

積み木メタファを用いた インタラクティブ仮想空間構築インタフェースの開発

○遠藤啓介 石井裕剛 吉川榮和 (京都大学大学院エネルギー科学研究科)

Development of a new interface for creating interactive virtual environments using a block metaphor

*Keisuke Endou, Hirotake Ishii and Hidekazu Yoshikawa
(Graduate School of Energy Science, Kyoto University)

Abstract— The goal of this study is developing the new software for creating interactive virtual environments of machine-maintenance training using virtual reality technology. The problem of existing virtual reality softwares is that special knowledge is needed in order to create interactive virtual environments where a user can assemble and disassemble virtual apparatus. Therefore this paper presents a new interface in which a user intuitively creates interactive virtual environments by attaching ActCube, which is a rectangular parallelepiped with a peculiar function, to 3D model as like building blocks.

Key Words: Virtual Reality, block methaphor, Interactive virtual environment, virtual environment creation

1 はじめに

Virtual Reality(以下、VR)は、近年のコンピュータ技術の急速な発達と相まって、その技術レベルを向上させてきている。そのVR技術をプラントなどにおける機器保守の訓練環境へ応用する試みが行われている。VR技術を用いて構築された訓練環境は、VR技術を用いない訓練環境と比較すると、VR酔いが起こるなどのデメリットがある一方、緊急事態発生時などの現実世界では再現困難な事柄が模擬できる、などのメリットがある。

しかし、VR技術により構築された訓練環境の実用化には、まだハードウェア、ソフトウェア、両面で多くの問題がある。本研究では、特に現状のVRソフトウェアのソフトウェア生産性を向上するため、容易に仮想環境を構築可能にするための構築インタフェースの開発に重点を置く。

訓練環境をVR技術により再現しようとした場合、シミュレーション手法は、2つに大別して考えられる。実世界の物理法則に基づいて、連続事象として仮想物体の挙動を計算するPhysically-based手法[1]と、仮想物体の動きや内部状態をルール化して、そのルールに従う離散事象として、シミュレーションを行うRule-based手法[2]である。

VRソフトウェアに求められる必要最低条件とは、リアルタイム性を確保することである。この観点では、Physically-based手法は、応々にして連立微分方程式の数値シミュレーションによって、計算負荷が大きくなり、リア

ルタイム性を確保することが難しい。しかし、Physically-based手法は、物理法則に基づいて厳密に仮想物体の挙動を計算するため、より実際の訓練に近い訓練環境を構築できる。

そこで、本研究の目的の1つを、Physically-based手法とRule-based手法を組み合わせ、可能な限りリアリティを保ちながらリアルタイムシミュレーションを行うことができるシミュレーション手法の開発とする。

また、プラントの訓練環境にVR技術を応用する場合、高いインタラクティブ性が必要である。ここで述べる高いインタラクティブ性とは、訓練者の視点を自由に変えられるレベルだけに留まらず、仮想機器が訓練者の動作に応じた挙動を示し、訓練者は機器の組立や分解といった操作が行えるレベルのことを意味する。

VRソフトウェアの生産性向上には、仮想環境の構築が容易なことが重要な要素である。特に上記のようなインタラクティブ性を持つ仮想環境を構築する場合には、プログラミングなどに専門的知識を要求される。実際、仮想環境構築には多大な労力コストが必要となることが、仮想環境を訓練へ利用する敷居が高くなる原因となっている。

近年、3次元モデラ[3]に代表される、3次元環境に没入して作業を行う研究が行われている。3次元環境に没入することの利点は、3次元形状を扱った作業では従来の2次元インタフェースでの操作よりも実世界の作業に近い形で物体に対する操作を行えることや、3次元形状

を立体視できること、直感的に作業を進められることがある。そこで、仮想環境を構築する作業そのものを、3次元環境に没入し作業する方法にすることが期待される。

また、仮想環境を構築する際に、2次元インタフェースでのプログラミングによる仮想環境を定義する作業と、3次元環境下で行うその作成した仮想環境のテスト体験を、交互に行う必要があると、3次元デバイスの着脱や3次元アプリケーションの起動などインタフェース間の移行が煩雑になることが予想される。

そこで、本研究の2つめの目的を、プログラミングの専門知識が不要であり、3次元環境の中だけでインタラクティブな仮想環境を構築できるインタフェースの開発とする。

以上の目的に従い、設計・開発を進めているVRソフトウェアのシミュレーション手法、及び構築のためのインタフェースについて報告する。

2 本研究の特徴と関連研究

本研究におけるシミュレーション手法は、平行移動や軸回転など物体間で拘束関係が発生する箇所での物体の振る舞いをRule-based手法、それ以外の場面での物体の振る舞いはPhysically-based手法によりシミュレーションする手法を用いる。拘束関係が発生する箇所は、物体の衝突が多発する箇所であり、この箇所におけるシミュレーションをRule-based手法で計算することにより計算量を削減して、仮想環境のリアルタイムシミュレーションが可能になると期待される。

また、この手法の採用により、仮想環境の構築には、仮想物体に拘束関係の発生する箇所とその種類を指定する必要がある。本研究ではFig.1に示すようなActCubeと呼ぶ直方体を用意しておき、3次元環境下で積み木を組み立てるような感覚で、ActCubeを仮想物体の形状に付着させていくことにより、仮想環境を構築するのに必要な仮想物体の拘束関係の定義作業を行う手法を提案する。

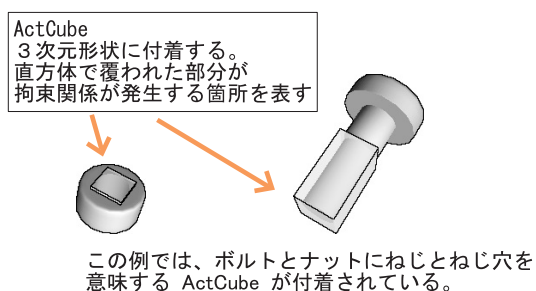


Fig. 1: Example of ActCube.

また、ActCubeを用いた手法の導入により、3次元環境下のみでの仮想環境の構築が可能になる。

本研究において、3次元環境に没入して作業を行うという概念は、VLEGOに代表される3次元モデラに着想を得ている[3]。

仮想環境を構築するための既存の代表的な商用ソフトウェアとしては、レクサーリサーチ社のAsseyWORK、SENSE8社のWorld Tool Kit、SuperScape社のVRTなどがある。これらのソフトウェアを用いると、全てプログラミングで仮想環境を構築する場合に比べて、少ない労力、少ない時間で仮想環境を構築することは可能である。しかし、スクリプトの記述が必要な場合や、多様なダイアログの意味を理解する必要がある。本研究で開発するソフトウェアは、3次元環境下で仮想環境を構築するというコンセプトに基づいており、特に専門的知識は必要なく、これらのソフトウェアとは異なっている。

また、ActCubeのような固有の機能を持つ3次元オブジェクトを画面上での直接操作によって組合せて機能を合成するという考え方は、IntelligentBox[4]に近い。本ソフトウェアとの違いは、IntelligentBoxは、インタラクティブな仮想環境を構築することを目的としていないこと、3次元オブジェクト間の親子関係などをダイアログ画面で設定する必要があることが挙げられる。

3 開発するソフトウェアの設計

3.1 構築可能な仮想環境

本ソフトウェアは、機器保守作業の訓練環境を主な用途として、そのための3次元仮想環境を構築することを目的としている。目的とする仮想環境には、以下の2つの機能を具備する。

- 仮想物体が実世界と同様の物理法則に従って振舞う
- 訓練者は実世界と同様に仮想物体を操作できる

対象とする仮想物体は、その形状が変化しない剛体と仮定し、仮想物体の形状変化や切断は起こらないものとする。また、仮想環境の構築に必要な様々な剛体の形状ファイルはあらかじめ用意されているものとする。

3.2 ActCube システム

Fig.2に、本研究で開発するVRソフトウェアを用いて仮想環境を構築する際の3次元インタフェースのイメージ図を示す。本VRソフトウェアのインタフェースは、次の要素で構成される。

1. 仮想環境の構築と、その中での訓練を行うためのワークスペース
2. 3次元形状、ActCube を操作するためのハンドカーソル
3. 仮想物体の外観を表す3次元形状
4. 仮想物体の振る舞いを定める ActCube

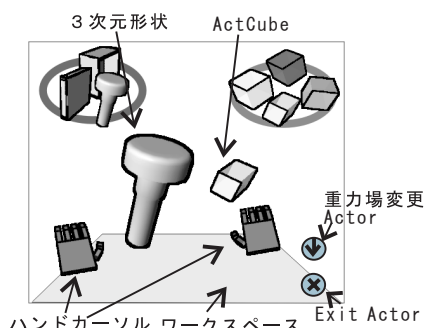


Fig. 2: Interface design for creating virtual environment.

また、本 VR ソフトウェアでは、ユーザの両手の動きおよび手の開閉を入力パラメータとする。

3.2.1 ワークスペース

ハンドカーソルで3次元形状・ActCube を操作するための中央の場所を「ワークスペース」と呼ぶ。

本ソフトウェアを利用するユーザは、このワークスペースに没入する。仮想環境の構築と、構築した仮想環境のシミュレーション訓練の両方が、このワークスペースで行われる。訓練と構築の大きな違いは、重力作用の有無である。構築が終了、シミュレーション訓練するには、Fig.2の重力場変更 Actor を握れば、3次元仮想訓練場になり、もう一度、握れば、もとの無重力場に戻る。つまり、構築とシミュレーションは完全に別々に分かれているのではなく、シームレスに移行できる。この特徴により、構築の作業効率が向上することが期待される。

また、以下で述べる諸要素は構築、シミュレーション、どちらのモードでも存在する要素である。

3.2.2 ハンドカーソル

ハンドカーソルは手の形状をした仮想物体で、右手・左手に対応して2つ存在する。現実の作業では、両手操作が日常的で自然であり、また効率的である。そこで、本研究でも、3次元環境下での両手操作を可能にした。

ハンドカーソルはユーザの右手・左手それぞれの動きに追従してスペース内を自由に移動する。また、ハンドカーソルは普段は手を開いた状態であるが、実際にユー

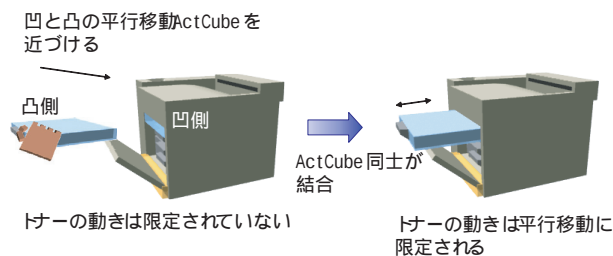


Fig. 3: Example of simulation with ActCube.

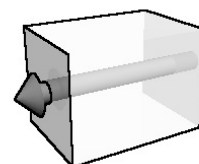


Fig. 4: Appearance of ActCube.

ザが手を握ると、ハンドカーソルも手を握った状態になり、逆に実際にユーザが手を開くとハンドカーソルも再び手を開いた状態に戻る。ハンドカーソルが3次元形状及び ActCube に触れた状態で手を握るとそれを掴み、ハンドカーソルに追従して空間内を移動させることができる。

3.2.3 3次元形状

本ソフトウェアを利用するには、仮想環境を構成する3次元形状が必要である。シミュレーションの実行中、基本的に仮想物体の形状は、Physically-based 手法に従いその位置姿勢が計算され、移動する。形状同士の接触・衝突も Physically-based で実現されるが、形状同士が接触する接合点に次項で述べる ActCube が存在する場合は、Physically-based 手法に従わなくなり、平行移動などに動きが制限される。

3.2.4 ActCube

ActCube は、仮想物体間の拘束関係を考慮して、Rule-based 手法により機器の分解組立シミュレーションを制御するためのものである。具体的には、拘束関係の種類と仮想物体の可動範囲を記述する情報をもった3次元オブジェクトで、ワークスペース上では長方形の要素として表現される。ActCube は、3次元形状に付着させて、その3次元形状に他の3次元形状と拘束関係を生成する機能を付加する。ActCube には、各拘束関係の種類毎に凹と凸の対属性を持つものがあり、仮想環境内でこの凹と凸の対属性を持つ ActCube が付着した3次元形状間を結合すると、その拘束関係を生成するシミュレーションが可能になる。この様子を Fig.3 に示す。

Fig.4 に ActCube の基本的な外観を示す。ActCube は、上面と底面があり、その上面と底面の中心を貫いて、方向を持った軸がある。この軸の向きは、拘束関係時の形状の移動方向や回転の中心軸と関連付けられる。ActCube の外観は、その種類毎に色が異なり、その大きさが 3 次元形状の可動範囲等を表す。ユーザはこの ActCube の大きさを両手を用いて変更することにより 3 次元形状の可動範囲を設定する。

このように拘束関係という抽象概念を立方体の形状で可視化することによって、ActCube と 3 次元形状の直接操作のみで、インタラクティブな仮想環境の構築が可能になる。

3 次元形状間の拘束関係時の挙動には、平行移動や軸回転などがあるが、これらの挙動を Physically-based 手法でシミュレーション再現しようとした場合、衝突が 2 物体間で多発し、挙動をリアルタイムに再現できない。また、これらの挙動は規則的な動きであり、Rule-based でその挙動を再現しても、VR 空間のリアリティを大きく損なわないと予想される。従って、ActCube により拘束関係時の物体の挙動を Rule-based 手法でシミュレートすれば、リアリティを損なわずに、かつリアルタイム性を保つことが可能になることが期待できる。

以下、「ねじ」を例に ActCube の機能を Fig.5 を用いて詳しく述べる。

形状への付着 Fig.5-(1) に示すように、ActCube は、3 次元形状に拘束関係の可動範囲を覆う長さに伸縮して、付着する。ねじの場合、ActCube の軸方向とねじの進行方向とを一致させ、ねじ先にねじ ActCube をねじ先の長さに合わせて付着する。

凸と凹属性 ActCube は、凸または凹という属性を持つ (Fig.5-(2))。これは、例えば、1 つのねじと 1 つのねじ穴の拘束関係を 1 対 1 の関係で定義する手法を用いた場合、そのねじを仮想環境内の全てのねじ穴に挿入できるようにするには、1 つのねじと仮想環境内の全てのねじ穴との間で関係を定義する必要がある。その定義作業は、組み合わせの数が大きくなる場合、非常に大きな構築負荷となる。そこで、1 つの拘束関係を凸と凹に分割することにした。

また、凸と凹は、その結合条件が一致した場合にのみ結合する (Fig.5-(2))。その結合条件とは、ActCube の種類と ActCube の上面の面積である。

機能発動 ActCube は、凸と凹が結合している時には、形状の位置を制御する機能を果たし、結合していない時

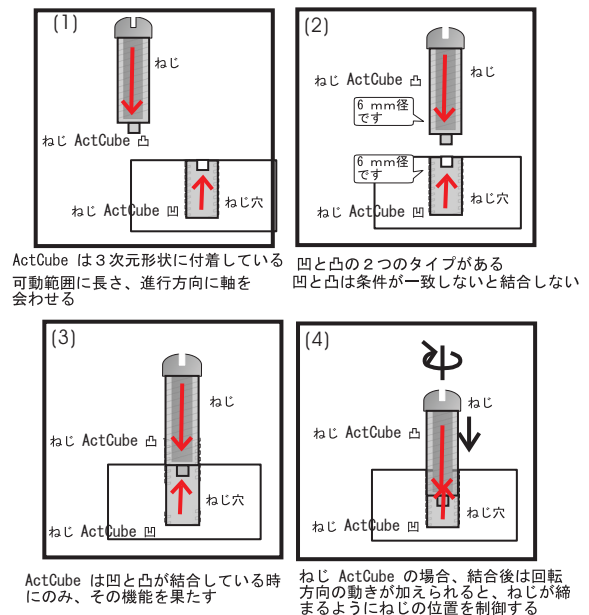


Fig. 5: Situation of screwing.

は形状の動きに影響を与えない (Fig.5-(3)(4))。ActCube が結合すると、2 物体間では、Rule-based 手法によるシミュレーションが行われる。

3.3 ActCube の種類

3.2.4 で説明した ActCube により、2 物体間が拘束関係にある時の形状の位置姿勢計算が行われる。その拘束関係としては、平行移動、軸回転などが考えられ、ここでは代表的な ActCube を説明する。

把持 ActCube 形状を他の形状で把持可能にする場面で使用する。(Ex. レンチでナットの頭をはさむ場面)
 平行移動 ActCube 形状が他の形状に拘束されて平行移動しかできない場面で用いる。(Ex. 引き出し)
 軸回転 ActCube 形状が他形状の軸を中心とする回転運動に制限される場面で使用する。(Ex. ハンドル)
 蝶番 ActCube 回転角度が 360 度以内の軸回転に動きが制限される場面で用いる。(Ex. ドア)
 ねじ ActCube ねじのような軸回転につれて、軸方向に平行移動する場面で用いる。(Ex. ねじ)

3.4 仮想環境の構築手法

本ソフトウェアを用いた仮想環境の構築作業は、以下の 2 つに大別できる。

- 物体間の拘束関係を定義する ActCube を 3 次元形状に付着する仮想物体を定義する作業
- ActCube が付着した 3 次元形状 (仮想パーツ) を持ち寄り、ActCube を介して 3 次元形状を結合する作業

a. は構築作業に特有の操作であるのに対して、b. はシミュレーション訓練中のユーザの操作と共通する作業である。

実際の構築作業手順としては、以下の通りになり、Fig.6 にその様子を示す。1～6 は a. に属し、7～8 は b. に属する作業である。

1. 必要な 3 次元形状をワークスペースへ読み込む
2. 必要な ActCube をワークスペースへ読み込む
3. 3 次元形状上に ActCube を移動させて形状に ActCube を付着する
4. 両手を用いて ActCube の大きさを調節して 3 次元形状の可動範囲を設定する
5. 2～4 を繰り返し、必要な ActCube を全て 3 次元形状に付着する
6. ActCube が付着された 3 次元形状 (仮想パーツ) を一旦ファイルに保存する
7. 定義済み仮想パーツをワークスペースに全て読み込む
8. 仮想パーツを ActCube を介して結合させて、仮想物体を組み立てる

Fig.6 中の 3 の操作では、Fig.7 に示すように ActCube を形状上に移動させ、手を離すと、3 次元形状に ActCube が付着する。

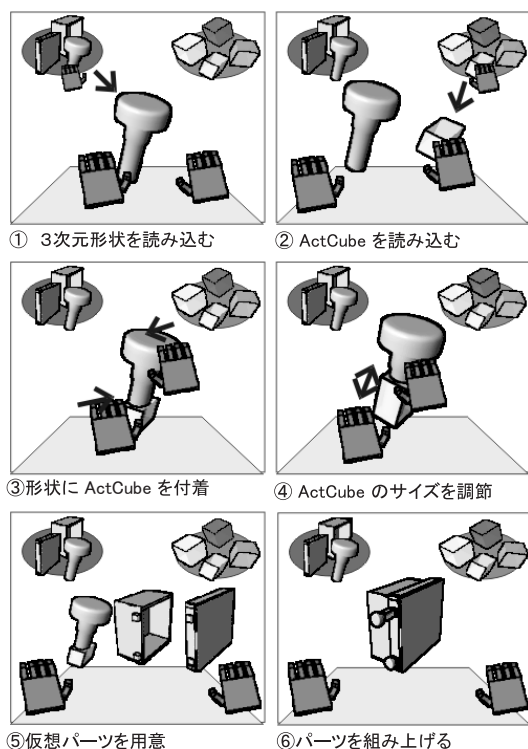


Fig. 6: Scene of creating the virtual environment.



Fig. 7: Work of attaching ActCube to 3D Model.

機器の組立作業を行いたい時は、仮想パーツを用意した時点で構築終了であり、解体作業を行いたい時は、仮想パーツを全て組み上げた時点で構築終了となる。

3.5 仮想環境のシミュレーション手法

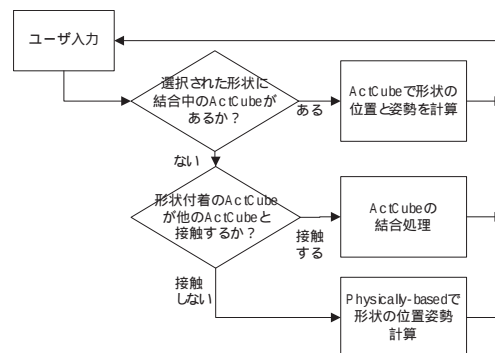


Fig. 8: Simulation flow chart.

Fig.8 に本ソフトウェアにおける仮想環境のシミュレーションの処理の流れを示す。

1. 仮想環境の訓練者 (ユーザ) が、仮想環境中の 3 次元形状を選択し、何らかの操作を行う。
2. 操作された 3 次元形状に付着している ActCube(以下、内部 ActCube と呼ぶ) が、他の 3 次元形状に付着している ActCube(以下、外部 ActCube と呼ぶ) と結合しているか調べる。
3. 外部 ActCube と結合している内部 ActCube があれば、その内部 ActCube にユーザの操作情報を送信する。内部 ActCube が、3 次元形状の位置と姿勢を計算し、その結果を仮想環境に反映して 1. に戻る。
4. 外部 ActCube と結合している内部 ActCube が無ければ、ユーザの操作情報に基づく 3 次元形状の位置と姿勢を求め、その位置と姿勢で新たに ActCube 同

士の接触が起こるか判定する。

5. 4. の結果、新たに ActCube 同士の接触が起これば、その種類と断面積のマッチングを行い、結合の条件が成立すれば2つの ActCube を結合させ、1. に戻る。
6. 4. の結果、新たな ActCube 同士の接触が無ければ、Physically-based 手法で3次元形状の位置と姿勢を計算し、その結果を仮想環境に反映して1. に戻る。

以上のステップを繰り返すことにより、ユーザの両手入力操作に応じた仮想環境内の仮想物体の位置と姿勢を更新し、仮想環境のシミュレーションを行う。

4 ハードウェア・ソフトウェア構成

4.1 ハードウェア構成

Fig.9 に本ソフトウェアの実行環境の様子を示す。本ソフトウェアでは、ユーザは1人で仮想環境を構築し、訓練する。Fig.9 では、ユーザは両手に磁気式3次元空間センサ (Polhemus 社:ULTRATRAK) と ON/OFF 入力ボタンを両手に持ち、液晶シャッターメガネ CrystalEYES (StereoGraphics 社) を掛けて、立体視している。3次元空間センサにより、リアルタイムに手の位置姿勢を計測している。ON/OFF ボタンは、手の握り・開きを計測するためにユーザに持たせている。

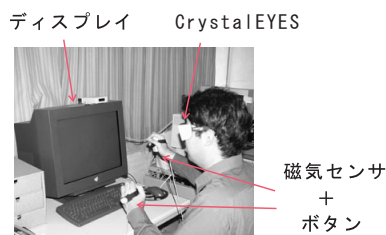


Fig. 9: Example of execution environment.

4.2 ソフトウェア構成

Fig.10 にソフトウェア構成を示す。本ソフトウェアでは、システム構成図上の全てのサブシステムを単一計算機上 (OS:Linux) に実装することを予定している。以下では、サブシステムの概要を説明する。

入力部 3次元デバイス (ULTRATRAK 及びボタン) からの入力を受け付ける。

出力 (描画) 部 内部データをディスプレイに描画する役割を担う。

システム制御部 システム全体の制御を行う部分である。ワークスペース内に存在する形状や ActCube の管理や仮想環境の保存などを行う。

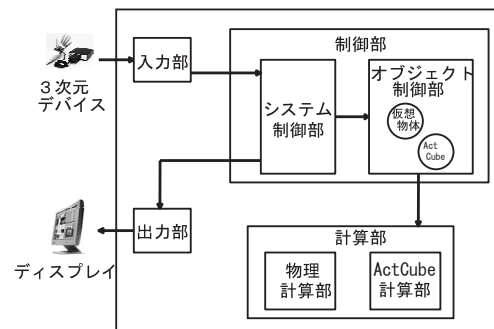


Fig. 10: System Configuration.

オブジェクト制御部 形状および Act-Cube 単体に対しての制御を行う。仮想物体の移動、Act-Cube 同士の結合などを行う。

物理計算部 物理計算部では、衝突判定、力学計算の処理を行う。衝突判定は、2つの物体が衝突しているかどうかを判断する。力学計算は、Physically-based 手法に基づき、物体間の位置姿勢を計算する際に必要であり、衝突判定で得られた情報等から、衝突時に物体間に発生する力を計算する。

Act-Cube 計算部 Act-Cube 同士が結合している時に、位置計算など行う。

5 今後の展望

本報告では、機器の保修訓練環境を容易に構築し、訓練するために現在開発中の VR ソフトウェアの概要と、リアルタイム性を確保するためのシミュレーション手法、および直感的な操作で仮想環境を構築するための構築インタフェースを述べた。

今後、VR ソフトウェアシステムを開発し、その後、提案したシミュレーション手法で実際にリアルタイム性が確実に確保されるかを検証すると共に、インタフェースの有効性を被験者実験を行うことにより評価し、本システムの向上に反映する予定である。

参考文献

- [1] 川地克明:機械機構の挙動の直感的な把握を目的とした剛体挙動シミュレーション手法, 東京大学大学院工学部修士論文,(1997)
- [2] 石井裕剛:人工現実感技術を用いたプラント運転・保修の訓練システムに関する研究, 京都大学大学院エネルギー科学研究科博士論文,(2000)
- [3] 清川 清, 竹村 治雄, 片山 喜章, 岩佐 英彦, 横矢 直和: "両手操作を用いた仮想物体モデラ VLEGO", 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol.J80-A, No.9, 1517/1526 (1997)
- [4] 岡田義広, 田中譲: 対話型 3D ソフトウェア構築システム-IntelligentBox-, コンピュータソフトウェア, Vol.12, No.4, 84/94 (1995)