

## Queryball: 没入型 VR システムのための対話的な問合せモデル

渡辺知恵美<sup>†</sup>, 増永良文<sup>‡</sup>, 城和貴<sup>†</sup>

<sup>†</sup>奈良女子大学大学院 人間文化研究科,

<sup>‡</sup>お茶の水女子大学 理学部 情報科学科

**概要:** 本稿では、没入型 VR システムにおける新しい問合せの 1 手法として Queryball を提案する。Queryball は半透明の球体であり、探索条件および探索条件に該当する（または該当しない）オブジェクトに対する表示方法を持つ。ユーザは生成された Queryball を仮想世界のオブジェクトに対して重ね合わせることで、Queryball の中にあるオブジェクトに対して問合せを適用させることができる。また、ボールを持って動かす、大きさを変える、複数の Queryball を組み合わせるなどという直感的な操作により試行錯誤的に問合せを行うことができる。

## Queryball : Interactive Query Model for Immersive VR Systems

Chiemi Watanabe<sup>†</sup>, Yoshifumi Masunaga<sup>‡</sup>, Kazuki Joe<sup>†</sup>

<sup>†</sup>Nara Women's University,

Graduate School of Humanity and Science, Nara-city, Japan

<sup>‡</sup>Ochanomizu University,

Faculty of Science, Department of Information Sciences, Tokyo, Japan

**Abstract:** In this paper, we propose a powerful and convenient querying model, "Queryball", for users to query in immersive VR systems. Queryball is a new style of querying model for intuitive and heuristic query interaction. Queryball, which is a translucent ball, is defined as a quadruple of area specification, search condition, and two types of display methods. The search condition can be applied only to the virtual objects inside of the Queryball. The query results are shown to the user according to the display method. The position and radius of the Queryball changes when the user moves the Queryball interactively with observing the query results.

### 1. はじめに

近年、科学技術データの可視化は必要不可欠な要素となりつつあり、特に 3 次元空間での可視化はウォークスルーによりさまざまな視点からオブジェクトを視認でき直感的に理解しやすいことから、多様な分野で用いられている[3]。没入型 VR システムは可視化結果のなかにユーザが入り込んで結果を見まわす体験ができることから、直感的な理解が得られる重要な可視化ツールとして期待されている[2]。また、最近では単に効果的なプレゼンテーションとして可視化結果を示すだけでなく、「ビジュアルデータマイニン

グ」として既存のモデルでは解明できないデータ間の関連を人間の目と直観力で解明する試みも多く見られるようになっており[4]、ここでも没入型 VR システムは有効であると考えられる。例えば人間の身体に関して様々な分野の研究機関で得られた複数のデータ測定結果やシミュレーション実験結果を VR システムで表示された仮想身体に重ね合わせ、複数の結果を交互に表示したり重ね合わせたりと対話的な分析を行う、いわゆるビジュアルデータマイニングを行うことで各研究者が別々に分析しただけでは得られなかった結果を見つけることができるかもしれない。

そんな時、仮想世界での対話的なデータの呼び出しや条件による表示の絞込み等を行うために、VRシステムからのデータベース検索インタラクション機能が必要不可欠である。

しかしながら、現在没入型VRシステムでの対話的なデータベース検索インタラクションは十分なものが提供されていないのが現状である。なぜならば、没入型VRシステムではキーボードやマウスを用いることができないためデータグローブやスタイラス等を用いた簡単な操作しかできず、問合せ言語を発行することが難しいためである。

そこで我々は、没入型VRシステムにおける問合せモデルとして、シャボン玉というシンプルなメタファによる新たなモデル Queryball を提案し、科学技術データの可視化結果に対するビジュアルデータマイニングツールとして提供することを目指す。ユーザが用いるものは、スタイラスとボードのみであり、スタイラスをストローに、ボードをシャボン玉液の作成容器と見立てたシャボン玉メタファを用いて問合せインタラクションを行う。シャボン玉の大きさ(つまり問合せの適用範囲)の変更は、スタイラスペンをストローに見立ててシャボン玉に空気を入れる、あるいは空気を抜くという感覚で対話的に行い、また探索条件および表示方法はボード上に重ね合わせたGUIを用いて変更する。このような問合せツールが実現されれば、ユーザは没入型VRシステムで、単純な操作でユーザは対話的に問合せを発行しながら、仮想世界に表示された可視化結果に対して積極的に分析を行うことができる。

本稿では Queryball を提案し、Queryball を用いた問合せモデルの定義と初期プロトタイプシステムの実装について述べる。第2章では我々が最終的な目標として考えている Queryball によるビジュアルデータマイニングツールの利用イメージについて述べた後、現在 Queryball による問合せと有効性を実現するために実装中である初期プロトタイプシステムについて述べ、Queryball による問合せ実行例を示す。第3章では Queryball による問合せモデルの定義を行う。第4章では、第2章で示した問合せ例を Queryball 問合せモデルを用いて記述する。

## 2. Queryball

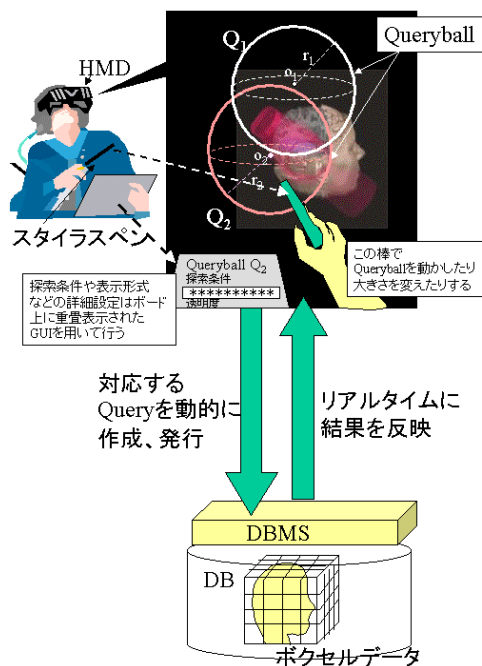
本章では、我々が提案する Queryball の概要について述べる。まず Queryball を用いた問合せとはどのようなものかを示すために、具体的な応用分野として我々が想定しているアプリケーションとシナリオについて2.1節で述べ、2.2節では現在で実装中である初期プロトタイプシステムのシステム構成と、プロトタイプシステムで実行されている Queryball 問合せインタラクションを、例を挙げて説明する。

### 2.1 最終的な目標と利用イメージ

図1は Queryball によるビジュアルデータマイニングシステムの利用イメージである。Queryball を効果的に用いることのできるアプリケーションの1つとして、ここではボクセルデータの構造化支援システムを想定して Queryball を用いたビジュアルマイニングの過程を示す。シミュレーションやCT画像等で得られた3次元データデータを解析するには、得られた結果を意味のあるデータ集合にクラスタリングし構造化する必要がある。構造化には数多くの手法が提案されているが、それらの選定や調節には専門家の視覚的な判断が必要であり、これを支援するために本システムでは Queryball を提供する。具体的には、前処理としてボクセルデータに対して複数の構造化手法を適用し、それぞれの手法における各分類の条件を Queryball の探索条件として割り当てる。例えば3種類の手法でそれぞれ5部位に分割された場合、15種類の Queryball 生成容器が作られ、ユーザはそれらの容器から Queryball を作り出し、動かしたり、大きさを調節したり、それぞれの Queryball の持つパラメタを変更したりしながら、適切な答えを探っていくことができる。この問合せモデルでユーザが用いるものはスタイラスとボードのみであり、スタイラスをストローに、ボードをシャボン玉液の作成容器と見立てて操作を行う。まず、スタイラスについているボタンを押すことで、ストローに息を吹き込むようにシャボン玉状の Queryball が出来上がる。そしてスタイラスを Queryball にくっつけて動かしたり、または再びボタンを押して Queryball を大きくしたり、あるいはしばませたりする、など直感的で分かりやすい操作で Queryball の大きさの変更、

つまりその Queryball による問合せ適用範囲の変更を対話的に行う。また Queryball で適用すべき検索条件および表示形式は、別の手にもっているボード上でシャボン液を作るような感覚で設定する。また、各 Queryball が持つ探索条件および表示形式は、ユーザが実際に手に持っているボードに仮想的に重ね合わせた GUI 画面上で操作する[1]。

このような単純な操作で問合せを発行し、対話的に問合せ内容を変更していくことで、ユーザは仮想世界に表示された可視化結果に対して積極的に分析を行うことができる。シャボン玉というある種の「おもちゃ」をメタファにしているため、ユーザの好奇心を刺激することもでき、ユーザは楽しみながら結果の分析、いわゆる「ビジュアルデータマイニング」ができるであろう。また、これらをプレゼンテーションとして用いることも可能である。発表者および聴衆が同じ空間に入り込み（あるいは発表者のみ仮想空間に没入し、聴衆はディスプレイを通して発表者の視点で仮想世界を覗き込んで良い）、発表者が「この部分に…」といいながら、対象部分に Queryball を重ね合わせて説明していけば、聴衆の興味を引くこともできるだろう。



## 2.2 プロトタイプシステム

Queryball は没入型 VR システムにおける問合せインタラクションとして用いるのが最も有効である。しかし、Web3D 等の簡易型 VR アプリケーションにおいても十分に Queryball を用いた問合せを行うことができる。そこで今回は GUI による簡易 VR アプリケーションで Queryball システムの実装を行った。簡易型 VR アプリケーションは JAVA 言語用の仮想世界構築 API である JAVA3D を用いて実装した。図 2 は Queryball システムのメインウィンドウである。上部の 2 面のウィンドウは仮想世界を表示しており、左上のウィンドウが仮想世界に没入したアバタからみた仮想世界、右上のウィンドウは鳥瞰的に見た仮想世界をそれぞれ表示している。また右上のライトグリーンの円柱は仮想世界にいるアバタの現在位置を示している。

Queryball を作成、移動させたときの処理の流れは、図 1 と同じである。つまり単体の Queryball、または複数の Queryball の重ね合わせからデータベースシステムへの問合せ言語を作成し発行する。クライアントはそれらの結果を受け取った後、問合せの該当したオブジェクト（もしくは該当していないオブジェクト）の強調表示または透明化を行い VR システムに表示させる。以下、単一の Queryball による問合せの実行例と、複数の Queryball の重ね合わせによる問合せ例を実際の実行結果画面を示しながら説明する。

### ・単一の Queryball による問合せの実行例

まず単一の Queryball による問合せの実例で利用した仮想世界と Queryball について述べる。図 2 のように、属性に "val" と "val2" を持つ横 5 個 × 高さ 5 個 × 奥行き 5 個の緑色のボックスが積み重なった空間に対して QueryBall による問合せを行う。Box クラスのオブジェクトは属性 val を持ち、積み重なった角にあたる部分と、左から 2 列目、下から 3 番目、右から 2 番目と下から 3 番目の属性 val の値を 10 以上に設定し、それ以外のオブジェクトは 10 未満の値を持つようにした。図 2 の画面ではこの問合せを行っている。Queryball の問合せ領域内にだけ問合せがかけられており、その結果 val の値が 10 以上であるオブジェクトのみが赤く強調表示され、それ以外

のオブジェクトは見えなくなっているのが分かる。

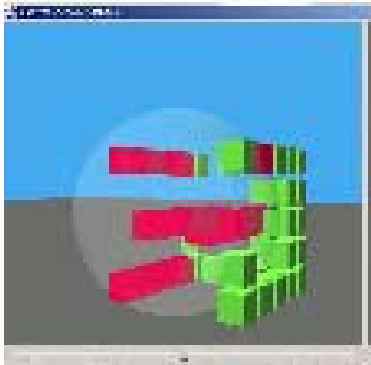


図2 テストアプリケーションのメインウインドウ  
・複数の Queryball による問合せの実例

次は複数の Queryball を次々と重ね合わせて、複雑な問合せを実現していく様子を示す。例として用いる仮想世界では、単一の Queryball による問合せの実例で用いた縦・横・奥行き各 5 個ずつの box を大きな 1 つの箱 Tbox で覆っている状況を考える。Tbox のクラス階層も Box とほぼ同じであり、サーフェスデータにより構成されている。Queryball は以下の 3 つを用意した。

- Q<sub>1</sub>: box を覆っている大きな箱 Tbox を部分的に取り除く。全体の Tbox の大きさを見ながらその中の box を覗き込むことができるように、Tbox を構成する各 Surface に対して問合せをかけ、領域条件に含まれるすべての Surface を透明度 100% にする。
- Q<sub>2</sub>: Tbox の中にある box に対して問合せを適用する。単一の Queryball と同じく属性 val の値が 10 以上であるものを赤く表示させ、それ以外を透明度 100% にする。
- Q<sub>3</sub>: Box の属性 val<sub>2</sub> が 50 以下という探索条件で、Q<sub>2</sub> で得られた結果に対してさらに絞込みをかけていく。

図 3 に Q<sub>1</sub> から Q<sub>3</sub> までを順番に適用していったときの仮想世界の様子を示す。まず、Q<sub>1</sub> をかぶせた部分の Surface を透明にすることで、中に入っていた Box 群をあらわにし、Q<sub>2</sub> を重ね合わせる事で属性 val の値が 10 より大きなオブジェクトだけを赤く強調表示している。Q<sub>3</sub> を重ね合わせることで属性 val<sub>2</sub> の値が 20 より大きいという条件で絞込みをかけている。

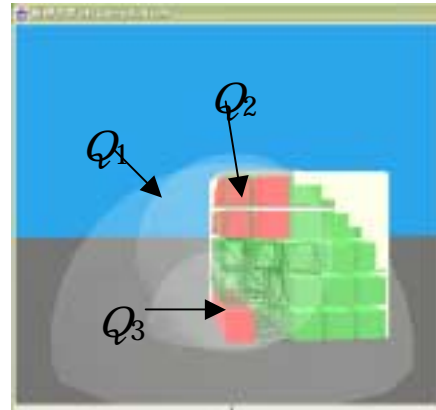


図3 複数の Queryball による問合せの様子

### 3 . Queryball の定義

#### 3.1 単一の Queryball

QueryBall  $Q$  は、 $Q = (B, S, P_s, P_u)$  の 4 つ組みで定義される。ここに、 $B$  は領域条件、 $S$  は探索条件、 $P_s$  は探索条件  $S$  に該当するオブジェクトの表示方法、 $P_u$  は探索条件  $S$  に該当しないオブジェクトの表示方法とする。複数の QueryBall を区別する時は、 $Q$  に添え字を付け、QueryBall  $Q_i$  は、以下のように記述する。

$$Q_i = (B_i, S_i, P_{s_i}, P_{u_i}) \quad (1)$$

QueryBall を中心  $o_1$  と半径  $r_1$  とし、3次元空間内のオブジェクトの中心座標を  $pos$  としたとき、領域条件は  $dist(pos, o_1) < r_1$  となる。

探索対象をコレクションオブジェクトとし、コレクション中にある各オブジェクトのタプル変数を含む一階述語論理式を用いて探索条件を指定する。図2(a)の例でBoxオブジェクトの集合であるBoxesからvalの値が10より大きなBoxを探索条件とする場合は  $S = (b)(Boxes(b) \ b[val] > 10)$  となる。

表示条件  $P_s$  および  $P_u$  は、探索条件結果に該当するオブジェクトの表示方法と該当しないオブジェクトの表示方法を指定する。オブジェクトの表示方法は表示用に定義されたメソッドを用いる。あらかじめ提供されている表示方法としては、強調表示する  $emphasis(color)$ 、オブジェクトの透明度を指定する  $transparency(alpha)$ 、ワイヤースタイル表示にする  $wireframe()$  がある。

例えば、 $val > 10$  に該当するオブジェクトを赤く強調表示し、それ以外のオブジェクトをワイヤースタイル表示する Queryball  $Q_1$  は以下のように表される。

$Q_i = ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1), (b)(\text{Boxes}(b) \quad b[\text{val}] > 10), \text{emphasis}(255, 0, 0), \text{wireframe}())$

### 3.2 2つのQueryBallの重ね合わせ

本システムでは単一のQueryballによって最も単純な問合せを適用し、さらに複数のQueryBallを重ね合わせて行くことで対話的に問合せの絞り込みや結果の重畳表示をする。つまりQueryballを重ね合わせるという単純な行為により、より複雑でユーザの意図に合致した問合せを発行し、その結果を表示することができる。

図4の(a)のようにQueryBall  $Q_i$ とQueryBall  $Q_j$ を重ね合わせた状態を次のように定義する。

$$Q_i \quad Q_j = (Q_i - Q_j) \cup (Q_j - Q_i) \cup (Q_i \cap Q_j) \quad (2)$$

ここに、 $Q_i - Q_j$ 、 $Q_j - Q_i$ 、 $Q_i \cap Q_j$ は図4の(2)、(3)、(4)に対応している領域であり、このような、単一のQueryballまたは複数のQueryballの重ねあわせによってできる領域を「問合せ領域」とよび次のように定義する。

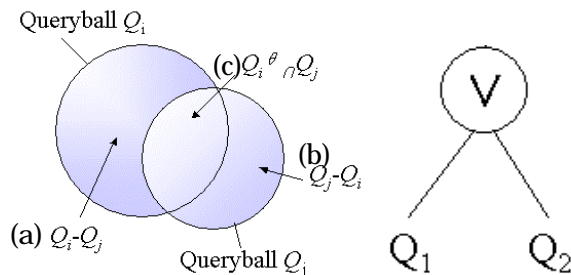


図4  $Q_i \quad Q_j$  (仮)

#### 【問合せ領域】

単一のQueryballまたは複数のQueryballによってできる問合せ領域 $R$ は、単一の領域条件 $B$ と複数の探索条件と表示方法のからなり、以下のよう記述する。

$$R = (B, (S_1, P_{S_1}), \dots, (S_{n-1}, P_{S_{n-1}}), (S_n, P_u)) \quad (3)$$

単一のQueryball  $Q_i = (B_i, S_i, P_{S_i}, P_{u_i})$ は、探索条件と表示条件をただ1つだけ持つ特殊な問合せ領域であり、問合せ領域として表現すると以下のようなになる。

$$R_i = (B_i, (S_i, P_{S_i}), (\neg S_i, P_{u_i})) \quad (4)$$

Queryball  $Q_i$ とQueryball  $Q_j$ の重ねあわせによってできた3種類の問合せ領域 $Q_i - Q_j$ 、 $Q_j - Q_i$ 、 $Q_i \cap Q_j$ はそれぞれ以下のように定義される。

- $Q_i - Q_j$   
領域条件： $B_i \quad \neg B_j$   
探索条件と表示方法： $(S_i, P_{S_i}), (\neg S_j, P_{u_j})$   
 $Q_j - Q_i$ も同様に定義される
- $Q_i \cap Q_j$   
領域条件： $B_i \quad B_j$   
探索条件と表示条件：探索条件 $S_1$ と $S_2$ の種類が重なるため、2つの探索条件の論理和( )または、論理積( )のどちらかを指定する。  
・ $Q_i \cap Q_j$ における探索条件と表示方法：  
論理和による球の重ね合わせは、問合せ結果の重畳表示として表す。つまり $Q_i$ の探索条件および表示方法と $Q_j$ の探索条件および表示方法の両方をそのまま採用する。しかし、以下の2点注意すべきことがある。

1.  $S_i$ もしくは $S_j$ のどちらか一方に該当するオブジェクトがもう一方の探索条件に合致しないがために表示条件 $P_u$ が適用されてしまう場合がある。
2.  $S_i$ と $S_j$ の両条件に該当するオブジェクトがあり、それらのオブジェクトに対する表示条件を考える必要がある。

まず1点目を解決するために $Q_i \cap Q_j$ における探索条件と表示条件を以下のように表すこととした。

$$(S_i, P_{S_i}), (S_j, P_{S_j}), (\neg (S_i \cap S_j), P_{u_i}) \quad (5)$$

ここでは $S_i$ と $S_j$ のどちらも満たさないものに $P_{u_i}$ を適用するようにしている。さらに、2点目に関しては、式(5)を以下のように拡張し、どちらの条件をも満たすオブジェクトは、 $P_{S_1}$ と $P_{S_2}$ のどちらでもない強調表示方法をシステムが自動的に提供するものとする。

$$(S_i, \neg S_j, P_{S_i}), (S_j, \neg S_i, P_{S_j}), (S_i \cap S_j, P_{S_k}), (\neg (S_i \cap S_j), P_{u_i}) \quad (6)$$

$P_{S_k}$ はシステムが自動的に提供し後にユーザが自由に変更可能とする。なお式(6)のように定義することにより、問合せ領域における各探索条件は双方同時に満たすオブジェクトがないという性質を持つことになる。

・ $Q_i \cap Q_j$ における探索条件と表示方法：  
論理積による球の重ね合わせは、探索条件の絞り込みとして表す。表示方法については、球の生成時に表示優先順位を付けて、優先順序の早いほうの表示方法を適用する。なお、優

先順位についてはユーザが自由に変更可能とする。つまり、 $Q_1$ の方が $Q_2$ より優先順位が高い場合、探索条件および表示条件は

$$(S_1 \ S_2, P_{S_1}), (\neg(S_1 \ S_2), P_{U_1}) \quad (7)$$

となる。

### 3.3 3つ以上の QueryBall の重ね合わせ

次に3つ以上のQueryballの重ね合わせについて定義する。n個のQueryballを重ね合わせる場合、最大  ${}_n C_1$  種類の間合せ部分領域ができる。例えば、図5(a) にあらずような3つのQueryballによる重ね合わせの場合、それらがすべて互いに重なり合っていた場合は7種類の間合せ部分領域ができています。ここで、3つ以上のQueryballを重ね合わせる場合、間合せ部分領域での探索条件および表示条件においてQueryball同士の重ね合わせの順序が重要となるため、Queryballの重ね合わせの順序関係を木構造で表し保存する。

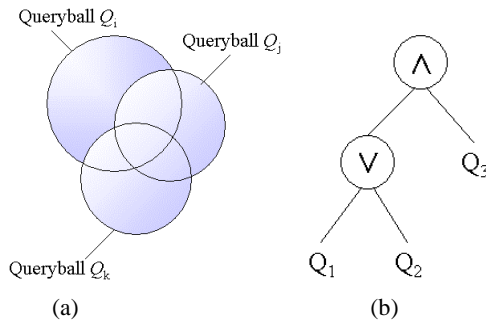


図5 ( $Q_1 \ Q_2$ )  $Q_3$

例えば、図7(a)は $Q_1$ と $Q_2$ を論理和で重ね合わせたあと、それに対して $Q_3$ を論理積で重ね合わせたもの ( $Q_1 \ Q_2$ )  $Q_3$ とあるとする。このとき重ね合わせの順序関係を図7(b)に示すような木構造で保存しておく。そしてこの木構造に基づいて各間合せ領域における探索条件および表示条件の導出を行う。例えば、 $Q_1$ と $Q_3$ による間合せ領域( $(Q_1 \ Q_3) - Q_2$ )の場合、木構造で $Q_1$ と $Q_3$ が共有する親ノードをたどると $Q_1$ と $Q_3$ は論理積( $\wedge$ )で結合されていることが分かる。そこでこの間合せ領域は次のように表すことができる。

- 領域条件:  $B_1 \ B_3 \ \neg B_2$
- 探索条件および表示方法:  $(S_1 \ S_3, P_{S_1}), (\neg(S_1 \ S_3), P_{U_1})$

また、3個以上のQueryballを組み合わせた場合、Queryball同士の重ね合わせだけでなく、( $Q_1 \ Q_3$ )  $Q_2$ のように間合せ領域とQueryballもしく

は間合せ領域同士の重ね合わせも生じる。これらの探索条件および表示方法の導出は基本的には3.2節で述べたQueryball同士の重ね合わせと同じであるが、それらをより一般化した定義として、間合せ領域 $R_1 = (B_1, (S_{11}, P_{11}), \dots, (S_{1(m-1)}, P_{1(m-1)}), (\neg S_{1m}, P_{1m}))$  と $R_2 = (B_2, (S_{21}, P_{21}), \dots, (S_{2(n-1)}, P_{2(n-1)}), (\neg S_{2n}, P_{2n}))$ における重ね合わせ部分の間合せ領域 $R_1 \ R_2$ を次のように表す。

= (論理和)の場合、 $R_1 \ R_2$ は $R_1$ の間合せ結果と $R_2$ の間合せ結果の重畳表示であると考え、探索条件および表示方法を以下のように表す。

$$R_1 \ R_2 = (B_1 \ B_2, (S_{11} \ \neg(S_{21} \ \dots \ S_{2(n-1)}), P_{11}), \dots, (S_{1(m-1)} \ \neg(S_{21} \ \dots \ S_{2(n-1)}), P_{1(m-1)}), (S_{21} \ \neg(S_{11} \ \dots \ S_{1(m-1)}), P_{21}), \dots, (S_{2(n-1)} \ \neg(S_{11} \ \dots \ S_{1(m-1)}), P_{2(n-1)}), (S_{11} \ S_{21}, P_{31}), \dots, (S_{1i} \ S_{2j}, P_{3k}), \dots, (S_{1m} \ S_{2n}, P_{3(m \times n)}), (\neg(S_{11} \ \dots \ S_{1n} \ S_{21} \ \dots \ S_{2n}), P_{1m})) \quad (8)$$

= (論理積)の場合、 $R_1 \ R_2$ は $R_1$ の間合せ結果に対する $R_2$ の探索条件による絞込みであると考え、探索条件および表示方法を以下のように表す。

$$R_1 \ R_2 = (B_1 \ B_2, ((S_{11} \ S_{21}) \ \dots \ (S_{11} \ S_{2(n-1)}), P_{11}), \dots, ((S_{1m} \ S_{21}) \ \dots \ (S_{1(m-1)} \ S_{2(n-1)}), P_{1(m-1)}), (\neg((S_{11} \ S_{21}) \ \dots \ (S_{11} \ S_{2(n-1)}) \ \dots \ (S_{1i} \ S_{2j}) \ \dots \ (S_{1m} \ S_{2n})), P_{1n})) \quad (9)$$

以上の定義を元に、 $Q_1, Q_2, Q_3$ の3つのQueryballによって作られた、7種類の間合せ部分領域からなる ( $Q_1 \ Q_2$ )  $Q_3$ は次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} & (Q_1 \ Q_2) \ Q_3 \\ & = (Q_1 - Q_2 - Q_3) \text{ UNION } (Q_2 - Q_1 - Q_3) \text{ UNION } (Q_3 - Q_1 - Q_2) \\ & \text{ UNION } ((Q_1 \ Q_2) - Q_3) \text{ UNION } ((Q_1 \ Q_3) - Q_2) \text{ UNION } \\ & ((Q_2 \ Q_3) - Q_1) \text{ UNION } ((Q_1 \ Q_2) \ Q_3) \\ & = (B_1 \ \neg B_2 \ \neg B_3, (S_1, P_{S_1}), (\neg S_1, P_{U_1})) \\ & \text{ UNION } (B_2 \ \neg B_1 \ \neg B_3, (S_2, P_{S_2}), (\neg S_2, P_{U_2})) \\ & \text{ UNION } (B_3 \ \neg B_1 \ \neg B_2, (S_3, P_{S_3}), (\neg S_3, P_{U_3})) \\ & \text{ UNION } (B_1 \ B_2 \ \neg B_3, (S_1 \ \neg S_2, P_{S_1}), (S_2 \ \neg S_1, P_{S_2}), \\ & (S_1 \ S_2, P_{S_4}), (\neg(S_1 \ S_2), P_{U_1})) \\ & \text{ UNION } (B_1 \ B_3 \ \neg B_2, (S_1 \ \neg S_3, P_{S_1}), (S_3 \ \neg S_1, P_{S_2}), \\ & (S_1 \ S_3, P_{S_5}), (\neg(S_1 \ S_3), P_{U_1})) \\ & \text{ UNION } (B_2 \ B_3 \ \neg B_1, (S_2 \ \neg S_3, P_{S_1}), (S_3 \ \neg S_2, P_{S_2}), \\ & (S_2 \ S_3, P_{S_6}), (\neg(S_2 \ S_3), P_{U_1})) \\ & \text{ UNION } (B_1 \ B_2 \ B_3, (S_1 \ S_3, P_{S_1}), (S_2 \ S_3, P_{S_2}), (\neg((S_1 \end{aligned}$$

S<sub>3</sub>) S<sub>3</sub>), Pu<sub>1</sub>)

## 4. Queryball による問合せの実例

2.2 節の図 4 で示した複数の Queryball による問合せを記述する。各々の Queryball による問合せは以下のように記述される。

$$Q_1 = ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1), (t)(s), \\ (\text{Tbox}(t), \text{Surface}(s), t[\text{surfaces}] = s), \text{transparency}(100)), \\ Q_2 = ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2, (b)(\text{Boxes}(b) \\ b[\text{val}] > 10), \text{emphasis}(255, 0, 0), \text{transparency}(100)) \\ Q_3 = (\text{dist}(pos, o_3) < r_3, (b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] < 50), \\ \text{emphasis}(255, 0, 0), \text{transparency}(100))$$

この例では、 $Q_1$ を用いてTboxを部分的に取り除いたのち、 $Q_2$ を被せる事で属性値が10以上のオブジェクトだけを赤く強調表示させている(図3)。このとき $Q_1$ による問合せ結果と $Q_2$ による問合せ結果は重畳表示の関係にあるので、重ね合わせによる問合せ領域 $Q_1 \cup Q_2$ は次のように表される。

$$Q_1 \cup Q_2 \\ = (\text{dist}(pos, o_1) < r_1 \wedge \text{dist}(pos, o_2) < r_2, ((b)(\text{Boxes}(b) \\ b[\text{val}] > 10), \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((s)(t)(b)(\text{Tbox}(t) \\ \text{Surface}(s) t.\text{surfaces} = s \text{ Boxes}(b) b[\text{val}] > 10), \\ \text{transparency}(100))$$

さらに $Q_3$ を重ね合わせることによって探索条件を絞り込んでいる。このとき $Q_3$ は $Q_2$ の結果を絞り込む目的で重ねているため問合せ領域は $(Q_1 \cup Q_2) \cap Q_3$ となり具体的に次のように表される。

$$(Q_1 \cup Q_2) \cap Q_3 \\ = ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2 \\ \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_3) < r_3), ((s)(t)(b)(\text{Tbox}(t) \text{Surface}(s) \\ t[\text{surfaces}] = s), \text{true}), \text{transparency}(100))) \\ \cup ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1 \\ \wedge \text{dist}(pos, o_3) < r_3), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 10), \\ \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 10), \\ \text{transparency}(100))) \\ \cup ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_3) < r_3 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1 \\ \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 50), \\ \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 50), \\ \text{transparency}(100))) \\ \cup ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2 \\ \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_3) < r_3), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 10), \\ \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((s)(t)(b)(\text{Tbox}(t) \text{Surface}(s) \\ \text{Boxes}(b) t[\text{surfaces}] = s b[\text{val}] > 10), \\ \text{transparency}(100))) \\ \cup ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_3) < r_3 \\ \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 50), \\ \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((s)(t)(b)(\text{Tbox}(t) \text{Surface}(s)$$

$$\text{Boxes}(b) t[\text{surfaces}] = s b[\text{val}] > 50), \\ \text{transparency}(100))) \\ \cup ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_3) < r_3 \\ \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] > 10 \\ b[\text{val}] > 50), \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] < 50 \\ b[\text{val}] > 10), \text{emphasis}(255, 0, 0)), ((b)(\text{Boxes}(b) \\ b[\text{val}] < 50 b[\text{val}] > 10), \text{emphasis}(255, 255, 0)), \\ ((b)(\text{Boxes}(b) (b[\text{val}] > 50 b[\text{val}] > 10), \\ \text{transparency}(100))) \\ \cup ((e)(\text{dist}(e[\text{pos}], o_1) < r_1 \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_2) < r_2 \\ \wedge \text{dist}(e[\text{pos}], o_3) < r_3), ((b)(\text{Boxes}(b) b[\text{val}] < 50 \\ b[\text{val}] > 10), \text{emphasis}(255, 255, 0)), ((s)(t)(b)(\text{Tbox}(t) \\ \text{Surface}(s) \text{Boxes}(b) t[\text{surfaces}] = s \text{Boxes}(b) \\ (b[\text{val}] > 50 b[\text{val}] > 10), \text{transparency}(100)))$$

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、没入型VRシステムでの対話的な問い合わせを実現するための新たなインタラクションモデルとして、Queryballという半透明の球の重ね合わせによる問合せ手法を提案し、そのモデル化を行った。この手法では、ユーザは球の重ね合わせで問合せを表現するため、球を動かしたり、大きさを変更したりという単純な操作で仮想世界に表示されたオブジェクトの分析を対話的に行うことができる。本稿では例としてあげた仮想世界を抽象的なものにしたが、今後の課題として具体的なアプリケーションに適用する必要がある。また、各球の検索条件をユーザが与えるのは難しいため、前処理として仮想世界オブジェクトのクラスタリング等を行うことによって適切な検索条件を持つQueryballを自動的に生成することを検討している。

## 参考文献

- [1] D. Bowman and L. Hodges: User Interface Constraints for Immersive Virtual Environment Applications, Graphic, Visualization and Usability Center Technical Report GIT-GVU-95-26(1995).
- [2] S. Bryson: Virtual reality in scientific visualization, in Comm. of the ACM, 39(5), pp. 62-72 (1996).
- [3] P. Cignoni, E. Puppo, R. Scopigno: Representation and Visualization of Terrain Surfaces at Variable Resolution, The Visual Computer, 13(5), pp.199-217(1997).
- [4] D. A. Keim, H. P. Kriege: Visualization Techniques for Mining Large Databases: A Comparison, Transactions on Knowledge and Data Engineering, Special Issue on Data Mining, pp. 923--938 (1996).