

# 3次元コンピュータアニメーション制作工程における タイミング情報の伝達技術

Communication Tool for Motion Design of Three-Dimensional Computer Animation

長 篤志†, 正会員 木下 武志†, 三池 秀敏†

Atsushi Osa†, Takeshi Kinoshita† and Hidetoshi Miike†

**Abstract** Designers, who develop moving images, ordinarily create three-dimensional computer animation (3-DCA) in collaboration with operators, who work using computers. In this case, the operators need to be able to receive each image motion from the designers accurately. In this paper, we propose a new work flow system for creating 3-DCA to communicate the timing information of the image motions. We present a numerical definition of the timing information for 3-DCA and propose a tool for extracting it from the designer's hand motions. Operators can then receive the numerical timing information from designers using the tool with the proposed work flow. The tool is simply composed of a personal computer and a CCD-camera. Experimental results showed that the extracted numerical timing information was similar to that of the image of the designers. The proposed work flow and the tool are useful for efficiently communicating timing information and developing 3-DCA.

キーワード：コンピュータアニメーション、タイミング、ハンドモーション、オブティカルフロー、情報伝達手段

## 1. はじめに

現在、映画、テレビ、インターネットなどのために映像コンテンツ制作を行う場合、3次元コンピュータアニメーション（以下3-DCA）の優れた映像表現技術は欠かせない状況となっている。図1に一般的な3-DCA制作工程を示す。まず、デザイナーやディレクタ（以下、デザイナー）は、自分の映像作品のイメージを絵コンテ<sup>1)</sup>に外在化させ（図1中のA）、その指示内容の補足説明のために言葉や、身振り手振りを加えCGオペレータ（以下、オペレータ）へ伝える（図1中のB）。これを受け、オペレータは3-DCA制作用アプリケーションソフトウェア（以下、ソフトウェア）を用いてデータを入力する（図1中のC）。その後デザイナーは、自分の映像イメージと仮に出力された3-DCAを照合し（図1中のD）、オペレータへ修正箇所を指示する（図1中のB）。

動画像である3-DCAにおける重要な設定の一つは、現実的ではない意図的に誇張されたオブジェクトやカメ

ラの動き（空間座標中における移動、以下、モーション）の時間的調節（以下、タイミング）であると言われる。しかし、これまでに我々の研究グループが指摘してきたように、絵コンテや言葉、身振り手振りでは、デザイナーの意図するタイミングのイメージ（以下、タイミングイメージ）をオペレータへ正確に伝達することは困難である<sup>2)</sup>。それゆえに、現在の3-DCA制作現場において、デザイナーとオペレータの間でタイミングイメージの

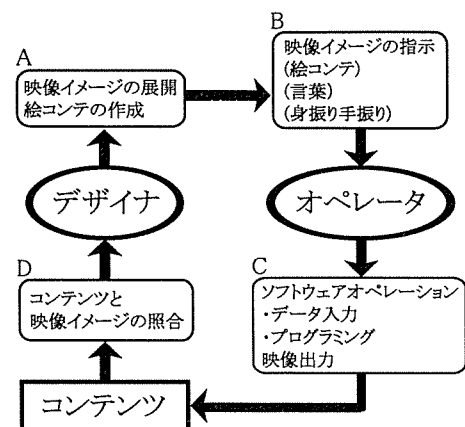


図1 一般的なコンピュータアニメーションの制作工程  
Ordinary flow diagram for developing computer animation.

1999年、映像情報メディア学会冬季大会で発表

2003年7月31日受付、2003年10月23日再受付、2003年11月28日採録

† 山口大学 工学部

(〒755-8611 宇都市常盤台 2-16-1, TEL 0836-31-8075)

† Faculty of Engineering, Yamaguchi University

(2-16-1, Tokiwadai, Ube-shi 755-8611, Japan)

試行錯誤的なコミュニケーションが必要であり、タイミングの設定には多大な労力と時間を要している。制作時間の制限などによって、デザイナーの意図するタイミングを実現させることが難しい状況にある。

これまでに、3-DCA における複雑なモーションの設定を簡便に行う技術が報告されている。まず、モーションキャプチャ装置は、実際の人間のモーションを 3-DCA のキャラクタのモーションに変換することができる<sup>3)</sup>。また、人間の手のモーションにあわせて物体を仮想空間中で移動させる研究も行われている<sup>4)5)</sup>。これらの技術は、実 3 次元空間における人体のモーションを、仮想 3 次元空間内でのオブジェクトと連動させることにより、結果的に自然に感じられるようなタイミングを持ったモーションを得ることを期待している。これと関連する映像手法としてロトスコープ<sup>6)</sup>がある。しかし、デザイナーが現実的ではない意図的に誇張されたモーションを想定している場合、デザイナーのタイミングイメージがこれらの技術によりオペレータに伝達されるわけではない。

そこで本論文では、デザイナーのタイミングイメージを効率的にオペレータに伝達する 3-DCA 制作工程を提案する。ただし、その制作工程において、デザイナーのタイミングイメージを数値化する方法が必要となる。そこで、デザイナーの手の動き（以下、ハンドモーション）から、タイミングイメージを動画像処理によって抽出する方法を提案し、その可能性と精度を実験によって検証する。そして、提案する制作工程の特徴と有効性について議論する。

## 2. 提案する 3-DCA 制作工程

### 2.1 概要

セルアニメーションの制作現場では、タイミングは原画の担当者が描く原画中のモーションの描写にゆだねられている。従来の 3-DCA 制作工程においても、オペレータがモーションを設定するという事は、同時にタイミングも設定していることになる。ここでは、デザイナーから指示をうけてはいても、タイミングは原画担当者やオペレータが個人的な感覚で設定することになる。ロトスコープの映像制作技術やモーションキャプチャ装置を用いる場合は、例外的に原画担当者やオペレータの感覚ではなく、外部からの情報によってモーションを設定しているが、対象のタイミング情報を含むモーションがそのまま用いられているにすぎない。

そこで我々は、デザイナーからの指示が困難であるタイミング情報はデザイナー自身が設定し、絵コンテによってある程度正確な指示が可能であるモーションの位置情報は、オペレータが設定して両者を統合することを考える。まず 2.2, 2.3 節において、これまでモーションと明確に分けて考えられることが少なかった、3-DCA におけるタイミングについて定義を行い、その数値表現法を提案

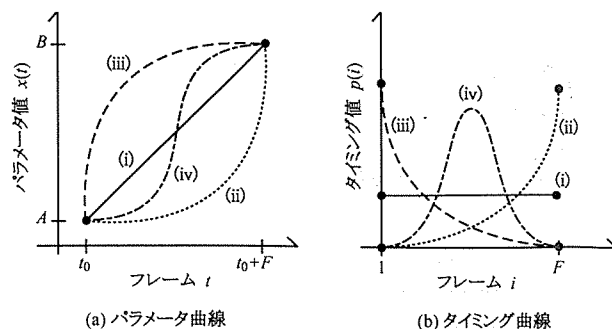


図 2 基本的なモーションの補間方法 (a) と対応するタイミング曲線 (b)

Primitive curves for interpolation (a) and timing curves (b).

する。そして、2.4 節において提案する制作工程を説明する。

### 2.2 3-DCA におけるタイミングの定義

ソフトウェアにおいては、キーフレーム法によってモーションの設定が行われることが多い。例えば、 $x$  軸の平行移動のパラメータ  $x(t)$  に注目する。 $t_0$  (frames) において位置  $A$  の物体が  $t_0 + F$  (frames) において位置  $B$  に移動するとする。その時、キーフレーム間におけるパラメータ値の補間方法は、無数に存在する。そして、キーフレームにおいてパラメータ値が同じでも、この補間方法によってそのモーションのタイミングが異なってくる。基本的な補間は図 2(a) の様に分類される<sup>7)</sup>。ここでは、図 2(a) のようにパラメータ値の時間変化を示すグラフを、パラメータ曲線と呼ぶ。図中の (i) は線形補間によって補間されたパラメータ曲線である。(ii)(iii) はそれぞれイーズイン、イーズアウトと呼ばれる補間が、(iv) はイーズイン・アウトと呼ばれる補間が施されたパラメータ曲線である。このようにモーションは、パラメータ曲線によって表され、キーフレームにおけるパラメータ値とその間の補間方法によって決定される。

ここで 3-DCA におけるタイミングを定義する。タイミングとは、「隣接する二つのキーフレーム間におけるパラメータ値の補間の仕方であり、パラメータ値の変化の割合である」と定義する。キーフレームで設定されているパラメータが複数ある場合は、パラメータ毎にタイミングが存在する。そして、複雑なモーションは複数のキーフレームとそれらのキーフレーム間を結ぶ複数のタイミングによって表現されるとする。タイミングをこのように補間の仕方であると考えることにより、タイミングはキーフレームにおけるパラメータ値とは無関係になり、モーションからタイミングは独立して存在することになる。

### 2.3 タイミングの数値表現法

前節において定義したタイミングを、以下のように数値表現する。

- (1) ある一つのタイミングは、そのタイミングが所

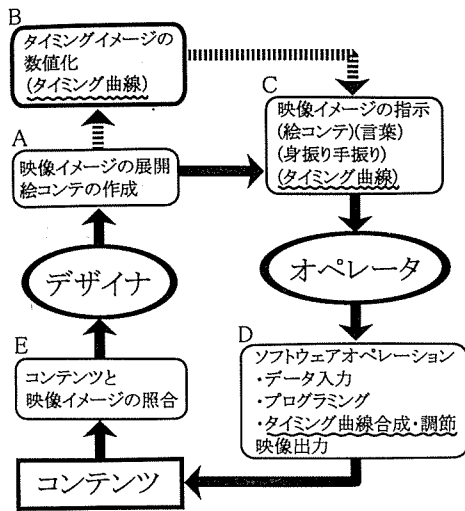


図3 提案する3-DCA制作工程

Proposed flow diagram for developing computer animation.

属するキーフレームが  $t_0$  と  $t_0 + F$  にあるとき,  $F$  個のタイミング値  $p(i); (i = 1, \dots, F)$  を持つ.

- (2)  $\sum_{i=1}^F p(i) = 1$  である.
- (3) 1番目から  $k$  番目まで  $p(i)$  を積算した値を  $P_k$  ( $P_k = \sum_{i=1}^k p(i)$ ) とすると, キーフレームにおいてパラメータ値  $x(t)$  が  $A$  から  $B$  へ変化するとき, 最初のキーフレームから数えて  $k$  フレーム目に補間されるパラメータ値が  $(B - A) \times P_k + A$  になる.

図2(a)の各基本的なパラメータ曲線に対応するタイミングの模式図を図2(b)に示す. 図2(a)中(i)の線形補間が施されたモーションは, パラメータ値が一定の割合で変化する補間を表すタイミングであり, 図2(b)中(i)のように  $F$  個の同一のタイミング値 ( $1/F$ ) を持つ. イーズイン(ii)やイーズアウト(iii), そしてイーズイン・アウト(iv)の場合, それぞれ図2(b)中の(ii), (iii), (iv)のようにパラメータ値の変化が大きいフレームにおいてタイミング値が大きくなる. 本論文では, このようにタイミングを数値表現した曲線をタイミング曲線と呼ぶ.

## 2.4 3-DCA制作工程

一般的な3-DCA制作の流れ(図1)において問題となっているのが, 図中(B)の「映像イメージの指示」において伝達される情報のあいまい性である. そこで, 図3に提案する制作工程の流れを示す. 提案する制作工程には, デザイナー自身が一部重要な情報を数値化した後にオペレータに伝達する, という特徴がある. 本論文で注目しているタイミングの情報伝達の場合, 以下に示すような手順となる.

- (1) デザイナーがタイミングイメージを含むモーションを想起する.(図3中のA)
- (2) デザイナーが絵コンテにモーション中のキーフ

レームにおける形や位置, フレーミングの指定を描く.(図3中のA)

- (3) デザイナーがモーション中のタイミングイメージのみを数値化し, タイミング曲線を得る.(図3中のB)
- (4) デザイナーが映像イメージを絵コンテと言葉, 身振り手振りを交えてオペレータに伝達すると共に, タイミング曲線をオペレータに渡す.(図3中のC)
- (5) オペレータが絵コンテの情報を元にキーフレームにおけるパラメータ値を設定し, そこへタイミング曲線を合成して, パラメータ曲線を作成する.(図3中のD)
- (6) オペレータがパラメータ曲線の調整を行う.(図3中のD)
- (7) オペレータが映像を出力する.(図3中のD)
- (8) デザイナーが, 出力された映像と想定したタイミングイメージを含むモーションとを照合し(図3中のE), 修正箇所がなくなるまで(1)からの工程を繰り返す.

ただし, 3-DCAのすべてのシーンにおいて, デザイナーがタイミングを設定することは, デザイナーの仕事量の増加につながるため現実的ではない. デザイナーが重要だと考えていながらも, オペレータへのタイミングイメージの伝達が困難なシーンに対して, ここで提案する制作工程を用いることとする.

この提案する制作工程では, 工程(3)の「デザイナーのタイミングイメージを数値化し, タイミング曲線を得る」ことがキーポイントとなる. しかし, これを成し遂げる方法は, これまでに提案されていない. 制作工程の効率化を考慮すると, この工程(3)を実際に行う方法には以下の条件があげられるであろう.

- ・短時間でタイミング曲線が得られること.
- ・デザイナーのタイミングイメージにできるだけ近いタイミング曲線が得られること.
- ・タイミング曲線を得る方法をデザイナーが習得するのが容易であること.

そこで本論文では, デザイナーのタイミングイメージを数値化し, タイミング曲線を得るための一例として, 上記の条件を満たす方法を3節において提案する.

## 3. ハンドモーションからのタイミング曲線抽出方法

### 3.1 ハンドモーションとタイミング曲線

手は, 体の中で最も繊細に人間のイメージを反映させる動作が可能な部位であると予想される. 実際, 従来の制作工程においても, モーションのタイミングイメージは, ハンドモーションを用いてオペレータに伝達されることが多い. タイミングイメージを, デザイナーのハンドモーションから抽出できる可能性がある. また, ハンド

ーションであれば、日頃からデザイナーが用いているタイミング伝達技術であるから、デザイナーは習得時間を必要としないという利点もある。

従来の制作工程で行われてきたハンドーションによるタイミングイメージの伝達では、手の動きのバリエーションが多彩であるため、ハンドーションにおける何がデザイナーのタイミングイメージを表しているのかを特定するのは難しい。しかし、ハンドーションのなかで止まっている部分ではなく、動いている部分がタイミングイメージを表しているのは間違いない。

そこで我々は、ハンドーション中の手首から指先までの速度における最も良く動いている部位の速さ（最高速度の大きさ）の時間変化が、タイミングイメージであると仮定する。そして、各瞬間におけるハンドーションの最高速度の大きさが、タイミング値に比例するとする。

### 3.2 タイミング曲線抽出処理

デザイナーのタイミングイメージを表すタイミング曲線を、デザイナーのハンドーションを撮影した動画像から動画像処理によって抽出する手順について述べる。

使用したシステム構成と処理の流れを図4に示す。システムは、CCDカメラ、動画像取り込み装置付きパーソナルコンピュータで構成されている。ハンドーションからタイミング曲線を抽出する手順を以下に説明する。

- (1) デザイナーがCCDカメラの前でハンドーションを任意の回数行う。ハンドーションの動画像はパーソナルコンピュータにリアルタイム(30Hz)で保存される。
- (2) 記録したハンドーション動画像をパーソナルコンピュータで再生し、デザイナー自身がタイミングイメージに合うハンドーションを選択する。もしなかった場合は、(1)へ戻る。
- (3) 選択したハンドーション動画像を対象にして、画像中の速度場を検出する動画像処理(3.3節に述べる)により、手首から指先における最高速度の時間変化 $v(t)$ (pixels/frame)を記録する。
- (4) デザイナーが、ハンドーションが静止していると考えられるフレームにおいて検出されている速度 $v_0$ (pixels/frame)をオフセット速度として設定し、以下の演算を行い $V(t)$ (pixels/frame)を算出する。ただし、負の値を持つ $V(t)$ は0とする。

$$V(t) = v(t) - v_0 \quad (1)$$

- (5) デザイナーが、ハンドーション動画像中のタイミング曲線に変換する時間帯(始まりのフレーム $t_s$ 、終わりのフレーム $t_e$ )を選択する。
- (6)  $V(t)$ 中の $t_s$ から $t_e$ の時間帯を次式に従ってタイミング曲線 $p(i)$ に変換する。

$$p(i) = \frac{V(t_s + i)}{\sum_{t=t_s+1}^{t_e} V(t)}, \quad (2)$$

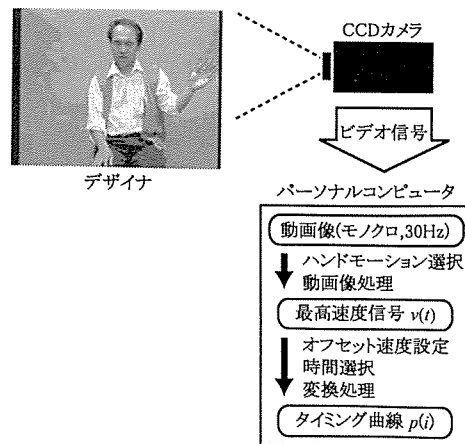


図4 システム構成と処理の流れ  
System configuration and flow of processing.

$$(i = 1, \dots, t_e - t_s)$$

- (7)  $p(i)$ をデザイナーの意向に合わせて修正する。
- (8)  $p(i)$ をファイルに保存する。

### 3.3 最高速度抽出法の概略

前節において説明した、タイミング曲線抽出処理の手順(3)について詳細を述べる。ここでは、ハンドーション動画像から、操作者の手首から指先までの範囲において画像中の最高速度を抽出する。以下に、最高速度の時間変化 $v(t)$ の算出手順を示す。

- (1) CCDカメラとパーソナルコンピュータの画像取り込み装置によって、30Hz、モノクロ256階調でハンドーション動画像 $f(x, y, t)$ を $T$ フレーム間サンプリングする。画像サイズは $160 \times 120$ (pixels)とする。
- (2) 動画像の3フレーム目( $t = 3$ )に注目し、このフレームにおける手の任意の位置( $Hx, Hy$ )をマーカとして指定する。
- (3) マーカ近傍の $Wx \times Wy$ (pixels)の長方形で動画像をトリミングする。ただし、注目しているフレームの前後2(frames)ずつ計5(frames)のすべての動画像において、マーカ近傍をトリミングする。 $Wx, Wy$ は、トリミングした5(frames)にわたって、その長方形から手首から指先が出ない程度の任意の大きさとしてあらかじめ設定しておく。
- (4) トリミングした範囲を対象に速度場推定を行う。(速度場推定法については後述)
- (5) 注目している $t$ (frames)における最高速度 $v(t)$ を抽出する。ただし、推定速度場の異常値を避けるため、最高速度は速度場中の上位9個の中間値とする。
- (6) 位置( $Hx, Hy$ )における速度 $HV_x, HV_y$ を抽出する。
- (7) 動画像の $t + 1$ (frames)に注目フレームを移動させる。また、位置 $Hx + HV_x, Hy + HV_y$ を次

の注目フレームにおけるマーカの位置とする。

- (8) 注目フレームが  $T-2$  (frames) になるまで, (3) の処理手順へ戻り繰り返す。

速度場推定には, 照明の不均一条件を考慮した勾配法<sup>9)</sup>の一種<sup>9)</sup>を時空間局所最適化を用いて解いた<sup>9)</sup>。動画像  $f$  の空間・時間微分をそれぞれ  $f_x, f_y, f_t$  とするとき, 速度場  $(u, v)$  は次の評価関数を用いて最小2乗法で求める。

$$E = \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} [f_x(x+l, y+m, t+n)u + f_y(x+l, y+m, t+n)v + f_t - f(x+l, y+m, t+n)w]^2 \quad (3)$$

ただし, ここで  $w$  は, 不均一照明を表すパラメータである。また後処理として, 推定速度場の信頼性指標を用いた速度場修正法を用いている<sup>10)</sup>。勾配法は, 一般に 1(pixel/frame) 以下の速度において推定精度が高いとされているが, 画像解像度の階層化法を合わせて用いて, 4 (pixels/frame) 程度まで速度場を推定可能としている。本論文の実験では, すべて  $L, M$  に 5 (pixels) を  $N$  に 5 (frames) を用いている。上記の最高速度算出手順において, 注目フレームを 3 フレーム目から始めるのは, この  $N$  を 5 に設定するためである。

### 3.4 タイミング曲線のパラメータ曲線への変換処理

オペレータは, デザイナからタイミング曲線を受け取った後に, 以下の流れに従ってパラメータ曲線への変換とモーションの設定を行う。

- (1) キーフレーム間のタイミング曲線  $p(i); (i = 1, \dots, F)$  を受ける。
- (2) キーフレームにおけるパラメータをソフトウェアを使用して決定する。(最初のキーフレーム  $t = t_s$  におけるパラメータ値  $x_s$ , 次のキーフレーム  $t = t_s + F$  におけるパラメータ値  $x_e$ )
- (3) 次式に従ってキーフレーム間 ( $t = t_s + 1, \dots, t_s + F - 1$ ) のパラメータ曲線  $x(t)$  を補間する。

$$x(t_s + k) = (x_e - x_s) \sum_{i=1}^k p(i) + x_s, \quad (4)$$
$$(k = 1, \dots, F - 1)$$

- (4)  $x(t)$  を, 使用するソフトウェアに合わせたファイル形式で保存する。(例えば, AVID 社の SoftImage|3D や SoftImage|XSI では「Raw F-curve ファイル」。NewTek 社の LightWave3D では「motion ファイル」や「envelope ファイル」)
- (5)  $x(t)$  を記録したファイルをソフトウェアに読み込み, 該当するキーフレーム間に適用する。
- (6)  $x(t)$  をソフトウェアにおいて調整する。

## 4. 3-DCA 制作実験

### 4.1 方法

提案する制作工程に従って, 実際に 3-DCA 制作を行った。後に述べる映像課題の 3-DCA 制作をデザイナーとオペレータに課した。まず先立って, 従来の制作工程に従って 3-DCA を制作した。そこで十分に時間を掛けて設定したモーションのパラメータ曲線と, そのパラメータ曲線から逆算したタイミング曲線を, デザイナのタイミングイメージの目安 (それぞれ正解パラメータ曲線と, 正解タイミング曲線と呼ぶ) とした。つぎに, 提案する制作工程に従って 3-DCA を制作し, その時のタイミング曲線とパラメータ曲線を, それぞれの正解の曲線と比較することにした。ただし, 先立って行われた従来の制作工程において, オペレータへ既に正解パラメータ曲線が伝達されていることを考慮して, 本実験では提案する 3-DCA 制作工程における以下の処理を行わないことにした。1) デザイナによるタイミング曲線への修正処理 (3.2 節, タイミング曲線抽出処理手順 (7)), 2) オペレータによるパラメータ曲線の調節作業 (3.4 節, タイミング曲線のパラメータ曲線への変換処理手順 (6))。すなわち, デザイナのハンドモーションから抽出したタイミング曲線を, デザイナとオペレータが恣意的に加工することなく, 3-DCA を制作することにした。

映像課題は, 三つの物体 (球, 立方体, 三角錐) がカメラの前方へ移動する 3-DCA とした。3 物体は, それぞれ独自の自転を行い移動経路も異なるが, 3 物体は同一のタイミングで  $z$  軸方向 (カメラの光軸方向) に 0 (m) から 7 (m) まで移動することとした。本実験では, この  $z$  軸の位置パラメータにおけるタイミングに注目した。映像デザイン歴約 15 年の 38 歳の男性がデザイナーを, ソフトウェア使用歴約 2 年の 24 歳の男性がオペレータを担当した。使用したソフトウェアは, LightWave3D Ver.5.6 (NewTek 社) であった。

補間の種類はイーズアウトにした。イーズアウトでは, 最初すばやく移動していた物体は徐々に速度を落とし, 最後には静止状態になる。タイミングの継続時間は 3 秒間を目安とした。正解タイミング曲線とハンドモーションから抽出されたタイミング曲線の継続時間が異なる場合, データの個数が同じになるように, データの最後尾に不足するフレーム数だけ 0 のデータ (すなわち静止状態) を追加することにした。これは, タイミング曲線の比較において, タイミング値の大きい, すなわちモーションの変化が大きい, タイミング曲線の前半における相違を本実験では重要視するものである。

### 4.2 結果

まず, 正解タイミング曲線を制作するために, デザイナとオペレータは従来の制作工程 (図 1) に従って, 十分に時間をかけて 3 秒間 (90 frames) にわたる 3 物体

のz軸方向のモーション設定をキーフレーム法で行った。この時のパラメータ曲線と換算したタイミング曲線を正解とした。

次に、提案する工程に従って同じ映像課題を制作した。デザイナーは、約3分間に10回のハンドモーションを行い、その中で二つのハンドモーション (HM-1, HM-2) を自身のタイミングイメージに近いと判断し、選択した。図5に、デザイナーが撮影したハンドモーション動画の例 (HM-2) を示す。デザイナーは目を瞑り、そしてカメラの光軸に対して、垂直に手を遠くから近くへ近づけるように、ハンドモーションを行った。図6に、HM-1とHM-2のハンドモーション中の最高速度の時間変化を示す。デザイナーは、それぞれ71 (frames) と83 (frames) をタイミング曲線に変換する時間として選択した。そして、ハンドモーションの静止状態である最終フレームにおいて速度が検出されていたため、3.2節で述べたタイミング曲線抽出処理手順(4)に従い、オフセット速度 $v_o$ としてそれぞれ0.32 (pixels/frame) と0.41 (pixels/frame) を設定した。ハンドモーションの最高速度から変換したタイミング曲線を図7に示す。前述のとおり、3秒間(90 frames)に足りないデータは静止状態として0を補完した。さらに、タイミング曲線とキーフレームでの位置情報を合成したパラメータ曲線を図8に示す。各タイミング曲線、パラメータ曲線のグラフには、正解の曲線を点線で示している。

一方、デザイナーが撮影したハンドモーションの中から、デザイナー自身がタイミングイメージと異なると判断したものを無作為に選択し、タイミング曲線を抽出した。これをHM-Nと呼ぶ。ただし、タイミング曲線に変換する時間帯はデザイナーが選択し、その継続時間は84 (frames)であった。タイミング曲線とパラメータ曲線への変換は、ハンドモーション (HM-1, HM-2) と同様の処理に従った。HM-Nのタイミング曲線と、パラメータ曲線を図9, 10に示す。また、HM-1, HM-2とHM-Nのパラメータ曲線、タイミング曲線に対する正解曲線との相関係数を表1にまとめる。

これら三つのパラメータ曲線を用いて、モーションを設定した3-DCAを観察した結果、デザイナーは、「HM-1, HM-2によって設定されたモーションは、タイミングイメージに近い、特にHM-2によるものは非常に近い」と報告した。また一方で、「HM-Nによって設定されたモーションはタイミングイメージとは異なる」と報告した。HM-2を用いて制作した3-DCAを、従来の工程で制作した3-DCAと比較した結果を図11に示す。

### 4.3 考察

まず、図6に示すハンドモーション動画像から得られた最高速度の時間変化に注目する。デザイナーは、静止していると考えていた最終フレームにおいても、0.3~0.4 (pixels/frame) 程度の速度が検出されていた。これ

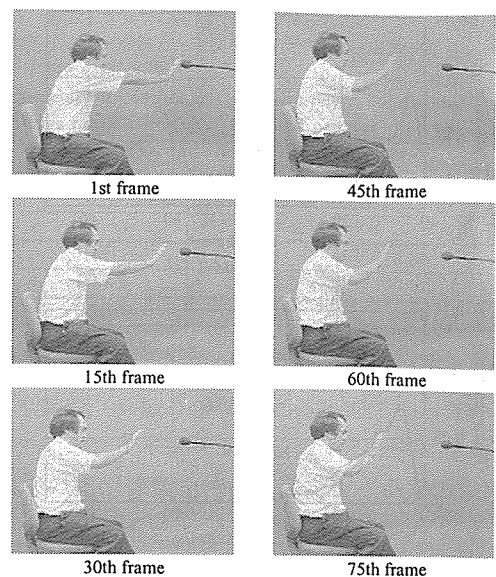


図5 ハンドモーション画像例 (HM-2)  
Image sequence of hand motion (HM-2) performed by a designer.

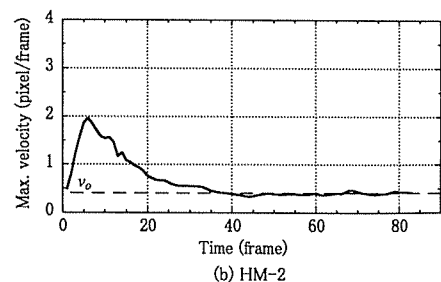
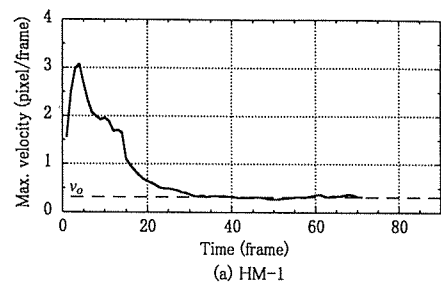
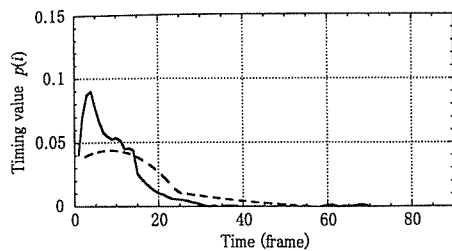
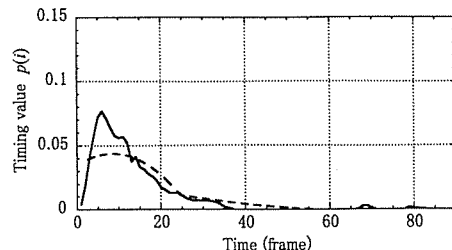


図6 ハンドモーション中の最高速度の時間変化。 $v_o$ はオフセット速度  
Time courses of maximum velocity during hand motions.  
 $v_o$  means an offset velocity for each time course.

は、ハンドモーションを完全に静止させることが困難であったことを示している。そこで、3.2節に述べたタイミング曲線抽出処理手順(4)において、デザイナーが手を静止している状態で検出された速度をオフセット速度 $v_o$ として設定し、そのときの速度を0にする処理が存在する。しかしながら、このことにより低速度におけるハンドモーションの速度検出精度が低下していると予想される。また、ハンドモーションによる最高速度の曲線はただなかではなく、ところどころにおいてデザイナーが意図していないと考えられる細かい速度の変動が検出された。タイミング曲線抽出処理手順(7)において、デザイナーの



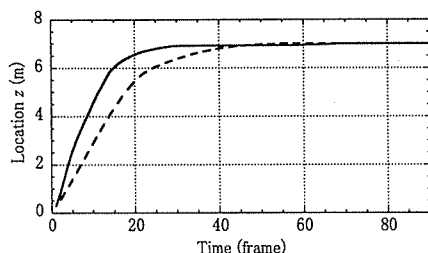
(a) HM-1



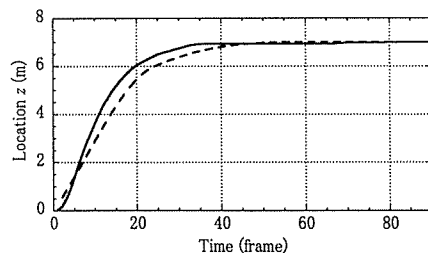
(b) HM-2

図7 デザイナーの選択したハンドモーションから得られたタイミング曲線 (実線)。破線は正解タイミング曲線

Timing curves extracted from hand motions selected by the designer (solid lines). Each broken line shows the correct curve.



(a) HM-1



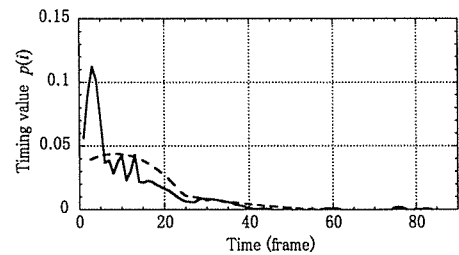
(b) HM-2

図8 デザイナーの選択したハンドモーションから得られたパラメータ曲線 (実線)。破線は正解パラメータ曲線

Parameter curves converted from hand motions selected by the designer (solid lines). Each broken line shows the correct curve.

意図にあわせて平滑化処理を加えることの重要性を示している。

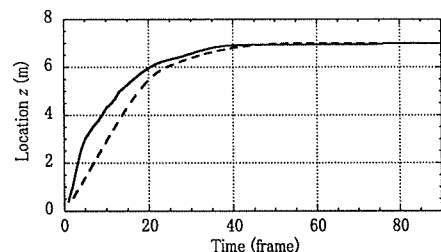
次に、ハンドモーションから抽出したタイミング曲線と、そこから変換したパラメータ曲線を、それぞれの正解曲線と比較する。まずパラメータ曲線に注目すると、図10のように、HM-Nのハンドモーションであっても正解パラメータ曲線に近い曲線を見ることができた。表1のパラメータ曲線の相関係数を見ると、むしろHM-Nの相関係数の方がHM-1のものよりも値が大きかった。



HM-N

図9 デザイナーが選択しなかったハンドモーションから得られたタイミング曲線 (実線)。破線は正解タイミング曲線

Timing curve extracted from a hand motion selected arbitrarily (solid line). Broken line shows the correct curve.



HM-N

図10 デザイナーが選択しなかったハンドモーションから得られたパラメータ曲線 (実線)。破線は正解パラメータ曲線

Parameter curve extracted from a hand motion selected arbitrary (solid line). Broken line shows the correct curve.

しかしながら、一方で表1におけるタイミング曲線の相関係数を見ると、HM-1とHM-Nの結果は逆転していた。最終的に得られた3-DCAを観察した結果、デザイナーはHM-Nを用いた3-DCAのモーションをタイミングイメージとは異なると報告したことから、タイミングイメージへの相関具合を提示する際には、パラメータ曲線の相関係数はあまり意味がないということがわかった。その一方で、タイミング曲線における相関係数はデザイナーの報告とよく対応していた。なかでも、タイミング曲線の相関係数が0.92と最も高かったHM-2を用いた場合は、図11の映像フレームの比較からわかるように、正解として制作した3-DCAに大変近い3-DCAを制作することができた。

HM-Nがデザイナーのタイミングイメージを反映していなかったように、デザイナーの行ったすべてのハンドモーションがデザイナーのタイミングイメージどおりであるわけではないことがわかる。提案するタイミング曲線抽出方法のように、デザイナー自身がタイミングイメージに照らし合わせてハンドモーション動画画像を選択することの重要性がわかった。

この段階のタイミング曲線では、モーション開始直後やモーション後半のゆっくりとした動きにおいて正解タイミング曲線と差異がみられる(図7)。提案する3-DCA

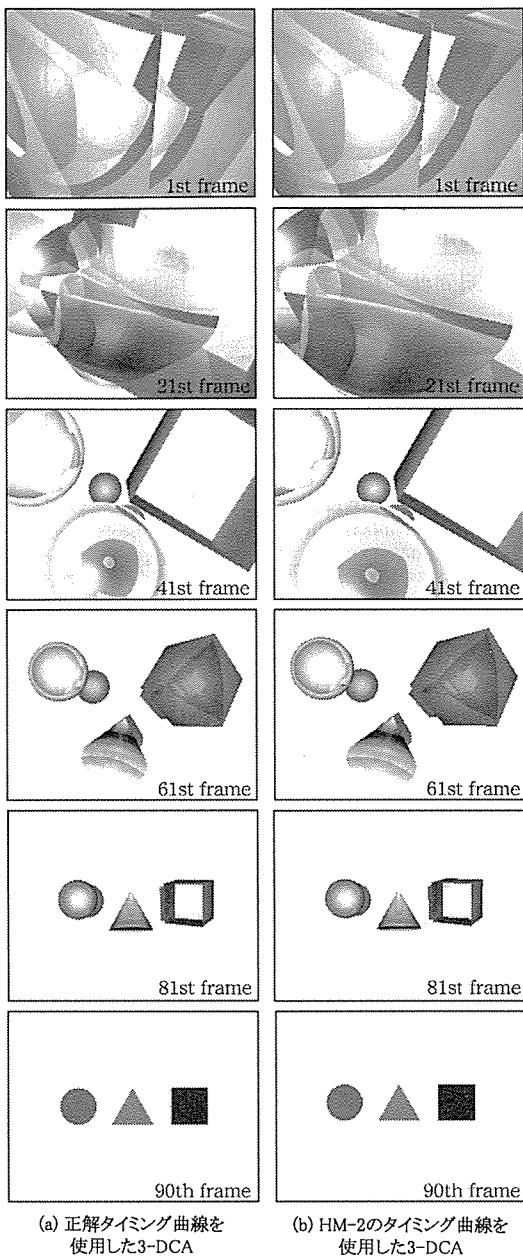


図 11 従来の工程で制作された 3-DCA (a) と提案する工程に従ってハンドモーション (HM-2) のタイミング曲線を用いて制作された 3-DCA (b) の比較

Comparison of two 3-DCA. Left 3-DCA (a) and right one (b) were developed using an ordinary process and the proposed process, respectively. Timing curve (HM-2) was used in the right 3-DCA (b).

制作工程では、この段階の後にオペレータは、パラメータ曲線の調節作業を行う。そして、デザイナーが出力された映像と想定したタイミングイメージを含むモーションとを照合し (図 3 中の E), よりタイミングイメージに近づくように、デザイナーはオペレータに指示を出すことになる。この繰り返し作業は、提案する制作工程でも従来のものでも同じである。しかし、オペレータが修正を施す前の段階において、デザイナーのタイミングイメージの概略がオペレータに伝達されたことは重要である。なぜ

表 1 提案する 3-DCA 制作工程で得られたパラメータ曲線、タイミング曲線と、正解パラメータ曲線、正解タイミング曲線との相関係数

Correlation coefficients for parameter curves and timing curves made using the proposed process with the correct parameter curve and the correct timing curve.

ハンドモーション	相関係数	
	パラメータ曲線	タイミング曲線
HM-1	0.96	0.89
HM-2	0.99	0.92
HM-N	0.99	0.80

なら、言葉や、身振り手振りによって、まったく 0 の段階からタイミングイメージを伝達することに比べて、すでに 0.92 の相関係数を持つタイミング曲線の段階から、よりタイミングイメージに近いタイミングに近づける方が効率的であることは間違いない。また、ハンドモーションから抽出したタイミング曲線が、デザイナーのタイミングイメージに近いほど、デザイナーとオペレータの間の繰り返し回数が少なくなると予想される。本実験によって、限られた条件下ではあるが、提案する制作工程を用いることによって、デザイナーのタイミングイメージに近い 3-DCA を効率的に制作できる可能性が示された。

## 5. 精度検証実験

### 5.1 方法

ハンドモーションから抽出されるタイミング曲線の精度を検証した。本実験では、3 人の参加者が、それぞれデザイナーとオペレータの両方の作業を行った。参加者のプロフィールを表 2 に示す。参加者はいずれも、ハンドモーションからタイミング曲線を抽出するのは初めてである。各参加者は、2 種類の映像課題に対して、それぞれ 2 種類の異なるタイミングのモーション設定を行い、計四つの 3-DCA を制作した。映像課題 1 では、狭い通路内を移動するカメラ自身の移動に注目した。映像課題 2 では、立方体の上から下への移動に注目した。どちらも 3 秒間のモーションとした。2 種類の異なるタイミングは、それぞれイーズインとイーズアウトのように指定した。使用したソフトウェアは、LightWave3D Ver.6.5 (NewTek 社) であった。

### 5.2 結果と考察

3 人の参加者は、実験に先立ってソフトウェアを用いて、4 種類の 3-DCA のモーションの設定を行い、そこから逆算した正解タイミング曲線を得た。その時、各参加者には、十分に時間をかけて各自の理想とするタイミングを設定するように指示した。次に、各参加者はハンドモーションを行ってタイミング曲線を抽出した。各 3-DCA のタイミングに対して、各参加者は 10 回ずつハンドモーションを行い、その中で最もタイミングイメージに近いと参加者自身が選択した一つのハンドモーションからタイミング曲線を抽出した。映像課題 1 に対して



表 2 精度検証実験の参加者  
Volunteers in accuracy verification test.

参加者	年齢	性別	3-DCA 制作経験
A	22	男	2 年
B	22	男	2 年
C	22	男	半年

表 3 ハンドモーションから抽出したタイミング曲線と正解タイミング曲線との相関係数

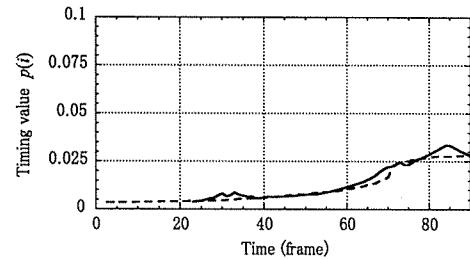
Correlation coefficients between timing curves extracted with the proposed tool and the correct curves.

参加者 (課題番号)	相関係数	
	イーズイン	イーズアウト
A (1)	0.98	0.94
A (2)	0.95	0.94
B (1)	0.87	0.87
B (2)	0.90	0.93
C (1)	0.90	0.90
C (2)	0.93	0.74

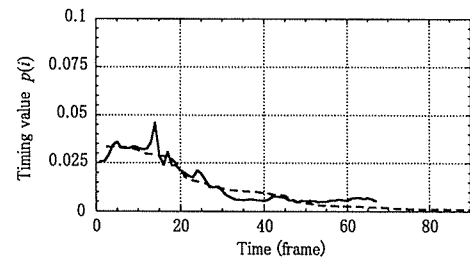
は、各参加者は水平方向へ移動するハンドモーションを、映像課題 2 に対しては、各参加者は垂直方向へ移動するハンドモーションを行った。抽出したタイミング曲線に対して、参加者は修正を加えないことにした。

各参加者のハンドモーションから抽出したタイミング曲線の継続時間は、正解タイミング曲線とはそれぞれ異なっていた (55~86 (frames)). 平均 68 (frames)) ので、単純には比較することができない。そこで、4 節の 3-DCA 制作実験と同様に、タイミング曲線におけるタイミング値の大きなところでの相違を重視するため、以下のように比較することにした。1) イーズインのタイミングは、正解タイミング曲線とハンドモーションから抽出したタイミング曲線の「最終フレームを揃えて」算出した相関係数を評価指標にした。2) イーズアウトのタイミングは、正解タイミング曲線とハンドモーションから抽出したタイミング曲線の「開始フレームを揃えて」算出した相関係数を評価指標にした。

表 3 に結果を示す。全部で 12 個のタイミング曲線のうち、9 個の相関係数が 0.90 を上回った。平均の相関係数は 0.90 であった。図 12 に、相関係数の高かった 2 種類のタイミング曲線の例 (参加者 A の映像課題 (1)) を示す。ハンドモーションから抽出した曲線が、正解タイミング曲線に近いことが図 12 からわかる。これらの結果から、10 回のハンドモーションを行えば、参加者のタイミングイメージがおおむね表現されたハンドモーションがその中に含まれていたことがわかる。また、相関係数が低かったものも、ハンドモーションの回数を増やすことにより、より正しいタイミング曲線が得られる可能性がある。逆に、ハンドモーションによるタイミングイメージの表現作業に慣れることで、より少ない回数でより正確なハンドモーションが行えるようになる可能性もある。



(a) 参加者Aの映像課題(1)イーズイン



(b) 参加者Aの映像課題(1)イーズアウト

図 12 ハンドモーションから得られたタイミング曲線 (実線)、破線は正解タイミング曲線

Timing curves extracted from hand motions (solid lines). Broken lines show the correct curves.

## 6. まとめ

本論文では、3-DCA のモーションの設定において、デザイナのタイミングイメージを効率的に実現する 3-DCA 制作工程について述べた。まず 3-DCA におけるタイミングは、モーションとは独立に存在することができ、タイミングがタイミング曲線として数値化できることを示した。そして制作工程において、デザイナのタイミングイメージをあらかじめタイミング曲線に変換し、オペレータに伝達するというコミュニケーション手段を追加することを提案した。また、デザイナのハンドモーションから、タイミングイメージを抽出しタイミング曲線に変換する方法を提案した。

実験によって、3 秒間程度のイーズインとイーズアウトのタイミングに対しては、デザイナのタイミングイメージをハンドモーションとして表現することが可能であり、提案した方法によってタイミング曲線として抽出できることがわかった。その結果、今まで感覚的なものであったタイミングイメージを、オペレータへ数値データとして伝えることができ、オペレータはタイミング曲線を用いて、3-DCA を効率的に制作することが可能であった。提案した制作工程がデザイナの意図するタイミングを 3-DCA において実現するための有効な手法となる可能性が示された。

本論文では、1 台の CCD カメラからの画像を動画像処理することにより、ハンドモーションからタイミング曲線を抽出した。これによって 1) 手を完全に静止状態にすることは困難である、2) ハンドモーションがカメラの光軸に垂直な平面に固定される、という制約が生じて

いた。タイミングイメージの数値化方法を改良することにより、より精度の高いタイミング曲線が得られることが考えられる。また、3秒間程度のタイミングのみを対象に実験を行ったので、より複雑であったり、時間が長いタイミングに対して提案した制作工程を用いる場合について、今後研究していく必要がある。

最後に、本研究に協力していただいた野上雅夫氏（当時：山口大学大学院理工学研究科，現：共同印刷株式会社）に感謝いたします。

### 〔文 献〕

- 1) S. D. Katz: Film Directing SHOT BY SHOT Visualizing from Concept to Screen, Michael Wiese Productions (1991)
- 2) T. Kinoshita & M. Miyazaki: "Validity and Problems of the "Sketch Continuity" for 3D-CG Animation Making through Experimental Production - In Guest of Establishing a Methodology for Graphic Design -", Forma, 13, pp. 339-350 (1999)
- 3) 安生, 伊藤 ほか: "技術編 CG 標準テキストブック"(中島 編集委員長), (財)画像情報教育振興協会, 第10章, p. 283 (1999)
- 4) 岡本, チボラ, 風間, 久野: "定性的運動認識を用いたヒューマンインターフェースシステム", 信学論, J76-D-II, 8, pp. 1813-1821 (1993)
- 5) K. H. Jo, K. Hayashi, Y. Kuno & Y. Shirai: "Vision-Based Human Interface System with World Fixed and Human-Centered Frames Using Multiple View Invariance", IEICE Trans. Inf. & Syst., E-79-D, 6, pp. 799-807 (1996)
- 6) D. C. Crafton: "Before Mickey", The University of Chicago Press, Chicago, pp. 169-177 (1982)
- 7) M. O'Rourke: "アニメーション; 3次元コンピュータアニメーションの原理" (袋谷, 大久保 訳), (株)トッパン, 東京, 第3章 (1997)
- 8) A. Nomura, H. Miike, and K. Koga: "Determining Motion Fields under Non-Uniform Illumination", Pattern Recognition Letters, 16, pp. 285-296 (1995)
- 9) L. Zhang, T. Sakurai & H. Miike: "Detection of Motion Fields under Spatio-Temporal Non-uniform Illumination", Image and Vision Computing, 17, pp. 307-318 (1999)
- 10) 長, 張, 三池: "時空間不均一照明下における速度場推定の高精度化", 可視化情報学誌, 21, Suppl.2, pp. 27-28 (2001)



おさ 長 篤志 1997年, 山口大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士前期課程修了。修士(工学)。1997年, 山口大学工学部助手。主として 動画像処理, デザイン工学, コンピュータグラフィックス, 視覚心理学 に関する研究に従事。



きのした たけし 木下 武志 1987年, 武蔵野美術大学造形学部芸術デザイン学科卒業。1987年, 映像制作会社(株)白組に入社。1992年, 山口県立大学助手。2000年, 山口大学工学部講師。芸術工学博士(神戸芸術工科大学)。主として 映像デザイン手法, デザイン教育に関する研究に従事。正会員。



みいけ ひでとし 三池 秀敏 1976年, 九州大学大学院工学研究科博士課程修了。工学博士。1976年, 山口大学工学部助手。1991年, 山口大学工学部教授。主として 非線形科学, 動画像処理に関する研究に従事。