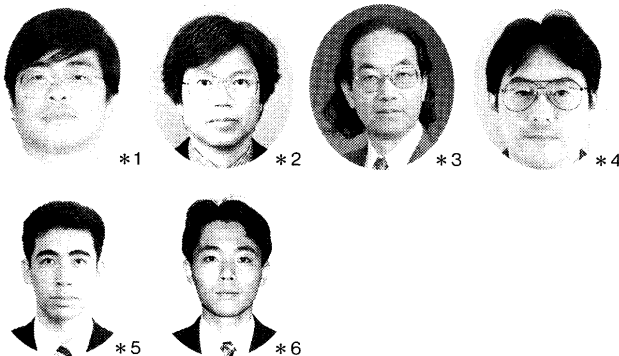


# 知覚行動直結型ビジュアルシミュレータの開発

# DEVELOPMENT OF THE VISUAL SIMULATOR DIRECTLY CONNECTED WITH PERCEPTUAL BEHAVIOR

瀬田恵之 —— \*1  
 松本直司 —— \*2  
 岡島達雄 —— \*3  
 河野俊樹 —— \*4  
 神谷彰伸 —— \*5  
 山内比呂史 —— \*6

Shigeyuki SETA  
 Naoji MATSUMOTO  
 Tatsuo OKAJIMA  
 Toshiki KOHNO  
 Akinobu KAMIYA  
 Hiroshi YAMAUCHI



Our research staffs developed the Visual Simulator system which is composed of five parts. These are as follows. Operation input part transmits the subject's operation to the personal-computer as the data. Drive control part transmits the operation data to the motors. Models shooting part shoots the architectural model space by the CCD camera. Background shooting part shoots background by the CCD camera, synchronizing with models shooting part. Animation composition part composites the image from models shooting part and background shooting part.

キーワード：  
 ビジュアルシミュレータ, 建築縮尺模型, 人工現実感, 三次元位置測定装置, 画像合成

Keywords :  
 Visual simulator, Architectural scale model, Artificial reality, Three-dimensional position mesurement device, Animation composition technique

## 1. はじめに

建築計画、都市計画の分野では、写真撮影、ビデオ撮影、CG (Computer Graphics)、模型、画像合成、シミュレータ等、様々なビジュアルシミュレーション手法が開発され、利用されている。

1) ~ 3)

画像を用いた手法では、従来より静止画や動画で提示されているが、視点はほとんど特定の地点や1定の方向で移動ルートを固定されたものであり、観察者の意志は反映されていない。しかし、実際の人間の空間体験は、自分の欲する方向に視線や体を移動しながら、時間の経過の中で捉えられるものである。従って、空間や景観の予測評価をする場合、このような人間の知覚行動を考慮して人が行きたい方向、見たい場面を自らが操作してリアルタイムで見られるようなビジュアルシミュレーション手法が必要である。

人工現実感もCG技術とマン・マシン・インターフェイス装置を結びつけたビジュアルシミュレーション手法の1つであると考えられる。近年、航空、宇宙、自動車、建設、通信等様々な分野で研究されつつあり、ゲーム、映画等の娯楽分野では、既に実用化されて

いるものもある。特に人間の視覚面での臨場感を向上させるインターフェイス装置としてHMD (Head Mounted Display) と呼ばれるディスプレイや立体視システムが製品化されている。

しかし、都市計画の立案、建物等の設計・計画への適用を考えると、CG技術を用いて現実感のある画像をリアルタイムに提示することは、技術面、費用対効果の面で難しいといえる。

筆者らは、模型空間をアイレベル (人間の目の位置に相当する高さ) で連続的にビデオ撮影したり臨場感のある画像をリアルタイムで観察できるビジュアルシミュレータの開発を行い、建築空間や街路景観の予測評価に応用している。<sup>4) ~ 12)</sup>

この装置は、小型のCCD (Charge Coupled Device) カメラを模型のアイレベルの高さに挿入し、それがパーソナルコンピュータのキーボード操作制御により見回し、見上げ・見下げ、視覚方向へ前進後退映像を可能にする。坂や階段等のレベル変化に対しては、自動的にCCDカメラをアイレベルに保つことが可能である。

この場合、模型制作の制約によって、建物の背景となる空 (雲)、遠景 (山並)、樹木等についての映像は簡略化せざるを得ない面が

\*1 飛鳥建設(株)技術研究所環境研究室 室長・工修  
 (〒270-02 千葉県東葛飾郡関宿町木間ヶ瀬5472)  
 \*2 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 教授・工博  
 \*3 名古屋工業大学長 工博  
 \*4 飛鳥建設(株)技術研究所環境研究室 副主任・工修  
 \*5 名古屋工業大学 大学院生  
 \*6 名古屋工業大学 大学院生

\*1 Head Manager, Technological Research Institute, Tobishima Corporation, M. Eng.  
 \*2 Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.  
 \*3 President Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.  
 \*4 Technological Research Institute, Tobishima Corporation, M. Eng.  
 \*5 Graduate Student, Nagoya Institute of Technology  
 \*6 Graduate Student, Nagoya Institute of Technology

ある。しかし、近年の画像処理技術の進歩により、2つの動画像をリアルタイムで合成する装置も開発・市販されており、模型映像に実写の背景映像をリアルタイムで合成できれば、より臨場感、現実感のあるビジュアルシミュレーションが可能となる。

本報では、現有のシミュレータシステムに人工現実感の技術と画像合成技術を応用して、以下の①～②に示す新機能を加えたシステムを構築したのでその概要を示す。

①シミュレータの操作をキーボードではなく観察者の首の見回しや見上げなどの動作や水平移動の操作を確認し、その情報をシミュレータに直接伝えて模型空間内を観察することを可能にする。

②これまで模型空間映像の遠景が模型の制約上から簡素であったが、画像合成システムにより模型映像に複雑な遠景映像をリアルタイムで合成する。

このビジュアルシミュレータによって、設計担当者が、建物模型を使って計画地周辺の現地情報としての実写ビデオや写真等と組み合わせながら、建物完成イメージをより現実に近い映像として観察でき、すぐその場でいくつかの代替案を比較検討することが可能となる。また、設計案に対する事業者、入居者等の評価もその場で得られるような合意形成の道具としても有効と考えられる。

## 2. システム概要

### 2.1 全体構成

ビジュアルシミュレータは動作入力部、駆動制御部、駆動・模型撮影部、駆動・背景撮影部、及び画像合成・提示部より構成される。

図1にビジュアルシミュレータ各部間の処理の流れを示した。

①「動作入力部」 観察者の動作内容を、パーソナルコンピュータにデータとして伝達する部位である。3次元位置測定装置による動作認識部で構成される。この装置では頭部動作、水平移動の進行方向、歩行速度を入力する。

②「駆動制御部」 動作認識された移動・回転データを同様にパルス信号に変換して、駆動・模型撮影部及び、駆動・背景撮影部に伝える部位で構成されている。

③「駆動・模型撮影部」 青色の単色を背景とした縮尺模型空間をCCDカメラで撮影する部位であり、動作認識による移動・回転動作、及びCCDカメラをセンサーでアイレベルに合わせて自動的に上下させる。リニアモータ部位で構成されている。

④「駆動・背景撮影部」 縮尺模型空間の背景の撮影を行う。CCDカメラを駆動・模型撮影部と同様に回転させて周囲の背景を取り込む。この装置は、外部に設置して背景を取り込むこともできるが実験室での実験には360度撮影した写真を利用することを考えている。

⑤「画像合成・提示部」 駆動・模型撮影部と、駆動・背景撮影部からのそれぞれの映像を、前景と背景の映像として取込み合成を行う部位で、合成映像はHMDに写し出される。

### 2.2 視覚行動直結システム

人間の頭部回転とCCDカメラヘッドの動作を連動させるシステムを開発し、視覚行動と連動する映像提示を実現した。これは、3次元位置測定装置、HMDを主な周辺装置として用い、視覚行動を映像と同期させる「結合システム」である。

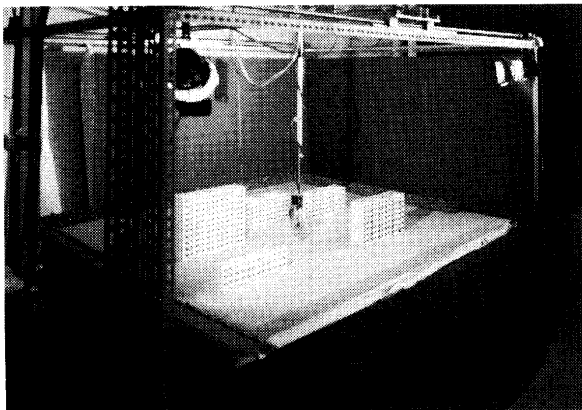


写真1 ビジュアルシミュレータ全景

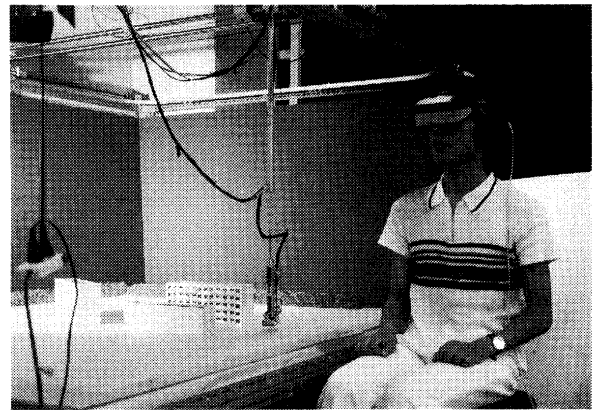


写真2 映像提示部 (HMD)

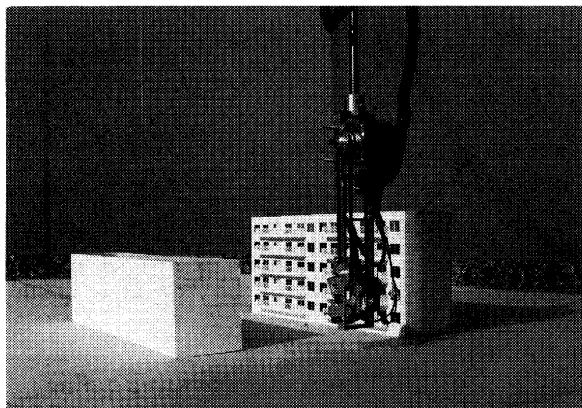


写真3 縮尺模型と駆動・模型撮影部

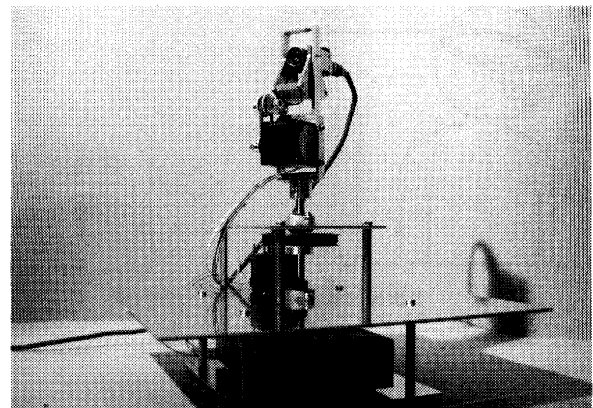


写真4 駆動・背景撮影部

図2のように、システムは被験者側とシミュレータ側に大別され、シミュレータ側はシミュレータと背景撮影カメラから構成されている。人間とシミュレータの結合システムは、下記の2つから成り立っている。

①シミュレータと背景カメラの上下・水平回転を人間の頭部の回転動作にあわせ、同期作動させる。

②シミュレータと背景撮影カメラの映像をリアルタイムで合成・提示する。

①は、3次元位置測定装置により、人間の頭部の回転角を測定し、この値をパソコンで処理、モーターの駆動量に変換してアクチュエータを通じてシミュレータ・背景撮影カメラ双方を同時に駆動させるシステムである。

3次元位置測定装置とは、磁気発生ユニットから発生した磁気をレーザ（本装置は3つのレーザが接続可能）で検知、磁気変換ユニットでレーザの3次元位置座標と回転角として文字列データに変換し、パソコンに送信するものである。

②は、シミュレータと背景撮影カメラ各々で撮影された模型の背景の映像を、画像合成装置によりリアルタイムでひとつの空間の映像に合成し、HMDを介して人間に提示するシステムである。

人間とシミュレータの間にこの結合システムを導入することにより、被験者にとってより直感的な操作が可能となり、出力結果もこれに追従することができる。さらに被験者は出力結果を即座に次の動作に反映することができる。つまりシミュレーションに、より現実感を与えることになる。

### 2. 3 制御プログラムの構成

駆動制御のプログラムは、図3に示すように、既存プログラムの前進、後退、右回転、左回転、上回転、下回転のキー入力操作部分に、3次元位置測定装置を用いた動作認識と制御プログラムを組み込んだものである。

図4の流れ図に示す動作認識と制御プログラムを、コンピュータ言語にVisual BASICを用い作成した。3次元位置測定装置の1つのレーザから3次元座標（X、Y、Z座標）、回転角（ピッチ、ヨー、ロール角）の合計6つのデータが測定可能である。制御プログラムでは3つのレーザを使用し、頭部動作、水平移動の進行方向、歩行速度を認識するためのデータを算出する。

#### ①「頭部動作制御」

被験者頭部に取付けたレーザから、頭部回転の制御に必要な回転角データを抽出し、数値データへ変換を行う。この時、回転角を測定する時間間隔を微小にし、絶えず変速する人の頭部の動作に漸的に近づける（図5）。得られたデータと繰り返される1つ前のデータとの比較を行い、 $\pm 3^\circ$ 以上の回転が判定されると、ステッピングモーターを動かすパルス信号を出力する。また $\pm 3^\circ$ 以内の回転は、被験者の見回し、見上げ、見下げ動作以外の微小な振動と見なし、ステッピングモーターを停止させる。

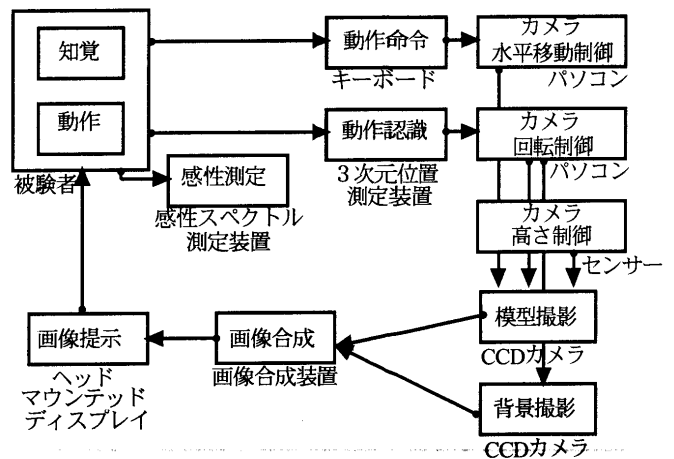


図1 ビジュアルシミュレータ各部間の処理の流れ

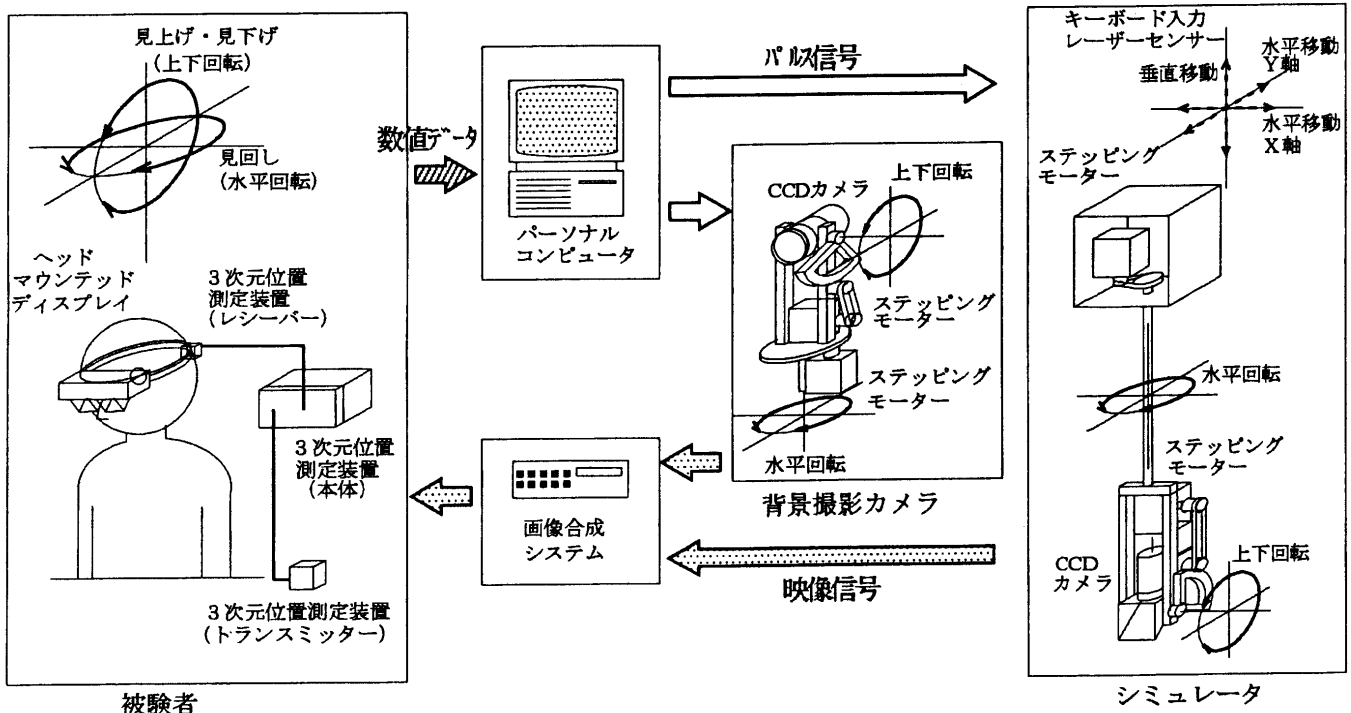


図2 人間動作とビジュアルシミュレータの結合システム

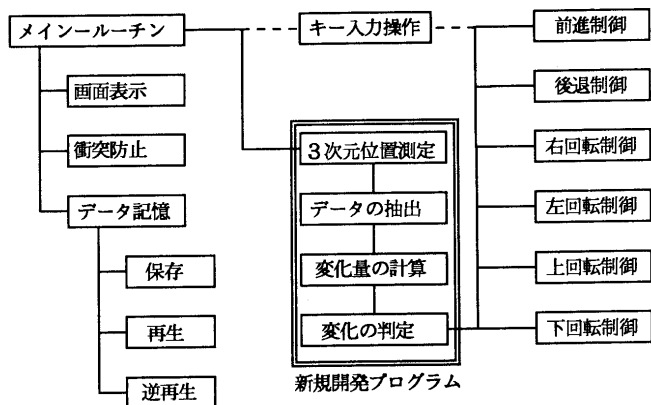


図3 制御プログラムの構成

②「水平移動の進行方向制御」

被験者は、椅子に座り縮尺模型空間を疑似体験する。被験者が模型空間を自由歩行する場合、人間の水平移動に直結した方法で、シミュレータを操作する必要がある。そのため進行方向を認識するためのレシーバを1つ椅子に固定する。水平回転角を測定し被験者の体が現在向いている方向を認識し進行方向とする。

③「歩行速度制御」

レシーバを前後に水平移動可能な状態で椅子に設置する。被験者に手でレシーバを操作させ、歩行速度を制御する。前進する時はレシーバを前に、後退するときは後ろにレシーバを移動させる。レシーバの位置座標が測定され歩行速度を算出する。②で認識された進行方向にステッピングモーターを駆動させ、縮尺模型空間を自由に歩行する。

以上のプログラムを繰り返し、シミュレータの先端部に取り付けられたCCDカメラが人間の動きに連動した動作を行い模型空間を撮影、観察することができる。

2. 4 リアルタイム動画合成システム

従来の方法では、模型映像と背景映像を別々にVTRで録画し、合成ビデオを作成する方法であった。そのため、視点の動きや時間のずれを調整しながらの作業となり、動画ビデオの作成にかなりの時間を要していた。

今回、構築した動画合成システムは、背景撮影カメラの動きをビジュアルシミュレータのCCDカメラの動きと連動させることにより、模型空間の映像に現実空間の映像を合成するシステムである。

この動画合成システムは、ビジュアルシミュレータのビデオカメラで青色の単色の背景紙を用いて被写体となる模型を撮影し、その背景の部分に背景撮影用のビデオカメラで撮影した現実空間映像を写し込める画像合成装置を用いている。

このシステムにより、従来のようにVTRに録画することなく、被験者がその場で模型空間内を自由に観察することが可能となった。

3. まとめ

今回の開発では、現有の疑似体験システムであるビジュアルシミュレータに、3次元位置測定装置を組み込み、頭部の動きに伴う知覚行動を映像と直結し、より現実感のあるリアルタイムシミュレーションを可能にした。

本研究は平成7年度文部省科学研究費、試験研究(B)(1) [研究代表者：松本直司] によっている。

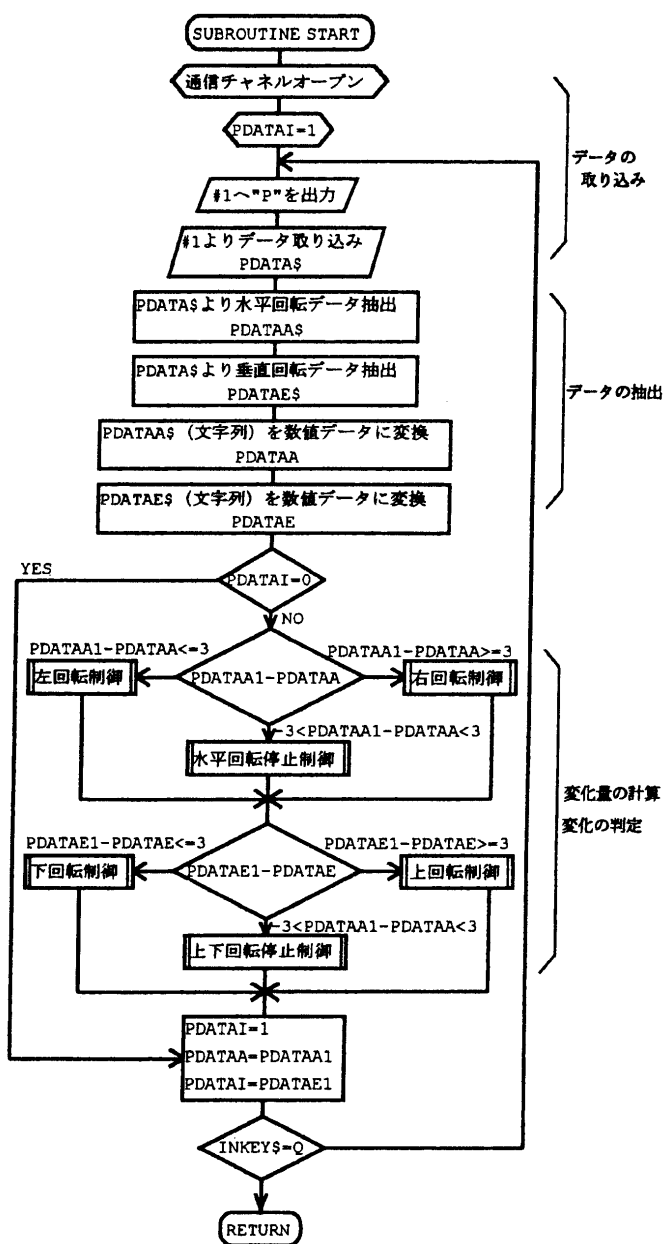


図4 制御プログラムの流れ図

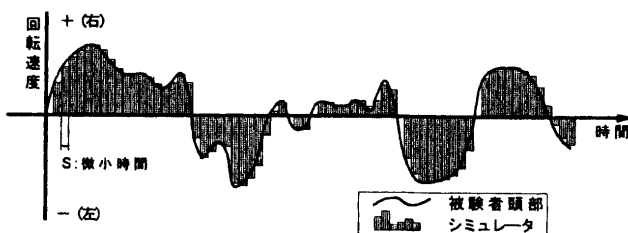


図5 頭部の動作とシミュレータの動作との対応

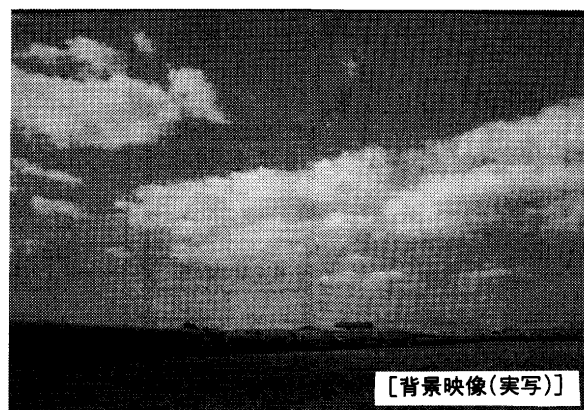
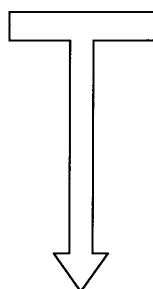


写真5 動画合成例

参考文献

- 1) R. B. Bechtel, R. W. Marans, W. Michelson: METHODS IN ENVIROMENATAL AND BEHAVIORAL RESEARCH, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1987
- 2) Stephen R. J. Sheppard :VISUAL SIMURATION, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1989
- 3)アーネスト・バーデン：デザインシミュレーション、図書印刷株式会社、1987
- 4)松本直司, 久野敬一郎, 谷口汎邦, 山下恭弘：パソコンによる縮尺模型知覚メディア（シミュレータ）の制御, 日本建築学会第11回情報システム利用技術シンポジウム, pp. 127~132, 1989. 3.
- 5)松本直司, 久野敬一郎, 谷口汎邦, 山下恭弘：空間知覚評価メディアの開発ー建築群の空間構成計画に関する研究. その5ー, 日本建築学会計画系論文報告集, 第403号, pp. 43~51, 1989. 9.
- 6)瀬田恵之・桶屋眞士・松本直司(1989)：環境アセスメント技術としての景観予測手法について、環境システム研究 VOL. 17, pp. 186~190
- 7)山本誠治, 松本直司, 瀬田恵之, 山下恭弘, 松原雅輝：縮尺模型外部空間観察用シミュレータの開発, 日本シミュレーション学会 第9回シミュレーションテクノロジー・コンファレンス, pp. 251~254, 1990. 6.
- 8)松原雅輝, 松本直司：景観シミュレーション手法の有効性に関する研究ー既住研究調査及び視知覚からの検討ー, 日本都市計画学会都市計画論文集第26号, pp. 385~390, 1991. 11.
- 9)松本直司, 山本誠治, 山下恭弘, 瀬田恵之, 谷口汎邦：模型空間知覚評価メディア（シミュレータ）の有効性ー建築群の空間構成計画に関する研究・その6ー, 日本建築学会計画系論文報告集 第432号, pp. 89~97, 1992. 2.
- 10)松本直司：Usability of Architectual Model Space Simulater in Space and Landscape Perceptions, 12th International Conference on People and their Physical Surroundings, PROCEEDINGS:VOL V, pp. 427~434. 1992. 7.
- 11)瀬田恵之・河野俊樹・塩田正純・松本直司：模型撮影ビデオ映像とCG画像との動画合成手法に関する研究（その1）, 日本建築学会第17回情報システム利用技術シンポジウム論文集, pp. 181~185. 1994
- 12)河野俊樹・瀬田恵之・松本直司・鎌田和徳：動画像を用いた街路景観評価に関する基礎実験について、1994年度日本建築学会大会学術講演集, pp. 1123~1124
- 13)松本直司, 瀬田恵之, 河野俊樹, 岡島達雄, 武者利光, 高井智代, 神谷彰伸, 山内比呂史：ビジュアルシミュレータの全体構成（ビジュアルシミュレーションのための知覚行動直結型評価システムの研究その1）, 1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集
- 14)瀬田恵之, 河野俊樹, 松本直司, 岡島達雄, 武者利光, 高井智代, 神谷彰伸, 山内比呂史：ビジュアルシミュレータの動画合成手法と脳波解析手法（ビジュアルシミュレーションのための知覚行動直結型評価システムの研究その2）, 1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集
- 15)神谷彰伸, 松本直司, 瀬田恵之, 河野俊樹, 岡島達雄, 武者利光, 高井智代, 山内比呂史：人間動作とビジュアルシミュレータの結合システム（ビジュアルシミュレーションのための知覚行動直結型評価システムの研究その3）, 1996年度日本建築学会大会学術講演梗概集

[1996年6月28日原稿受理 1996年9月10日採用決定]