ヒューマンインタフェースシンポジウム2003論文集, pp. 209-212, 2003

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と評価

石井 裕剛[*1]　遠藤 啓介[*2]　吉川 榮和[*1]

Development and Evaluation of Interface for Constructing Interactive Virtual Environment using a Building Block Metaphor

Hirotake Ishii,[*1]　Keisuke Endou[*2] and Hidekazu Yoshikawa[*1]

Abstract – **In this study, a new interface for constructing virtual environment has been proposed. This interface allows users to construct virtual environment more intuitively by using a building block metaphor. In this interface, the relation between virtual objects is represented as a building block in virtual environment and user can construct virtual objects by combining plural building blocks. This paper describes a basic concept of the proposed interface, configuration of the developed system and result of the experiment to evaluate the effectiveness of the proposed interface.**

Keywords : **Virtual Environment, Construction Support, Building Block Metaphor, Rigid Body Simulation**

1. はじめに

Virtual Reality(VR) は、その概念が提唱されて以来、様々な研究が行われ、最近では各種訓練や設計支援等、産業分野への実用化も行われるようになってきた。そのような中で、仮想空間の構築を支援するオーサリングツールが数多く販売されている。これらのツールを使用することにより、プログラミングを行うことなく仮想空間を構築できるが、一般にオーサリングツールのインタフェースはそのほとんどが Graphical User Interface(GUI) であり、コンピュータの使用にある程度慣れた人でなければ、思い通りの仮想空間を構築することは難しい。従って、VR を利用したシステムのほとんどは、VR 関連企業等の専門の企業に依頼する形で開発されており、システムの開発やコンテンツの製作をユーザ自身が行うことは希である。しかし、ユーザが思い描く通りの仮想空間を、ユーザとは専門が異なる企業が構築することは現実的には非常に難しく、ユーザ自身が仮想空間を構築できるようになることが望ましい。

そこで本研究では、コンピュータに関する特別な知識や技術を持っていないユーザでも、自らの手で意図する仮想空間を構築することを可能にするために、積み木メタファを用いた仮想空間の構築インタフェースを提案し、そのインタフェースを実装した仮想空間の構築支援システム ActSystem を開発する。具体的には、仮想物体間のインタラクションを規定する情報を仮想空間内の積み木の形をした ActCube と呼ぶオブジェクトに持たせることにより、積み木を組み立てる感覚で仮想空間を構築することを可能にする。ActSystem を用いることにより、ユーザが普段の生活で獲得している概念に基づいて仮想空間を構築することが可能になり、新たな知識や技術を身につけなくても様々な仮想空間を構築することが可能になると期待される。

本稿では、積み木メタファを用いた仮想空間構築インタフェースの基本的な考え方、および、開発した ActSystem の概要、ActSystem のインタフェースの評価実験を行った結果について述べる。

2. 仮想空間構築インタフェース設計の基本方針

2.1 構築の対象とする仮想空間

本研究で構築の対象とする仮想空間は、機器保修の訓練や機器操作の電子マニュアル等に利用されることを想定し、以下の条件を満たすものとする。

1. ユーザが実世界での動作と同様な動作で仮想物体を操作できる。
2. 仮想物体はシミュレーション中にその形状が変化しない剛体とする。

また、仮想空間を構築する際に使用する仮想物体の３次元形状は、サーフェイスモデルとして既に作成されているものとする。

2.2 仮想空間の構築が困難になる要因

仮想空間のシミュレーション方法 (ユーザの動作入力に応じた仮想物体の挙動を求める方法) は Rule-base

*1: 京都大学大学院　エネルギー科学研究科
*2: 現在、キヤノン株式会社
*1: Graduate School of Energy Science, Kyoto University
*2: Present, Canon Inc.

と呼ばれる手法と Physically-base と呼ばれる手法の２通りの手法に分類される [1]。Rule-base の手法は計算量が少ないという利点があるが、ユーザの動作に応じた仮想物体の挙動を一つ一つ手作業で設定する必要があり、仮想空間構築の労力が非常に大きい、複雑な仮想物体の状態を管理しなければならない、想定した範囲内でしかユーザが行動できない等の問題がある。一方、Physically-base の手法はリアリティが非常に高い、仮想物体の物理的特性を設定するだけで多様なユーザの動作入力に対応できる等の利点があるが、計算負荷が非常に大きい、仮想物体間の連続的な拘束関係をシミュレーションするためには詳細なモデルが必要になる等の問題がある。

これまでに開発されてきた仮想空間のオーサリングツールは、主に Rule-base の手法を用いた仮想空間を構築することを想定しており、専門家でなければツールを使いこなすのが困難である原因は、Rule-base の手法が持つ問題に起因すると考えられる。従って、ユーザが自ら仮想空間を構築することを可能にするためには上記 Rule-base の手法が持つ問題点を解決しなければならない。

2.3 ActSystem 設計の基本方針

本研究では前項で述べた仮想空間を構築する際の問題点を解決するために、以下の方針に従って仮想空間を構築できるようにする。

1. 可能な限り Physically-base の手法を適用する。
2. Rule-base の手法を適用する場合は、個々の仮想物体にルールを直接設定するのではなく、２つの仮想物体の関係を規定する ActCube と呼ぶ特殊なオブジェクトを新たに作成し、その ActCube に対してルールを設定する。
3. 仮想空間を仮想空間内に没入して構築できるようにし、上記 ActCube を仮想空間内で可視化する。その際、ActCube が持つパラメータを仮想物体間の関係を規定するパラメータと関連づけることにより、ActCube を操作することにより仮想物体間の関係を操作できるようにする。
4. 仮想空間を構築する際にはユーザは両手を用いて仮想物体や ActCube を操作できるようにする。

上記 1 により、仮想空間を構築する際の労力を削減できることが期待でき、上記 2 により仮想物体間の関係が間接的に記述されることになり、仮想物体を追加・修正・削除する際の他の仮想物体への影響を小さく押さえることができ、データの再利用性を向上できると期待できる。また、上記 3 により、GUI を介して仮想物体間の関係を設定する場合に比べてインタフェースが理解しやすくなると期待できる。

表 1　インタラクション情報の種類と ActCube でのパラメータとの対応
Table 1　Kinds of Interaction Information and Relation to ActCube's Parameters

インタラクションの情報の種類	ActCube でのパラメータ
対象の仮想物体	ActCube が付着する仮想物体
インタラクションの種類	ActCube の種類
発生する箇所	ActCube が仮想物体に付着する箇所
発生する軸	ActCube が持つ軸
相手の仮想物体	ペアとなる ActCube が付着している仮想物体
発生する条件	ActCube がペアになる条件
発生時の挙動の範囲	ActCube の大きさ、形状等

2.4 ActCube の導入

ルールベースの手法を用いて仮想空間を構築する場合に、仮想物体同士のインタラクションを規定するために設定する必要がある情報 (インタラクション情報) を表 1 の左側に示す。

本研究では表 1 の左側に示したインタラクション情報を、ActCube が仮想空間内で持つ各種パラメータに表 1 の右側に示すように対応づける。これによって、ActCube の位置や形状を仮想空間内で直感的に操作することにより、インタラクション情報を操作することが可能になる。このインタラクション情報と ActCube が持つパラメータの間の対応付けは、ユーザが普段の生活で獲得している概念に基づいて判断できるように積み木メタファに従って行った。

また、従来の GUI を基本にしたインタフェースの場合、例えば、2 つの仮想物体の間の動きを 1 軸回転に制限するためには、①設定の対象となる仮想物体を選択する、②動きを制限する仮想物体の軸を設定する、③回転角度の制限を設定する等の操作が必要であり 2 次元と 3 次元のインターフェースを頻繁に切り替える必要があった。しかし、ActSystem では、仮想空間の構築作業を全て仮想空間に没入した状態で行うことができるため、インターフェースを頻繁に切り替える必要はないという利点がある。

3. ActSystem の設計

3.1 物体同士のインタラクションの分類

ActSystem で利用可能な ActCube の種類を決定するにあたり、仮想空間内で起こりうる仮想物体同士のインタラクションの分類を行った。機器保修の作業等を対象に考えた場合、仮想物体同士で起こりうるインタラクションの一部を図 1 に示す。

仮想空間の構築労力を少なくすることを目指した場合、これら全てを Physically-base の手法でシミュレーションすることが望ましいが、前述のように計算負荷が大きい、詳細なモデルが必要である等の問題を考慮すると、①から⑨までを Rule-base、それ以外を Physically-base でシミュレーションすることが適当であると考えられる。

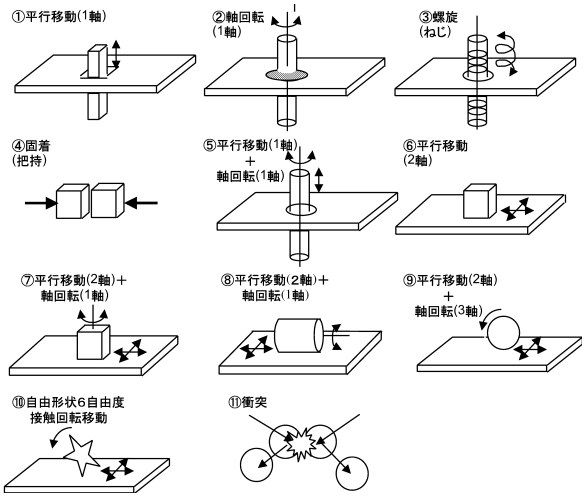

図 1　仮想物体間で起こりうるインタラクション
Fig. 1　Interactions between Virtual Objects.

表 2　本研究で開発する ActCube の一覧
Table 2　ActCubes Developed in This Study

名称	機能
平行移動 ActCube	2 つの仮想物体の相対的な位置変化を 1 軸平行移動に制限する
蝶番 ActCube	2 つの仮想物体の相対的な位置変化を 1 軸回転に制限する
ねじ ActCube	2 つの仮想物体の相対的な位置変化を 1 軸螺旋に制限する（ネジと同様の動き）
把持 ActCube	2 つの仮想物体を固着させる ハンドカーソルで把持可能な箇所を指定する

3.2　開発する ActCube の種類

ActSystem を用いて様々な仮想空間を構築可能にするためには、前節で述べた①から⑨までの全てのインタラクションを ActCube で扱えるようにすることが必要であるが、現時点では①から④までのインタラクションを扱うための ActCube として表 2 に示す 4 つの ActCube を開発の対象とした。その他のインタラクションを扱うための ActCube は今後順次開発していく予定である。また、図 1 に示したインタラクションは、実世界を忠実に模擬した仮想空間を構築する際に必要となるインタラクションであるが、構築した仮想空間を機器保修等の訓練に用いることを可能にするためには、互いに離れた仮想物体間でイベントを伝達するための仕組みや、連続的な数値を扱う仕組みが必要であり、今後の課題である。

3.3　ActSystem のインタフェース

図 2 に本研究で設計した ActSyetem のインタフェースを示す。ActSystem のインタフェースはワークスペース、ハンドカーソル、3 次元形状ライブラリ、ActCube ライブラリ、システム操作オブジェクトで構成される。

ワークスペースは 3 次元形状や ActCube を配置し、仮想空間を構築するための作業場であり、ユーザはこのワークスペースに没入して構築作業を行う。ハンドカーソルはワークスペース内でのユーザの手に相当する仮想物体であり、ユーザはこのハンドカーソルを介して 3 次元形状や ActCube を操作する。3 次元形状ライブラリと ActCube ライブラリはそれぞれ仮想物体を構築するための 3 次元形状や ActCube が格納されたライブラリである。システム操作オブジェクトは、ActSystem においてファイルの保存や読み込み等を行うためのコマンド集に相当するものである。

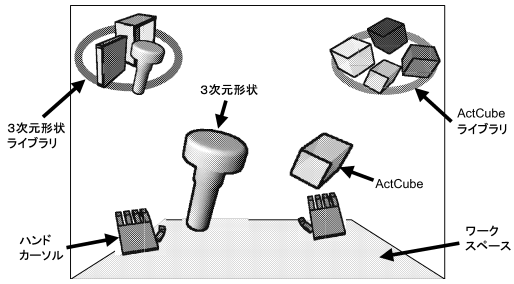

図 2　ActSystem のインタフェース設計
Fig. 2　Interface Design of ActSystem.

ActSystem を用いて仮想空間を構築する際には、3 次元形状ライブラリから仮想空間に配置する物体の 3 次元形状を取り出し、ActCube ライブラリから ActCube を取り出して 3 次元形状に貼り付ける。その後、ActCube の大きさや形状を変更することにより仮想物体間のインタラクションの挙動を調整する。

4.　ActSystem の概要

図 3 に本研究で開発した ActSystem のハードウエア構成を示す。ActSystem のハードウエアはユーザの手の位置と姿勢を計測するための磁気式モーションキャプチャシステム (Polhemas 社製 ULTRATRAK:左右手用に 2 個のセンサを使用) および ULTRATRAK からデータを取得するための HostComputer、ユーザがオブジェクトの把持・解放の操作を入力するための小型の押しボタン、ユーザの動作入力を処理し、仮想空間のシミュレーションを実行する MainComputer(PentiumIII 1.26GHz, OS:Red Hat Linux 7.2) で構成される。HostComputer と MainComputer の間は Ethernet で接続され、ユーザの手の位置と姿勢はリアルタイムに MainComputer に送られる。なお、ActSystem のソフトウエアは C++言語および Performer ライブラリを使用して開発した。図 4 に ActSystem の画面例を示す。

5.　ActSystem の操作性評価

本節では、開発した ActSystem の操作性を評価するために行った被験者実験について述べる。

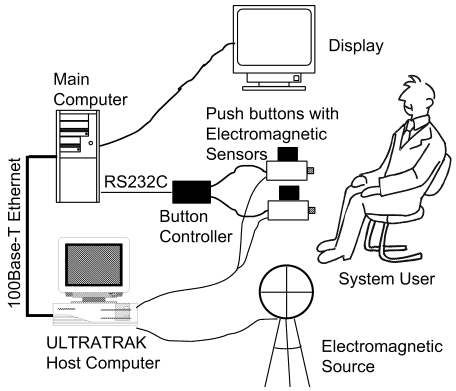

図 3　ハードウエア構成
Fig. 3　Hardware Configuration.

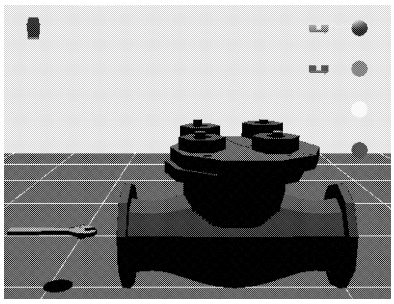

図 4　ActSystem の画面例
Fig. 4　Snapshot of ActSystem Interface.

5.1　実験の目的

本研究で提案した積み木メタファを用いた仮想空間の構築インタフェースについて、初めて利用するユーザが仮想空間の構築方法を理解できるか、意図する仮想空間を構築できるかを調べることを目的とする。

5.2　実験の方法および被験者

被験者に ActCube の概念および ActSystem の各機能と操作方法について約 20 分間説明し、ActSystem に実装した全ての ActCube の使用例を見学させた。その後、ActSystem の操作に慣れてもらうために約 20 分間操作練習をしてもらった。その後、構築してもらう機器を説明し、作業を始めてもらった。評価のために、作業開始から終了までの時間を計測し、構築した機器の情報も記録した。さらに作業終了後、アンケートとして ActSystem を使用した感想を自由に口頭で述べてもらった。

被験者は、仮想空間の構築経験がない 20 歳代の男性 2 名 (被験者 A、被験者 B) とした。被験者 A はプログラミングの知識があるが、被験者 B はプログラミングの知識はない。両者ともに ActSystem の使用は初めてであった。

5.3　構築の対象とする機器

構築の対象は、トナーの交換作業が可能なプリンタとした。プリンタのトナーの交換作業を可能にするためには、プリンタの前蓋を開閉する操作、トナーをプリンタ内部のレールに沿って出し入れする操作等ができるように機器を構築する必要がある。なお、構築の対象となるプリンタの 3 次元形状は予め商用アプリケーションで作成し、ActSystem で利用可能な状態で実験を行った。

表 3　アンケート結果
Table 3　Questionnaire Result

被験者 A
・ActCube の機能はすぐに理解できた。
・ActCube が仮想物体に付着したときに音が鳴った方が良い。
・視点変更ができるようにして欲しい。
被験者 B
・どうして ActCube を付着させる必要があるのか分からない。 形状さえ用意してあれば、仮想物体の動きは実現できる気がする。
・個々の ActCube の軸の意味を考えていたら時間がかかった。
・ActCube の概念に慣れるのに時間がかかった。
・慣れれば構築できるようになると思う。

5.4　実験結果

実験の結果、2 人の被験者は共にタスクを終了できた。タスク終了までに要した時間は被験者 A が 7 分、被験者 B が 12 分であった。実験後に自由に述べてもらったアンケート結果の一部を表 3 に示す。

今回の実験では被験者が 2 名と非常に少ないために、検証のためには今後さらなる実験が必要であるが、プログラミングの知識がある被験者と無い被験者で作業時間およびシステムに対する理解度に差が生じる結果となった。

ActCube を用いた仮想物体間の関係の設定方法は、GUI を介して各種情報を設定する方法に比べて理解しやすいことが期待されるが、ActCube は実世界に存在しないものであり、プログラミングの経験が無い人には、ActCube の役割を理解することが難しいと考えられる。

6.　まとめ

本研究では積み木メタファを用いた仮想空間の構築インタフェースを提案し、そのインタフェースを備えた ActSystem を開発した。本研究の目的である、専門的な知識を持たない人でも仮想空間を構築できるようにするためには、さらに仮想空間構築のインタフェースを理解しやすいようにする必要がある。例えば、ActCube の形状を実世界に存在する蝶番やレール、ねじの形状にして、機器を工作する感覚で仮想空間を構築できるようにする方法が考えられる。

参考文献

[1] 社領一将, 遠藤啓介, 石井裕剛, 吉川榮和 : PC クラスタを用いた機器保修訓練環境のための剛体挙動シミュレーションの並列処理, システム・情報部門学術講演会 2001 講演論文集, pp. 353-358, 2001.