

没入仮想空間における情報アクセスインタフェース

小木哲朗^{*1*2*3} 山本浩路^{*4} 山内正^{*3} 廣瀬通孝^{*2}

Information Access Interface in the Immersive Virtual World

Tetsuro Ogi,^{*1*2*3} Koji Yamamoto,^{*3*4} Tadashi Yamanouchi^{*3} and Michitaka Hirose^{*2}

Abstract - In this study, in order to access database server from the immersive virtual world, database interface named CCBASE was developed. In this system, the user can retrieve data using the keyword search in the virtual world, and the data taken into the virtual world can be treated as three dimensional objects. For example, the user can manage data using the book and the bookshelf. The CCBASE is a software library constructed using the relational database management system, and it can be used to develop several virtual reality applications. This system was applied to develop a design environment and a scientific visualization environment in the immersive virtual world, and the effectiveness was evaluated.

Keywords : virtual reality, immersive projection display, database interface, cellular phone, spatial scroll

1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ技術は基礎研究から実用段階へと進み始め、設計、医療、情報可視化等さまざまな分野で応用が試みられている[1][2]。特に、CAVE[3]やCABIN[4]等の没入型ディスプレイ装置は、臨場感の高い仮想空間を生成することができ、多くの分野で実用化が期待されている。これらの応用システムでは、利用者は仮想空間の中でまとまった仕事を行うために、種々の情報にアクセスすることが要求される。例えば、自動車等の設計を行う場合には、他の設計モデルや写真等のデータを参照するであろうし、科学技術計算の可視化を行う場合には、幾つかの計算条件に対する解を比較しながら議論を行うであろう。

しかしながら、これまでのバーチャルリアリティ・システムは、あらかじめ作り込まれた特定の仮想世界を体験する“閉じた”システムであることが多く、そこから外部の情報にアクセスすることは困難であった。そのため、利用者は仮想世界を体験するバーチャルリアリティ・システムと、他の情報にアクセスするためのコンピュータ端末との間を行き来しながら、作業を行うことを強いられしてきた。

本研究では、仮想世界の中から外部の情報資源に自由にアクセスし、仮想世界の中でそれらを扱うための枠組みを構築することを目的としている。バーチャルリアリティのアプリケーションとして、このような情報アクセス機能を持つことができれば、利用者は仮想世界の中だ

けでまとまった作業を行うことが可能になり、アプリケーションの実用性は更に高まることが期待される。このような要求に応えるため、本研究では仮想世界からネットワーク上のデータベースにアクセスし、画像や動画、3次元モデル等のデータを仮想世界の中に取り込んで扱うためのデータベース・インタフェースCCBASE(Cyber Communication data BASE)の開発を行った。特に本システムでは、近年開発が盛んになってきた没入型多面ディスプレイの特徴を活かした、効率的な情報アクセスを行うことを目指している。

以下本論文では、データベース・インタフェースCCBASEの設計コンセプトと主な機能について述べる。特に本システムの特徴である、ブック型インタフェースの操作性や広視野の仮想空間を利用したデータブラウジング手法については、実験的な検討を行った。またCCBASEを用いたバーチャルリアリティのアプリケーション・システムとして、自動車の設計環境、解析データの可視化環境等に適用し、本システムの有効性を検証した。

2. 仮想空間における情報アクセス手法

2.1 設計コンセプト

我々が現実世界で必要な情報を取り扱う場合、ファイルや書棚を利用して整理を行うことが多い。例えば、書類をテーマごとに分類してファイルに綴じたり、ある書類は右の棚、別の書類は左の棚というように置き場所によって分類を行う。この場合、情報は空間的な場所と結びつけられることで効率的に管理される。必要な書類を取り出したい場合には、我々は保管してある場所を憶えておくことで、迷うことなく情報にアクセスすることができる。またファイリングされた書類は、鞆に入れて持ち運ぶことで自分の身の回りに置き、必要な時に参照することができる。

*1: 通信・放送機構

*2: 東京大学

*3: 株式会社三菱総合研究所

*4: 有限会社イミディエイト

*1: Telecommunications Advancement Organization of Japan

*2: The University of Tokyo

*3: Mitsubishi Research Institute, Inc.

*4: Immediate, Ltd.

一方、データベース・システム等の計算機を利用した情報管理では、全ての情報は計算機のディスクの中に格納されているため、情報に対する場所の区別はない。しかしながら、計算機の持つ記憶容量や処理速度等の特性を利用することで、膨大な量のデータを効率的に扱うことができる。例えば、キーワード検索は計算機を使用した代表的なデータ検索機能であり、関連するキーワードを入力するだけで該当するデータを瞬時に取り出すことができる。

本研究では、仮想世界における効率的な情報アクセスを目指しているが、ここで使われる仮想世界とは計算機によって合成された3次元空間である。そのため仮想世界の中では、現実世界が持つ特徴と計算機が持つ特徴の両方を併せ持った情報アクセス手法を実現できることが期待される。すなわち、計算機の記憶演算能力を利用しながら、3次元的な位置情報を有効に利用した情報アクセス手法である。

本研究では、このような設計コンセプトのもとに仮想世界におけるデータベース・インタフェースCCBASEの開発を行った。このシステムでは、仮想世界の中から外部のデータベース・システムに検索をかけられると同時に、一度仮想世界に取り込まれた情報は、位置情報を持つオブジェクトとして表現される。このオブジェクト化された情報は、それ自体も一つのデータベースとして管理されるため、仮想空間内のオブジェクトに対してキーワード検索をかけるという融合的な方法を可能にしている。特に、情報の視覚的なオブジェクト表現としてブック（オフィスにおける本やファイル）のメタファを用いることで、情報へのアクセスや整理、持ち運び等の操作を容易に実行できることを目指している。

2.2 本研究の位置付け

本システムの機能の詳細は次章以降に述べるが、ここでは従来の研究に対する本システムの位置付けについてまとめておく。

仮想空間の中から必要な情報にアクセスすることを可能にしたシステムの例としては、これまでにpwm[5]やBody-Stabilized Display[6]等の研究があげられる。これらのシステムでは、3次元空間内に表示されたウィンドウを介してWeb情報等にアクセスすることができるが、インタフェース機能としては従来のWebブラウザをそのまま使用するため、2次元のインタフェース機能しか持たない。本研究で開発したCCBASEは、空間スクロール等の3次元空間を有効に利用したインタフェース機能を有していることが一つの特徴である。

一方、空間を利用して情報を管理しようという考え方は、2次元のモニタ上ながらAlto等のGUIやDataland[7]等のシステムに遡る。また、Information Visualizer[8]やData Mountain[9]等のシステムでは、情報空間全体を可視化することで効率的な情報の管理を目指している。また、

Starlight[10]やTIDE[11]では、3次元の仮想世界を用いた情報空間の可視化を行っている。CCBASEにおいても仮想空間を利用した情報管理を行うが、上記のシステムが情報空間そのものの可視化を目指しているのに対し、本システムではアプリケーションへの自然な組み込みができることを前提に、情報へのアクセス手段を空間的に管理している点で特徴である。

また、情報アクセスのインタフェースとして本のメタファを用いる方法は、孫悟空[12]やユニバーサル電子図書館[13]等の図書検索を目的としたシステムでしばしば使用されている。また、Enhanced Room[14]では、拡張現実空間に置かれた現実の本をインタフェースとして情報にアクセスする手法が取られている。本システムにおいてもブック型のインタフェースを使用しているが、これは情報アクセスへのインタフェースであると同時に、検索結果をオブジェクトとして可視化、管理するための役割を持っている。またブックを用いた可視化手法は、没入仮想空間において、直接操作による情報の取り扱いを容易にするためのインタフェースとしても、重要な機能を果たしているのが特徴である。

3. CCBASEの主な機能

本研究で開発されたデータベース・インタフェースCCBASEは、仮想空間の中から画像や動画、3次元モデル等のデータに効率的にアクセスするために、種々の機能を備えている[15]。本章では、CCBASEの持つ主な機能とその実現方法について説明する。

3.1 実行環境

CCBASEは、実行環境として広視野の没入型仮想環境の利用を想定している。本研究では東京大学IMLのCABIN、岐阜県デテクノプラザのCOSMOS[16]を使用した。これらは5面、あるいは6面のスクリーンで構成される没入型多面ディスプレイであり、利用者は広視野の立体映像により、没入感の高い仮想世界を体験することができる。

没入型ディスプレイ内では、一般に入力デバイスとしてwandやデータグローブが使用されることが多い[17]。しかしながら、この種のデバイスはポインティングやウオークスルー等の操作には有効であるものの、キーワード検索等で不可欠な文字入力を行うことができない。そのため本研究では、仮想空間の中で文字入力を行うことが可能な入力デバイスとして、携帯電話のiモード機能を使用した[18]。これは携帯電話のダイヤルボタンを用いて文字入力を行う方法であり、没入仮想空間の中で片手で操作を行うことが可能である。特に最近では、携帯電話を用いた電子メール等が普及してきたため、一般の利用者でも容易に操作を行うことができるという利点がある。

携帯電話から入力された文字データは、iモードセンターを経由してサーバに送られるため、平均0.5秒程度の



図1 携帯電話を用いた入力デバイス
Fig. 1 Input device using cellular phone

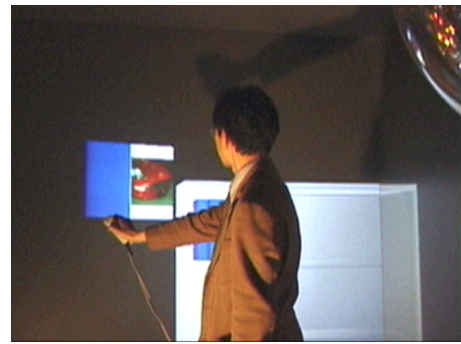
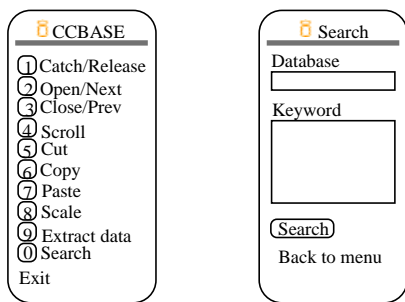


図3 ブックを用いた検索データの表示
Fig. 3 Visualization of retrieval data using book interface



(a) Interface Menu (b) Search Window

図2 携帯電話インタフェースのインタラクション画面
Fig. 2 Interaction menu on the cellular phone interface



図4 CCBASE で用いられるデータ管理用ツール
Fig. 3 Data management tools used in the CCBASE

時間遅れが生じる。しかし、入力時には1文字ずつ送信せず、携帯電話のLCD上で文字列を確認してからまとめて送信することができるため、実用上の不便さはほとんどなかった。

本システムでは、この携帯電話に Polhemus 磁気センサを取り付けることで、キー入力とポインティング機能を有する wand型キーボードとして使用した。実際には、携帯電話が通信時に発する電磁波によって磁気センサの計測値が影響を受けるため、図1に示すように携帯電話本体から約8cm離して磁気センサを取り付けた。

3.2 キーワード検索

没入仮想空間からデータベースへアクセスするための基本機能としては、まずキーワード検索を導入した。この方法では、利用者が携帯電話を用いて対象とするデータベース名、キーワード等を入力する。必要な情報が入力されるとSQL検索式が生成され、アクセス対象となるデータベースサーバへ送信される。データベースへのアクセスにSQL検索式を用いることで汎用的な検索方法を取ることができ、ネットワーク上の種々のデータベースにアクセスすることが可能になる。図2は、携帯電話のインタフェースの基本画面およびキーワード検索時の画面を示したものである。

検索が実行されると、仮想空間には図3のようなブックが現れ、検索データはこの中にファイリングされた形で表示される。利用者がブックのページをめくると、画像

や動画データはテキストに変換され、ページの中に貼り付けられる。また3次元モデルデータの場合は、ページの大きさにスケーリングされ、立体モデルとしてページ上に表示される。このような方法を用いることで、利用者は仮想空間の中からネットワーク上のデータにアクセスし、仮想空間の中に取り込むことが可能になる。

3.3 データ操作

仮想空間に取り込まれたデータは、ブックという本のメタファを用いて可視化されることで、位置の概念が付加される。そのため没入仮想空間の中では、データを1つのオブジェクトとして取り扱うことが可能になる。また、ブックの表紙および背表紙には、中に収められている最初の画像データが縮小して貼り付けられ、これによって利用者は視覚的にブックの識別を行うことができる。

CCBASEでは、仮想空間内でブックをオブジェクトとして管理するために、書棚、鞆、ゴミ箱等のツールが用意されている。図4は、これらのツール類を示したものである。例えば、現実世界における物体操作と同様に、利用者はブックを掴んで(Catch)任意の場所に置く(Release)ことができるが、書棚の中では置かれるブックの位置や姿勢が拘束され、きれいに整頓される。そのため、必要でないブックは閉じて書棚の中にしまっておく等の利用の仕方を行うことができる。また、鞆は仮想空間の中で、利用者の身体の移動に追従するブックの置き場所であり、鞆の中に置かれたブックの位置座標は、常に鞆の位置座標

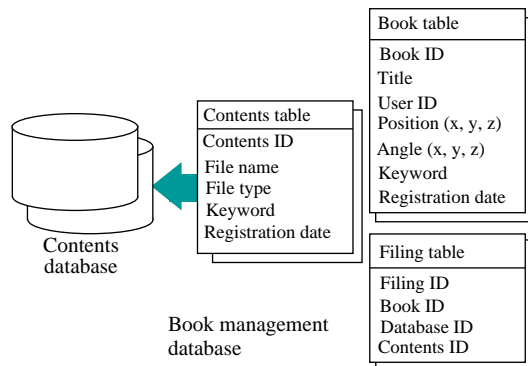


図5 ブック管理データベースのテーブル構成
Fig. 5 Tables for book management database

と一致させられる。そのため、ブックを靴の中に入れておくことで、必要なデータを仮想空間内で持ち運び、常に身体の近くに置いておくことが可能になる。また、ゴミ箱は不必要なデータを仮想空間から消去するためのツールで、ブックを掴んでゴミ箱に移動することで、ブックごとデータを消去することができる。仮想世界の中で表現されるこれらのツール類の位置や大きさは、CCBASEのパラメータファイルの中で指定することができる。

また、ブック内の個々のデータに関しても、入力デバイスを用いて種々のデータ操作を行うことができる。例えば、各ボタンに割り当てられたカット（Cut）、コピー（Copy）、ペースト（Paste）等の操作によって、データをブック間で移動したり、テーマごとにファイリングする等のデータ整理を行うことができる。そのため、仮想空間の中では現実世界と同様に、空間的な位置を利用したデータ管理を行うことが可能になる。

3.4 ブック管理データベース

仮想空間の中に取り込まれたデータは、元々ネットワーク上のデータベースに格納されていたものであるが、CCBASEでは仮想世界の中でも一つのデータベースとして管理される。図5は、仮想世界内のデータを管理するために定義された、ブック管理データベースのテーブル構成を示したものである。

各データは、ブックテーブル、コンテンツテーブル、ファイリングテーブルによって管理されている。ブックテーブルは、データをファイリングしているブックが仮想空間内のどこに置かれているかを管理するためのテーブルであり、コンテンツテーブルは、各コンテンツデータのファイル形式や格納場所等を管理するテーブルである。またファイリングテーブルは、各データがどのブックにファイリングされているかの管理を行っている。

仮想空間内では、これらのテーブルをリレーショナルに関係付けることで、データの管理が行われる。本システムでは、データベース管理システム INFORMIX-Universal Serverを用いることで、上記のブック管理データベースを構築している。

3.5 ブック型インタフェース

CCBASEでは、このように仮想空間内のデータをオブジェクトとして可視化すると同時に、データベースによって管理を行うことで、計算機と3次元空間の両方の特性を利用した操作を実現している。例えば、仮想世界内に置かれたブックを利用者が開くと、そのブックの内容がブック管理データベースから参照されて表示されることになる。そのため、利用者はブックというオブジェクトの操作を介して、必要なデータに容易にアクセスすることが可能になる。

また可視化されたオブジェクトとデータベースとのリンクは、種々のデータ操作においても矛盾の無いデータ管理を実現している。例えば、仮想空間の中でデータをあるブックから別のブックへ移動するという操作を行った場合、ブック管理データベースのファイリングテーブルの内容も同時に更新される。そのため、データをどのブックにファイリングしたか分からなくなったような場合には、書棚に置かれたブックを1つずつ取り出して探さなくても、検索対象のデータベースとしてブック管理データベースを指定することで、仮想空間内のデータに対してキーワード検索をかけるという方法を行うことができる。このように、ブック型インタフェースを用いることで、計算機と3次元空間の両者の特性を融合した、効率的なデータ検索を行うことが可能になる。

3.6 空間スクロール

キーワード検索等で仮想空間に取り込まれたデータはブックの中にファイリングされて可視化されるため、最終的なターゲットデータはブックの中から見つけ出す必要がある。そのため、ブック内のデータをいかに効率よくブラウジングできるかは、CCBASEにおいて重要な機能となる。本システムでは、特に没入型ディスプレイによって生成される広視野の没入仮想空間の特徴を活かした、空間的なデータブラウジング手法を導入した。

ブック内のデータをブラウジングする最も単純な方法は、ページをめくっていく方法である。しかしながら、大量のデータを効率よくブラウジングするには、スクロール等の高速なブラウジング方法の利用が必要である[19]。特に没入仮想空間の中では、3次元空間を利用した空間型のスクロールを行うことが可能である。本システムでは、空間スクロール機能として、ブックからデータを左右、上下、前後方向等に飛ばしながらブラウジングする機能を構築した。

図6は、CABINの中で前後方向の空間スクロールを行っている様子を示したものであり、スクロール方向の切替え、スクロール速度の変更等は、入力デバイスのボタン操作によって行うことができる。このような空間型のデータスクロールは、没入型ディスプレイによって生成される広視野の仮想空間を有効に利用した方法とすることができる。

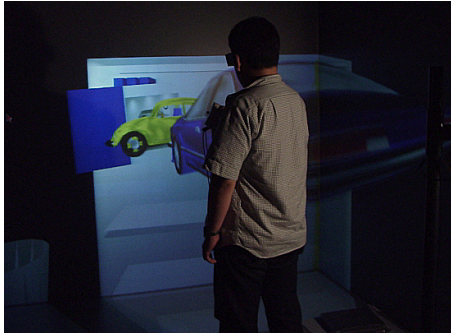


図6 空間スクロールによるデータブラウジング
Fig.6 Data browsing using spatial scroll

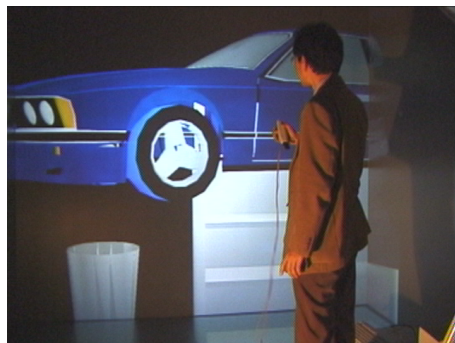


図7 ブックからのデータの取り出し
Fig.7 Extracting data from the book

また、ブラウジングによって対象とするデータが見つかる、利用者はボタン操作によってデータをブックから取り出すことができる。ブックから取り出されたデータは、拡大や縮小等の操作を行うことができ、仮想世界を構成する一つのオブジェクトとして扱うことができる。図7はデータベースから検索された自動車の3次元モデルデータを、仮想世界の中で拡大表示している様子を示したものである。この際、ブックから取り出されたデータも、内部的には位置情報を持つ透明なブックの上に提示されている形態を取っているため、ブック内のデータと同様に、ブック管理データベースによって管理することができる。

4. ブック型インタフェースの操作性

CCBASEは仮想空間内で必要なデータにアクセスするための種々の機能を持つが、これらがどれだけ有効に働くかについては十分な検討が必要である。本章と次章では、特に仮想空間内でのデータアクセスの効率性について実験的な評価を行った。

4.1 ブックの把持操作実験

CCBASEでは、ブックをインタフェースとしてデータへのアクセスを行う。この際、仮想空間内におけるブックの操作性はデータアクセスの効率性に直接的な影響を与える。そのため、インタフェースとして用いるブックをどのくらいの大きさに設定するか等、ブックのデザインに関

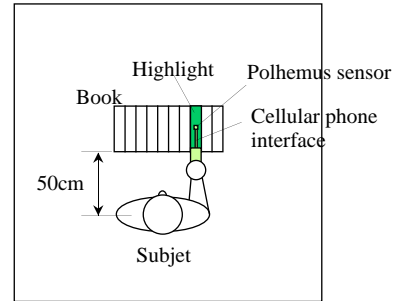


図8 ブックの把持操作実験の条件
Fig.8 Conditions of book handling experiment

しては十分な検討を行う必要がある。ここでは、ブックに関する基本操作として、並べられたブックから1冊を掴み出す把持操作を取り上げ、ブックの厚さと把持操作の容易性に関する評価実験を行った。

実験では、没入型ディスプレイCABINの中で被験者の胸の高さ(床から130cmの高さ)に並べられた10冊のブックの中から、ハイライトされた1冊を掴み出してもらった。被験者は、ブックから約50cm離れて立ち、腕を下げた状態からハイライトされたブックに手を伸ばす。インタフェースデバイスとして用いた携帯電話の先端がブックの内部に入った状態でボタンを押すことで、ブックを掴み上げることができる。この際、デバイス先端が触れているブックは色を変えて表示することで、被験者はどのブックに触れているかを視覚的に認識することができる。図8は、以上の実験条件を図示したものである。

データとしては、指定されたブックがハイライトされてから被験者がブックを把持し、ブックの列から取り出すまでの時間を計測した。ブックの大きさはA4サイズとし、厚さを1cmから6cmまで変化させた。各厚さのブックに対して、ランダムにハイライトされた1冊のブックを取り出す把持操作を10回ずつ繰り返した。

4.2 実験結果

5人の被験者に対する実験結果を図9、図10に示す。グラフでは、各ブックの厚さに対して、把持操作に要した時間の平均値と標準偏差、および間違っただけのブックを把持してしまっただけの誤操作率の平均値と標準偏差が示されている。

本システムの入力デバイスで用いている磁気センサ Polhemus Ultratrakは、センサを固定して置いた状態での出力値の変動は標準偏差で0.6mm程度と、かなり安定であったが、同時にボタン操作を伴う場合にはデバイスを把持する手が動くため、出力値も変動してしまう。そのため、対象となるブックの大きさが小さいと、掴み損ね等の誤操作を起こしてしまうことがある。また、iモードを使用したインタラクションを行っているため、前述したように時間遅れが生じ、これも誤操作を生む原因になると考えられる。

ここでの実験結果からは、ブックの厚さが4cm以上で

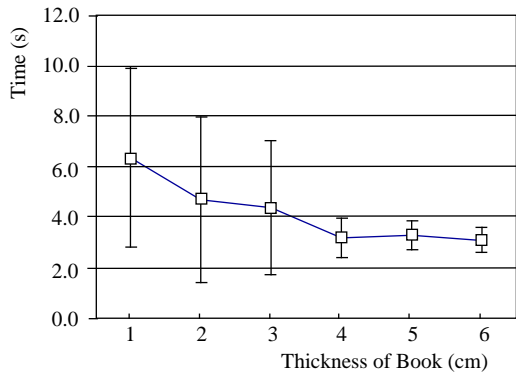


図9 ブックの把持操作実験の所要時間
Fig.9 Handling time in book handling experiment

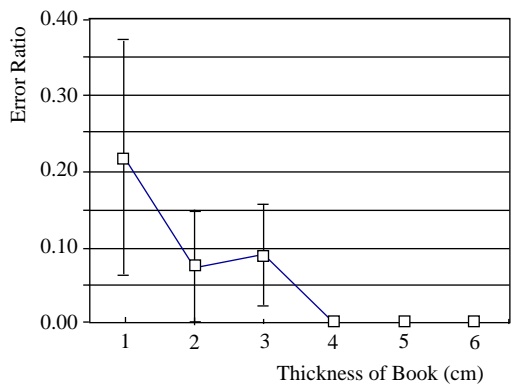


図10 ブックの把持操作実験の誤操作率
Fig.10 Error ratio in book handling experiment

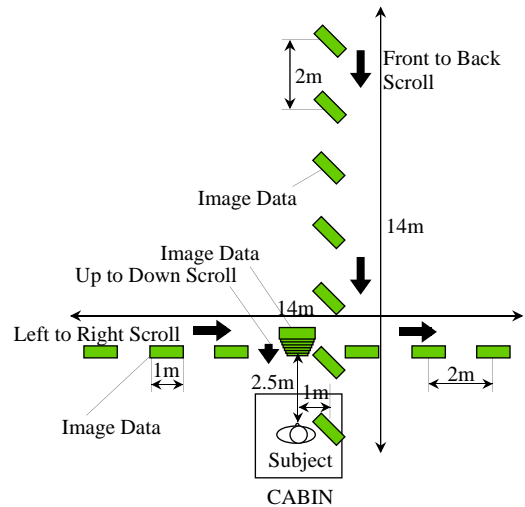


図11 空間スクロール実験の条件
Fig.11 Conditions of data scroll experiment



図12 空間スクロール実験における提示画像の例
Fig.12 Examples of scrolled image data

はほとんど誤操作は起きず、把持時間も3秒程度で安定していたが、厚さが3cm以下になると誤操作が生じ、把持時間も大きく増大していくことが分かった。そのため、データアクセスのインターフェースとして安定な操作を行うためには、ブックの厚さを4cm以上に設計しておくことが望ましいと言える。

5. 空間型データブラウジングの効率性評価

5.1 空間スクロール実験

次にブック内のターゲットデータに対するアクセス機能として、空間スクロールに関する評価実験を行った。空間を利用した3次元的なデータスクロールはCCBASEが持つ特徴的な機能の1つである。実際の利用にあたっては、スクロール方向、スクロール速度等を利用者が操作することができるが、ここでは基礎実験として、3次元空間の中でどの方向にスクロールを行うのが最も効率的であるかという比較を行った。

図11は実験方法を図示したものである。没入型ディスプレイCABINの中央に立った被験者に対し、画像データを左から右、上から下、前方から後方の各方向に一定速度でスクロールさせた。画像の大きさは1m x 1mで、各スクロール方向に2m間隔で流れる。画像が描画される範囲は14mとしたため、同時に7枚の画像が表示されている

ことになる。左 右スクロール、上 下スクロールの場合は、被験者の正面中央を中心に、2.5m前方で画像を移動させた。また前 後スクロールの場合は、画像が重ならないように45度の角度を付け、被験者の1m右側を前方から後方に移動させることとした。この条件で画像が2.5m前方まで来ると、ちょうど画像全体が見えるようになる。

実験タスクとしては、最初に1枚の画像を被験者に提示して記憶させ、スクロールして流れる画像の中から同じ画像を見つけたらボタンを押してもらうという課題を行った。この時、いろいろなスクロール速度の条件に対して、どの速度までスクロール中のデータを認識できるかを計測した。画像データとしては、250枚の花の写真を用意し、この中に5枚の対象画像がランダムな位置に入っている。また、CABINに提示される映像の更新レートは約60Hzであった。図12は提示画像の例を示したものである。

5.2 実験結果

被験者5人の実験結果を図13に示す。このグラフでは、各スクロール速度に対する正答率の平均値と標準偏差が示されている。この結果から認識可能な画像のスクロール速度を正答率50%以上で判断すると、左 右スクロールの場合は8m/s、上 下スクロールでは4m/s、前 後スクロールでは18m/sであった。すなわち、左 右や上 下方向の

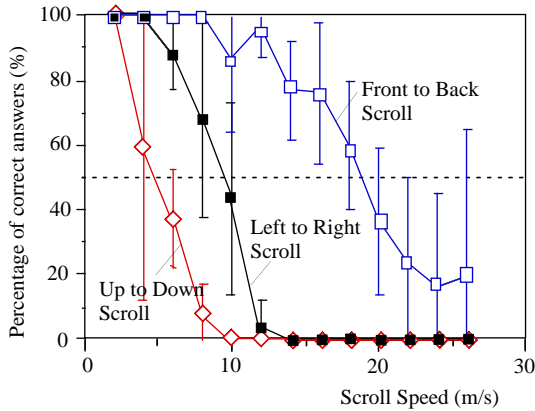


図 13 空間スクロール実験の結果
Fig.13 Results in data scroll experiment

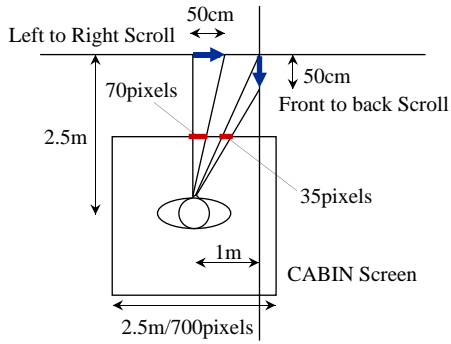


図 14 スクリーン上での映像の移動量
Fig.14 Human perception and pixel movement on the screen

スクロールに比べて、前後方向のスクロールでは高速に動かすことができ、同じ量のデータをより短い時間でブラウジングできるという結果が得られた。

上下方向のスクロールの正答率が最も悪かった原因としては、人間の眼球がもともと上下方向より左右方向に動かしやすいという生理学的な理由によるものと考えられる[20]。また、前後方向のスクロールが左右方向のスクロールに比べて正答率が良かった理由としては、図14に示すようなスクリーン上での映像の移動量から考察することができる。左右スクロール時に2.5m前方で画像が50cm移動したとすると、CABINの2.5m x 2.5mのスクリーンサイズと700 x 700の解像度から、スクリーン上では70ピクセル移動することになる。これに対して前後スクロールでは、画像がほぼ同じ大きさに見える2.5m前方で50cm手前に移動したとすると、スクリーン上では35ピクセルの移動となる。つまり、スクリーン上の画像の動き(ひいては人間の網膜上の画像の動き)は、前後スクロールでは左右スクロール時の約1/2程度となり、この差は実験結果ともほぼ一致していることがわかる。しかしながら、前後スクロールでは奥行き値が変化するため、被験者には立体視調整の負荷が加わることになるが、実験結果から、この影響はそれほど大きくなかつ

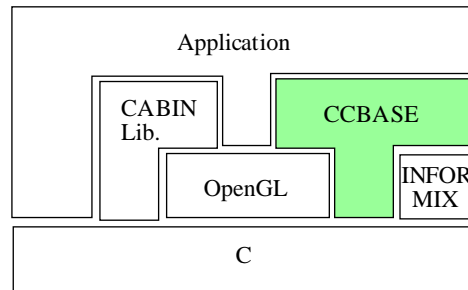


図 15 CCBASE のソフトウェア構成
Fig.15 Software structure of CCBASE

たとえることができる。

CCBASEでは、各方向のスクロールを必要に応じて使い分けられるが、前後方向のスクロールは特に3次元空間を有効に利用したデータブラウジング方法と行うことができる。また、このような前後スクロールを実現するためには、データが利用者の顔の横を通り過ぎるまで表示できる広視野ディスプレイが必要であり、その意味でも没入型多面ディスプレイの特徴を有効に利用したブラウジング方法と行うことができる。

5. CCBASE の応用

5.1 ソフトウェア構成

CCBASEは、データベース管理ソフトウェア INFORMIX-Universal Server を使用して作られたライブラリの形態をしている。そのため、CCBASEライブラリを用いることで、データベースにアクセス可能なバーチャルリアリティのアプリケーションを容易に構築することができる。特にCABINライブラリ等を併用することで、没入型仮想空間を用いたアプリケーションの開発が可能になる。図15は、CCBASEを用いたアプリケーションのソフトウェア構造を図示したものである。

本研究ではCCBASEを用いたバーチャルリアリティのアプリケーション例として、自動車の設計環境、ゴムの変形解析データの可視化環境等の構築を行い、有効性についての検証を行った。

5.2 自動車の設計環境

自動車等の3次元形状のデザイン設計を行う場合、仮想空間の中での立体視表示は有効な方法であり、これまでも幾つかの研究が行われている[21]。しかしながら多くのシステムでは、設計されたデザインモデルごとに別々のアプリケーションとして起動されることが多く、仮想空間の中から他のデータにアクセスすることは困難であった。そのため、あるモデルを表示中に他のデータを参照したり、別のモデルと比較を行いたい場合、ユーザーはいったん仮想空間から抜け出し、別のアプリケーションに切り替えることが要求された。

CCBASEを用いたシステムでは、種々の設計モデルや



図 16 CCBASE を用いた設計環境
Fig.16 Design environment using CCBASE



図 17 CCBASE を用いたデータの可視化
Fig.17 Scientific data visualization using CCBASE

デザイン画像をデータベースに格納しておくことで、仮想環境から抜け出ること無しにこれらのデータにアクセスすることが可能になる。図 16 は、本研究で構築した自動車の設計環境を使用している様子を示したものである。ここでは、没入型ディスプレイ CABIN の中でデザイン中の自動車の 3 次元モデルを可視化し、関連する自動車の画像をデータベースから検索し参照しながら、モデルのデザインについて検討を行うという作業を行った。CCBASE を用いたシステムでは、モデルの可視化や他のデータとの比較といった、自動車のデザイン設計に関する一連の作業を没入仮想空間の中だけで行うことができた。

5.3 変形解析データの可視化環境

次に、CCBASE を変形解析データの可視化環境に応用した。有限要素法等による数値解析データの可視化は、バーチャルリアリティの重要な応用分野の一つである。ここでは、仮想空間を用いたデータの可視化環境を構築し、ゴムの座屈変形解析の検討に使用した。

座屈変形は初期条件の与え方によって、変形の挙動に大きな変化が表れる。ここでは、種々の初期条件に対するゴムの変形形状を計算し、計算条件等の情報とともにデータベースに登録した。利用者は計算条件をキーワードとすることで必要な計算結果にアクセスし、仮想空間の中で可視化することができる。図 17 は、本システムを用いて、変形形状の比較を行っている様子を示したものである。ここでは、各荷重条件に対する変形形状データを同時に可視化しながら比較を行い、荷重条件の違いによるゴムの形状の変化について検討を行った。本システムを用いることで、必要なデータを仮想空間の中に同時に取り込みむことができ、計算結果の比較検討という作業を、仮想空間から出ることなく効率的に行うことができた。

以上、本研究では自動車の設計環境、変形解析データの可視化環境に対し、CCBASE を応用した例を示したが、情報へのアクセスが必要な一連の作業を仮想空間の中だけで行うという本研究の目的を達成することができ、CCBASE の有効性について確認することができた。

6. おわりに

本研究では、仮想世界の中にあらかじめ用意された情報だけではなく、外部のネットワーク上のデータベースに、仮想空間の中から自由にアクセスするためのインタフェース CCBASE の開発を行った。このシステムでは、3 次元空間が持つ特徴と計算機の持つ演算能力の両者を併せ持った情報アクセス手法の構築を目指している。特に、ブック型のインタフェースを用いることで仮想世界の中で容易に情報を扱えるようにするとともに、ブックそのものを 1 つのデータベースとすることで効率的な情報管理を実現している。本論文では、特に必要なデータへのアクセス効率に関する検討として、インタフェースとして用いるブックの操作性、空間スクロール機能の効率性等について実験的な評価を行った。また CCBASE を用いた具体的なアプリケーションの事例として、設計環境やデータの可視化環境の構築に適用し、本システムの有効性を確認した。

今後は、本システムを種々の実用的なアプリケーションに組み込みながら、機能の拡張を行っていくと同時に、仮想空間を利用した、より効果的な情報アクセス、管理手法について検討を行って行く予定である。

参考文献

- [1] Bullinger, H.J., Riedel, O., Breining, R.: Immersive Projection Technology- Benefits for the Industry; International Immersive Projection Technology Workshop, pp.13-25 (1997).
- [2] Landauer, J.: Using Virtual Environments to Enhance Productivity; ICAT'98, pp.21-26 (1998).
- [3] Cruz-Neira C., Sandin D.J., DeFanti T.A.: Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE; Proceedings of SIGGRAPH'93, pp.135-142 (1993).
- [4] 廣瀬, 小木, 石綿, 山田: 多面型全天周ディスプレイ (CABIN) の開発とその特性評価; 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.5, pp.888-896 (1998).
- [5] 立山, 山田, 小木, 廣瀬: 仮想 3 次元空間での既存ウィンドウシステムアプリケーションの操作; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 論文集, pp.109-112 (2000).
- [6] Billingham, M., Bowskill, J., Jessop, M., Morphet, J.: A Wearable Spatial Conferencing Space, Second International Symposium on Wearable Computers (ISWC'98) (1998).
- [7] Bolt, R.A.: The human Interface; Lifetime Learning Publications,

California (1984).

- [8] Card, S.K., Mackinlay, J.D., Shneiderman, B.: Readings in Information Visualization: Using Vision to Think; Morgan-Kaufmann (1999).
- [9] Robertson, G., Czerwinski, M., Larson, K., Robbins, D., Thiel, D., van Dantzich, M., Data Mountain: Using Spatial Memory for Document Management; Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology, ACM Press (1998).
- [10] Risch, J., May, R., Thomas, J., Dowson, S.: Interactive Information Visualization for Exploratory Intelligence Data Analysis; Proceeding of the IEEE 1996 Virtual Reality Annual International Symposium, pp.230-238 (1996).
- [11] Sawant, N., Scharver, C., Leigh, J., Johnson, A., Reinhart, G., Creel, E., Batchu, S., Bailey, S., Grossman, R.: The Tele-Immersive Data Explorer: A Distributed Architecture for Collaborative Visualization of Large Data-sets; 4th International Immersive Projection Technology Workshop (2000).
- [12] 佐藤, 岸本: 未来の電子図書館「孫悟空」; 情報管理, **Vol.31**, No.12, pp.1023-1034 (1989).
- [13] 市山, 神谷, 宮本: 多様な情報源を対象とする WWW ベース電子図書館システム; デジタル図書館, **Vol.7**, pp.32-49 (1996)
- [14] 中西: Enhanced Room: 没入型ディスプレイにおける情報検索システム, 情報処理学会インタラクシオン 2000 論文集, pp.157-158 (2000).
- [15] 小木, 山本, 山内, 廣瀬: 没入仮想空間におけるデータベースアクセス; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 論文集, pp.403-406 (2000).
- [16] 山田, 棚橋, 小木, 廣瀬: 完全没入型 6 面ディスプレイ COSMOS の開発と空間ナビゲーションにおける効果; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, **Vol.4**, No.3, pp.531-538 (1999).
- [17] Browning, D.R., Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., DeFanti, T.A., Edell, J.G.: Input Interfacing to the CAVE by Persons with Disabilities; Virtual Reality and People with Disabilities (1994).
- [18] Ogi, T., Yamamoto, K., Yamada, T., Hirose, M.: Experience of Virtual World Using Cellular Phone Interface; Advances in Multimedia Information Processing (Proceedings of IEEE PCM 2001), pp.32-39 (2001).
- [19] 山内, 松永, 小木, 久保田, 飯沼, 川口, 塩田: 高速画像検索方式の開発; 第 14 回ヒューマン・インタフェース・シンポジウム論文集, pp.247-250 (1998).
- [20] 石垣: 動体視力; 新運動生理学 (上巻) (宮村編), 真興交易 (株) 医書出版部, pp.62-69 (2001).
- [21] Dai, F., Felger W., Fruhauf, T., Gobel, M., Reiners, D., Zachmann, G.: Virtual Prototyping Examples for Automotive Industries; Proceedings of Virtual Reality World (1996).

著者紹介

小木 哲朗 (正会員)



1986年東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年(株)三菱総合研究所入社。1994年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。1996年東京大学IML助教授。1999年より通信・放送機構研究員、東京大学IML客員研究員。バーチャルリアリティ、ビジュアルライゼーションの研究に従事。日本機械学会、計測自動制御学会、日本バーチャルリアリティ学会会員。博士(工学)。

山本 浩路



1988年千葉工業大学金属工学科卒業。同年山口菱洋システム(株)入社。2001年(有)イミディエイト設立。同社代表取締役。データベース、バーチャルリアリティ等のシステム開発に従事。

山内 正



1982年東北大学大学院情報工学専攻博士課程前期修了。同年(株)三菱総合研究所入社。ビジネスソリューション事業本部メディア&ネットワークグループリーダー首席研究員。情報科学関連のプロジェクトに従事。情報処理学会会員。技術士(情報処理部門)。

廣瀬 通孝 (正会員)



1977年東京大学工学部産業機械工学科卒業。1982年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。工学博士。同年東京大学工学部講師。1983年助教授。1999年東京大学先端科学技術研究センター教授。システム工学、ヒューマンインタフェースの研究に従事。計測自動制御学会、日本機械学会、日本バーチャルリアリティ学会各会員。