

文化財の3次元物体モデリングとビジュアライゼーション

立命館大学 理工学研究科
田中 弘美

Abstract: 2003年度は、文化財の3次元形状と表面テクスチャ(模様)を3次元形状計測装置を用いて非接触により距離・カラー画像や獲得し解析する方法、さらに、壺等のX線画像データの解析から内部構造を復元し可視化する方法、を中心に研究を進めた。具体的には、1) 衣装のデジタル保存のための布の異方性反射特性モデリング、2) 能面モデリングとデジタルアーカイブ作成、3) X線画像を用いる内部構造復元とボリュームビジュアライゼーション、の研究を行った。以上の研究の成果は、学術論文、国際会議、国内シンポジウム等で発表した。又、特許2件：①「画像情報を用いる布の異方性反射モデリング装置」、②「3次元画像ボリュームデータの適応的四面体格子構造表現生成装置」を申請した。なお、以上の研究をテーマとして2名学生が後期課程に進学した。

1. 衣装のデジタル保存のための布の異方性反射特性モデリング

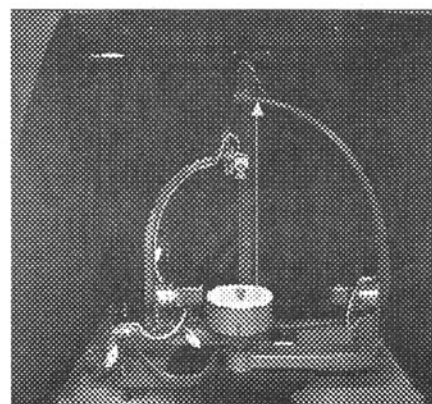
3次元視覚情報処理技術の進展により、貴重な文化財や文化遺産のデジタル記録・保存、デジタルアーカイブ化・コンテンツ化の研究が精力的に進められている。博物館等の所蔵する資料や文化財には、能装束や衣装等の様々な布物体が存在する。素材に固有の布物体の変形、光沢や質感は独特であり、これを忠実に再現することがCGやCVにおける重要な課題とされている。

物体表面の反射特性は、任意の光源からの入射光と任意の視方向への反射光の比率として、双方向反射分布関数(BRDF: Bidirectional Reflectance Distribution Function)により記述される。布表面の反射光には表面幾何学的構造における光学特性が含まれており、その質感は、肉眼の分解能を問題とする微小な部分の集合体の3次元的特性の観察から得られている。そこで、布地の微視的幾何構造(micro facet geometry)を基にした布の異方性反射を表すBRDFの生成法が提案された。布表面の微視的幾何構造から反射特性を求め、サテンやベルベットをモデル化しレンダリングした結果が報告されている。

また、画像計測によりBRDFを求める方法が提

案されたが、布の異方性反射特性を高精細に表現するためには不十分であった。最近では、全方位型の光学異方性測定装置が開発され、多数の入射方向と視方向の組み合わせによる計測データからBRDFを獲得し可視化する方法が提案された。しかし、高精度のBRDFを獲得するためには、膨大な数の計測データを必要としている。

そこで本研究では、能装束の質感を忠実に再現するために、図1に示す、全方向光学計測装置を導入し、能装束の光学的特徴を画像計測した多視点画像を用いて忠実な質感を表現する異方性反射モデリング法を研究した。



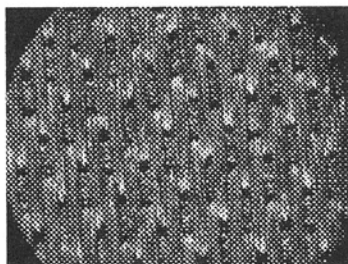
カメラと布物体の距離
380mm
Power Shot S40 (Canon)
2272×1704ピクセル

光源と布物体の距離
524mm
LS-M180FB
(メタルハライド光源)

図1: OGM (光学異方性測定装置)



(a) 縦糸断面拡大図



(b) 朱子織り

図2:フィラメント糸のサテン(朱子織り)布

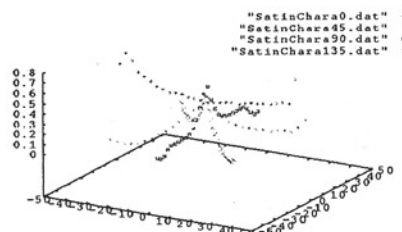
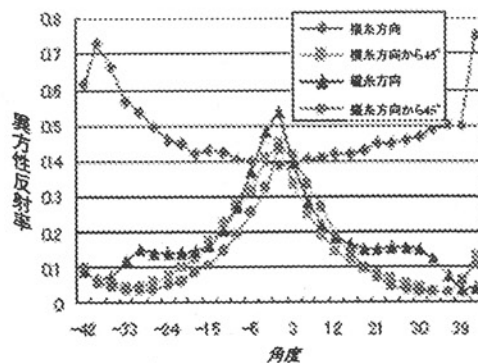
図2に示すように、繊維の断面形状と織り構造の違いにより布の光沢感に相違が現れることに着目し、少数の多視点観測画像から、反射光解析に基づいて布の異方性反射モデルを自動生成する方法を提案した。

まず、シルクライクな無彩色(黒色)の合成繊維を対象として、布の織り構造の直交二軸性に基づいて選択された直交する4方向のみからの少数の観測画像データを獲得する。次に観測データ間を力学的異方性を考慮した補間式である拡張KES(Kawabata's Evaluation System for fabric)を用いて補間し、対象布物体のBRDFを高精度に効率的に生成する。得られたBRDF異方性反射輝度モデルを用いて、同素材の布物体の任意に彩色された任意視点画像を合成し、提案手法の有効性を確認した。

Step1 縦糸・横糸・45度/135度バイアス方向の反射率測定

入射方向、視方向と織り方向による3方向間の相対関係の違いによる反射強度を測定するために、入射方向と視方向の成す角を90度に保ち、正反射面において、光源入射角は87度から3度まで、視点角は3度から87度まで変化させ、29組の{(入射方向, 視点方向)}の反射光(輝度)

を画像計測する。同じ条件で、縦糸方向、45度/135度バイアス方向の正反射面において反射光を計測し、合計116組の反射光データを獲得する。同時に計測した標準白色板を用いて補正した結果を図4に示す。



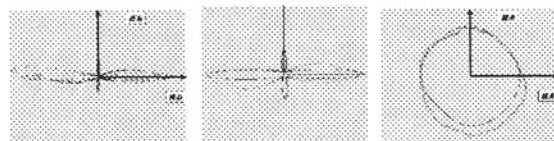
(a) 角度(=1/2ずれ角)と反射率 (b) 3次元表示

図4: 正反射方向とのずれ角と反射率の関係

Step2 布構造に基づく異方性反射補間

0°(横糸方向), 90°(縦糸方向), 45°/135°(バイアス方向)の正反射面において計測された4方向の反射率から拡張型、KES法を用いて全周方向の反射率を補間する。

また、図5にずれ角-60度、ずれ角+60度、0度(正反射方向)の拡張KES法を用いた反射率補間値(実線)と実測値(破線)の比較を示す。実測値は、直交二軸性を示し、拡張KES補間値と十分に一致していることが確認できる。

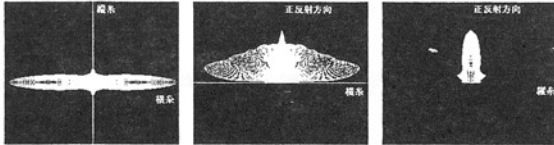


(a) -60度ずれ角 (b) +60度ずれ角 (c) 0度ずれ角

図5: KES補間値と実測反射率値の比較

Step3 布のBRDF異方性反射モデリング

図6に、4章においてKES法を用いて生成した等ずれ角反射率曲線群を、X軸・Y軸を横糸・縦糸とし、Z軸を正反射方向とする3次元空間に、反射率の大きさを原点からの距離として球座標表現したものを示す。これを、異方性反射率表現と呼ぶ。



(a) 横糸・縦糸平面 (b) 横糸・正反射平面 (c) 縦糸・正反射平面

図6：異方性反射率表現(球座標表示)

BRDFは以下の式で与えられる。

$$\begin{aligned} \rho_{bd}(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \phi_i) &= \rho_{bd}(\theta_r, \phi_r, \theta_i, 0) \cos^2 \phi_i + \rho_{bd}\left(\theta_r, \phi_r, \theta_i, \frac{\pi}{2}\right) \sin^2 \phi_i \\ &= \frac{\rho_d}{\pi} + \rho_s \frac{1}{\sqrt{\cos \theta_i \cos \theta_r}} \rho_{KES}\left(\gamma, \frac{\pi}{2} - \phi\right) \end{aligned}$$

ただし、

$$\phi = \frac{\beta \phi_r}{\beta'}, \quad \gamma = \frac{\pi}{2} - \frac{\beta}{\beta'} \left(\frac{\pi}{2} - \theta_r \right), \quad \beta' = \beta - \theta_i \sin \beta,$$

$$\sin^2 \frac{\beta'}{2} = \sin^2 \frac{\beta}{2} + \frac{1}{4} \cos^2 \theta_i,$$

Nは布の法線ベクトル、Lは光源ベクトル、Vは視点ベクトル、Rは反射方向ベクトル、 S_i はRのXY平面の射影ベクトル、 ϕ_i は反射面から横糸方向のずれ角、 θ_i は光源の入射角、 ϕ_r は正反射面から視点ベクトルのずれ角、 θ_r は法線ベクトルから視点ベクトルVのずれ角、 β' は S_i からVのずれ角、 β はVとV'のなす角、Pは、異方性反射率表現において、Vに対応する点で正反射方向から γ 、横糸方向から ϕ ずれた点である。
(導出の詳細は発表論文参照)

Step4 生成した異方性反射モデルを用いた着想リアリティーベースドシミュレーション

今回生成した異方性反射モデルを用いて、シルクサテンドレスの着装レンダリングシミュレーション結果を図7に示す。

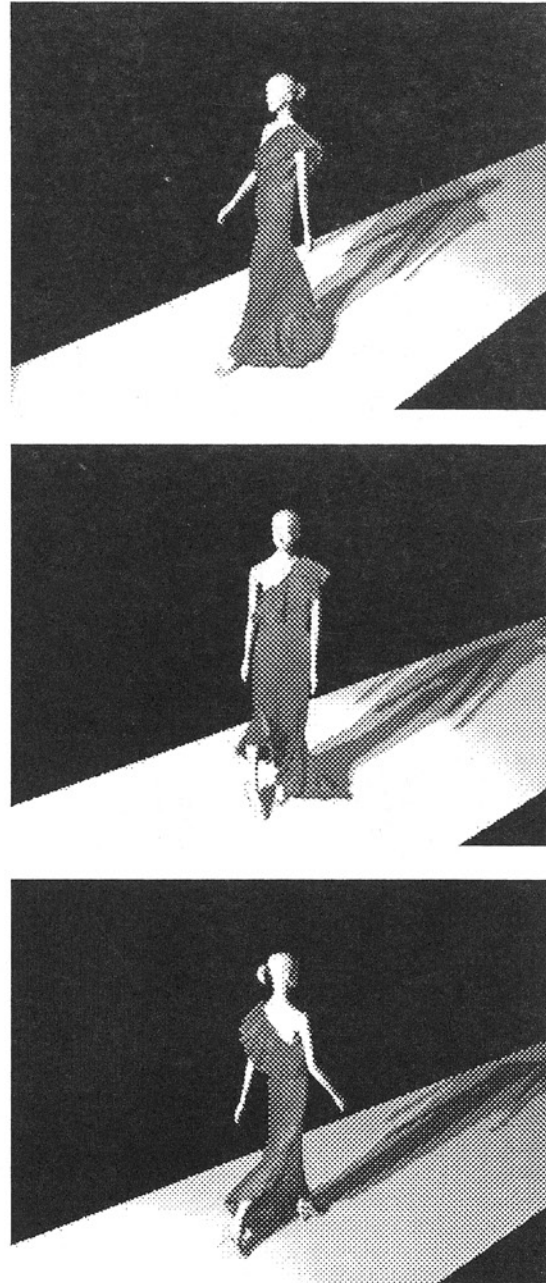


図7:レンダリング結果

今後は、絹以外の装束や、帯のような多数の個となる反射特性領域を持つような複雑な布織物の糸や織り構造の微視構造に基づく光学反射特性を多視点画像の解析からモデル化する研究を開始する。

2. 能面モデリングとデジタルアーカイブ作成

能面の3次元形状を少数の多視点画像データから統合し、能面の表面と裏面の統合モデルを

自動生成する方法を研究した。本研究で使用した3次元形状計測装置はミノルタ製VIVID910である。VIVIDが提供するユーティリティソフトウェアでは表面のテクスチャが円筒形に貼り付けられているため、能面の裏面を3次元モデルの裏面側にマップすることができない。そのため、本研究では図8のように、裏面のテクスチャ獲得に対して死角が無いように選択された複数視点のテクスチャ画像を自動統合し、欠けのない表面・裏面・側面のテクスチャ画像を合成する方法を提案した。

図9と図10は、裏面を死角が無いように撮影した3視点のテクスチャ画像から、重なり合う部分を抽出し除去することにより、途切れの無いテクスチャ画像を生成した例を示している。

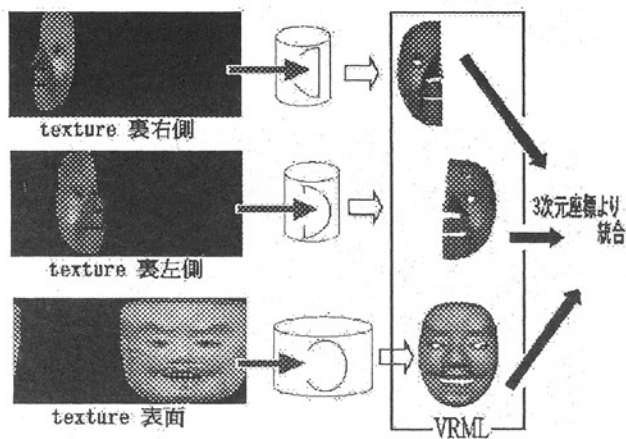


図8. 複数視点のテクスチャの統合方法

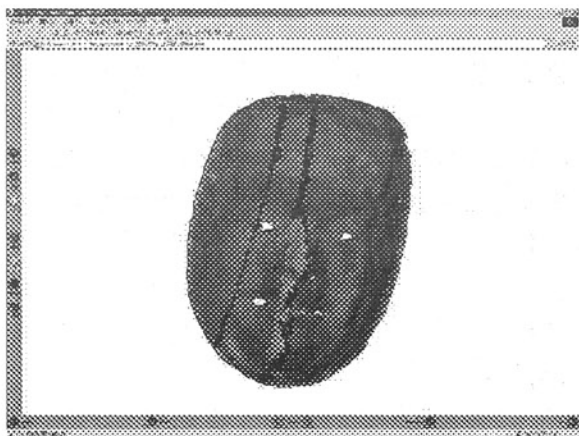


図9 補正前

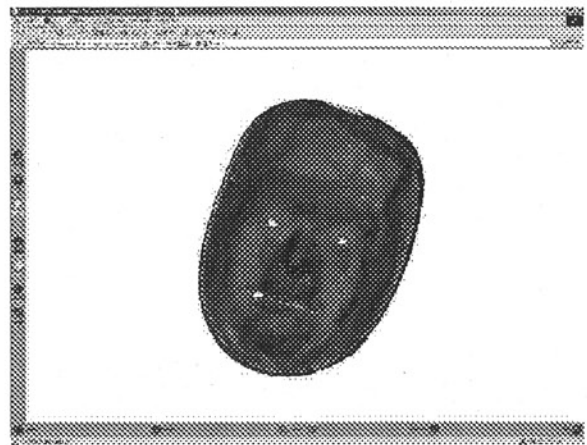


図10 補正後

以上の方法により、能面氏見市泰男製作の2面と中村直彦氏製作の15面の計17面の計測能面データをVR空間において対話的に可視化するために能面アーカイブ操作シミュレーションシステムを試作した。図11と図12はシステムのインターフェース説明と表示例を示す。

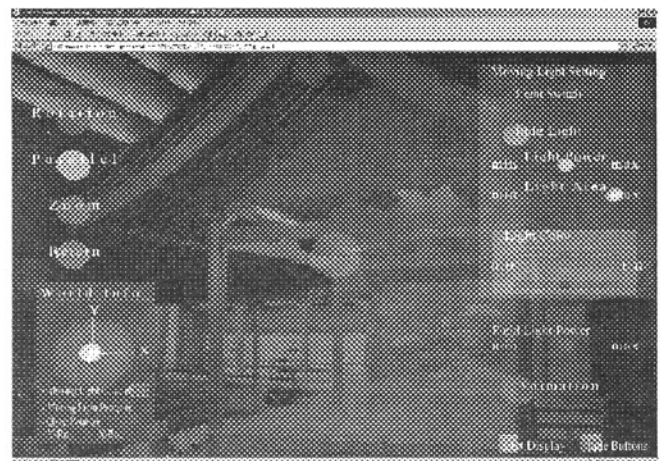


図11インターフェースの説明

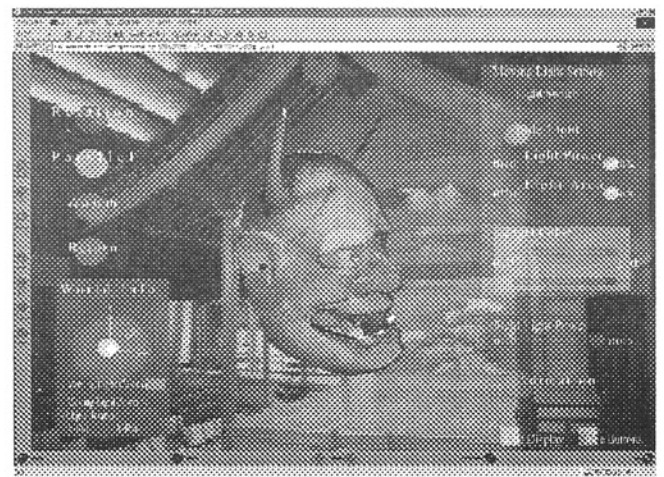


図12 能面操作シミュレーションシステム

今後は今年度開発した画像の適応的圧縮表現を生成する「アダプティブメッシュ」を基に、能面の3次元形状と表面テクスチャをその複雑さに応じて適応的に圧縮した、3次元物体モデリング法の研究する。更に、類似物の比較・照合を可能にするための、特徴曲線抽出法及び、物体認識法を研究する。

3. X線画像を用いる内部構造復元とボリュームビジュアライゼーション

少数視点のX線画像と距離及びカラー画像を用いて、壺などの回転体形状の文化財の3次元ボリュームを復元し、不可視な内部構造の立体視が可能なボリューム復元法・適応的体重解像度ボリューム表現生成法転ボリューム分割法を研究した。図13は直交する3視点のX線画像から内部構造を復元した例を示している。

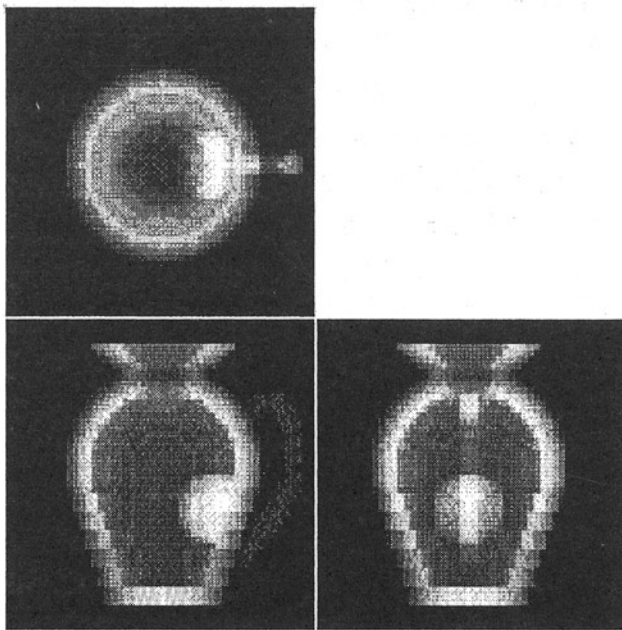


図13 入力多視点X線画像(壺)

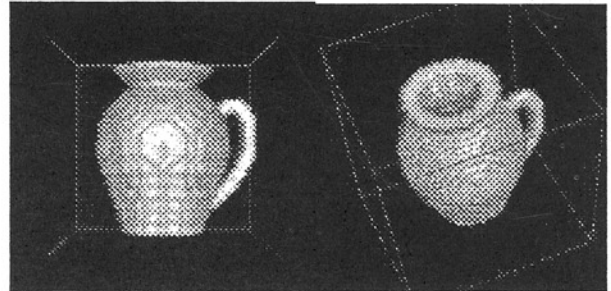
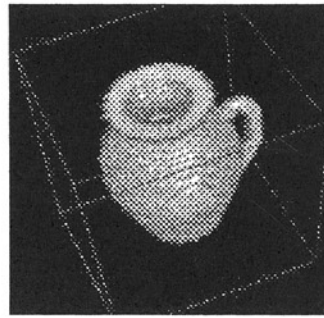


図14 3次元ボリューム復元結果

4. 参考文献

- [1]“安定姿勢における形状対称性を用いた能動的3次元形状推定,”田中士郎、西村憲吾、田中 弘美:情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM)第7号Vol.44, pp38-45, June 2003
- [2]“ハプティックビジョンに基づく能動的レオロジー物体モデリングのための粘弾性パラメータ抽出,”植田直樹、櫛浜斎延、平井慎一、田中弘美:日本バーチャルリアリティ学会論文誌, TVRSJ Vol.8pp237-246, Jul.2003
- [3]“ハプティックビジョンに基づく能動的物体重量推定,”田中士郎、谷川武市、安部慶喜、田中 弘美:情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア第8号「ロボットビジョン」特集号, pp.51-60, Dec. 2003
- [4]“Haptic Vision” Hiromi T. Tanaka, and Kiyotaka Kushihama: Proc. IEEE 16th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2002), Vol.II, pp.852-855, Aug. 2002
- [5]“Toward Automatic Construction of Reality-based Virtual Space Simulator”Hiromi T. Tanaka, and K. Kushihama:, Proc. 12th Int. Conf. on Virtual Reality and Tele-existence (ICAT2002), pp.99-104,

Dec.2002

[6]“Extracting Relational Constraints among Objects With Haptic Vision Toward Automatic Construction of Virtual Space Simulator,” Hiromi T. Tanaka, K. Yamasaki, M. Yamaoka: Proc. 12th Int. Conf. on Virtual Reality and Tele-existence (ICAT2002), pp.105-112, Dec. 2002,

[7]“Vision-based Approach to Construction of Reality-Based Interactions with Virtual Environments” Hiromi T. Tanaka, Kiyotaka Kushihama and Kayoko Yamasaki: Proc. on Frontier Computer Vision (FCV2003) pp.56-63, Feb.2003

[8]“Accuracy-Based Sampling and Reconstruction with Adaptive Grids for Parallel Hierarchical Tetrahedrization” Hiromi T. Tanaka Yasufumi Takama Akinori Kimura, and Hiroki Wakabayashi: Proc. on IEEE/Eurograph 3rd Int. Workshop. on Volume Graphics (VG2003), pp79-86, Jul.2003

[9]“Vision-based Haptic Exploration,” Hiromi T. Tanaka, N. Ueda, K. Kushihama and S. Hirai: Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2003), pp.118, Sep. 2003

[10]“Image-based Anisotropic Reflection Modeling of Textile Fabrics based on Extended KES,” Yuki Takeda, Shinsaku Toyoda, Yu Matsuda, Hiromi T. Tanaka: Proc. on 2003 IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV2003), Demo Session, Oct.2003

[11] “ Extracting Rheological Properties of Deformable Objects with Haptic Vision”, Naoki Ueda, Shinichi Hirai and Hiromi T. Tanaka: Proc. 14th Int. Conf. on Artificial Reality and Tele-existence(ICAT2003), p p .154-159, Dec.2003

[12]“Analysis by Simulation Approach to Inferring Functions of Articulated Objects,” H. Ohta, Asako Kimura, and Hiromi T. Tanaka,: Proc. 14th Int. Conf. on Artificial Reality and Tele-existence (ICAT2003), pp284-294, Dec. 2003

[13]“Active Mass Estimation with Haptic Vision,” Shiro Tanaka, Takeshi Tanigawa, Hiromi T. Tanaka: Proc. On Asian Conference on Computer Vision

(ACCV2004) Jan. 2004

[14]“Active Modeling of Articulated Objects with Haptic Vision,” Masatsugu Uejyo and Hiromi T. Tanaka,: Proc. on Frontier Computer Vision (FCV2004) Feb.2004 [15]“Inferring Functions of Articulated Objects Through Reality-based Interactions,” H. Ohta, Asako Kimura, and Hiromi T. Tanaka : Proc. on Frontier Computer Vision (FCV2004) Feb.2004

[16]“仮想空間シミュレーションによる関節物体の力学的機能推定”大田 博義、木村 朝子、田中 弘美 : 情処研報 2003-CVIM-138, pp.161-168, May 2003

[17]“ハプティックビジョンに基づく能動的レオロジー物体モデリングのための粘弾性特徴抽出”植田 直樹、櫛浜 斎延、平井 慎一、田中 弘美 : 情処研報 2003-CVIM-138, pp.169-176, May 2003

[18] “多視点画像の反射光解析に基づく布の異方性反射モデリング”武田 祐樹、豊田 伸作、松田 悠、田中 弘美 : 情処研報 2003-CVIM-140, pp.41-48, Sep. 2003

[19]“少数視点画像を用いた布の異方性反射モデリング”武田 祐樹、豊田 伸作、竹村 伸太郎、坂口 嘉之、田中 弘美 : 平成15年度情報処理学会関西支部支部大会 講演論文集、pp67-70, Oct. 2003

[20]“布の異方性反射モデルを用いる任意彩色布画像生成”豊田 伸作、武田 祐樹、田中 弘美 : 平成15年度情報処理学会関西支部支部大会 講演論文集、pp71-74, Oct. 2003