

## 8. 掘削機災害シミュレータの開発\*

深谷 潔\*\* , 中村隆宏\*\* , 万年園子\*\*\*

## 8. Development of Excavator Accident Simulator\*

by Kiyoshi FUKAYA\*\*, Takahiro NAKAMURA\*\* and Sonoko MANNEN\*\*\*

**Abstract** : An excavator accident simulator is developed in order to study on the effect of quasi-experiences of accidents. This development is made from the point of view that quasi-experiences of accidents are believed to be effective for safety training for acquiring sense of danger and motivation for safety.

In this simulator, excavator accidents are selected as quasi-experiences of accidents. They seem to be representative of accidents in a sense. One reason is the number of excavators' accidents is large. Another reason is there are two type of accidents; own-injury accidents and accidents hurting others.

Hardware of the simulation system is composed of the image system and the motion system. The image system is composed of the image generator (graphic workstation), eight video projectors and eight 120 inch sized screens which are arranged in heptagon and surround a subject. The graphic workstation performs other functions at the same time, such as the system control function and the input-output control function for control levers. The motion system has an operator seat on its motion base and it gives a sense of motion to the operator.

Software of the simulation system is composed of an application system and the VR(Virtual Reality) operating system. An application system is composed of 3D models and application program. The VR operating system controls drawing of computer graphics according to the application program and 3D models.

The excavator accidents simulator simulates 4 types of works, that is, excavation, running on sloping ground, hanging a load and loading of the excavator, and it simulates 2 types of accidents, that is, upset and contact.

In the simulation of upset, stability and posture calculation is carried out. In the running on sloping ground posture of the excavator changes according to the sloping ground. In order to express inclination of the posture, not only screen image but also motion of operator seat is used.

An experiment for evaluation is carried out, and modifications are suggested. Modifications of the system are being carried out.

**Keywords** ; Excavator, Accidents, Simulator, Upset, Contact

---

\* 第32回安全工学シンポジウム(2002)<sup>1)</sup>, VR学会第7回大会(2002)<sup>2)</sup>で一部発表

\*\* 境界領域・人間科学安全研究グループ Interdisciplinary and Human Science Safety Research Group

\*\*\* 科学技術振興事業団 重点研究支援協力員 Supporting Staff for Priority Research, Japan Science and Technology Corporation

## 1. はじめに

現在、「建設労働災害の発生原因としてのヒューマンエラーに関する研究」を実施しているが、その一環として教育訓練の改善についての検討を進めている。本検討の過程として、教育訓練手法の研究のための装置としての掘削機災害シミュレータを開発したので報告する。

最近では種々の安全対策が推進され、その結果として作業員等にとっては身近で事故を経験することが少なくなり、何が危険であるか、なぜ安全対策が必要か等の安全知識の伝承に問題を生じているといわれている<sup>3)</sup>。すなわち、事故の経験がないため、安全対策の必要性についての実感が伴わず、安全対策が形骸化してしまうことが少なくない。もとより、事故の経験はないに超したことはないが、危険の軽視が事故を招くことも事実であり、危険性の認識が事故防止に有益なことは間違いない。この意味で、危険事象を疑似体験することは、安全教育の一つの有効な手段と思われる。

本研究に詳細を紹介する掘削機災害シミュレータについては、危険疑似体験の教育訓練効果等に関してさらに検討を進める予定である。

本装置の開発に当たっては以下の点に留意した。

- (1) すべての危険を疑似体験できるものを開発することは不可能であること。
- (2) したがって、何らかの危険を選ぶ必要があること。
- (3) 何らかの意味で危険を代表するものを対象とするものであること。

建設業の災害の中で、建設機械による災害は墜落災害に次いで多い。中でも、掘削機は広く使用されているためもあり、その災害の割合も多い。

掘削機の災害は、接触による災害が約半分、転倒による災害が約1/3を占める。これらの災害は、それぞれ、人に危害を与える災害と自分が傷害を負う災害である。

これらの観点から、掘削機の災害は建設災害を代表する面を持つ。このことから、危険事象として掘削機災害を選定した。

本システムは、一応の開発は終了したが、評価の結果不具合もあり改善中である。従って、まだ完成されたものではないが、問題点を含め現状を報告する。

## 2. 開発の概要

掘削機災害シミュレータの開発は、従来からのバーチャルリアリティ（以下VRと記す）技術を利用した研究の流れを受け継ぐものである。

掘削機災害シミュレータは、掘削機械作業シミュレータ<sup>4)</sup>を元にして開発した。掘削機械作業シミュレータは、掘削機の安全対策を研究するためのもので、掘削機運転者の運転挙動の解明のための実験装置である。事故防止のためには、特に、事故を起こすような状況における運転者の挙動の測定が必要であるが、このような状況における実機による実験は危険過ぎて実施するわけにはいかないため、VRによる掘削シミュレータを開発して、掘削作業時の運転者の挙動を調べた。

掘削機械作業シミュレータは、汎用なVRシステムの上に、アプリケーションとして掘削機械作業のシミュレーションを構築したものであり、アプリケーションの部分を別途作成すれば他のシミュレーションも可能となる。今回開発を行った掘削機災害シミュレータは、上記のVRシステムの1つのアプリケーションとして位置付けられる。

## 3. VRシステムの概要

### 3.1 全体構成

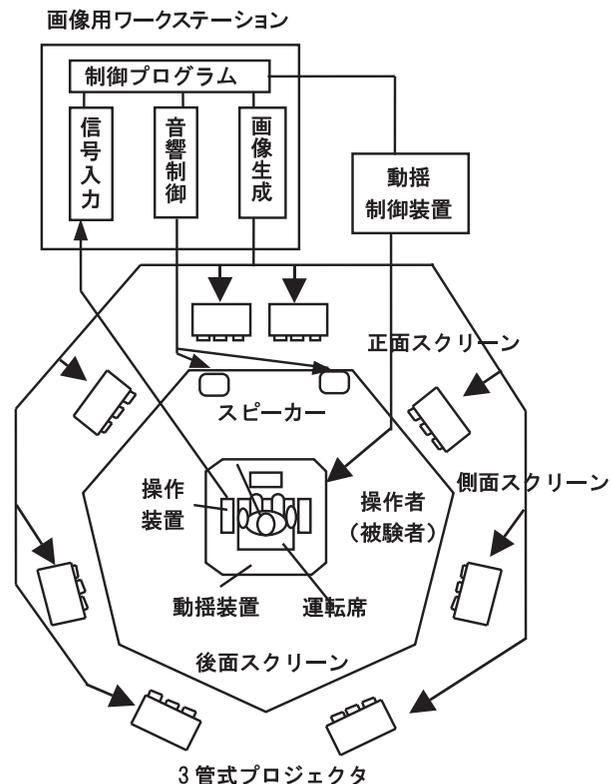


Fig.1 Construction of VR excavator system  
開発したVR掘削機システムの構成

Table 1 Specifications of excavator simulator  
掘削機シミュレータの仕様

表示方式	スクリーン投影
投影方式	背面投影
スクリーン	120 インチ× 8 面スクリーン
スクリーン配置	正 7 角形 (Fig.1 参照)
解像度	640 × 480 / スクリーン
画像更新レート	毎秒 20 画面以上
操作装置	操作レバー (実機に類似)
運転席	動揺装置上に設置

VRシステムは、大型スクリーンによる映像システムと動揺機能を有する運転席によって構成され、掘削機の運転を模擬するものである。映像はすべてコンピュータグラフィック (CG) によるバーチャルなものを用いている。この映像を生成する画像用ワークステーションで同時に動揺も含めたシステム全体の制御も行っている。その全体的な構成をFig.1に示す。また、システムの仕様をTable 1に示す。

### 3.2 VRハードウェア

#### 3.2.1 映像システム

没入感には、視野に占めるバーチャル空間の割合が大きく影響するので、視野角が大きくなるように120インチの大形スクリーンを上下2面左右各1面の4画面用いて前方の画面を構成している。これには、立体視の機能を組み込み、遠近感の認知が可能とした。

また、掘削作業では旋回、後退等も多く、前方のみならず、側面・後方を注意する必要も多いので、側面・後方の視界を表示するスクリーンも設け、全周囲7角形で計8面のスクリーンを設けた (Fig.2参照)。ただし、全周囲を表示するときには、描画速度を確保するため立体視は行わない。

なお、動きが滑らかに見えるように描画速度は毎秒20画面以上となるようにした。

#### 3.2.2 運転席・動揺システム

汎用の動揺台の上に、2つの2自由度操作レバーと2つのレバー付きペダルを有する操作装置と運転席を設置した (Fig.3参照)。この操作装置は、これらの操作レバーの操作量をアナログ入力して制御装置に取込めるようにしてあり、このデータを用いてバーチャル空間内の機器を操作できるようにしている。また、この2自由度操作レバーは、先端に押しボタンを有していて実験時のタイミング入力等に使用できる。さらに操作レバーを取り付けた操作盤には左右各4つの押しボタンを設け、実験の設定の切り替え等に使用できる。

掘削機作業のシミュレーションを行うために、この

操作装置は、実際の掘削機と類似させてある。また、その操作は後述するアプリケーションソフトによって、2つのレバー付きペダルは走行に割り当て、2つの2自由度操作レバーはアーム、ブーム、バケット、旋回の制御に割り当ててあり、実際の掘削機と同様の操作が可能となっている。なお、実際の掘削機の操作レバーとブーム等の動きの対応関係については、現在はISO等の規格で決められているが、かつてはメーカーごとに異なっていた。この対応関係はソフトで自由に変更できるので、どのメーカーの方式も模擬できる。掘削機の運転においては、バケットの地面との接触



Fig.2 Screens and driver's seat  
スクリーンと運転席

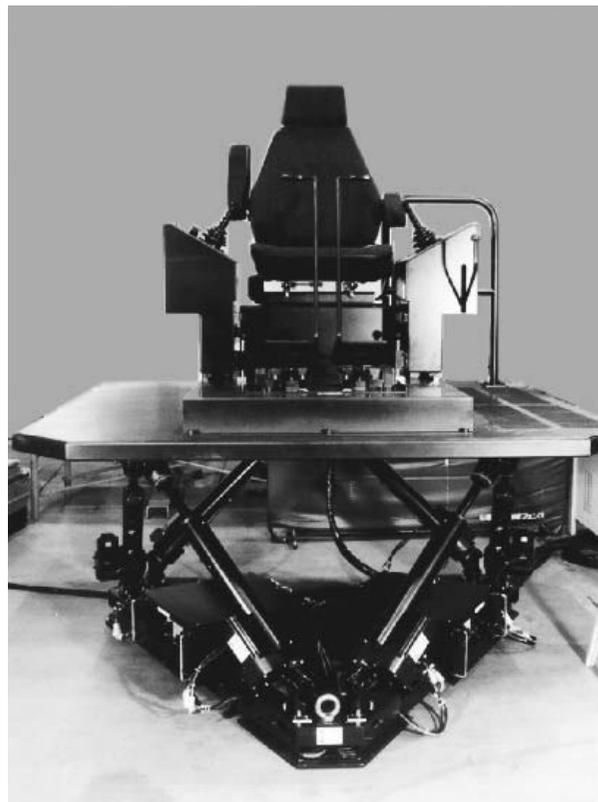


Fig.3 Motion base  
動揺装置

Table 2 Specifications of motion base  
動揺装置の性能

可動範囲	
前後 (X 軸並進)	前 180mm 後 210mm
左右 (Y 軸並進)	左 185mm 右 185mm
上下 (Z 軸並進)	上 190mm 下 240mm
ロール (X 軸回り)	+17° -17°
ピッチ (Y 軸回り)	+19° -17°
ヨー (X 軸回り)	+16° -16°
加速度	
前後 (X 軸並進)	4.9m/s <sup>2</sup> (0.5G)
左右 (Y 軸並進)	4.9m/s <sup>2</sup> (0.5G)
上下 (Z 軸並進)	4.9m/s <sup>2</sup> (0.5G)
ロール (X 軸回り)	250°/s <sup>2</sup>
ピッチ (Y 軸回り)	250°/s <sup>2</sup>
ヨー (X 軸回り)	250°/s <sup>2</sup>
積載荷重	500kg

に伴う運転席の動揺等の情報が重要であるので、これを模擬できるように運転席を動揺台の上に設置し、映像と同期して動揺できるものとした。また、この動揺機能を用いて旋回時の加減速を模擬している。

実際行っているシミュレーションでは、掘削機を中型と小型で切り替えるため、運転席のキャabinはバーチャルなものとしている。しかし、現実感を向上させるために現実のキャabinを乗せる場合も考慮して、動揺台の可搬重量は500kgとしている。この動揺装置の仕様をTable 2に示す。

また、動揺装置は現実には座席が揺れるため、激しく揺れた時に座席から落下しないようにシートベルトが設けられており、このシートベルトをロックしないと、動揺装置が働かないように安全対策を講じている。

また、掘削の作業そのものには関係ないが、実機に似せるために操作盤には次のような機能を持たせてある。動作状態のまま掘削機から出ることを防止するために現実の掘削機には降車時には操作装置を無効にする安全装置を取り付けているが、本装置にも座席の横にレバーを配置し、レバーを上げていると動揺装置が働かないようにした。

### 3.3 VRシステムソフト

VRのソフトは、掘削機やダンプカー、作業現場等の3次元モデルのデータ、CG画像内の掘削機の作業現場におけるモデルの挙動を制御するアプリケーションプログラム、これらのデータを元にCGの作成・表示を行ったり、動揺装置や操作レバー等VRのハードウェアを制御したりするためのVRシステムプログラ

ムよりなる。

このうち、モデルデータや、アプリケーションプログラムは個別のシミュレーションごとに異なるので、ここでは共通するプラットフォームとしてのVRシステムソフトについて説明する。

VRシステムソフトは市販のものを用いた。

その主な特長を以下に示す。

- (1) 与えられた3次元データを用いて、バーチャルな世界を表示する機能を有する。
- (2) if-then構造の独自のインタープリタ言語を有する。
- (3) 独自言語のプログラムにより画像の切り替えができる。
- (4) 立体プロジェクタ・HMD・データグローブなど様々な周辺機器にも対応できる。

なお、操作レバー、操作ボタン及び入力や操作盤の表示のために、特注でアナログ入力やデジタル入出力にも対応させた。

## 4. 掘削機機械作業シミュレータ

### 4.1 概要

VRシステムソフトの上で後述する掘削機等の3次元データを用い、掘削機の運転を模擬するシステムである。また、このシステムを用いて実験を行う機能も有する。

### 4.2 3次元モデル

VRシステムで表示させるオブジェクトのモデルであり、実験に必要な掘削機やダンプカー、作業環境を構成する地面や塀、近接作業者等を含む。掘削機は小型 (Fig.4参照) と中型 (Fig.5 ~ 9参照) のものを各



Fig.4 The small sized excavator model  
小型掘削機

1台がある。また、人物のモデルとしては、手押し車で荷物を運搬する作業員、土管をかついで運搬する作業員、土を掘る作業員、合図をする作業員のほか、作業現場に隣接する道路を歩行する親子の歩行者がある。

このモデルで特長となるのは、掘削される地面である。地面は掘削によって掘り広げられることが必要である。そのための手段として、

- (1) 土粒をモデル化する。
- (2) 前もっていくつかの掘削状態を作成しておいて掘削の進行と共に切り替える。
- (3) 変型可能なオブジェクトとして、掘削に伴って変型させる。

等の手段を検討した。

検討の結果、(1)はオーソドックスな手法であるが、要素が多いため計算時間がかかり過ぎるので、実用的でないし、(2)は画像が固定されるので操作によっては不自然な映像となり好ましくないため、(3)のモデルを採用することとした。

これらは、高速で描画するために、リアリティが損なわれない範囲でできる限り単純化した。

#### 4.3 掘削アプリケーションプログラム

掘削アプリケーションプログラムには、掘削機の運転を模擬する機能と実験を制御するための機能がある。運転を模擬する機能は、運転席からの操作に応じて掘削機のモデルのブーム、アーム、バケット等の各部が動いたり、掘削機のモデルの動作に応じて、動揺装置により動揺を加えたりする機能である。また、掘削によって、地面がへこんでいく機能や、トラックの荷台や地面の上に掘った土の山ができる等の機能も含む。

実験を制御するための機能は、人間工学的実験のためにマーカーを提示したり、作業員が各種の作業を行ったりすることを制御する機能である。作業員等の人物の配置や、移動を制御することができる。人間が掘削機に接近する危険事象を制御するのは、この機能を用いる。

この部分は、インタープリタ言語の上で構築されていて、ユーザが自由に書き換えられるようになっている。これによって、自由に実験条件等の変更が可能となる。

なお、一般にシミュレーションを行うために物体と物体の接触の判定が必要であるが、接触の判定には計算時間がかかるので、必要最低限のバケットと土の接触の判定とバケットと人物の接触の判定のみ行うようにしている。

## 5. 掘削機事故シミュレータ

### 5.1 概要

前述したVRシステムのハードウェアとシステムソフトウェア、掘削機作業シミュレータを用いて掘削機事故シミュレータを開発した。

掘削機の事故としては転倒事故も多く、今回新たに、転倒事故が発生しうる作業として、以下に示す3つの作業を模擬するシステムを開発した。

- (1) 斜面走行（斜面上の登坂、降坂、及び横斜め走行を行う。また障害物もある。）
- (2) 積み込み、積み降ろし作業（道板を使用し掘削機をトラックへ積み込み積み降ろしする。）
- (3) 吊り荷作業（掘削機で荷を吊って地点AからBへ運搬する。）

これらの作業中に転倒のシミュレーションを行うために安定性計算、車体の地面との接触検知、バケットの地面との接触検知等の機能を開発した。

#### 5.1.1 車体の地面との接触検知

クローラと地面との接触検知は、平坦でない地面の形状に応じて車体の傾きを変更させるために必要な機能である。

斜面が曲面なので、場所によっては2点支持となり、姿勢計算上の不安定が生じ車体の動揺を生じることがある。

バケットと地面の接触検知は、バケットを用いて車体の姿勢を変更するために必要な機能である。

実際の作業では、積極的にバケットで機体を持ち上げ姿勢を制御することもある。例えば、積み込み/積み降ろし作業においては、道板からトラック荷台への移動等において、バケットにより車体を支えることが行われる。

また、転倒しそうになっても転倒する方向によっては、機体の傾斜によって地面とバケットが接触する。これによって、転倒を止めることができる。

これらを模擬するためにバケットの地面との接触検知が必要である。

#### 5.1.2 車体の安定性

傾斜面の走行や吊り荷物作業において、斜面の角度や吊り荷の質量によっては、車体が転倒するおそれがあるが、車体の安定性の計算は転倒するか否かの判定を行うために必要である。そのため、クローラ、車体、ブーム、アーム等の各部分の重心をその姿勢に応じて合成し、全体の重心を求め、車体の支持面内に重心が入るか否かを計算する。支持面は、バケットが接地していない場合には、クローラで囲まれた範囲であるが、

バケットが接地している場合には、クローラとバケットの接地点からなる3角形になる。また、静的な釣り合いだけではなく、回転時等の遠心力を付加して安定性の計算を行っている。

### 5.1.3 傾斜の表現

傾斜地の走行等において車体が傾斜するが、掘削機が転倒する角度は動揺装置の傾斜可能な範囲より大きいので、車体の実際の角度と同じに傾斜させることはできない。従って、シミュレーションでは、車体の傾斜角を比例配分して、その一部を実際に運転席を傾斜させることで表現し、残りを映像を傾斜させることで表現している。この割合は設定できるようにしている。スクリーン画面が大きいので、実際の傾斜より小さくても十分な傾斜感が得られている。

### 5.1.4 その他の機能

傾斜が限度を超えると転倒するが、その部分はアニメーションとして作成した。

また、転倒につながる姿勢変化のきっかけとして、クローラのスリップが発生する。水たまりがあり、ここでは、クローラの滑りが発生する。

以下に作業の詳細を示す。

## 5.2 作業と事故の概要

### 5.2.1 斜面走行

斜面上のコースに沿って登坂、降坂、横斜め走行を行うことができる。斜面は急な傾斜面と緩い傾斜面があり、それぞれ連続して傾斜が変わる。また、斜面上や平地上に切り株などの障害物がある。ここで、切り株に乗り上げたり、アームを伸ばし過ぎたりすると、バランスを崩し、転倒が起こる。ただし、転倒の方向と傾斜角によってはバケットで機体を支えることができ、バケットで車体を戻すことができる。(Fig.5~6,11参照)

### 5.2.2 積み込み、積み降ろし作業

道板を使用しトラックへ掘削機の積み込み、積み降ろしを行う。バケットによる姿勢の制御が必要となる。すなわち、道板からトラックの荷台に移るときとトラックの荷台から道板に移るときには、バケットで機体を支えることが必要となる。また、道板からクローラが外れると転倒が起こる。(Fig.7~8,12参照)

### 5.2.3 吊り荷作業

ショベルで荷を吊って地点AからBへ運搬する作業を行う。ただし、吊り荷の玉掛けや荷降ろしの過程は模擬せず、スキップする。吊り荷の重量は実験者が設定するが、重量によってはアームを伸ばし過ぎる転倒が起こる。ただし、傾きが少ない場合には荷が着地すれば、それ以上傾斜しない。

また、近くに作業者がいるので、掘削機の位置や姿勢によっては回転時や後退時に人間との接触事故が発生する。(Fig.9~10参照)

### 5.2.4 通常掘削作業での接触事故

掘削作業を行う。すなわち、溝を掘削し、そのときの土をトラックにのせる。周りで共同作業員等が動き回るので、不用意に旋回・後退すると作業員との接触事故が発生する。中形機以上では、後方の視界が制限されるので、場所によっては接近する作業員を視認できない。従って、人間に気付かず旋回や後退を行うと接触事故が発生する。この部分は、既存の掘削機械作業シミュレータを利用している。

## 6. 修正すべき問題点

実際の掘削機の運転に従事しているオペレータや当所の研究員等にVR掘削機の操作をしてもらい、自由に感想を求めた。その中から、本システムについて、修正すべき点を抽出した。それを以下に示す。

### 6.1 ショベル動作計算改良

斜面走行や掘削機の積み込みにおいて、斜面登坂時において斜面から水平面に移るときや斜面の降坂時において水平面から斜面に移るときにおいては、バケットで車体の前を支えないと重心が水平面と斜面の交線を越えると急激に車体の角度が変化するはずである。しかし、このシミュレーションでは、姿勢計算に時間がかかり過ぎるのか、ゆっくりしか角度が変化しない。安定性の計算処理の見直しを行っている。

### 6.2 轢かれて倒れるアニメーションの追加

吊り荷作業や、トラック積み込み作業の現場の近くに合図等を行うための作業員がいるが、現状では、接触しても悲鳴を上げるだけで、倒れずそのままの動きを継続していて不自然である。衝突後に転倒するアニメーションを加えて、接触した場合には、当たった方向に応じて倒れるように修正を進めている。

### 6.3 環境モデル(建設機械、作業員)の追加

作業現場が広いのに、全体的に人や物が少なく、建設現場らしくない。また、近くに人や物が少ないので、接触が起こる状況ではない。これを解消するために、作業員や建設機械をもっと配置することを計画中である。ただし、作業員や建設機械の立体モデルを作成して描画すると描画時間がかかり毎秒20コマで描画することができなくなる。そのため、平面に2次元のテクスチャー(絵)を貼付けたものを使用することで対処する計画である。



Fig.5 Running on sloping ground  
斜面走行

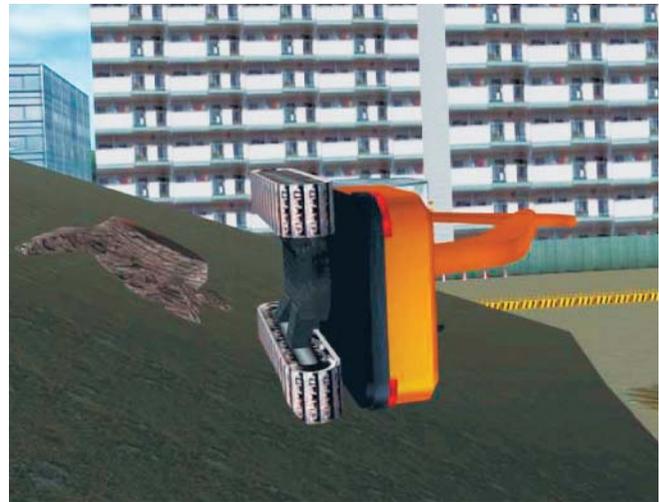


Fig.6 Accident during running on sloping ground  
斜面走行時の事故



Fig.7 Loading of the excavator  
積み込み / 積みおろし作業



Fig.8 Accident during loading of the excavator  
積み込み作業時の事故

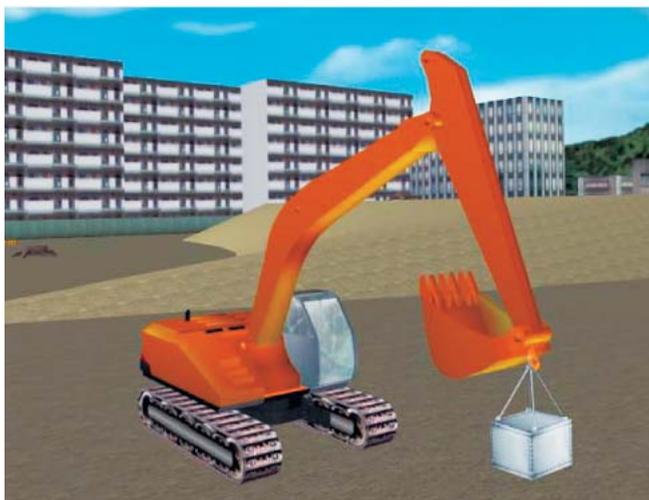


Fig.9 Hanging a load  
吊り荷作業

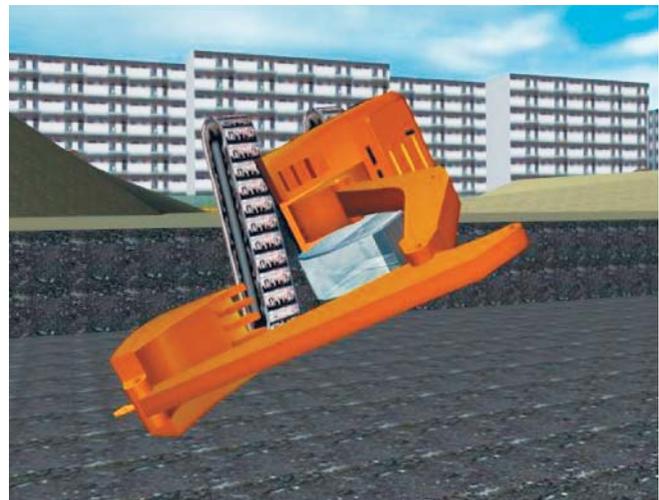


Fig.10 Accident during hanging a load  
吊り荷作業時の事故

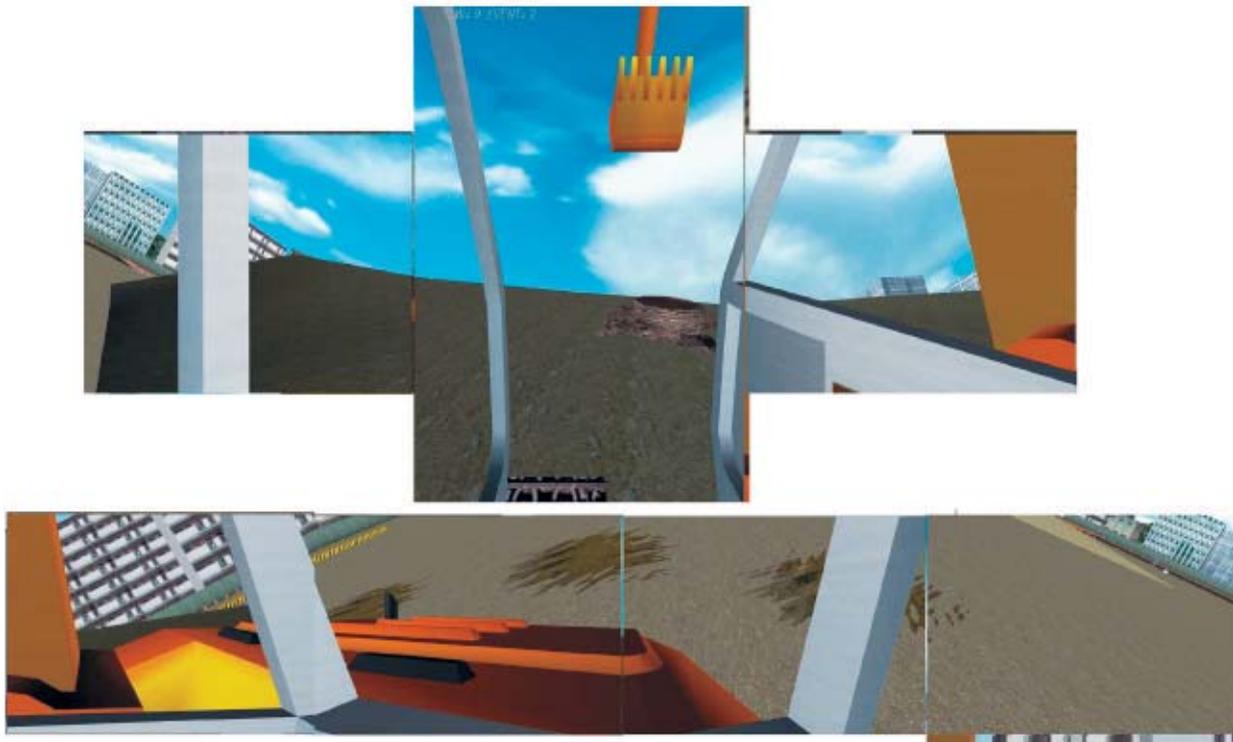


Fig.11 The image of screens during running on sloping ground  
斜面走行時の運転席から見たスクリーン画面

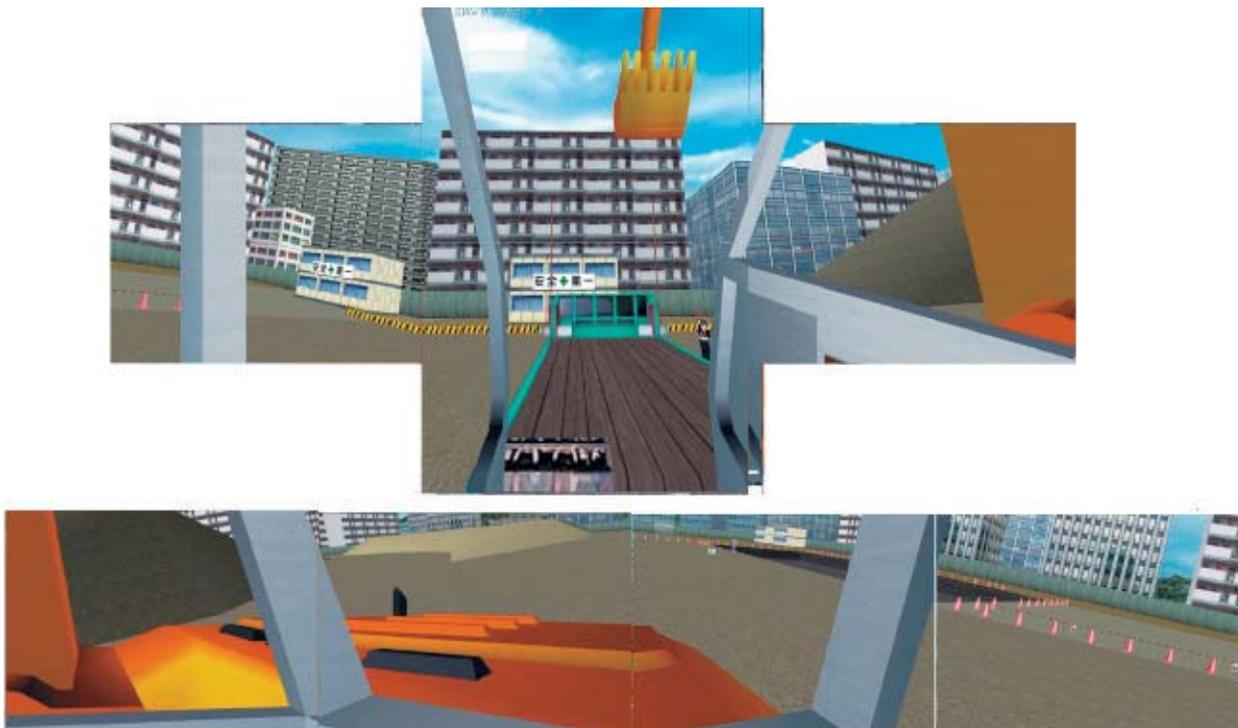


Fig.12 The image of screens during loading of the excavator  
掘削機積み込み時の運転席から見たスクリーン画面

## 6.4 3次元モデルの不具合の修正

- (1) 掘削機の転倒を引き起こすために切り株を設置しているが、これが視覚的に大き過ぎるので小さくする。小さくすることで、転倒しなくなる可能性があるが、それは掘削機の安定性の設定で対処する。
- (2) トラックの積み込み作業において、道板が広すぎて、ほとんど転倒しない。もっと道板を細くして、クローラが道板から外れ易くする。
- (3) 吊荷作業のときに吊荷とバケットの位置関係がわかりづらい。バケットの下に影等をつける等の手段で分かり易くする。
- (4) 斜面でバケットが着地しているか、していないか、解り難い。例えばバケットが地面をこする様な時は効果音等をつけるとか影を付ける等の手段で分かり易くする。

## 6.5 転倒等の計算処理の不具合の修正

VR掘削機は、全体的に、安定性が過大である。特に以下の点が問題であり、安定性の設定を変更する必要がある。また、接触判定の処理に不備があり、自分と同程度の大きさの障害物を乗り越える等のありえない動きをするので、修正する必要がある。

### 6.5.1 吊荷作業における不具合

吊荷作業の最中に吊荷を地面に置くと前のめりになっていた機体は元にもどるはずであり、逆に積荷を持つとその重みで前のめりになるはずである。そうならないので、動きを正確に表現するように修正する。

### 6.5.2 積み込みにおける安全性の不具合

トラックの積み込みシーンで、少し安定性が高すぎる。もっと安易に転倒するかたちに直す必要がある。これは、既に述べたように道板の幅を小さくすることで対処できると思われる。

### 6.5.3 積み込みにおける接触判定の不具合

- (1) トラックの積み込みシーンで、一旦道板から外れても又進行方向を修正すると道板に登ってしまう。これは本来衝突と判断すべきものであり、干渉チェックの手を抜いたためと思われる。干渉チェックを行う必要がある。
- (2) トラックの積み込みシーンで、車体が完全にトラックの上に乗った後も前進を続けると、車体が運転席キャビンに登ってしまう。これも、干渉チェックの不備から発生したものと思われる。
- (3) トラックの積み込みシーンで、ガードマンと作業装置との干渉チェックがない。

### 6.5.4 段差通過における不具合

大きい段差があるところを、バケットを使いながら

緩やかに降りようとする途中の段階で高さがおかしくなる。バケットで車体を支持しているときの、姿勢の計算を見直す必要がある。

## 6.6 動揺装置の制御に関して

本報告において詳述したVR掘削機において、旋回の回転中心は運転席内にあるが、実際の掘削機では、旋回の中心は車体の中心にあり、これは運転席の右側に位置する。すなわち、実際の掘削機では、旋回時には、運転席には旋回ではなく、前進/後退の加速度がかかる。実機に近付けて加速度パターンを修正することとしている。

## 6.7 その他

- (1) 作業現場が広いので、移動に時間がかかる。積み込み作業や吊荷作業等の各作業点間をVR掘削機を運転して移動するのは時間がかかり過ぎるので、各作業点間をスイッチの選択で移動できるように、設定することとした。
- (2) クローラの操作レバーが重すぎる。レバーのデータ入力のゲインを上げるか、レバーのバネを弱いものと交換する。いずれの方法が適切であるかは、実験の上で検討する予定である。

## 7. 今後の計画

掘削機事故シミュレータを開発したが、すでに述べたような不具合が指摘された。その中には、描画速度を維持するために干渉チェック等の計算を簡略化した部分もあり、必ずしも全部の問題点が思い通りに解決できるわけではないが、問題点の解消を図っている。当面はこの問題点の解消に取り組みたい。

本報告で詳述した装置を用いて、次のステップでは危険事象を疑似体験させる場合の教育効果等についての研究を継続させる計画であり、以下の検討を行う予定である。

- (1) 表現手段について、手段を削減した場合の表現効果について検討する。すなわち、本システムでは8画面の大型スクリーンを用いているが、これを4画面、2画面、1画面に削減した場合の表現効果について検討する。また、動揺装置を用いているが、動揺装置を用いない場合の表現効果について検討する。
- (2) 各作業点における作業内容についての検討を行う。疑似危険体験を行わせる場合に、被験者に自由に運転させることは効率が悪い。例えば、斜面走行においては、どこからどのようなコースを通して移動させるか、吊り荷作業では、何キログラムの

吊り荷をどこからどこまで移動させるかといった、作業内容を検討する。

多くの事業所で活用できるようにより簡易なシミュレータのプロトタイプの開発を計画しているが、前者の研究は、これに反映する予定である。また、その教育訓練の内容については、後者の研究成果を反映する予定である。

- 2) 深谷潔, 他, 掘削機災害シミュレータの開発, 日本VR学会第7回大会論文集, pp.131-132, 2002
- 3) 庄司卓郎, 他, 建設現場における不安全行動とその対策に関する実態調査, 産業安全研究所特別研究報告SRR-NO.28, pp.7-20, 2002
- 4) 深谷, 他, 掘削機作業シミュレータの開発, 産業安全研究所特別研究報告SRR-NO.23, pp7-14, 2001

(平成15年3月10日受理)

### 参考文献

- 1) 深谷潔, 他, 掘削機災害シミュレータの機能設計, 32回安全工学シポジウム予稿集, pp.140-141, 2002