

## 仮想環境データベースシステムのためのデータモデル論

渡辺 知恵美<sup>†</sup> 増永 良文<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> お茶の水女子大学大学院人間文化研究科数理・情報科学専攻

<sup>‡</sup> お茶の水女子大学理学部情報科学科

我々は、実世界を反映した「等身大」のデータベースシステムを目指し、バーチャルリアリティシステムによって作られる仮想空間をデータベース化するシステムの研究を行っている。増永らは、ブロックワールドデータベースシステムを提案し [1]、バーチャルリアリティシステムとデータベースシステム統合のための基本的な機能を実装した。しかし、このシステムは、空間内の全てのオブジェクトをブロックのみで表現しようとするため、実世界を十分に反映することが出来ず、問題解決が望まれていた。そこで、我々は、ブロックワールドデータベースシステムの新バージョンとして「仮想環境データベースシステム」を提案し、プロトタイプ的设计・実装に着手した。本稿は、仮想環境データベースシステムのデータモデルについて、その基本データ構造を中心に述べる。まず、ブロックワールドデータベースのデータモデルについて考察し、考察した点をもとに、新しいデータモデルの定義を行う。また、プロトタイプシステムの構築に向け、仮想環境データベースシステムの応用事例と利用体系について考察する。

## Data Model Issues in a Virtual Environment Database System

Chiemi Watanabe<sup>†</sup> Yoshifumi Masunaga<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

<sup>‡</sup> Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University

### ABSTRACT

In order to realize a "life-size" database system, we have been designing a system that makes virtual reality system a database system. For that purpose, Masunaga[1] proposed the Block-World Database System, which was implemented by integrating two virtual reality systems and an object-oriented database system. But, the data model of this system has a defect in that it can't truly represent real-world objects because it represents all real-world objects as blocks. To resolve this problem, we propose the "Virtual Environment Database System (VEDB)" as a revised new version of the Block-World Database System, where the real-world objects are represented in the virtual reality space as they are in the real-world. This paper reports a new data model for the VEDB particularly from the data structure point of view, an operational overview in the VEDB virtual work space, and its typical usage of constructing a virtual mall.

## 1 はじめに

我々は、実空間を反映した「等身大」のデータベースの実現を目指し、バーチャルリアリティシステムによってつくられる仮想的な3次元空間を丸ごとデータベース化するシステムについての研究を行っている。増永らは、ブロックワールドデータベースシステムを提案し、バーチャルリアリティシステムとオブジェクト指向データベースシステムを連結することで、システムの実現を図った [1]。

ブロックワールドデータベースシステムは、実世界のオブジェクトをブロックで近似して、データベースに取り込む。利用者は、バーチャルリアリティシステムを用い、データベース空間に直接入り込み、データベースに格納されたオブジェクトを実世界さながらに、目でみたり、手で触れてうごかしたりすることが可能となる。

しかし、ブロックワールドデータベースシステムでは、データベース空間内の全てのオブジェクトをブロックで表そうとしたため、実世界を十分に反映することはできず、問題解決が望まれていた。そこで、我々は、実世界のオブジェクトをより忠実にデータベースに取り込むための新たなデータモデルを提案し、ブロックワールドデータベースシステムの次バージョンとして「仮想環境データベースシステム」の研究に着手した。

本稿では、仮想環境データベースシステムのためのデータモデルについて議論する。まず、ブロックワールドデータベースシステムを見直し、その考察点から、新しいデータモデルをデータ構造を中心に提案する。また、新システムの構築に当たって何を考慮すべきか、実際にどのような事に応用できるか考察する。

## 2 先行研究

ブロックワールドデータベースシステムのスクリーンイメージを図1に示す。このシステムは、2台のバーチャルリアリティシステムと1台のオブジェクト指向データベースシステムを結合することによって実装されている。利用者は、ヘッドマウントディスプレイとデータグローブ、音声認識装置を付け、バーチャルリアリティシステムを起動することでデータベース空間に直接入り込む。そしてデータベース内のオブジェクトを自らの目で見て手で触れ、それを移動させたり、自分の声で母国語でデータベースへの問い合わせや命令を行うことができる。

このシステムによって実現しようとしていることは以下の4項目である。

1. データベース化された実世界のオブジェクトは、実世界にあるがままにデータベースに格納され、利用者にもあるがままに見える。
2. データベース空間に直接利用者が入り込み、オブ

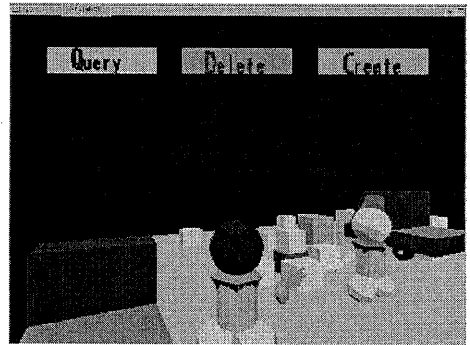


図 1: ブロックワールドデータベースシステムのスクリーンイメージ

ジェクトを視認できるだけでなく、直接掴んだり、移動したり出来る。

3. データベース空間に多数の利用者が入り込み、互いの姿を確認することが出来、コミュニケーションを取り合うことで協調して作業をすることができる。また、遠隔地にいる利用者同士が、この仮想空間を共有することで協調作業を行うことが出来る。
4. 利用者自身がデータベース空間にたち、オブジェクトを指でさしたり、音声を使ったりすることによって、問い合わせの可能性が広がる。例えば、利用者のいる位置や時間、視線の方向に依存した問い合わせが可能となる。

## 3 仮想環境データベースシステムのための考察

本システムはブロックワールドデータベースシステムの拡張であり、我々が目指すものは2.1節で挙げた項目そのものである。本システムでは、ブロックワールドが掲げたこれらの項目を、より深く吟味し改良していくことで、本当の意味でのシステムの実現を目指す。本節は、ブロックワールドデータベースシステムのデータ構造について考察をおこない、それをもとに、仮想環境データモデルの方針を定める。

ブロックワールドデータベースシステムでは、3次元空間を構成する基本オブジェクトを、極小外接ブロック (Miniman Bounding Block:MBB) で表現する (図2)。

しかし、図1をみても分かるように、このシステムでは、仮想空間内のオブジェクトが一体何であるかを、目でみて理解するには不十分であり、2.1節の(1)で挙げた項目を十分に実現しているとは言えない。この問題について、我々は、(a) 基本オブジェクトの概念

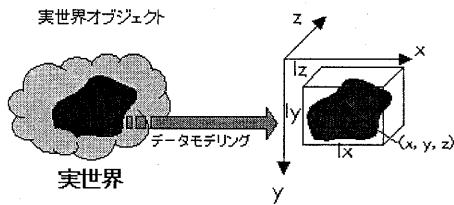


図 2: MBB の概念

(b) 表現誤差の 2 点において考察し、改良する必要があると考えた。

- 基本オブジェクトの概念  
上に挙げたような問題がおこる原因のひとつとして、実世界で意味 (semantics) を持つ 1 つの基本オブジェクトを 1 ブロックで表現していることが考えられる。例えば、図 3-1 に示すテーブルは、1 枚の板と 2 本の足で構成され、足は、3 本の直方体で構成されている。

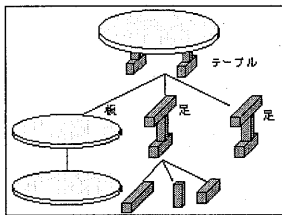


図 3-1

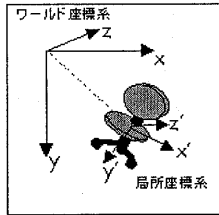


図 3-2

図 3-1 : テーブルを簡単な 3 次元図形で表現

図 3-2 : 局所座標系

ここで、テーブルの足を構成する直方体は、それ自体では意味をなさず、それらを 3 本組合わせることによって、初めてテーブルの足という意味を持つことが出来る。しかし、ブロックワールドデータベースシステムでは、意味を持つオブジェクトを 1 つのブロックで表現しようとするため、図 3 のテーブルの足はひとまとまりのブロックで表現され、足を構成する素材は無視されてしまう。また、その素材を仮想空間で表したければ、素材ひとつひとつにまでに意味を付けなければならない。

そこで、仮想環境データベースシステムでは、仮想空間に存在する基本オブジェクトとして、実世界で意味をもつ「実体 (VE\_Entity)<sup>1</sup>」と、それ自身では意味を持たない「素材 (VE\_Material)」を定義した。例えば、図 3 において、テーブルの足は意味を持つので「実体 (VE\_Entity)」、それを構成する 3 本の直方体は「素材 (VE\_Material)」

<sup>1</sup>“VE.” は仮想環境 (Virtual Environment) の略。

となる。また、複合オブジェクトとして、複合実体 (VE\_composit\_entity), 複合素材 (VE\_composit\_material) を定義し、より複雑なオブジェクト表現を可能にする。

#### ● 表現誤差

ブロックワールドデータベースシステムは、全てのオブジェクトをワールド座標系の 3 軸に平行なブロックで表現する (図 2)。この場合、基本的に 2 種類の誤差が生じる。

1. 直方体でないオブジェクトを直方体として表現することにより生じる近似誤差
2. 空間 3 軸に平行でないオブジェクトを表現することにより生じる誤差

これらについては、これまでも議論されていたが、近似誤差を解消することによって計算量が増え、リアルタイム性が損なわれる事などを考慮しなければならず、今後の課題として残されていた。そこで、仮想環境データベースシステムでは、上の 2 点の誤差に対して、まずは以下のように対応する。

1. 素材 (VE\_Material) の表現方法に、ブロックの他、球や円錐などの基本図形を利用する。
2. 全てのオブジェクトにローカル座標系を導入する。その座標系の原点や軸の向きによって、オブジェクトの位置や方向が決まる。ローカル座標系の導入により、軸平行でないオブジェクトの表現が可能になる。

そして、この表現方法に対する評価を行い、3 次元図形の適切な表現方法や、高速化の工夫などを探っていく。

## 4 仮想環境データベースシステムのデータ構造

### 4.1 基本データ構造

図 4 は、テーブルといすのある仮想空間を、本システムの基本データ構造で記述した様子を示している。この図をもとに、定義と説明を行う。

【定義 1】 (仮想空間)

仮想空間 VE\_World W は次のように表される。

W =

(world-contents(W), attributes(W), restriction(W))

- world-contents(W) = (E(o))

W に存在するオブジェクト, VE\_Entity E(o) のリスト。ここに、o は E(o) に対応する実世界のオブジェクトとする。VE\_Entity については次の定義で詳述する。図 3 では、World-contents(W) = (テーブル、いす) と表されている。

- attributes(W)  
仮想空間 W の属性リストを表す。
- restriction(o)  
仮想空間 W におけるオブジェクトの制約を表す。重力や摩擦などを考慮した関数を記述することによって、実世界に近い仮想空間を作り出すことが可能である。

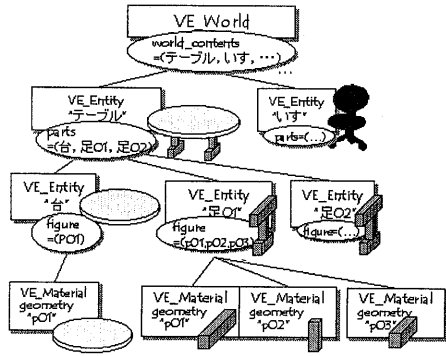


図4：テーブルと椅子のある仮想空間を本データモデルで表現

【定義2】(基本オブジェクト)

仮想空間は、以下の基本オブジェクトによって構成される。

- **VE\_Entity :**  
実世界で意味を持つ基本オブジェクト。VE\_Entity E(o) は次のように表される。  
E(o) = (frame(o), figure(o), parts(o), mbb(o), attributes(o), behaviors(o))
- frame(o) = ((x, y, z), (Rx, Ry, Rz))  
E(o) のローカル座標系。(x, y, z) は座標系の原点である。(Rx, Ry, Rz) は、軸の x, y, z 方向に関する回転角であり、ラジアン角で表される。
- figure(o) = (M(o))  
E(o) を構成する VE\_Material M(o) のリスト。E(o) の形状を表現する。VE\_Material に関してはのちに詳述する。
- parts(o) = (E(o))  
E(o) を構成する VE\_Entity E(o) のリスト。図4の VE\_Entity 「テーブル」の parts(o) は、(台, 足01, 足02) である。
- mbb(o) = (Ix, Iy, Iz)  
E(o) の極小外接ブロック。(Ix, Iy, Iz) はローカル座標系の x, y, z 軸上の区間を表す。
- attributes(o)  
E(o) の非空間的な属性のリスト。たとえば VE\_Entity 「テーブル」の attributes(o) は、(名

前, 製造会社名, 購入日, 価格, 所有者...) などが考えられる。

- behaviors(o)  
E(o) の振舞いのリスト。生成, 消去, 移動など, オブジェクトに対する操作はここに記述される。behaviors(o) には, frame(o) などの空間的な属性に対する振舞いと, attributes(o) などの非空間的な属性に対する振舞いがあり, それぞれを, spatial-behavior(o), non-spatial-behavior(o) とする。例えば, 「テーブルの位置や色を変える」振舞いは spatial-behavior(o) であり, 「増永のテーブルを渡辺に譲る」振舞いは non-spatial-behavior(o) である。

• **VE\_Material :**

VE\_Entity を構成する素材。E(o) の属性 figure(o) の要素となる。VE\_Material M(o) の種類として, 現時点では, 基本図形 (block, cone, cylinder, sphere, rectangle など) と3次元テキストを考えている。M(o) は次のように表される。  
M(o) =

(frame(o), mbb(o), attr(o), material(o))  
frame(o), mbb(o) の定義は, VE\_Entity の属性 frame(o), mbb(o) と同じである。

- attr(o)  
基本図形を記述するのに必要な属性リスト。図形の種類によって異なる。例えば, M(o) が cone である場合は, attr(o) = (半径, 高さ) となり, sphere である場合は attr(o) = (半径) となる。
- material(o)  
M(o) の外観を定義する属性。例えば, 色やテクスチャ, 透過率などがある。

なお, VE\_Material(o) の種類として, 利用者が面や頂点を指定して作る多面体図形や, CAD システムで作成した図形を利用することも検討している。但し, これらの導入に際しては, データの転送量, 計算量などを考慮する必要がある。

【定義3】(複合オブジェクト)

- **VE\_Composit\_Entity :**  
VE\_Entity の複合オブジェクト。VE\_Entity はその定義から VE\_Composit\_Entity であるといえる。あえて区別すれば, VE\_Composit\_Entity のうち, 属性 parts(o) が null であるものが VE\_Entity となる。
- **VE\_Composit\_Material :**  
VE\_Material の複合オブジェクト。  
VE\_Composit\_Material CM(o) は次のように表される。  
CM(o) = (frame(o), MBB(o), contents(o))

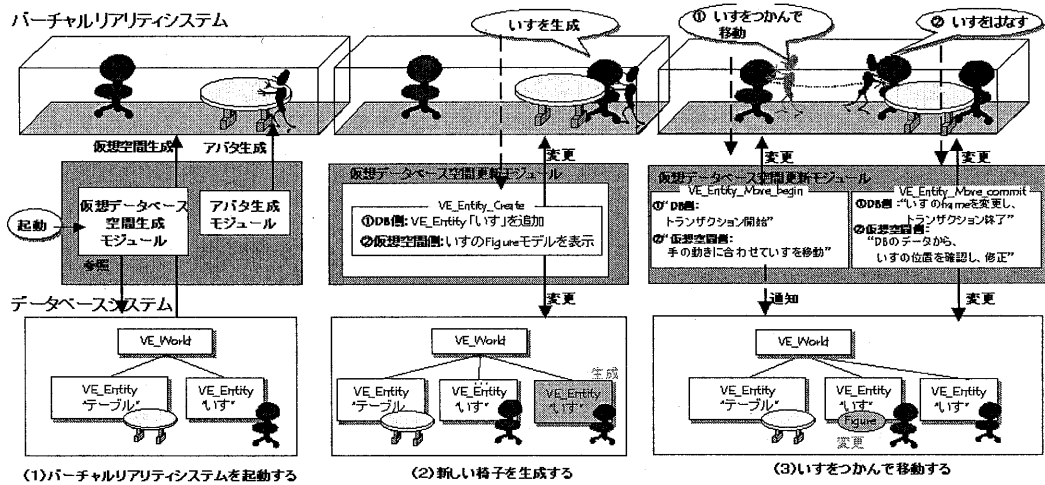


図 5：仮想空間における操作とデータベース更新の様子

frame(o), MBB(o) は VE\_Material で定義済みである。また、contents(o) は CM(o) を構成する素材リストであり、contents(o) = (VE\_Material(o)) と表される。これは、3次元物体の設計の際に、VE\_Material のいくつかをグループ化したいが、それらが実世界における意味を持たないときに有効に利用できる。

## 4.2 仮想データベース空間

本システムの利用者は、前節に定義した項目を直接意識してプログラミングをするのではない。利用者は仮想空間に入り込み、仮想空間内のオブジェクトを操作することによって、同時にデータベース内のオブジェクトを操作することが出来る。このように、データベースと連動している仮想空間を、仮想データベース空間と呼ぶ。図 5 は、利用者がバーチャルリアリティシステムを起動し、仮想データベース空間に入り込んで作業している様子と、それに伴うデータベース更新の様子を表している。図の上部がバーチャルリアリティシステムで表示される仮想空間、下部がデータベースの様子である。そして、中央部が仮想環境データベースシステムの提供する部分である。ここで、仮想空間とデータベースを連動させるための機能を提供することにより、仮想データベース空間が実現される。

まず、システムを起動すると(図 5(1)), 仮想データベース空間作成モジュールが実行され、データベースの内容を反映した仮想データベース空間が生成される。

同時に、アバタ生成モジュールによって、利用者の分身であるアバタが仮想データベース空間に生成される。図 5(2)(3)では、利用者が仮想データベース空間にいすオブジェクトを生成し、もう一つのいすオブジェクトを移動させる、という操作を行っている。利用者が操作を行うと、仮想データベース空間更新モジュールは、仮想空間およびデータベースを更新する。

また、(3)の「移動」のように、変更の時間が長くなるような場合は、変更の開始時はトランザクション開始の通知だけを行い、変更の終了時に、更新を行う。これは、ブロックワールドデータベースで「終点同期法」として定義されており、これによって、変更時の通信量を押さえることが出来る。

## 5 仮想環境データベースシステム構築にむけて～応用事例と利用体系～

我々は、今回定義した基本データ構造を用い、仮想環境データベースシステムのプロトタイプシステムを構築する。想定する応用事例としては、「バーチャルモール設計・利用の支援システム」を考えている。そこで、プロトタイプ構築にむけ、バーチャルモールの設計・利用の事例にそってシステムの利用体系について考察する。本システムにおける利用体系は、以下の3階層に分けられる。

### 1. スキーマ設計

バーチャルモールを構成する各実体(建物、壁、棚、など)のスキーマを VE\_World, VE\_Entity のサブクラスとして定義する。スキーマ設計者は、クラスの属性や振る舞いを C++などのプログラミング言語で設計する作業が中心となる。

## 2. 仮想データベース空間の設計

スキーマ設計者によって作られたクラスからオブジェクトを作成し、これらを組み合わせることによって、バーチャルモールドを設計する。設計者は、仮想データベース空間内に入り込んで実世界で商店街を設計するような感覚で作業を行うことができ、また同じ空間に入り込んだ利用者とコミュニケーションをとりながら協調作業を行うことができる。

## 3. 末端利用

完成されたバーチャルモールドを利用する。バーチャルモールドの利用者には、モールドの店員と、消費者がいる。消費者は、実世界にも似た仮想都市を歩きまわり、ショッピングをする。また、仮想空間に問合わせること、利用したい店にジャンプしたり、欲しいものだけをリストアップして買うことができる。店員は、バーチャルモールドの店内に商品を陳列して販売する。仮想空間自体がデータベースで管理されているので、店の商品の陳列状態や、在庫状況、売り上げ状況を常に把握することが出来る。また、バーチャルモールドの利用者同士コミュニケーションを取り合い、商品情報などをやり取り知ることができる。

# 6 おわりに

先行研究であるブロックワールドデータベースシステムについて考察し、仮想環境データベースシステムのデータ構造を定義した。しかし、今回定義したデータ構造はデータモデルのほんの一部分にすぎない。これから取り組まなければならない課題は山積している。仮想環境データベース構築へ向け、取り組むべき課題を以下に挙げる。

- マルチモーダルなデータベースインタフェースの設計と実装  
本システムは、従来のデータベースと異なり、利用者が仮想データベース空間に没入する形で操作を行う。そこでは、キーボードやメニューやボタンなどの従来のインターフェースではなく、音声やジェスチャーなどの実世界に即した自然な操作方法が要求される。また、問合せ機能の実装は、データベースシステムにとって不可欠である。本システムでは、属性における基本的な問合せの他に、3次元空間的な位置検索や、利用者の仮想空間での位置に依存した問合せなどを検討している。また、検索結果の表示方法として、3次元空間を効果的に利用する [4] ことも検討している。
- 協調作業機能の設計と実装  
仮想環境で協調作業を行うためには、トランザクション管理や、バージョン管理、コミュニケーション機能を設計・実装する必要がある。本システムは、従来のデータベースと異なる点として「相手

の姿が見える」特徴を持つ。これを考慮した上で、本システムにおける協業作業機能の設計と実装を行う。

## ● 時間の概念や実世界の法則の導入

本稿で述べたデータモデルは時間の概念が導入されていないが、今後導入していく予定である。時空間データベースシステムについては、様々な研究が行われている [6][5]。また本年度より本研究室の鶴飼ら [2] によって、時空間データベースの研究が始動されたので、これを参考にしていきたい。また、仮想データベース空間に重力などの実世界の法則を導入する [3] ことも必要であると考えている。

ここに挙げた課題を一つ一つ解決していくことで、真に「等身大」のデータベースシステムを実現していく予定である。

## 謝辞

増永研究室諸氏の討論に感謝する。なお、本研究は一部文部省科学研究費補助金（基盤研究（B））（課題番号 11480085）の補助を受けている。

## 参考文献

- [1] 増永良文, 川嶋斉, 水野佳政: ブロックワールドデータベースシステムのプロトタイプピング, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.SIG3(TOD 1), pp91-104(1999)
- [2] 鶴飼規子, 増永良文: 時空間データベース構築のためのムービングオブジェクトモデル, 情報処理学会データベースシステム研究会報告, 発表予定(1999)
- [3] 広田光一, 木島竜吾: バーチャルリアリティソフトウェア, Bit 別冊「仮想現実学への序曲」, pp132-pp142(1994)
- [4] Kamiura M., Oiso H., Tajima K. and Tanaka K.: "Spatial Views and LOD-based Access Control in VRML-object Database", Worldwide Computing and Its Applications, pp210-225(1997)
- [5] M. Aritsugi, T. Tagashira, T. Amagasa, and Y. Kanamori.: "An Approach to Spatial-Temporal Queries Intervert-Based Contents Representation of Images," In *Proc. Workshop on DEXA '97*, pp.202-213 September 1997.
- [6] 黒木進, 牧之内顕文: 位相空間データモデル Universe での空間, 時間, 時空間データ表現, 報処理学会論文誌, Vol.40, No.5, pp.2404-2416(1999)