

## 重機稼働アニメーションについて

ロボテック研究所 岡本直樹  
同上 大下裕之  
山崎建設株式会社 ○田中正人

### 1.はじめに

近年、CG (コンピュータグラフィックス) のレンダリング技術、高速化は目を見張るものがあり、コンピュータアニメーションもテレビ等を通じて日常的なものとなってきた。建設業においても設計・計画等のプレゼンテーション、景観シミュレーションに盛んに用いられている。しかし、例えば現場の施工検討等に簡単に利用できる迄には至っていない。

パーソナルコンピュータの普及は、施工計画の作成時にコンピュータを不可欠のものにし、省力化、計画の練成に大いに貢献している。今後、コンピュータはインテリジェンス・アンプリファイアとして、我々の思考を大いに助ける計画支援ツールとなり、ユーザフレンドリィなCGにより簡単にビジュアルに施工過程・手順等をチェックできるものになるだろう。

著者等は大規模土工の施工計画支援ツールと施工計画のビジュアル化の検討を行っている。その一環として土工機械の施工状態のプレゼンテーション<sup>1)</sup>や走行シミュレーションのアニメーション化等を手掛けてきたが、稼働機械の配置・動作付け等に非常に煩雑な作業が要求され、アニメーション作成を困難にしていた。そこで、これらの作業の自動化を検討し、そのツールを開発したので報告する。

### 2 アニメーション制作上の問題点

一般にCGによるアニメーション制作過程は、コンピュータ上で3次元モデルを作成し、カメラワークを決定してレンダリングを行い、それをビデオ信号に変換する。この一連の作業を1フレーム単位で繰返し行う。重機稼働アニメーションもこの流れに従って制作されるが、レンダリング及びビデオ信号変換については市販のハードウェア、ソフトウェアを用いることで容易に実現できる。当研究所ではINTERGRAPH社のMicroStation32をプラットフォームにして重機稼働のモデリングを行っているが、

以下に示すような問題があった。

#### (1) 重機の3次元モデリング

建設機械はそれぞれ非常に複雑な形状をしているため、3次元CAD (MicroStation) によるモデリングには不向きである。

#### (2) 重機の地表面への配置

重機の稼働状態を表現するためには、3次元モデリングされた機械を3次元地表面上に配置しなければならない。つまり、配置位置の地形表面上の標高とその面の傾きを求め、機械が潜ったり浮いたりしないように、傾斜に合わせて機械を地面に載せてやる必要があり、この作業は厄介である。

#### (3) 機械の走行

運搬機械を等速度運動ではなく、実際の走行状態に模擬させるためには、走行シミュレーションの計算結果からΔt毎の累加走行距離に基づいて機械を移動させねばならない。

#### (4) 機械の作業装置等の動作

アニメーションにおいて重機の稼働状態を表すには、作業動作に従ってその重機の作業装置等の動きをフレーム単位で変化させなければならない。1フレーム単位で重機モデルの形状をマニュアルで変えていくのは大変な作業となる。

#### (5) カメラワーク

カメラワークとは1フレーム毎の視点・目標点座標等の設定であるが、1フレーム毎に設定するのは大変であるので、予めパス設定が行われる。しかし、予めカメラワークをイメージするのは難しい。

#### (6) 積込材料の材質・変形表現

重機の作業対象である土砂や岩石の形状や材質感の表現の難しさ、また、積み下しの際の材料の変形具合を表現することも難しい。

#### (7) フォーマット変換

機種・ソフトウェアによって様々なフォーマットがありデータのフォーマット変換が大変である。

### 3. 自動化の検討とツールの開発

上述したそれぞれの問題点に対して、自動化の検討と開発したツールの機能について述べる。

#### (1) 重機の3次元モデリング

3次元CADで重機モデルを作成することは困難なため、機械の3次元座標を抽出して、そのポイントデータと面データからMicroStation上にモデルを生成するようにした。そして、これらを機種別にセル・ライブラリとして登録して利用できるようにした。なお、重機モデルは(4)で述べるように階層構造を持った部位毎のモジュールで構成されている。

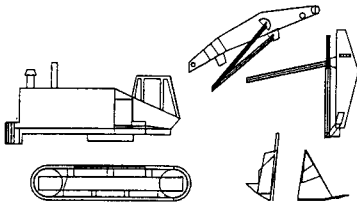


図-1 モジュール分割

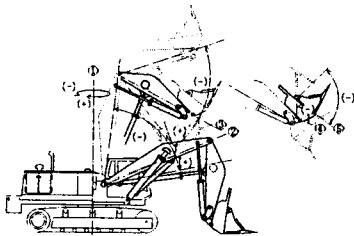


図-2 動作範囲

#### (2) 機械の地表面への配置

重機の3次元モデルを3次元地表面に配置する問題に対しては、指定された2次元平面(X-Y平面)上の配置位置と進行方向から標高とサーフェスの傾きを自動的に計算し、それに沿って重機を傾かせ地表面上に配置できるようにした。なお、サーフェスの傾き計算は予め用意された重機の接地する3点(例えばタイヤの接地点)の座標とその3点における地表高から求めるようにした。図-3は、ダンプトラックを当機能により配置した結果である。

各重機の配置位置と進行方向は、ディスプレイ表示した地形モデルを参照して指定する。運搬機械については、選択されたルート of 走路データを参照して自動設定され、それ以外の重機については、積込場や盛場の中でユーザが指定する。

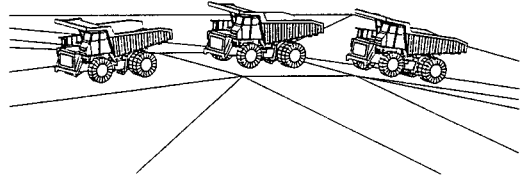
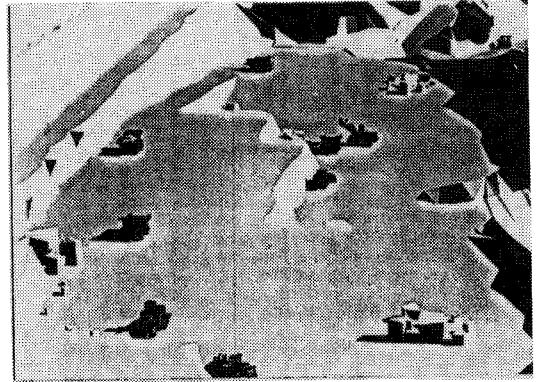


図-1 地表面への配置状態



写-1 重機配置例

#### (3) 機械の走行

運搬機械の走行状態は、実際の車両の走行特性に基づいて動きを設定する必要がある。そこで、運搬機械は走行シミュレーションの計算結果から自動的に機械を配置するようにした。

走行シミュレーションは運搬機械のリンプル及びブレーキ性能から加減速性能を求め、実際の車両の走行状態を模擬するものである。この計算結果より車両の一定時間間隔毎( $\Delta t = 1$ 秒)の累加距離を走行データとして求め、そのデータから車両を配置し、1秒以下(1~1/30秒)については均等補間して配置することとした。

走行シミュレーション計算に必要な走路データは、走路設計データ及び運搬ルート設定情報に基づいて得られ、それを入力データとして渡す。

運搬ルートに関しては、走路設計対象外の積込場や盛場内においても任意に設定できるようにした。また、交差点等の合流箇所での衝突回避<sup>4)</sup>も制御ロジックとして組み込まれている。

#### (4) 機械の作業装置等の動作

運搬機械以外の稼働機械を表現するためには、3次元モデルの形状を自動的に変えていく機能が要求される。

(1)で述べたように、重機は作業装置等の幾つかの部位（モジュール）に分割できる。例えば、フロントショベルの場合、図-1に示すように6つのモジュールの集合体であり、それぞれのモジュールは支点（ヒンジ）によって連結されている。つまり建設機械を構成する各モジュールは連結関係を階層構造で表現することができる。そのため、作業動作に従って建設機械のモーションを変えるには、各モジュールの階層構造とモジュール同士を連結する支点の座標を予め調べ、その情報に基づいて各モジュールを図-2に示す動作範囲内で座標変換させ動かせばよい。図-2のフロントショベルを例に考えると、ブームを回転すればそれ以下にぶら下がっているアームやバケットもモジュール構造と支点座標から同時に回転させ作成することができる。

以上より当機能に必要なデータは、以下の2つである。

- ・モジュール関係データ：重機を構成するモジュール単位の階層関係とそれらを連結する支点座標値を記述したものであり、機種単位に唯一のものである。

- ・モーションデータ：重機の作業動作を作業装置別に記述したものであり、一定時間間隔毎の作業装置の回転度合（変移量）を示したものの。但し、モジュール関係データの階層構造により、下位階層のモジュールも同時に回転される。一定時間間隔は1秒毎で準備しておき、重機の作業別に設定される。（1秒以下は補間される）

図-5はフロントショベルのモーションデータ

（図-4）による動作状態を示したものである。

積込機械の積込方法等を変える場合には、モーションデータの内容を変更すればよい。

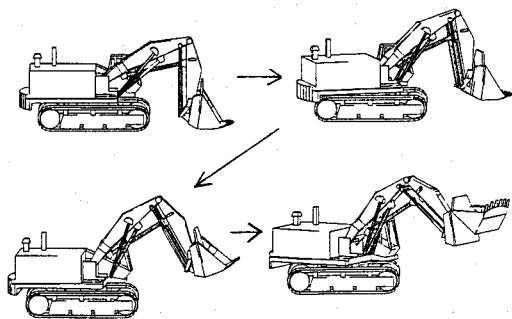


図-5 動作状態

Sample motion data for front-shovel (3 steps)  
 1, M245\_2, 15, 245\_3, -10, M245\_5, 10  
 (houseを20度, boomを10度, bucket1を10度回転する)  
 2, M245\_2, -20, M245\_3, -10, M245\_4, -10  
 (houseを20度, boomを10度, armを10度回転する)  
 3, M245\_2, -25, M245\_4, -20, M245\_5, 25, M245\_6, -45  
 (houseを25度, armを20度, bucket1を25度, bucket2を45度回転する)

図-4 モーションデータ

#### (5)カメラワーク

カメラワークの設定は、机上において1秒毎の視点・目標点座標を予め作成してパス設定を行い、その情報から1コマ毎のレンダリングを行うようにした。

なお、カメラを運搬機械の運転席に設定した場合、走行シミュレーションとして設計した走路のドライバビリティ等を評価することができる。

#### (6)積込材料の材質・変形表現

建設機械の3次元モデルと同様に、機種に合った材料モデルとして予め等高線データでデジタイジング入力し、それをサーフェス情報としてセルライブラリに登録することとした。また、変形過程に関しても、1秒毎の変形状態を3次元モデリングしておき、建設機械のバケット（もしくはベッセル）状態とマッチングをとるようにした。

#### (7)データ変換

当研究所では、RGB-NTSC信号変換とVTRへのコマ落しはIRIS 310VGX上のAVANZAR

（Tektronix社製）を使用している。（図-6）

そのため、INTERGRAPHのRGBデータをWAVEFRONT社のRGBフォーマットへ変換処理を施すようにした。

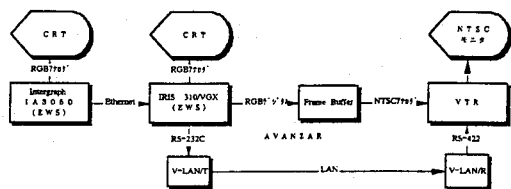
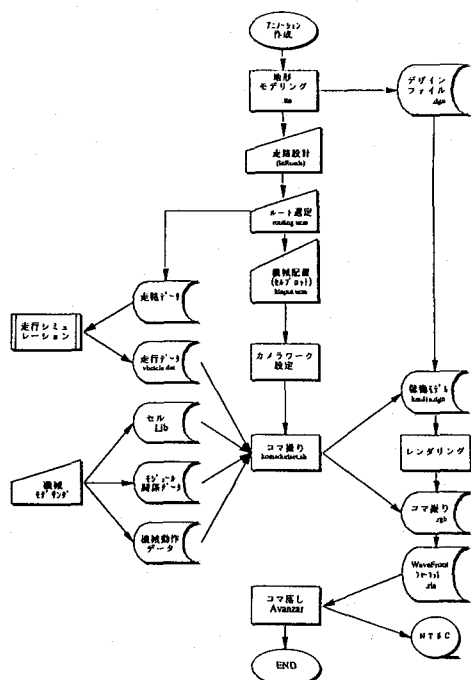


図-6 ハードウェア構成図

#### 4.アニメーション作成手順

重機稼働アニメーションの作成手順は、まず、モデリング及びレンダリングはMicroStation等をベースに3で述べた機能を付加したソフトウェアで行い、作成された1フレーム単位のRGBデータファイルをIRISへネットワーク転送してフレームバッフ

図-7は当システムのアニメーション作成手順を示したものである。



アニメーションは30フレーム/秒が望まれるが、1秒間のフレーム数を任意に指定できるようにした。カメラワークやモーションデータ・走行データは $\Delta t = 1$ 秒毎の変移量であり、ここで指定された分割フレーム数に基づいて1秒間内のモデルデータの形状と配置位置及びカメラ設定を等分割に補間して、分割フレーム毎のモデリングがなされる。

なお、重機稼働アニメーションを制作する上での留意点は、積込等の組合せ作業で、積込機械と運搬機械が同調するようにモーションデータを設定しなければならない点である。

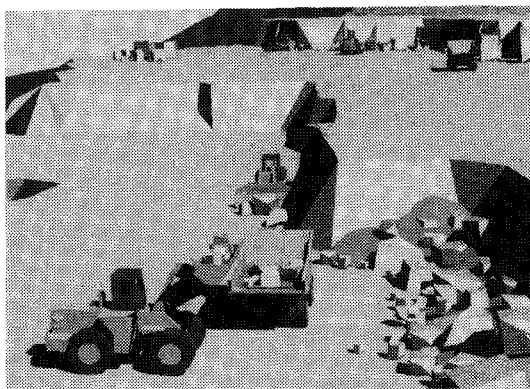


写真-2 重機稼働状況

## 5 おわりに

筆者らは、これまでに土工事の施工計画支援関連の各種シミュレーションや支援ツールの研究を行い、今回、重機稼働アニメーション作成用の自動化ツールを開発した。まだ、カメラワークの操作性等改善すべきところもあるが、アニメーション作成作業を飛躍的に向上させることができた。

最近のグラフィックス・エンジン的高速化はめざましく、例えば、SiliconGraphics社のワークステーションでは、Reality Engineのようにテクスチャマッピングを施したリアルタイムレンダリングが可能になって来ている。今後、このようなシステムを利用すれば、重機が行き交う仮想空間（Cyberspace）へ入り込み、施工法の検討や模擬施工を何度も試すことが可能になるだろう。

最後に、地形のモデリングやフレーム作成に献身的に協力してくれた関根佐知子さんに感謝する。

## 参考文献

- 1) ロボット研究所: Hyper Architectural Design '91s by INTERGRAPH, No. N-034, 武藤工業, 1991年
- 2) 岡本・大下: 施工シミュレーションの研究とその開発、第8回シミュレーション・テクノロジー・コンファレンス発表論文集、1989年6月
- 3) 岡本・大下・宮本・山崎: 搬土機械の走行シミュレーションにおける走行速度の合理的決定法、第9回建設マシナリ問題に関する研究発表・討論会講演集、1991年12月
- 4) 岡本・宮本・大下: 無人タンクトラックの交通制御、第15回土木計画学研究・講演集1992年