

平成16年度
研究開発成果報告書

テレ・イマーシブ・カンファレンス・
システムに関する研究

委託先：(株)ケー・ジー・ティー

平成17年5月

情報通信研究機構

平成16年度 研究開発成果報告書

「テレ・イマーシブ・カンファレンス・システムに関する研究開発」

目次

1. 研究開発課題の背景	2
2. 研究開発の全体計画	3
2-1 研究開発課題の概要	3
2-2 研究開発目標	3
2-2-1 最終目標 (平成20年8月末)	3
2-2-2 中間目標 (平成19年1月末)	3
2-3 研究開発の年度別計画	5
3. 研究開発実施状況	7
4-1 IPT(Immersive Projection Technology)用 VR 基盤ライブラリの研究開発	8
4-1-1 序論	8
4-1-2 技術動向の調査研究	8
4-1-3 既存アプリケーションと IPT アプリケーションとの連携調査	9
4-1-4 まとめと今後の課題	19
4-2 空間共有アプリケーション構築用ライブラリの研究開発	23
4-2-1 序論	23
4-2-2 技術動向の調査研究	23
4-2-3 MVL Toolkit	24
4-2-4 マルチ・アプリケーションの1画面共有に関する検討	25
4-2-5 既存技術を利用した会議システムのプロトタイプ開発	29
4-2-6 まとめと今後の課題	31
4-3 知識創造プロセス支援のためのデータベースの研究開発	34
4-3-1 序論	34
4-3-2 技術動向の調査研究	34
4-3-3 入出力インターフェイス	35
4-3-4 まとめ	44
4-4 アドバイザリ・グループの需要研究	46
4-4-1 序論	46
4-4-2 アドバイザリ・グループの位置づけ	46
4-4-3 平成16年度実績	46
4-4-4 アドバイザリ・グループのヒアリング結果	47
4-4-5 ビジネスモデルの考察	47
4-4-6 オープン・ソース化準備研究	47
4-4-7 まとめ	47
4-5 総括	48
5 参考資料・参考文献	49
5-1 研究発表・講演等一覧	49

1. 研究開発課題の背景

(1) 既存コミュニケーションツールの意思疎通力や臨場感の不足

ネットワークの発達によって、今日の社会では遠隔地の利用者と協調して意思決定や共同作業を行うことが多くなってきた。このような遠隔協調作業を行うためには、E-mail や WWW ブラウザ、TV 会議システム等を使用し、マルチメディア情報を活用したコミュニケーションが有効的である。しかしながら、これらのシステムでは扱える情報が限られ、感情が伝わらないなどの制約が多く、実空間でのコミュニケーションの補佐的役割でしか使用されていないのが現状である。特に、遠隔授業や研究開発、プロダクトデザインなどの分野では対象に三次元表現が必要となる場合も多く、現行の遠隔コミュニケーションシステムでは、意思疎通力や臨場感不足という問題がある。

(2) IPT に求められる知識発見、知識創造支援機能

一方、全国各地に点在している CAVE や CABIN に代表される IPT (Immersive Projection Technology) をネットワークで接続し、没入型の VR 空間を共有しようという試みが行われている。これらの研究では、お互いが **アバタ** (代理人) と呼ばれる CG のキャラクターや、カメラで撮影されたユーザの映像を相手の VR システムに投影することによってコミュニケーションを実現する。またお互いの VR 空間に同じオブジェクトデータ (物体) を表示することによって、あたかも同じ空間を共有しているような高い臨場感を生成する。これらの高臨場感のある協調作業では、お互いの利用者が知恵や知識を共有し、膨大なデータの中から有益な情報を抽出し、問題解決にあたるデータマイニング等の知識発見や知識創造支援機能が重要な要素となっている。IPT は、大画面表示機能があるので、多様なデータやコンテンツを一覧できるので、知識創造支援機能を本質的に有しているといえる。

(3) IPT に必要な互換性

共有 VR 空間に関する研究はいくつかのプロジェクトで研究され、ある一定の成果を収めてはいるが、いずれもプロジェクト間での互換性が乏しいという問題がある。例えば、あるグループが開発した共有 VR 空間と、他のグループが開発した共有 VR 空間を接続することは通常困難であり、現状では閉鎖されたグループの中でしか利用することができない。この原因としては、システム間の互換性の低いハードウェアと、個々のシステムが異なるライブラリを用いているというソフトウェアの要因が考えられる。IPT のシステムは非常に高価であるがゆえ、通信相手ごとに新規のシステムを導入することは困難であり、新たなライブラリやフレームワークを導入することも、これまでに蓄積されてきたソフトウェア資産を捨てることになり、普及の妨げとなっている。

(4) IPT に必要なアプリケーション・ソフトウェア

VR 装置の本来的な価値は、意思疎通力に優れ、臨場感があり、多様なデータを一覧的に表示でき、コミュニケーション力と知識創造支援力を有していることである。しかしながら、この特長を生かして、普段利用しているアプリケーション・ソフトを IPT でも利用したいと思っても、極めて困難である。これは、アプリケーション・ソフトウェアが、IPT で利用されることを想定されていないからである。

その理由は、IPT 機能を組み込むコストが高いからである。組み込み用のライブラリは、非常に高価であるし、情報もないからである。もし、費用をかけずに、簡単に組み込みができれば、IPT 対応のアプリケーション・ソフトウェアは、増大すると思われる。なぜなら、普段利用しているソフトウェアのプルダウン・メニューの中に、「IPT 出力」や「ネット会議の実行」等のボタンが埋め込まれていたら、ユーザにとっては、非常に便利な機能であり、気軽に利用ができるようになるからである。例えば、現在でも、マイクロソフト社のネット・ミーティングを利用する人が少ないのは、わざわざ別アプリケーションを立ち上げなければならないからと考えられる。研究者らの経験では、「素人度が高いほど、一つのアプリケーションで済ませたい」というのが、現実であるからである。

2. 研究開発の全体計画

2-1 研究開発課題の概要

本研究では、VR空間を共有しながら人間相互の意思疎通や協調作業を行うためのコミュニケーション環境を構築するためのソフトウェア・ライブラリを提供し、遠隔地間での協調的なデータマイニングやナレッジマネジメントを実現することを目指している。

本研究の課題は、

- ・ データベースを介在させ、「空間、時間、人物、物体、操作、情報の共有化」を有機的に、他のアプリケーション・ソフトと連携利用できる事、
- ・ TV会議以上のスケーラビリティを有し、実用レベルまで実装することができる事、
- ・ 両方のライブラリが他のアプリケーション・ソフトウェアの開発基盤に資することができる、汎用性、オープン性、互換性を実現する事、である。

具体的な研究開発課題のサブテーマとしては、(1) IPT用VR基盤ソフトウェアの開発、(2) 空間共有アプリケーション構築用ライブラリの開発、(3) 知識創造支援のためのデータベースの開発、(4) 空間共有会議システムのプロトタイプ構築とその評価を行う。

2-2 研究開発目標

2-2-1 最終目標（平成20年8月末）

(1) IPT用VR基盤ソフトウェアの開発

① VR基盤ソフトウェア

デスクトップ環境からIPT環境まで同じAPIで、設定ファイルを変更することによって対応できるVR基盤ソフトウェアを整理する。コンソーシアムを設立し一般公開を行う。

② 携帯端末インターフェイス

GUI評価を行い、VR空間に提示される3次元GUIより使いやすいように改良を行う。

③ グラフィカル開発環境

サンプルプログラムとヘルプ機能を参照しながら利用者が独自のアプリケーションを構築できる環境と、モジュールの整備。

(2) 空間共有アプリケーション構築用ライブラリの開発

空間共有アプリケーション構築のための、空間共有機能、時間共有機能、人物共有機能、操作共有機能、情報共有機能、物体共有機能をライブラリとして整理する。これらのライブラリは、IPT用VR基盤ソフトウェアを始め、CABIN Lib.等のVR構築用ライブラリとの併用も実現する。またコンソーシアムを設立し一般公開を行う。

(3) 知識創造プロセスの支援のためのデータベースの開発

情報の相互影響を考慮し、関連情報の変化に対応しながら、情報のリンク関係を動的にグラフィカル提示する機能を組み込む。

(4) 空間共有テレビ会議システムの構築と評価

アドバイザーグループと連携し、プロトタイプの機能実証。オーグメンテッド・リアリティ・プロトタイプを試作し、機能の評価を行う。

2-2-2 中間目標（平成19年1月末）

(1) IPT用VR基盤ソフトウェアの開発

① VR基盤ソフトウェア

デスクトップ版と1面スクリーン対応版を試作し、実空間の3次元知覚と差のない視覚情報を提示できる。多面スクリーンに用いた場合にスクリーンのつなぎ目に違和感がな

いようにする。入力デバイスからのデータを管理するデーモンの試作。国際化のための仕様の決定。

② 携帯端末インターフェイス

GUI を用いたインタラク션을 VR 空間で実現するために PDA と携帯電話をベースとしたユーザインターフェイスを開発する。設定ファイルによって GUI が自動的に再構築できるようにする。

③ グラフィカル開発環境

ネットワークエディタの設計。グラフィックス関連、インタラク션関連、割り込み処理関連、デバイス関連の各モジュール群を構築する。

(2) 空間共有アプリケーション構築用ライブラリの開発

空間共有アプリケーションの構築に必要な、空間共有機能、時間共有機能、人物共有機能、操作共有機能、情報共有機能、物体共有機能をそれぞれ実装し機能評価を行う。たとえば、人物の共有機能に関しては、アバタによる指差し位置がセンサ誤差と同等（5cm 以内）の精度で伝達されること、時間の共有に関してはビデオ映像の 2 コマ（0.06 秒）以内の時間同期を実現する、また情報の共有機能では SQL を介した種々のデータベースへのアクセス機能を実現することを目標とする。

(3) 知識創造プロセスの支援のためのデータベースの開発

データベースに蓄積された情報から利用者が求めるデータを的確に抽出するデータマイニング機能を開発する。登録するデータに属性を持たせ、関連ある情報を自動的にリンクする機能を持たせること。

(4) 空間共有テレビ会議システムの構築と評価

アドバイザーグループと連携し、VR タイプ、デスクトップタイプの仕様の決定。

2-3 研究開発の年度別計画

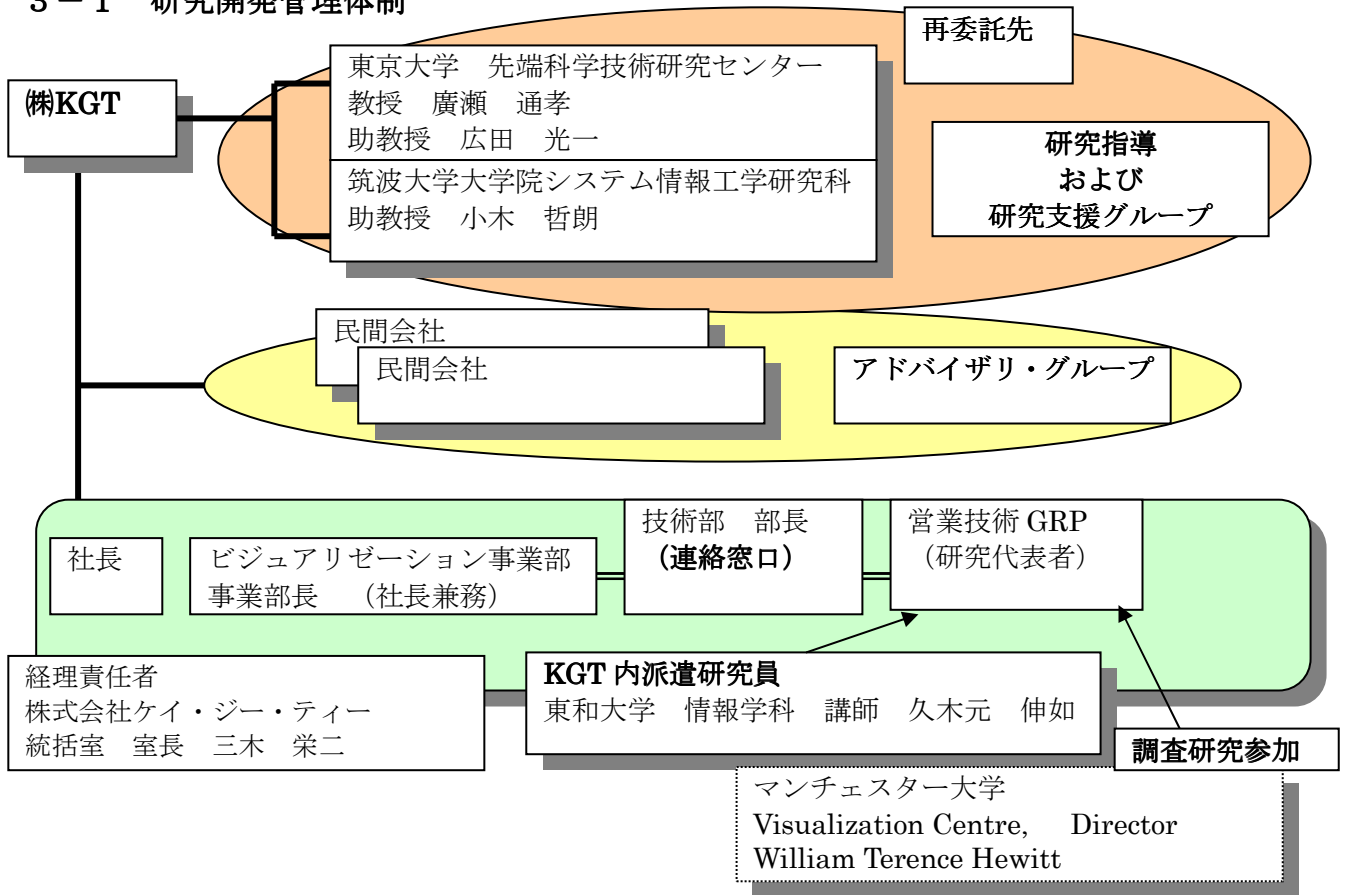
(金額は非公表)

研究開発項目	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	計	備考
(1) IPT (Immersive Projection Technology) 用 VR 基盤ライブラリ研究 ①VR 基盤ソフト仕様要件の整理 ②表示端末とのインターフェイス検討 ③ライブラリ利用環境の検討		→		→		東京大学
(2) 空間共有アプリケーション構築用ライブラリ研究 上記①、②、③と同じ		→		→		筑波大学
(3) 知識創造プロセス支援のためのデータベース研究 ①データベースとカンファレンスとの融合設計 ②知識創造プロセス・アーキテクチャやワークフロー整理、検討		→		→		
(4) アドバイザリ・グループの需要研究		→		→		
(5) オープン・ソース化準備研究			→	→		
間接経費						
合計						

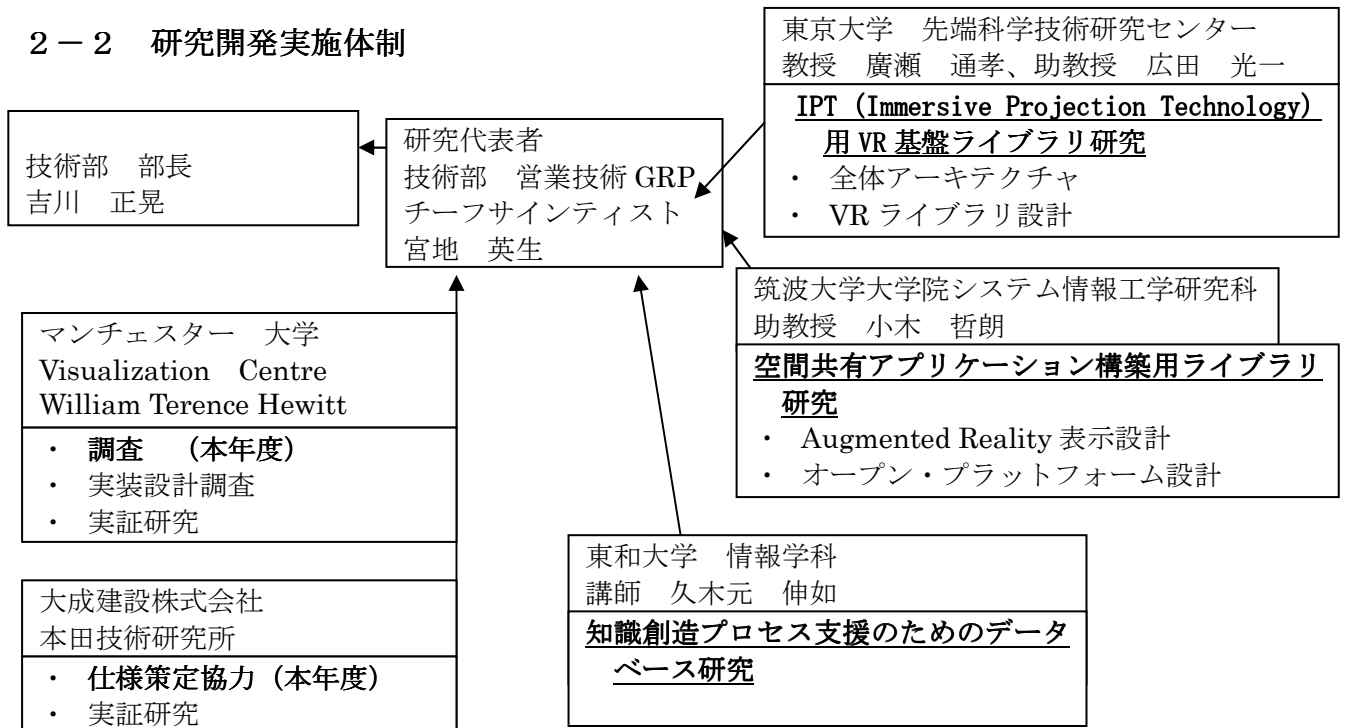
- 注) 1 経費は研究開発項目毎に消費税を含めた額で計上。また、間接経費は直接経費の30%を上限として計上(消費税を含む)。
 (合計の計は、「3-1の研究開発課題必要概算経費」の総額と一致)
- 2 備考欄に再委託先機関名を記載。

3 研究開発体制（平成16年度）

3-1 研究開発管理体制



2-2 研究開発実施体制



3. 研究開発実施状況

平成 16 年度の研究開発内容は、4 年間の開発計画全体の中で、「基本設計ならびに最終事業化をにらんだ事業基盤造り」をテーマとした。

各サブテーマ単位の平成 16 年度の研究開発内容は、以下の通りである。

① IPT (Immersive Projection Technology) 用 VR 基盤ライブラリ研究開発

下記観点からの基本仕様の検討ならびにシステムの基本設計を行う。

- ・ アドバイザリ・グループ（後述）が必要とするアプリケーション需要
- ・ アプリケーション（市販、自作）との連携インターフェイス
- ・ オープン・ソース化が市場で受け入れやすい要件
- ・ 表示端末とのインターフェイス
- ・ ライブラリ利用環境

② 空間共有アプリケーション構築用ライブラリ研究開発

下記観点からの基本仕様の検討ならびにシステムの基本設計を行う。

- ・ アドバイザリ・グループ（後述）が必要とするアプリケーション需要
- ・ アプリケーション（市販、自作）との連携インターフェイス
- ・ オープン・ソース化が市場で受け入れやすい要件
- ・ 表示端末とのインターフェイス
- ・ ライブラリ利用環境

③ 知識創造プロセス支援のためのデータベース研究開発

下記観点から、基本仕様の検討ならびにシステムの基本設計を行う

- ・ データベースとカンファレンスとの融合
- ・ 知識創造プロセス・アーキテクチャやワークフロー

④ 空間共有会議システムのプロトタイプ構築とその評価

- ・ アドバイザリ・グループの需要研究
- ・ オープン・ソース化準備研究

尚、本プロジェクトの通称を CnC（シー・エヌ・シー）プロジェクトと命名した。

これは、「Collaborative Networked Communication」（または Cabin-Network-Cabin）の略称とした。研究成果となる「CnC 基盤ライブラリ」は、IPT 装置や TV 会議システムを結び、没入感表示とコラボレーションを統一的に管理し、各種アプリケーションとのインターフェイスをオープン化するものである。

以下の報告書では、本プロジェクトを「CnC プロジェクト」、上記、①、②、③を併せたものを「CnC 基盤ライブラリ」と呼ぶ。

4-1 IPT(Immersive Projection Technology)用 VR 基盤ライブラリの研究開発

4-1-1 序論

本研究では、臨場感のあるテレ・イマーシブ・カンファレンス・システムの端末として CAVE, CABIN に代表される IPT 環境や TILE 型の大画面・高解像度ディスプレイ装置の利用を考えており、本基盤ライブラリは、それらの装置へグラフィックス出力を行うアプリケーション開発を支援するものである。本サブテーマの目的は、東京大学で開発した CABIN ライブラリを普及用に整備・拡張することである。本年度は、既存の類似プロジェクトの調査を行うとともに、既存アプリケーションとの連携方法、ライブラリを利用する立場からの要求を調査し、整備・拡張するための仕様を検討した。

4-1-2 技術動向の調査研究

IPT に関する研究を行っているプロジェクト、研究機関の調査を行った。特に、本プロジェクトで、利用できるライブラリや共通化できるインターフェイス仕様が無いかを検討した。

プロジェクト/開発コード名	国	概要	主要機関	提供形態
DAFEIE	米国	協調作業支援フレームワーク	ボストン大学	バイナリ提供
Chromium	米国	クラスタ用マルチ画面対応レンダリング	Greg Humphreys	オープンソース(BSD)
VRJuggler, NetJuggler	米国	IPT支援ライブラリ	ISU,INPG	100%オープンソース
AVOCADO	欧州	分散VR空間構築用フレームワーク	GMD	不明
Szyzygy	米国	クラスタ志向IPT支援ライブラリ	イリノイ大学	利用可能
FreeVR	米国	IPT支援ライブラリ	NSCA	オープンソース
DIVERSE	米国	IPT支援ライブラリ	バージニア工科大	オープンソース(LPGL,GPL)

すぐに利用できる開発成果物、協調できるプロジェクトは存在しなかったが、次の3つのプロジェクトは、今後も注目することとした。

- Chromium(米国)

WireGL の後継として現在も開発が進んでいる米国のプロジェクト。OpenGL の既存アプリケーションからの 3 次元表示を動的に取得しマルチ画面に対応させることができる。商用アプリケーションとの連携実績が多い。BSD ライセンス方式であり、本プロジェクトの一部で採用することも考えられる。

- Syzygy (米国)

Integrated System Lab. Beckman Institute University of Illinois 開発。
クラスタ志向の VR ライブラリで 2000 年より成果の配布を開始。ソース (C++) 公開の LPGL ライセンス。現在も各所で利用・活用されている。

- FreeVR (米国)

CAVE Lib 開発に中核として関わった Bill Sherman らを含む、NSCA, Duke, UIUC-MB の研究者が開発して提供しているオープン・ソースの VR 環境開発支援ライブラリ。

通信の部分は無いが本プロジェクトの IPT 対応 VR ライブラリとは重複する領域にあるので注目すべき存在である。

サーベイの総論

調査詳細は次の資料番号で、添付資料として掲載する。

- A-1 DAFFIE
- A-2 Chromium
- A-3 VRJuggler, NetJuggler
- A-4 AVOCADO

- A-5 Syzygy
- A-6 FreeVR
- A-7 DIVERSE

4-1-3 既存アプリケーションと IPT アプリケーションとの連携調査

ここでは、まず、本サブテーマの研究開発のベースとなる CABIN ライブラリおよび CABIN システムについて述べる。

次に、IPT システムへの表示支援ライブラリの中で、最も市場で流通していると思われる CAVE ライブラリについて機能、コーディング方法などを考慮し、CnC ライブラリとの互換性、採用すべき概念について検討した。後発となる CnC ライブラリの普及には、既存の IPT アプリケーションが簡単に書き換え可能であることが重要であると思われるからである。

また、既存の 3 次元グラフィックス・アプリケーションの OpenGL 出力を取り込むことで、ソースコードを書き換えることなく IPT アプリケーションと連携して動作させる OpenGL-DLL Replace 技術を用いたフリーソフトウェア Chromium と商用ソフトウェア EasyVR について調査し、実際に既存アプリケーションとの連携を試験した。

最後に 2 次元のアプリケーションの表示を IPT 環境に取り込むための技術として pwm について述べる。

(1) CABIN および CABIN ライブラリ



図 4.1.1 CABIN システム概観

① 概要

CABIN は 5 面の没入型ディスプレイである。計算機が作り出す仮想 3 次元世界を、あたかもそこに存在するかのような映像を見せることができる。3 面や 4 面の没入型ディスプレイではフレームアウト（すなわち観察者の視野を完全にスクリーンで覆うことができない問題）が生じるが、CAVE では普段の見回し動作ではほとんど起こらない。よって Virtual Reality 研究のプラットフォームとして、非常に有用である。

② 歴史

1997 年に日本初の 5 面没入型ディスプレイとして開発された。現在 CABIN システムそのものの研究は行っておらず、むしろ CABIN の応用研究が行われている。開発体制としては、主に東京大学が中心であるが、通信放送機構（現情報通信研究機構）や岐阜県、筑波大など他の機関、大学と連携しながら研究開発が行われている。

③ 機能と特徴

CABINは5面の没入型ディスプレイである。2.5メートルの立方体（6面体）の形状をしていて、5面はスクリーンが張られており、1面は出入り口として空いている。東京大学インテリジェント・モデリング・ラボラトリーに設置されている。観察者が中心に立つと、立体角で270度がスクリーンで覆われているため、見回し動作を行ったとしても視野のすべてが計算機の作り出す仮想世界で覆われることになる。没入型ディスプレイシステムの要素技術としては、

- ・ フレームアウトを起こさない大画面
- ・ 3D CG 描画機能
- ・ リアルタイム描画可能な高速レンダリング機能
- ・ 視点追跡機能
- ・ 両眼立体視機能

が挙げられ、3D CG 描画性能が優れた計算機、視点位置を計測するための3次元位置計測装置、立体視のためのハードウェアが必要である。現在のCABINでは5面のスクリーンに背面投影で、CRTプロジェクタから投影された映像を映している。また、3D CG 描画用計算機として、SGI社のOnyx 2 monsterを使用している。また、3次元位置計測装置として、磁気式のPolhemus社製Ultratrakを使用している。また、両眼立体視装置として、液晶シャッターメガネを使用している。表示速度は片目48Hz、両目で96Hzであり、視点追跡機能もそれ以上の速度で計測している。

入力装置として、ゲームコントローラを改造したデバイスを主に使用しているが、PDAや携帯電話を利用したり、データグローブや振動デバイスを利用したりする研究もあった。また、3次元音響システムを研究するグループもあった。

CABINでの象徴的な応用研究として、ビデオアバタ研究が挙げられる。ステレオカメラや18眼カメラシステムなどで人物を3次元的に撮影し、遠隔地の没入型ディスプレイで3次元モデルとして人物をリアルタイムに提示する技術である。これを応用して、遠隔地との共有空間での協調作業などの研究が行われた。

④ CABIN ライブラリ

CABINlibは、CABINでの研究開発のための基盤ソフトウェアとして東京大学で開発、改良されてきたライブラリである。東京大学でCABIN研究が本格化した1996年当時、イリノイ大CAVE用のCAVELibは存在したが、ハードウェア構成の差異で結局CAVELibとは独立にスクラッチから記述された。

CABINアプリケーションプログラマは、CABINlibを使うことによって、IPTへの描画及びIPT用の入力デバイスからの入力を容易に処理することができるようになる。視点位置を提供するソフトウェアコンポーネントは、専用プロセスとして常時動作しており、情報を共有メモリに書き続ける。また、入力デバイス情報を直接処理するソフトウェアコンポーネントもまた、専用プロセスとして常時動作しており、やはり情報を共有メモリに書き続ける。

CABINアプリケーションプログラマは、3次元CG描画用APIとして、OpenGLしか使わない時は、glCABINlibを使うことになるが、OpenGL Performerを使う場合は、pfCABINlibを使うことになる。

初期のCABINlibはSGI iStation 5台 + ハードウェア共有メモリの構成で動くように製作されたが、その後、SGI Onyx や、pc クラスタでも動く版が製作された。

(2) CAVE システムと CAVE ライブラリ

ここでは、IPT システムへの表示支援ライブラリの中で、市場で最も流通していると思われる CAVE ライブラリについて機能、コーディング方法などを考慮し、CnC ライブラリとの互換性、採用すべき概念について検討する。

① CAVE システム

CAVE は 1992 年の SIGGRAPH で発表された米国イリノイ大学の EVL で開発された IPT である。3mx3m のスクリーンを前面、床面、左右に設置し、背面投影で映像を投影する（ただし床面は天井から投影する前面投影）。これを CAVE フレーム・ストラクチャと称する。

可搬性を有し傾斜スクリーンを用いた簡易 CAVE として ImmersaDesk や大画面スクリーンの IWall がある。

② CAVE ライブラリ概要

CAVE ライブラリは CAVE アプリケーションを構築するために必要な全ての API を持っている（添付資料 5-2-1）。これは CAVE のスクリーンの同期や、立体視のための計算、共有メモリ管理などを行う。当初は SGI のマシン (Onyx) を必要としたが、近年では Linux 版、Windows 版、クラスタ版がある。また、コンフィグファイルを書き直すだけで、CAVE や ImmersaDesk のみならず様々なタイプの IPT や HMD に対応できる。

CAVE ライブラリは OpenGL をベースとしているがグラフィックス生成をサポートする API は準備されていない。しかし、OpenInventor 等の OpenGL の上位 API に対応している。複数の CAVE をネットワーク化し、共有空間の構築をサポートしているが、プロトコルは multicast しか対応していないので、遠隔共有する場合には QUANTA など別のネットワークライブラリを用いる。

CAVE ライブラリは視点の制御を行っているので、プログラマは視点変更に関する記述は必要ない。コンフィグファイルで単位系を feet に設定した場合、OpenGL 上での“1”は“1feet”を表す。たとえば半径 1 の球は半径 1feet の球となる。座標系は基本的には OpenGL と同じく Top Y だが、pfCAVELibrary（後述）の場合は Top Z となる。CAVE ライブラリは 60Hz で trackd の共有メモリを参照し、トラッキングデータやコントローラのデータを入手する。すなわち

- ・ トラッキングデータの入手
- ・ 右目映像生成
- ・ 左目映像生成

の 3 つの動作を 60Hz で繰り返している。

③ CAVELib コンフィグファイル

CAVE ライブラリの稼働環境に依存する基本的な設定は /usr/local/CAVE/etc の cave.conf で行う。設定内容は

- ・ tracker や controller の種類（trackd か、他のデーモンか）
- ・ スクリーンサイズ
- ・ スクリーンの傾き
- ・ 実空間と対応させる原点位置
- ・ pipe とスクリーンの対応
- ・ 単位系
- ・ 共有メモリのキー番号
- ・ シミュレーションモードの on/off

- ・ ステレオの on/off

等々多くの設定項目がある。その他、マシン環境に関する設定は <マシン名>.config で設定され、ユーザ独自の設定はユーザのホームディレクトリの.caverc で設定できる。

以前のバージョンでは trackd に関する設定もマシン名.config に記述していたが現行のバージョンでは trackd に関する設定は別になっている。

④ CAVELib を用いた開発手順

アプリケーション開発は、いきなり IPT 環境で行うのではなく、まず、通常のデスクトップマシン上の simulator モードで開発を行う。simulator モードでは、CAVE フレーム・ストラクチャのマルチディスプレイの代わりに、複数のウインドウに表示される simulator 画面でアプリケーションの挙動を確認する。このとき CAVE での一般的なコントローラ Wand は赤いボックスとして表示される。ここで挙動の確認を行った後、実際に CAVE フレーム・ストラクチャで実行する。このとき必要な作業は、コンフィグファイルの

```
simulator mode          yes
```

を

```
simulator mode          no
```

に修正するだけである。

実行するためには先に trackd を立ち上げておく。trackd が立ち上がってなければ入力デバイスからの情報を得ることができないのでエラーを表示し強制終了する。

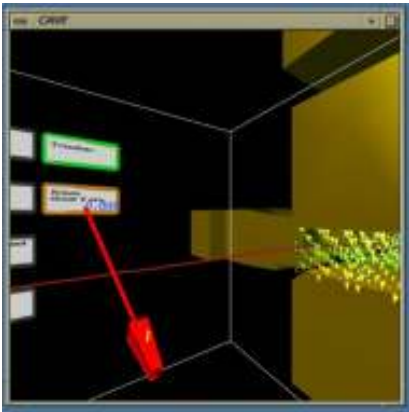


図 4.1.3 Simulation mode

⑤ pfCAVE ライブラリ

pfCAVE ライブラリは、OpenGL でなく、OpenGL Performer を用いて CAVE アプリケーションを構築するときに用いられる。ここでは、OpenGL Performer で必要な、view(カメラに相当)の生成、チャンネルの生成、パイプの生成、ウインドウの生成がサポートされている。言い換えれば、pfCAVE ライブラリの主な機能はこれらだけなので、trackd からのデータの入手 (CAVEGetPosition() 等) は CAVELib で補わなければならない。

pfCAVE ライブラリのシーングラフは Performer のシーングラフと同じである。よって、OpenGL で作成したグラフィックス・アプリケーションを CAVE ライブラリを用いて CAVE アプリケーションに変更するよりも、Performer のグラフィックス・アプリケーションを pfCAVE ライブラリを用いて pfCAVE アプリケーションに変更する方が容易である。

⑥ CAVE ライブラリと CnC 基盤ライブラリの関係

CAVE ライブラリは IPT に VR 空間を提示するためのローレベル関数しか提供されていない。そこで、CAVE ライブラリをラップする形で Tele-immersive カンファレンスアプリケーションの API を提供する方法が考えられる。このとき、IPT に関する機能と tele-immersive カンファレンスアプリケーションに関する機能を完全に分離することが必

要となる。

CAVE ライブラリとの互換性については、互換性のある API を含む CnC 基盤ライブラリの提供が考えられる。これまで CAVE ライブラリを用いてきたユーザは、資産として多くのソースコードを保有している。しかし、一方では tele-immersive カンファレンスアプリケーションを構築するために新たに CAVE ライブラリを複数購入することはコストの面で問題がある。そこで、CAVE ライブラリと同じ機能を有し、類似した API を含むライブラリを提供することによって、ユーザは CAVE ライブラリと同等の機能を入手できる。CAVE ライブラリの機能と、CnC ライブラリの機能は、ほぼ同等のものにできると考えられるので、既存ソースコード活用のためにスクリプト処理やエディタで一括変換することで対応できる可能性はある。

しかし、類似製品のリリースは著作権法やパテントに抵触する可能性があるので十分な調査が必要である。だが、完全に CAVELib の模倣ではなく IPT に提示するための最低限の機能を CAVE ライブラリと互換するだけで十分と思われる。

(3) Chromium 試験結果

既存アプリケーションの改変なしに、IPT アプリケーションヘデータを取り込む方式をテストする目的で Chromium の開発環境をダウンロードし、実際に動作試験を行った。

(Chromium 自身は、マルチ画面への表示はできるが、IPT 対応ではない。)

試験プラットフォームは、Linux, および WindowsXP。

① 構築

環境構築は、トップディレクトリで make を実行すればよいが、make は Windows 上の開発環境(VC6)にはないので、別途 cygwin が必要になる。make コマンドがあれば、Linux, Windows とともに問題なく構築できた。

② 実行

構築した環境で、サンプルアプリケーションを起動した。

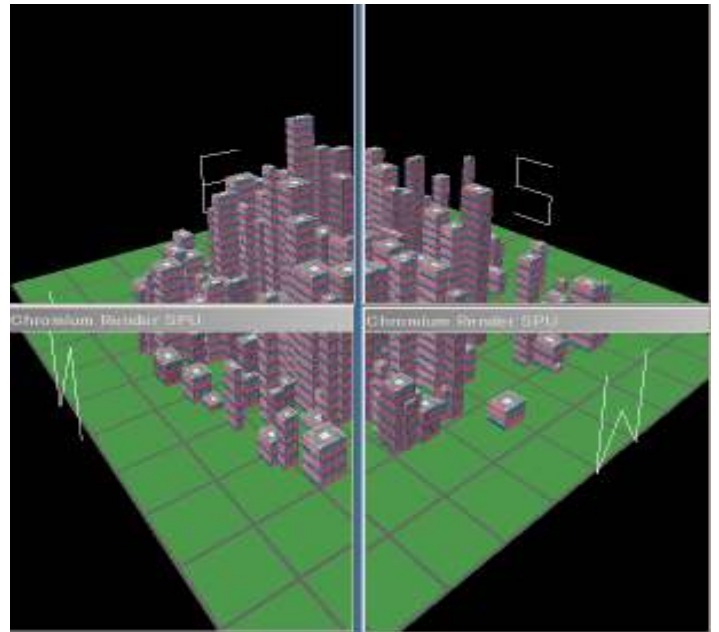
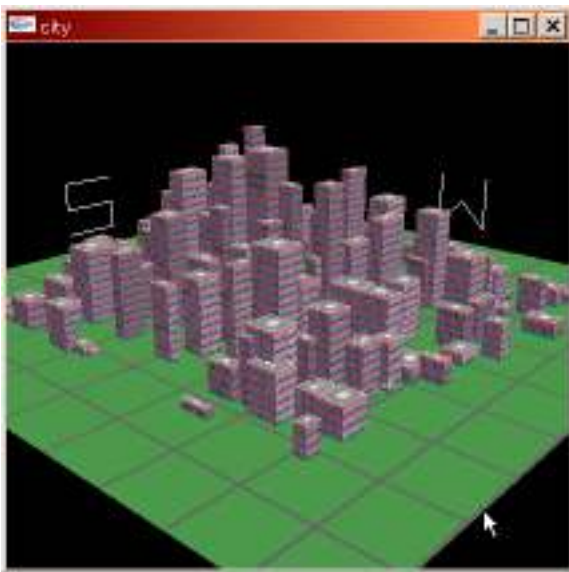


図 4-1-4 Chromium 動作画面

図 4-1-4 は、左図のように単体ウインドウで表示される OpenGL アプリケーション (Chromium の配布に付いているテストプログラム) を、chromium 環境で実行し図 4-1-4 (右) のように、4 つに分割表示した様子を示す。

このとき、次の 3 種類のプロセスが動作する。

- Mothership (サンプルの設定ファイルを一部変更して実行)
- Crserver 4 つ実行
- Crappfaker 実行

Mothership に対する設定ファイルの記述によって、任意の数にタイル分割が可能。また、rendering ノードは、複数のマシンに分散できる。

Chromium は application faker によって既存 OpenGL アプリケーションを、リコンパイルなしに、分散レンダリングへ移行できることがわかった。ただし、表示の同期などとはっていないため、複数のコンピュータを利用したタイルディスプレイなどを行う場合は、外部で描画同期をとる (GenLock など) 必要がある。

(4) AVS と Chromium の連携テスト

次に、テストプログラムではなく、市販のプログラムとの連携をテストした。

試験環境は次の 2 組通りで実施した。

試験環境 1	OS : Linux	、アプリケーション : Express7.0
試験環境 2	OS : WindowXP	、アプリケーション : Express6.3

図 4-1-5 に、Linux 上の Chromium 環境で、Express を実行した様子を示す。画面右上のグレースアウトしたウインドウは、通常 AVS の表示ウインドウであるが、ApplicationFaker が、そこへ出力されるべき OpenGL コマンドを横取りし、RenderSPU によって別ウインドウに表示している。

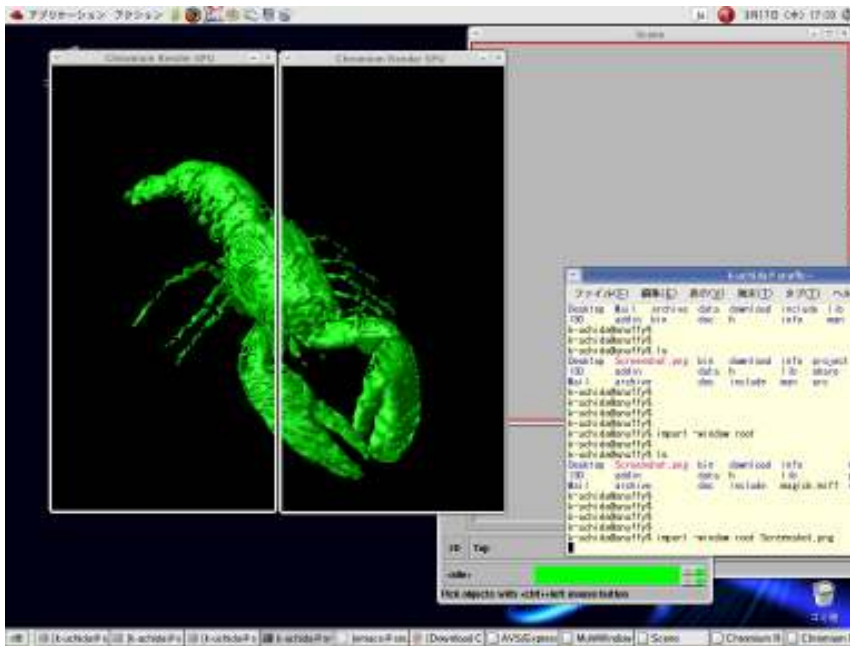


図 4-1-5 Chromium と AVS/Express が連携して分割表示した例(Linux)

図 4-1-6 は、同様の操作を Windows 上で表示した様子。

Windows では、AVS/Express は crappfaker では起動できなかった。このとき、mothership と、crserver 2 つが起動された状態で、AVS/Express の実行ファイル express.exe と chromium のラップ dll を opengl32.dll という名前で同一ディレクトリにコピーして、実行している。このことから、crappfaker はアプリケーションを chromium 上で動作させるための環境設定を行うだけで、mothership とのやりとりは、ライブラリが行っていると予測される。

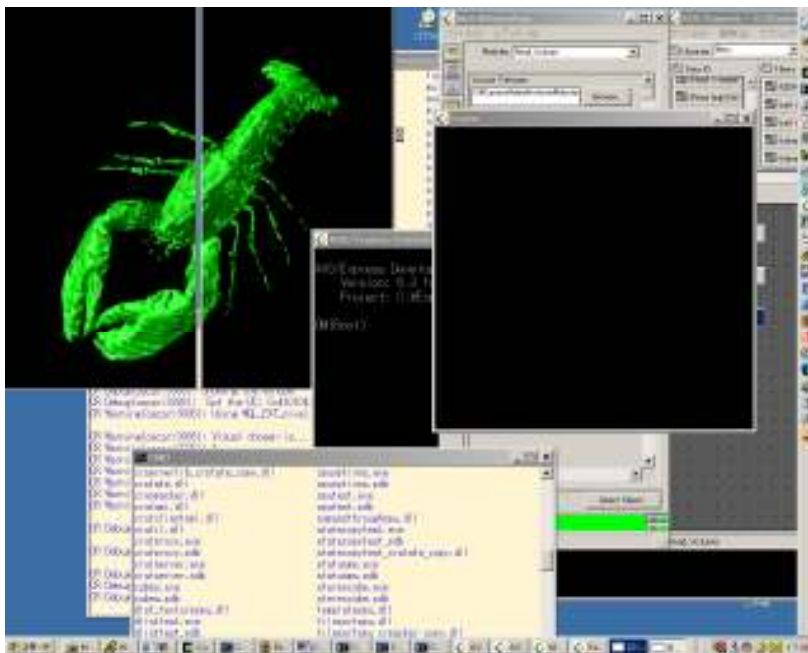


図 4-1-6 Chromium と AVS/Express が連携して分割表示した例(Windows)

最初にデータが表示されるまでは、かなりの時間がかかったが、回転や移動、拡大の操

作は比較的レスポンスよく動作する。これは、AVS/Express が、キャッシュ (DisplayList) を作成しているために、回転、移動、拡張では RenderSPU にキャッシュされたデータに対して、モデル変換データだけを行うからである。したがって、AVS/Express のパラメータで、キャッシュを off にした場合は、回転、移動、拡張のレスポンスは著しく低下した。

Chromium を活用する場合は、データの変更がなく、モデル変換のみが変更されるようなアプリケーション (ウォークスルーなど) では効果的であるが、形状が変る非線形や非定常のシミュレーション結果の可視化では効率的に動作できないだろう。

(5) EasyVR

EasyVR は、Chromium と同様の方法 (OpenGL-DLL Replacement) で既存の OpenGL アプリケーションの出力結果を取り出し、それを VR 環境で表示させる商用アプリケーションである。Chromium との違いは単純にタイル状に分散表示するのではなく、CAVE のようなシステムで立体視表示ができ、かつヘッドトラッキング表示が可能なことである。

EasyVR は株式会社フィアラックスによって 2003 年に IPA (独立行政法人 情報処理推進機構) の支援を受けて開発された。2003 年の DMS (設計製造ソリューション展) にてベータ版が紹介され、2004 年 1 月にバージョン 1.0 が発売された。2004 年 10 月にバージョンが 2.0 に上がり、3 種類のパッケージ EasyVR MH、EasyVR MC、EasyVR SC に分割された。MH パッケージはマルチスクリーンシステムへの表示に対応し、ヘッドトラッキング表示が可能である。MC パッケージは MH パッケージのヘッドトラッキング表示機能が省かれている。SC パッケージは 1 スクリーンシステムへの表示のみが可能である。また、2004 年 11 月には裸眼立体視モニタへ表示可能な NSC パッケージがリリースされた。

EasyVR は既存アプリケーションの OpenGL API コールをキャプチャする本体と、他の PC 上で動作し、キャプチャされた API コールを基に CG を表示するプレイヤの 2 種類のプログラムで構成される。両プログラムはイーサネットでは通信を行っている。EasyVR 本体はその他の GLR 型のソフトウェアと同様に opengl32.dll をリplacesし、既存アプリケーションの OpenGL API コールをバイナリデータとしてメモリ上に蓄え、スワップバッファ時にプレイヤ (他の PC) へ転送する。また、トラッキング装置の入出力を管理してヘッドトラッキング用のマトリクスを計算して随時プレイヤに転送している。プレイヤは転送された API を解読し透視変換マトリクスやモデルビューマトリクスをスクリーンシステムに合うものに変更して CG を表示させている。

既存アプリケーションの OpenGL API コールをイーサネットでは転送するという仕様上、通信コストが非常にかかるため、シミュレータや VR ソフトウェアのように常に画面を更新するアプリケーションには向いておらず、CAD や CAE ソフトウェアの表示を簡単にスクリーンシステムに表示するのに適している。

商用ソフトウェアでありソースコードは公開されていない。

OpenGL API をキャプチャして表示するという仕様上、シーングラフを独自に持たないため、立体視以外の VR 的な処理は難しい。現在のバージョンは OpenGL1.1 までの標準関数のみをサポートしているため、今後は OpenGL1.2 以降の標準関数や拡張関数をサポートし、対応できるアプリケーションを増やす予定となっている。

(6) OpenSG

OpenGL コマンドを取り出すだけでは、単純な表示しかできない。その上のレイヤーであるシーングラフを統一することができれば処理範囲が広がる。採用するシーングラフの候

補として、OpenSG を調査した。

① 概要

OpenSG はオープン・ソースのシーングラフ・ライブラリである。プラットフォームとして IRIX、Windows および Linux をサポートし、OpenGL をベースとしたリアルタイム・レンダリング機能を持つ。

② 歴史、開発チーム

OpenSG は 1999 年の SIGGRAPH に於いて Dirk Reiners、Allen Bierbaum、Kent Watsen によって始められたプロジェクトである。2000 年 1 月に OpenSG Forum が設立され、2000 年の SIGGRAPH でアルファ版、2001 年 2 月にベータ版、2001 年 10 月にバージョン 1.0 がリリースされた。

③ 機能・特徴

マルチスレッドをサポートしており、複数のスレッドが非同期にシーングラフにアクセスすることを想定した設計となっている。また、クラスタリングをサポートしており、CAVE や PowerWall といったマルチスクリーンシステムへの出力および立体視も可能である。

ライブラリにはベクトルや行列などの 3 次元処理に必要な演算を行うクラス、参照カウンタ付ポインタクラス、シーングラフの管理を行うクラス、シーングラフの要素であるノードおよびノードの属性を格納するフィールドの作成・編集を行うクラス、シーンを表示するウィンドウを制御するクラスなどから構成される。VRML97、OBJ など数種類の 3D データのローダも含まれている。

④ 利用方法・権利関係

ライブラリおよびソースコードは OpenSG のサイト (<http://www.opensg.org>) からダウンロード可能である。ライセンス形態は LGPL (GNU Less General Public License、GNU 劣等一般公衆許諾契約書) である。

⑤ 今後の注目度 (現在の状況 開発中、メンテナンス中など)

最新版は 2004 年 11 月にリリースされたバージョン 1.4 である (2005 年 3 月現在)。

NVIDIA Cg および OpenGL Shading Language がサポートされ、ハードウェアシェーダを用いたフォトリアリスティックな描画が可能となった。

Performer や OpenSceneGraph といった他のシーングラフ・ライブラリと比較してもシーン描画のパフォーマンスは同等以上であるが、さらなる最適化が予定されている。

(7) pwm

IPT 環境に既存の 2 次元アプリケーションを連携させる技術として pwm を調査した。



図 4-1-7 pwm を使って CAVE 内で Web ブラウザを表示している様子

① 概要

CAVE に代表される没入型ディスプレイの広視野角の立体視映像により、実在感の高い 3 次元形状を持つ仮想物体の提示が可能となった。それと同時に 3 次元位置姿勢情報を伴う入力装置による、仮想物体の操作も可能となった。この没入 3 次元環境を使って、主に 2 次元ディスプレイ・マウス・キーボードで構成される既存の 2 次元環境では、実現が困難だった 3 次元アプリケーションの研究開発が行われている。一方我々は、2 次元環境で使用可能な GUI アプリケーションを、手放し難い道具として日常的に活用している。と共に、既存 GUI アプリケーションが操作可能になれば、没入 3 次元環境の実用性は、より高まると考えられる。そこで、没入 3 次元アプリケーションと共に既存 GUI アプリケーションが操作可能なシステム pwm が提案された。

② 歴史、開発チーム

通信放送機構の MVL プロジェクトの一環として 1999 年より研究開発が始まり、2003 年にプロジェクトの終了と共に研究が終了した。

③ 機能・特徴

没入型ディスプレイで提供される 3 次元空間内に表示された板の上に、2 次元 GUI のウィンドウが表示されている。同時に、マウス操作も可能である。3 次元環境での入力装置を、相対 6 自由度ドラッグという技法で使用し、板の 3 次元位置と姿勢、及び、板内の 2 次元 GUI 操作を実現している。板の位置操作と GUI 操作はモード切替によりどちらかが実現される。

④ 利用方法・権利関係

研究を目的として開発が進められていたため、非公開である。共同研究という形で開発に加わることは可能である。

4-1-4 まとめと今後の課題

(1) ライブラリ仕様要件の整理 (ソースコード[API]レベル)

・ CAVE Lib との関係

現在、市場で最も普及している IPT 支援ライブラリは CAVELib である。アプリケーションの移植性を考慮すると本プロジェクトの基盤ライブラリは CAVELib との互換性を持っていることが望ましい。技術的な検討の結果、CABIN ライブラリと CAVELib の構造は類似しており、設定ファイルや関数 API に互換性を取ることは不可能ではないと判断したが、本プロジェクトの成果をフリーで公開する場合、利益機会の損失を関係者に与えることで訴訟を受ける可能性がある。CAVELib の販社は、VR マーケットに深く浸透しているので、競合よりも協調する方が将来の普及に有利であると判断し、明らかに交換可能な形を取らないことにした。

・ 3次元グラフィックスライブラリとの関係

IPT アプリケーションの開発者は、3次元グラフィックスライブラリとして OpenGL を直接コールする場合の他、Performer, OpenSG などのシーングラフ支援ツールを使って開発する場合があることが判った。東京大学の過去の事例でも OpenGL 版と Performer 版の API が存在した。公開 API のレイヤーはユニークであることが望ましいが、現在の段階ではどちらが優勢かは判断できなかった。今後、アドバイザリ・グループの要望に応じてアプリケーションを開発する段階で判断していくこととした。

(2) ライブラリ仕様要件の整理 (既存アプリケーションとの連携)

Chromium (米国: タングステン・テクノロジー開発) は、既存のアプリケーション (AVS/Express) をリコンパイルや再リンクなしで複数のディスプレイに分割表示できることを確認した。但し、無条件ですべての OpenGL アプリケーションと連携できるわけではなく、連携できないアプリケーションも存在する。

EasyVR (FiatLux 社) と AVS/Express との連携を実施し、同様に既存アプリケーションに手を加えることなく 3次元データを VR 空間に取り込めることを確認した。

これらは OpenGL リプレースと呼ばれる方式で、OpenGL のダイナミックリンクライブラリを動的に交換し、出力先をそれぞれのアプリケーションプログラムに転送し、複数ディスプレイや VR 環境への出力をしている。但し、本方式には制約があり、現状では複数のアプリケーションからの OpenGL 命令を合成して 1 つに出力することはできない (出力自体は可能だが、意味ある動作にならない)。

OpenGL アプリケーションに極力手を加えないで出力を合成するには、シーングラフのレイヤーでの合成が必要であることが判った。その候補として OpenSG を検討した。

(3) CnC ライブラリで目指す方向

これらの検討より決定した開発指針を以下に述べる。

IPT 用 VR 基盤ライブラリのベースとして、東京大学廣瀬研究室で開発してきた CABIN ライブラリを利用する。現状、これを利用することで VR 対応のコラボレーションアプリケーションは開発可能だが、すべての機能が 1 つのアプリケーションに組み込まれる形となり、変更を加えるためにはソースコードの改変が必要である。

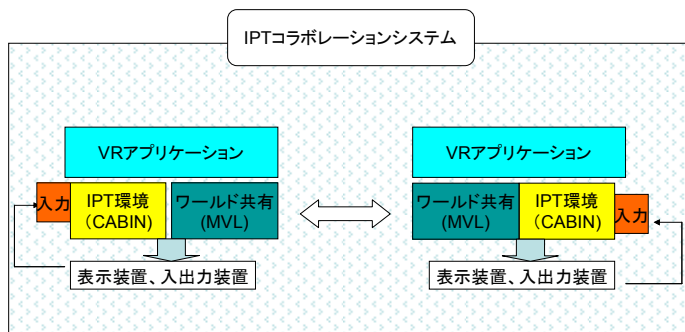


図 4-1-8 これまでの VR・コラボレーションアプリケーション

これに対して、CnC プロジェクトでは複数のアプリケーションが協力して1つの VR システムとして機能する環境構築を目指す。

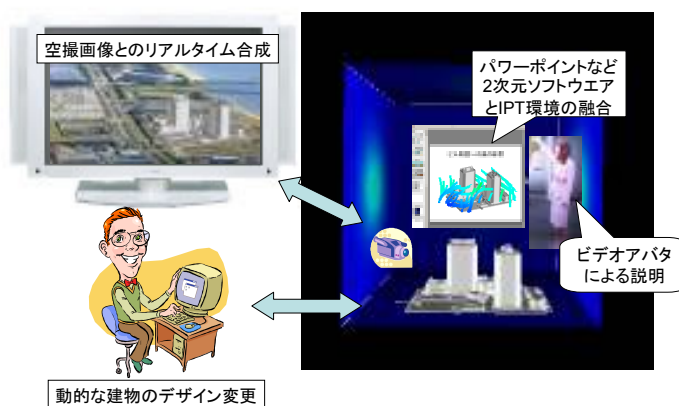


図 4-1-9 本プロジェクトで目指すアプリケーション連携

ここで、具体的な例を示すことで本プロジェクトの概念を説明する。図 4-1-9 は、マンション建築 VR システムの例である。購入希望者は図 (右) の VR 空間内でマンションの説明を受けることができる。マンションの説明は、ビデオアバタの説明員が行い、説明資料としてはパワーポイントを使う。マンションの3次元モデルはVR空間で観察することができ、内装についてはデスクトップマシンのオペレータから動的にレイアウトを変更ができ、窓からの景色は、空撮画像との合成写真をリアルタイムに提供する。

このように複雑なアプリケーションを、1つのプロセスに組み上げることは困難で効率的でない。世の中にはTV会議システムも、画像合成ソフトも、リフォーム用CADも存在する。これらのソフトウェアとVR空間で動作するアプリケーションが上手く協調し、データ交換をすることができれば、先に記述した内容のことは、ほとんど実現できていると言っても過言ではない。

音声やビデオアバタは、その他のアプリケーションと無関係に動作するのであれば(アバタが怪獣になって、マンションを壊すというようなストーリーは、アバタと3次元モデルの間に干渉計算などが必要だが)、独立したアプリケーションとしてVR空間で起動することができる。音声の通信プログラムも同様に、独立して動作可能である。

パワーポイントをVR空間に表示するには、2次元データを表示する「板」があれば十分で、その「板」がパワーポイントと協調して動作すれば、その他のシステムはパワーポイントと同調する必要はない。

このように、いくつかの基本的なアプリケーションを提供し、それらを3次元空間に配

置、コントロールする“3次元空間マネージャ”を構築すれば、VR空間内・外で動くアプリケーションを統合した1つのVRシステムを構築することが可能となる。

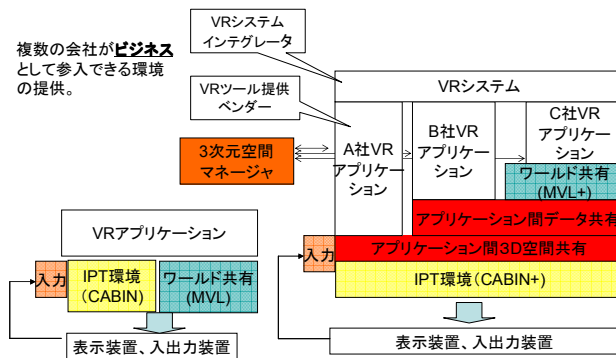


図 4-1-10 アプリケーション連携のための基盤構造

図 4-1-10 は、想定する IPT 用 VR 基盤ライブラリのシステム構成図である。成果物として CABIN ライブラリを拡張したライブラリを提供し、これを利用した複数のアプリケーションは VR 空間内に共存可能とする。それらのアプリケーションの配置を制御するために 3次元空間マネージャを提供し、外部プログラムと通信が必要なアプリケーションのために MVL ツールキットを拡張したものを提供する。

(4) 今後の課題

先の構想実現のために解決すべき課題を述べる。

① ノード間の通信プロトコルの整理

画面をコントロールするノード間でデータ交換をしなければならないときを想定したプロトコルを設計しておく。この取り決めが無いと、ノード間で交換しなければならない情報が増減するたびに、都度、データ交換の方法について再設計が必要となる。

② IPT 定義ファイルの整理

複数のスクリーンの並び方や角度をファイルに記述しておき、それを読み取り表示する。アプリケーションはリコンパイル・リリンクなしに、平面 3 面や 5 面 CAVE など、異なった環境に対応できるようになる。

③ 入力マネージャの開発および、アプリケーションとの通信プロトコルの整理

商用ソフトウェアの trackd が担当する部分になる。新しいデバイスに対応するとき、本入力マネージャにデバイスドライバを追加すればよく、アプリケーション本体のリコンパイル・リリンクが不要となる。

④ 力覚デバイスマネージャの開発および、アプリケーションとの通信プロトコルの整理

入力マネージャに似ているが、力覚デバイスへの出力を高速で行わなければならないので、力覚に関するコントロールの多くをマネージャ内で処理する。アプリケーションは、必要な結果だけを受け取るようにする。

⑤ アプリケーション間通信プロトコルの整理

複数のアプリケーションが連携して動作するための仕組みを提供する。

空間マネージャに、現在動作中のアプリケーションの問い合わせをしたり、抽象化されたアプリケーションとの対話を可能とする。例えば、空間内に時計(CLOCK)が動作している

とする。アプリケーションは空間マネージャに CLOCK の存在を問い合わせし、空間に時間がある場合は、そこから時刻を受け取ることでアプリケーションを時計に同期して動作させることができる。一方、CLOCK が存在しない場合は、アプリケーションは独自の内部 CLOCK を使って、動作することができる。

⑥ 複数アプリケーションの VR 空間での共存支援

複数のアプリケーションが同じ空間の中で表示されるためには、画面の更新の同期を取る必要がある。これは平成 17 年度の大きな研究課題である。

⑦ 3次元空間マネージャの開発

すでに記述したように、複数のアプリケーションが1つの空間で動作するためには、それを整理する空間マネージャが必要となる。デスクトップ環境にウインドウマネージャが稼動し、ウインドウの位置やアイコン化を管理するのと同じ概念である。

⑧ PWM (VR 空間内の 2次元アプリケーション動作支援環境) の改良

VR 空間内に 2次元のアプリケーションの画像を貼り付ける「板」として PWM が開発されている。これを単独のアプリケーションでも動作するようにし、ネットワークで接続された Windows で動作する任意のパワーポイントやワードを表示できるようにする。

4-2 空間共有アプリケーション構築用ライブラリの研究開発

4-2-1 序論

本研究は、臨場感のあるテレ・イマーシブ・カンファレンス・システムの構築と、その支援環境の開発を目指している。本基盤ライブラリは、遠隔地でカンファレンスを行うためのアプリケーション開発を支援するもので、東京大学で開発した MVL Toolkit を普及用に整備・拡張することである。本年度は、既存の類似プロジェクトの調査を行うとともに、TV 会議システムの機能、既存の会議システムとの連携方法、会議システムにおける問題点を調査し、整備・拡張のための仕様を検討した

4-2-2 技術動向の調査研究

IPT に関する研究を行っているプロジェクト、研究機関の調査を行った。特に、本プロジェクトで、利用できるライブラリや共通化できるインターフェイス仕様が無いかを検討した。

プロジェクト/開発コード名	国	概要	主要機関	提供形態
CAVErn/QUANTA	米国	通信支援ライブラリ		利用可能
Tangible Space Initiative	韓国	仮想&現実空間の融合フレームワーク	KIST	利用可能
National Tele-Immersion Initiative	米国	3次元情報の送受信技術開発	ノースカロライナ大	非公開
Blue-C Project	欧州	3次元ビデオアバタ技術開発	ETH	非公開
DIVE	欧州	VRML空間共有システム	SICS	利用可能
VizGrid	日本	ボリュームデータ通信	北陸先端大、京大	プロジェクト進行中

CAVErn/QUANTA は VR のカンファレンス支援の通信ライブラリとしては歴史がある。サーバ&クライアント型で、汎用的な通信ライブラリとしても利用でき公開もされている。しかし、研究用であり、後述するセキュリティ問題に対応できない。API の実装としては参考にできるかもしれない。Blue-C プロジェクトは、高度な三次元ビデオアバタシステムを提案しているが、普及型を目指す本プロジェクトでは採用できない。

次のプロジェクトは今後の動向を注目したいと考えている。

- ・ Tangible Space Initiative(韓国)

2001 年スタート。仮想現実と現実空間をシームレスに融合する概念で、センシング・アバタ技術、表示・入力/力覚装置、データマイニング・エージェントソフトウェア技術と幅広い領域を含む。現実世界との融合が特徴的である。

- ・ VizGrid(日本：代表 北陸先端大学 松澤照男教授)

2002 年スタート。文部科学省。「スーパーコンピュータネットワーク上でのリアル実験環境」として、時間・空間・分野を超えたコラボレーション環境を実現することを目的としている。ボリュームデータを利用した 3 次元アバタ構築、全方位ディスプレイ表示などの実績がある。プロジェクト成果は利用可能なので検討中。

添付資料

B-1 CAVErn

B-2 Tangible Space Initiative

B-3 NationalTele-Immersion Initiative

B-4 Blue-C Project

B-5 DIVE

4-2-3 MVL Toolkit

ここでは、まず本サブテーマの研究開発のベースとなる MVL Toolkit について簡単に述べる。

MVLToolkit は、1999 年から 4 年計画で実施された TAO の MVL (マルチメディア・バーチャル・ラボラトリ) プロジェクトの中で開発された。離れた 2 つの VR 空間を結合するためのツールで、空間、人物、操作、情報、時間の共有を支援する (図 4-2-1)。

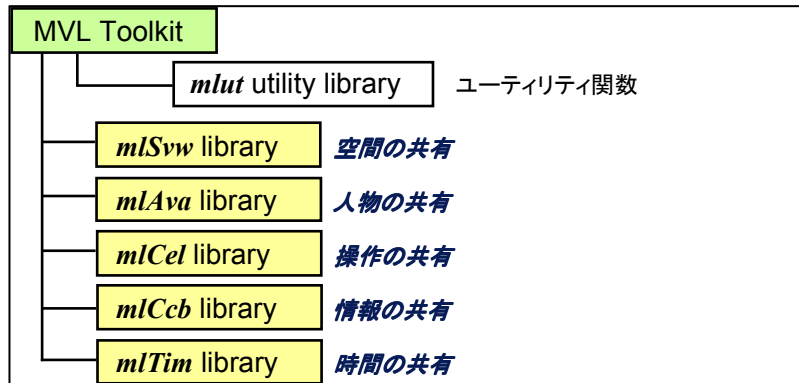


図 4-2-1 MVL Toolkit の構成

単独アプリケーションを共有型アプリケーションに拡張することができ、各コンポーネントの中から、必要な機能を選択的に付加することができる。

MVL Toolkit の中で特徴的なのは「人物の共有」で支援されているビデオアバタ (図 4-2-2) である。



図 4-2-2 ビデオアバタ

ビデオアバタは、従来の TV 会議システムのようにカメラで撮影したお互いの映像をビデオで送るだけでなく、三次元の計測データと人物のビデオ映像を合わせて送受信し、VR 空間に 3 次元人物像を再現する技術である。3 次元の形状計測には、画像撮影と同時に奥行き情報を獲得できるステレオカメラ (Tricrops: Point Grey Research 社) を用いポリゴンデータを生成する。したがって、これは 2.5 次元の計測で、表面形状しか作ることはできない。テクスチャ画像は、距離情報とブルーバックを使ったクロマキー手法を併用した方法で抜き出す。

操作の共有には、インターフェイス・デバイスとして携帯電話やワイヤレス PDA を用いた。携帯電話から送られる操作コマンドは、電話局からインタラクション・サーバを経て、両方のサイトに送信することでアプリケーション共有を実装している(図 4-2-3)。

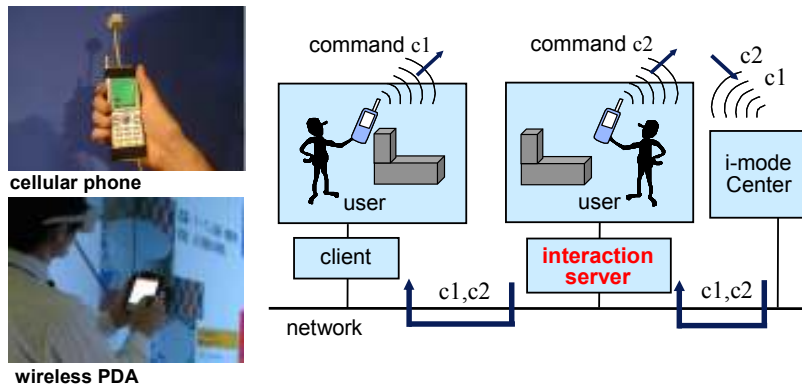


図 4-2-3 携帯電話を使った操作共有

i モードを使ったインターフェイスに関しては、添付資料 E-3 に詳細を報告する。

4-2-4 マルチ・アプリケーションの 1 画面共有に関する検討

現在の MVL Toolkit には TV 会議システムの仕組みが無い。空間共有を始めるときに、別途、電話や別のカンファレンスシステムを使って連絡を取らなければならなかったが、本プロジェクトでは 2 次元の TV 会議システムも 1 つの画面に統合することを検討する。

そこで、まず、既存の商用 TV 会議システムについて調査した。

(1) TV 会議システム概要

TV 会議システムとは、専用回線やインターネット回線にて遠隔地と接続し、映像、音声を用いて遠隔地同士で会議を実現するシステムである。現地への移動時間や経費を節約し、その地にながらにして、FaceToFace のコミュニケーションが可能である。

機能としては、拠点同士をネットワーク (LAN・WAN) で接続し、拠点に設置されたカメラ・マイクにて会議を行うものである。現在では、通信技術の発達により、Web ブラウザ対応型や、Office 製品等の外部アプリケーション共有、デスクトップ共有を行うものもある。

システム構成としては、データ会議システム同士で接続し、比較的安価なピア-ピア型(少拠点接続)、専用サーバに対して各データ会議システムが接続するサーバ型(多拠点接続)、サービス・プロバイダ提供の会議システムである ASP 型がある。

また、最近では他社の TV 会議システム同士が接続できる様に、TV 会議システムの標準規格として、IP ベースの TV 会議システムについて国際電気通信連合 ITU (International Telecommunication Union) で制定された国際標準規格 H. 323、ISDN ベースの規格 H. 320 が制定されている。

以下、本プロジェクトで開発する空間共有コラボレーション機能を実現するために、関連すると考えられるシステムおよびアプリケーションを調査し、その特徴と調査結果(操作性、導入のしやすさ、外部アプリケーションの組み込み可否)を報告する。

(2) 各種システムの概要と調査

① TV 会議システム (SONY)

SONY は、少拠点接続の時はピア-ピア型、多拠点接続の場合はサーバ型にもできるビデ

オ会議システムを販売している。現在販売されているビデオ会議システム PCS-1、PCS-11、PCS-TL50（モニター一体型）の特徴および調査結果は以下の通り。

「特徴」

- ・ IP ベースおよび ISDN ベースの TV 会議システム規格に準拠したシステムであり、他のメーカーの TV 会議システムとの接続が可能。
- ・ ネットワークの状況により、音声、映像の遅延は発生するが、SONY のシステムでは、音声と映像を同期させる機能がある。（通常では音声が優先）
- ・ 使用できる帯域により、通信データ量を制限できる機能あり。通信データ量を制限した場合は、映像の更新レートが低くなる。（帯域としては 2 拠点で最大 4MB ぐらい）
- ・ 6 拠点以上でビデオ会議を行う場合は、別売りの多視点ソフトを購入する必要あり。
- ・ モニター一体側のものでは、通常の PC 画面を操作中に、遠隔地から TV 会議の接続があればブザーで知らせる機能あり。
- ・ 通信には、2～3 のポートを開く必要あり。
- ・ 販売価格は、1 拠点の装置費で 60 万円以上。

「調査結果」

- ・ 全体的にまとまりは良く、TV 会議システムとしては非常に使いやすそうであった。
- ・ 通信には、特別に通信用のポートを開く必要があり、導入にはセキュリティの問題がネックになる可能性あり。
- ・ アプリケーション共有は、Web ブラウザのみであり、外部アプリケーションの組み込みは基本的にできない。

ただし、技術的には TV 会議システムで使用している通信ポートを利用し、データ通信できる様に改良することは可能であり、個別に組み込み対応することは可能である。

② 大画面データ共有システム（パイオニア）

パイオニアのサイバーカンファレンスは、50 インチのプラズマ・ディスプレイの画面を共有するデータ共有システムにビデオ画像や音声の送受信機能を追加した形式と見なせる。プロトコルも TV 会議システム規格に準拠していない。

「特徴」

- ・ ピアーピアの通信で 5 ユーザまで。それを越えるとサーバ型になる。
- ・ 画面を共有しており、カーソルの共有やマウスイベントの共有が可能である。
- ・ マイクロソフトのオフィス系のアプリケーション（Excel）やペイントブラシはアプリケーション共有が実装されていると思われる。
- ・ 価格は 1 拠点 200 万程度。

「調査結果」

- ・ 通信には特別のポートを開く必要あり。
- ・ ビデオ画像は SONY に比べると遅いと思われる。（帯域制限やリップシンクなどは無い）
- ・ 新しいアプリケーションをシステムに追加することはできない。

③ TV 会議サービス（NiceToMeetYou）

会議サーバを運営し、複数のサイトから Web でアクセスしてもらい、それらを接続して TV 会議をするサービス事業をいくつかの会社が行っている。ここでは 1 ヶ月のデモライセンスを貸してくれる NiceToMeetYou を使ってみた。

「特徴」

- ・ ユーザは Web ブラウザから、所定の URL にアクセスしてパスワードを入力するだけで

会議システムに参加できる。

- ・ 会議用のソフトウェアを意図的にダウンロードする必要はない(自動ダウンロードでプラグインソフトウェアとしてブラウザに入ってくる)。
- ・ 安価はWebカメラとマイクを付けるだけで、それ以外の装置を購入する必要がない。
- ・ 月額 10,000 万円程度からの従量制(時間単位での支払い)料金である。使い放題の設定もある。

「調査結果」

- ・ 簡単に使い始めることができる。http プロトコルでトンネリングをしているのか、特別なポートをあける必要がない。
- ・ 画像はFlashを使っているようで品質は良い。
- ・ ペイントブラシの共有や画像の送付などができるが、それ以外のデータ共有はできない。

④ デスクトップ共有システム (NetMeeting, VNC)

NetMeetingは、Windows上で動作する無償の会議ソフトである。

「特徴」

- ・ 無償ダウンロード可能であり、幅広く利用されている。
- ・ 接続は、サーバとなるIPアドレス指定によるものであり、遠隔地ユーザとの会議を行う場合は、グローバルアドレスが必要となる。
- ・ 音声、ビデオ、文字チャット、アプリケーション共有が可能である。

「調査結果」

- ・ 動作環境はWindowsのみであるが、無償ダウンロード可能であること、インストールが容易なことから、導入は容易である。
- ・ 社内ネットワークで利用する場合や、グローバルIPアドレスを持っているマシン間での会議は問題ないが、ローカルIPアドレスのマシンから外部ネットワークのマシンとの接続ができないため、利用用途によっては導入が困難となる。
- ・ 市販アプリケーションの共有が可能で、アプリケーション起動者の画面(画像)を接続ユーザに転送するものである。リアルタイム性はないがアプリケーション画面の確認、簡易操作であれば特に違和感はない。
- ・ バイナリのみでの公開であり、外部アプリケーションの組み込みは困難である。

⑤ Flashを利用した遠隔講義システム(金沢大学)

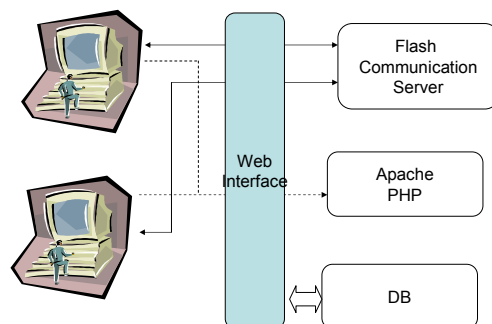


図 4-2-4 Flashを使ったコミュニケーションサーバ

金沢大学田子研究室では Macromedia Flash(以下、flash)のコミュニケーションサーバを用いた遠隔授業システムを開発している。(前田氏:研究者のための協調環境 R&DS2 の開発、PSE Workshop & Grid Seminar in Oita 2004.10 より)

Flashの開発環境ではWebカメラや音声を扱うクラスライブラリが提供されているので、非常に短いプログラミングの記述にてWeb上で動作するコラボレーションシステム(TV会議システム)を開発することができる。これにDBアクセス機能(パワーポイント資料のダウンロード)や、その同期制御インターフェイスを付加することで遠隔講義システムを構築している。

利点としては、端末側にはFlashのプレイヤーだけが必要であり、ユーザに特別なアプリケーションのインストール作業を感じさせない。特定のHTTPアドレスにアクセスするだけで通信が開始できるので、誰でも、どこからでもすぐに会議に参加できる。

Flash環境の提供する機能を使うことで開発が容易。Flashの提供する動画配信機能、音声配信機能が利用でき、動画通信についてはかなり品質が高いように思える。

欠点は、FlashActionScript言語で実装を行っており、Flash環境以外で動作するアプリケーションとの連携が未知数である。パッケージの遠隔協調システムとしては有望な方法であるが、アプリケーション連携の基盤としては致命的な問題である。

⑥ データ共有サービス (WebEX)

WebEXは、サイバーネットシステム株式会社が販売するWindows上で動作するWeb会議ソフトである。

「特徴」

- Webブラウザを利用して、会議サーバーサイトに接続する方式であり、導入、利用が非常に容易である。
- Web接続できる環境であればよいので、ファイア・ウォール内のネットワークやローカルIPアドレスのマシンからも容易に接続することが可能である。
- 音声、ビデオ、文字チャット、アプリケーション共有、デスクトップ共有が可能である。
- 会議参加者間でのアンケート機能、会議の記録、再生機能、議事録送付機能がある。
- 会議のスケジューリング機能(会議予約情報の一覧表示、会議前に参加者へメール送信)あり。
- 通信は、SSLによる暗号化がされている。
- 価格は、会議サーバーサイトへの同時接続ユーザ数により変化し、25ユーザまでの契約であれば、月29,600*ユーザ数となる。(201以上ユーザであれば、月19,200*ユーザ数)

「調査結果」

- 動作環境はWindowsのみであるが、クライアントソフトとしてはWebブラウザのみであることと、ファイア・ウォールを越えて会議に参加できることから、導入が非常に容易である。
- アプリケーション共有は、アプリケーション起動者の画面(画像)を接続ユーザに転送するものである。リアルタイム性はないがアプリケーション画面の確認、簡易操作であれば特に違和感はない。
- 会議データの記録、再生機能は、会議に参加できなかった人への対応や自分の会議記録として残すことができるのは有効である。
- 現状では、外部アプリケーションの組み込みは困難であるが、個別に対応できる可能性はある。

⑦ アプリケーション共有 (ViewSend:医療分野)

ViewSendは、医療の画像診断アプリケーションがネットワークを越えて共有できるシステムである。独自に組み込みをした製品であるが、TV会議の機能とアプリケーション共有が統合されており、本プロジェクトで開発するプロトタイプ・アプリケーションの完成イ

メージの1つと思われる。但し、完全組込み型なので、その機能の一部を利用するようなことはできない。

⑧ Yahoo メッセンジャー

Yahoo メッセンジャーは、Windows 上で動作する無償の会議ソフトである。

「特徴」

- ・無償ダウンロード可能であり、幅広く利用されている。
- ・接続は、YahooID 登録により現在接続されている YahooID 登録ユーザとの会議が行える。
- ・音声、ビデオ、文字チャット、ホワイトボード共有可能である。

「調査結果」

- ・動作環境は Windows のみであるが、無償ダウンロード可能であること、インストールが容易なことから、導入は容易である。
- ・YahooID の登録作業は必要であるが、外部ユーザとの接続は容易に実現できる。((株) ケイ・ジー・ティー内のテストでは、ビデオ表示機能はポートの関係で通信ができなかった)
- ・市販アプリケーションの共有機能はなく、Yahoo メッセンジャー組み込みのアプリケーション (ホワイトボードやゲーム) のみの共有が可能であり、外部アプリケーションを組み込むことは困難である。

4-2-5 既存技術を利用した会議システムのプロトタイプ開発

既存の TV システムとの統合を行わないで、独自に新しい TV 会議機能を開発したときのおおよその性能を調べるために、公開可能な既存技術を用いた TV 会議システムのプロトタイプ開発を実施した。このスペック策定には、アドバイザー・グループの東京大学生産技術研究所谷口伸行助教授が参加し、実装は㈱フィアラックスが行った。

(1) スペック要件

次の6つの機能を持つプロトタイプを開発した。

- ・音声と画像が相互に交換できること。
- ・OpenGL で描画されたウインドウの内容を画像で取得してネットワークへ転送、先方で表示できること。
- ・OpenGL で描画されたウインドウの内容を OpenGL コマンドで取り出し転送、先方で表示すること。
- ・カーソルは相互に見えること。
- ・アプリケーション間通信の機能を準備すること。
- ・2地点のアプリケーションは直接ソケット接続するが、指定の操作は1回でまとめること。

これによりオープンで、カスタマイズ可能な、最低限の三次元データ共有 TV 会議システムとなる(図 4-2-5)。

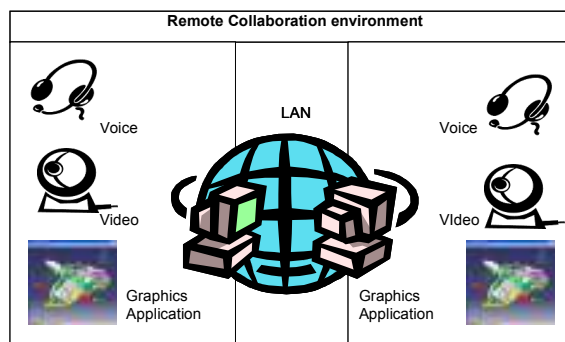


図 4-2-5 TV会議システムのプロトタイプ

(2) 実装結果

実装したアプリケーションの動作画面を図 4-2-6 に示す。

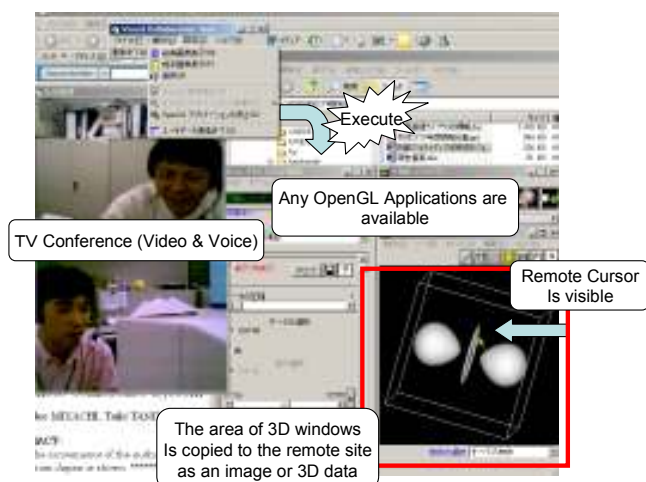


図 4-2-6 プロトタイプ・アプリケーションの実行中画面

左側の上の画像（ビデオ）は自分のカメラの表示、下は先方の画像を表示している。これら映像と音声の処理は Microsoft の DirectShow ライブラリを利用し、画像のエンコーディングは複数の方式から選択可能である。

次に、画面上方にあるメニューバーが、本システムの統合メニューで、ここでアクセス先の IP アドレスの指定や接続の開始/切断、共有する OpenGL アプリケーションの設定を行う。具体的には、実行ファイルへのパスを登録する。ここから起動したアプリケーションの 3 次元表示ウインドウの内容は先方のウインドウ内にコピーされる。このとき、統合メニューで画像転送モードが選択されている場合は、ウインドウ内の画像をキャプチャするが、3 次元のモードを選択すると GLR (OpenGL- DLL Replacement)^[8]方式でアプリケーションの出す OpenGL コマンドを抜き出し先方に送信する。デスクトップ画面のすべてを画像（または差分画像）として転送する VNC (Virtual Network Computing) を使った共有方法では 3 次元データの回転操作が行われたときの遅れが問題となるが、この方式であれば先方の OpenGL グラフィックスカードの能力が使えるので速度的に優位になることが考えられる。現在は実装していないが、3 次元データを転送しているので、両方で立体視を行いながら協調作業を可能にできる。

動作試験は、DELL の PC (OS: WindowsNT, CPU: Pentium4 1.7GHz) 2 台を 100Mbps で接続した LAN 環境で行った。

4-2-6 まとめと今後の課題

(1) TV会議システムおよびデータ共有システムとの統合について

① 会議システムの品質としての実用性

会議システム調査の結果、市販のTV会議システムは、音声を優先し、画像を利用可能な帯域に応じて減じることで、動的に転送量を一定以下に抑える帯域制限機能や、音声・画像を同期するリップシンク機能を実装していることがわかった。

これらの調査から、品質としてはTV電話または会議システムとして十分に実用のレベルに達していると判断した。実用上では回線確保の困難さ、ファイア・ウォールの問題がある。

② オープン性

但し、TV会議システムはOpenシステムではなく、アプリケーション連携を組み込むには、各開発元と交渉をしなければならない。マイクロソフトのオフィス系は、開発元が連携を取っているが、利用者の少ない研究向けソフトウェア連携の交渉は事実上不可能と判断した。

③ TV会議サービス

インターネット上にバーチャル会議室を設置して会議サービスを実現している会社があることが判った。技術的にはFlashサーバを利用していると推測できる。3者間通信（東大-KGT-KGT）でHTTPトンネリングを使って実用可能なレベルで会議ができた。端末には見かけ上ソフトウェアのインストールは不要（自動インストールが行われた様子）で、この方式は普及に有効であることが判った。

④ データ共有サービス

TV会議システムに類似しているがデータ共有を中心とする商用ソフトがいくつか存在することが判った。世界で最大のシェアを持っているのがWebEX。Web経由でアクセス可能なサービス事業の形態で、端末へのソフトウェアが自動インストールされる。ファイア・ウォールは実用上の大きな問題であり、普及するソフトウェアは、これを超えられるものであることが必須条件であることが判った。

しかし、現状、このカテゴリに付帯するTV会議システムの品質は、明らかにTV会議システムとして販売しているものに劣る。システムがクローズである点はTV会議システムと同じ。

⑤ デスクトップ共有（VNC）は遠隔端末用であり、コントロールを一方的に奪われてしまう恐れがあるので会議用としては利用できない。

(2) ネットワークについて

① “ピア to ピア “型通信と”サーバ&クライアント”型通信を検討し、まずは、サーバ&クライアント型で通信に関する基盤ソフトウェアを開発することを決定した。

② ファイア・ウォールを越えて通信を行うためにVPN(Virtual Private Network)とhttpトンネルを検討し、まずは、httpトンネル方式で開発することを決定した。

H17年度の実装テストの状況によっては変更も考えられる。

(3) 既存技術を利用した会議システムのプロトタイプ開発

マイクロソフトのDirectShowというライブラリを利用した動画・音声通信のTV会議プロトタイプ・アプリケーションを開発した。画面共有としてマウスカーソルやウインドウ内の画像送信が可能で、3次元表示に関してはOpenGLコマンドの共有ができる。また、その他のアプリケーション連携のための仕組み（SDK）を実装しており、Openな基盤ライブラリとしてプロトタイプとして利用できる

H16年度末にPC2台における動作テストを完了した。平成17年度のネットワークシステ

ム開発のときのサンプルアプリケーションとして利用する予定である。

(4) ライブラリ仕様要件の整理

空間共有アプリケーション構築用ライブラリは、東京大学で開発した MVL ライブラリを拡張、整備するものであり、複数のアプリケーション間で、空間、時間、人物、操作、情報を共有することを支援するライブラリである。図 4-2-7 に現在、2 拠点間で交換しているデータ通信の概念図を示す。

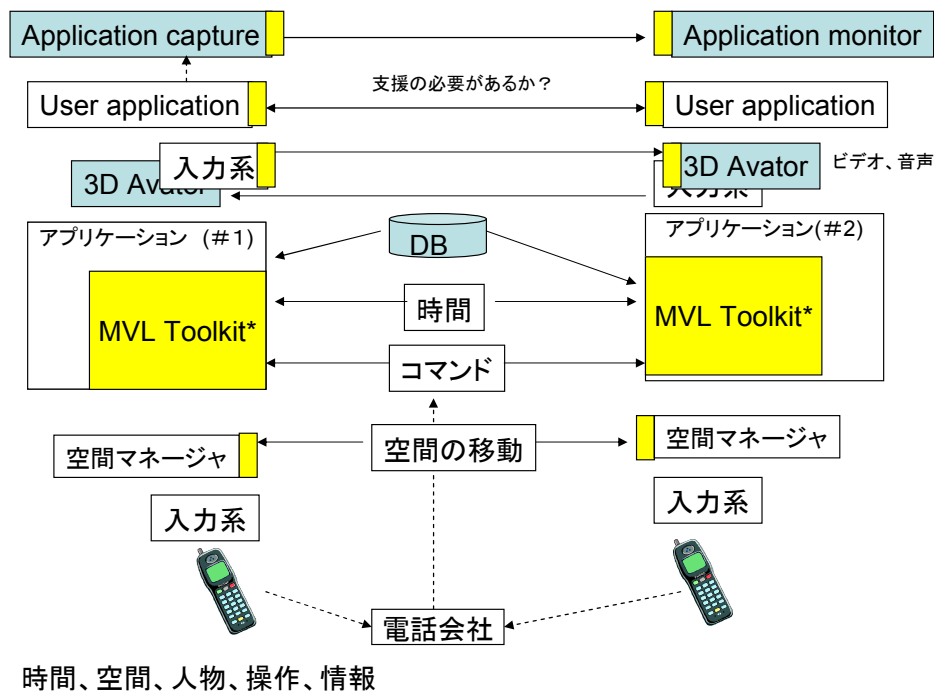


図 4-2-7 MVL Toolkit の通信概念図

本プロジェクトでは、これを次のように拡張・整理することとした。

① 通信マネージャの開発

遠隔地のプロセスは直接ソケットを使って通信をするのではなく、中間の通信マネージャ（システム）を解して通信を行う。これは次の機能を提供する。

- ・ 接続支援

通信マネージャは、複数のアプリケーションの接続を支援する。具体的には、通信マネージャはサーバプロセスとしてネットワーク上で動作し、複数のアプリケーションからの通信内容を整理する。

- ・ ファイア・ウォール越え

任意のアプリケーションと通信マネージャ間の通信は HTTP トンネルにより接続する。

- ・ ローカル通信マネージャ

アプリケーションはローカル通信マネージャと通信を行うので、従来のソケットベースのアプリケーションは、少ない書き換えにて本基盤ライブラリ上で動作が可能となる。

② アバタプロセスの開発

MVL の 3 次元アバタは距離カメラを使っていたが、より安価なカメラシステムで動作するアバタをサービスプロセスとして開発する。2.5 次元的な板に動画は貼り付くようなものを開発する。転送・表示技術としてポリゴン+テクスチャの他、最近ではポイントレンダリングの手法も増えてきている。この実装も検討したい。

③ 携帯電話インターフェースの整理

VR 空間内ではキーボードやマウスなどの入力装置を持ち込むことが難しい。特に文字入力が課題で、MVL ツールキットでは携帯電話を使った操作を実装している。そこで、これを汎用化してアプリケーションから利用できる API として整理する。

4-3 知識創造プロセス支援のためのデータベースの研究開発

4-3-1 序論

本サブテーマは、CABIN ライブラリや MVL Toolkit にほとんど含まれていない新しいテーマである。まず、関連研究調査を行い開発メンバー内で本テーマの方向性について議論を重ねた結果、データベース自身の構築に深入りすることなく、CnC プロジェクトの特徴である IPT 環境内からのデータベース利用のための入出力インターフェイスに焦点を絞って研究開発を進めることとした。知識創造プロセスは、利用分野によって違いが大きいことから、アドバイザー・グループからの具体的なニーズに基づきプロトタイプ・システムに実装しながら研究開発を行うこととした。

ここでは、関連研究調査の結果、本年度に準備した入出力装置の報告、力覚デバイスに関連する物理シミュレーションの概要調査を報告する。データベースと IPT カンファレンスと融合に関するアドバイザー・グループからのヒアリング結果と開発メンバー会議の討議結果については、まとめと今後の課題に総括として記載する。

4-3-2 技術動向の調査研究

(1) 表示装置

プロジェクト/開発コード名	国	概要	主要機関	提供形態
Infinity Wall	米国	4プロジェクト大画面システム	EVL	不明
HeyeWall	欧州	TILE型ディスプレイ	Fraunhofer IGD	非公開

ここでは CAVE タイプの IPT 装置ではなく、大画面のシステムを調査した。

Infinity Wall は初期(1995年)の大画面システムで、現在は同様のシステム構築が可能となっている。HeyeWall はタイル型のディスプレイ装置であり、今後、広がっていくと予想しているが、文献調査からは技術詳細は不明であった。

(2) データベースアクセス、情報検索

プロジェクト/開発コード名	国	概要	主要機関	提供形態
VRMosaic	米国	VR空間からのWebアクセスツール	EVL	不明(1996年)
SANDBOX	米国	VR空間からのデータベースアクセスツール	EVL	不明(1996年)
VR-VIBE	欧州	大量ドキュメントの相関関係表示	Nottingham大	非公開(1995年)
Virtual Data Cube	米国	OLAPデータ球インテグレーションシステム	Albarta大	オープンソースだが一般利用不可
3D MARS	米国	画像特徴による画像DB検索	イリノイ大	不明(2001年)
TIDE	米国	サーバクライアント遠隔地コラボレーション	イリノイ大(シカゴ)	非公開

VR空間からのデータベースへのアクセス、情報検索についての論文を調査した。基本的にVR空間ではデスクトップ環境のようなマウスとキーボードが利用できないので、文字情報や検索キーの入力方法を工夫する流れと、VR空間を利用した三次元性を利用した有効な検索インターフェイスの表示方法の開発がある。

VR空間内でのWebブラウザの利用は、4-1-3(7)に記載したpwmの改良によって実装できる。データベースへのアクセスツールは、MVL ToolkitのccBaseを改良し、入力装置はPDAインターフェイスと携帯電話を引き続き利用し、その関連部分の整理・改良を行うこととした。

(3) 行動の記録

プロジェクト/開発コード名	国	概要	主要機関	提供形態
VRメール	日米	VR空間用メールシステム	EVL/東京大	非公開
Virtual Annotation System	欧米	VR空間用注釈システム	Georgia/Delft工科大	非公開
Virtual Notepad		タブレットによるメモシステム	Ivan Pouryev	非公開

VR空間で創造される知的情報の保存については、その操作ログの記録と再現の他、空間にメモ(注釈)を残し、それを記録する方法がある。

参考資料

- C-1: Infinity Wall
- C-2: VR-VIBE
- C-3: Virtual Data Cube
- C-4: 3D MARS
- C-5: TIDE
- C-6: VR メール
- C-7: Virtual Annotation System
- C-8: Virtual Notepad

4-3-3 入出力インターフェイス

(1) アイ・コンタクト調査用マルチ画面システム

人間のコミュニケーション上、視線（アイ・コンタクト）が重要な役割を果たすと考えられている。それについて研究を進めるために東和大学に導入したマルチ画面システムのハードウェアについて報告する。

図 4-3-1 は、導入したシステムの稼動している様子である。



図 4-3-1 稼動中のシステム

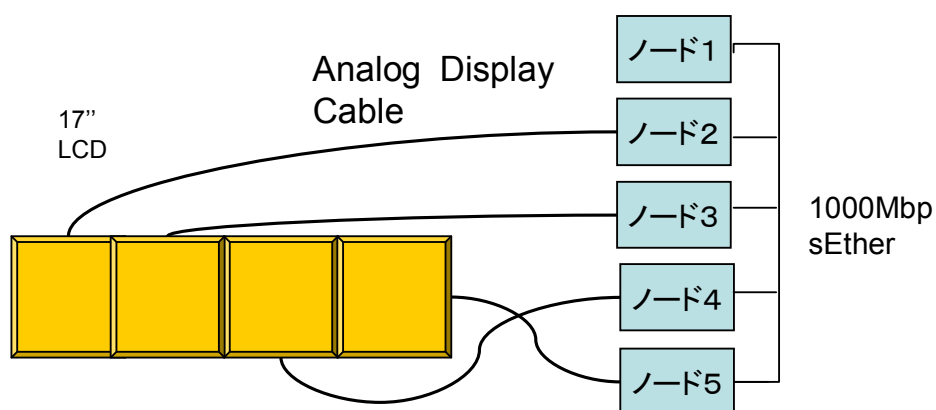


図 4-3-2 システム構成

このシステムは5つのノードで構成され、各ノードは Intel Pentium4 3.2GHzCPU、グラフィックスボード nVidia QUADRO FX4000 の Linux システムで、ギガビットイーサで接続されている(図 4-3-2)。

マスターノードで生成された GL コマンド、若しくは画像情報は各ノードに転送される。マスターノードは dmx と Chromium を用いて各ディスプレイに分割したウィンドウを提示し、一つの大画面ディスプレイとする。既存の多くのタイルドディスプレイはプロジェクタを使った構成が多いが、設置場所やコスト面から本プロジェクトは LCD を用いたタイルドディスプレイとした。

平成 17 年度は、本タイルドディスプレイの中心に CCD カメラを設置し、通話者とアイ・コンタクトをとれるシステムを構築する予定である。

(2) スケーラブルな IPT スクリーンの試作

筑波大学には、本研究における実験用の没入型ディスプレイ環境として多面拡張型のスクリーンを構築した。本研究ではスケーラビリティを有する没入型ディスプレイ技術の確立を目指しているが、そのためにはソフトウェアだけではなくハードウェア的にも柔軟な拡張性を有することが必要である。ここでは、単面スクリーンから CAVE、CABIN 等の多面スクリーン構成に容易に拡張可能な C.C. ディスプレイの開発を行った。

CAVE や CABIN 等の多面構成のシステムは、4 面あるいは 5 面のスクリーンを組み合わせることで立方体状のディスプレイ空間を構成する。C.C. ディスプレイは、単面スクリーンとして単独で利用できる構造を取りながら、CABIN 等の多面のスクリーン構成に拡張可能な形態を取る。複数のスクリーンを組み合わせる視野を拡大するためには、スクリーンの境界部分に映像を隠すボーダーラインができない構造を取ることが必要である。そのため、C.C. ディスプレイでは、スクリーンシートの両端部分を 45 度の角度で巻き込む形で固定している。そのため複数枚のスクリーンを直角に組み合わせてもフレーム部分が重ならず、ボーダーラインを作らない構造を取ることができる。また映像の投影には、DLP プロジェクタ NEC LT245 を 2 台使用し、円偏光による立体視を使用している。図 4-3-3 は C.C. ディスプレイの概観を、また図 4-3-4 はスクリーン境界の構造を示したものである。

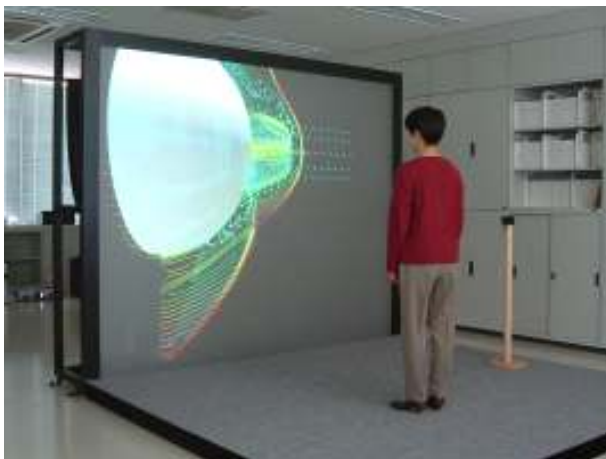


図 4-3-3 C.C. ディスプレイの概観

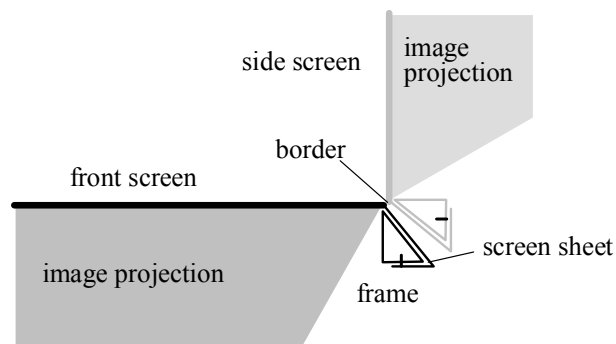


図 4-3-4 スクリーン境界の構造

次にこのスクリーン構造を用い、3 面の CAVE 型ディスプレイの開発を行った。ここでは、正面、側面（右面）、床面の 3 面からなるスクリーン構成とした。図 4-3-5 は 3 面 CAVE の構成を示したものである。正面スクリーンは背面から直接投影を行っているが、側面スクリーンはミラーを介した背面投影、床面はミラーを介した表面投影を行っている。プロジェクタは、各スクリーンに対して DLP プロジェクタ NEC LT245 2 台ずつをスタックとして使用し、円偏光による立体視方法を用いている。

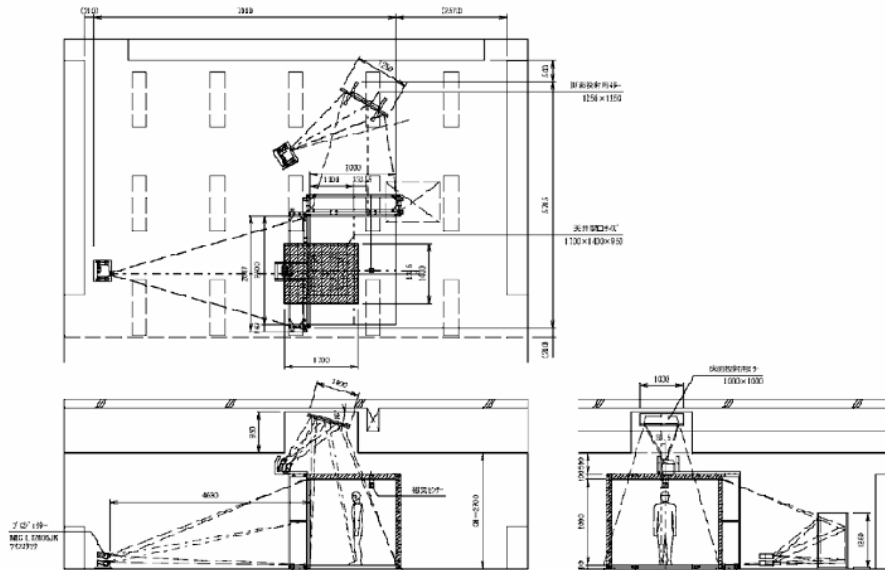


図 4-3-5 3面 CAVE の構成

(4) ORAD DVG (高速表示システム)

3面 CAVE システムでは、映像生成用の計算機としてイメージ・コンポジタ ORAD DVG を備えた PC クラスタシステムを導入した。ORAD DVG は、市販のグラフィックスカードを使用した PC 間を専用のビデオバスで接続することで、分散処理されたレンダリング映像を合成する。この際、各 DVG ボード間はチェーン式に接続されるため、CAVE 等のマルチチャンネルの映像出力に対応したスケーラブルなグラフィックスシステムを構築することができる。

ORAD DVG ではコンポジタ機能として、Sample Division、Time Division、Image Division、Eye Division、Volume Division の各画像合成モードを備えている。本研究では特に、AID(Added Image Division)法を利用することで、多面ディスプレイ用の映像生成における動的な負荷分散機能に関する研究開発を行う。

ここでは、3面立体視用のシステムを構成するため、6台の DVG を3台ずつグループにし、それぞれ左目用と右目用の映像生成に使用した。3台の PC では、3面合わせた映像を1つのウィンドウとして分散レンダリングを行うが、この際、負荷の変動に応じて分割領域を動的に変えることで、レンダリングにおける動的負荷分散を実現する手法を計画している。

最終的に出力される画像は3面分の映像を含んでいるため、スキャンコンバータを介して出力映像から、正面、側面、床面の映像を切り出すことで、各プロジェクタから投影を行う。図 4-3-9 は以上のレンダリングにおける分割手法を示したものである。

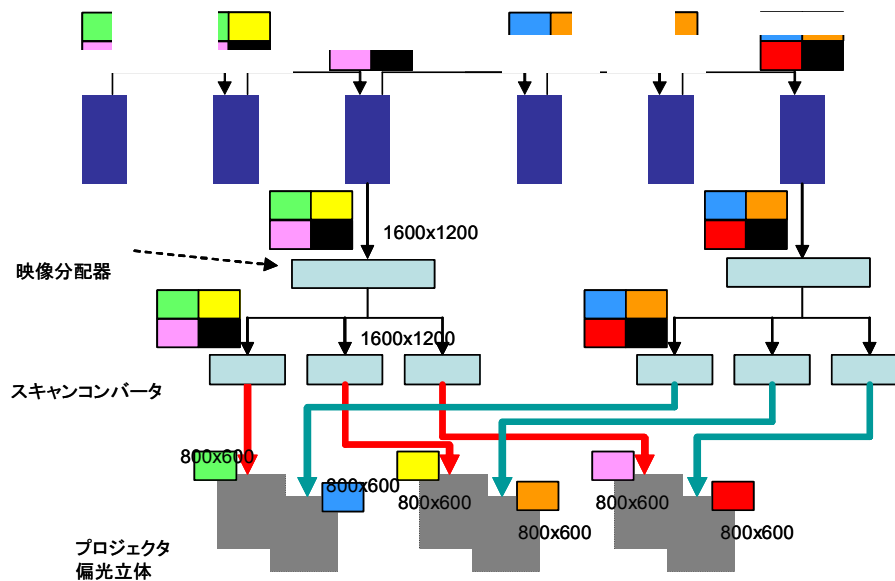


図 4-3-9 3面 CAVE におけるレンダリング負荷分散手法

DVG のシステム仕様、各種画像合成モードの詳細は添付資料参照 (E-2)。

(4) 注釈付加のための PDA インターフェイス調査

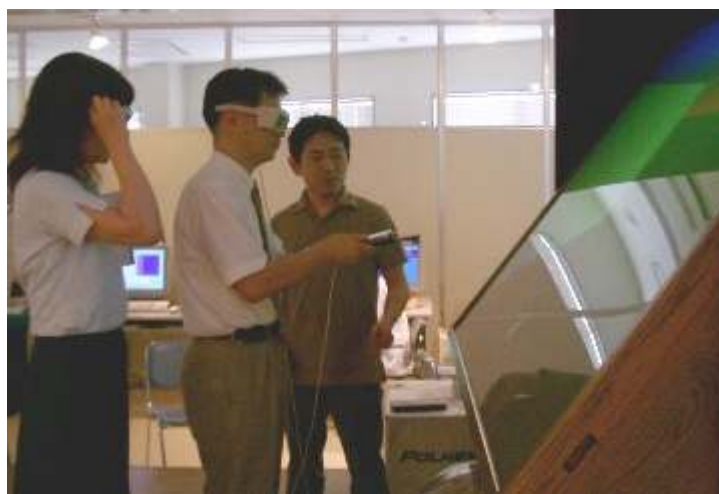


図 4-3-10 PDA インターフェイス利用時の様子

本プロジェクトでは、VR 空間へのインタラクションや注釈付与をおこなうために PDA などのモバイル PC の利用を検討する。PDA は各種のデータを管理するための個人情報端末の 1 つであり、無線 LAN 端末としても使われる。PDA を用いる理由として操作性、軽量、デスクトップ PC やノート PC との連携が挙げられる。また、PDA のタッチスクリーンは入力デバイスかつ出力デバイスとしての利用も可能である。しかし、今日では PDA の市場は減少し、PDA 本体の供給も少なくなっている。そこで、Sony の VAI0 Type U 等のモバイル PC の活用も検討する。PDA アプリケーションを開発する場合は独特の開発環境を必要とするが、近年のモバイル PC ではデスクトップ PC と同じ開発環境の利用が可能となる。

IPT や大画面ディスプレイにおけるユーザインターフェイスは Pop-menu など 3 次元メニ

ユーの応用が考えられる。3次元メニューはメニューと空間を一度に見ることができるので視認性が高いと考えられる。一方、PDAやモバイルPCアプリケーションを用いたハンドヘルド・アプリケーション場合は操作の度にアプリケーションに目を配らなければならない。しかし、ハンドヘルド・アプリケーションを用いた提案システムの方が迅速に操作できることは次の点から考察できる。3次元空間でのポインティングは、筋力や関節の自由度の増加に伴い動作軌跡が変化しやすくなり、操作時間が長くなることが報告されている。3次元メニューの場合も、腕全体を使って項目の選択やスライダによる値の変更を行うので、運動時間が長くなり操作に時間を要する。反面、ハンドヘルド・アプリケーションはタッチスクリーン上の2次元のGUIを操作するので、3次元メニューと比較して操作時間が短いと考えられる。よって、ユーザインターフェイスのユーザビリティは、運動の観点からハンドヘルド・アプリケーションアプリケーションが操作性に優れていると思われる。

関連研究

PDAをユーザインターフェイスの一つとして用いる研究は以前から行われている。暦本は複数のコンピュータによる相互連携の形態としてPick-And-DropというPDAと壁面サイズのコンピュータ間のデータ送受信を直感的に行えるMulti-Computer UIを提案している[1]。

PCとPDAの協調に関する研究は従来から行われている。綾塚らはPDA等による複合計算機環境を構築した[2]。机にはPCの画面がプロジェクタによって投影され、3次元センサが装備される。PDAと机が接続することにより、PDAは机に対する自由度の高い入力デバイスの役割を果たし、机はPDAの小さな画面の拡張部分として働く。ユーザは机の上に表示されたオブジェクトをPDAで“掴んで”動かしたり、Scoop-and-Spreadなどの新たなインタラクションテクニックにより、PDAと机とのデータのやりとりを行うことができる。Myersは、PDAをPCのリモートコントローラとして扱い、PCとPDAの協調作業を実現する研究を行った[3]。PDAとPCは赤外線や無線LAN、あるいはシリアルケーブルで接続される。ユーザはスクロールやセレクトなどPC側で行われる一般的な制御をPDAからの操作を実現した

VR環境でのPDAの利用として、Hartlingらは”Tweak”とよばれるJAVAベースのPDAコントローラを開発した[4]。これはCORBA(Common Object Request Broker Architecture)を用いて、JAVA GUIとC++によるPDAおよびデスクトップのミドルウェアである。TweakはGUIによるVRアプリケーションのコントロールを実現している。

(5) 単プロジェクタによる立体装置の検討

VRシステムの普及には、安価なVR端末が必要である。現在、2台の市販プロジェクタと偏光レンズを用いた方式が最も安く多人数で観察できる端末と言えるが、これをより安くするために1台のプロジェクタによって立体視を実現する方法について検討した。

図4-3-11は2台のプロジェクタを利用した簡易立体視装置である。



図 4-3-11 偏光方式立体視装置

① プロジェクタを1台にする方式

過去、次の2件が特許として申請され成立している。

1. 特開平 09-281616 「映像投影装置並びにアダプタ装置及び光学部材」
；プロジェクタの前に山形のプリズムを置き画面分離投影を行うもの (SONY)。
2. 特開平 08-149518 「立体映像投影装置」
；投影機の前に回転ミラーを置き、時分割偏光画面として立体視 (SONY)。

これ以外では、プロジェクタ前に単純にプリズムやミラーを置いて画面分割を行う提案があるが、いずれも公知の範囲(取下)である。

例 1. 特開平 08-079801 「立体プロジェクタ装置」 SONY ; 山形プリズム設置

例 2. 特開平 08-149518 「立体映像投影装置」 SONY ; ミラー(4枚)を置く。

公知として却下された提案を見る限り、市場さえあれば単プロジェクタ立体視端末の開発は可能であると考えられる。

② スクリーンに関する検討

偏光方式の欠点はスクリーンが偏光を崩さない特殊なスクリーンでなければならないことである。市販の布などで安価なスクリーンを調査したところ、次のような素材が利用可能であることが解かった。

ダイソー： アルミコート布地のアイロン台カバー (C008)

ダイソー： 両面色付 エンボス包装紙1 包装紙ー16

東急ハンズ： 薄手のビニールシート (商品名：カラード) やや暗い。

(5) 力覚装置と計算

VR装置の入出力装置として力覚装置がある。触覚を用いたデータベースのインターフェイスを検討するため、ここでは、現状の力覚センサに関わる物理計算についてまとめた。

① 物理シミュレータ

物理シミュレータとは、3D物体モデルが物理法則に基づいた挙動を可能とさせる物である。物理法則に基づいた挙動を示すことによって、より現実感の高いVR空間を生成することができる。

物理シミュレータは、以下の流れで計算される。

- ・ 3D物体モデルをロードし、シーングラフを作成し、
- ・ 3D物体モデルが衝突しているか判定をし、[衝突判定エンジン]
- ・ 衝突していた場合は動力学計算を行う [物理エンジン]

② 3D物体モデル、シーングラフ

3D物体モデルは物体における以下の値から構成される物である。

形状、質量、慣性テンソル、重心、位置、姿勢、速度、角速度、反発係数、静止摩擦係数、動摩擦係数など。また、シーングラフは複数の3D物体モデルから構成される物である。

3D物体モデルは、一般的な3Dモデル(Xファイルなど)を編集する(物理定数などを書き加える)こともあるが、多くが独自フォーマットである。シーングラフについても同様に、ほとんどが独自フォーマットである。

③ 衝突判定エンジン

衝突判定エンジンは、2つ以上の物体が接触しているか、どれだけ離れているかを計算するエンジンである。複数物体の形状、位置、姿勢から衝突を判定する。形状が複雑になれば計算量は増える。また、物体がN個ある場合は、物体が2つしかない場合の $N \cdot (N-1)$ 倍の計算量が必要となる。そのため、高速に衝突を判定するアルゴリズムが必要となる。高速衝突判定アルゴリズムとして、GJKアルゴリズムとLin-cannyアルゴリズムの二つが

ある。

- GJK アルゴリズム

高速衝突判定ライブラリ SOLID が用いている。GJK は 2 つの凸形状の差も凸形状になることから、差の凸形状内の点のうち原点にもっとも近い点を探索することで最近傍点を求める。

- Lin-Canny アルゴリズム

SWIFT++, I, V, H-Collide が用いている。Lin-Canny アルゴリズムは、ボロノイ領域を利用して最近傍点を求める。

④ 物理エンジン

物理エンジンとは、物体間に働く力を計算し、その力によって微小時間 Δt に物体がどれだけ変位するかを計算するエンジンである。物理エンジンは大きく分けて、解析法とペナルティ法の二種類がある。

- 解析法

Lagrange 未定乗数法：

全ポテンシャルエネルギー $\pi = \{\text{歪みエネルギー}\} - \int \lambda \times (\text{変位} - \text{既知変位})$

物理法則を忠実に再現しているので、フリーな剛体を複数扱いたいならば解析法を用いると良い。しかし各々の物体間に対して計算を行うため、物体の数が増えると、解析法はとたんに処理が重くなるという欠点がある。

- ペナルティ法

剛体における衝突などは本来反発係数から計算を行うものであるが、ペナルティ法はバネ・ダンパモデルで近似する。同様に様々な物理法則をバネ・ダンパモデルで近似する。そうすることにより、物体の数が増えても処理があまり重くならないという特徴がある。また、ペナルティ法はフレームレートが低い（微小時間 Δt が長い）と物体同士がめり込んだり、通過してしまう欠点がある。（解析法はフレームレートが低くても、そのようなことは起こらない。）しかし、フレームレートを十分高く（解析法の数倍）すれば問題がない。力覚インターフェイスと直結する場合や、静止摩擦・動摩擦を正確に扱いたいなら、ペナルティ法が有効である。

解析法は処理の重さが物体数の 2 乗できいてくるため、最近ではペナルティ法を利用する事が多い。

⑤ 現状

物理シミュレーションはどのアルゴリズムを使っているか、どのように実装しているかなどで大きく変わってくる。また、完成度の高い商用版はオープン・ソースでなく、SDK という形で配布される。そのため、物理シミュレーションの規格というものがなく、会社独自の規格しかない。現在一番使われる場面はゲーム作成である。ゲーム作成のために物理シミュレーションが必要となる。ゲーム会社はどのアルゴリズムを使っているか、どれだけ精度が高いか、どれだけ高速に動くかなどを調べ、物理シミュレーションを選択している状況である。

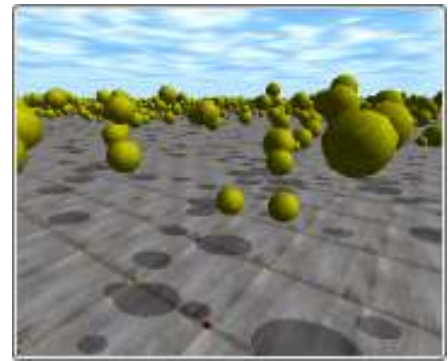
現状、3D モデルとシーングラフから CABIN などの映像出力機器に合わせた画像生成と、物理エンジンから得られた力の値から phantom などの力覚提示装置での出力を支援すれば良い。前者の画像生成についてだが、前述したように 3D モデルやシーングラフは物理シミュレーション独自のフォーマットである事が多い。CnC で利用するならば、サンプルの物理シミュレータを特定し、開発を進めなければならないであろう。

⑥ 他の研究機関における類似研究及び協力関係状況
現在、多く使われている物理シミュレータと
その特徴を挙げる。

有名な物理シミュレータ

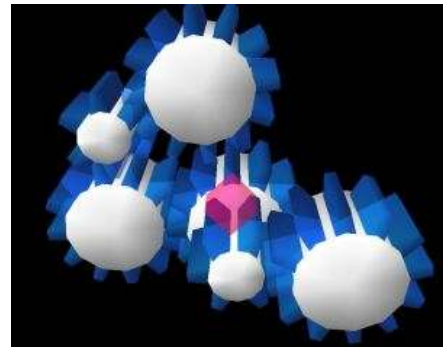
ODE、Springhead、Tokamak、Havok、Novodex、
フリーライブラリ。解析法を用いた物理シミュレータ。
オープン・ソース。

ODE - OpenDynamicsEngine (<http://ode.org/>)
解析法を用いたフリーな物理シミュレータである。



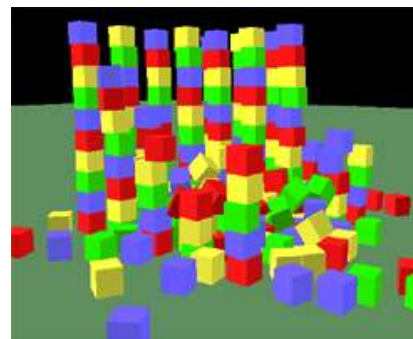
Springhead (<http://springhead.info/>)

長谷川晶一が作り始め、東工大のVR研究室
佐藤誠研とロボット技術研究会の有志で開発
したフリーな物理シミュレータである。
ペナルティ法を用いている。



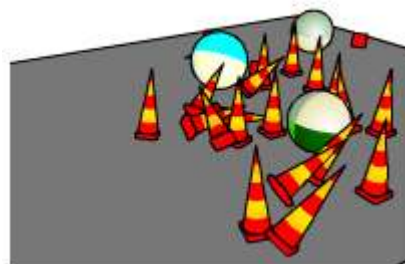
Tokamak (<http://www.tokamakphysics.com/>)

解析法を用いた物理シミュレータである。
フリーライブラリだが、ソースは未公開。

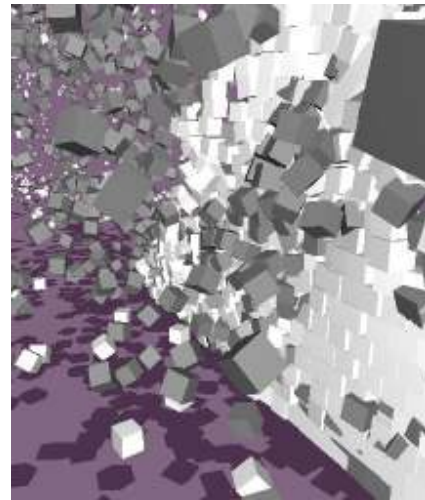


Havok3 (<http://www.havok.com/>)

Havok 社の物理シミュレータ。完成度が高い。
ゲーム開発者は、Havok が販売する
Havok Physics SDK を使用する。



NovodeX (<http://www.ageia.com/novodex.html>)
AGEIA 社の物理シミュレーション。
SDK はフリーで使うことができるが、
商用として利用するためには、ライセンス
契約を結ぶ必要がある。完成度が高い。
2005 年 3 月に株式会社 SEGA がライセンス契約を
結んだように、ゲーム会社が利用している。



4-3-4 まとめ

(1) PDA インターフェイスと IPT インターフェイスの調査

① 環境の構築

東和大学内にマルチ画面システムのハードウェア環境構築、筑波大学にマルチスクリーン版の環境を構築した。

② 単プロジェクタによる立体装置の検討

VR 普及には安価な立体装置が必要となる。現状、最も安い偏光方式を使い、1 台のプロジェクタにアタッチメントをつけて、どこでも立体映像を見ることが出来る装置の開発を検討した。それに該当する 2 件の特許があり、実現は可能だが市場には出ていない。偏光を維持するスクリーンは 100 円ショップで販売されているアルミコート布地のアイロン台カバーなどが、ある程度利用可能であることが判った。

(2) データベースとカンファレンスの融合

① データベースによる情報共有

遠隔地の利用者が、空間を共有するだけでなく多様なデータを共有することは、会議システムの必要要件である。TV 会議システムの中に、ビデオ画像と音声情報に重点を置くシステム（例：SONY）とデータ共有に重点を置くシステム（例：パイオニア、WebEx、NiceToMeetYou）があるように、会議システムとして IPT システムを利用する場合、この二つの要素は不可欠である。

IPT 環境からのデータベースへのアクセスを実現するために開発された、データベース・インターフェイスに、CCBASE がある。

② 同期会議、非同期会議

TV 会議システムを含む遠隔会議システムでは、ほとんどが、アプリケーション・ソフトウェアを同時に利用するものである。科学分野の可視化作業を遠隔会議するために設計された「Web/Express」での開発・販売経験から、同期会議だけでなく、利用者が違う時刻に利用できる非同期会議システムの需要が高いと考える。特に時差のある遠隔地との会議には不可欠な機能と思われる。

このような考えから、非同期会議を遠隔医療診断に利用しようとした情報通信放送機構の研究がある。これは、会議サーバを設置し、医療画像データに対して、相手のコメントを登録して、異なる時刻で会議管理するデータベースが介在するシステムである。

③ 研究プロセスの記録と再現

非同期会議は、「メール型」コミュニケーションであるが、テキストでの協調作業だけでなく、画像や三次元対象物に対する直接の書き込み（アノテーション）機能や、音声、画像、操作や会議プロセスも記録し、相手方に伝達することができるようにすることは今後の課題である。この会議プロセスを、記録することにより、検索が可能となり、知識やノウハウの伝達が効率化される。

④ MVL Toolkit の ccBase

MVL Toolkit ではオブジェクト指向データベースである infomix を利用していた。

これをリレーショナルデータベースへ置き換えることに決定した。

(3) 知識創造プロセス・アーキテクチャとワークフロー検討

① 日本原子力研究所関西研究所では、大量の実験データと数値計算のデータおよび、その分析結果をデータベースに登録してきた。これらのデータは多次元データであり、検索軸を交換しながらデータマイニングを進めるデータウェアハウスのような検索インターフェイスが有効である。そのためには大画表示装置が有効ではないかという仮説があることが判った。

② データマイニング GUI (京都大学)

IPT 空間を、知識発見の場に利用しようという試みは、数多くなされている。

これらの研究では、IPT 空間の持つ、データの一覧性機能や、自由な視点機能を用いて大量データから有用な知識を発見する、データマイニング GUI の特長を生かそうというものである。本研究では、大学教育のシラバスデータを対象に行うプロトタイプ・アプリケーションを開発して、この実証を行うことを検討している。

これは、本研究がターゲット候補として狙う、「博物館コンテンツの可視化」、「E-ラーニング素材コンテンツの流通と遠隔授業」、「R&D 部門でのデータ蓄積と遠隔コラボレーション」などの市場でも、シラバスの取り扱いと類似性があると考えられるからである。本研究では、後述する科学コンテンツの配信プロジェクトの推進も睨みながら、マルチメディア・コンテンツ・アーカイブ機能および登録コンテンツの流通を目的として設計された Chronostar-CATIS を導入して、実証実験を行う予定である。

4-4 アドバイザリ・グループの需要研究

4-4-1 序論

プロトタイプ・アプリケーション開発に協力していただくパートナーグループの形成を試みた。平成16年度は、テレ・イマージブ・カンファレンスの市場性について聞き取り調査し、本プロジェクトの趣旨に賛同いただける方々にはアドバイザー・グループに参加していただいた。

4-4-2 アドバイザリ・グループの位置づけ

① アドバイザリ・グループ設置の目的

アドバイザー・グループの設置目的は、次の三点である。

- ・ ターゲット・アプリケーションの決定
- ・ 基盤ライブラリ開発のための必要要件の調査
- ・ 基盤ライブラリの利用を支援するコンソーシアムの準備

つまり、ターゲット・アプリケーションを持つことによって、ユーザからの要求をフィードバックすることができるので、CnC基盤ライブラリの開発効率を上げることができる。また、同時に、CnCの普及を行う推進母体を形成することに貢献することが可能である。

② 候補選定の考え方

候補選定にあたっては、以下の三点を考慮した。

- ・ 大画面、IPTの特長を生かす
- ・ 遠隔会議の需要が存在する
- ・ 市場影響度が大きい

大画面、IPTの持つ「一覧性」機能や、「内部視点からの観察」、「臨場感」、「実寸大表示」機能、などの特長を生かせる分野として、「防災」、「広告宣伝販売促進」、「プラント設計CAD」、「住宅建築分野」、「研究開発」、「遠隔授業」、「博物館コンテンツ・アーカイブ&配信」、「CAE」、「遠隔医療」などが上げられる。

また、本研究の最終ゴールは、「製品化」によるビジネスの立ち上げであるので、マーケティング上提携効果が高く市場影響度の高いパートナーを選定する。

4-4-3 平成16年度実績

今年度は、以下の15団体に打診し、アドバイザー・メンバーの同意を10団体から得た。（同意を得た団体は、*印を表示。）

1. プラント設計会社 *
2. 大手建設会社*
3. 国立研究所（関西； 実験、数値シミュレーション）
4. コンピュータS I会社* （防災、景観シミュレーション）
5. 建築CAD会社*
6. 建築CAD会社
7. 自動車会社 宣伝販促部*
8. 財団法人
9. 博物館関係 展示技術研究会*（遠隔科学館プレゼンテーション）
10. 大学（東京）* （遠隔研究支援システム）
11. 楽器関係の会社

12. 医療関係ソフトウェア会社* (遠隔医療診断システム)
13. 解析ソフト開発・販売会社*
14. 遠隔コミュニケーションシステム販売会社*
15. 地方自治体 (北陸地方) (*: 成立 10 件)

4-4-4 アドバイザリ・グループのヒアリング結果

主なヒアリング結果は、添付資料 D-1 ～ D-11 を参照。

4-4-5 ビジネスモデルの考察

1) ビジネス要件

ネットワークを用いた大画面および IPT 連携を用いた協調作業の需要は、GRID や ITBL などのネットワーク基盤の進展とともに、増大することは、間違いない。しかし、その普及を妨げる要因として、以下の 2 点がある。

- ① 異なる組織間を接続するネットワーク・セキュリティーを考慮した運用基準が社会的に合意されていない、
- ② 遠隔協調会議システムの構築には、企業や機関内にネット担当の専門家が必要で、コスト高になる

①の点は、行政や公的機関の努力により、運用基準や技術標準が合意されることを待つしかない。②に関しては、大画面および IPT 連携に対応したソフトの製品販売においては、必ず、ネットワーク基盤を組み合わせた「システム」の販売を行う必要があることや、ネットワーク管理者などを持ってない企業や機関のために、サービス自体を販売する ASP などのビジネスモデルを検討しなくてはならないことを示唆している。

2) プロトタイプ・アプリケーション

プロトタイプ・アプリケーションの開発に関して、以下のテーマを第一候補として検討したい。いずれのテーマも、IPT ライブラリが完成される前に行っておかねばならない準備的な開発があるので、2005 年度からその開発を着手して行く予定である。

①ネットワークベース・ビジュアライゼーション

(実験、数値シミュレーション対応 遠隔研究支援システム)

・これは、前述の国立研究所や大学での需要を基礎にして開発するものである。このパターンは、企業の R&D 基盤のモデルになり、波及効果は大きい。

②遠隔科学館プレゼンテーション

・これは、前述の博物館関係での需要を基礎にして開発するものである。このパターンは、遠隔授業のモデルになり、波及効果は大きい。

4-4-6 オープン・ソース化準備研究

H17 年度に「オープン VR」コンソーシアムの発足を計画しており、その為の準備研究活動を行う。標準ライブラリとして市場で受け入れられる条件を研究する。

当該目的達成のために、外部機関や研究者を本研究体制の中に組み込むことを柔軟に行ってゆくものとする。

N3VR 研究会 (代表: 岩手県立大学柴田義孝教授) から研究協力の合意 (口頭) を得ることができた。これにより H17 年度は、JGN2 を利用した 3 拠点以上での通信テストを実施するテストサイトが確保できた。

4-4-7 まとめ

14社（機関）にプロジェクトへの参加要請の結果、10件からアドバイザー・グループ参加の同意を得た。ヒアリングは詳細に行ったが、残念ながら、その詳細を本報告書で公開することはできないが、カンファレンスシステムに対して共通性のある意見は、次のものがあげられる。

- ・ 現在導入している TV カンファレンスは利用率が高くない
- ・ 解像度なのか臨場感なのか、理由は不明だがフェイス to フェイスの会議の方が効率的と考えている。
- ・ 近い将来、TV 会議は普及して当然のように利用されるようになると予感するが、それが“いつ”になるかはわからない。
- ・ 本当に利用できるようなアプリケーションがあるならば、ぜひ導入したい。

他、それぞれの企業ニーズとして、特定のアプリケーションを組み込んだ形のコラボレーションによってコスト削減、開発サイクルの短縮に関する提案を頂いた。

また、オープン・ソースを普及するパートナー団体として N3VR 研究会の協力を得ることができた。

4-5 総括

平成 16 年度は「基本設計ならびに最終事業化をにらんだ事業基盤造り」をテーマとした。

IPT 用 VR 基盤ライブラリライブラリは、CABIN ライブラリの拡張・整備を検討した。

拡張に関しては、マルチ・アプリケーションの統合環境を追加コンセプトとした。これは一般のソフトウェア開発としては普及してきているが、VR アプリケーション開発に導入することは画期的である。整備に関しては、CABIN ライブラリで開発してきた技術をモジュール化し、可能な限りリコンパイル作業なしに再利用できる形にする。

空間共有アプリケーション構築用ライブラリは、MVL Toolkit の拡張・整備を検討した。拡張に関しては、通信部分を独立させ、セキュリティを考慮しインターネット環境で利用ができるようにする。また、ビデオアバタなどの技術はモジュール化し、いろいろなアプリケーションから利用できる形にする。

知識創造は、入力システムおよびデータの記録について検討した結果、アプリケーション分野によって開発内容が大きく異なることから、アドバイザー・グループからの要望を反映したプロトタイプ・アプリケーションを構築することで基盤ライブラリの仕様を固めていくこととした。

本プロジェクトで開発するアプリケーションの仕様作成のパートナーとなるアドバイザー・グループのメンバーを 10 社集め、その普及のために N3VR 研究会との協力を決めた。

平成 17 年度は、本年度の基本設計の指針に従い基盤ライブラリを開発し、高速ネットワークを用いた接続試験を実施する予定である。

5 参考資料・参考文献

5-1 研究発表・講演等一覧

一般口頭発表：2件

①学会名等：The 14th International Conference on
Artificial Reality and Telexistence (ICAT2004)

発表者：小木哲朗

発表タイトル：Building Networked Immersive VR Applications Using the MVL
Toolkit

発表年月日：2004.12.1

知的財産権処理状況：無

① 学会名等：N3VR研究会 第4回研究会

発表者：宮地英生

発表タイトル：“CnC プロジェクトについて”

発表年月日：2005.2.21

知的財産権処理状況：無

。