

# 作業者と操作機器との相互関係を考慮した特殊車両設計シミュレーション

An Extensive Design Simulation of Special Vehicle for Human Operator interacting Functional Tools.

瓜井治郎(CAS リサーチ) ○正 柿崎隆夫(NTT アイティ)

Jiro Urii (CAS Research) Takao Kakizaki (NTTIT)

Key Words ; 3D-simulation, human-body model, design, special vehicle, Wheel loader

## Abstract

An intensive 3D-simulation method for special vehicle design considering human operator actions has been developed. Basic motions necessary for the vehicle handling such as “stable-riding, carefully-sitting, field view -checking, etc” are presented as examples of the most important factors for efficient design scheme. A rich human-body model with 44-DOF has been introduced. The model is utilized for formulation the concept of SecurePath as well as SecureView estimating adequate vehicle-related human actions in uncertain field environment.

### 1. はじめに

建設機械等の特殊車両は、作業能力重要という点で乗用車等の一般車両とは大きく異なる。作業では品質（精度）や効率（速度）が重視されるが、業界での熾烈な開発競争の中、今日では安全性、操作性も重要な視点となっている。

特殊車両ではロボット化も追求されているが、多くの場合依然として人間による操作が不可欠であり、安全で使いやすい車両設計は最重要課題の一つである。しかし各メーカの思惑もあり、設計ノウハウ等は十分には公開はされていない。

本研究では、特殊建設車両としてホイールローダを取り上げ、その3Dモデルに加え、運転操作者（以下オペレータと呼ぶ）として3D人間モデルを導入したオペレータ環境のシミュレーションを提案する。本論文では、車両モデルおよびオペレータキネマティクスモデルの統合により、1）車両CADに適合し、2）かつ車両と人間との実際的な相互関係を考慮して、オペレータによる操作状況や視野を表現できる3Dシミュレーションについて述べる。

### 2. ホイールローダの3Dモデル

ホイールローダ（以下ローダと呼ぶ）は、車輪走行するトラクターショベルであり、土砂などをダンプカーに積み込む作業等に用いられる。ローダは四輪駆動で、操舵は中折れ式で軌跡は前輪と後輪が一緒であるため内輪差や外輪差は発生しない等の反面、操舵は油圧駆動であり、ハンドルの切れ角と実際の舵の切れ角は必ずしも一致しない等の特徴がある。

図1に作成したローダの3Dモデルを示す<sup>(1)</sup>。モデルは前後輪、車体本体、バケット、エンジンなどの主要構成部分、そのほか付属品である座席、ハンドルなどの操作機器などから構成される。代表寸法から同様な3Dモデルを作成するのは容易であり、既存CADで作成したモデルもIGESなどの共通インタフェースを介して本シミュレーションに取り込むことが可能である。

### 3. オペレータとしての精密人間モデル

ここでは避難シミュレーションや住環境設計に活用している精密人間モデルを導入することとした<sup>(2), (3)</sup>。

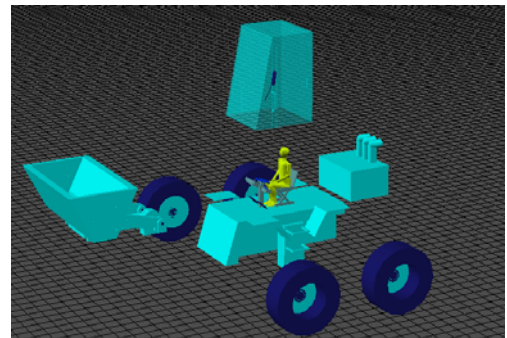


Fig.1 Schematic of 3D Wheel Loader Model

図2に導入する精密人間モデルの関節数および局所座標配置を示す。モデルの詳細は省略するが、人間モデル全体の座標系として胴部（腰）原点を $\Sigma_{HumanBase}$ とし、頭部座標を $\Sigma_{HeadBase}$ とする。その上で、視野確保に重要となる首および頸部の回転自由度を規定する局所座標を導入した。

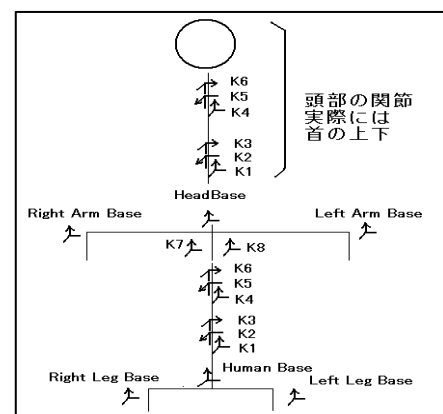


Fig.2 Schematic of Human Kinematic Model

### 4. ローダ機能の操作のための動作

オペレータの関わる作業フローの概要は、接近→始業点検→周囲監視→周囲合図→注意乗り込み→注意着座→装置機器確認→周囲確認→始動→作業へとなる。以下では例として、

乗り込み、注意着席、装置機器確認および周囲確認を基本動作として取り上げる。

図3はローダへ乗り込むオペレータの動作例である。まず注意乗り込みでは、手すりを掴みつつステップへ足を掛け、腕と足で体を引き上げる。途中の準安定位置で腕や脚の接触位置を移動させ次の姿勢へ移る。これを繰り返す。ステップの高さ、ステップと手すりとの距離、手すり長さなどが姿勢を拘束する条件となる。

以上の戦略決定のためSecurePath (SP)の概念を導入する。SPは安定な出発姿勢 $Q_1$ から、幾つかの安定な位置姿勢を經由して安定な終着姿勢 $Q_N$ に至る経路を言う。安定な姿勢は装置機器の構造自由度拘束ならびに手足先相互間の位置姿勢制約に基づき定めることとする。

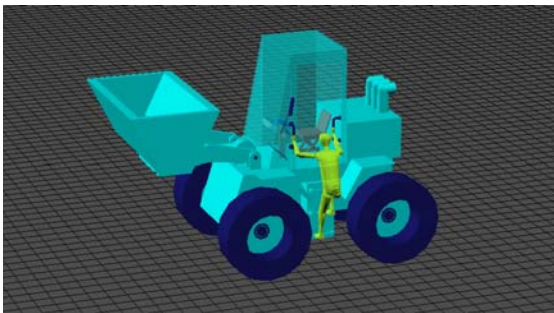


Fig.3 Schematic of Loader with Human Operator

図4は乗り込み時のオペレータ視野例である。注視視野はおよそこの程度であり、乗り込み時には首を前後左右に動かして手足および頭部付近、さらには操縦座の環境を改めて確認していく。実際には視野確認と動作は同時進行する。



Fig.4 Operator's View while Climbing Steps

注意着座では足元、頭上周囲を確認しハンドルなど支えに着座する。着座後の装置機器確認ではハンドル握り、ブレーキやその他機器ハンドルなどを触って確認する。

このほか作業準備として安定着座できる座席の位置姿勢変更（腰部および胴部の並進、回転）、そのままのスムーズなハンドル回転操作（腕先端部のハンドル中心回転）およびブレーキペダルの踏み込み（脚部、踵の屈伸）などを確認する。特殊な場合を除き、操作機器の配置・自由度が入力となって人間の位置姿勢が決まる。本シミュレーションでは、機器配置や形状変更を新たな拘束として与え、オペレータのキネマティクスを簡単に求めることができる。

図5は、ハンドルを握った状態で操作計器を見下ろした場合の視野例である。乗り込み時と同様、上記の確認には視野確保が重要となる。身体的にゆとりのある配置が得られた後、運転作業時の同様な姿勢で計器類の表示が見やすいか、作業

の現場（クレーンの動作）が見えるかなどは重要なポイントとなる。



Fig.5 Operator's View from Driver's Seat Position

さらに実際の目の位置からの視野に加え、サイドミラーから見える車両側面の視野確保も死角削減には重要である（図6）。例えばローダ前部にあるバケットは、走行時は地上約40cmの高さの「走行姿勢」に保っておく必要がある。バケットの上下時に周囲に人がいないことを確実に確認するためにも、死角は最小限にしておく必要がある。

以上の戦略決定にはSecureView (SV)の概念を導入する。SVは処理されたオペレータ視野であり、例えば着座でハンドルを握る場合の視野 $V_{op}$ はバケットを上げた状態では生ずる死角 $V_{bs}$ で縮小され、一方ミラー視野 $V_m$ で補完される。SVはシート位置姿勢やミラー配置など、さらにそれに依存するオペレータ位置姿勢により変化する。

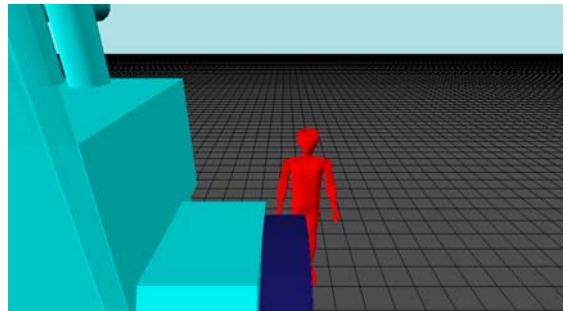


Fig.6 Operator's View through Rear-vision Mirror

## 5. おわりに

ローダ等の設計では、車両性能や作業のための構造機能をねらいにCADが導入されてきたが、人間まで含めた総合設計については発展途上といえる。本シミュレーションでは、車両や機器の構造および操作による制約に応じてオペレータの安全動作や視野を統一的に把握することができることから、より人間中心の設計が可能となる。今後はウェアラブルディスプレイ活用のシミュレータなどへの導入も期待される<sup>(4)</sup>。

## 文献

- 1) SilTools developer's guide, 三井造船システム技研（株）
- 2) HumanDesign, <http://www.cas.fussa.tokyo.jp/>
- 3) 瓜井ほか, 人間と調和した生活環境設計のためのシミュレーション, JSME 生産システム部門研究発表講演会 2009
- 4) 柿崎, ウェアラブルコンピュータがもたらすもの, 電子情報通信学会誌 Vol.83, No.5, pp.365-369, 2000.