

利用者ごとの仮想空間の構築と共有

石川 正敏† 高倉 弘喜† 植村 俊亮†

†奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科
〒630-01 奈良県生駒市高山町 8916-5 Tel. 0743-72-5336
{masato-i, uemura}@is.aist-nara.ac.jp
†京都大学大学院 工学研究科
〒606-01 京都市左京区吉田本町 Tel. 075-753-5398
takakura@kuis.kyoto-u.ac.jp

多数の利用者が同時に参加可能な仮想空間は、利用者の様々な要求を満たすために非常に多くのオブジェクトを表示する。しかし、各利用者にとってこのような仮想空間を理解するのは容易ではない。そこで、利用者が、意図した仮想空間を獲得するための手法が必要である。本稿では、利用者は、仮想空間等の選択と選択したオブジェクトの表示効果を指定する。また、利用者が独自に獲得した仮想空間をそのまま用いた場合、関係する利用者の意思疎通が困難になることがあるため、それぞれの利用者の仮想空間を統合する必要がある。本稿では、利用者は、仮想空間内のオブジェクトを共有する範囲と共有処理を行なうタイミングを決める。さらに、本稿で対象とする仮想空間を管理するためのデータ型について述べる。

Reconstruction and Sharing of Virtual Space by Users

Masatoshi Ishikawa† Hiroki Takakura† Shunsuke Uemura†

†Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology
8916-5, Takayama, Ikoma, Nara Tel. +81-743-72-5336
{masato-i, uemura}@is.aist-nara.ac.jp
†Graduate School of Engineering, Kyoto University
Yoshida-honmati, Sakyouku, Kyoto-city, Kyoto Tel. +81-75-753-5398
takakura@kuis.kyoto-u.ac.jp

A virtual space where many users participate consists of a huge number of objects in order to satisfy all user's requirement. As the number of participants increases, some user feels difficulty to understand the contents of the virtual space. New method is, therefore, required to reconstruct user-specific virtual space. This paper proposes the method in which user selects his required objects from virtual space and specifies effects to display the objects. In order to make communication among users, reconstructed virtual spaces should be unified by users. This paper also discusses the unification process where users define its method and then, decide timing of its execution. Data models to manage virtual spaces are presented.

1. はじめに

インターネット上に仮想空間を構築し、数万人規模の利用者が自分の分身となるアバタと呼ばれるオブジェクトを仮想空間に投影し、リアルタイムコミュニケーションを実現するシステムの研究が盛んである。このようなシステムの研究では、主に次の問題を扱っている。

(1) レイテンシ

利用者が待ち時間を感じることをない会話等を可能にすることを扱う問題である。

(2) スケーラビリティ

仮想空間に参加している利用者数の大小にかかわらず混乱なくリアルタイムコミュニケーションを実現することを扱う問題である。

(3) リライアビリティ

情報の欠損無しに伝達することを扱う問題である。

これらの問題の解決法には、IP マルチキャストなどのネットワーク技術を利用した手法や、複数のサーバで仮想空間を分割管理する手法などがある [1]。これらの手法は、仮想空間に対する利用者の操作とネットワークを介した操作結果の伝播の差異を解決するためのものである。多人数参加型仮想空間を情報探索に利用する場合、これらの手法だけでなく、利用者による情報の取捨選択などの要求記述を可能にしなければならない。

本研究では、以下の機能を提供する。

(1) 必要な情報の選択

仮想都市のように異なる目的を持った利用者が多数参加する仮想空間を実現するため、情報提供者は建物や商品等のオブジェクトを大量に用意する。また、このような仮想空間に参加する利用者間で会話等による大量の情報交換がなされる。しかし、特定の目的をもった利用者にとって冗長な情報も多くなる。そこで、利用者が必要な情報だけを選択できなければならない。

(2) 付属情報の操作

仮想空間に参加する利用者は、仮想空間内のオブジェクトから最初に提供される情報

だけでは、情報を十分に獲得できないことが多い。この時、利用者の理解を助けるために、オブジェクトに付属する情報の表示や、他の情報源と組み合わせを利用者が要求できるようにしなければならない。

本稿では、前者の問題について議論する。利用者が必要な情報だけを選択し、独自の仮想空間を獲得するため、属性値などを用いてオブジェクトを選択する。オブジェクトを選択しただけでは獲得した仮想空間を容易に理解できない場合がある。そこで、利用者は、オブジェクトの強調表示などを指定する。利用者独自の仮想空間を獲得することで、効率的な情報収集ができる。

しかし、利用者ごとに仮想空間を獲得した場合、複数の利用者による仮想空間の共有が難しくなる。この問題の解決法として、仮想空間を共有する利用者間で各仮想空間を統合すればよい。その手法として、予め統合する対象を決める静的な手法と、仮想空間中を移動することにより統合や分割を繰り返す動的な手法が考えられる。本稿では、それぞれの手法について述べる。

本稿では、まず例を示し提案手法の効果について述べる。次に、多人数参加型仮想空間を管理するためのデータ型について述べる。各利用者の要求による仮想空間の構築手法と、その手法によって得られる仮想空間の再統合手法について述べ、最後にまとめと今後の課題について述べる。

2. 情報の選択と共有

2.1 利用する情報の選択

仮想空間は、一つの大きな空間を用いて表現されることは少なく、建物の中と外もしくは、部屋ごとに異なる仮想空間として分割されることが多い。仮想空間を分割することで、仮想空間のコンテンツの作成を複数の製作者が分担して作成できる。また、ネットワーク上の複数のサーバによる仮想空間の分散管理が可能となり、利用者からのアクセスを分散できる [2]。

本稿で対処とする仮想空間の例として図1のような仮想商店街を考える。

図1で、各商店と通りは、独立した仮想空間

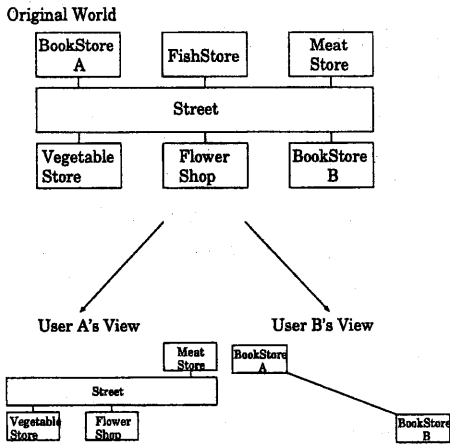


図 1 仮想商店街

である。商店では利用者は店員と交渉して商品を購入し、通りでは利用者同士が情報交換している。また、各商店は通りと接続しているため、利用者は情報収集と商品の購入を効率的にできる。食料品の購入を目的とした利用者 A は、他の利用者からの安売り情報を得るための通りと食糧を扱う商店だけを表示すればよい。また、本の購入を目的とした利用者 B は、目的の本を効率的に探すために、本屋以外の商店やアーケードを表示しなくても良い。この時、利用者 B は、一方の本屋から他方の本屋に直接移動するために、二つの本屋を一時的に接続する。

2.2 利用者間の情報共有

例として、文献などのデータが仮想空間内のオブジェクトとして表現され配置されている仮想空間を考える。この仮想空間では、利用者は、自分の与えた条件に従って仮想空間の状態を変化させ情報探索を対話的に行なう。複数の利用者が協力して情報探索を行なう場合、相談により決めた条件を用いて情報探索すると考えられる。しかし、利用者間の意見の対立で条件選定が困難だったり、利用者間の条件の矛盾などから、思うように情報探索ができない場合がある。このとき、各利用者が個別に仮想空間で情報探索し、ある時点での探索結果を統合する方法を用いた方が、次の情報探索のための条件の選定が容易になることがあると考えられる(図

2).

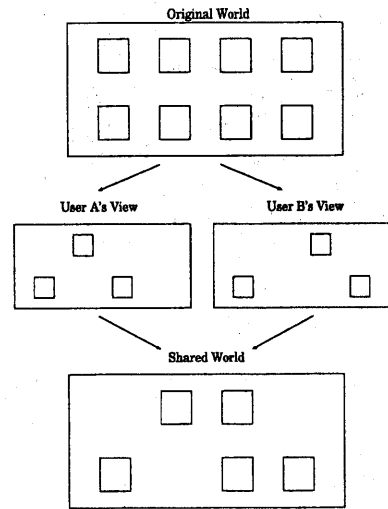


図 2 協調作業による情報探索

この方法を用いることで、利用者ごとの探索結果の比較検討が行なえる。また、利用者が他の利用者に示すオブジェクトを事前を選択できるため、カードゲームなどへの利用が可能である。

3. 仮想空間

3.1 仮想空間の構成

本稿では、仮想空間内で表現される建物などを仮想空間オブジェクト (virtual space object) と呼ぶ。仮想空間 (virtual space) は、仮想空間オブジェクトの仮想空間内での地理的な集まりや、意味的な集まりを管理する。仮想空間には、0 個以上の仮想空間オブジェクトがある(図 3)。二つの仮想空間は道 (path) によって接続されている。道は、論理的な継りを表現し、両端は二つだけである。ただし、仮想空間は複数の道と接続できる。また、仮想空間オブジェクトは、一つ以上の仮想空間に属し、道に属してはならない。

3.2 データ型

仮想空間オブジェクトはそれぞれに異なる動作や属性を持つため、管理にはオブジェクト指向データベースを用いる必要がある。本稿では

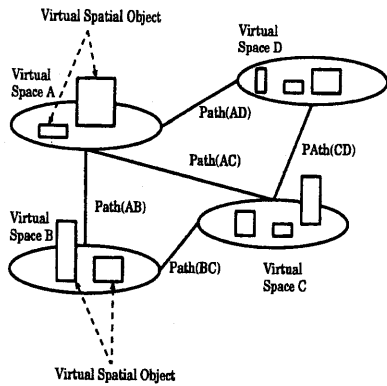


図 3 多人数参加型仮想空間の概念図

以下の型を用いて仮想空間を表現する。

(1) 仮想空間型

仮想空間を管理するための型である。基本的な属性として仮想空間名、ネットワーク上のアドレス、管理している仮想空間に属している仮想空間オブジェクトの名前集合を持つ。

(2) 道型

二つの仮想空間間の継りを管理するための型である。本稿では、仮想空間の接続は、双方向接続と仮定する。基本的な属性として接続する二つの仮想空間名を持つ。

(3) 仮想空間オブジェクト型

仮想空間オブジェクトを管理するための型である。基本的な属性として仮想空間オブジェクト名、所属する仮想空間名、位置、実体、情報交換領域を持つ。実体とは、仮想空間を表示する時に用いる VRML などの画像データである。情報交換領域は 4 節で述べる。

3.3 シーングラフとの対応

VRML は、仮想空間の表示には一般的に広く用いられている [3]。VRML により仮想空間を表現するためのデータ構造は、シーングラフと呼ばれる。シーングラフは木構造であり、各ノードは色や形状などの仮想空間オブジェクトの情報の他に再帰的にノードを持つことができる。従って、表示される仮想空間と、VRML の

シーングラフ、本稿で提案したデータ型は、図 4 のような関係にある。

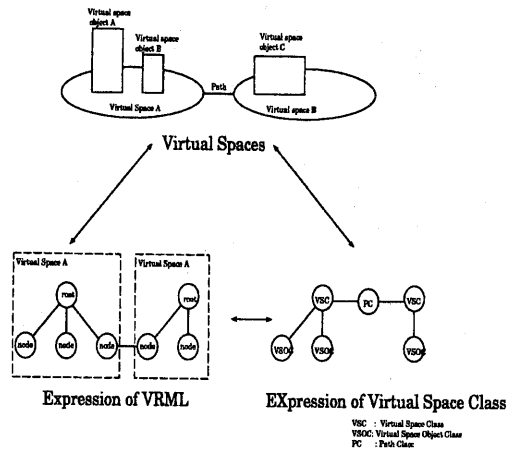


図 4 VRML とクラスの関係

仮想空間型は、各シーングラフのルートを管理している。VRML では、仮想空間の接続はシーングラフ内のアンカノードによって表現されるが、本稿の提案する道型でも管理する。また、仮想空間オブジェクト型は、シーングラフの意味的なまとまり抜きだし、管理する。本稿で提案するデータ型を用いることで、VRML を用いただけでは表現できない仮想空間などの意味を管理することができる。

4. 情報交換領域

著者らは、仮想空間オブジェクト間のコミュニケーション支援を目的とした空間モデルを提案した [4]。そこでは、仮想空間オブジェクトの形状を座標軸に平行で仮想空間オブジェクトの実体に外接している直方体を用いて近似表現し、仮想空間オブジェクトの実体の向きを直方体の 26 近傍を用いて近似している。このモデルを用いると、二つの仮想空間オブジェクトの空間的な関係を、区間代数を用いて容易に求めることができるが、次のような問題がある。

- (1) 仮想空間オブジェクトが回転した場合、直方体の形状を毎回更新しなければならない。

- (2) 仮想空間のオブジェクトの向きによって、向きの近似結果として得られる領域の大きさが異なる。

また、一般に実空間において、人間は隣接してコミュニケーションすることは少なく、ある程度距離を開ける。さらに、コミュニケーションに必要とされる領域は、時間と場所によって変化する。

本稿では、分散仮想環境においてスケーラビリティの保証やアウェアネスを操作するために用いられる空間モデルを新たに導入する [5]。本稿では以下に示す二つの領域を用いる。

- (1) Forcus
ある仮想空間オブジェクトが、他の仮想空間オブジェクトを認識できる領域。
- (2) Nimbus
ある仮想空間オブジェクトが、他の仮想空間オブジェクトから認識される領域。

本稿は、これらの領域を仮想空間での仮想空間オブジェクトの共有判定などに用いる。それぞれの領域は、先に示した空間モデルと同様に座標軸と平行な直方体を用いて表現する (図 5)。

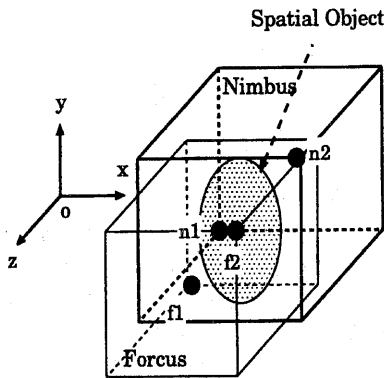


図 5 情報交換領域

図 5 に示す Forcus, Nimbus 領域は、それぞれ原点から最も近い点 f_1 , n_1 と原点から最も遠い点 f_2 , n_2 の 2 点で表現される。Nimbus の更新は、利用者が領域の大きさを変更しない限り、仮想空間オブジェクトの位置の移動に合

わせて平行移動する。Forcus の更新は、仮想空間オブジェクトの向きと関係なく位置の移動に合わせて平行移動する場合と、仮想空間オブジェクトの向きの変化に合わせて領域を更新する場合がある。後者の場合、領域は体積を変えないように直方体の形状を変形させる。これにより、26 近傍を用いた仮想空間オブジェクトの向きの近似より、領域の変化を抑えることができる。また、建物などの静物を表現する仮想空間オブジェクトの Nimbus の初期値は、座標軸に平行で仮想空間オブジェクトに外接する直方体を用いる。

それぞれの領域の大きさは、仮想空間オブジェクトの製作者や利用者が自由に定義できる。Forcus の大きさを 0 にした場合は、建物のような仮想空間オブジェクトから他にインタラクションを行なわないものを表現する。また、Nimbus の大きさが 0 の場合、他からインタラクションを受け付けないことを表すので、透明なオブジェクトを表現できる。ただし、両方の領域の大きさが 0 の場合は、仮想空間オブジェクトそのものが存在しないことを表し意味がないため本稿では扱わない。

5. 空間関連

二つの仮想空間オブジェクトの位置などの関連を表す空間関連は、仮想空間オブジェクトの選択や、利用者間で仮想空間を共有するときの判定に用いる。

本稿では以下の関連を用いる。

- (1) 位相関連
図形の方向や距離によらない基本的な関連である。本稿では、位相関連に Egenhofer が提案した 9-intersection model によって定義した以下の 8 関連を用いる [6]。
disjoint, touch, inside_of, covered_by, contains, covers, overlaps

- (2) 方向関連
二つの仮想空間オブジェクトの方向に基づいた関連である。本稿では、情報交換領域に用いる直方体の各平面に沿って空間を分割したときにできる 26 の近傍領域に関してそれぞれ関連を定義する。

$(directional_relationship) := (x_direction) - (y_direction) -$

$\langle z_direction \rangle$
 $\langle x_direction \rangle := \text{right}|\text{left}|\text{null}$
 $\langle y_direction \rangle := \text{front}|\text{back}|\text{null}$
 $\langle z_direction \rangle := \text{top}|\text{bottom}|\text{null}$

例えば、仮想空間オブジェクト B の前方に仮想空間オブジェクト A があつた場合、 $\text{null-front-null}(A,B)$ と記述し、仮想空間オブジェクト B の右前方に仮想空間オブジェクト A が場合、 $\text{right-front-null}(A,B)$ と記述する。

(3) 距離関連

二つの仮想空間オブジェクトの距離に着目した関連である。距離は対象となる二つの仮想空間オブジェクトの位置を示す点を結ぶ線分の長さを用いる。本稿では関連に、利用者の指定した閾値より低いことを表す *near*、その逆の *far*、及び利用者の指定した範囲内であることを表す *include* を用いる。

位相関連、方向関連の判定には、1次元軸上の2区間関連を記述する区間代数を用いる [7]。判定の手順は、まず対象となる仮想空間オブジェクトの情報交換領域を各座標軸に射影する。次に、射影の結果から得られる区間の関連を求め、各軸の結果の組合せから、3次元の仮想空間上の関連を判定する。この方法を用いることで、情報交換領域の各頂点を個別に比較するより少ない回数で空間関連の判定ができる。また、情報交換領域の時間的変化も含めた関連の判定に拡張できる。

距離関連は、対象となる二つの仮想空間オブジェクト間の距離と利用者の指定した閾値を直接比較することで判定する。

6. 利用者別仮想空間の構築

利用者の要求を反映した仮想空間の構築は、次の2つの段階からなる。

- (1) 仮想空間等の選択
- (2) 表示に関する指定

次節で、各段階について述べる。

6.1 選択

利用者の選択には次の事柄がある。

(1) 仮想空間の選択

仮想空間の選択には、次の二つの方法がある。

(1.1) 属性値を用いた選択

仮想空間名などを用いて仮想空間を選択する。例として”本屋がある仮想空間を選択せよ”などがある。

(1.2) 道を用いた選択

仮想空間間のつながりに着目して仮想空間を選択する。例として、”仮想空間 A から道を3回たどって到達可能な仮想空間をすべて選択せよ”などがある。

(2) 仮想空間オブジェクトの選択

仮想空間オブジェクトの選択には次の方法がある。

(2.1) 属性値と用いた選択

仮想空間オブジェクトクラスに記述された名前などを用いて選択する。例として”名前にデータベースを含む仮想空間オブジェクトを選択せよ”などがある。

(2.2) 空間関連を用いた選択

仮想空間オブジェクト間の位置などの空間関連を用いて選択する。例として”仮想空間オブジェクト A の近くにある仮想空間オブジェクトを選択せよ”などがある。

6.2 表示

仮想空間や仮想空間オブジェクトを選択しただけでは、利用者が意図した仮想空間の構築には不十分であり、利用者は選択した仮想空間等の表示形式を指定することにより、各々が理解しやすい仮想空間を構築できる。

表示の指定は、選択した仮想空間や仮想空間オブジェクトの配置と仮想空間オブジェクトの表示効果の二つがある。

まず、仮想空間の配置は、選択された仮想空間のつながりに従って行なう。この時、二つの仮想空間間のつながりが予め存在した場合は、そのまま用いるが、つながりが存在しなければ利用者が任意に設定するか選択された順に接続することができる。選択された仮想空間オブ

ジェットの配置は、仮想空間の利用者が一人の場合は自由に変更できるが、複数の利用者で共有する場合は、利用者間のコミュニケーションの大きな障害になることがあるため、関係する利用者間で合意がなければ、配置の変更はできない。

表示効果の指定は、利用者が仮想空間オブジェクトをより容易に理解するために必要である。本稿では、利用者は、個々の仮想空間オブジェクトに対し以下の表示効果を指定する。

(1) 詳細度

利用者からの距離に関係なく対象とする仮想空間オブジェクトの形状の詳細度を指定する。

(2) 明るさ

利用者が、対象となる仮想空間オブジェクトの明度の調節や点滅させることを指定する。しかし、仮想空間オブジェクトの色の変更は対象としない。

7. 共有

7.1 仮想空間の共有法

仮想空間を利用者ごとの要求に従って構築した場合、それぞれに表示される仮想空間が異なる。利用者が仮想空間を共有する際に仮想空間を統合しなければならない。本稿では、利用者は、以下の3手法のいずれかを用いて仮想空間を統合する。

(1) 単純統合

関係する利用者ごとの仮想空間の論理和をとる方法である。各利用者の定義した仮想空間のつながりは、重複を取り除いて統合する。仮想空間オブジェクトの配置は、元の仮想空間の初期配置に従う。また、利用者の指定した表示効果は、関係者全員で共有する。この手法を用いた場合、一度にすべての仮想空間オブジェクトを利用者間で共有するため、仮想空間の統合の初めに大量の通信が起きる。

(2) 部分統合

各利用者が操作している仮想空間オブジェクトだけを他の利用者で共有する。仮想空間のつながりは、単純統合と同様に統合す

る。しかし、仮想空間オブジェクトは、利用者の操作しているものだけを共有するので単純統合に比べ統合初期に起きる通信量が少なくても良い。

(3) 優先統合

関係する利用者の中から共有する仮想空間を一つ選び、その仮想空間を利用者全員で共有する。この方法は、ある特定の利用者が指揮をとって協調作業を行なう場合に適している。例えば、研究会での発表や、添乗員が解説しながら行なう観光旅行などが考えられる。

7.2 共有処理の開始状態の指定

利用者は、共有する方法だけでなく、何時、仮想空間の共有処理を実行するかを決めなければならぬ。共有処理には、以下の二つがある。

(1) 静的処理

利用者は、予めどの時点で仮想空間の共有処理を実行するか指定する。

(2) 動的処理

再構成の対象となる仮想空間に参加する利用者の状態が利用者自身で設定した条件を満たした場合、自動的に共有処理を行なう方法である。条件には、次節で述べる情報交換領域を用いる。

7.3 情報交換領域を用いた共有条件

情報交換領域を用いた共有条件では、関係する仮想空間オブジェクトが互いにコミュニケーションを行なうための状態を記述する。条件記述には、空間関連を用いて以下の事柄を指定する。

(1) 各領域の交差

Forcus, Nimbusの各領域が交差するかもしれないかにより図6のような関連がある。

(2) 各領域の方向

各領域に関して方向関連を用いて記述する。

8. まとめ

本稿では、与えられた仮想空間を利用者が理解しやすい仮想空間へ再構成し、各利用者が獲

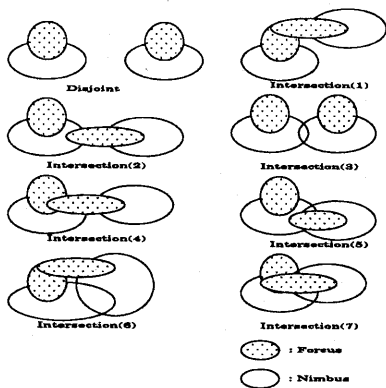


図 6 情報交換領域による共有モデル

得た仮想空間を再度共有するために、複数の仮想空間に分割された仮想空間を管理するデータ型と、仮想空間オブジェクトのコミュニケーションを支援する情報交換領域について述べた。仮想空間の構築では、利用者は仮想空間等の選択と選択した仮想空間オブジェクトなどの表示形式を指定する。また、各利用者独自の仮想空間を共有するため、利用者は共有法と共有処理を実行する状態を指定する。これにより、利用者は自由に協調作業等の環境を構築することができる。

今後の課題は、利用者の構築した仮想空間をどのように保存するのかについて考察する。今後、Java1.2bata3及び、Java3D APIalpha3を用い、OSがSolaris2.5.1のSunSPARCstation20上でプロトタイプを作成する予定である。

謝辞： 植村研究室の皆様には、本稿を作成するにあたり数々の御助言を頂き、感謝いたします。また、神戸大学経済学部の清光英成助手には、本稿を作成するにあたり数々の御助言を頂き、感謝いたします。

参考文献

- [1] Michael R. Macedonia, Michael J. Zyda: "A Taxonomy for Networked Virtual Environments", IEEE Multimedia, vol.4, no.1, pp.48-56, Jan.-March 1997.
- [2] John W. Barrus, Richard C. Waters, David B. Anderson: "Locales: Sup-

porting Large Multiuser Virtual Environments", IEEE Computer Graphics and Applications, p50-57, Nov.1996

- [3] VRML Architecture Group: "VRML2.0", <http://vag.vrml.org/VRML2.0/FINAL/>, Aug. 1996.
- [4] 石川 正敏, 高倉 弘喜, 植村 俊亮: "領域定義による共有仮想空間内での情報交換支援", 情報処理学会データベースシステム研究会, 97-DBS-113, pp. 299 - 304, 1997年, 7月, 札幌.
- [5] Steve Benford, John Bowers, Lennart E. Fahlén et al: "MANAGING MUTUAL AWARENESS IN COLLABORATIVE VIRTUAL ENVIRONMENTS", Proc. of the ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology (VRST'94), Singapore, Aug. 1994
- [6] M. J. Egenhofer: "Point-set topological relations", *Int. Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 5, No. 2, pp. 161-174, Taylor&Francis, 1991.
- [7] Yoshifumi Masunaga: "An Interval-Based Approach to Spatio-Temporal Data Model for Virtual Collaborative Environments", *Proc. Int. Sympo. on Cooperative Database Systems for Advance Applications*, Vol. 2, pp. 341-348, Dec. 5-7, Heian Shrine, Kyoto.