

2003年度 卒業論文

複数の2次元画像を基にした  
3次元空間構築に関する研究

指導教員：渡辺 大地 講師

メディア学部 3DCG アプリケーション構築プロジェクト

学籍番号 00P241

竹内 亮太

2003年度 卒業論文概要

論文題目

複数の2次元画像を基にした  
3次元空間構築に関する研究

メディア学部  
学籍番号：00P241

氏名

竹内 亮太

指導  
教員

渡辺 大地 講師

キーワード

イメージベースレンダリング, 3DCG, 仮想空間構築, ウォークスルー, 画像処理, テクスチャ

近年3DCGを用いたコンテンツとして、コンピュータ内に仮想の3次元空間を構築し、自由に歩き回ることの出来る環境を提供するものが盛んに作成されている。現在こうした3DCGのレンダリングは、空間内に存在する物体の形状を頂点や平面などの幾何情報を用いて表現し、視点位置への射影を行って画像を生成する、いわゆるジオメトリベースでのレンダリングが主流である。しかし、この手法において高品位の画像を得るためには、視界内に存在する物体を全て緻密にモデリングする必要がある。

一方、近年研究が進められているイメージベースレンダリング (IBR) と呼ばれる技術では、ジオメトリベースのレンダリングとは異なり、カメラによって撮影した大量の景観画像を蓄積して再構築することで、撮影点以外からの視点の画像を生成するという手法をとる。この手法のメリットは、複雑な形状の作成を必要とせず、現実の景観を模したリアリティのある仮想空間を構築できる点である。しかし現状の技術では、ジオメトリベースのレンダリング以上の労力が必要になるものが多い点と、仮想空間内での視点に制限を受ける点が大きな問題となっており、これらを両立した決定的な手法が確立されていない。その要因となっているのが、画像を用意するために特殊な撮影方法が要求される点である。この現状に対する解答の1つとなり得る技術として“Tour Into the Picture” (TIP) が提案されている。これは1枚の画像の中でのウォークスルーを実現するもので、単純な素材と簡易な操作から仮想空間を構築する事が可能である。しかし、画像に描かれている以上の情報量がないため、視点の自由度が低くなってしまいうという欠点を持つ。

以上の問題を踏まえ、本研究ではTIPをベースとし、これを拡張して複数の画像による、より視点の自由度の増した仮想空間を構築する手法を提案する。提案にあたっては、画像に対するオペレーションを出来る限り簡易なものに留めることを念頭に置き、仮想空間が持つリアリティや視点の自由度とのバランスを考慮した。

# 目次

第1章	はじめに	1
第2章	TIPによるウォークスルー	4
2.1	TIPの概念	4
2.2	1点透視図法に基づく空間形状の設定	5
2.3	射影変換を用いたテクスチャの生成	8
2.4	物体の書き割り処理	10
2.5	問題点	13
第3章	シーンリンクによる空間の拡張	15
3.1	シーンモデルとリンクゲートの概念	15
3.2	リンクを前提としたシーンの拡張	16
3.2.1	平面の平行性の保持	16
3.2.2	矩形テクスチャの分割	17
3.3	リンク制御	18
第4章	検証と考察	21
4.1	リンクしたシーンの検証	21
4.2	インターフェースの評価	23
4.3	考察と課題	23
4.4	今後の展望	26
第5章	まとめ	27
	謝辞	28
	参考文献	29

# 目 次

2.1	1点透視図法を用いた空間表現例	5
2.2	矩形を小さく設定し、壁を遠くに配置した例	6
2.3	矩形を大きく設定し、壁を近くに配置した例	6
2.4	TIPの空間インターフェース画面	7
2.5	台形状の壁面による空間形状	7
2.6	台形から矩形への射影変換	8
2.7	テクスチャ生成に使用した入力画像	10
2.8	書き割りオブジェクトを用いないウォークスルー画面	10
2.9	物体をレタッチして消去した画像	11
2.10	透過部分を黒、不透過部分を白とした マップ画像	11
2.11	書き割りオブジェクトのクリッピング画面	12
2.12	書き割りオブジェクトを用いたウォークスルー画面1	12
2.13	書き割りオブジェクトを用いたウォークスルー画面2	12
2.14	画像の撮影点側に視点を向けたウォークスルー画面	13
2.15	厚さのない書き割りを斜めから注視する視点	14
2.16	撮影点から離れた壁面を注視する視点	14
3.1	台形状の壁面による空間形状	16
3.2	平面の平行性を保った空間形状	17
3.3	余白を含む矩形テクスチャ	18
3.4	1. シーンモデルの拡大縮小	19
3.5	2. シーンモデルの平行移動	19
3.6	3. シーンモデルの回転	19
3.7	4. リンクが完了した状態	19
4.1	入力画像1	21
4.2	入力画像2	21
4.3	作成したシーンとリンクの位置関係	22
4.4	リンクした2つのシーンを離れた場所から注視する視点	22
4.5	シーンの端から反対側を注視する視点	22

4.6	2点透視図法による空間の表現例 . . . . .	24
4.7	空間の撮影例 1 . . . . .	25
4.8	空間の撮影例 2 . . . . .	25
4.9	2点透視図法によるシーンを用いた空間の構成例 . . . . .	25

# 第 1 章

## はじめに

3DCG の研究は、常にコンピュータの高性能化と共に進められてきた。数年前では考えられなかったほどの性能を持つハードウェアが安価で普及し、それに伴い 3DCG の活用分野はより広く、より身近な物になったと言える。緻密なモデリングとテクスチャマッピングによって構成する仮想空間は、多くの映像やゲームなどのコンテンツで使用され、見る者に多大な没入感を与えることができるようになった。

現在の 3DCG コンテンツは、空間内に存在する物体の形状を頂点や平面などの幾何情報を用いて表現し、視点位置への射影を行って画像を生成する、いわゆるジオメトリベースでのレンダリングによって作成するものが主流である。モデルベースレンダリング (MBR) とも呼ばれるこの手法においては、物体の形状データ、すなわちモデルを作りこむことによって、製作者の意図をそのまま仮想空間内に反映させることができるが、そのために必要な労力は決して少なくない。高品質の画像を得たい場合は、視界内に存在する物体全てを緻密にモデリングする必要があり、特にウォークスルーを前提とするような空間の構築では様々な視点を想定しなければならず、多大な労力を必要とする。

前述のジオメトリベースとは異なるアプローチで近年研究が進められているのが、イメージベースレンダリング (IBR) と呼ばれる技術である [1]。3DCG コンテンツとして仮想空間を構築する際には、現実の景観をそのまま再現したいと思

うケースが少なくない。この場合、ジオメトリベースのレンダリングでは、実際の景観を模したモデリングを物体ごとに逐次行わなければならないが、IBR ではカメラによって撮影した大量の景観画像を蓄積して再構築することで、撮影点以外からの視点の画像を生成するというアプローチを行う。入力された画像を直接テクスチャとして利用するので、撮影されている景観に即したリアリティのある仮想空間を手軽に構築できる技術として注目されている手法である。具体的な応用例としては、カメラを移動させながら景観を撮影し、蓄積した画像と撮影点座標の対応付けによって空間を再構成するもの [2][3][4]、全方位カメラを用いてパノラマ撮影した画像を円柱状に配置するもの [5][6] などがある。また物体を多視点から撮影し、画像間における対応点を指定して 3 次元形状を復元するアプローチ [7][8][9] や、様々な角度からの光源を考慮して形状を構成する試み [10][11] も、IBR の一分野として研究されている。

前述した現状の IBR 技術における最大の問題点は、いずれも特殊な機材による特殊な撮影方法を用いていることにある。車載カメラや全方位カメラなどは手軽に扱える機材ではなく、撮影された画像も特殊な撮影方法によるものであるため、処理上の扱いが非常に困難である。これらの入力画像に関する問題が IBR を敷居の高い技術にしており、ジオメトリベースよりも手軽で、かつ視点の自由度が高い仮想空間を構築するという目的を両立していると言えるものは見つからないのが実情である。

この現状に対する解答の 1 つとなり得る技術として、堀井らによって“ Tour Into the Picture ”(TIP)[12] が提案されている。これは 1 枚の画像の中でのウォークスルーを実現するもので、単純な素材と簡易な操作から仮想空間を構築する事が可能である。しかし画像に描かれている以上の情報量がないため、視点の自由度は低くなるという欠点を持つ。Chen らによる“ QuickTimeVR ”[5] では、全方位カメラによる撮影画像を視点を中心とした円柱状に配置するため、視点からの可視範囲自体は広いものの、奥行き方向の移動に関しては単なるズーム処理で表現するので、ウォークスルーのような効果は得にくく、奥行きの表現力においては TIP

には及ばない。

この点を踏まえ、本研究では TIP をベースとし、これを拡張して複数の画像による、より視点の自由度が増した仮想空間の構築を実現した。その際には画像に対するオペレーションを出来る限り簡易なものに留めることを念頭に置き、仮想空間が持つリアリティや視点の自由度とのバランスを考慮した手法を提案する。

本論文の構成は以下の通りである。2 章では本研究のベースとなる、TIP によるウォークスルー実現の手法について述べる。3 章では複数のシーンをリンクする際の問題点、及びリンク実現のための手法を述べる。4 章では提案手法の検証を行い、考察と今後の展望を述べる。5 章では本研究のまとめを示す。



## 第 2 章

# TIP によるウォークスルー

本章では、本研究のベースとなる TIP について述べる。本研究では提案手法を実現するために、TIP による仮想空間構成の手順を 3DCG ツールキットである FK System[13] を用いて実装し、1 枚の画像内でのウォークスルーを実現した。

### 2.1 TIP の概念

TIP の基本的な概念とは、入力画像に対して 1 点透視図法における消失点と、画像の撮影点から見て奥に壁となる矩形を設定する事で、1 枚の画像を天井・床・左・右・奥の 5 枚の壁面に分割し、テクスチャとして配置するというものである。既存の IBR 技術の中では独自性の高いアプローチで、シンプルな素材に対する簡易なオペレーションによって、奥行きを実感できるという大きな効果を得ることが出来る。

また、TIP では画像から視点側に近い距離に存在する物体を切り出して、空間を構成する壁面とは別のレイヤで立体的に配置することができる。空間を構成するテクスチャに対しては、物体をレタッチで消去したものを入力画像として使用し、その上に物体を書き割りのように表示させることで、物体が背景と同化してしまうのを防ぎ、擬似的な立体感を持った視点を作成することが出来る。

## 2.2 1点透視図法に基づく空間形状の設定

透視図法とは、画面に対して近いものは大きく、遠いものは小さく描く幾何学的な遠近表現技法を指す。ルネッサンス以降の絵画では、多くがこの透視図法を用いて遠近を表現しており、幾何的な法則によって体系化された図法のため、カメラによって撮影された現実の景観画像も、この図法に則ったものとして扱うことが出来る。2次元画像上で3次元空間を表現する際には、透視図法を用いた空間構造の設計が非常に有用であり、TIPにおいても空間形状の設定に際してこれを利用している。透視図法に関する詳細は、日本図学会編の資料 [14] 及び小山・面出らの著書 [15][16][17] に拠った。

透視図法において、奥行き方向へ向かう複数の直線が交わる点を消失点と呼び、この消失点を1点だけ持つ構図を1点透視図法と呼ぶ。TIPでは1点透視図法に基づいた構図を入力画像上に設定することによって、空間の形状と奥行きを表現する。以下の図2.1は1点透視図法に基づいて、上下左右に壁面を持つ空間の形状と奥行きを表現したものである。図中の紫色の点がこの構図における消失点である。

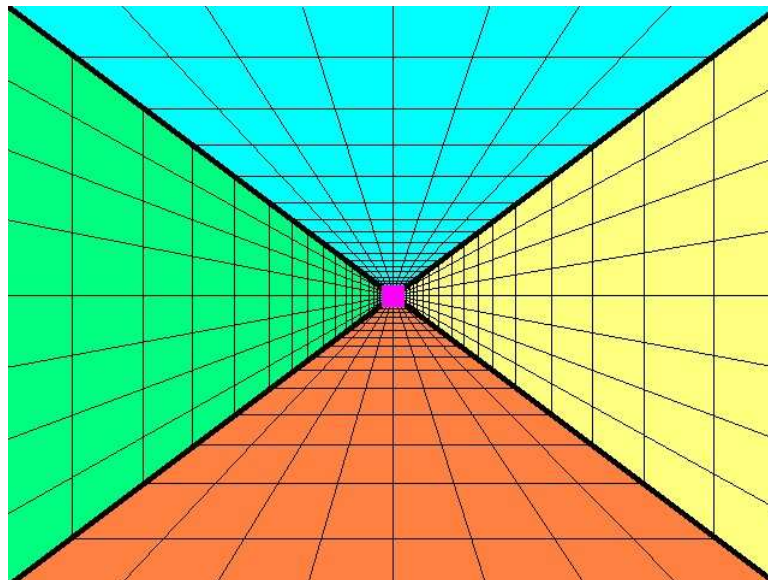


図 2.1: 1点透視図法を用いた空間表現例

TIP の手法で行う空間形状の設定について詳細を述べる。まず、奥行き方向に壁として配置する矩形を設定する。この矩形は撮影方向に対して垂直な同一平面上に頂点を持ち、撮影点から消失点間の任意の座標上に配置する。この矩形の大きさが、撮影点から矩形の位置までの距離感の基準となって、形成する空間が持つ視覚的な奥行きが決定される。以下の図 2.2,2.3は、矩形の大きさの変更に伴って視覚的な奥行きが変化している様子を表している。

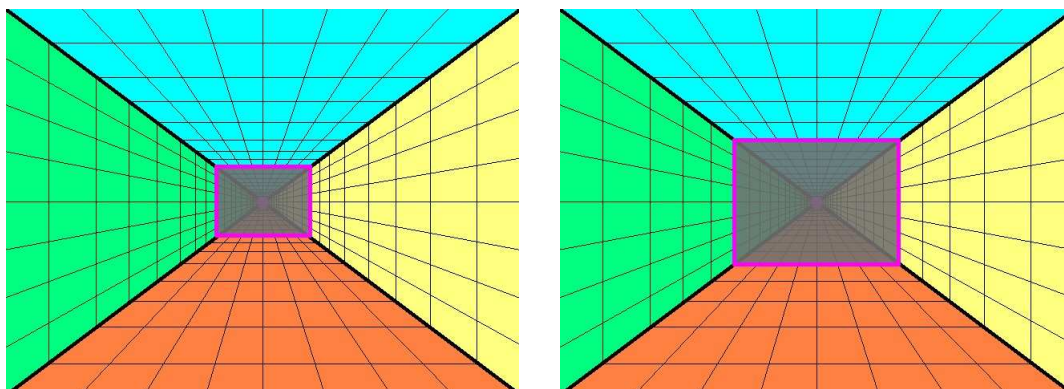


図 2.2: 矩形を小さく設定し、壁を遠くに配置した例

図 2.3: 矩形を大きく設定し、壁を近くに配置した例

消失点と矩形の頂点を、マウスなどの入力機器を用いて入力画像上に設定することにより、1点透視図法に基づいた空間形状の構成を行う。図 2.4は消失点と矩形の頂点を設定し、入力画像を5枚の壁面に分割する操作を行う画面である。以降、空間の形状を操作しながら設定するインターフェースを、空間インターフェースと呼ぶ。

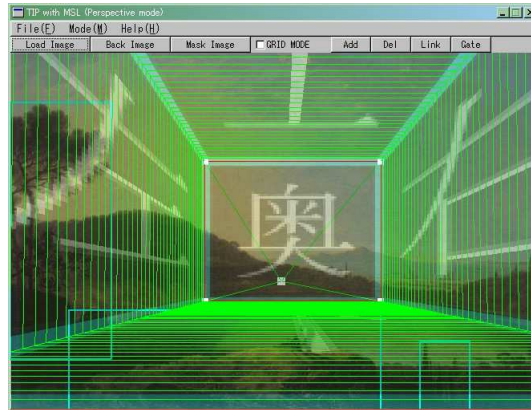


図 2.4: TIP の空間インターフェース画面

透視図法における消失点とは、空間中において無限遠に存在するものであるが、本手法では奥の矩形から更に離れた平面上に、仮想の消失点を設定する。有限の距離に消失点を設定することにより、空間を構成する上下左右4枚の壁面が撮影点側に向けて開いた台形状となる。このため上下及び左右の壁面同士は平行でなくなるが、完全な平行性を保つ直方体の空間形状と比較すると、壁面から撮影点に対する射影の角度がゆるくなり、撮影点から得られる視界をより広く確保することが出来る。以下の図 2.5は、実際に形成する台形状の空間形状を示している。図中の紫色の点は空間座標上に設定した仮想の消失点を表し、紫色の矢印は奥行き方向を表す。

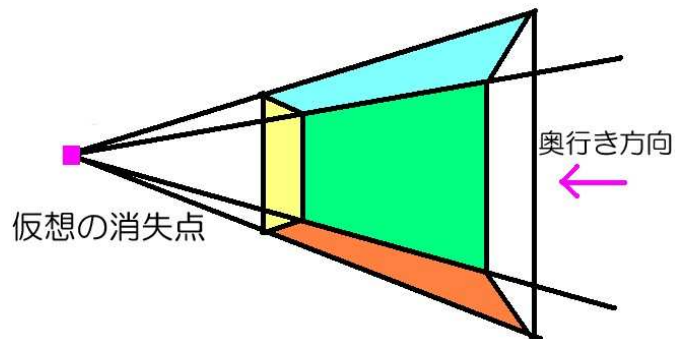


図 2.5: 台形状の壁面による空間形状

## 2.3 射影変換を用いたテクスチャの生成

空間インターフェースによって設定した座標値を基にして、入力画像から空間内に配置するテクスチャを生成する。座標投影によって形成する壁面は入力画像上では台形になるが、これは画像の撮影点に対して射影した形状であり、空間内に配置する際には矩形でなければならない。以下の図 2.6 は実際に行う変換の様子を表したものである。

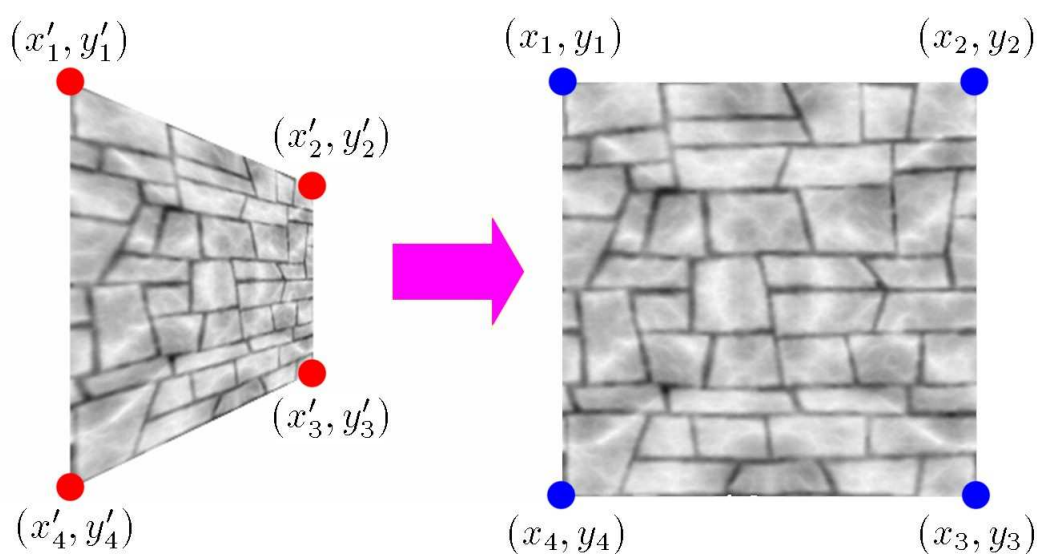


図 2.6: 台形から矩形への射影変換

変換を画像処理として実現するために、射影変換を行う [18][19]。(2.1) 式は 2 次元射影変換の基本式であり、表 2.1 に (2.1) 式で用いる変数の意味を示す。実際の変換は、変換式に変換元画像上の座標値  $x', y'$  を代入し、対応する変換先画像上の座標値  $x, y$  を得ることで行う。

$$x' = \frac{ax + by + e}{px + qy + 1}, \quad y' = \frac{cx + dy + f}{px + qy + 1} \quad (2.1)$$

表 2.1: 射影変換で用いるパラメータ

変数名	内容
$x', y'$	変換元の座標値
$x, y$	変換先の座標値
$a, b, c, d$	拡大縮小・回転行列の要素
$e, f$	平行移動量
$p, q$	平行性自由度の係数

表 2.1中の未知数について詳細を解説する。 $a, b, c, d$  は、拡大縮小・回転行列の要素に対応する。すなわち 2次元座標上において、 $x$  方向のスケールを  $s$  倍、 $y$  方向のスケールを  $t$  倍として、原点を中心に角度  $\theta$  の回転が行われる場合、 $a, b, c, d$  は以下の (2.2) 式を満たす。

$$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s & 0 \\ 0 & t \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

この (2.2) 式に、 $x, y$  方向への平行移動量として  $e, f$  を加えたものが 2次元アフィン変換であるが、2次元アフィン変換では平行四辺形間の変換にしか対応できない。本手法では各辺の平行性に自由度を与えるため、(2.1) 式においては  $p, q$  を係数とする  $x, y$  の 1 次式を右辺の分母に導入した。 $p = q = 0$  の場合、(2.1) 式はアフィン変換と同様の働きをするが、この係数が変化することによって各辺に平行性の自由度が与えられ、より一般的な任意の凸型四辺形との変換が可能になる。

以上の未知数  $a, b, c, d, e, f, p, q$  を画像間の変換係数として求めるために、以下の計算を行う。まず、変換元である台形の頂点座標値を  $(x'_1, y'_1)(x'_2, y'_2)(x'_3, y'_3)(x'_4, y'_4)$  とおき、変換先である矩形の頂点座標値を変換先座標を  $(x_1, y_1)(x_2, y_2)(x_3, y_3)(x_4, y_4)$  とおく。これら 8 組の既知数を  $x', y'$  及び  $x, y$  に代入した 8 元連立方程式を利用して、ガウス・ジョルダンの掃き出し法を用いた計算を行う [20][21]。以上の計算によって求めたパラメータを用いて、変換元画像上の座標値  $x', y'$  を、対応する変換先画像上の座標値  $x, y$  に変換する。このメソッドによって任意の凸型四辺形状間

での相互変換が可能となり、どのような凸型四辺形状のクリッピングポイントからでも矩形テクスチャを生成する事ができる。

以上の手順で生成した矩形テクスチャを、空間インターフェースで設定した空間座標上に配置することで、ウォークスルーが可能な仮想空間の構築を実現している。以降、1枚の画像から構成される仮想空間をシーンと呼ぶ。

## 2.4 物体の書き割り処理

画像に描かれる、あるいは撮影されている事物は、撮影点から遠い距離に存在していて、視点の移動による視野への影響が少ないものと、ある程度近い距離に存在し、視点の変化が視野内での像に大きく影響するものに分けることができる。本手法では、これら2種の事物を背景と物体という2つのレイヤに区別して扱う。

空間の壁面を構成する矩形テクスチャを入力画像から直接生成した場合、そのまま空間内に配置してしまうとシーン内に存在する物体が背景と同化し、変形して潰れてしまうという現象が起きる。以下の図 2.7はシーン作成に使用した入力画像であり、図 2.8は実際に入力画像から直接テクスチャを生成し、背景と同化して変形してしまった物体を示している。



図 2.7: テクスチャ生成に使用した入力画像

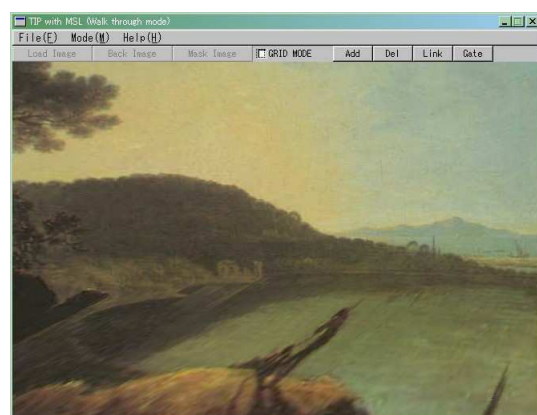


図 2.8: 書き割りオブジェクトを用いないウォークスルー画面

この問題を回避するため、背景部より視点側に近い位置に存在する物体を、書き割りとして背景と別レイヤで配置する事ができる。この時配置するオブジェクトを、以降書き割りオブジェクトと呼ぶ。空間を構成するテクスチャに対しては、物体をレタッチで消去したものを入力画像として使用し、その上に書き割りオブジェクトを表示させることで、物体が背景と同化する現象を防ぐことができる。

物体を背景から分離させるためには、あらかじめ入力画像に対してレタッチ処理を施す必要がある。まず、書き割りとして配置したい物体を塗りつぶして消去した画像と、塗りつぶしに用いた値をグレースケールでマッピングした画像の2枚を用意し、元画像と共に読み込む。この時の値とは、完全に塗りつぶしたピクセルを1、全く塗りつぶしていないピクセルを0として、256階調のグレースケールの輝度値に対応させている。以下の図 2.9,2.10は、図 2.4で使用されている画像を加工して用意したものである。



図 2.9: 物体をレタッチして消去した画像 図 2.10: 透過部分を黒、不透過部分を白とした マップ画像

用意した マップ画像上で、書き割りにしたい部分を矩形でクリッピングし、その物体が上下左右どの面に属するかを設定する。以下の図 2.11は、空間インターフェイス上で書き割りオブジェクトを矩形で指定しているものである。



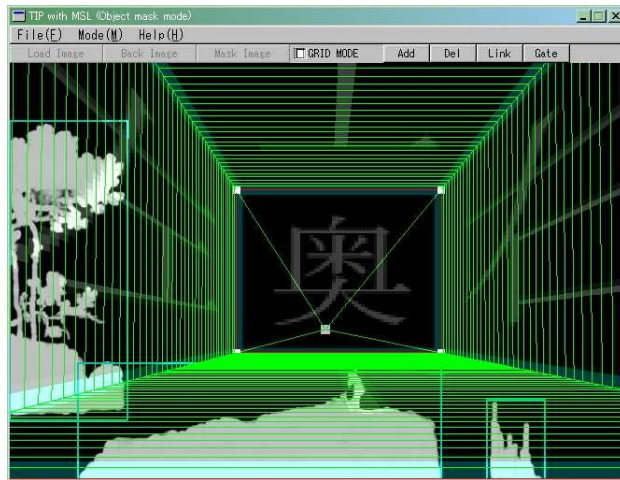


図 2.11: 書き割りオブジェクトのクリッピング画面

以上の手順によって、背景とは独立したレイヤによって表示する書き割りオブジェクトを生成する。書き割りオブジェクトを用いることで、物体越しに奥の背景を臨む視点などが設定可能となるため、より臨場感のあるシーンを提供することができる。以下の図 2.12,2.13は、図 2.8に対して書き割りオブジェクトを使用した場合のウォークスルー画面である。図 2.12では画面の左側に位置している人物が、図 2.13に示す視点では画面の右側に移動していることが分かる。



図 2.12: 書き割りオブジェクトを用いたウォークスルー画面 1



図 2.13: 書き割りオブジェクトを用いたウォークスルー画面 2

## 2.5 問題点

既存の TIP によって作成したシーンでは、視点は常に画像の撮影方向に対して向けられていることが前提となっている。このため視点を撮影点側へ振り向かせた場合に、テクスチャを張っていない空間がどうしても顕著になってしまう。このことが視点の自由度を追求する場合には大きな問題点となる。以下の図 2.14 はウォークスルー画面において、視点が撮影点側に振り返っている様子を表している。

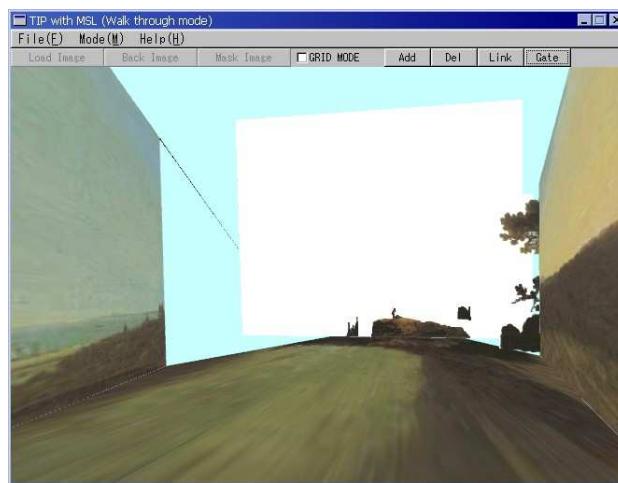


図 2.14: 画像の撮影点側に視点を向けたウォークスルー画面

この他の問題点としては、以下のようなものが挙げられる。

- 書き割りが 1 枚のテクスチャでしかなく厚さがない。  
図 2.15 にその様子を示す。
- 撮影点から遠い壁面に接近すると画質の劣化が目立つ。  
図 2.16 にその様子を示す。

どちらの問題点も、1 つのシーンに対するソースが 1 枚の画像のみであることから生じる弊害である。物体を書き割りとして配置する手法では、単一の視点から立体視可能な形状を復元することは困難であり、撮影点から遠い壁面に関しては、

画像上では数ドットしか存在していない空間を無理に引き伸ばしているため、1枚の画像しか扱えない現状の TIP では本質的な改善が望めない。



図 2.15: 厚さのない書き割りを斜めから注視する視点



図 2.16: 撮影点から離れた壁面を注視する視点

## 第 3 章

# シーンリンクによる空間の拡張

本研究では、前章で述べた TIP によるシーンを複数作成し、3次元空間内に配置することによって、視点の自由度が大幅に向上した仮想空間の構築を実現している。シーンを配置する際には、シーンの接続部分を同一平面上に存在する4点の空間座標値が構成する矩形として設定し、この矩形の座標が接続を行うシーン間で一致するように、空間内でのシーンの位置と姿勢を制御することによって、半自動的なシーンの接続を実現する。以降、このシーンの接続プロセスをシーンリンクと呼ぶ。本章では、本研究が提案するシーンリンクの手法について述べる。

### 3.1 シーンモデルとリンクゲートの概念

本手法では、1枚の画像から生成されたシーンを構成するテクスチャ群を、全体で1つのシーンモデルとして扱う。シーンモデルの概念を導入することにより、シーン内部の座標系はカプセル化され、空間内におけるシーン全体の位置及び姿勢を制御することが可能となる。これを利用して複数のシーンを空間内に配置し、連続的なリンクを実現した。

リンクに際しては、個々のシーンモデルに対して他のシーンモデルとの接続部分を、同一平面上に存在する4点の空間座標値が構成する矩形として設定する。以降、この4点の座標値が構成する矩形をリンクゲートと呼ぶ。

## 3.2 リンクを前提としたシーンの拡張

リンクを前提としたシーンモデルを扱う際に、TIP の基本概念そのままの実装では問題が生じる。以下にその問題点と対応手法を述べる。

### 3.2.1 平面の平行性の保持

前章で述べた通り、TIP によって作成するシーンにおいては、仮定の消失点を空間座標上の有限の距離に設定することによって、台形状の壁面による空間形状を構成している。以下の図 3.1 に、既存の TIP で用いている空間形状を再度示す。図中において、紫色の点は空間座標上に設定した仮定の消失点を表し、紫色の矢印は奥行き方向を表す。

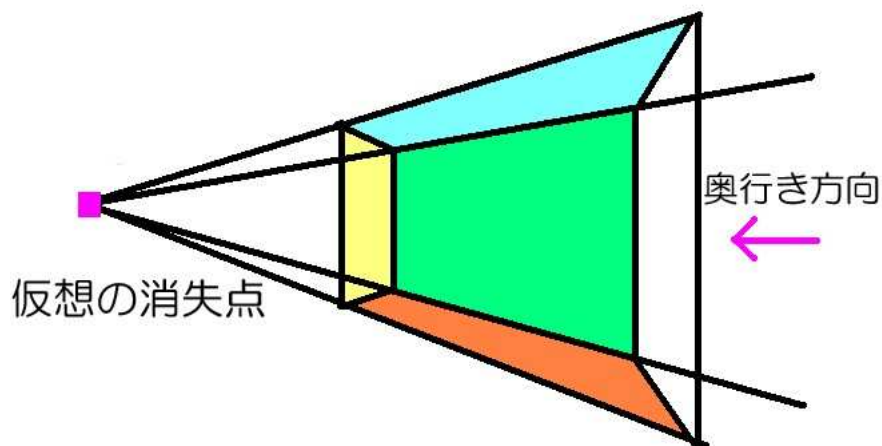


図 3.1: 台形状の壁面による空間形状

単体のシーンをウォークスルーする場合は問題ないが、本手法ではリンクゲートの形状を矩形として定義するため、各壁面が台形となっている空間形状では、リンクに際してシーンモデルの姿勢制御が煩雑なものになる。このため、リンクを前提とするシーンモデルの空間形状は矩形の壁面を持ち、対となる平面同士が平行である直方体状であることが望ましい。これに対応するため、空間インターフェースで設定した奥の矩形と、入力画像の撮影点側で形成する矩形の大きさを、

奥の矩形を基準にして揃える処理を行った。以下の図 3.2に、対となる平面同士の平行性を保った空間形状を示す。図中の紫色の矢印は奥行き方向を表す。

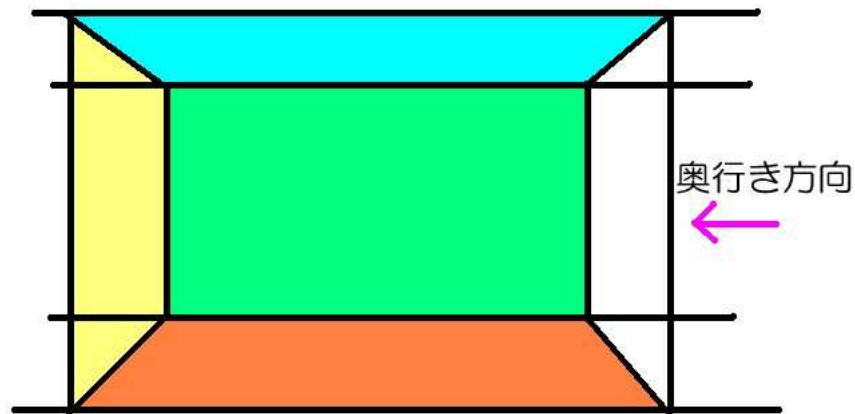


図 3.2: 平面の平行性を保った空間形状

実際に平行性を保持する処理を行ったシーン内をウォークスルーした結果、行わなかったものと比較しても違和感はなく、ウォークスルーとしてのクオリティは損なわれなかった。

### 3.2.2 矩形テクスチャの分割

空間を構成する矩形テクスチャを生成する際には、入力画像の撮影点付近において、射影変換の処理対象が入力画像の範囲から超過し、余白となる領域が発生する。以下の図 3.3は、生成されたテクスチャに余白が含まれている様子を表しており、視覚的に分かりやすいように余白部分を水色で表示している。この余白はシーンをリンクする際には不要な領域となるため、実際に空間内に配置する時には部分的に表示をカットしたい場合がある。また、撮影点側以外の場所をリンクゲートとして設定したい場合は、壁面の任意の場所に穴を空ける必要があるため、同様に部分な表示の制御が必須となる。



図 3.3: 余白を含む矩形テクスチャ  
(水色が余白を示す)

このため、生成した矩形テクスチャを奥行き方向に対して一定の間隔で分割し、1枚の壁面に対して複数枚のテクスチャを割り当てて管理することにした。分割数は、余白の大きさやリンクゲートの設定位置の精度に応じて任意に変更が可能である。余白領域に関しては画像処理的に補完する手法も考えられるが、現状では余白領域を含むテクスチャを使用するか否かは、ユーザに手動で決定させるものとした。

### 3.3 リンク制御

以上の処理を施した2つのシーン間において、以下のステップの処理を行うことでリンクを実現した。図 3.4~3.7は、各ステップにおいてシーンモデルに対して行う制御を表す。図中の青色と緑色の直方体は接続を行うシーンモデルを表し、各シーンに設定されているリンクゲートの位置は各々の撮影点側を想定し、黄色の矩形で示している。

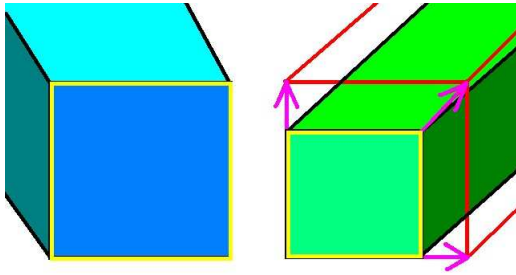


図 3.4: 1. シーンモデルの拡大縮小  
(青色のモデルに合わせて  
緑色のモデルを拡大縮小する)

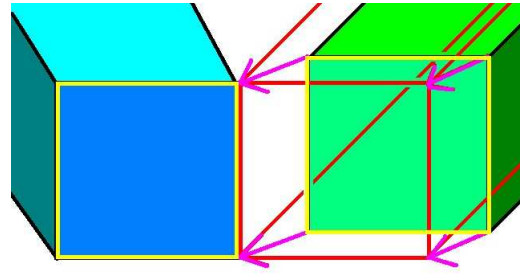


図 3.5: 2. シーンモデルの平行移動  
(青色のモデルが持つリンクゲートの位置に  
緑色のモデルを平行移動する)

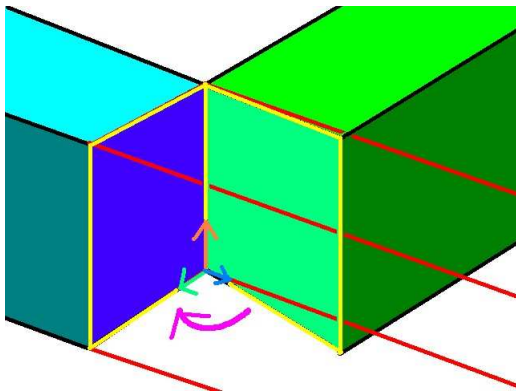


図 3.6: 3. シーンモデルの回転  
(リンクゲートの各頂点が一致するように  
緑色のモデルを回転する)

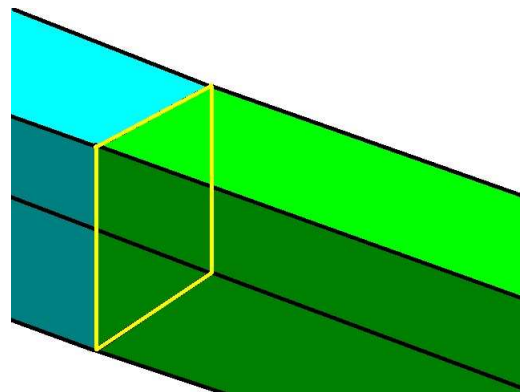


図 3.7: 4. リンクが完了した状態

1. リンクゲートの大きさに合わせてシーンモデルの拡大縮小を行う (図 3.4)
2. リンクゲートの1点が一致するようにシーンモデルの平行移動を行う (図 3.5)
3. リンクゲートを構成するベクトルから内積と外積を取り、求めた角度によってシーンモデルの回転を行う (図 3.6)
4. リンク完了 (図 3.7)



以上の手順でシーンモデル同士のリンクを実現した。入力画像の撮影位置とリンクゲートの設定位置は、リンク時にシーン間の継ぎ目となる部分の画質に大きく影響する。入力画像の撮影点付近では余白を含む領域が多くなるため、リンクを前提としたシーンを作成する場合は、シーンとして利用したい空間からかなり引いた地点から撮影した画像を用いるのが望ましい。

# 第 4 章

## 検証と考察

### 4.1 リンクしたシーンの検証

前章で提案した手法に基づき、2枚の入力画像を用いてシーンの構築とリンクを行った。以下の図 4.1,4.2は、同一地点から異なる視点に向けて撮影したものであり、これらを入力画像として使用した。



図 4.1: 入力画像 1



図 4.2: 入力画像 2

その結果、2つのシーン間を連続してウォークスルーが可能なシーンが構築できた。以下の図 4.3は作成したシーンとリンクの位置関係を表し、図 4.4,4.5に実際にリンクを行ったシーンの様子を示す。図 4.3中の緑色の点は画像の撮影位置を表

し、紫色の矢印は撮影方向を示している。赤と青で色分けした領域が、それぞれの画像からシーンとして構成する空間を示している。

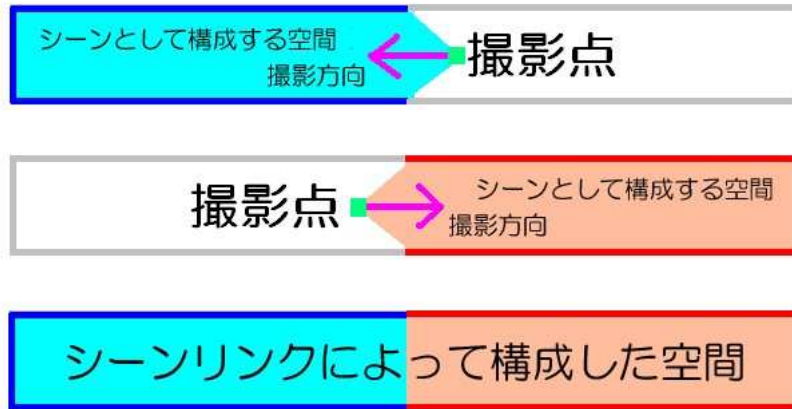


図 4.3: 作成したシーンとリンクの位置関係



図 4.4: リンクした2つのシーンを離れた場所から注視する視点

図 4.5: シーンの端から反対側を注視する視点

視点を入力画像の撮影点に向けた場合でも、1つのシーンでは表しきれない空間に対してもう1つのシーンを連続的に配置しているため、テクスチャを張ってい

ない空間が顕著になることが無くなった。このことによって、視点の自由度が大幅に向上したと言える。以上の検証から本手法を用いることにより、一般的なカメラによって撮影した複数の画像を使用し、簡易な操作で連続した仮想空間としての再構成が可能になることが確認できた。

## 4.2 インターフェースの評価

前節で作成したシーンをリンクする時に行う操作は、既存のシーンに対してリンクゲートを設定するだけでよく、微妙な位置合わせなどの操作は必要としない。リンクゲートの設定は、1枚の画像から生成するシーン内をウォークスルーして視覚的に確認しながら行う事が可能であり、既存のTIPによるシーン作成に対して付加する操作を最小限に抑えることが出来た。以上のことから操作性を簡易なものに留めたまま、視点の自由度を向上させた仮想空間を構築するという本研究の目的を達成できたと言える。

## 4.3 考察と課題

現時点における実装では、2つのシーン間において連続的なリンクを実現することができた。しかし今回の検証で使用したシーンは、屋内の廊下という細長い空間形状であり、奥行きに対して左右の幅が小さくなっているため、1点透視図法に適した空間形状であった。この条件に適さない、奥行きに対して左右の幅が広がっている空間形状を構成する場合、1点透視図法で作成したシーンは余白を多く含むため、リンクには利用しづらいものになる。

今後手法を拡張していく上では、2点透視図法に対応したシーンを扱えるようにすることで、より少ない枚数の画像による空間の再構成が可能になると思われる。以下の図4.6に、2点透視図法を用いた空間形状の表現例を示す。図中の紫色の点は2つの消失点を表す。

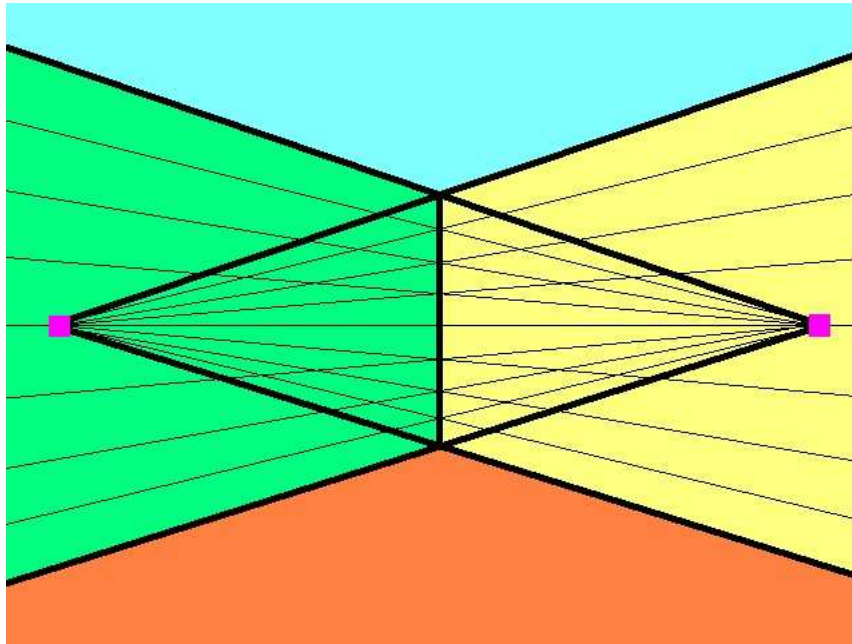


図 4.6: 2点透視図法による空間の表現例

図 4.6に示すように空間の角を注視している構図は、左右の壁面それぞれに奥行きが存在すると捉えることが出来る。この点を踏まえて、直方体状の空間を対角上の2点から撮影し、2点透視図法を用いたシーンの作成を行うことによって、2枚の画像から得られる空間形状の情報を最大限に利用した空間再構成の実現が期待できる。以下の図 4.7~4.9にそのプランを示す。図中の緑色の点は画像の撮影位置を表し、紫色の矢印は撮影方向を示している。赤と青で色分けした領域が、それぞれの画像からシーンとして構成する空間を示している。



図 4.7: 空間の撮影例 1



図 4.8: 空間の撮影例 2



図 4.9: 2点透視図法によるシーンを用いた空間の構成例

2点透視図法への対応に関しては、株式会社ホロンがTIPを応用して作成した“Motion Impact”[22]において実現しており、実装例として参考にした上で今後実現していきたい。

## 4.4 今後の展望

本研究で提案した手法により、TIP によって作成したシーンを自由に接続することが可能となった。本来 TIP は写真を対象とするものではなく、実写ではない絵画の中に入り込んでウォークスルーが可能になるというインパクトが取り沙汰されてきたが、実写画像が持っている空間形状の情報を、空間インターフェースによる簡単な操作によって利用することが出来るため、本手法による拡張によって、写実的な仮想空間構成に対しての有用性をより確立できたと言える。

シーンリンクの作業にはユーザとの対話的な操作を取り入れており、処理の煩雑さとユーザに要求する操作の負担とのバランスを取っている。作成する形状に対してユーザの操作を積極的に取り入れていく手法は、元来ジオメトリベースのレンダリングにおいて用いられてきたものであるが、土台となる形状を IBR を用いて作成し、ディテールに関してはジオメトリベースで培われたインターフェースによる操作で対応していくことで、IBR 技術はより身近で使いやすいものとなるだろう。

IBR はジオメトリベースのレンダリングにとって代わるものではなく、それぞれにメリットとデメリットがある。今後は IBR とジオメトリベースのレンダリングを併用するアプローチや [23]、ジオメトリベースで作成された形状に画像を重ね合わせる手法 [24]、入力画像に対するマウス操作で任意の形状を作成するインターフェース [25] といった研究を参考にし、ジオメトリベースのレンダリングと IBR が持つ互いのメリットを生かした、仮想空間構成手法を提案していきたい。

## 第 5 章

### まとめ

IBR 技術においては特殊な撮影方法を必要とするものが多いが、TIP は 1 枚のシンプルな画像に対する簡易な操作から仮想空間を構築する事が可能である。しかし画像に描かれている以上の情報量がないため、視点の自由度は低くなるという欠点を持つ。本研究ではこの TIP をベースとし、これを拡張して複数の画像による、より視点の自由度が増した仮想空間の構築を提案した。その際には画像に対するオペレーションを出来る限り簡易なものに留めることを念頭に置き、仮想空間が持つリアリティや視点の自由度とのバランスを考慮した。

本手法により、既存のシーンに対してリンクゲートを設定することによって、2 つのシーンの連続的なリンクが実現できた。実際にシーンを構築して検証した結果、1 つのシーンでは表しきれない空間に対してもう 1 つのシーンを連続的に配置しているため、視点の制約を受けないウォークスルーが可能であった。以上のことから操作性を簡易なものに留めたまま、視点の自由度を向上させた仮想空間を構築するという本研究の目的を達成できたと言える。

今後はシーンの追加を自由に行えるようにして大規模な仮想空間の構築に対応すると共に、2 点透視図法を用いたシーンの作成に対応することで、より効率的な空間再構成を実現していきたい。



# 謝辞

本研究を締めくくるにあたり、プログラミングのノウハウから論文の執筆に至るまで、幅広いご指導とご教授を頂きました、本校メディア学部の渡辺大地講師および和田篤氏（電気通信大学）に心より感謝いたします。

また、画像処理における計算手法についてご助言をいただきました本校メディア学部の宮岡伸一郎教授、透視図法に関して図学の見地からご意見をいただきました本校メディア学部の淵上季代絵教授に感謝いたします。

さらに、研究を進めるにあたって様々な意見を交換してくれた、本校メディア学部渡辺研究室の皆様感謝します。

いつも私を支えてくれた家族と、全ての友人たちに感謝します。

最後に、本研究にご協力いただきました全ての皆様と、この論文に目を通してくださった全ての方々に、厚くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- [1] 徐 剛, 「写真から作る3次元CGイメージ・ベースド・モデリング&レンダリング」, 近代科学社, 2001.
- [2] Zheng J. Y., Tsuji S, “ Panoramic representation of scenes for route understanding ”, Proc.10th Int, Conf. Pattern Recof, pp.161-167, 1989.
- [3] 株式会社オージス総研, Virtual GAIA, 1999,  
<[http://www.ogis-ri.co.jp/product/vgaia/index\\_j.html](http://www.ogis-ri.co.jp/product/vgaia/index_j.html)>.
- [4] 小野晋太郎, 川崎洋, 平原清隆, 影沢政隆, 池内克史, “ EPI解析を利用した画像統合による都市空間のイメージベースレンダリング ”, 第2回 ITS シンポジウム 2003, 2003年12月.
- [5] Chen, S. E. “ Quicktime VR - An Image-based Approach to Virtual Environment Navigation ”, Proc. SIGGRAPH '95, Los Angels, California, August 6-11, 1995.
- [6] 高橋拓二, 川崎洋, 池内克史, 坂内正夫, “ 全方位画像を用いた広域環境の自由視点レンダリング ”, 情報処理学会, トランザクション「コンピュータビジョンとイメージメディア」, Vol.42 No.SIG13 - 011, 2001.
- [7] 徐 剛, 松井裕司, 藤井友和, “ 複数の2次元画像による3次元グラフィクス ”, 情報処理学会, 研究報告「グラフィクスとCAD」, No.086 - 008, 2002.

- [8] 金井崇, 鈴木宏正, 木村文彦, “ 複数枚の写真からの三次元形状生成システムの開発 ”, 図学研究, Vol. 31, No. 2, pp.5-16, 1997.
- [9] 佐藤清秀, 山本裕之, 田村秀行, “ 現実空間と仮想空間の位置合わせ手法 - ステレオカメラと3次元センサの組み合わせ - ”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU'98) 論文集 I, IPSJ Symposium Series Vol.98, No.10, pp.I-7.I-12, 1998.
- [10] 垂水秀行, 伊藤敏夫, 金田悠紀夫, “ 照度差ステレオ法を用いた光源位置未知画像からの多面体の面認識 ”, 電子情報通信学会論文誌 D- , Vol.j83-D- NO.9, pp. 1895-1904, 2000.
- [11] 定政憲司, “ 影付表現可能なイメージベースドレンダリング ”, 奈良先端科学技術大学院大学, 情報科学研究科, 情報処理学専攻, 1999年2月12日.
- [12] Youichi Horry, Ken-ichi Anjo, Kiyoshi Arai, “ Tour Into the Picture: Using a Spidery Mesh Interface to Make Animation from a Single Image ”, Proc. SIGGRAPH 97, Los Angeles, California, 3-8 August, 1997.
- [13] 渡辺大地, FK Tool Kit System Ver.2.7.1 for VisualC++.NET2003 & Cygwin, <<http://www.media.teu.ac.jp/~earth/FK/>>.
- [14] 日本図学会編, 「美の図学」, 森北出版, 1998.
- [15] 小山清男, 面出和子, 「造形の図学」, 日本出版サービス, 1982.
- [16] 小山清男, 「遠近法」, 朝日新聞社, 1998.
- [17] 面出和子, 齋藤綾, 佐藤紀子, 穂田夕子, 「遠近法と絵画」, 美術出版社, 2003.
- [18] 金谷健一, 「形状CADと図形の数学」, 共立出版, 1998.
- [19] 島田静雄, 「CAD・CGのための基礎数学」, 共立出版, 2000.

- [20] 一松信, 「数値解析」, 朝倉書店, 1982.
- [21] Yamada.K, C/C++プログラミング 数値計算以前 (How-to programming),  
<<http://www.asahi-net.or.jp/~uc3k-ymd/index.html>>.
- [22] 株式会社ホロン, Motion Impact, 2002,  
<[http://www.holonsoft.co.jp/products/graphic/M\\_impact/index.html](http://www.holonsoft.co.jp/products/graphic/M_impact/index.html)>.
- [23] 篠原秀俊, 八木康史, 谷内田正彦, “ IBR と MBR を併用した空間モデリングとウォークスルー環境 ”, 情報処理学会, 研究報告「コンピュータビジョンとイメージメディア」, No.136 - 020, 2002.
- [24] 西野恒, 佐藤いまり, 佐藤洋一, 池内克史, “ Eigen-Texture 法：複合現実感のための3次元モデルに基づく見えの圧縮と合成 ”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J82-D-II, No.10, pp. 1793-1803, October 1999.
- [25] Byong Mok Oh, Max Chen, Julie Dorsey, Fredo Durand, Massachusetts Institute of Technology, “ Image-Based Modeling and Photo-Editing ”, Proc. SIGGRAPH 2001, Los Angeles, California, 12-17 August, 2001.