

## 屋外移動体デザイン支援のためのCGモデルと背景パンビデオシーケンスの合成

### Synthesizing background Panned Video Sequence Images and CG Models for Design of Outdoor Vehicles

永井 康雄\* 藤原 雅俊\* 多田村 克己\*\*

Yasuo NAGAI\* Masatoshi FUJIWARA\* Katsumi TADAMURA\*\*

yasuo\_ux@cc.it-hiroshima.ac.jp hay76700@moon.odn.ne.jp tadamura@yamaguchi-u.ac.jp

秦 学英\*\*\* 中前 栄八郎\*\*\*\*

Xueying QIN\*\*\* and Eihachiro NAKAMAE\*\*\*\*

xyqin@cad.zju.edu.cn enakamae@crux.ocn.ne.jp

\*広島工業大学

\*\*山口大学

\*\*\*浙江大学

\*\*\*\*三英技研

広島工業大学：〒731-5193 広島県広島市佐伯区三宅 2-1-1

山口大学工学部：〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

浙江大学：〒310027 杭州市玉古路 20 号

三英技研(株)：〒730-0014 広島市中区上幟町 3-26 広島メイプルビル

\*Hiroshima Institute of Technology \*\*Yamaguchi University \*\*\*Zhejiang University \*\*\*\*Sanei Co.LTD

**論文概要** 本論文は、自然光環境下で使用する屋外移動体、例えば車等の比較的小さい工業製品のデザイナーへの支援システムとして、臨機応変に現場撮影可能な可搬性に富んだ2種類のパンビデオシーケンス撮影技法と、この背景パンビデオシーケンスを活用し、設計段階でデザイナーが気軽にCGモデルを試行錯誤できる幾何学的・光学的に均整のとれた2種類の合成法を提案する。(1) 背景パンビデオシーケンスに移動体を同期させる方法であり、デザイナーは合成のためのスキルを必要としない。(2) 移動物体に背景パンビデオシーケンスを同期させる方法であり、デザイナーは移動体の軌道・速度を自由に設定できる。

まず開発の本題の背景を記述し、背景パンビデオシーケンスの撮影手法、カラーデザインのための天空輝度分布取得法、移動体に背景パンビデオシーケンスを同期させるための再編集法、CGモデルと背景パンビデオシーケンスの合成法を提案し、適用例を挙げてその有用性を示す。

**Abstract :** We propose two kinds of technique for synthesizing background panned video sequence images and CG models in order to design outdoor vehicles such as cars.

One is for synchronizing a moving CG model with background panned video sequence images; the designer needs not any skill for the steps of the synthesis. Another one is for synchronizing background panned video sequence images with a moving CG model; the designer can freely set the route and speed of his/her CG model, but the synthesizing software has to reedit with suitable motion blur.

**キーワード :** カーデザイン, CGモデルとビデオの合成, ビデオの速度再編集, カラーデザイン, モーションブラー

**Keywords :** Car design, Synthesis of CG model and video sequence, Reediting video sequence, Color design, Motion blur

## 1. はじめに

本論文は、屋外の昼光環境下の移動体、特に車等の比較的小さい工業製品のデザイン事前評価支援システムの開発を目的とし、デザイナーが制作中のCGモデルを気軽に検討できる背景パンビデオシーケンスとの合成法、および世界各地の気候・景観・文化と調和するデザイン支援用データベース作成手法を提案する。本提案システムによって、デザイナーは、あらかじめ用意されたデータベースから使用目的に適した背景パンビデオシーケンスを選択し、そのフレーム上にCGモデルを自在に走行させてその形状・カラーデザインを検討することができる。

本論文の位置付けを明確にするために、工業製品をデザインする立場から、CGのフォトリアリズムの進展過程について概観する。

1960-70年代の陰影表示の基礎技術の確立と70年代初頭(我国では78年)から進められたカラーディスプレイのフルカラー化(8bit)は、主として軍事目的のフライトシミュレータとして注目された。

1980年代初頭に発表されたレイトレーシング法<sup>1)</sup>のフォトリアリスティックな画像は、ジャーナリズム・デザイナーの注目を集め、CG単体の動画画像がコマーシャルフィルムに活用された。1980年代後半からのグラフィックスワークステーションとビデオ編集機の市販に伴って、CGと実写の合成ビデオシーケンスがエンターテイメント・コマーシャルの分野で活発になり、さらに1990年代後半からPCが編集機能を持つようになり、今日の盛況を迎えている。

他方、本研究の主題の基礎となる建造物のデザインへの応用は、1970年代に遡る<sup>2)</sup>(XYプロッタおよびライプリンタの重ね印字)。その後の旺盛な大型建造物の建設・都市開発に伴い発生した景観アセスメントに対する社会的要請に応じて、1980年代後半から屋外用光源として欠かせない天空光モデル<sup>3), 4)</sup>、屋内の高品質な陰影表示に必須なラジオシティ法<sup>5), 6)</sup>が開発され、屋内外のデザイン評価への活用が試みられるようになった。

すなわち、自然景観と大型建造物の環境アセスメントのためのフォトモンタージュ技法<sup>7)</sup>、および航空写真を地形にマッピングした背景画像に大型構造体モデルを合成したオールCGによる動画画像<sup>8)</sup>が提案され、1990年代に入って本論文の主題である屋外移動体のカラーデザインを目的とした天空光計測法を含めたモンタージュ<sup>9)</sup>が発表された。90年代後半に入って、背景映像シーケンス

とCGモデルとを合成した動画画像<sup>10)</sup>が注目を集め、映画やTV番組で採用されるようになったが、この手法の問題点はモーションコントロールカメラや撮影対象物の追跡装置、視界参照ポイントをセットする必要がある。高価なことであった。

これに対して、1990年代後半から、ビデオ映像の活用を目的とした研究がコンピュータビジョン、CG、ロボティックスの各分野で注目され、その際に必須のカメラ固有のカメラパラメータの検出法、特にズームイン・アウト時のレンズ歪の補正<sup>11), 12)</sup>、およびビデオシーケンス画像間の関係の取得に必要な外部パラメータ検出用のオプティカルフロー法<sup>13)</sup>、さらにカメラのセルフキャリブレーション<sup>14), 15)</sup>が開発された。

景観評価用パノラマおよびパンビデオの活用法としては、最初にインタラクティブなパノラマ作成法<sup>16)</sup>が発表され、モザイク法<sup>17), 18)</sup>がビデオシーケンスからの継ぎ目のないパノラマ画像の自動作成を可能にした。さらに今世紀に入って、樹木の揺らぎ等の周期的な変化に対応したもの<sup>19)</sup>、噴水等の連続な変化に対応した自動作成法<sup>20)</sup>が開発されている。しかしこれらは、CGモデルとの合成を考えていないから、合成に必要な枚数のフレームを抽出して使用し、インタレース走査線特性を無視している。

これに対して、景観評価に用いる静止体CGモデルとビデオシーケンスとの合成用カメラパラメータの精度は1ピクセル以下の誤差が要求される。1990年代後半に、ユーザによって設定された参照点をトラッキングする橋梁の照明デザイン<sup>21)</sup>、および最初のフレーム内の数点の特徴点を指定するとその後のフレームのカメラパラメータを自動的に取得して静止体CGモデルを合成するパンビデオシーケンス<sup>22)</sup>が提案された。今世紀に入って、パン・チルト・ズームのビデオシーケンス画像に対するカメラパラメータを全自動で抽出するアルゴリズムとそれを用いた自然景観と静止体CGモデルを合成するパノラマビデオシーケンス<sup>23)</sup>が発表され、景観評価に活用されるようになった<sup>24)</sup>。

エンターテイメント・コマーシャルフィルムおよび一部環境評価の分野においても、今世紀に入ってオプティカルフローおよびモザイク手法を活用してカメラパラメータを求めるソフトウェア、例えば<sup>25), 26), 27)</sup>および4ヶカメラを使用したもの<sup>28)</sup>が市販されているが、何れも特徴点に静止体モデルの添付、またはこれを基点とした動画である。

本論文の主題である、移動体のデザイン過程の試行錯

誤には、その形状、色彩、動き、ハイライトをはじめ、各地の気象条件も含めて、背景との幾何・光学両面からの科学的根拠に基づく視覚的な整合性が欠かせない。これまでの評価法としては前述したように、以下の2つがある。

- ・ 設計対象物とその背景共にモデル化してレンダリングする、オールCG画像、例えば<sup>6), 29), 30), 31)</sup> : この場合は、モデルと背景との幾何学的・光学的なマッチングの問題は生じないが、それぞれの現場の3次元地形および樹木・建造物等、付帯事物の情報の入手およびデータ作成に多大の労力を要する。これに対して、

- ・ 既存のCGモデルと背景ビデオとの合成法: モンタージュ<sup>7), 9)</sup>、ビデオシーケンス<sup>23)</sup>は簡便であるが、静止CGモデルが対象である。

本論文は、後者の合成法の範疇に属するが、移動体のデザイン評価用合成ビデオシーケンスの作成においては、特に地上を走行するモデルに対する地表面の精密な形状情報は、その合成画像の信頼性の鍵を握っている。本論文はこの問題に対処する手法を提案するものであり、筆者らの知る限り文献<sup>10)</sup>以外には公表されたものはない。

本論文は、自然環境下で使用する屋外の移動体（ここでは車）の比較的小さい工業製品を試作するデザイナーが気軽にCGモデルを使用して試行錯誤するための、臨機応変に現場撮影可能な、安価で可搬性に富んだ2種類の背景パンビデオシーケンス撮影技法と、この背景パンビデオシーケンスのデータベースを活用した幾何学的・光学的均整のとれた合成法を提案する。次節で、提案手法の概要を述べ、3節で提案手法を詳述し、4節で適用例を用いてその有用性を示し、5節で結論と今後の課題について記述する。

## 2. 提案手法の概要

本節では、まず提案手法の背景パンビデオシーケンスフレームと設計モデルの合成ビデオ作成時に生じる静止物体と移動物体の相異点を指摘し、技術的な諸問題と提案手法の特徴を示す。

### 2.1 静止体モデルと移動体モデルの相異点

(1) デザインの観点からみた大型構造物と移動体工業製品の相違点:

大型構造物は、特定の地域に限定された景観との調和の良否が問題であり、一般に特注品で、建設単価が大きく、公開コンペ、地域住民とのコンセンサス手段への活用等、撮影経費・事前評価経費も比較的大きい。したが

って、通常、外注あるいは社内の専門家に依頼することが多い。

これに対して、本論文の対象である移動体モデルの場合は、比較的単価が小さい量産品で、製品サイクルが短い上に、世界各地の異なる文化・景観・気象等の環境に密着したマーケットが対象となる。その上、個々の撮影経費は厳しく、通常、デザイナーとCGオペレータの共同作業が行われる。

本研究の主目標は、デザイナーが作品の制作段階で手軽に試行錯誤できるソフトと、それに使用する背景ビデオシーケンスデータベース作成のための簡易撮影技法の開発にある。

(2) 表示手法の相違点:

大型構造物・都市計画時の静止モデルと景観との調和の観察法としては、前述したように、一般に特定された数箇所からの、モンタージュ、パノラマまたはビデオ合成画像が使用される。ビデオ合成画像の場合、カメラの位置を固定した比較的低速度の合成パンビデオシーケンス画像と建造物モデルを合成する手法<sup>29)</sup>が用いられる。

この場合、CGモデルと背景ビデオシーケンス間の幾何学的な整合は、ワールド座標の基準点に対する相対位置関係を1回設定すればよく、その後の両者のマッチングには、背景ビデオシーケンスのカメラパラメータの変化に、CGモデルの座標系を同期させればよい。

これに対して、本論文の対象である移動体モデルの場合は、CGモデルの幾何学的な位置関係、すなわち視点からの距離・方向が、

- ・ CGモデルが背景ビデオシーケンスのカメラパラメータの各フレームに同期するか、または
- ・ デザイナーが設定したCGモデルの動き(軌道・速度)に背景ビデオシーケンスの各フレームのカメラパラメータを同期させる必要がある。

(3) 光学現象の相異点:

昼光下の被照体への光源は太陽直達光と天空光それに地上からの反射光からなり、天空光の相関色温度分布は、地球上の各地域・季節によってそれぞれ特徴を持ち、撮影時の照射条件の再現性がない。したがって撮影時の天空輝度分布の同時計測は、その地域に適応したカラーデザインの良否の鍵を握っている。

本論文では、背景パンビデオカメラの近傍に魚眼レンズ付カメラ(NDフィルタ併用)を三脚上に設置し、背景撮影時刻に合わせて全方位の撮影(図1(b)参照)を行い、これから、太陽直達光、天空光および地上からの反射光束を取得し、従来のHDR法<sup>32), 33)</sup>(High Dynamic Range)

を改良してRGB個々の輝度成分の飽和を回避した入射光輝度を用いるHDR法<sup>34)</sup>によるレンダリングを活用する。

屋内と異なり、ラジオシティ効果は、一般に対象空間が広い場合特殊な環境を除いて、地上事物からの1次反射だけで十分である。

静止体と移動体の間に光源情報の取得法の本質的な相違はない。ただし、

- ・ 静止体モデルのレンダリングは、パン角度が60度なら一度でよく、360度の場合でもせいぜい数枚のレンダリングで十分である。これに対して、
- ・ 移動体のレンダリングは、CGモデルは勿論のこと、それが背景に落とす影および周辺物体がモデルに落とす影についても、各フレームに対してレンダリングする必要がある。

## 2.2 提案手法の特徴

本論文で提案する、背景パンビデオシーケンスフレームとCGモデルを合成する2つの手法、すなわち(1)背景ビデオのパン速度にCGモデルを同期させる手法、(2)CGモデルの動きに背景ビデオシーケンスのパン速度を同期させる手法は、それぞれ以下の特徴を持つ。なお、説明の便宜上以降、前者を手法A、後者を手法Bと呼称する。

(1) 背景ビデオのパン速度にCGモデルを同期させる合成手法A:

(i) 利点:

- ・ 撮影現場において、CGモデルの適正な動きを想定して撮影した背景パンビデオシーケンスのデータベースが用意される。したがって、デザイナーは、データベースの中から適当な背景を選択し、試作中のモデルを入力するだけでよい。
- ・ 走行軌道・速度等の詳細な設定に関する専門知識は不要であり、短時間に繰り返しチェックできる。したがって、特に設計の初期段階に適している。
- ・ 背景ビデオシーケンスの各フレームのカメラパラメータ<sup>23)</sup>、すなわちパン、チルト、ロール、焦点距離( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $f$ )を、直接設計モデルのレンダリングの入力情報として活用できるから、合成ソフトの準備が簡単である。

(ii) 問題点:

- ・ 撮影はCGモデルの軌道と速度を予測して行う必要がある、熟練を要する。
- ・ 設計モデルの動きがパン速度に制約されるため、比較的単純な走行軌道および速度に限定される。

・ CGモデルの速度および軌道の変更を想定した複数の背景ビデオの撮影が必要であり、適用範囲に柔軟性を欠く。

(2) CGモデルの動きにパンビデオシーケンスを同期させる合成手法B:

(i) 利点:

- ・ 撮影現場では、合成パン速度とは無関係に、低速度のパンビデオシーケンスを撮影し、デザイナーが指定するCGモデルの移動速度に合わせて、その都度背景パンビデオシーケンスの速度を再編集する。したがって、撮影に特別なスキルを必要としない。
- ・ デザイナーは、データベース中から適当な背景を選択し、自分の目的に合致する軌道・速度を自由に設定できる。したがって、特に設計の最終段階の検討に適している。
- ・ 一度再編集した背景ビデオシーケンスは、データベースとして再利用できる。したがって、同一現場の背景に対して、1種類の撮影データを用いて多様なパン速度の背景ビデオシーケンスを作成できるから、これらを蓄積することによって、データベースを増殖できる。その結果、撮影経費が軽減する。

(ii) 問題点:

- ・ 設計モデルに自由な軌道を許すには、手法Aに較べて、より精密な走行地形データを入手する必要がある。
- ・ デザイナーは、設計モデルの運動特性(回転半径・加減速)に配慮した軌道・速度を設定できるスキルを要求される。
- ・ システムは、デザイナーがCGモデルの軌道・速度を容易に入力できるインタフェースを用意する必要がある。
- ・ システムは、デザイナーが設定したCGモデルの動きに同期(例えば、CGモデルが常に各フレームの中央付近)させるためのビデオ再編集ソフトを準備する必要がある。

## 3. 提案手法

### 3.1 背景パンビデオシーケンスのデータベース作成

2.2節で提案した2つの手法、すなわち手法Aおよび手法Bのデータベース作成法について、両者の共通部分および相違部分を対比させながら論述する。

(1) 背景パンビデオシーケンスの撮影法:

手法A,B共に手持ちによるパンでもカメラパラメータの取得は可能である<sup>23)</sup>。手法Aの場合は撮影者のスキルに依存するところが大きい。したがって可能であれば、

本番前に実車を走行させてパン速度を確認することが望ましい。手法Bの場合は背景ビデオシーケンスのパン速度は、屋外構造物と背景パンビデオシーケンスとの合成の場合より、さらに低速であることが望ましい。これにより、再編集後のビデオシーケンスの空間的な圧縮によるモーションブラー効果を上げることができる。本論文では、約 2.5[度/sec]で撮影する。したがって、カメラは可能な限り三脚上にセットすることが望ましい(図 1(a) 参照)。

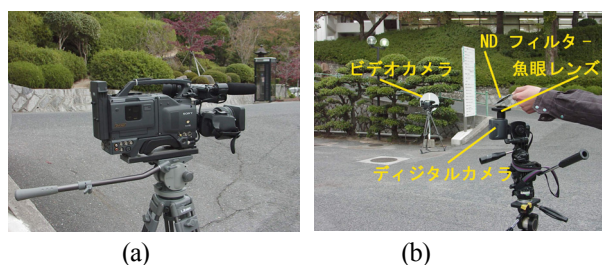


図1 (a)背景撮影用ビデオカメラ, (b)天空光撮影用デジタルカメラ (魚眼レンズ装着)

(2) 背景パンビデオシーケンスフレームのパラメータの算出:

手法A, B共に背景パンビデオシーケンスフレームのアスペクト比およびカメラ画角1度当りのピクセル数([付録2 ③] 参照)を設定し、各フレームのカメラパラメータ $P(\alpha, \beta, \gamma, f)$ を自動算出<sup>23)</sup>([付録1, 付録2 ①] 参照)し、格納する。

(3) 背景パノラマ:

手法A, B共にデザイナーが背景を選択しやすいよう、上述のカメラパラメータを使用して、背景のパノラマ画像<sup>22)</sup>([付録2 ⑤] 参照)を作成し(図2 (a), (b) 参照)、格納する。

(4) 手前の物体の抽出:

手法A, B共に 必要に応じて、市販ソフト(ここではPhotoshop)を使用し、想定走行軌道より手前の物体をインタラクティブに抽出し、別途に格納する。

(5) レンダリング用光源:

手法A, B共に2.1 (3)で述べたビデオ信号の上下限値を考慮した天空輝度を用いた光源<sup>34)</sup>を採用する。なお、魚眼レンズの画像は環境マッピング用画像(図3 参照)としても活用する。

(6) 3D地図:

手法Aの場合は、比較的単純な走行モード(例えば平坦地の定速度走行)が多い。この場合はカメラの地上高が既知であれば、必ずしも走行地面の3Dデータはなく

ても、走行軌道の設定が可能である。

一方、手法Bの場合は、デザイナーが、CGモデルの軌道を自由に設定できるように、走行可能な領域の3D地形データを提供する必要がある。そのために必要なデータを以下の手順で取得する。

(i) 撮影現場近辺の路面情報を、標準レンズカメラを使用して複数枚撮影する。

(ii) (i)の写真の組み合わせから、市販ソフト(ここではPhoto Modeler)を使用して、路面およびモデルに影を落とす可能性のある事物の3D三角形パッチ(図4 参照)を作成する。

(iii) カメラ座標と3D三角形パッチ地図座標を統合し、必要に応じてデザイナーが安直に使用できるように、代表的な軌道・速度設定用の3面図(x, y, z)(図4 参照)を複数個用意する。

### 3.2 合成画像の作成

(1) CGモデルの軌道・速度・背景フレームの設定:

デザイナーは、データベースのパノラマ画像(図2, [付録2 ①, ③, ⑤]参照)とビデオを観察して、使用候補の背景ビデオシーケンスを選択する。

(i) システムが予め用意した軌道・速度を使用する場合(手法AまたはBの既存例を使用): 軌道・速度情報は、あらかじめシステムで用意(3.1 (2)参照)しているから、デザイナーはシステムの指示に従って設計モデルを入力するだけでよい。

(ii) デザイナー自身が軌道・速度を設定する場合(手法B): デザイナーは適切な市販ソフト(ここではMaya)を使用して、背景の平面図(3.1 (6), 図5 参照)上にCGモデルの走行軌道座標(x, y)を描画し、軌道上に始点・終点を含む速度変更点( $P_{Ai}$ :  $i=0, 1, 2, \dots, n$ )と各点における速度( $V_{Ai}$ [m/sec]:  $i=0, 1, 2, \dots, n$ ), ただし $V_{Ai}=0$ の場合は停止時間(図5の場合 $P_{A3}, P_{A4}$ の区間)を設定する。

(iii) CGモデルの始点からの距離の算出: システムは、特に指定のない限り、CGモデルの変速区間は定加速(定減速)と仮定し、台形積分によって始点から各フレームまでの距離を算出する。

すなわち、 $P_{Ai}, P_{A(i+1)}$ 間の再編集後のフレーム( $F_{A(i,j)}$ :  $j=0, 1, 2, \dots, m$ ), フレーム間隔( $\Delta t=1/30$ [sec])とすると、各フレームの出発点からの距離 $L_{T(i,j)}$ [m]は

$$L_{T(i,j)} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \{V_{Ai} + j(V_{A(i+1)} - V_{Ai}) / (2m)\} \Delta t$$



(a)



(b)

図2 パノラマ画像例：(a)平坦な走行路の背景，(b)坂道のある広い背景

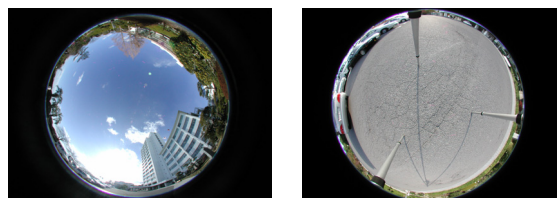


図3 天空および地面の写真(環境マッピングおよび天空・地上輝度分布取得用画像) 一

(iv) 背景パンビデオシーケンスのカメラパラメータの算出：システム（ここでは Maya）は，(iii) で求めた各フレームのCGモデルの位置とカメラを結ぶ視線を使用して，各フレーム間のカメラパラメータ( $\Delta \alpha_{(i,j)}$ ) ( $i=0, 1, \dots, n$ ), ( $j=0, 1, \dots, m$ )を算出 (3.2 (2), 図3参照) する。

(v) 合成用背景パンビデオシーケンスの作成：システムは，(iv) のカメラパラメータとオリジナルビデオシーケンスのカメラパラメータを，次節 (2) で詳述するアルゴリズムに適用して，再編集用背景ビデオ映像を作成する。

(2) 背景パンビデオシーケンスの再編集 (手法B)：

任意に設定された速度・方向に移動するCGモデルに背景パンビデオシーケンスを同期させるには，背景パンビデオシーケンスを，設計モデルの各フレームのパン角度 ( $\alpha$ ) に同期するよう再編集する必要がある。各画像フレームおよびその中心点を以下に定義する。

- CGモデルの投影画像： $M(\alpha_j)$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ),
- 各フレームの中心点： $P_M(\alpha_j)$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ),

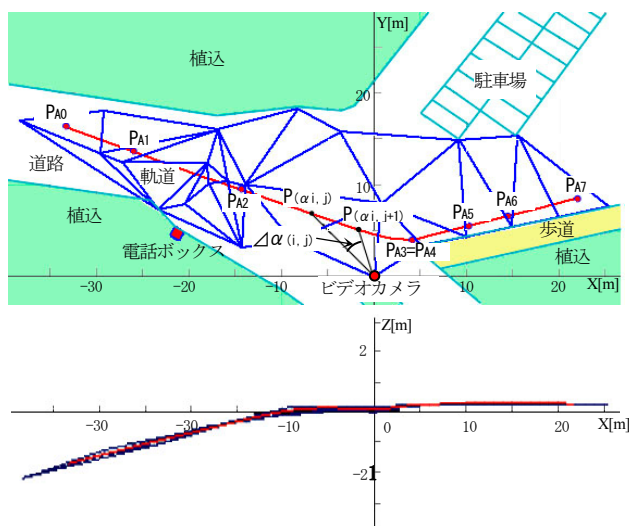


図4 3D三角形パッチと走行軌道および速度変更点

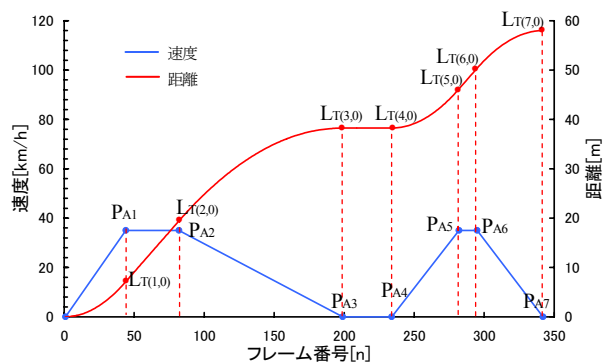


図5 速度・走行距離 vs. フレーム番号

- 背景パンビデオ映像 :  $B(\alpha_i)$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, m$ ),  
各フレームの中心点 :  $P_B(\alpha_i)$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, m$ ),
  - 再編集背景ビデオ映像 :  $R(\alpha_k)$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ),  
各フレームの中心点 :  $P_R(\alpha_k)$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ )
  - 合成画像 :  $S(\alpha_j)$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ ),  
各フレームの中心点 :  $P_S(\alpha_j)$  ( $j = 0, 1, 2, \dots, n$ )
- とする. ここで  $m, n$  はそれぞれのフレーム番号,  $\alpha$  はパン方向角度 (ここではパン方向は左から右とする)

(i) モーションブラー :

再編集後の背景パンビデオシーケンス映像  $R(\alpha_k)$  に適切なモーションブラーを付加するため, 以下の前処理を行う. すなわち, 背景パンビデオシーケンス映像  $B(\alpha_i)$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, m$ ) の各フレーム中の偶数フィールドと奇数フィールドをそれぞれのフィールド画像に分解する. 縦方向解像度の悪化を避けるために, それぞれのデータのないう走査線に, その上下の走査線のデータを線形補間して, 背景ビデオシーケンスの 2 倍のフレーム  $B'(\alpha_i)$  ( $i = 0, 1, 2, \dots, 2m+1$ ) を準備する. (図 6(a),(b)参照).

(ii) 背景パンビデオシーケンスの再編集手順 :

設計モデルの隣接フレーム  $M(\alpha_j)$ ,  $M(\alpha_{j+1})$  間の移動角  $\Delta\alpha_M = |\alpha_j - \alpha_{j+1}|$  と同期を保つ背景パンビデオシーケンス  $B'(\alpha_{2i}), B'(\alpha_{2i+g})$  間の角度  $\Delta\alpha_B = |B'(\alpha_i) - B'(\alpha_{i+g})|$  との比を  $S = \Delta\alpha_B / \Delta\alpha_M$  とすると, ビデオの再編集は,  $S$  の値に基づいて以下の 6 つのカテゴリーに分割処理する (例えば case(e) の場合, 図 6 (c), (d), (e) 参照).

- (a)  $S \leq 1$  :  $B'(\alpha_i)$  と  $B'(\alpha_{i+1})$  を線形内挿
- (b)  $2 > S > 1 \cap P_M(\alpha_j) = P_B(\alpha_i)$  :  $B'(\alpha_i), B'(\alpha_{i+1})$  を線形重畳
- (c)  $2 > S > 1 \cap P_M(\alpha_j) \neq P_B(\alpha_i) \cap P_M(\alpha_{j+1}) < P_B(\alpha_{i+g})$  :  $B'(\alpha_i), B'(\alpha_{i+1}), B'(\alpha_{i+2})$  を線形重畳
- (d)  $2 > S > 1 \cap P_M(\alpha_j) \neq P_B(\alpha_i) \cap P_M(\alpha_{j+1}) > P_B(\alpha_{i+g})$  :  $B'(\alpha_i)$  と  $B'(\alpha_{i+g})$  を線形重畳

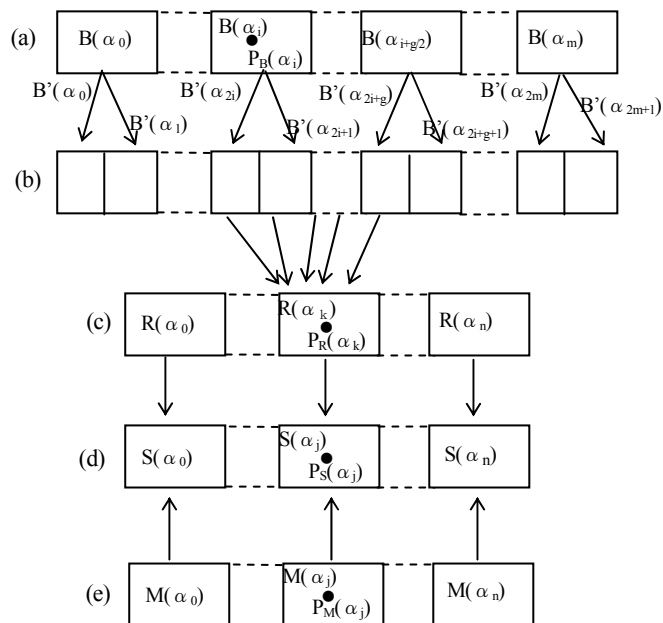


図 6 再編集と合成手順 : (a)背景ビデオ映像  $B(\alpha_i)$ , (b)フィールド分割後の背景ビデオ映像  $B'(\alpha_i)$ , (c)再編集した背景ビデオ映像  $R(\alpha_k)$ , (d)合成映像  $S(\alpha_j)$ , (e)設計モデルの投影画像  $M(\alpha_j)$ , 矢印は case(e) の例

- (e)  $S \geq 2 \cap P_M(\alpha_j) = P_B(\alpha_i)$  :  $B'(\alpha_i), B'(\alpha_{i+1}), \dots, B'(\alpha_{i+g})$  を線形重畳, ここで  $g > 2$
- (f)  $S \geq 2 \cap P_M(\alpha_j) \neq P_B(\alpha_i)$  :  $B'(\alpha_i), B'(\alpha_{i+1}), \dots, B'(\alpha_{i+g})$  を線形重畳

なお, 再編集後のビデオシーケンスにおいて, スクリーン座標の中心点から, 設計モデルの注視点を変位させたい場合は, デザイナーは, 予め中心点からのパン方向の変位 ( $\Delta x$ ) を指定しておく.

(3) 設計モデルのレンダリング (手法 A, B) :

- (i) 再編集背景ビデオシーケンスのカメラパラメータの算出 : 3.2 (v) の再編集背景ビデオ映像のカメラパラメータ ( $\alpha, \beta, \gamma, f$ ) を算出する ([付録 1, 付録 2 ①, ③] 参照).



図 7 再編集後の合成画像例 : (a)最初のフレーム ( $\alpha=0$ [度]), (b)フレーム No.93 ( $\alpha=27.3$ [度]), (c)フレーム No.141 ( $\alpha=76.9$ [度]), (d)最終フレーム No.276 ( $\alpha=138.6$ [度])

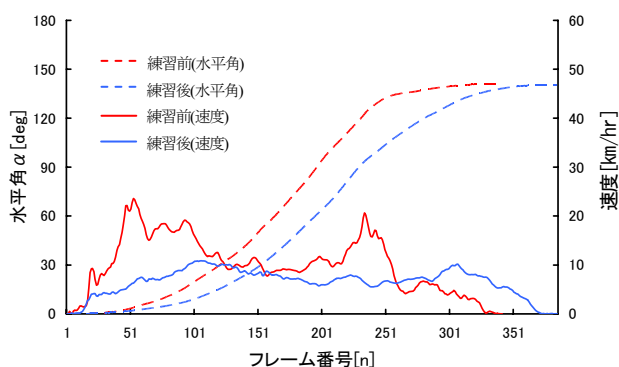


図8 カメラのパン角度・速度 vs.フレーム番号

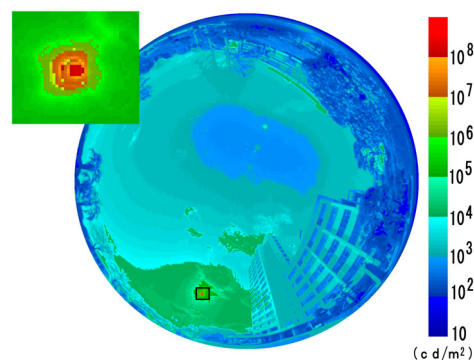


図9 天空輝度分布 (擬似カラー) : 手法 B

(ii) CGモデルのレンダリング：システム（ここでは Maya）は、3.2 (1) (v)のカメラパラメータ，CGモデルの幾何形状データ，および 3.1 (5)の光源情報を用いて，各フレームの設計モデルおよびその影をレンダリングする．すなわち，太陽直達光，天空光および地上からの反射光束を取得し HDR 法によるレンダリングを行う．なお 3.1 (5) で述べた背景魚眼レンズ画像を，モデルへの映り込みのテクスチャマッピングに利用する．

(4) CGモデルと背景画像の合成 (手法 A, B) :

システムのインターフェース ([付録 2 ①, ④]参照) を使用して，CGモデルの影(CGモデルとその影を同時にレンダリングする場合は不要)，CGモデル，CGモデルより手前の物体の順に貼り付け，合成パンビデオシーケンスを完成する．

4. 適用例

前節までに議論した提案手法，すなわち(1)背景ビデオのパン速度にCGモデルを同期させる手法A，および(2)CGモデルの動きに背景ビデオシーケンスのパン速度を同期させる手法Bについて，平地および坂道の走行を例にとって検証する．

(1) 背景ビデオのパン速度にCGモデルを同期させる手法 A

本例に使用する背景パノラマ画像を図 2 (a) に示す．図 7 (a), (b), (c), (d)は，図 8の練習後の背景パンビデオシーケンスの合成画像（動画像 1）中の，左から順に最初のフレーム No.0( $\alpha=0$ [度])，フレーム No.93( $\alpha=27.3$ [度])，フレーム No.141( $\alpha=76.9$ [度])，および最終フレーム No.276( $\alpha=138.6$ [度])の画像を示す．この場合，デザイナーは単に図 7(a)のフレームを選択するだけでよく，軌道・速度はシステム側の設定に依存する．

この例では，直線軌道上を，カメラの正面付近で定速走行するようにカメラをパンさせるために，事前に6回車を実走させて学習後，背景パン撮影を行った．

図 8に，練習前と練習後のパン速度  $\alpha$  [deg]および走行速度  $V$  [km/hr]対時間  $f$  [フレーム番号]を示す．これから分かるように，手動によるパンのため，練習後もなお微小なパン速度の動揺は免れず，撮影者にかかなりのスキルが要求される．なお，本例では，曇天のため，HDR用光源の配置はほぼ一様で，天空光光源 33 点を設定した．

建物による天空光の遮蔽効果を含めて，背景とCGモデルおよびその影もよく背景に調和している．なお，1フレームのレンダリング所要時間はモデルが最大の正面 (No.141) が 42 [sec]，全フレームのレンダリング時間は 194 [min] (Pentium4, 3.0[GHz]) である．



図 10 再編集後の合成画像例 (手法(B)) : (a)フレーム No.107( $\alpha=3.2$ [度])，(b)フレーム No.138( $\alpha=29.7$ [度])，(c)フレーム No.255( $\alpha=98.0$ [度])，(d)フレーム No.308( $\alpha=101.0$ [度])



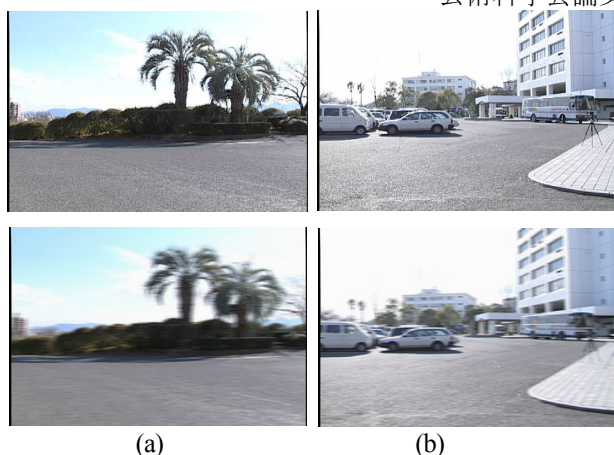


図 11 図 10 の(b), (c)に対応した背景画像,  
上段：再編集前, 下段：再編集後

なお、車・影と背景との合成時間は 47[*min*] (パラメータ抽出時間 15[*min*]を含む)である。

(2) CGモデルの動きに背景ビデオシーケンスのパン速度を同期させる手法 B

本例に使用した背景パノラマ画像を図 2 (b)に、魚眼レンズによる周辺の映像 (映り込み用) を図 3 に、走行軌道を図 4 に、図 5 にCGモデルの速度  $V$ [*km/hr*]および再編集後のパン速度 ( $\alpha$ ) 対時間  $f$ [フレーム番号]を示す。なお、路面の三角形パッチ作成のための特徴点の入力作業時間は 1 時間弱で、システムによる 3D 座標解析時間は 10[*sec*]で無視できる範囲である。

また 図 9 に天空輝度分布図を示す。図 10 (a), (b), (c), (d)は、背景パンビデオ映像 (動画像 2, フレーム数 680) を再編集後に合成した動画像 (動画像 3, フレーム数 341) の、左から順に最初のフレーム No. 107 ( $\alpha=3.2$ [*度*]), フレーム No. 138 ( $\alpha=29.7$ [*度*]), フレーム No. 255 ( $\alpha=98.0$ [*度*])およびフレーム No. 308 ( $\alpha=101.0$ [*度*])の合成画像を示す。なお車より手前の三脚の切り抜き処理作業 (3.1 (4)参照) に 20 [*min*]弱を要した。

これらから分かるように、逆光効果 (車体および地上への影) がよく表現されており、背景ともよく調和している。

図 11(a), (b)の上下段は、それぞれ図 10 (b), (c)に対応したフレームの背景パンビデオシーケンス  $B(\alpha_i)$ および再編集後の背景パンビデオシーケンス映像  $R(\alpha_k)$ を示す。図 5 の設定に基づく車速に対応した再編集後のパン速度に対して適切なモーションブラーが掛かっていることが分かる (再編集時間 20 [*min*])。

なお、手法 A は実務への使用実績があり、手法 B については、ユーザフレンドリーなインタフェースを検討中である。また本適用例に使用したモデルは市販の

ものであり、着色・光学的反射・透過特性等は著者らが適当に与えたものであることをお断りする。

5. 結 言

本論文では、自然環境下で使用する屋外の移動体、特に車等の比較的小さい工業製品のデザイン事前評価支援システムとして、デザイナーが制作中のCGモデルを気軽に検討できる、二つの特徴を持つ背景データベース用の制作技法と合成ソフト、(1)背景ビデオのパン速度にCGモデルを同期させる合成手法、および(2)CGモデルの動きに背景パンビデオシーケンスを同期させる合成手法を提案し、適用例を挙げて以下のことを確認した。

- ・ 両者とも、CGモデルと背景パンビデオシーケンス間に光学的な調和が取れ、視覚的な違和感を与えないこと。
- ・ それぞれ、合成または撮影が容易な利点があること。今後開発すべき課題として、以下の項目が考えられる。
- (i) 背景ビデオのパン速度にCGモデルを同期させる合成手法の場合、パンビデオシーケンス内に移動体 (歩行者 (例えば動画 1), 樹木・旗等の揺れ) があると、これらの動きが再編集後に不自然になる。この改善策として、原データ中の移動体<sup>35), 36)</sup>およびその影<sup>37)</sup>を一旦除去し、再編集後のシーケンスに添付する手法。
- (ii) カメラが移動する場合の背景ビデオシーケンスの再編集法と光源対策の確立。

謝 辞

本研究の推進にあたり、貴重なご意見を頂いた高木淳氏(トヨタ自動車(株)) に厚く御礼申し上げます。

[文 献]

[1] Whitted, T., "An Improved Illumination Model for Shaded Display", *Communications of the ACM* vol.23, no.6, pp. 343-349 1980

[2] 西田, 中前, "三次元物体の陰影表示の方法", *情報処理*, Vol.15, No.1, pp.18-25, 1984

[3] Nishita, T., Nakamae, E., "Continuous tone representation of three-dimensional objects illuminated by sky light", *Proc. of SIGGRAPH'86*, vol. 20, no. 4, pp. 125-132, 1986

[4] Klassen, R. V., "Modeling the effect of the atmosphere on light", *ACM Trans. On Graphics*, Vol.6, No.3, pp.215-237, 1987

[5] Michael, F., Greenberg, D. P., "The femi-cube, A radiosity solution for complex environment", *Proc. of SIGGRAPH'85*, vol.19, no.3, pp.31-4, 1985

- [6] Nishita, T., Nakamae, E., "Continuous tone representation of three-dimensional objects taking account of shadows and interrefraction", Proc. of SIGGRAPH'86, Vol. 19, No. 3, pp.23-31, 1985
- [7] Nakamae, E., Harada, K., Ishizaki, T. and Nishita, T., "A montage method: the overlaying of the computer generated images onto a background photograph", Proc. of SIGGRAPH'86, Vol. 20, No. 4, pp.207-214, 1986
- [8] Kaneda, K., Kato, F., Nakamae, E., Nishita, T., Tanaka, T., Noguchi, T., "Three dimensional modeling and display for environmental assessment", Proc of SIGGRAPH'89, vol.23, no.3, pp.207-214, 1989
- [9] Takagi, A., Takaoka, H., Oshima, T. Ogata, Y., "Accurate rendering technique based on colorimetric conception", Proc. of SIGGRAPH'90, Vol. 24, No. 4, pp.263-272, 1990
- [10] Kansy, K., Berlage, T., Schmitgen, G., Wisskirchen, P., "Real time integrating of synthetic computer graphics into live video scenes", Proc. Interface of Real and Virtual Worlds, Montpellier, France, June 26-30, pp.93-101 1995
- [11] Li, M. and Laves, J., "Some aspects of zoom lens camera calibration", IEEE, Tr. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.18, No.11, pp.1105-1110, 1996
- [12] Sturm, P. "Self-calibration of a moving zoom-lens camera by pre-calibration", INRIA, Image and vision computing, vol.15, no.8, pp. 583-589, 1997
- [13] Earnshaw, A.M. and Blostein, S. D., "The performance of camera translation direction estimators from optical flow: analysis, comparison, and theoretical limits ", IEEE, Tr. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, no. 9, pp. 927-932, 1996
- [14] Zeller, C. and Faugeras, O., "Camera self-calibration from video sequences; the Kruppa equations revisited", INRIA Research Report, no.2793, INRIA, Le Chesnay Cedex, France, 1996, <http://www.inria.fr/trrt/tr-2793.html>
- [15] Tian, T., Tomasi, C., and Heeger, D. J., "Comparison of approaches to egomotion computation", Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, IEEE CS Press, Los Alamitos, Calif. pp.315-320, 1996
- [16] Chen, S. E. "Quicktime VR- an image-based approach to virtual environment navigation", Proc. of SIGGRAPH '95, pp.29-38, 1995
- [17] Szeliski, R. and Shum, H. Y., "Creating full view panoramic image mosaics and environment map", Proc. of SIGGRAPH 97, pp.251-258, 1997
- [18] Schodl, A.R. Szeliski, R. Salesin, D. H. and Essa, I. "Video textures", Proc. of SIGGRAPH, 2000, pp. 489-498, 2000
- [19] V. Kwatra, A. Schodl, I. Essa, G. Turk, and A. Bobick, "Graphcut textures: Image and Video Synthesis using Graph Cuts", ACM Transaction on Graphics vol.22, no.3, pp.277-286, 2003
- [20] Agarwala, A., Zheng, K. C. Pal, C. Agrawala, M. Cohen, M. Curless, B. Salesin, D. and Szeliski R. "Panoramic Video Textures", Proc. of SIGGRAPH 2005, pp.821 - 827, 2005
- [21] Berger, M., O., Chevrier, C., and G. Simon, "Compositing computer and video image sequences; robust algorithm for the reconstruction of the camera parameters", Proc. Eurographics96, Blackwell Publishers, Oxford, UK, pp.23-32, 1996
- [22] Nakamae, E., Qin, X., Jiao, G., Rokita, P., Tadamura, K., Usagawa, Y., "Computer generated still images composited with panned landscape video sequences", Proc. of MMM '98, pp. 61-70, 1998
- [23] Qin, X., Nakamae, E., Tadamura, K., "Automatically compositing still images and landscape video sequences", IEEE Computer Graphics and Applications, 22: pp. 68-78, 2002
- [24] Nakamae, E., Qin, X., and Tadamura, K., "Compositing of computer graphics with landscape video sequences", edited by Bishop, I. and Lange, E., "Visualization in landscape and environmental planning", Taylor & Francis, pp. 226-233, 2004
- [25] <http://www.crescentvideo.co.jp/boujou/>
- [26] <http://www.imagineersystems.com/>
- [27] <http://realviz.com/products/mpro/advanced.php>
- [28] <http://www.iwane.com/>
- [29] Qin, X., Nakamae, E., Tadamura, K. and Nagai, Y. (2003) "Fast photo-realistic rendering of trees in daylight", Eurographics, 2003 COMPUTER GRAPHICS forum vol.22, no3, pp. 243-252,
- [30] Bishop, I. D., Ford, R., Loiterton, D. and Williams, K., "Studying the acceptability of forest management practices using visual simulation of forest regrowth", edited by Bishop, I. and Lange, E., "Visualization in landscape and environmental planning", Taylor & Francis, pp. 112-119, 2004
- [31] Laing, R., Davies, Anne-Marie., and Scott, S., "Combining visualization with choice experimentation in the built environment", edited by Bishop, I. and Lange, E., "Visualization in landscape and environmental planning", Taylor & Francis, pp. 212-219, 2004
- [32] Debec, P., "Rendering synthetic objects into real scene: Bridging traditional and image-based graphics with global illumination and high dynamic range photography", Proc. of SIGGRAPH'98 pp.189-198, 1998

[33] Yu, Y., Debevec Inverse P., Malik J., Hawkins T., "Inverse global illumination: Recovering reflectance models of real scene from photograph", Proc. of SIGGRAPH 99 Computer Graphics, pp.215-224, 1999

[34] 永井康雄, 多田村克巳, 秦学英, 中前栄八郎, "ビデオ信号( $E_r, E_g, E_b$ )特性を考慮した広範囲輝度分布計測", 映像情報メディア学会誌 59,10, pp.1439-1444, 2005

[35] Wexler, Y., Shechtman, E., Irani, M., "Space-time video completion", Proc. of CVPR'04, 1, pp.120-127, 2004

[36] Li Y., Sun J., Shum H.Y., "Video Object Cut and Past", Proc. of SIGGRAPH 2005, pp.595-600, 2005

[37] Finlay, G. D., Hordly, S., Lu, C., and Drew, M. S., "On the removal of shadows from images", IEEE, Tr. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 28, no. 1, pp. 59-68, 2006

ここで,  $\Delta \gamma_i$ : フレーム  $i$  と  $i+1$  の間のチルト角  
 $\Delta \lambda_i$ : フレーム  $i$  と  $i+1$  の間のズーム倍率  
 $(\Delta x_i, \Delta y_i)$ : フレーム  $i$  と  $i+1$  の間の対応する要素の中心点の変化量

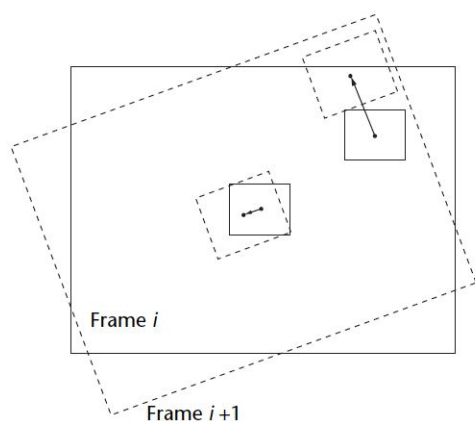
$F_i, F_{i+1}$  間の画像の変位は,  $(n \times m)$  分割されたスクリーン画像の各要素中のテクスチャ (特徴のない要素 (例えば空, 水面) を除く) により完全自動抽出する. (詳細は文献<sup>23)</sup> 参照)

## 【付録2】 ビデオシーケンスとCGの合成

### 【ユーザインタフェースについて】

付図 2-1, 2-2 に本提案システムで使用するユーザインタフェースを示す.

### 【付録1】 カメラパラメータの自動算出



付図 1 カメラパラメータの算出

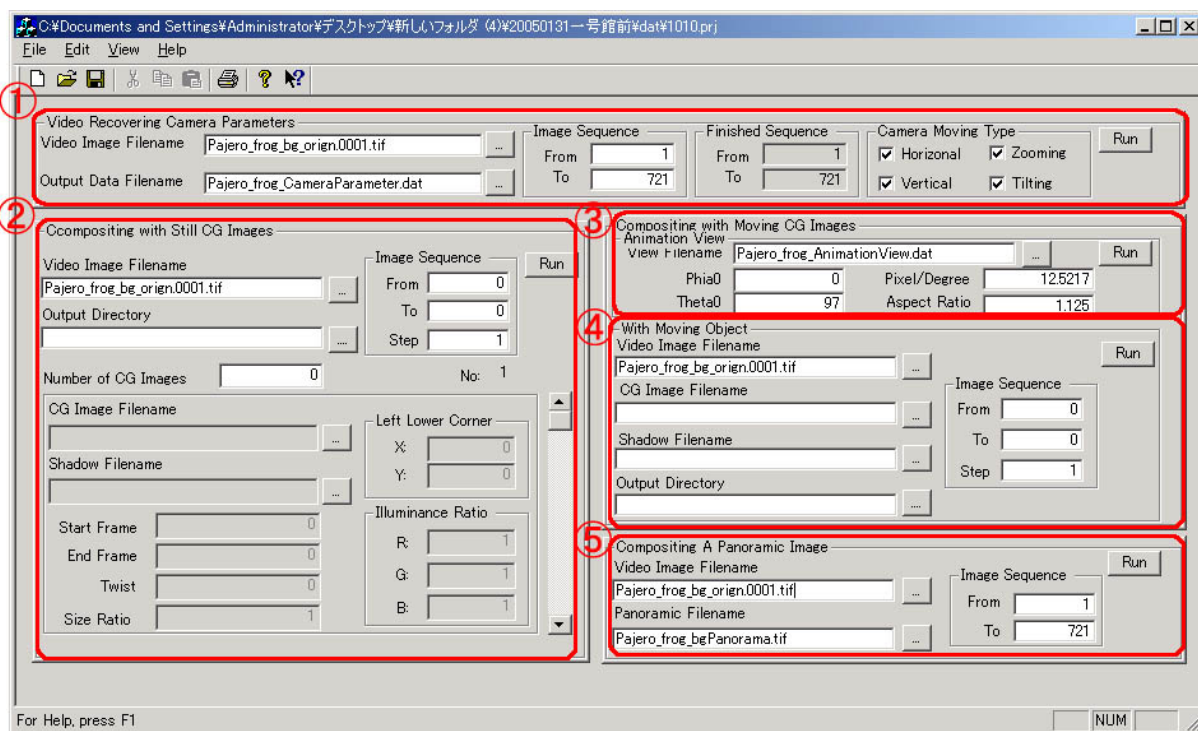
### 【カメラパラメータについて】

付図 1 において, フレーム  $i$  の中心座標  $(x_{ci}, y_{ci})$  上の任意のピクセル  $(x_i, y_i)$  に対応するフレーム  $(i+1)$  上のピクセル  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  は次式で表せる.

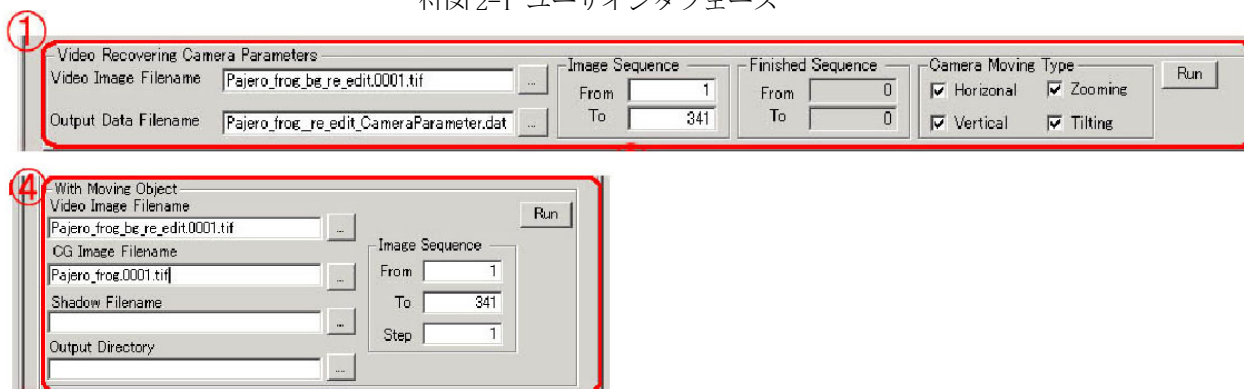
$$x_{i+1} = \Delta \lambda_{i+1} \{ (x_i - x_{ci}) \cos \Delta \gamma_{i+1} - (y_i - y_{ci}) \sin \Delta \gamma_{i+1} \} + \Delta x_{i+1}$$

$$y_{i+1} = \Delta \lambda_{i+1} \{ (x_i - x_{ci}) \sin \Delta \gamma_{i+1} - (y_i - y_{ci}) \cos \Delta \gamma_{i+1} \} + \Delta y_{i+1}$$

- ① カメラパラメータの自動算出のためのデータの入出力 (付図 2-1 ①, 付図 2-2 ① 参照)
  - Video Image Filename : カメラパラメータを算出するビデオの第 1 フレームの保存先とファイル名
  - Output Filename : カメラパラメータファイルの保存先とファイル名
  - Image Sequence : 使用フレーム範囲(フレーム番号で入力)
  - Camera Moving Type : 撮影方法の種類指定 (複数可)
- ② 静止体 CG モデルと背景ビデオシーケンスの合成 (文献<sup>22)</sup> 作成用) (付図 2-1 ② 参照)
- ③ カメラパラメータの自動算出 (付図 2-1 ③ 参照)
  - View Filename : カメラパラメータファイルの保存先とファイル名
  - Phai0, Theta0 : 第 1 フレーム中心点の視線方向角 ( $\theta, \phi$ ) の設定
  - Pixel/Degree, Aspect Ratio : カメラ画角 1 度に対するピクセル数,  $640 \times 480$  [ピクセル] の画像を 1.0 とした時のピクセルの縦横比を設定
- ④ 移動体 CG モデルと背景ビデオシーケンスの合成 (付図 2-1 ④, 付図 2-2 ④ 参照)
  - Video Image Filename : 背景ビデオの第 1 フレームの保存先とファイル名を入力



付図 2-1 ユーザインタフェース



付図 2-2 背景ビデオシーケンス合成用インタフェース

- CG Image Filename : 移動体CGモデルレンダリング画像の第1フレームの保存先とファイル名
- Shadow Filename : 移動体CGモデルの影画像の第1フレームの保存先とファイル名
- Output Directory : 合成画像の出カディレクトリ
- Image Sequence : 合成フレーム範囲と合成フレーム間隔
- ⑤ 背景パノラマ画像の作成 (付図 2-1 ⑤参照)
  - Video Image Filename : 背景ビデオの第1フレームの保存先とファイル名
  - Panoramic Filename : 完成パノラマ画像の保存先とファイル名