

# 「高精細・立体・臨場感コンテンツ技術の研究開発」

(財) NHKエンジニアリングサービス 小林 希一

Kiichi Kobayashi

## 1. 研究開発の概要

本研究開発は、立体物の実写映像を基に、その電子映像部品（立体映像部品）を作成し、コンテンツ制作に利用することを目的としたもので、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て臨場感のあるコンテンツ制作に利用する技術である。

## 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安価に制作、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リアル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ク用のコンテンツの高画質化、制作の効率化、低コスト化につながり、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は、立体物の高精細な形状データ、被写体の物体色のテクスチャ、さらに、表面反射パラメータな

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部品のように取り扱える立体像部品を作成する技術の開発	<ul style="list-style-type: none"><li>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</li><li>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</li><li>高精細サーフェイスモデル作成技術の開発</li><li>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</li><li>立体映像部品のデータ構造・記述法等の提案</li></ul>
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"><li>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</li><li>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</li></ul>

ど、高精細でリアルな映像を再構成するのに必要な各種データ被写体の実写映像から抽出する技術が第一の具体的な研究内容であり、次いで、それらのデータを基に立体映像部品をモデル化し、高圧縮符号化してデータベース化する技術が第二の内容となる。

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、任意の照明下での高精細な映像を再構成する技術が第一の研究内容であり、この再構成された映像とカメラの実写映像を違和感少なく合成する技術が第二の内容となる。

### 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か年計画で進めている。12年度は中間評価の年度であり、これまで必要な要素技術の構築に注力してきた。

#### ア.「物体を立体映像情報として部品化する技術」

##### 1) 形状計測の精細度

立体映像部品の具体的な応用例としてハイビジョンバーチャルスタジオでの使用を想定し、そこで満たすべき立体映像部品の基本的要件を検討した。この中で形状計測の精細度については、人間の視覚特性に関する主観評価実験の結果[1]を参考とし、正対時の外形エッジの計測誤差として0.6画素以下を目標とすることとした。

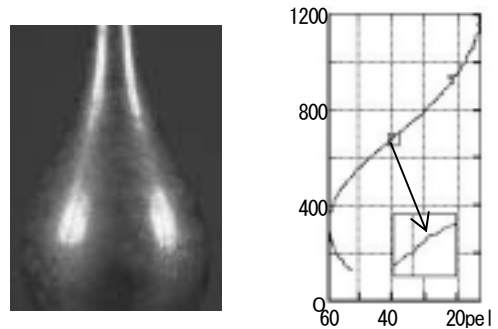
##### 2) 高精細形状計測法および撮像手法

本研究開発では、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、実験検証により高精細な形状計測の可能性を確認した[2]。

多視点画像マッチング法はロータリーテーブル上に載置した被写体をHDカメラで撮像し、画像上の着目画素について、±10°前後の連続フレーム画像間の相関が最も大きくなる時の半径をその点の奥行きとして計測する手法である。本研究開発では2段階のブロッグマッチング法により、目標分解能を上回る精細度で形状計測できることを確認した[3]。なお、マッチングの評価関数は、N枚の画像から任意に2枚の画像を選ぶ組み合わせ全てについての2画像間の相関係数の総和、即ち、(1)式を用いている。

$$E = \sum_{i=0}^{N-2} \sum_{j=i+1}^{N-1} \text{cor}(\text{Block}_i, \text{Block}_j) \cdots (1)$$

図1は多視点画像マッチング法による一輪挿しの形状計測結果である。



(a) 原画像 (b) 2次マッチング結果

図1 多視点画像マッチング法による形状計測結果

この多視点画像マッチング法は、高精細な形状計測が可能である一方、回転時に画像上の移動量が小さな狭隘部分や、視点が拘束されることによるオクルージョン領域の増加が欠点として明らかとなり、12年度はこれらの問題点の克服に努めた。

まず、狭隘部分の形状計測に当っては、ズームアップ画像を用いて計測した狭隘部分の計測結果と全体画像の計測結果をマージすることを試み、これに必要な2画像間のズーム比を精密に推定する手法を開発した[4]。

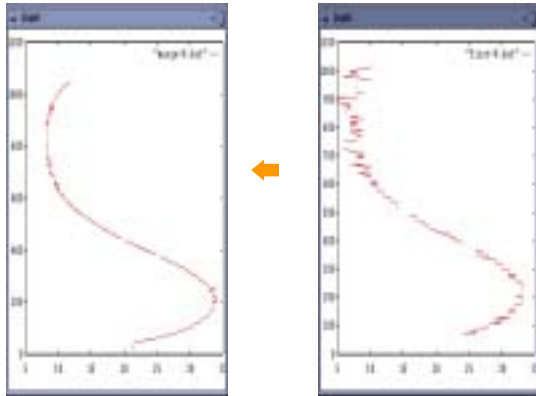
本手法は2枚のデジタル画像に離散フーリエ変換を施し、それらのマグニチュード画像をLog-Polar空間に変換し、位相相関法を用いて2画像間のズーム比、回転角、シフト量等を求めるものである。図2に異なったズーム比で撮像した2画像を、横430画素×縦1024画素で表示した結果を示す。上記位相相関法により両画像間のズーム比を拡大率で計算した結果、1.772975の値が得られた。



(a) (b)

図2 異なったズーム比の2画像

なお、どの程度のズーム比まで正確な計測が可能かについては、画像間のオーバーラップ領域がどの程度か(図2(b)が同図(a)の何%の領域を占めるか)によって異なる。実験的には約20%程度以上であれば可能との結果を得ている。これにより、多視点画像マッチング法では困難であった狭隘部分の形状計測が可能となった。図3にズームアップ画像を用いた形状計測の結果を用いなかった場合と比較して示した。



(a) 用いた場合 (b) 用いない場合  
図3 ズームアップ画像を用いた形状計測の結果

次いで、オクルージョン領域の低減に向けては、テーブルキャリブレーション、カメラキャリブレーションを精密化するとともに、カメラレンズの投影モデルを従来の平行投影から透視投影化することにより、3次元空間上の点と2次元画像上の点2点間の対応の厳密化を図った。これにより形状計測の精度が向上するとともに、2次元画像上の計測可能領域をこれまでの中央縦1ラインから水平方向に広げることが可能となった[5]。また同時に、垂直方向を含めて被写体周りの多方向からの計測結果をマージすることが可能となった。これらにより、計測時の視点の拘束は緩和され、計測時のオクルージョン領域を減少することの見通しが得られた。

### 3) 照明条件を排除したテクスチャの取得法および表面反射パラメータの抽出法

立体映像部品をコンテンツ制作に利用するには、それが任意の照明条件下の映像として再構成できる必要がある。そのためには被写体撮像時の照明条件を排除したテクスチャの取得と表面反射パラメータの抽出が不可欠であり、大きな課題とされていた。

物体の表面反射特性を取得するためには、撮像時の画像から拡散反射成分と鏡面反射成分を分離する

必要があり、これまで色信号空間におけるカラーヒストグラムの解析に基づいた方法等が提案されてきているが、追試の結果、複雑なテクスチャや鏡面反射成分の多い被写体に対しては適用できないことが明らかになった。本研究開発では、12年度、連続するフレーム画像を用い、その信号レベルの変化から表面反射パラメータを一挙に求め、拡散反射成分と鏡面反射成分を分離する手法を開発した[6]。

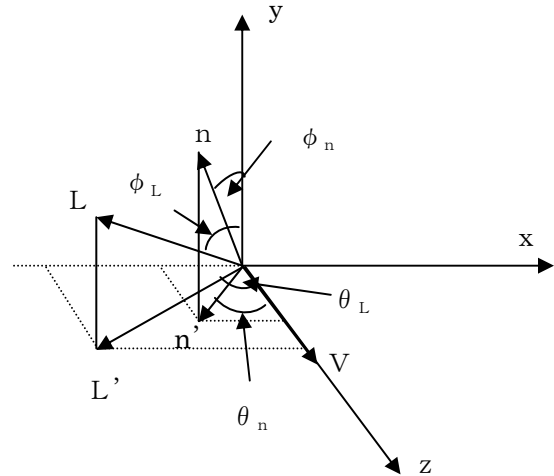


図4 反射光学系の幾何配置

図4に被写体表面上の1点を3次元座標の原点とした時の光源、視線、法線の配置の様子を示した。ここで、光源L、視線Vと3Dシーンの点の法線nは単位ベクトルとし、光源Lとy軸なす角度は $\phi_L$ 、光源Lのxz面への垂直投影L'とz軸なす角度を $\theta_L$ としている。上記幾何配置の下で光源の座標は

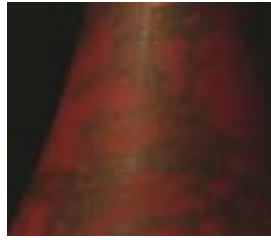
$$L = (\sin \phi_L \sin \theta_L, \cos \phi_L, \sin \phi_L \cos \theta_L) \dots (2)$$

と記述でき、これを既知とすれば、法線nの座標を(p, q, r)として、 $\phi_n$ 、 $\theta_n$ が定式化可能となる。反射モデルとして Torrance-Sparrow モデルを用いることにより、反射光は次のように表される。

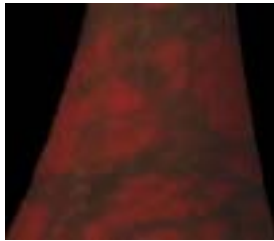
$$\begin{aligned} I &= K_d(L \cdot n) + K_s e^{-\alpha^2 / 2\sigma^2} \\ &= K_d(p \sin \phi_L \sin \theta_L + q \cos \phi_L + r \sin \phi_L \cos \theta_L) + K_s e^{-\frac{\alpha^2}{2} / 2\sigma^2} \\ &= A \sin \phi_L \cos \theta + B \cos \phi_L + C \sin \phi_L \cos \theta + D e^{\left(\frac{E-\theta}{F}\right)^2} \dots (3) \end{aligned}$$

上式は非線形であるが、Levenberg-Marquardt法を利用してA~Fを求めることが可能であり、反射に関するパラメータを一挙に求めることが可能である。そして、その結果を利用して、拡散反射成分、鏡面反射成分を求めることができる。

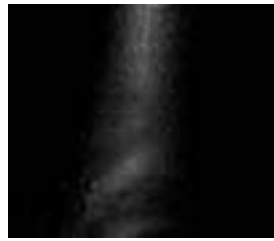
図5に上記手法により一輪挿しの部分画像から取得された表面反射パラメータに基づいて分離された拡散反射成分と鏡面反射成分を原画像と併せて示した。



(a) 原画像



(b) 拡散反射成分



(c) 鏡面反射成分

図5 拡散反射成分と鏡面反射成分の分離結果

本手法は拡散反射成分と鏡面反射成分を分離してから反射パラメータを抽出する従来の手法とは異なり、先ず、反射パラメータをパラメータフィッティングにより一挙に求めてから、その結果に基づいて両成分を分離する手法を採ったもので、被写体表面上の画素の移動を厳密に追跡する多視点画像マッチング法の特長を活かしたものである。本方法によれば、複雑なテクスチャや大きな鏡面反射成分を持つ被写体に対しても有効に分離することが可能であり、また、従来画像計測の欠点とされていた被写体表面上の点の法線方向ベクトルも画素単位で同時に求めることができ、実用上のメリットが大きい。

#### 4) サーフェイスモデル作成法

立体映像部品のモデリングに当っては、先ず、形状計測結果としての3次元点群データから、ポリゴンデータを作成する必要がある。しかしながら、複雑な形状の被写体、あるいは表面の凹凸が複雑な場合には、ポリゴンデータの作成が極めて困難であると同時に、高精細なモデリングを行う場合には所要メモリが膨大となることも問題であった。

上記課題に対し、本研究開発では12年度、3次元点群データから、直接ポリゴンデータを作成する手法について種々検討を行ったが、結果的には、第一段階で粗いVoxel空間を用いてポリゴンデータを作成し、次いで、各Voxel内の点群データを用いてサブディビジョン化を行って高精細なポリゴンデータを得るという、2段階のポリゴンデータ作成法を考案し、プログラムの作成と実験・検証を

進めた。本手法は所要メモリ量も多く必要とせず、実用的な手法として期待できる。

#### 5) データベース化

立体映像部品の圧縮符号化、データベース化については、研究の初期段階でデータ量がどの程度になるかの検討を行った。その結果、表面積が300万画素程度の被写体を想定すれば、圧縮データ量数MBの目標は達成可能であるとの見通しを立てた。

12年度は立体映像部品からの再構成映像と実写映像の合成システムを検討する中で、合成時の違和感を低減するのに必要なデータとデータファイルの作成法について検討し、最近の3DCGソフトウェアのモデリングおよびレンダリング機能をフルに活用すれば、それらの機能拡充とI/Fの自由度向上もあって、かなりの自由度でデータファイルの構造・記述法等が決定できるとの見通しが得られた。

### 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」

#### 1) 映像再構成技術

本研究開発では、サブピクセルレベルの分解能を持つポリゴンデータ、被写体撮像時の照明条件を排除した物体色のテクスチャデータ、被写体表面上の微細領域ごとの反射パラメータ等を取得してモデル化し、これらのデータから任意の照明条件下、任意の視点からの映像を再構成しようとしている。

12年度は上記取得データを画像上で評価するため、OpenGLを用いた簡易のレンダリングソフトを作成し、各種データの1次評価に用いた。その結果、従来法では拡散反射成分と鏡面反射成分の分離が正確に行えず、十分な品質のテクスチャデータの取得が困難であること、また、被写体表面の法線方向ベクトルの取得も困難で、レンダリングに支障があること、さらに、ポリゴンデータについては1画素の分解能では被写体形状が十分に表現できないこと等々、問題点を具体的に把握することができた。そしてこれらの問題点を克服するための要素技術構築に重点をおいて研究開発を進め、研究開発課題アの各項の成果を得ることができた。

#### 2) 実写映像との合成技術

ハイビジョンの番組制作における3DCGの利用法や、リアリティ向上のための具体的な手法等について調査・検討を進め、立体映像部品と実写映像との合成システムの構成案を作成した。具体的には、



図6に示すように、データベース化された立体映像部品データを3DCGソフトウェアの入力データに変換し、モデリング、レンダリングの後、非圧縮のHDエディットシステムに導いて実写映像との合成を行うこととし、実験機材の一部導入を図った。また、モーショントラッキングの与え方など、リアリティ改善のための具体的検討を行った。

#### 4. まとめ

平成12年度は立体映像部品を作成するための要素技術の構築、特に、実用上の問題点をクリアすることに重点をおいて研究開発を進めた。そして、多視点画像マッチング法における狭隘部分の形状計測、多方向からの計測結果のマージ等を可能とした。また、反射パラメータの一括取得法を開発し、照明条件を排除したテクスチャの取得を可能とした。さらに、形状計測結果の3次元点群データからサブピクセルの分解能を持つポリゴンデータの作成法についても検討し、プログラムを作成した。

一方、立体映像部品と実写映像の合成法についても具体的検討を進め、合成システムの構成を立案して一部機材の導入を行い、リアリティを向上するた

めの機能の持たせ方等について検討を行った。

#### (参考文献)

- [1] 蓼沼他, “立体画像における奥行き情報の擾乱と画質の関係”, 1998年映像情報メディア学会年次大会予稿, 14-6
- [2] 小林他, “高精細立体映像部品作成のための多視点画像マッチング法”, 2000年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム2, D-11-132, p. 132
- [3] 中西他, “多視点画像マッチング法を用いた立体物の形状計測”, 情報処理学会研究報告, グラフィックスとCAD99-1, pp. 1
- [4] 張他, “位相相関性を用いた画像間のズーム比の推定法”, 2000年電子情報通信学会情報・システムサイエティ大会講演論文集D-11-47, P. 157
- [5] 中西他, “多視点画像マッチング法による形状計測の改善”, 2000年電子情報通信学会情報・システムサイエティ大会講演論文集D-11-58, P. 168
- [6] 張他, “The Separation of Reflection Components from Image Sequence”, 2001年電子情報通信学会総合大会講演論文集, 情報・システム2, D-12-69, p. 236

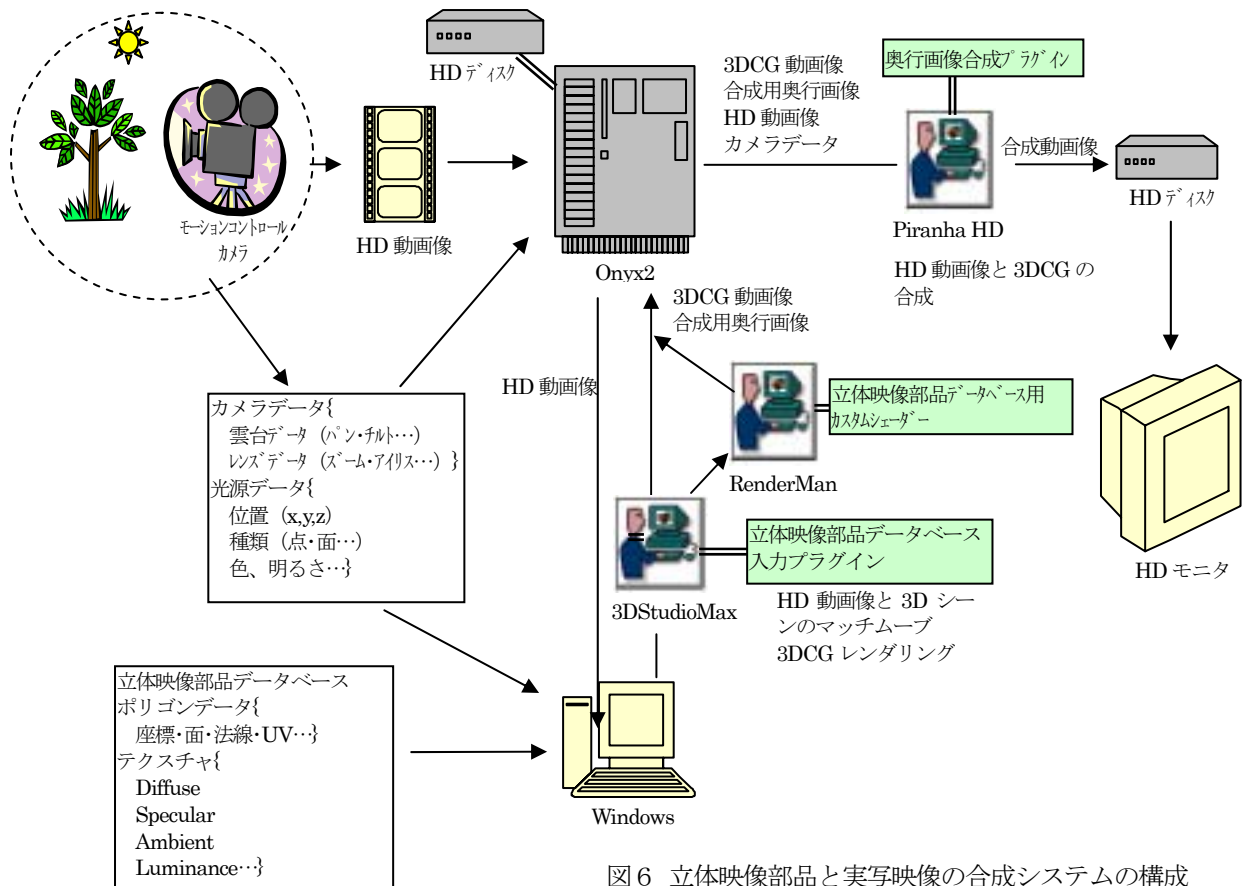


図6 立体映像部品と実写映像の合成システムの構成

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 暁華
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	長谷川 健
マルチメディア開発部	野尻 裕司

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 暁華
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	長谷川 健
マルチメディア開発部	野尻 裕司
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)	三ツ峰秀樹
株式会社 エイ・ティ・アール	
知能映像通信研究所第三研究室	蓼沼 眞
三洋電機株式会社	
ハイパーメディア研究所	
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