

仮想世界データベースシステムのための設計ツールキットの構築

矢野 ナホコ[†] 渡辺 知恵美[‡] 増永 良文^{††}

[†] お茶の水女子大学人間文化研究科数理・情報科学専攻 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

[‡] 奈良女子大学人間文化研究科複合現象科学専攻 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町

^{††} お茶の水女子大学理学部 〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: [†] nahoko@dblab.is.ocha.ac.jp, [‡] chiemi@ics.nara-wu.ac.jp, ^{††} masunaga@is.ocha.ac.jp

あらまし 我々は、VR システムの持つ概念をデータベースに取り入れた新たなデータベースシステムとして、仮想世界データベースシステム (Virtual World Database System: VWDB) の構築を進めている。既に、プロトタイプが実装され、その上で音声とジェスチャを使うマルチモーダルな問合せ言語の開発や共同作業に向けたトランザクション管理などの研究が行われ、仮想世界をデータベースとする VWDB の概念が具体化されてきている。しかしながら VWDB データベーススキーマ言語の定義と実装はこれまで体系的にはなされてきてはならず、VWDB データベース空間は ad hoc に構築されてきた。そこで本研究では、VWDB データベーススキーマの概念を明確にすると共に、仮想世界データベース構築を支援する設計ツールキットを提供し、ユーザが新たな仮想世界を自由に構築できる環境を整えたのでその全貌を報告する。

キーワード VWDB, 3次元空間データベース, 仮想世界, パーチャルリアリティ, データベース設計, ツールキット

Construction of a Database Design Toolkit for the Virtual World Database System

Nahoko YANO[†] Chiemi WATANABE[‡] and Yoshifumi MASUNAGA^{††}

[†] Graduate School of Human and Science, Ochanomizu University 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan

[‡] Graduate School of Human Culture, Nara Women's University Kitauoya nishi-machi, Nara, 630-8506 Japan

^{††} Faculty of Science, Ochanomizu University 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan

E-mail: [†] nahoko@dblab.is.ocha.ac.jp, [‡] chiemi@ics.nara-wu.ac.jp, ^{††} masunaga@is.ocha.ac.jp

Abstract The Virtual World Database System (VWDB) is currently under development at Ochanomizu University. This system is proposed as a novel database system that has a variety of VR system features. The prototype provides transaction management for shared work environment as well as multi-modal query language using voice and gestures. It would be said that our concept of making virtual world a database system has been materialized gradually. However, there is a problem that the design and implementation of VWDB database schema definition language has been done not systematically so that VWDB database spaces have been constructed in ad hoc manner. In order to resolve this problem, in this paper, we make the concept of VWDB database schema clearer and consistent first, and then provide a VWDB database design toolkit for end users so that they can construct arbitral virtual world as they want.

Keyword VWDB, 3D-spatial database, virtual world, virtual reality, database design, tool kit

1. はじめに

近年、建築、医療、エンターテインメント等さまざまな分野でのバーチャルリアリティ（VR）システムの実用化に伴い、VRシステムにおけるデータベース機能の必要性が認識されつつある。実際にアプリケーションの用途に合わせてデータベース機能の一部を利用した VR システムも実装されている[1,2]。本来、データベースシステムはVRシステムをサポートするために必要と考えられる有用な機能を数多く備えており、データベース機能を完全に備え持つ VR システムを開発することは大変意義あることと考えられる。そこで我々は、VRシステムの持つ概念をデータベースに取り入れた新たなデータベースシステムとして、仮想世界データベースシステム(Virtual World Database System: VWDB)の構築を進めてきた。既にプロトタイプが実装され、その上で音声とジェスチャを使うマルチモーダルな問合せ言語の開発[3]や共同作業に向けたトランザクション管理などの研究[4,5]が行われ、仮想世界をデータベースとするVWDBの概念が具体化されてきている。しかしながらVWDBデータベーススキーマ言語の定義と実装はこれまで体系的にはなされてきてはならず、VWDBデータベース空間はad hocに構築されてきた。そこで本研究では、VWDBに仮想世界構築を支援するツールキットを提供し、ユーザが新たな仮想世界を自由に構築できるようにして、VWDBを誰でもが自由に使える環境を整えたのでそれを報告する。

VWDBはデータベースシステムなので、VWDBデータベースを構築するには、まず第一に仮想世界スキーマを定義することが必要である。データベース設計者によるスキーマ定義に引き続き、エンドユーザによるインスタンスの生成・編集によって仮想世界が構築される。本稿では、この2段階のステップで行われる仮想世界構築を支援するための設計ツールキットについて述べる。

以下、2章ではVWDB仮想世界スキーマについて、3章では仮想世界スキーマを定義するための仮想世界スキーマ定義言語について、4章では本研究で提供するツールキットについて述べ、5章でまとめと今後の課題について述べる。

2. VWDB と仮想世界スキーマ

2.1. VWDB

VWDBはバックエンドのオブジェクト指向デー

タベースシステムと、フロントエンドのVRシステム群で構成される。フロントエンドのVRシステムはNVR(Network Virtual Reality System)により互いに接続されており、複数のユーザが仮想環境を共有できるようになっている[4, 5]。

2.2. 仮想世界スキーマ

VWDBにおいて、VRシステムからの更新や問合せを想定したデータベースシステムを実現するためには、仮想世界及び仮想世界オブジェクトをデータベースにモデリングするための構造記述が必要となる。VWDBデータモデルにおける構造記述を仮想世界スキーマと呼ぶ。本章では、仮想世界スキーマの定義について次のようにまとめた。

(a) 仮想世界

仮想世界は現実世界と同じような3次元空間であり、その内部に仮想世界オブジェクトを持つ。また、仮想世界は「ワールド座標系」と呼ばれる絶対的な x, y, z 座標系をもつ。

(b) 仮想世界オブジェクト

すべての3次元仮想世界オブジェクトは、3次元立体形状を持ち仮想世界に存在するオブジェクトである。「オブジェクト」という言葉どおり基本的にオブジェクト指向モデルにおけるオブジェクトの概念を基本とする。つまり全てのオブジェクトはオブジェクト識別子、1つ以上の属性とメソッドを持ち、メッセージパッシングやカプセル化などの性質を持つ。しかし仮想世界オブジェクトはそれらに加えて、空間的属性(位置座標と姿勢座標)と形状属性を持たねばならない。なお、空間的属性と形状属性以外の属性をこれらの属性と区別して非空間的属性と呼ぶ。

仮想世界オブジェクトは、単一のオブジェクトからなるプリミティブ仮想世界オブジェクトと、複数の部品オブジェクトの組合せからなる複合仮想世界オブジェクトに分けることができる。複合オブジェクトにおいて、部品オブジェクトの位置属性値及び姿勢属性値は、複合オブジェクトの中心に対する相対的な値となる。

(c) 3次元立体形状

VWDBでは、オブジェクトの複雑な形状を、CSG(Constructive Solid Geometry)の考え方に則り、直方体や球などの基本立体図形、または任意の点集合と面集合による幾何立体図形の組

合せて表現する。基本立体図形は、いくつかのパラメタで表すことが出来る(例えば、直方体は、縦、横、高さの3パラメタで、球は半径パラメタで表現できる)ため、形状に関する問合せや更新操作を行いやすいという利点がある。また、任意の点集合と面集合による幾何立体図形は、基本立体図形のように形状の特徴となるパラメタを指定することは難しいが、3DCGモデル及びCADモデルを利用できるという利点がある。

また、VWDBにおいてデータベース設計者が定義すべき仮想世界と仮想世界オブジェクトのスキーマとして以下の概念を導入している[6]。

(d) カテゴリ

VWDBでは、仮想世界オブジェクトのスキーマをカテゴリという。また、ルートカテゴリをVWDBカテゴリという。VWDBカテゴリでは、すべての仮想世界オブジェクトが持つ位置属性や姿勢属性、すべてのオブジェクトに共通な振舞いが定義されており、全てのカテゴリはVWDBカテゴリを継承する。また、カテゴリはその形状を表すための形状ドメインをもつ。形状ドメインは(e)を用いて定義する。

(e) 形状ドメイン

VWDBでは、3次元立体形状の雛型を形状ドメインとして定義できる。形状ドメインは、雛型と幾つかのパラメタを持ち、パラメタを指定することで、雛型を元にした様々な3次元立体形状を作成することが出来る。

3. 仮想世界スキーマ定義言語

VWDBにおいて、データベース設計者は、仮想世界スキーマを設計するために、(1)仮想世界の定義、(2)仮想世界に存在する仮想世界オブジェクトのカテゴリ定義、(3)各カテゴリにおける形状ドメインの定義、を行わなくてはならない。そこで、仮想世界スキーマ定義言語として、以下のサブ言語を提供する。

1. 仮想世界定義サブ言語
2. カテゴリ定義サブ言語
3. 形状ドメイン定義サブ言語

以下、各サブ言語の定義を、例を挙げながら説明する。

3.1. 仮想世界定義サブ言語

仮想世界の定義は以下のように行い、仮想世界と仮想世界に存在するオブジェクトのカテゴリ名リストを指定する。

```
World <仮想世界> {
    <カテゴリ名 1>;
    <カテゴリ名 2>;
    ...
    <カテゴリ名 n>;
}
```

3.2. カテゴリ定義言語

カテゴリ定義は以下のように記述する。

```
public Category <カテゴリ名>:<スーパーカテゴリ名>{
    /* Attributes */
    <ドメイン名> <属性名>;
    /* Parts */
    [<部品カテゴリ名> <属性名> <位置・姿勢属性値>]
    /* Material Domains */
    [<形状ドメイン名>]
    /* Behaviors */
    <振舞い>
}
```

/* Attributes */のところでは非空間的属性のドメインと属性名を記述する。プリミティブカテゴリ(部品オブジェクトを持たないオブジェクトのカテゴリ)を定義する場合にのみ/* Material Domains */のところでは形状ドメイン名を記述する。複合カテゴリ(複数の部品オブジェクトからなるオブジェクトのカテゴリ)を定義する場合には、/* Parts */以下に部品カテゴリのカテゴリ名、属性名、定義するカテゴリに対する部品カテゴリの位置・姿勢属性値を記述する。この場合は/* Material Domains */は空白とする。非空間的属性のドメイン指定および振舞い記述は基本的にJavaの記述方法に従う。

例えば、カテゴリ「table」及び「meeting_table」の定義は以下ようになる。

```

public Category table {
  /* Attributes */
  String maker;
  String model_number;
  String purchase_date;
  Integer price;
  /* Parts */
  /* Material Domains */
  ta007;
  /* Behaviors */
}

```

```

public Category meeting_table : table {
  /* Attributes */
  String Owner;
  /* Parts */
  meeting_table_topboard topboard 0.0,20.0,0.0;
  meeting_table_legs legs 0.0,-20.0,0.0;
  /* Material Domains */
  /* Behaviors */
}

```

ここで、カテゴリ meeting_table は、カテゴリ table を継承するため、meeting_table の非空間的的属性は、table の非空間的的属性を含む。また、カテゴリ meeting_table は、部品カテゴリ meeting_table_topboard と meeting_table_legs とで構成された複合カテゴリであり、形状ドメイン/* Material Domains */は空白である。0.0,20.0,0.0 等のパラメタは meeting_table の中心に対する部品カテゴリの中心の位置を表す。

3.3. 形状ドメイン定義言語

形状ドメインの記述形式は、VR システムのモデリング言語 VRML のプロトタイプ記述である PROTO を用いる。PROTO で定義された 3 次元形状はパラメタ値を自由に設定して再帰的に 3 次元形状を利用することができるので参考にした。以下に記述例として形状ドメイン ta007 の記述を示す。VRML 及びプロトタイプの文法については[7]を参照されたい。ここで、ta007 は、ashi、base、tenban の 3 つのプリミティブ形状から構成されており、各プリミティブの位置座標(position)、姿勢座標(rotation)、色情報(color)をパラメタ値としている。

```

PROTO ta007
[ field SFVec3f VWtranslation 0 0 0
  field SFRotation VWrotation 1 0 0 0
  field SFVec3f VWscale 1 1 1
  field SFCOLOR ashiColor 1.0 1.0 0.7812
  field SFCOLOR baseColor 1.0 0.9882 0.5859
  field SFCOLOR tenbanColor 0.8281 1.0 0.5312]
Group {
  children [
    DEF ashi Transform {
      translation IS ashitranslation
      rotation IS ashirotation
      Shape{
        appearance Appearance {
          material Material {
            diffuseColor IS ashiColor
            ... } }
        geometry IndexedFaceSet {
          coord Coordinate {
            point[
              30.000000 -36.000000 33.250000,
              29.158838 -36.000000 33.139259,
              ... ] }
          coordIndex [ 0, 1, 2, -1,
                      0, 2, 3, -1,
                      ... ] } }
    DEF base Transform {
      translation IS base translation
      rotation IS base rotation
      Shape{... }
    DEF tenban Transform {
      translation IS tenban translation
      rotation IS tenban rotation
      Shape{... }
  ] }
}

```

上に示したカテゴリ table と形状ドメイン ta007 の例により、図 1 に示す形状と maker 等 4 つの非空間的的属性をもつ“table”カテゴリが仮想世界オブジェクトのスキーマとして定義されたことになる。



図1 “table” カテゴリ
Fig.1 Category “table”

4. VWDB 仮想世界設計ツールキット

VWDB における仮想世界の構築は以下のステップで行われることは先に述べた。

- Step 1: データベース設計者が仮想世界スキーマを定義する。
- Step 2: エンドユーザが VR システムを用いて Step 1 で定義されたスキーマから仮想世界オブジェクトを生成・編集することにより仮想世界を構築する。

図2はこの2段階のステップにしたがってVWDBで仮想世界を構築するための設計ツールキットの概念を示す。ここでツールキットとは、GUIウィンドウ群とそれらの入力内容を処理するモジュール群を意味する。

データベース設計者は、カテゴリ定義ツール()でカテゴリの定義を行う。定義されたカテゴリはVWDBメタデータベース()に格納されたのち、カテゴリ/クラス変換モジュール()でOODBのクラス定義に変換される。この時、カテゴリ/クラス対応表()にカテゴリと変換後のクラス名の対応関係が登録される。さらに、OODBのコンパイルツールを用いてクラス定義をコンパイルし、クラス情報がOODBメタデータベースに格納される。

エンドユーザは、仮想世界オブジェクト生成・編集ツール()でインスタンス生成・編集を行う。仮想世界オブジェクト生成・編集ツールは、VWDBメタデータベース()から設計者の定義したカテゴリ名を取得して表示する。エンドユーザがカテゴリ名と属性値の初期値を入力すると、このツールがインスタンス生成・編集メッセージを発行する。カテゴリ/クラス変換モジュール()がこれを

OODBのメッセージに変換し、メッセージ実行モジュール()に発行する。メッセージ実行モジュールは、OODBメタデータベースのクラス情報を参照し、インスタンスを作成し、データベースに格納する。さらに、生成したインスタンスは、仮想世界オブジェクト描画モジュール()で描画し、VRシステムで表示する。

これらの機能のうち(, , , ,)は、先行研究[8]にて、プロトタイプとして実装されているので、本報告ではデータベース設計者・エンドユーザに提供するツール(, ,)の実装をさらに説明する。

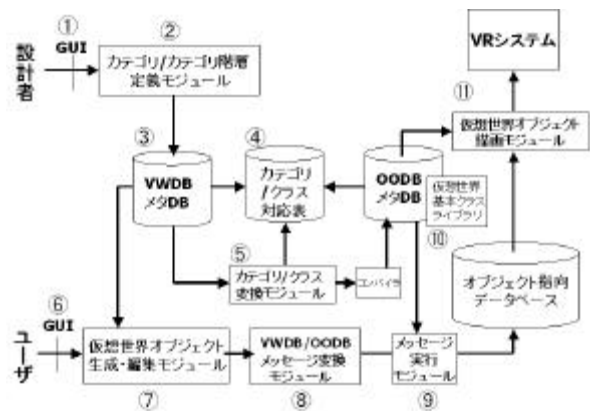


図2 設計ツールキットの概念
Fig.2 The concept of a design toolkit

4.1. 設計者用ツール

カテゴリ定義は、3章で示した仮想世界スキーマ定義言語で記述される。しかし、この言語はコマンド言語であるため、データベース設計者はカテゴリを定義するためにコマンドを手入力しなければならない。そこで、設計者が無理なくカテゴリ定義できるよう、カテゴリ定義ツール(図3)と形状ドメインツール(図4)を提供した。

4.1.1. カテゴリ定義ツール

カテゴリを定義するには、そのカテゴリ固有の非空間的属性と形状ドメインを定義する必要がある。図3に示したカテゴリ定義ツールのウィンドウ上部分で非空間的属性を入力し、リスト部分で形状ドメインを選択する。

4.1.2. 形状ドメインツール

形状ドメインを新規に定義したい場合は、図 4 に示した形状ドメイン定義ツールで行う。3次元形状は複雑である場合が多いので、3次元オブジェクトモデリングツールやCADツールであらかじめ形状をつくり VRML ファイルで保存する。このツールでは VRML ファイルを読み込み、形状に対するパラメタの初期値を定義することで作成する



図 3 カテゴリ定義ツール
Fig.3 Category definition tool

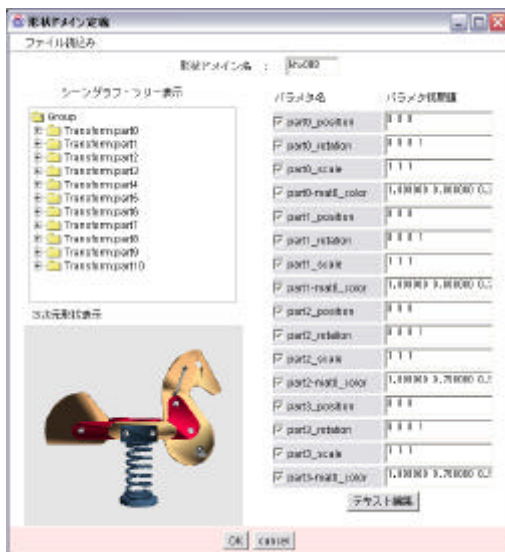


図 4 形状ドメインツール
Fig.4 Form domain definition tool

4.2. エンドユーザ用ツール

仮想世界においてエンドユーザが行う操作は、表 1 に示すとおり様々である。これらの操作の一部は、既にマルチモーダルデータ操作言語で提供されている。しかし、操作には GUI を必要とする部分がある。

表 1 仮想世界においてエンドユーザが行う操作
Table1 End-user operations in the virtual world

* オブジェクトの生成
* オブジェクトの削除
* オブジェクト属性値の変更
- 非空間的的属性値の変更(名前や所有者などの変更)
- 位置属性の変更(移動)
- 姿勢属性の変更(回転)
- 形状属性の変更(形状の変更, 色やテクスチャの変更)
* 問合せ

例えば、オブジェクトを生成するには、カテゴリを選択し、非空間的的属性の初期値を入力する必要がある。こうした操作を行うには GUI が必要となる。そこで、仮想世界オブジェクト生成ツール(図 5)を提供した。ユーザは、ウィンドウを通してカテゴリを選択し、非空間的的属性値を入力することで、オブジェクト生成を行う。

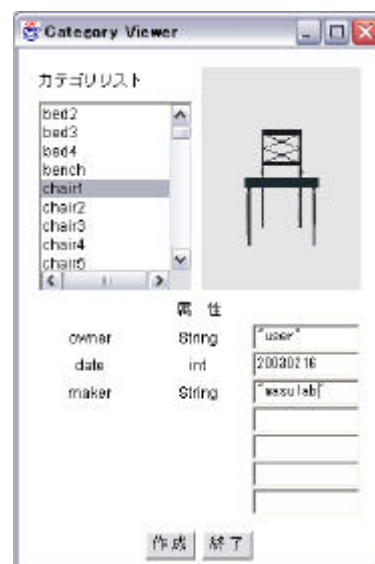


図 5 仮想世界オブジェクト生成ツール
Fig.5 Virtual-world object creation tool

同様に、色の選択に GUI を必要とする仮想世界オブジェクト色変更ツール（図 6）を提供した。このツールでは、オブジェクト同士の IS-PART-OF 関係を木構造で表示できるようにした。ユーザが、変更したい部分を指定し、カラーパレットで色を選択できるようになっている。

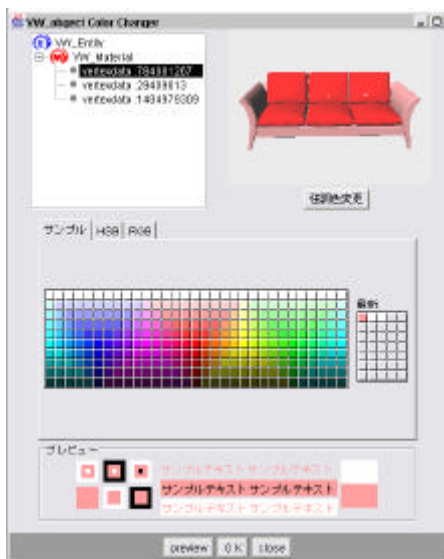


図 6 仮想世界オブジェクト色変更ツール
Fig.6 Virtual-world object color change tool

図 7 は VWDB メインウィンドウであり、ユーザから見た仮想世界の様子を示している。提供したツールキットによる仮想世界オブジェクトの生成、形状属性・非空間的属性の編集操作と、マウス操作による仮想世界オブジェクトの移動・回転・削除により、ウィンドウに表示されるような仮想世界を構築することができる。

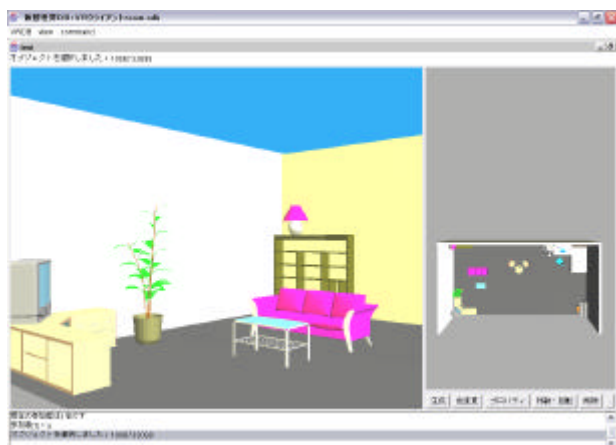


図 7 VWDB メインウィンドウ
Fig.7 A main window of VWDB

5. まとめと今後の課題

VWDB データベーススキーマの概念を示し、仮想世界データベース構築を支援する設計ツールキットについて述べた。本ツールキットの提供により、ユーザが新たな仮想世界を自由に構築できるようになり、VWDB を誰でもが自由に構築できる環境が整ったといえる。今後は、HMD や音声入力などを用いたマルチモーダルな操作ができるように機能を拡張したい。また、VWDB の特性を生かせる用途を追求し、より実用的なアプリケーションを提供したいと考えている。

【謝辞】本研究を進めるにあたりご指導いただいた本研究室の大杉あゆみ先輩、佐藤こず恵先輩に深く感謝致します。

文 献

- [1] M. Kamiura, H. Oiso, and K. Tanaka, "Spatial Views and LOD-based Access Control in VRML-object Database," *Worldwide Computing and Its Application*, pp.210-225, LNCS 1274, Springer 1997.
- [2] J. Gausemeier, H.Krumm, T. Molt, P. Gbbsmeyer, and P. Gehrmann, "A Database Driven Server for An Internet Based Plant Layout Presentation," *Proc. 5th Symposium on Virtual Reality Modeling Language(VRML2000)*, pp.17-22, 2000.
- [3] Y. Masunaga, C. Watanabe, "Design and Implementation of Multi-modal User Interface of Virtual World Database System (VWDB)," *Proc. 7th International Conference on Database System for Advanced Application(DASFAA)*, 2001.
- [4] 渡辺知恵美, 大杉あゆみ, 佐藤こず恵, 増永良文, "仮想世界データベースシステムにおける共有型作業環境のためのトランザクション概念の導入," *情報処理学会論文誌: データベース (TOD)*, Vol.43, No.SIG9(TOD15), pp.55-67, 2002.
- [5] 渡辺知恵美, 増永良文, "仮想世界データベースシステム VWDB2 における仮想世界同期法," *情報処理学会誌: データベース (TOD)*, TOD18, 2003.
- [6] 渡辺知恵美, 大杉あゆみ, 佐藤こず恵, 増永良文, "仮想世界データベースシステムにおける VWDB スキーマ・ドメイン定義言語の設計と実装," *電子情報通信学会第 12 回データ工学ワークショップ 1B-3*, 2001.
- [7] VRML2.0, <http://www.vrml.org>
- [8] 渡辺知恵美, "仮想世界データベースシステムの設計と実装," *お茶の水女子大学学位論文*, 2003.