

仮想世界データベースシステムにおける マルチモーダル問合せ言語の開発

矢野 ナホコ[†] 横川 明子[†] 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

‡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, acco}@db.is.ocha.ac.jp, ‡ masunaga@is.ocha.ac.jp

あらまし 我々は VR システムに特有な機能をデータベースに取り入れた新世代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。本研究では、VWDB のさらなる機能拡張に向け 3 次元データベース空間におけるマルチモーダル (音声とマウスによる入力) 問合せ言語を開発する。ユーザからの音声入力をルール認識により問合せ言語に変換することで、SQL のような問合せ言語を意識することなく、より実世界に近い自然なインタラクションで VWDB への問合せを実現する。

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, マルチモーダル, 問合せ言語

Development of a Multi-modal Query Language for the Virtual World Database System

Nahoko YANO[†] Akiko YOKOGAWA[†] and Yoshifumi MASUNAGA[‡]

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

‡ Faculty of Science, Ochanomizu University 2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-8610 Japan

E-mail: † {nahoko, acco}@db.is.ocha.ac.jp, ‡ masunaga@is.ocha.ac.jp

Abstract The Virtual World Database System (VWDB) is currently under development at Ochanomizu University. This system proposed as a novel database system that has a variety of VR system features. The prototype provides transaction management for shared work environment. It would be said that our concept of making virtual world a database system has been materialized gradually. Toward the further development of VWDB, in this paper, we propose a multi-modal query language for querying VWDB with mouse and voice input. In the virtual world database space, the user can issue a variety of queries with natural interaction.

Keyword VWDB, 3D-spatial database, virtual world, virtual reality, multi-modal, query language

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パ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ている。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 の概念をデータベースに取り入れた新世代デ

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。これまで、VWDB データベーススキーマ言語の定義 [3] や共同作業に向けたトランザクション管理の研究 [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、肝心の問合せ機能のモデル化と実装はまだまだ行われていない。そこで本研究では、VWDB のさらなる機能拡張に向け 3 次元データベース空間におけるマルチモーダル (音声とマウスによる入力) 問合せ言語を開発する。ユーザからの音声入力をルール認識により問合せ言語に変換することで、SQL のような問合せ言語を意識することなく、より実世界に近い自然なイ

インタラクションで VWDB への問合せを実現する。

以下、2章では VWDB システムについて、3章では VWDB における空間関係の表現・格納法について、4章では本研究で開発するマルチモーダル問合せ言語の設計について述べ、5章ではマルチモーダル問合せ処理について、6章で実装結果を示し、7章でまとめと今後の課題について述べる。

2. VWDB システム

VWDB のシステム構成やスキーマは問合せ処理とも深くかかわるので本章で論じる。

2.1. システム構成

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 (Networked 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[3,4]。

2.2. VWDB スキーマ

VWDB では仮想世界および仮想世界オブジェクトの生成をこれまでのデータベースと同様にスキーマレベルで行う。VWDB における仮想世界オブジェクトおよび仮想世界データベースのモデリングは基本的にオブジェクト指向設計手法に基づいて設計されている。仮想世界オブジェクトは、3次元空間における位置、姿勢の空間的属性、名前や所有者などの非空間的属性と、形状属性を持つ。VWDB では、仮想世界オブジェクトのスキーマを「カテゴリ」とする。カテゴリはクラス概念を継承する。全てのカテゴリに継承されるルートカテゴリを「VWDB カテゴリ」とする。VWDB カテゴリでは、全ての仮想世界オブジェクトが持つ識別子と位置属性や姿勢属性が定義されており、全てのカテゴリは VWDB カテゴリを継承し、さらに非空間的属性と形状属性をもつ。形状属性は継承せず、カテゴリごとに定義する。

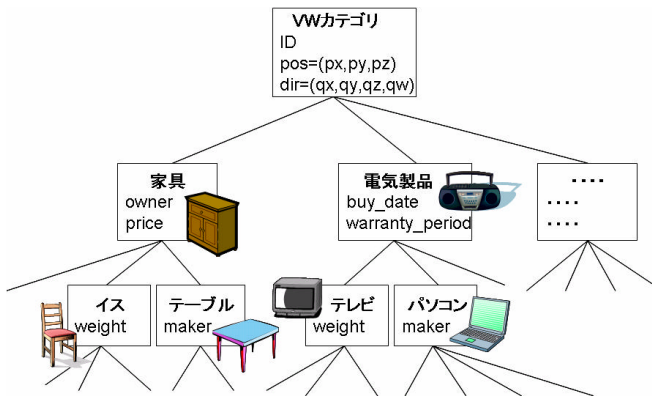


図 1: VWDB スキーマ

図 1 にカテゴリ階層の一例を示す。例えば、イスカテゴリの属性は、スーパーカテゴリから継承した (ID, pos, dir, owner, price) に (weight) を加えた (ID, pos, dir, owner, price, weight) と図 1 に示される形状属性となる。このように関係づけられたカテゴリ階層が、VWDB データベースのスキーマとなる。仮想世界オブジェクトはカテゴリのインスタンスとして生成されるので、「イス」や「テーブル」といったセマンティクスを持ちあわせる。

3. VWDB における空間関係

実世界さながらの VWDB 空間で、ユーザは目の前に存在するオブジェクトに様々な問合せを発行したいであろう。我々は VWDB における問合せとして「所有者が A さんのものは？」といった非空間的属性に関する問合せと、「机の中にあるものは何ですか？」といった空間関係に関する問合せを想定する。非空間的属性に関する問合せを処理するには、オブジェクトを格納しているカテゴリリレーションを使用すればよい。一方、空間関係に関する問合せを処理するには、新たなりレーションを用意する必要がある。そこで本章では、空間関係の問合せを行う前提として、オブジェクト間の空間関係をどのように表現し格納・保持するかについて論じる。

3.1. 空間関係の表現

VWDB 空間は 3次元空間であるので、オブジェクト間の空間関係に関する様々な問合せが想定される。我々は、VWDB における空間関係の問合せとして、空間関係の 3大要素[7]として挙げられる距離・方向・位相と、さらにアバタからの可視性を判断する 4種類 of 問合せを想定する。空間関係は以下のように 3項組または 4項組の述語で表現する。

距離: $Distance(O_A, O_B, dis)$

方向: $Direction(O_A, O_B, dir)$

位相: $Topology(O_A, O_B, top)$

可視性: $Visibility(A, O_B, vis)$

ここに、 O_A : 基点オブジェクト、 O_B : 対象オブジェクト、 A : アバタ、 dis : 比較演算子 ($=, <, >$)、 dis : 距離 (数値)、 dir : $\overline{O_A O_B}$ 、 top : 位相 ($meet, disjoint, inside, contains$)、 vis : $true / false$ 。

3.2. 空間関係の格納

VWDB で空間関係を問合せする前提として、ある時刻における仮想世界の状態をあらかじめデータベースに格納しておく必要がある。まず $Distance(O_A, O_B, dis)$ の格納について考える。が "=" 以外の場合、 dis は無限に存在し格納不可能である。例えば O_A と O_B の距離

を a とし $\text{Distance}(O_A, O_B, <, dis)$ の格納を考えた場合の dis は、 $dis = \{ x \mid x(a,) \}$ で無限個である。そこで $\text{Distance}(O_A, O_B, =, dis)$ を満たす $\text{Distance}(O_A, O_B, dis)$ を Distance リレーションに格納する。方向関係、位相関係については 3 項組をそのまま格納するものとし、空間関係リレーションのスキーマは下記の通りである。

距離： $\text{Distance}(O_A, O_B, dis)$
 方向： $\text{Direction}(O_A, O_B, dir)$
 位相： $\text{Topology}(O_A, O_B, top)$

なお、VWDB ではアバタは頻繁に位置を変更、向きも変えるものと仮定し、アバタの空間的情報は格納しないので可視性に関するリレーションは用意しない。

3.3. 空間関係の保持

オブジェクトが生成・移動・削除され仮想世界オブジェクトを格納しているカテゴリリレーションに挿入・更新・削除が行われた場合は空間関係も変化するため、空間関係のリレーションも更新しなければならない。我々は、これをトリガ機能で行う。

(a) **挿入** VWDB でオブジェクトが新たに生成され、任意のカテゴリリレーションに挿入が行われた場合、トリガ機能でそのオブジェクトと既存する全てのオブジェクトとの空間関係を計算し空間関係リレーションに挿入を行う。

(b) **更新** VWDB でオブジェクトが移動され、任意のカテゴリリレーションに位置更新が行われた場合、トリガ機能でそのオブジェクトと既存する全てのオブジェクトとの新たな空間関係を計算し、空間関係リレーションに更新を行う。

(c) **削除** VWDB でオブジェクトが削除され、任意のカテゴリリレーションから削除された場合、トリガ機能でそのオブジェクトと既存する全てのオブジェクトとの空間関係を空間関係リレーションから削除する。

4. VWDB におけるマルチモーダル問合せ言語の設計

VWDB では、述語論理をもとにした体系で問合せを表現し、それを満足する集合を問合せ結果とする。本章では、VWDB における空間関係の問合せと非空間的属性の問合せのマルチモーダル問合せ言語の設計について論じる。

4.1. 空間関係の問合せ

空間関係の問合せ述語として、空間関係の 3 大要素 [7] として挙げられる距離・方向・位相と、さらにアバタからの可視性を判断する問合せを下記のとおり定義する。なお、自分のアバタは基点オブジェクトの一つとして扱い、他人のアバタは、基点オブジェクトある

いは対象オブジェクトの一つとして扱う。ユーザは自分の視点から問合せを行うであろうと想定し、自分のアバタは対象オブジェクトにはしない。

4.1.1. 距離 (Distance)

問合せ例 1) 私から 5m 以内にあるものは？

$\text{Distance}(A, ?, , 5)$

問合せ例 2) O_A と O_B の距離は？

$\text{Distance}(O_A, O_B, =, ?)$

距離に関するプリミティブな問合せとは、述語 Distance のみを使って定義される問合せとすると、下記の 15 種類が考えられる。

- (1) $\text{Distance}(O_A, O_B, , ?)$
- (2) $\text{Distance}(O_A, O_B, ?, dis)$
- (3) $\text{Distance}(O_A, ?, , dis)$
- (4) $\text{Distance}(?, O_B, , dis)$
- (5) $\text{Distance}(O_A, O_B, ?, ?)$
- (6) $\text{Distance}(O_A, ?, , ?)$
- (7) $\text{Distance}(?, O_B, , ?)$
- (8) $\text{Distance}(O_A, ?, ?, dis)$
- (9) $\text{Distance}(?, O_B, ?, dis)$
- (10) $\text{Distance}(?, ?, , dis)$
- (11) $\text{Distance}(O_A, ?, ?, ?)$
- (12) $\text{Distance}(?, O_B, ?, ?)$
- (13) $\text{Distance}(?, ?, , ?)$
- (14) $\text{Distance}(?, ?, ?, dis)$
- (15) $\text{Distance}(?, ?, ?, ?)$

しかし、この中で結果が無限に存在する問合せを除去して、次の 10 個が距離に関する意味のあるプリミティブな問合せ(これを MPQ: meaningful primitive queries といおう)ということにする。

- (dis-1) $\text{Distance}(O_A, O_B, =, ?)$
- (dis-2) $\text{Distance}(O_A, O_B, ?, dis)$
- (dis-3) $\text{Distance}(O_A, ?, , dis)$
- (dis-4) $\text{Distance}(?, O_B, , dis)$
- (dis-5) $\text{Distance}(O_A, ?, =, ?)$
- (dis-6) $\text{Distance}(?, O_B, =, ?)$
- (dis-7) $\text{Distance}(O_A, ?, ?, dis)$
- (dis-8) $\text{Distance}(?, O_B, ?, dis)$
- (dis-9) $\text{Distance}(?, ?, , dis)$
- (dis-10) $\text{Distance}(?, ?, =, ?)$

4.1.2. 方向 (Direction)

問合せにおける方向パラメタは、絶対座標(ワールド座標)を基準にした東/西/南/北/北東/北西/南東/南西/天頂/天底と、アバタの視点(ローカル座標)を基準にした前/後/左/右/右前/左前/右後/左後/上/下のうちの

一つとする .

問合せ例 3) 私の前にあるものは ?

Direction (A, ?, F)

問合せ例 4) OA と OB の方向関係は ?

Direction (OA, OB, ?)

下記の 7 種類が , 方向に関する MPQ である .

- (dir-1)Direction(OA,OB,?)
- (dir-2)Direction(OA,?,dir)
- (dir-3)Direction(?,OB,dir)
- (dir-4)Direction(OA,?,?)
- (dir-5)Direction(?,OB,?)
- (dir-6)Direction(?,?,dir)
- (dir-7)Direction(?,?,?)

4.1.3. 位相 (Topology)

問合せ例 5) OA の中にあるものは ?

Topology (OA, ?, contains)

下記の 7 種類が位相に関する MPQ である .

- (top-1)Topology(OA,OB,?)
- (top-2)Topology(OA,?,top)
- (top-3)Topology(?,OB,top)
- (top-4)Topology(OA,?,?)
- (top-5)Topology(?,OB,?)
- (top-6)Topology(?,?,top)
- (top-7)Topology(?,?,?)

4.1.4. 可視性 (Visibility)

問合せ例 6) A さんから見えているものは ?

Visibility (A, ?, true)

下記の 7 種類が可視性に関する MPQ である .

- (vis-1)Visibility(A,OB,?)
- (vis-2)Visibility(A,?,vis)
- (vis-3)Visibility(?,OB,vis)
- (vis-4)Visibility(A,?,?)
- (vis-5)Visibility(?,OB,?)
- (vis-6)Visibility(?,?,vis)
- (vis-7)Visibility(?,?,?)

以上 , Distance, Direction, Topology, Visibility の 31 の問合せを , VWDB の空間関係の MPQ とする .

4.2. 非空間的属性の問合せ

オブジェクトのカテゴリを A とし , A の非空間的属性のスキーマを A (A1 , A2 , ... , An) とする . A1 , A2 , ... , An に対して条件指定したい属性には条件を , 所望する属性には " ? " を , それ以外の属性には " - " を指定する . これを非空間的属性の問合せ述語とする .

問合せ例 7) 所有者が太郎さんの机の値段は ?

Table ("Taro", ?, -)

例 7 では机カテゴリのスキーマは Table(owner, price, maker)とする . このように 1 つのカテゴリ名 (Table) と , 0 個以上の条件 (owner="Taro") および 0 個以上の属性値名 (price=?) で表現される問合せを VWDB の非空間的属性の単純質問とする .

5. マルチモーダル問合せ処理

本章では , 前章で定義した VWDB の空間関係の MPQ と非空間的属性の単純質問を , どのようにマルチモーダルで行うかについて述べる .

5.1. 音声認識方式

VWDB のマルチモーダル問合せは , 通常のディスプレイに表示された VWDB 空間を視ながら音声入力とマウス入力で行う . オブジェクトの指定は音声入力と同期したマウス操作で行い , 音声認識はルール認識方式で行う . ルール認識方式とは事前に語彙辞書に登録したセンテンスのみを音声エンジンが認識する方法であり , 発話内容の意味を的確にとらえることができ , 音声コマンドによる制御や効率的な情報検索に向いている . VWDB における問合せを考えた場合 , 使用されるキーワードが限定されるため , ディクテーション認識による複雑な自然言語処理を行うより , ルール認識方式の方が的確かつ効率的に処理できると考えられる .

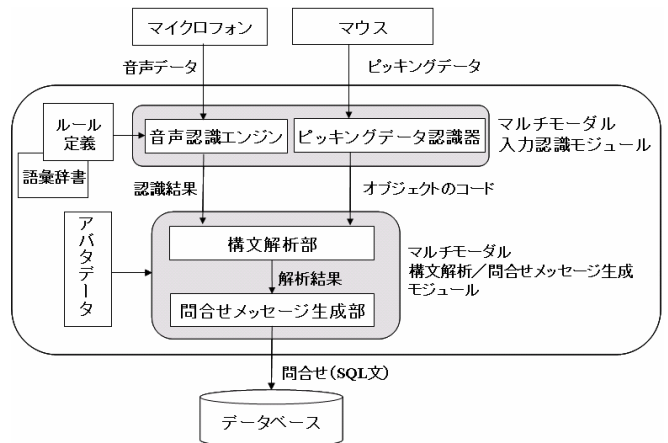


図 2 : マルチモーダル問合せ処理系

図 2 はマルチモーダル問合せ処理系を示す . 音声入力データとマウスによるピッキングデータがマルチモーダル入力認識モジュールで処理される . 音声入力データがあらかじめ定義したルールに一致した場合のみ音声認識結果として認識されたルール名などが構文解析部にわたる . 構文解析部では音声認識結果に基づき , ピッキングデータとの照合やアバタの情報を取得し ,

問合せ言語へ変換する．さらにメッセージ生成部で問合せ言語から SQL 文へ生成し発行する．

例えば，ユーザから「これとあれの距離はいくらですか？」という問合せがあった場合は，構文解析部でこの音声とマウスによる入力を $Distance(O_1, O_2, =, ?)$ という問合せ言語に変換する．さらに問合せメッセージ生成部で「SELECT *dis* FROM Distance WHERE $O_A=O_1$ AND $O_B=O_2$ 」というリレーション $Distance(O_A, O_B, dis)$ への SQL に変換し，データベースに問合せを発行する．空間関係の MPQ も今日想定する非空間的属性の問合せも単純質問であり，問合せ言語から SQL への変換はほとんど自明であるので本稿では特に明記しないが $Distance(O_A, O_B, , dis)$ の dis が “=” 以外の場合については次のように処理する．(dis-3) $Distance(O_1, ?, , dis')$ の場合「SELECT O_B FROM Distance WHERE $O_A=O_1$ AND $dis = dis'$ 」とする．(dis-4)(dis-9)も同様に WHERE 条件の一部を「 $dis = dis'$ 」とする．(dis-2) $Distance(O_1, O_2, ?, dis')$ の場合「SELECT *dis* FROM Distance WHERE $O_A=O_1$ AND $O_B=O_2$ 」の結果得られた *dis* と *dis'* を比較し「 $dis ? dis'$ 」をみたす比較演算子を結果とする．(dis-7)(dis-8)も同様とする．

次に，音声入力から問合せ言語への変換について述べる．

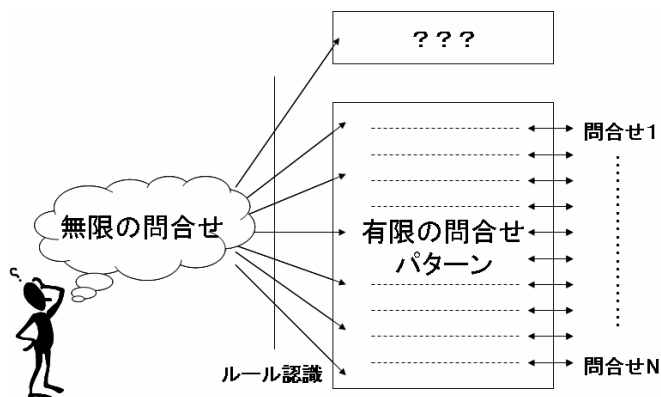


図 3：ルール認識による問合せのパターン化

図 3 に示すように，ユーザからの音声による無限の問合せ表現を 31 の MPQ または非空間的属性の問合せに変換するために，ルール認識方式では的確なルール設計が必須とされる．

5.2. 空間関係の問合せのためのルール設計

空間関係の問合せでは，基点オブジェクトと対象オブジェクトの区別は重要である．例えば「これの東にあるものは？」という問合せと「これが東にあるものは？」という問合せについて考える．前者は“これ”の東側に存在するオブジェクトが検索され，後者は“これ”の西側に存在するオブジェクトが検索されることになり結果は大きく異なる．我々は，この基点オブジェ

クトと対象オブジェクトの区別を正確に判断するために，基点オブジェクトは「これ/この人」，対象オブジェクトは「あれ/あの人」と発声すると共にマウスでクリックしてもらうこととする．ただし自分のアバタを指し示すことはできないので，代わりに「私/自分」と発声してもらう．このような前提条件を定めた上で，空間関係の問合せを特徴付ける単語を，ルールとして次のように定義する．なお，ルールの記述中に使用される語彙はすべて語彙辞書にあらかじめ登録されているものとする．

```

<dis> = (<INTEGER> | <FLOAT>);
<dir> = (前 | 後 | 左 | 右 | 上 | 下 | 右前 | 左前
        | 右後 | 左後 | 東 | 西 | 南 | 北 | 北東 | 北西
        | 南東 | 南西 | 天頂 | 天底);
<top> = (meet | disjoint | contains | inside);
< > = (より小さい | より大きい | 以下 | 以上 |
        でない | である);
<vis> = (見える | 見えない);
<obj1> = (これ | この人 | 自分 | 私);
<obj2> = (あれ | あの人);
<avt> = (myname | username1 | username2 | ...);
<DIS> = 距離; <DIR> = 方向;
<TOP> = 位相; <VIS> = 可視;
  
```

この表記は，拡張 BNF 構文 (ABNF) の一種である JSpeech Grammar Format (JAGF) に従っている．<> はルール名を表し，| は“または”を表す．<INTEGER> と <FLOAT> については，整数・小数を認識するルールとする．各 MPQ に固有な非終端記号の集合を R とし，各 MPQ と R の関係を表 1 に示す．例えば，(dis-1) $Distance(O_A, O_B, =, ?)$ 「これとあれの距離は？」の場合，“これ”に対応した obj1 と“あれ”に対応した obj2，さらに“距離”に対応した DIS の 3 つの要素を持つ集合が R となり $R_{dis-1} = \{obj1, obj2, DIS\}$ となる．各 R は互いに同一とならないようにルール設計するので，31 の MPQ への対応付けが可能となる．

この R をもとに，さらに語順，助詞などを考慮して，31 の MPQ に対応したルールを定義する．例えば，(dis-1) $Distance(O_A, O_B, =, ?)$ のルール設計について考える． $R_{dis-1} = \{obj1, obj2, DIS\}$ であるので語順としては 6 通りが考えられるが，このうち自然言語としてもっともらしい 2 通りの語順を考慮してルールを定義する．

表 1 : 各 MPQ に固有な非終端記号集合 R の一覧

MPQ	問合せ文の一例	R
(dis-1) Distance (O, O, =, ?)	これとあれの距離は？	{obj1, obj2, DIS}
(dis-2) Distance (O, O, ?, dis)	これとあれの距離は <i>dis</i> と比べてどうか？	{obj1, obj2, DIS, dis }
(dis-3) Distance (O, ?, ?, dis)	これとの距離が <i>dis</i> ? ものは？	{obj1, DIS, dis, }
(dis-4) Distance (?, O, ?, dis)	あれとの距離が <i>dis</i> ? ものは？	{obj2, DIS, dis, }
(dis-5) Distance (O, ?, =, ?)	これとすべてのものの距離は？	{obj1, DIS}
(dis-6) Distance (?, O, =, ?)	あれとすべてのものの距離は？	{obj2, DIS}
(dis-7) Distance (O, ?, ?, dis)	これとすべてのものの距離は <i>dis</i> と比べてどうか？	{obj1, DIS, dis }
(dis-8) Distance (?, O, ?, dis)	あれとすべてのものの距離は <i>dis</i> と比べてどうか？	{obj2, DIS, dis }
(dis-9) Distance (?, ?, ?, dis)	距離関係が <i>dis</i> であるもの同士は？	{DIS, dis, }
(dis-10) Distance (?, ?, =, ?)	すべてのもの同士の距離関係は？	{DIS}
(dir-1) Direction (O, O, ?)	あれはこれのどの方向にあるか？	{obj1, obj2, DIR}
(dir-2) Direction (O, ?, dir)	これの <i>dir</i> (の方向)にあるものは？	{obj1, dir, [DIR]}
(dir-3) Direction (?, O, dir)	あれが <i>dir</i> (の方向)にあるものは？	{obj2, dir, [DIR]}
(dir-4) Direction (O, ?, ?)	これとすべてのものの方向関係は？	{obj1, DIR}
(dir-5) Direction (?, O, ?)	あれとすべてのものの方向関係は？	{obj2, DIR}
(dir-6) Direction (?, ?, dir)	<i>dir</i> (の方向)関係にあるもの同士は？	{dir, [DIR]}
(dir-7) Direction (?, ?, ?)	すべてのもの同士の方向関係は？	{DIR}
(top-1) Topology (O, O, ?)	あれはこれのどの位相にあるか？	{obj1, obj2, TOP}
(top-2) Topology (O, ?, top)	これの <i>top</i> (の位相)にあるものは？	{obj1, top, [TOP]}
(top-3) Topology (?, O, top)	あれと <i>top</i> (の位相)にあるものは？	{obj2, top, [TOP]}
(top-4) Topology (O, ?, ?)	これとすべてのものの位相関係は？	{obj1, TOP}
(top-5) Topology (?, O, ?)	あれとすべてのものの位相関係は？	{obj2, TOP}
(top-6) Topology (?, ?, top)	<i>top</i> (の位相)関係にあるもの同士は？	{top, [TOP]}
(top-7) Topology (?, ?, ?)	すべてのもの同士の位相関係は？	{TOP}
(vis-1) Visibility (Avt, O, ?)	Avt からあれはみえるか？	{avt, obj2, vis}
(vis-2) Visibility (Avt, ?, vis)	Avt から <i>vis</i> なものは？	{avt, vis}
(vis-3) Visibility (?, O, vis)	あれが <i>vis</i> なアバタは？	{obj2, vis}
(vis-4) Visibility (Avt, ?, ?)	Avt とすべてのものの可視関係は？	{avt, VIS}
(vis-5) Visibility (?, O, ?)	あれとすべてのアバタの可視関係は？	{obj2, VIS}
(vis-6) Visibility (?, ?, vis)	<i>vis</i> (の可視)関係にあるものとアバタのペアは？	{vis, [VIS]}
(vis-7) Visibility (?, ?, ?)	すべてのものとアバタの可視関係は？	{VIS}

```
public <dis-1>=(<obj1><obj2> | <obj2><obj1>)
    <DIS><stop>;
<obj1>=(これ | この人 | 私 | 自分) <tofrom>;
<obj2>=(あれ | あの人) <tofrom>;
<DIS>= 距離 [関係][が][は];
<tofrom>=[から][まで][との][と][は][の][みて][を]
    [基準][と][して][が];
<stop>=[は][どれ][どの][どう][いくら][何][メートル]
    [くらい][に][です][なり][なる][ます][か][を][教え]
    [見つけ][探して][探せ][表示][示し][示せ][せよ][し]
    [る][て][くれ][ます][か][ください][下さい];
```

このルール定義<dis-1>により認識される文の例は「これ あれ 距離」「私からあれまでの距離はいくらですか」「あの人と自分の距離を教えてください」などである。このように予想される助詞を"[]"(その語句があってもなくてもよい)により列挙することで、ある程度多様な表現に対応できる。また"|"により語順の転置にも柔軟に対応する。他の 30 の MPQ に対しても同様の方針でルール定義を行う。

5.2.非空間的属性の問合せのためのルール設計

非空間的属性の問合せを特徴付けるルールとして、全てのカテゴリ名、属性値名、属性値を定義する。

```
<category>=(家具 | ベッド | 棚 | 机 | イス | ...)
    [カテゴリ][に][所属する][属する][もの][の中で];
<attributeS>=(所有者 | 製造地 | ...);
<attributeN>=(価格 | 値段 | 重さ | ...);
<value>=(太郎 | 花子 | 日本 | イタリア | ...);
<condition>=(<attributeS> が <value>
    | <value> が <attributeS>
    | <attributeN> が <num>< >
    | <num>< > [の] <attributeN>) [で][の][である];
<num>=( <INTEGER> | <FLOAT> ) <tani>;
<tani>=(円)[キロ][センチ][ミリ][メートル][グラム];
<stop>=[の][である][もの][オブジェクト][は][どれ]
    [どこ][に][あり][ます][です][か][を][教え][見つけ]
    [探して][探せ][表示][示し][示せ][せよ][し][る][て]
    [くれ][ます][か][ください][下さい];
```

「製造地がイタリア」や「5 万円以内の価格」というように属性値名と属性値が組になると<condition>として認識される。非空間的属性の問合せにおける非終

端記号の集合 R は, 1 つの category と 0 個以上の condition および attribute である. この条件をもとに非空間的属性の問合せルールを次のように定義する.

```
public <non-Spatial> = <condition>* <category>
    <condition>* [(<attribute>[と])*] <stop>;
```

“*” は 0 回以上の繰り返しを意味する. このルール定義 <non-Spatial> により認識される文の例は「イス」「机の価格」「家具の中で所有者が太郎のもの」「値段が 3 千円以上の家具の製造地を教えてください」などである.

6. 実装

本研究では, ルール認識エンジンにアドバンスト・メディア社の AmiVoice を用いて実装を行った. AmiVoice は JSAPI(JavaSpeechAPI)に対応したエンジンであり, VWDB プロトタイプの実装に使用している Java による開発が行えるため音声データとマウスイベントの統合処理が容易に行える.

6.1. マウスデータと音声データの統合法

VWDB 空間では問合せとは関係なく常にユーザのマウスイベントを監視している. マウスで任意のオブジェクトをクリックした場合, 対象オブジェクトのコード (ID) を時間順にバッファする. 音声認識結果の中に, これ/この人/あれ/あの人が含まれていた場合は, その個数によって次のように処理する.

(a) 1 つ含まれていた場合

最新のピッキングデータを対応させる.

(b) 2 つ含まれていた場合

2 つの語彙が発声された時間順序に合わせて, 最新のピッキングデータとその前のピッキングデータを対応させる.

6.2. 語彙の登録機能

音声で問合せを行う前提として, 新しい属性値が入力された場合には, 音声認識エンジンやルール定義に追加する必要がある. 我々はこれをアプリケーション上から直接行えるようにした. 図 3 に示すオブジェクトの詳細表示ウィンドウで, 新たな属性値の表記 (漢字) とよみ (ひらがな) を入力してもらい, これを認識エンジンの語彙辞書とルール <value>へ追加する. 新規登録された語彙は, 即時認識可能となり, 問合せにも反映される.



図 3: オブジェクト詳細表示ウィンドウ

6.3. 問合せ方法

問合せは, 通常のディスプレイに表示された VWDB 空間を視ながら行う. ヘッドセットを使用し音声の入力を行う. ユーザからの音声入力がいずれかのルールに一致した場合には, 認識した文章を表示し, 問合せ処理を行い結果を表示する. 結果の表示方法は, オブジェクトの強調表示, オブジェクトに付加した 3D テキストによる表示, および問合せウィンドウにテキスト表示で行う.

実際にオブジェクトを 30 ほど配置した VWDB 空間で問合せを行った結果をいくつか示す. アバタは現在, 空間の中心付近にいる.

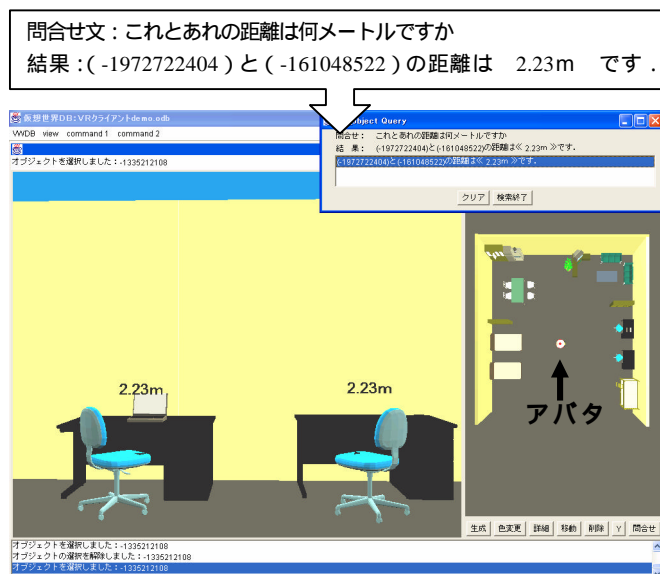


図 4: 問合せ例 1

図 4 は, 「これとあれの距離は何メートルですか」という音声入力とともに, 机を 2 つクリックした場合の結果である. 認識された文章が, 右上の問合せウィンドウに表示され, 問合せ処理が行われる. 結果として机が強調表示され点滅するとともに, 3D テキストと右上の問合せウィンドウに「2.23m」と表示される.

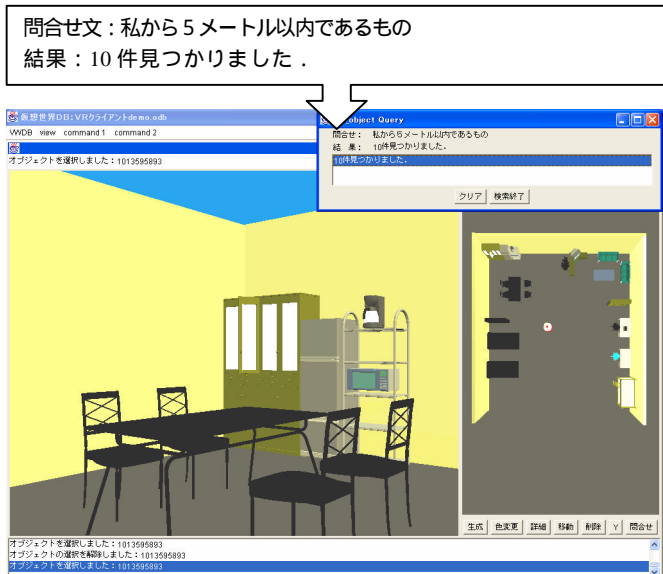


図 5 : 問合せ例 2

図 5 は「私から 5 メートル以内にあるもの」という問合せ結果である。該当する 10 個のオブジェクトが点滅する。視界に入っていないオブジェクトも右の鳥瞰図で確認することができる。



図 6 : 問合せ例 3

図 6 は「所有者が太郎さんの電化製品の中で価格が 3 万円以上のものを教えて下さい」という音声による問合せ結果である。該当するテレビとパソコンが点滅する。

上記の例で示すとおり、本稿で提案したモデルにより自然言語に近い発話で VWDB の非空間的屬性および空間関係の問合せが実現することが確認された。

7. まとめと今後の課題

本稿では VWDB において音声とマウスを使用したマルチモーダルな問合せを行うために、まず空間関係の表現方法と格納法、保持法について論じた。次に、述語論理をもとにしてマルチモーダル問合せ言語の設計を行った。さらに、マルチモーダル問合せ処理系を示し、ルール認識により音声入力を問合せ言語に変換するためのルール設計について論じた。音声認識エンジン AmiVoice を用いて実装を行い、その結果を示した。

今後の課題は、透明度やワイヤーフレーム表示を利用し VR の特性を活かした表示法の検討を行うとともに、より複雑な問合せにも対応できるように拡張していくことである。

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] 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.
- [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] 矢野ナホコ, 渡辺知恵美, 増永良文, "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," 電子情報通信学会技術研究報告書, DE2003 - 32 ~ 77, pp163-168, 2003.
- [7] M. Egemhofer, "Spatial Relation: Models, Interfaces, and their Future Application," Proceeding of Advanced Database Symposium '96, VO1.8, No.4, pp.403-424, 1996.