

特集
伝承
～志を次世代に～

Special Features
Tradition
Passing aspirations on to the next generation

次の世代へ
To the next generation

動きを伴う陶芸技能の保存・伝承の試み

藤本英雄

FUJIMOTO Hideo

名古屋工業大学大学院/情報工学専攻/教授
ものづくりテクノセンター長



1—はじめに

伝統技能とは、伝統的な工芸品などを作るための高度な技術であり、その多くは手工業で、永年にわたり職人から職人へ、試行錯誤や改良を経て伝えられている。陶芸などの伝統技能においては、作品などの有形で静的な結果も大切であるが、製法などの動きを伴った技、つまり無形で動的な過程も大変重要である。

動きを伴う技は、体験と訓練により体で覚えるという方法によって伝承されているため、その技術の習得には長い年月を必要としている。これに対し、近年技能の保存、伝承において写真やビデオ映像などの利用も試みられるようになってきている。

本稿では、人間の動きを伴う技と言われている部分を最新の立体映像技術やバーチャルリアリティ技術を用いて視覚化して記録すること、近年話題になっている力覚、触覚を含めて保存、伝承する技術について、力覚データの計測や遠隔陶芸ロボットシステムの開発¹⁾などの事例を上げて説明する。

2—文化資源の保存伝承

伝統技能には、ものづくりという知能レベルの開発、設計、管理のような静的なもの、製造、運搬のような動きを伴う匠の技と言われている動的なもの両方がある。知識には、個人の経験や学習によって蓄積され、文章や図表によって表わすことが難しい暗黙知と、文章や図表など何らかの形で他人に伝達できる状態に整理された形式知があり、静的な暗黙知を形式知に変換して保存、伝承したり、組織として活用したりするナレッジマネジメントという手法が話題になっている。これに対し、動きを伴う暗黙知の技能伝承については、文部科学省からの提言²⁾においてもその重要性が指摘されている

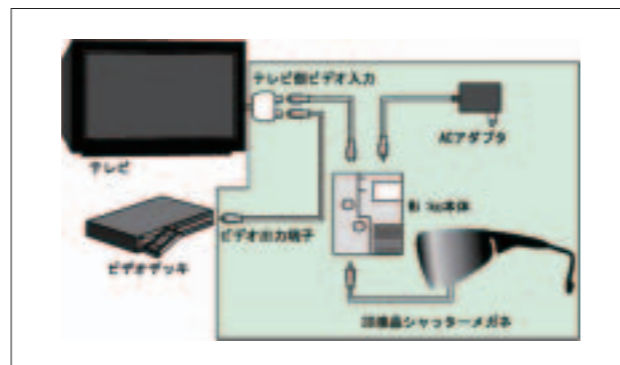
が、その手法等は確立されていない。

動きを伴った技能の保存については、近年映像として記録する方法が一般的になっている。我々は、保存もまた伝承の範疇として考え、技能を臨場感のある3次元立体映像として保存することに取り組んでいる。また、映像は視覚のみであるが、視覚だけでなく触覚や触感についても研究を進めている。この他にも、結果だけでなく過程、時間的な要因や、人から人への伝承における感性的な部分など、多くの課題が存在する。

この他、技能の保存伝承には教育・訓練の方法論も密接に関係するため、工学技術を用いた新しい教示の方法や、動きを伴った技を伝える方法についても紹介する。

3—陶芸技術のデジタルマイスター化

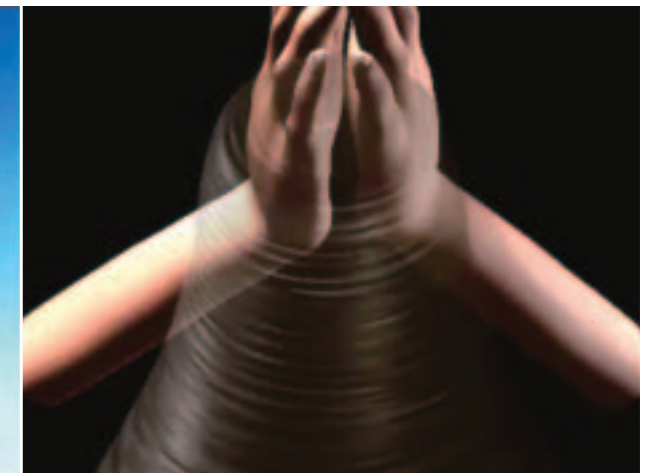
陶芸は、従来職人から職人への伝承として受け継がれて来ている。職人の手指の動きをデジタルデータとして取り込み、コンピュータ・グラフィックス(以下、CG)により再現し、これをデータベース化するプロジェクトを実施した。職人の技能伝承(デジタルマイスター)をアーカイブ化(保存・継承)することにより、未来への技術伝承、教育、訓練への新基軸となり得ると考えている。



■図1—3D立体視システム



■図2—3Dビデオ

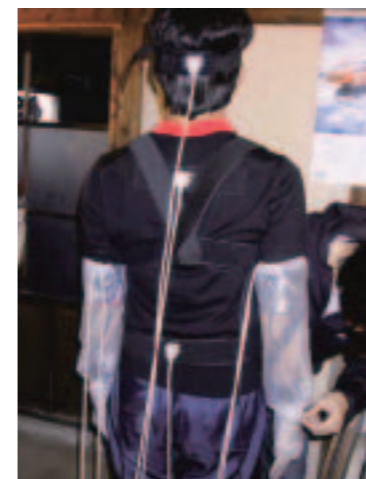


■図3—バーチャルCGムービー

陶芸には、①土練り、②形成、③乾燥、④素焼き、⑤絵付け、⑥釉掛け、⑦本焼きなど、非常に多くの工程を含んでいる。これら陶芸の一連の流れの中で、本プロジェクトでは形成の工程を取り上げた。また、形成の手法にも、ろくろや手びねりなど素手による作業と、コテやヘラなどの道具を用いた作業がある。ここでは、ろくろを用いた手による作業を対象とした。

陶芸の形成技術においては、陶芸家の手の動き、力の入れ方、そして指先の感触などが重要となる。これら形成技術の保存伝承には、形状や動作などの視覚的な情報が重要である。まず形成技術の保存伝承の第1段階として、臨場感のある3次元映像で、動きのある技を記録した。ここでは、3DビデオとバーチャルCGムービーを紹介する。

3Dビデオとは、レンズが2つついた特殊なカメラで撮影することにより、右目用と左目用の映像が交互に入った特殊なビデオである。この3Dビデオを液晶シャッターメガネをかけて見ることにより、撮影した映像を立体視



■図4—モーションキャプチャ(左)とデータグローブ(右)



■図5—陶芸家デジタルマイスターデータベース

することができる。本プロジェクトでは、陶芸家の手の動きを特殊カメラで撮影し、陶芸の形成過程の3Dビデオを作成した。本ビデオにより、陶芸職人の形成過程を立体的に何度も繰り返して観察することが可能となる。

次に、陶芸家の動作計測を行った。まず陶芸家の手や指の寸法を正確に計測し、コンピュータの中に陶芸家のデジタルモデルを作成した。そして磁気式の3次元モーションキャプチャおよびデータグローブを使用し、陶芸作品を形成中の陶芸家の腕と手、指の動きを計測した。計測したデータを用いてコンピュータ内のデジタルモデルを動かすことで、CG上で陶芸家の動きをリアルに再現することができる。

続いて、陶芸家のデジタルモデルと、計測した陶芸家の動作、そして粘土の変形の様子を組み合わせることで、バーチャルCGムービーを作成した。今回作成したバーチャルCGムービーは、陶芸家の腕と手、そしてろくろの上で回転する粘土が画面上に映し出され、陶芸作品を形成する一連の動作が再現される。もちろんバーチャルCGムービーも3D立体視が可能である。

バーチャルCGムービーは、3Dビデオと比較して次のような特徴を持つ。まず、陶芸家のデジタルモデルと計測した動作データに基づきCGを作成しているため、映像の視点を自由に変更することができる。通常では撮影

が難しいカメラアングルからの映像も自由に観察することができる。また、粘土や腕を半透明にして提示することで、従来は隠れて見えなかった粘土の裏側の手の動きや、手の中での粘土の様子を観察することができる。この他にも、指と粘土が接地している面の動きを提示したり、人が粘土に加えている力の情報を提示したりするなど、映像以外の情報を重ねて提示することも可能である。

陶芸家からは、これらの3DビデオやバーチャルCGムービーについて、従来は見られなかった多くの情報が得られ、陶芸家の教育訓練にとっても有効であり、実用化が期待できるという評価を得ている。

また、以上の成果を利用して、陶芸家個人の詳細情報が検索可能な陶芸家デジタルマイスターデータベースの開発を行った。このデータベースには、陶芸家の個人データや代表的な作品情報、3DビデオやバーチャルCGムービー、動作データが記録保存されており、ネットワークを介してダウンロードすることができる。例えば、世界中の陶芸家データベースを作成することで、電子情報網(ネットワーク)を介した陶芸家の共同制作も可能である。これらの技術を利用して、瀬戸市デジタルミュージアム³⁾が開発され、公開されている。

4—陶芸における力覚データ計測

陶芸では、作品などの有形で静的な結果だけでなく、その製造工程における職人の動きや技、つまり無形で動的な過程も大変重要である。陶芸の成形時における手の動きや粘土の形状は、カメラやモーションキャプチャを用いてデジタルデータとして取り込み、映像やCGとして保存、再現することができる。しかし、粘土を変形させて作品を形作るためには、動作や形状などの視覚情報だけでなく、力の入れ方や指先の感触などの目に直接見えない力覚情報もまた重要であり、これらも併せて保存、伝承する必要がある。そこで、本研究では陶芸のろくろ成形における力覚データの計測に挑戦している。

粘土とは、岩石や鉱物が風化分解または変成してきた微細な粒子の集合体であり、水を含むことで吸着性、可塑性、粘性などの特徴を持つ。粘土を変形させる際に、コテやヘラなどの道具を使用する場合は、道具の中に力覚センサを装備することで操作力を計測することができる。これに対し、素手による変形操作の場合、人間の手や指も柔軟物であり、粘土と接触すると変形する。通常の作陶時の動作や感触を阻害せずにデータを計測するため、本研究では小型の感圧導電性エラストマーセンサを指先に貼り付け、力覚データの計測を



■図6—陶芸における力覚データ計測の様子

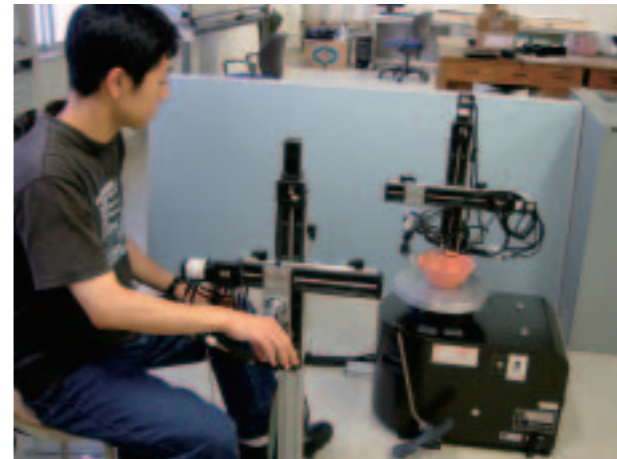
行った。親指および中指の先端にセンサを貼り付けた手の様子および力覚データ計測時のろくろ成形の様子を図6に示す。

図6では、小さな茶碗を成形するために、親指と人差し指で粘土を挟み込み、胴を引き上げる動作を行っている。変形前後の粘土の形状や水分量による粘土の硬さなどは毎回変化するため、適切な操作力のパターンを計測することは難しい。しかし、力覚データ計測を重ねることで、親指と中指の操作力のバランスが良いときれいに成形すること、胴の粘土の厚さが薄く半径が大きくなると小さな操作力でも容易に変形すること、変形が偏るとろくろの回転と同期した操作力の乱れがみられること、初心者は力のバランスやタイミングが悪いため形がいびつになっていることなどが、映像および力覚データから見て取れる。今後陶芸における力覚データ計測を重ね、ろくろ成形時の操作力の可視化や保存、訓練に活用する。

5—遠隔陶芸ロボットシステム

力覚情報は、映像やCGで提示するだけでなく、体験することでさらに効果的な訓練が可能となる。本研究室では、遠隔操作システムや技能の教育訓練に関連する研究として、触覚センサ内蔵ソフトフィンガおよび遠隔臨場感多指ハンドシステムの開発⁴⁾、倒立振り動作の教示に関する研究⁵⁾、手術訓練シミュレータの開発⁶⁾などの実績がある。そこで、これらの技術を応用し、力覚情報を体験可能な遠隔陶芸ロボットシステムの開発を行った。

図7では、左側の人間が操作しているロボットがマスターロボット、右側のろくろの上に設置されているロボットがスレーブロボットである。マスタおよびスレーブロボットは同構造で、手首部分の上下および前後、手首の回転および2指の開閉の4自由度を有しており、サジタル(矢状方向)上平面内で動作する。また、マスタおよびスレーブロボットのハンド部には力覚センサが搭載されており、操作者の把持力やスレーブロボットの把持力を計測可能である。



■図7—遠隔陶芸ロボットシステム

開発した遠隔陶芸ロボットシステムを用いて実験を行った。遠隔操作ロボットを用いて人間と同様に2本指でろくろ上の粘土を把持し成形を行うことは世界初の試みである。

本システムでは、マスターロボットおよびスレーブロボットそれぞれに制御用コンピュータが準備され、2台のコンピュータはネットワークを介して接続されている。このため、必要に応じて位置や力の情報を一方向または双方向に送受信することが可能である。本研究では、マスターロボットのインピーダンス特性の違いや力覚フィードバックの有無による陶芸操作への影響について検討している。

例えば、インピーダンス制御によりマスターロボットのダイナミクスを低減させると、小さな力でもマスターロボットを操作することが可能となるが、操作者の手の震えなどの影響が大きくなる。逆に、マスターロボットの粘性特性を高く設定すると、素早い動作はしにくくなるが、支えがあるように安定感が増して操作しやすく感じる。また、力覚フィードバックを行わない場合、自由にマスターロボットを操



■図8—遠隔陶芸ロボットによる成形の様子

作することが可能となるが、スレーブロボットの粘土への接触の有無や成形に失敗したことは目で見て確認しなければ分からない。これに対し、力覚情報をマスターロボットにフィードバックすると、スレーブロボットが粘土に接触したことや粘土を変形させる時の反力、ろくろの回転による反力の変化、反力のバランスの変化等を操作者は指先から感じることができる。一見ロボットを操作しにくくなっているようにも感じられるが、ろくろによる粘土の成形は元々難しい手技であり、手技の難しさが操作者に伝わったと考えられる。この遠隔陶芸ロボットシステムを用いることで、陶芸における力覚情報の重要性の検証や、新しい技能訓練方法の開発などに取り組んでいる。

6—おわりに

本稿では陶芸を例として、動きを伴った技能の保存、伝承について、3DビデオやバーチャルCGムービーなどの映像技術、デジタルマイスターアーカイブなどの情報技術、力覚データや遠隔陶芸ロボットなどの計測、メカトロニクス技術の技能伝承への応用例について紹介した。視覚系映像技術と力触覚系技術が融合することで技能伝承の様々な可能性が大きく広がることは間違いのないと言える。

<参考文献>

- 1) 坂口、林、永井、菊植、藤本：陶芸技能の保存・伝承に関する研究—力覚計測およびマスタ・スレーブシステムの開発—、日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集(2004)
- 2) 文化資源の保存、活用及び創造を支える科学技術の振興、文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告書(2004)
- 3) 瀬戸市デジタルミュージアム、http://www.drj.jp/digital_museum/
- 4) 佐野、西、宮西、藤本：触覚情報に基づく遠隔臨場感多指ハンドシステムの構築、計測自動制御学会論文誌、Vol.40、No.2(2004)
- 5) 藤本、佐野、松下：アクティブメディアを用いたコーチによるスキル伝達、日本ロボット学会誌、Vol.19、No.2(2001)
- 6) 竹内、胡摩、佐野、藤本：インタラクティブな手術シミュレーションのための柔軟物操作モデリング、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.8、No.2(2003)



■図9—遠隔ロボットを用いて成形した作品の断面図