ実用化出来るように、昨年度までのシステムの問題箇所を抽出し、改善を行うことにより、以下のような成果を得た。

- 【1】人の筆記動作に用いる筆の位置と姿勢検出精度をセンサの特性試験によって特性を把握し、環境改善を行うことによって筆の位置、姿勢検出精度の向上を図った。
- 【2】本システムを磁器の絵皿の絵付け作業に応用できる可能性を確認できた。

6. 謝辞

本研究で行った磁気センサの特性データの測定、解析には岐阜大学山田博行氏のご協力を頂きました。また磁器製品の絵皿の製作には陶芸作家安藤實氏にご協力頂き、(株)カネコ小兵製陶所、(株)東産工業所から試料の提供、システムに関するご意見、ご指摘を受けています。深く心から感謝します。

文 献

- [1] 柘植英明, 谷和男, 稲葉昭夫, 棚橋英樹, “ロボット教示高度化のためのセンシング手法に関する研究”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告, pp.21-24, 2001.
- [2] 柘植英明, 谷和男, 田中等幸, “ロボット教示高度化のためのセンシング手法に関する研究”, 岐阜県生産情報技術研究所研究報告, pp.49-52, 2002



(a) 人間 (陶芸作家完成作品)



(b) ロボット (素焼き状態での作品)



(c) ロボット (完成作品)

図7 人間とロボットが製作した磁気絵皿