

「高精細・立体・臨場感コンテンツ技術の研究開発」(委託研究)

(財)NHKエンジニアリングサービス 小林 希一 張 曉華 中西 良成

Kiichi Kobayashi Xiaohua Zhang Yoshinari Nakanishi

1. 研究開発の概要

本研究開発は、立体物の実写映像に基づいてその電子映像部品(立体映像部品)を作成し、その再構成画像とカメラの実写映像を合成してコンテンツ制作を行うための技術開発であって、次の2つの研究開発課題から成っている。

- ア.「物体を立体映像情報として部品化する技術」
- イ.「部品化した立体映像データと実写映像を合成するコンテンツ制作技術」

上記課題のア.は立体物の高精細実写映像からその形状データ(奥行き情報)、テクスチャデータ、表面反射パラメータ等を抽出し、データ量を高度に圧縮して立体映像部品を作成する技術であり、イ.は圧縮された立体映像部品データから高精細でリアリティの高い映像を再構成し、実写映像と違和感少なく合成して臨場感のあるコンテンツを制作する技術である。

2. 研究開発の内容

2.1 研究開発の背景

衛星および地上放送のデジタル化、ネットワークやパッケージ系を介しての映像情報サービスの普及な

ど、デジタルマルチメディアが急速に進展する中、そのサービスの内容、即ち、コンテンツの量的不足が大きな問題とされ、コンテンツを効率的かつ低コストで制作、処理、流通させるための技術が極めて重要になってきている。

例えば、パーソナルコンピュータ上で実写に基いた立体映像部品とカメラの実写映像を違和感なく合成することができれば、誰もがどこでも自在に多様なコンテンツを制作することができるようになる。また、大道具や小道具を必要とせず、制作スタジオも不要になって、コンテンツ制作のコストは著しく軽減される。

このような技術はゲームソフトやテレショッピングにおけるコンテンツの高画質化、制作の効率化、低コスト化、さらには美術品アーカイブスの高度化につながり、極めて広範囲の応用が期待できる。また、将来的にはコンテンツ制作における新たな映像表現手法の開拓につながることも期待できる。

2.2 研究開発の目標と具体的開発内容

本研究開発の目標と具体的な研究内容を表1に示した。表1に示したように、立体映像部品作成に当って

表1 研究開発の目標と内容

課題と目標	具体的開発内容
課題 ア. 物体を立体映像情報として部品化する技術 目標: 立体物の実写映像から、あたかも立体的な電子部品のように取り扱える立体映像部品を作成する技術の開発	<ul style="list-style-type: none">立体映像部品作成のための撮像手法と高精細形状計測技術の開発被写体撮像時の照明条件を排除したテクスチャと表面反射パラメータの取得高精細サーフェイスモデル作成技術の開発立体映像部品データを数MB程度にまで高圧縮・符号化する技術の開発立体映像部品のデータ構造・記述法等の提案
課題 イ. 部品化した立体物映像データと実写映像を合成するコンテンツ制作技術 目標: 立体映像部品と実写映像を合成し、誰もが容易な操作により、臨場感の高いコンテンツを自在に制作できる技術の開発	<ul style="list-style-type: none">立体映像部品から実写と同程度に高精細(1,000×2,000画素程度)で、任意の照明下で自然な色調やコントラストを持つ映像を再構成する技術の開発立体映像部品から再構成した映像と実写映像をリアルに合成する技術の開発

は、先ず、立体物の形状を高精細に計測するとともに、計測結果をポリゴンデータ化し、次に、任意の照明条件下でレンダリングするため、撮像時の照明を除去したテクスチャデータおよび表面反射パラメータを取得することが必要となる。

次に、ポリゴンデータ、テクスチャデータ等を基に立体映像部品をモデル化し、モデルデータの高圧縮符号化を行うが、高精細な画像を再構成するためには圧縮符号化、復号化（解凍）、レンダリング等、一連の画像処理に対し、画質劣化の極めて少ないモデリングおよび圧縮手法等を構築する必要がある。

また、立体映像部品と実写映像を合成する技術に関しては、立体映像部品から任意の視点、任意の照明下で高精細な画像を再構成し、合成時の違和感を低減する手法の構築が重要となる。そのためには、前述のように、一連の画像処理による画質劣化を著しく低減するとともに、背景画像との照明の一致や、よりリアルな反射や映り込み特性を実現する手法が求められる。なお、これらの画像再構成や合成画像の作成は、より多くの利用者が容易に扱えるよう、汎用のCGソフトで実現できることが望ましい。

3. 研究開発実績

本研究開発は平成10年度を初年度とする5か年計画であり、14年度はその最終年度である。

本研究開発ではこれまで、ロータリーテーブル上に載せた立体物の形状計測法として、連続フレーム画像を用いた多視点画像マッチング法を提案し、高精細な形状計測の可能性を確認した。また、例えば狭隘部のように、回転時に画像上の画素の移動量が小さな部分の計測法として、ズームアップ画像を用いて計測することを提案し、2画像間のズーム比を精密に推定する方法を開発した。さらに、多視点からの計測結果をマージするため、画像上任意の位置の画素での計測を可能とした。形状計測結果としての3次元点群データのポリゴン化に関しては、これまでのマーチングトライアングルス（MT）法に3次元K-L展開を施した改良MT法を開発した。

一方、任意照明下での画像再構成を可能とするため、点光源2灯による画像を用い、光源の色信号ベクトルを予め知ることなく、表面の反射パラメータおよび法線ベクトルを一挙に求める方法を開発した。

また、立体映像部品と背景映像との合成については、汎用の3DCGソフトウェア用い、テクスチャデータと関連付けた反射マップの作成法など、違和感の少ない合成手法を検討してきた。

以上、本研究開発では立体映像部品の作成とその背

景画像との合成に関わる広範囲の要素技術をそれぞれ新たに開発してきたが、14年度はこれまでに開発してきた各要素技術を、実用上の問題点の解決を図りつつシステムとしてまとめ、その有効性、有用性を向上し、総合的な実験・評価を行うこととした。

本報告では本年度新たに開発した技術内容を中心に記述する。

3.1 撮像系のキャリブレーション法の改良

カメラおよびロータリーテーブルのキャリブレーション法についてはこれまで Zhang[1]の方法を用い、その実際上の問題点の改良を図ってきた。具体的には、Harris Corner Detector を採用した特徴点の自動抽出、カメラの投影モデルの Heikkila モデル[2]への変更、さらに、各パラメータの初期値決定法の改良等を行ってきた。

しかしながら、実際に複雑な形状をした被写体をオクルージョン領域少なくモデル化し、また、モデル化された各ポリゴンにテクスチャを正確にマッピングするには、極めて多方向からの計測結果が正確にマージできなくてはならない。これを実行可能とするには、実際に使用しているズームレンズ付き HDTV ハンディカメラのキャリブレーション技術を実用に耐えるレベルにまで高精度化する必要がある。14年度はこの課題に対して、各種シミュレーションを含めてさらに詳細に検討した。

その結果、本研究開発で用いている被写体撮影用カメラのブーム装置では、カメラの俯角を 40° 、テストパネルの傾斜角を 55° とした時、パネル上の特徴点を $\pm 70^\circ$ 回転した視点画像上へ投影した点と、その視点画像上の特徴点とのズレが平均 0.1 画素程度になるとのシミュレーション結果が得られた。

上記結果に基づいて、チェッカーパターンのテストパネルを用いて実験を行い、上記ズレがサブピクセルレベルに抑えられることを確かめた。その結果を図1および図2に示した。

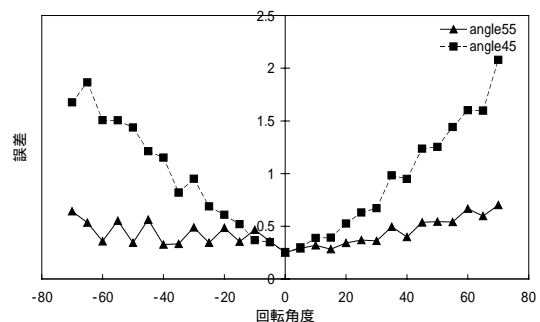


図1 パネルの傾きと特徴点の誤差の関係
(テストパネルを用いた結果)

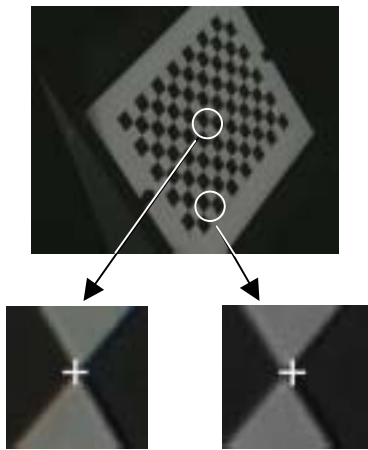


図2 特徴点を回転角 - 60° の画像に投影した結果
(カメラの俯角 40°、パネル傾斜角 55°)

これにより、カメラを垂直方向に回転した場合も含めて、多方向からの画像を用いて計測した結果を正確にマージすることが可能となり、提案の画像計測法が複雑な形状をした被写体の形状計測法として有効であることが確かめられた。また、3次元空間上の点と視点画像上の点を極めて正確に対応づけることが可能となり、実写映像から極めて正確にテクスチャデータを取得することが可能となった。

3.2 ポリゴンデータ作成プログラムの機能改良

複雑な形状を持つ立体物の形状計測結果としての3次元点群データをポリゴンデータ化する方法として、本研究開発では、当初、2段階マーチングキューブ法(MC法)を試み、次いで、マーチングトライアングル法(MT)法を改良した方法を開発した。

この方法はシード三角形を出発点として順次隣接頂点を決定して行く方法であり、頂点候補近傍の点群データに3次元K-L展開を施して局所的な仮想平面を求め、頂点候補をこの仮想平面上に垂直投影して隣接の頂点を決定していた。この方法では3次元K-L展開の行列方程式の固有値ベクトルと点群データとの内積値を解析して輪郭を推定することを特徴としている。

14年度は上記方法について実用上の問題点の改良を目的として以下の改善策を施した。

1) 仮想平面の仮想曲面化

これまでのMT法のプログラムでは、着目点の近傍球内の重心位置をそのまま仮想曲面上の点としていたため、一般に凸部はより低く、凹部はより高く均してしまう傾向にある。今回“Field Function”の考え方を導入し、図3(b)のように局所仮想面を平面回帰から2次曲面回帰に改善した。

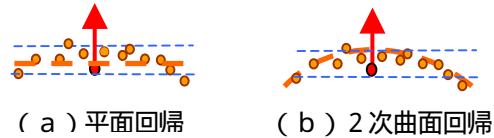


図3 平面回帰と2次曲面回帰の差

2) 原論文に忠実なメッシュ分割法の採用

これまでのMT法は処理効率を考慮して、着目している三角形のエッジ(着目エッジ)から頂点候補を求め、これを局所平面に垂直投影する前にその近傍に既決定の頂点があるか否かを調べ、ある場合にはその点を隣接頂点として決定していた。今回、アルゴリズムの簡潔さと処理の安定化を重んじて原論文[3]に忠実なメッシュ分割法に変更した。

3) 三角形の成形

MT法の場合、シード三角形から順次隣接三角形を作って行くが、最後に形成される三角形など、一部にいびつな三角形ができる場合があり、三角形の成形を行うこととした。三角形の成形には図4に示すように幾何的成形と位相的成形があるが、MT法では比較的均一なメッシュが形成されるため、今回は演算時間を考慮して位相的成形のみに留めた。

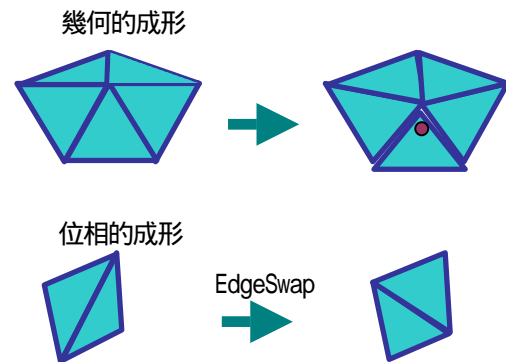


図4 三角形の成形

4) シード三角形の裏表判定の改良

これまでには点群データのBounding Boxの中央から最も近いサンプル点を探し、Bounding Boxの中央からその点の方向を「表」方向とすることでシード三角形の裏表を決定していた。

これを、計測点の各データにカメラ位置を追加し、シード三角形の法線方向を決定する際に計測点のカメラ位置データを用いるように変更した。これによりシード三角形の表裏の誤りは解消した。

5) 複雑な形状への対応

これまで、オブジェクトの形状が複雑な場合、メッシュの一部の面が裏になってしまう場合が生じた。

これは図5のようにノイズ除去用にある程度大きな半径の平滑化フィルタを掛けると、表裏反対の部分が連続しているように判断してしまうためである。

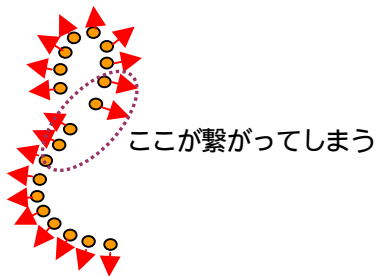


図5 三角形の表裏が繋がってしまう原因

今回、隣接三角形の作成時に既存三角形の法線と計測点のカメラ位置情報を用いることとし、上記表裏の繋がりを極力押さえることが可能となった(図12(c)参照)。

3.3 実写ベーステクスチャマップ作成法の構築

実写映像に基づいて作成された立体映像部品から、高精細かつリアルな画像を再構成するには、それをレンダリングするのに必要なテクスチャマップをより高画質に作成しなくてはならない。また、このテクスチャマップは立体映像部品のデータとして圧縮符号化され、復号化されてレンダリングに供されることから、この一連の処理プロセスを経て再構成される画質の劣化が極めて少ない手法で作成されなくてはならない。

テクスチャマップは、通常、図6に示される手順で作成される。すなわち、オブジェクト空間の三角形を各視点画像に投影し、その中から面積最大となる三角形をテクスチャ空間にマッピングして作成される。

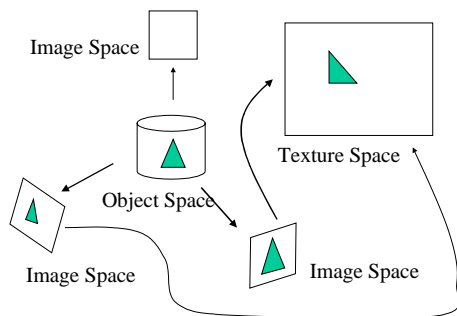


図6 テクスチャマップ作成手順

本研究開発では、14年度、以下の手順で上記一連の処理プロセスを経て画質劣化が少ないテクスチャマップの作成法を開発した。

1) Visibility Test

3Dオブジェクト空間の各三角形について、その各

頂点から視点へのベクトルと三角形の法線ベクトルを計算し、その内積の符号からその三角形が見えるか否かを判定する。

2) Occlusion Test

各視点から見える三角形について、他の三角形との交差判定を行う。図7にその手順を示した。本研究開発では、ベクトル計算、比較演算を基本として判定し、算術演算を減らして演算時間の短縮を図った。

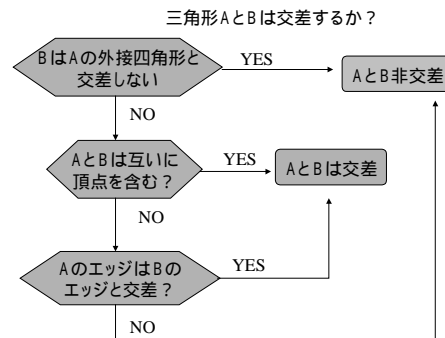


図7 Occlusion Test の手順

3) Tessellation

市販ソフトウェアのテクスチャマップは、高さと幅が2のn乗画素の画像ファイルであり、occlusion testをパスした2D三角形の面積を計算して、面積最大の三角形を選択し、その三角形のテクスチャをテクスチャ空間のどこにマッピングするかを決定する。

4) テクスチャデータのマッピング

選択された画像空間の三角形 P_i のテクスチャをテクスチャ空間の三角形 P_t へマッピングするに当たり、画質劣化が少なくなるよう以下の工夫を施した。

頂点对応の最適化

P_i の最長辺の対角を P_t の内角が直角の頂点に対応させ、他の頂点は時計回りに対応させる

P_i の外側領域を含めて P_t にマッピングする。そのため、 P_t を一定距離だけ縮小して P_t' を求め、それに対応する画像空間の P_i を求め、これから P_i' を求める。なお、この計算には barycentric 座標を用いた。この処理の概要を図8に示した。

上記テクスチャのマッピングに当っては、少なくとも一方は小数点座標であり、補間が必要となる。この補間法としては Bi-Cubic 補間法を用いた。

実験の結果、上記方法におけるテクスチャ空間の P_t の収縮距離は1画素の時が最良で、シリング上に貼付した HDTV 標準静止画像(ヨットハーバー)の場合、原画像とテクスチャマップを用いたレンダリング画像

との誤差は少なく、その差分画像の PSNR は約 41dB となった。また、このテクスチャマップを JPEG 圧縮 (約 1/27) し、これを復元して原画像と比較した結果も良好で、PSNR は - 1.5dB の劣化に留まった。

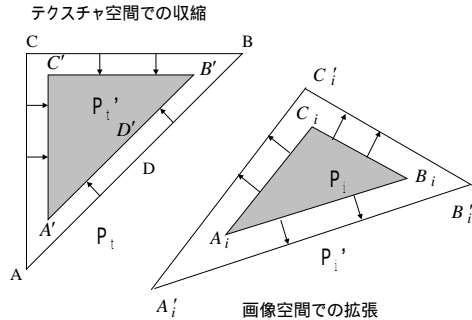


図 8 三角形の収縮・拡大の概要

3.4 立体映像部品とカメラの実写映像との合成

立体映像部品から再構成した画像とカメラの実写映像とを違和感少なく合成する技術については、合成画像の違和感の主な要因が背景画像と立体映像部品画像の照明の不一致にあることから、14年度はこの問題の解決、すなわち、グローバル照明を用いたレンダリング手法の構築を図った。

まず、立体映像部品を配置する場所のグローバル照明を、3DCGソフトウェア MAYA4 により実現する手法について実験検証を試みた。その結果、

背景画像をスタジオ内の和室セットとし、魚眼レンズで全天周画像を得て、これから作成した面光源 (14 方向) で近似する手法では、面光源がほぼ平行投影され、スペキュラーが四角形になってしまう

白球を撮影し、その画像に近い画像を点光源 (16 方向) で実現する手法は労力を要し、明るさの調整が困難である

等々、実用的に有効な手法の構築は困難であった。

しかしながら、14年度後期に至り、ハイエンドのレンダラーである Mental Ray が MAYA4.5 上でサポートされるようになり、そのグローバルイルミネーション機能を用いてレンダリングすることを試みた。しかしながら、この機能はフォトンをバウンドさせて間接照明の効果を表現しているため、空間のモデリングが正確でなくてはならず、実用上問題であるとされた。

次いで Mental Ray の final gathering 機能を用いることを試みた。この機能は照明の設定に環境画像を用いることから、よりリアルな画像が得られると期待された。図 9 (a) は魚眼レンズで取得した全天周画像で、

これを同図 (b) の半球の照明モデルに貼付した。同図 (c) はこの照明画像を用いてレンダリングした結果である。このレンダリング結果によればオブジェクト上に環境の色が自然に反映されている。

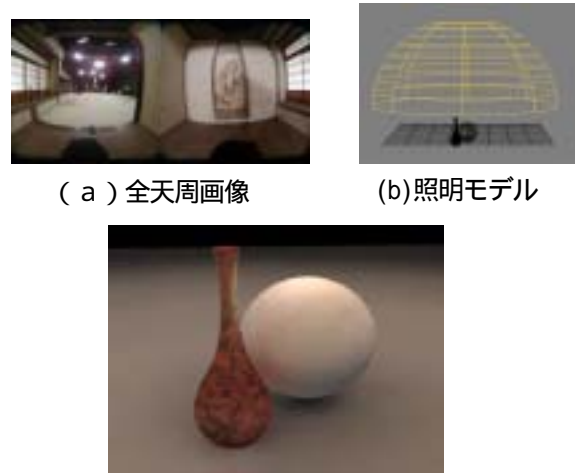


図 9 Mental Ray の final gathering 機能を用いたレンダリング画像

しかしながら、この照明に用いた画像は 8 ビットのデータでダイナミックレンジが狭い。そのため、鏡面反射が十分に表現されていない。この問題を解決するには照明光源としてハイダイナミックレンジ画像 (HDR I) を用いる必要がある。図 10 は屋外の風景を異なる露光条件 (30 通り) で撮影して HDR I を取得し、これをグローバル照明として用いてレンダリングした結果であり、鏡面反射も自然に再現されている。

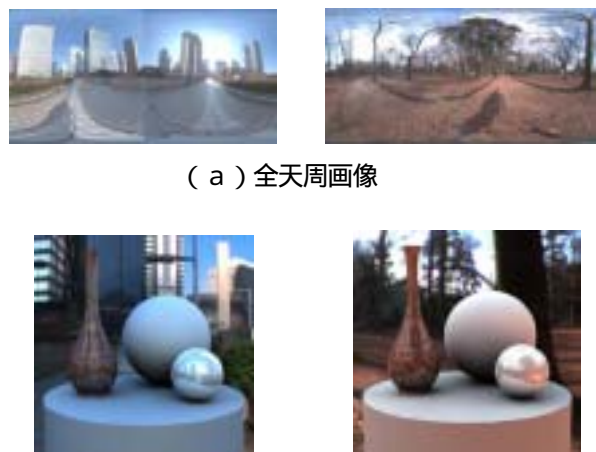


図 10 HDR I を用いたレンダリング画像

3.5 データ圧縮とデータベース化

立体映像部品のデータ圧縮については、先ず、ポリゴンデータに隣接差分を施してビット幅を圧縮し、テクスチャデータにはJPEG圧縮を施した。次に、これらのデータに対してLZH符号化を適用した。この圧縮手法により、これを解凍、レンダリングした時の画質劣化も少なく、データ量もほぼ目標に近いところまで圧縮可能であることが確かめられた。また、上記圧縮符号化した立体映像部品を、簡易データベースソフトを用いて登録、管理するシステムを構築した。図11に上記圧縮符号化システムの処理手順を示した。

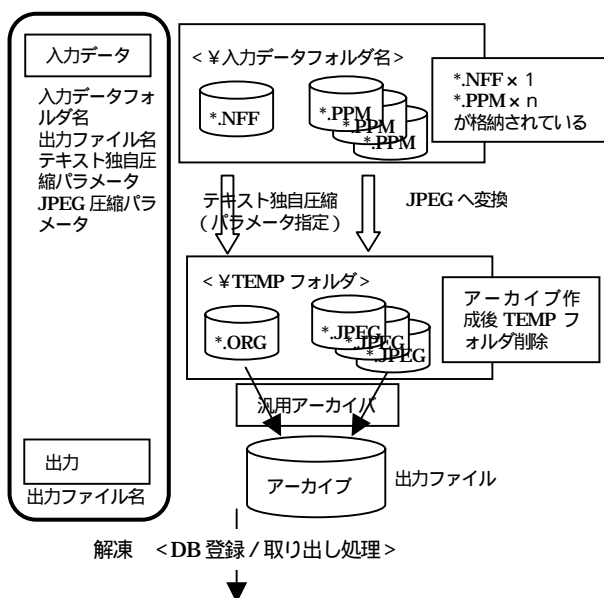


図11 圧縮符号化システムの処理手順

3.6 立体映像部品の作成例

上記各要素技術を用いて作成した立体映像部品のサンプルを図12に示した。これらはそれぞれ特徴があり、これまで部品化が困難であったものである。

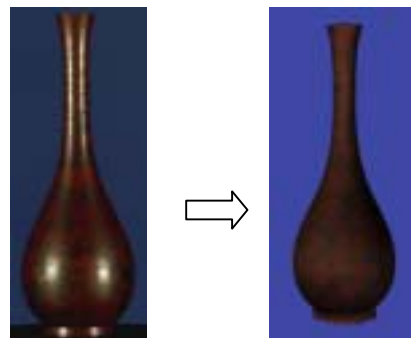
図12(a)は陶器製一輪挿しで、形状は簡単だが部分的に狭隘部を持ち、テクスチャも複雑で鏡面反射成分が多い。同図(b)はテクスチャに特徴点が少ない、形状も簡単ではない。同図(c)は形状が複雑で、多方向からの計測結果の正確なマージを必要とする。

4.まとめ

平成14年度は立体映像部品の作成と背景画像との合成に関わる要素技術について、実用上の問題点をクリアすることを中心に技術開発を進めた。その結果、多視点からの形状計測結果を正確にマージすることを可能とするとともに、実写映像に基づいて作成したテクスチャマップを用い、リアリティの高い立体映像部

品を作成することを可能とした。さらに、立体映像部品をグローバル照明下でレンダリングすることで、背景画像との照明の不一致による違和感を解消することを可能とした。

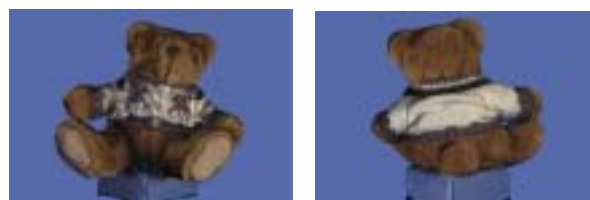
以上により、より複雑な形状の被写体への適用性向上、画像処理時間の短縮など、今後の課題も残しているが、概ね初期の目標を達成することができた。



(a) 一輪挿し



(b) 彫像



(c) 熊の縫いぐるみ

図12 立体映像部品のサンプル

(参考文献)

- [1]Z.Zhang, "A Flexible New Technology for Camera Calibration", Technical Report, MSR-TR-98-17, Microsoft Research, Microsoft Corporation, (1998)
- [2]J.Heikkila and O.Silven, "A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction", CVPR97, pp.1106-1112.
- [3]A.Hilton, "Marching Triangles: Delaunay Implicit Surface Triangulation", Tech.Report for CVSSP(1997)

研究者一覧

所 属	氏 名
財団法人 NHKエンジニアリングサービス	
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	小林 希一
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	張 曉華
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	中西 良成
先端技術開発部	山口 孝一
マルチメディア開発部	角井 良治
マルチメディア開発部	鹿喰 善明

研究委員会委員

所 属	氏 名
財団法人 NHKエンジニアリングサービス	
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	小林 希一
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	張 曉華
リサーチ・テストセンター 次世代コンテンツ研究室	中西 良成
先端技術開発部	山口 孝一
マルチメディア開発部	角井 良治
マルチメディア開発部	鹿喰 善明
NHK放送技術研究所	
(マルチメディアサービス)	下田 茂
(マルチメディアサービス)	井上 誠喜
(マルチメディアサービス)	林 正樹
(マルチメディアサービス)	三ツ峰秀樹
(株)国際電気通信基礎技術研究所	
メディア情報科学研究所第二研究室	蓼沼 眞
三洋電機株式会社デジタルシステム研究所	
ヒューマンインターフェース研究部	江見 哲一
東京工業大学	
情報理工学研究科計算工学専攻	中嶋 正之
精密工学研究所	齋藤 豪