

2 デジタル化による動きを伴う伝統技能の保存、伝承

名古屋工業大学大学院工学研究科教授 藤本英雄

2 - 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、100年以上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。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。

本報告では、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人工現実感（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や、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、機械系、電気系、情報系などの工学技術の中で何が利用できるかについて、実例を交え、現状と未来について説明する。

2 - 2 文化資源の保存伝承

本報告では、陶芸家や宮大工の伝統技能など、人間の動きを伴った技、文化資源の保存伝承に絞って紹介する。また、舞踏や様々なスポーツなど、芸術的な要素の強いものも動きを伴うということで、将来的には含まれてくる分野である。また、伝承の必要な技能として、技能以外にものづくり文化も含んで考えていく。

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と、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物の両方がある。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 (Knowledge Management) 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がどこまでできるのか、近い将来に実現可能なことや今後の課題について、動的な匠の技に焦点を絞って紹介する。

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三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、伝統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触れていく。近年医学と工学の接点の分野が話題になっており、外科手術支援や手術シミュレーションの開発が行われている。これらの分野も文化資源の保存伝承に関連が深いので、我々の取り組んでいる先行研究を幾つか紹介し、併せて関連する要素技術についても述べる。

2 - 3 技能の保存伝承に関連する研究活動の紹介

技能の保存伝承に関連して、次のような研究活動を行っている。

- 陶芸技術のデジタルマイスター化と伝承方法の確立と再現⁽¹⁾
- 伊勢神宮における技能とその保存伝承⁽²⁾
- 技と感性の力学的触覚テクノロジー講座⁽³⁾
- 医学系分野における技能の教育・訓練

これらについて順次紹介していく。

(1) 陶芸技術のデジタルマイスター化と伝承方法の確立と再現⁽¹⁾

本事業は、平成 14 年度産学提案型情報技術活用先進システム構築事業としてデジタルマジック株式会社、株式会社東海ビデオシステム、および名古屋工業大学により実施された研究開発プロジェクトである。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が、本プロジェクトでは職人の手指の動きをデジタルデータとして取り込み、コンピューター・グラフィックス (Computer Graphics、以下「CG」という。) により再現し、これをデータベース化することを目的としている。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る。

陶芸には、例えば 土練り、 形成、 乾燥、 素焼き、 絵付け、 釉掛け、 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成形の工程を取り上げた。また、成形の手法にも、ろくろや手びねりなど素手による作業と、こてやへら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が、これとあわせて力覚、触覚の情報も欠かせない。まず形成技術の保存伝承の第一段階として、臨場感のある三次元映像で、動きのある技を記録する試みを実施した。そしてプロジェクトの今後の課題として、力触覚の重要性や可能性についても検討した。

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することができる。図1に、3D 立体視システムの概要を示す。本事業では、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。図2に3D ビデオの一例を示す。

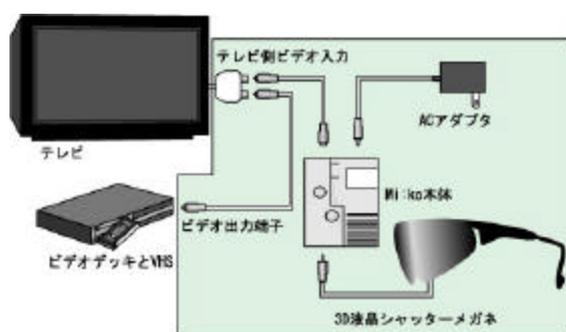


図1：3D 立体視システム

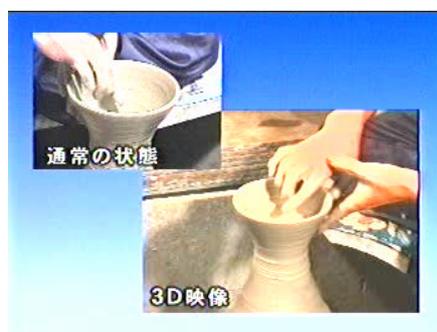


図2：3D ビデオの一例

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、コンピューターの中に陶芸家のデジタルモデルを作成した。そして図3に示す磁気式の三次元モーションキャプチャー、および図4に示すデータグローブ等を使用し、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ー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。



図 3：モーションキャプチャー 図 4：データグローブ

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、従来は隠れてい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。バーチャル CG ムービーの一例を図 5 に示す。

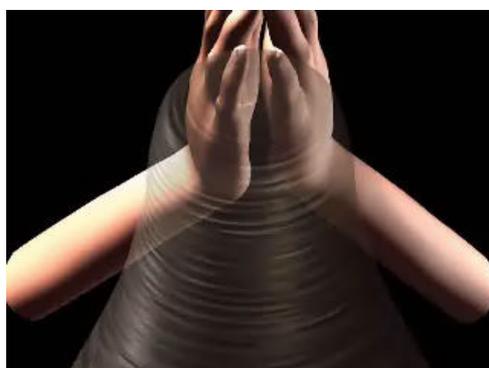


図 5：バーチャル CG ムービーの一例

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を作成した。データベースのトップページの様子を図 6 に示す。このデータベースには、陶芸家の個人データの他に、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(電子情報網)を介してダウンロードすることができる。現在は一名の陶芸家について試験的に作成したが、今後世界中の陶芸家データベースを作成することで、ネットワークを介した陶芸家の共同制作も可能である。データベース検索画面の例を図 7 に、また陶芸家の個人データの例を図 8 に示す。

本事業の今後の展開としては、動作と同時に陶芸家の手や指にかかる圧力も計測できるシステムを開発することで、動作データと併せて力触覚のデータも保存および提示することを目指している。また、記録保存した動作および力触覚データを転送することで、遠隔地にあるロボットを用いて陶芸を行うことも考えている。本システムを使った陶芸職人の教育・訓練、次世代に職人の技術を伝承していくためのデジタルマイスターミュージアム設立の足がかりとなるような研究・開発を続けている。

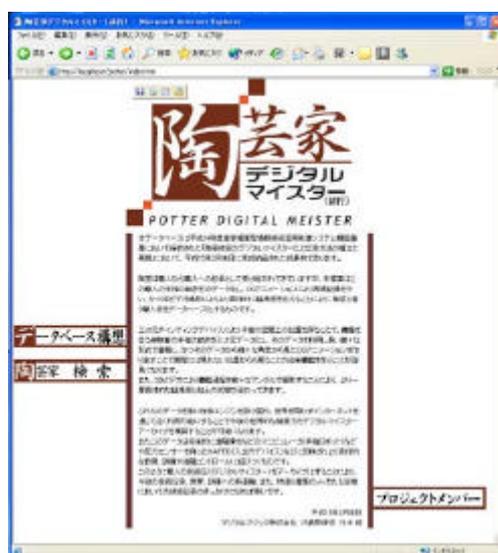


図 6：データベーストップページ



図 7：データベース検索画面



図 8：陶芸家個人データ（鈴木克弥氏）

この他、映像情報、力触覚情報とマスター・スレーブロボットやネットワーク等を用いることで、バーチャル陶芸や、遠隔陶芸など、臨場感のある陶芸体験をすることができる。遠隔臨場感陶芸システムの構成を図9に示す。ここで、職人の技の中で動きに関する部分はモーションキャプチャー等のセンサーを用いることで計測可能である。そこで、人間が粘土にかけている力や触覚を検出するセンサーや、力触覚を人間に提示するディスプレイ技術が必要となる。

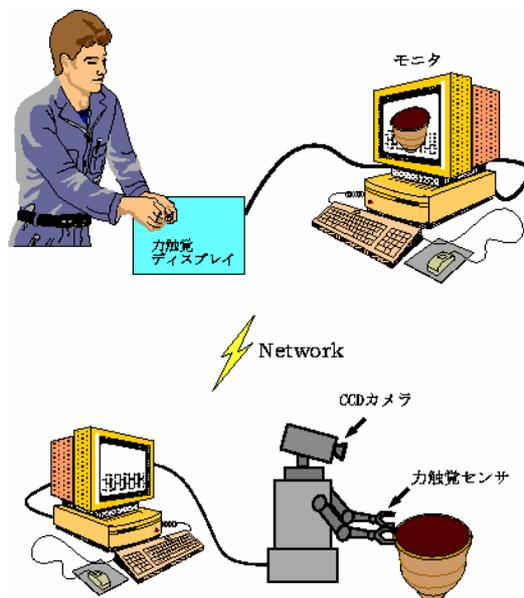


図 9：遠隔臨場感陶芸システム

陶芸技術の保存伝承という観点から現在の技術をまとめると、まず視覚系については、第一段階として作品を保存する、虎の巻など文字で記録する、そし

て師匠の技を目で盗んでいた段階から、写真や二次元ビデオに記録する第二段階に進み、そして今回紹介したように、三次元の立体ビデオやCGを用いた透視、自由に視点が変えられる人工現実感（バーチャル・リアリティ）を利用する段階に来ていて、3Dカメラやモーションキャプチャー、データグローブといった道具が使われている。そして力覚や触覚と映像を組み合わせる第四段階について、現在研究として取り組んでおり、ここで力覚センサーや触覚センサーが必要となってきた。

また、遠隔操作および力触覚系については、一方向にデータを転送して遠隔地からロボットを操作するユニラテラル遠隔操作については実現できており、現在バーチャル粘土、自動陶芸ロボット、双方向遠隔操作について取り組んでいる段階である。人間が操作するマスターロボットの機構、触覚ディスプレイ、また技の教示・伝承方法の開発などが課題となっている。

(2) 伊勢神宮における技能とその保存伝承⁽²⁾

昨年まで、NEDOのプロジェクトとして、伊勢神宮における技能とその保存伝承というプロジェクトを実施した。宮大工の技術伝承について数時間の記録ビデオを撮影し、分析を行っている。伊勢神宮では、20年おきに式年遷宮が行われており、これまでに60回以上、つまり1000年以上にわたって続けられてきている。この20年間隔で技術を伝承する様式は、大変興味深い対象である。

式年遷宮では伊勢神宮全体を建て替えるが、技術の伝承など全体をまとめているのが総棟梁であり、今回は総棟梁の宮間熊男氏に焦点を当てた。例えば丸い柱を鉋で削ったり、のみで柱に穴を空けたりする作業は大変難しい。このような作業を数年経験した若い職人に、熟練した職人が指導を行っている様子を撮影した。特にその中でも、視覚、動きを見るだけでなく、力覚、触覚などをどうやって師匠から弟子に伝えるのかということが非常に重要な観点である。このプロジェクトにより、次のような結果を得た。

- 技術においては、五感の使い方が重要である。その中でも触覚が最も重要で、次に目で見えて光沢や傷を見ることが大切である。
- 技術を教えるにはコツがある。ある程度の技術は映像によって伝えられるが、力、筋肉、神経の使い方は実技でなければ伝えられない。
- 技能や熟練技術の解明の必要性がある。これは、技術の世代交替にとっても役に立つ。

(3) 技と感性の力学的触覚テクノロジー講座⁽³⁾

伝統技能の保存伝承と同様の問題が、ものづくりの現場でも生じている。その道何十年という熟練技術者の技を保存し、次の世代に伝承する問題について検討を行っている。

自動車産業を例にとつて考えると、例えば車の車体の表面上にほんのわずかなミクロン単位の突起があった場合、通常は人が目で見ても全く分からない。ところが、日本の自動車会社ではどこでもこのような検査を人間が行っており、人の目に見えないようなミクロン単位の微妙な突起を見つけられる熟練技術者が会社には数人いる。このような技術をどのように次の世代に伝えればよいのか、このような問題について科学技術を用いて解明しようと取り組んでいる。

では、目で見ても見えず、素人がさわっても分からないような微妙な突起を熟練技術者はどのように見つけているかということ、素手に軍手をはめた状態で車体を触ることで見つけている。これはどのようなメカニズムに基づいているのか、この技術をどのように次世代に伝承したらよいのか。

現在の熟練技術者は、このような技術を何十年という訓練と経験から身につけてきたが、これからの技術者が同様の方法で学んでいくことは困難である。これら熟練技能の保存伝承の支援を目的として、トヨタ自動車株式会社の支援により技と感性の力学的触覚テクノロジー講座を設置し、5年計画で研究を行っている。

(4) 医学系分野における技能の教育・訓練

広く医学系の分野でも、技能の教育・訓練が問題となっている。若い医師や歯科医師の訓練を患者を用いて行うことはもちろんできないが、獣医師の訓練においても動物実験の実施が困難な状況となっている。このような背景から、コンピューター技術を用いた訓練、模擬訓練（シミュレーション、Simulation）を行いたいという強い要望があり、歯科医や外科医との共同研究を行っている。

ア 歯科治療訓練シミュレーター⁽⁴⁾

歯科医師から、歯を削る時のドリルの使い方を訓練するためのシステム開発の要望が出たため、歯科治療訓練シミュレーターの開発を行っている。従来は、図10に示すように歯科訓練用のマネキンを用いて訓練が行われている。しかし、患者の動きや切開した際の流血などが反映されず、臨場感が乏しい。ま

た、歯を削る際のドリルの使い方はフェザータッチとも呼ばれ、羽で触れるようなとても微妙な感覚が要求される。このフェザータッチの習得には、力覚を含む反復練習が必要となるため、人工現実感技術を用い、患者の動きや流血に対応可能で、かつ切削反力の可視化と提示が可能な訓練シミュレーターを開発した。歯科治療訓練シミュレーターの画面の様子を図 11 に、切削反力の可視化と提示の様子を図 12 に示す。



図 10：歯科訓練用マネキン



図 11：歯科訓練シミュレーター



図 12：切削反力の可視化と提示

イ 外科手術訓練シミュレーター^{(5)、(6)}

医師が術前に行うイメージトレーニングの支援や、医師の教育訓練に用いるシステムとして、外科手術訓練シミュレーターの開発を先行して行っている。本システムの特徴の一つとして、図 12 に示すマイクロドームシステムが挙げられる。

現在、医療現場において、内視鏡や顕微鏡など様々な映像機器が用いられている。これらのシステムでは、術者と手術対象の間に撮影用の機器が設置され、

映像は別の場所にあるモニタに映し出されるため、術者の視線と手元の方向が異なってしまいます。このような状況にも医師は柔軟に対応し、高度な手術を実現しているが、やはり視線の方向と作業を行う方向が一致している方が圧倒的に手術はやりやすく、事故も起こりにくい。このような自然な操作感覚を直感的操作と呼んでおり、マイクロドームシステムを用いることで実現できる。

マイクロドームシステムは、半球状の背面投影型ディスプレイと力覚提示システムを組み合わせた物で、操作者は図 12 に示すようにドームの前に立ち、液晶シャッターメガネをかけた状態で力覚提示システムを操作する。ドーム内には操作対象物が立体的に表示されるが、それと共に力覚提示システムの先端も同時に提示され、あたかもドーム内の対象物を直接操作している感覚が得られる。ドーム内の対象物を操作している直感的操作の例を図 13 に示す。

また、外科手術の模擬訓練を行うためには、生体のモデルを作る必要がある。手術の対象となる臓器は柔軟物であり、操作を行うことで変形し、反力を生じる。そこで、実時間で計算が可能な人工現実生体モデルを開発している。人の肝臓の変形操作模擬実験の例を図 14 に示す。このモデルは、まず人間の断層画像から領域の輪郭を抽出し、輪郭を重ね合わせることで形状モデルを作成、この形状モデルを微小要素に分割した物理モデルに有限要素モデルアルゴリズムを適用することで変形と力覚の計算を行っている。

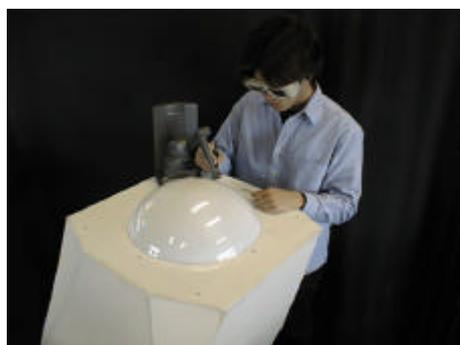


図 12：マイクロドームシステム

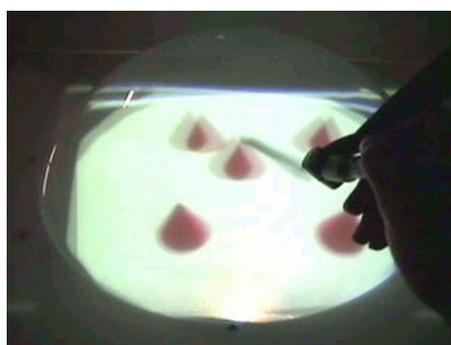


図 13：直感的操作の例



図 14：肝臓の変形操作模擬実験

2 - 4 関連する要素技術の紹介

これまでに紹介した技能の保存伝承に関連する研究で用いられていた技術、および今後応用が期待できる関連要素技術について紹介する。以下の技術は、すべて筆者の研究室で研究を行っている技術である。

(1) 遠隔操作ロボットハンド

図 15 に、マスター・スレーブ型遠隔操作ロボットハンドの写真を示す。図の右側がマスター（操作側）となる人間であり、図の左側がスレーブ（動作側）のロボットハンドである。マスターの動作をデータグローブを用いて計測し、そのデータをスレーブのロボットハンドに転送することで、人間の動作を再現可能である。本技術は、遠隔地のロボットを操作しながら陶芸を行う遠隔陶芸システムや、陶芸動作データの保存とロボットによる再現に利用できる。



図 15：マスター・スレーブ型遠隔操作ロボットハンド

(2) 触覚センサー内蔵ソフトフィンガー⁽⁷⁾

図 16 に触覚センサー内蔵ソフトフィンガーの写真を示す。ソフトフィンガーとは触覚を検知するセンサーの一種で、技能の保存伝承においてとても重要な要素の一つである。従来から力覚や接触を検知するセンサーは開発されているが、金属などの硬い素材が用いられているなど、人間の受容器とは全く異なる物であった。これに対し、ソフトフィンガーは人間の触覚機能の一部を模擬した物で、人間の指と同じように柔らかい素材で作られている点が大きな特徴である。例えば陶芸の粘土や生体の臓器などの柔軟な対象物を扱う場合、その変形の様子は対象物とセンサーの相互作用によって決定するため、ソフトフィンガーを用いることで、人間が柔軟物を操作した場合の触覚を計測することが可能となる。

図 17 にソフトフィンガーの構造を示す。人の表皮に相当する部分はシリコンゴム製で、指紋に相当する文様が表面に形成されている。また真皮に相当する部分はシリコンゲル製で、その中に皮膚の触覚受容器を模擬した小さなコイルばねが複数設置されている。シリコンゴムやシリコンゲルは柔軟なため、ソフトフィンガーの表面は人と同じように押されると容易に変形する。コイルばねの歪みを検出することで、接触力やすべり感覚を検知することができる。現在、このソフトフィンガーを用いることで、粘土の触感の計測について検討している。

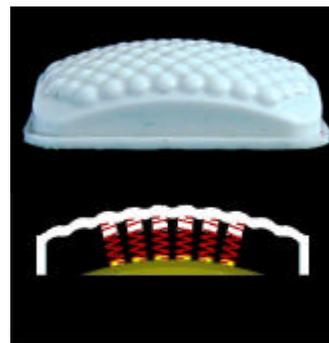


図 16：触覚センサー内蔵ソフトフィンガー

図 17：ソフトフィンガーの構造

(3) 力触覚マスター・スレーブシステム^{(8)、(9)}

図 18 および図 19 に、力触覚マスター・スレーブシステムのマスターロボットおよびスレーブロボットを示す。マスターロボットには、力センサーと超音波触覚ディスプレイが装備され、親指と人差し指による把持動作、および持ち

上げ動作が可能である。また、スレーブロボットは、先端にソフトフィンガーを装着した二指ロボットハンドで、マスターロボットの二自由度に対応した動作が可能である。

図 19 の写真では、スレーブロボットが表面が滑らかでつるつると滑るくさび形の対象物を把持している。このような対象物は、指による把持力が大きすぎると上にすべり、小さすぎると下に滑ってしまうため、正しく把持することが難しい。このようなすべり感覚をスレーブロボットのソフトフィンガーで検出し、マスターロボットに転送する。マスターロボットは、人間との接触部分に図 20 に示す超音波触覚ディスプレイが装備されており、ディスプレイ表面に圧電素子を用いて超音波進行波を発生させることで、すべり感覚を実現する。

本システムにより、力覚および触覚を有するマスター・スレーブシステムが実現されており、本技術は陶芸における粘土のすべり感覚の計測および提示に応用できる可能性がある。

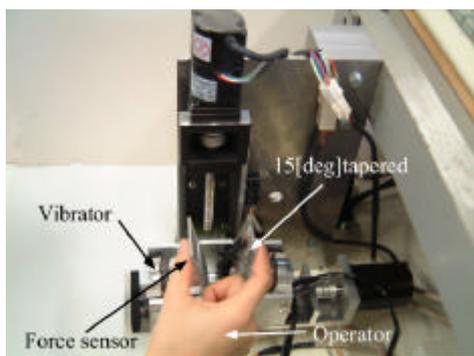


図 18 : マスターロボット



図 19 : スレーブロボット



図 20 : 超音波触覚ディスプレイ

(4) 倒立振り子動作の教示⁽¹⁰⁾

技能の保存伝承においては、力触覚の計測および提示だけでなく、技能の伝承方法、つまり教育・訓練の方法もまた重要な課題である。技能の訓練方法に関する研究として、倒立振り子動作の教示について検討している。

倒立振り子は、不安定な棒を立てる技術であるが、熟練しなければなかなか上手く立てられない。倒立振り子が上手に立てられない訓練者が、倒立振り子を上手に立てられる熟練者の動作を見よう見まねで練習したのでは、訓練にとっても時間がかかり、最後まで棒を立てることができないこともあり得る。これに対し、熟練者が力のかけ具合や倒立振り子を立てるコツを整理し、訓練者に的確に伝えることができれば、訓練時間が短縮され、技能の上達の度合いが高まり、効果的で確実な訓練が可能となる。図 21 に動作教示のイメージ図を、また、図 22 に動作教示実験の様子を示す。



図 21：教示イメージ

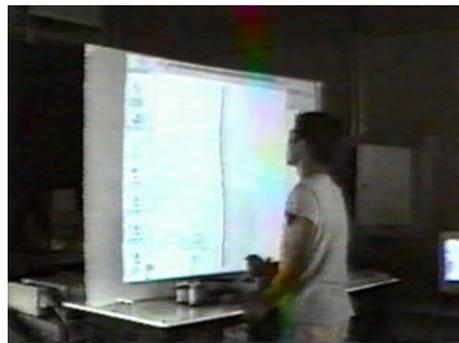


図 22：動作教示実験

(5) 柔軟物変形・切断模擬実験⁽¹¹⁾

コンピューターの中で、柔軟物の変形と力覚の様子をシミュレーションする研究を行っている。これは、外科手術模擬訓練において、臓器の変形、切断、刺通の実現に用いている技術である。図 23 に変形模擬実験の様子を、図 24 には切断模擬実験の様子を示す。

対象物を微小な要素に分割し、特性パラメーターと境界条件を与えることで、有限要素モデルを用いて実時間で変形と力覚の計算を行っている。現在は弾性体および粘弾性体の模擬実験を行っているが、これらの技術を応用することで、粘土などの塑性変形する物体の模擬実験も可能である。

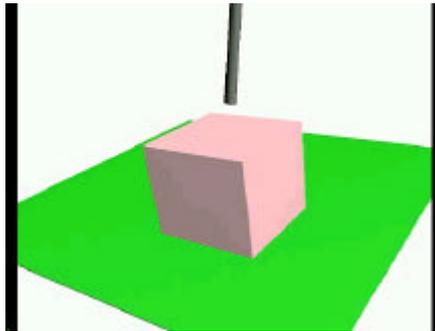


図 23：変形模擬実験

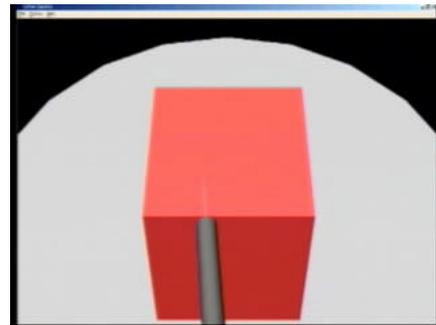


図 24：切断模擬実験

2 - 5 まとめ

伝統技能には、作品などの有形で静的な部分と、製法などの動きを伴った技、つまり無形で動的な部分の両方が含まれる。本報告では、伝統技能における動きを伴った技能を文化資源と捕らえ、それらの保存、伝承について議論した。

動作や技術など無形の技能は、文章や図表など形式的に表現することが難しいため、熟練者から未熟練者へと共通の経験を共有することで、言葉によらず体験により伝承されてきた。これに対し、近年写真やビデオ映像だけでなく、最新のデジタル化技術や情報技術を導入し、三次元立体映像やバーチャルCGムービーが作成され、動きを伴った伝統技能の保存、伝承に効果があることが示されている。

また、陶芸や宮大工の技能伝承において、視覚系の技術とあわせて、力覚および触覚が技能の保存、伝承に重要な役割を果たすことが分かってきた。そして力覚および触覚の計測、保存、伝達、提示技術について、現状および今後の課題を示した。

本報告では、ロボット工学、人工現実感（バーチャル・リアリティ）、遠隔操作、力触覚計測・提示技術等が文化資源の保存伝承にとっても有効であることを提言した。もちろん近い将来実現可能なことと現在の技術では実現が難しいことがあるが、実用化を目指して様々なプロジェクトを進めており、期待感が高い。視覚系映像技術と力触覚系技術が融合することで、様々な可能性が大きく広がることは間違いないと言える。

参考文献

- (1) 平成 14 年度産学提案型情報技術活用先進システム構築事業の成果について、陶芸技術のデジタルマイスター化と伝承方法の確立と再現、

- http://www.pref.aichi.jp/joho/tushin_kiban/sangaku/14seika.html
- (2) 宮間熊男：伊勢神宮における技能とその保存伝承、第5回生産学術連合会議、pp. 43-47 (2001)
 - (3) 技と感性の力学的触覚テクノロジー講座、
<http://www.toyota.nitech.ac.jp/>
 - (4) Lian-Yi CHEN, Hideo FUJIMOTO, Kotaro MIWA, Toshiyuki ABE, Atsuko SUMI and Yutaka ITO : A dental training system using virtual reality, Proceedings 5th IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation, CIRA2003, pp. 430-434 (2003)
 - (5) 佐野、藤本、梶野：マイクロドームシステムによる直観的遠隔操作、日本ロボット学会誌、20巻8号、pp. 860-867 (2002)
 - (6) 藤本、佐野、関谷：遠隔作業インタフェースとしての背面投射型球面ディスプレイの開発、精密工学会誌、68巻5号、pp. 671-675 (2002)
 - (7) 西、佐野、藤本：遠隔臨場感把持のための触覚センサ内蔵ソフトフィンガ、第20回日本ロボット学会学術講演会予稿集、1E34 (2002)
 - (8) 佐野、藤本、小崎、西、宮西：力触覚を考慮した多指ハンドによる遠隔臨場感把持、第7回ロボティクス・シンポジウム予稿集、pp. 118-123 (2002)
 - (9) 藤本、佐野、小崎、西、宮西：力触覚を考慮した多指ハンドによる遠隔把持、計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会講演論文集、1P2-55 (2001)
 - (10) 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、19巻2号、pp. 225-232 (2001)
 - (11) 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、8巻2号、pp. 137-144 (2003)