

## インターネットアクセス型協調学習システム HyperClass ～システム概要と基礎実験～

佐藤 一†,‡ John TIFFIN†† Lalita RAJASINGHAM†† Simon LONSDALE††  
Anne GOOLEY††† Daya PETHIYAGODA††† 寺島 信義‡  
†早稲田大学大学院 国際情報通信研究科 ‡早稲田大学 国際情報通信研究センター  
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田 1-3-10 早大 29-7 号館, Tel: (03)5286-3831  
E-mail: hajime,terasima@giti.waseda.ac.jp  
††Victoria University of Wellington  
P.O. Box 600, Wellington, New Zealand  
E-mail cgvu@ozemail.com.au, {lalita, simon.lonsdale}@vuw.ac.nz  
†††Queensland Open Learning Network  
P.O. Box 3165, South Brisbane, BC, QLD 4101 Australia  
E-mail {a.gooley, d.pethiyagoda}@lnq.net.au

あらまし 本稿では、遠隔地にいる教師と学習者がインターネット接続を通じ、3次元仮想空間を共有することにより、協調学習作業を行うことができるシステム *HyperClass* について報告する。このシステムは現実世界と仮想現実世界を融合した概念であるハイパーリアリティに基づいており、従来の教室の制約を越えた教育環境の構築を目指している。参加者らは仮想空間内に構築された教室内に自らの分身（アバター）を参加させることにより、あたかも一堂に会しているような感覚を得ることができ、3次元教材を任意方向からの観察したり、自由に操作することにより、知識を直感的に得ることができる。本稿ではプロトタイプレベルで完成している *HyperClass* の機能について述べ、同システムを用いて行った日本、ニュージーランド、オーストラリア間の1対1、およびマルチポイント接続による基礎実験によって確認された有効性について明らかにする。

キーワード 遠隔教育、協調学習支援、仮想空間、3次元画像、インターネット、アバター

## Overview and Basic Experiments of Hyperclass: An Online Collaborative Distance Learning System

Hajime SATO†,‡ John TIFFIN†† Lalita RAJASINGHAM†† Simon LONSDALE††  
Anne GOOLEY††† Daya PETHIYAGODA††† Nobuyoshi TERASHIMA‡  
†Graduate School of Global Information and Telecommunication Studies, Waseda University  
‡Global Information and Telecommunication Institute, Waseda University  
1-3-10 Nishi-Waseda, 29-7 Bldg., Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0051 Japan, Tel: +81-3-5286-3831  
E-mail: hajime,terasima@giti.waseda.ac.jp  
††Victoria University of Wellington  
P.O. Box 600, Wellington, New Zealand  
E-mail cgvu@ozemail.com.au, {lalita, simon.lonsdale}@vuw.ac.nz  
†††Queensland Open Learning Network  
P.O. Box 3165, South Brisbane, BC, QLD 4101 Australia  
E-mail {a.gooley, d.pethiyagoda}@lnq.net.au

Abstract *HyperClass*, a system for providing collaborative distance learning through the communication network is presented. This system is based on HyperReality, a concept which combines virtual reality with real reality. A classroom is created inside a shared 3D virtual space, and a teacher and student(s) at distant locations (in reality, their avatars) are brought together as if they were gathering in the real world. 3D objects could be introduced into *HyperClass*, and viewed and manipulated both interactively and intuitively. Using this system, lectures unrestricted to the boundaries of the conventional classroom could be expected. A prototypical system of *HyperClass* was constructed, and a series of joint fundamental experiments carried out between Japan, New Zealand and Australia showed its effectiveness.

key words Distance Learning, CSCL, Virtual Space, 3D Image, Internet, Avatar

## 1. はじめに

近年のコンピュータ性能の飛躍的な向上や表示・入力デバイスの進歩により、コンピュータ内に実在の空間に限りなく近い3次元仮想空間を構築し、その空間内と同様の作業をシミュレートすることが可能になりつつある。また一方で、通信分野における技術の進歩や、インターネットに代表されるような全世界的規模のコンピュータネットワークの急速な普及からもわかるように、対人型コミュニケーションにおいてコンピュータは欠かすことができないものとなってきており、より高機能なアプリケーションが求められてきている。

そのような中、コンピュータネットワークを通じて遠隔地どうしを接続し、複数の人物がコミュニケーションを図ったり、協調作業を行ったりすることを可能にする臨場感通信会議システムの開発が進められてきた<sup>(1)</sup>。このようなシステムでは、参加者は仮想的な3次元空間内に自らの分身(Avatar)を参加させることにより、参加者どうしでコミュニケーションを図ったり、あるいは3次元オブジェクトを使用した協調作業を行うことができる<sup>(2)</sup>。

このようなシステムを協調学習支援(CSCL: Computer Supported Collaborative Learning)へ応用するような試みもなされている<sup>(3)</sup>。これにより、3次元教材を視点を変えて観察したり、手で持つように操作することが可能となるため、知識をより直感的に理解させることが可能となる。そのため、従来の教室や遠隔講義、ウェブベースのラーニングシステム等では実現できなかった多くの応用が期待できる。

しかし、このような協調学習システムはCAVE(Cave Automatic Virtual Environment)のような環境内に実装されていたり、HMD(Head Mounted Displays)や大型ディスプレイのような特殊な機材を必要とするものが多かったため、システム構築にコストがかかったり、LAN接続によるローカルな使用に限定されたものが多かった。また、仮想空間内でのオブジェクトに関しても、ネットワーク遅延やコンピュータ処理能力等によってスムーズな操作が困難になるといった問題点もあった。

筆者らは、これらの問題点をふまえ、比較的低速度なワークステーションとインターネット接続により、遠隔地にいるユーザどうしが円滑にコミュニケーションを図り、協調学習作業を実現するシステムHyperClassを提案し、開発を進めてきた<sup>(4)(5)(6)</sup>。HyperClassの概念図を図1に示す。本稿では現在、プロトタイプレベルで完成している同システムの機能について概説するとともに、日本、ニュージーランド、オーストラリア間で行われた基礎接続実験によって確認された同システムの有効性について報告する。

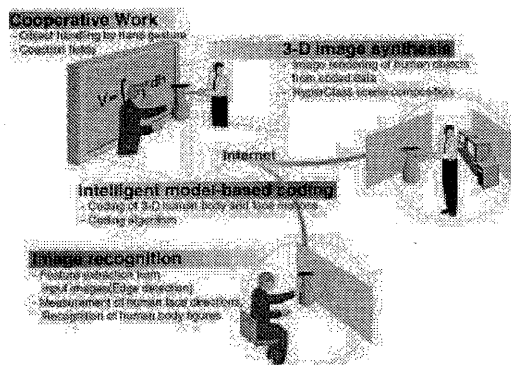


図1: HyperClassの概念

## 2. ハイパーリアリティとは

ハイパーリアリティとはバーチャルリアリティ(仮想現実)とリアルリアリティ(現実)を融合した概念である<sup>(7)</sup>。

ハイパーリアリティには、現実と架空の世界が融合した世界であるハイパーワールドと、その中に定義される1つ以上のコアクションフィールドが導入される。

コアクションフィールドは「共同の場」を意味しており、この中で人間や生物は対話や協調作業等のインタラクションを行うことができる。なお、このときの人間や生物は現実のものでも架空のもの良い。コアクションフィールド内には、人物や生物同士がインタラクトする際、そのために必要な「共通の知識」が存在し、その情報を共有することによって一つないし複数のタスクが達成される。また、共同作業を行うために必要な「手段」(言語、ジェスチャ、文字、音声、画像)なども与えられる。その他にも、物理法則や生物の法則などもフィールド内に導入される。

図2にハイパーワールドのイメージ図を示す。この図では、人物と生物が存在する実在の共有空間をVR技術によって生成された仮想環境が取り囲んでいる。図中の円はコアクションフィールドを示しており、その中で複数の人物や生物がインタラクションを行っているのがわかる。

HyperClassはこのようなコンセプトに基づいており、究極的には遠隔地にいる教師と学習者があたかも一同に会した感覚で集うことができ、現実と架空の境界を超越し、場所や時間といった物理的な制約に縛られない教育環境の構築を目指している。これにより、従来の教育環境では実現不可能、あるいは実現困難であった様々な授業、実験、創作活動等が期待される。

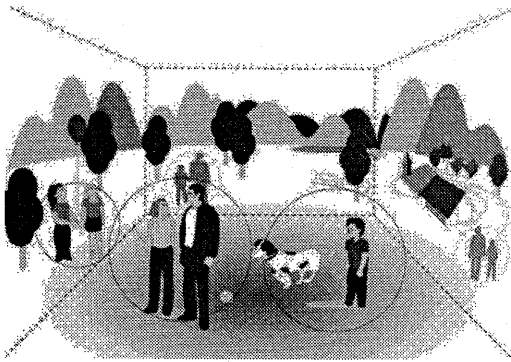


図 2: ハイパーリアリティの概念図

### 3. プロトタイプシステム

#### 3.1 システム概要

HyperClass は現在 C++ (合計ソースコード約 16,000 行) によって記述されており, Xlib X-Window ライブラリ, OSF/Motif, Iris Performer (SGI) 等のライブラリを使用している。

現行のバージョンは SGI IRIX Release 6.2 以降, および Iris Performer Version 2.1 以降をインストールした SGI 製ワークステーション上で動作する。

#### 3.2 データの送受信方式

3次元仮想空間内のデータの送受信には, モデルベース符合化の原理を使用する<sup>(8)</sup>。

各ユーザ (教師, 学習者) のワークステーション上には同一の 2次元画像や 3次元オブジェクト, およびこれらのオブジェクトの設定を記述した設定ファイルが予め用意される。そのため, ファイル名の指定やパラメータ変化情報の送受信のみにより, 仮想空間内のアバタやオブジェクトの操作が行われる。

そのため, 操作情報は小さなパケットで送受信することが出来, 使用するネットワークが比較的低速であっても, 円滑な操作が可能となる。

#### 3.3 接続方式

HyperClass はサーバ・クライアント方式を採用しており, 複数のクライアントによる操作要求をサーバで一括して管理し, 各クライアントの情報を共有する形をとっている。

図 3に示すように, サーバ (教師サイト) では, クライアント (教師サイト, 学習者サイト) の接続および解放が管理され, クライアントからの入力情報の送受信が行われている。クライアント側ではユーザによる入力情報をサーバに送信し, サーバ応答に応じた 3次元仮想空間表示が行われるため, 各サイトにおけるアバタ・オブジェクト動作の同期がとられる。

なお, このときの通信プロトコルには TCP/IP を使用する。

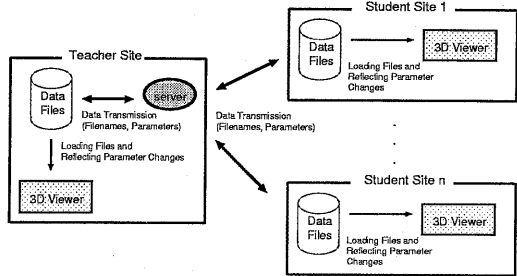


図 3: サーバ・クライアント間のデータ送受信

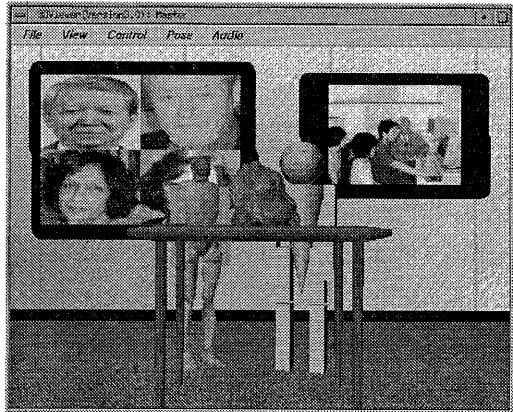


図 4: HyperClass の動作画面

#### 3.4 機能

HyperClass は図 4に示されるように, 左・右・後面の壁, 天井および床の 5面で囲まれた教室の形で表現されている。

この教室内には教師と学習者の容姿を模した 2体以上のアバタが参加する。後面の壁には参加者の顔画像を表示するディスプレイ, および対話を促進したり, 指導の補助的な目的で使用されるモニターが配置されている。

教室内に取り込まれる 2次元画像, 3次元オブジェクトの選択や, 全体的なレイアウトの設定は教師サイト側で行われる。現行のバージョンは次の主要機能を持つ。

### ● 移動・視点変換

仮想空間内の視点を自由に変更することができ、3次元オブジェクトや教室で行われている協調作業の様子を任意の方向から観察することができる。マウス操作（左ボタンのドラッグ：上下方向、中央ボタンのドラッグ：回転、右ボタンのドラッグ：奥行き）により好みの視点を選べる他、プリセットの視点も使用できる。

### ● アバタ動作・姿勢変化

アバタは頭部、腹部、上腕部、下腕部、手、上脚部、下脚部から成っており、これらの各部位を動かすことにより、ジェスチャを示したり、ポーズを作成したりすることができる。教師と学習者を区別するため、2種類のアバタが用意されている。キーボード操作（↑↓：前進・後進、←→：左・右回転、スペース：リセット）によってアバタを仮想空間内で移動させることができる。また、ユーザの頭部に磁気センサを設置することにより、頭部動作をアバタに反映することも可能である。

### ● 3次元オブジェクトの操作

教室内に Inventor 形式の3次元オブジェクトを読み込み、自由に操作・観察することができる。マウス操作（左ボタン：上下方向に移動、中央ボタン：回転、右ボタン：奥行き方向に移動）に加え、データグループによる操作も可能である。

### ● 2次元画像の表示

SGI RGB形式の2次元画像を教室内のモニターやディスプレイの他、アバタの顔領域等にも自由に貼り付けることができる。

### ● 立体視

液晶シャッタ式立体視眼鏡を使用することにより、オブジェクトの立体視が可能となる。

### ● 音声入出力

ワークステーションにマイクやスピーカを接続することにより、各クライアントサイトからの音声データの送信・再生が行うことができる。

## 3.5 教材

教材としては、図5に示すように、3次元レーザスキャナを用いて取り込み、専用ソフトウェアを用いてレンダリングした焼き物、像、壺等の美術品コンテンツが用意されている<sup>(5)</sup>。

また、パソコン部品（CD-ROMドライブ、FDドライブ、メモリー等）の組み立て作業の指導をインタラクティブに行うことを可能にするモジュールが実装されている。パソコンの組み立て・分解は図6に示すようなシナリオによって定義されており、接続ポイントの設定や接続する際の姿勢、接続順序を自由にエディットすることができる。

その他にも、図7に示すようにXMLベースのハイパーテキストエディタ/ビューワが用意されており、テキストデータや2次元画像データ、3次元オブジェクトデータを使用したマルチメディア教材を簡便に作成することができる。

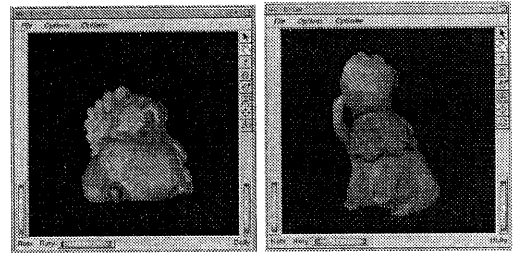


図 5: 美術品の例

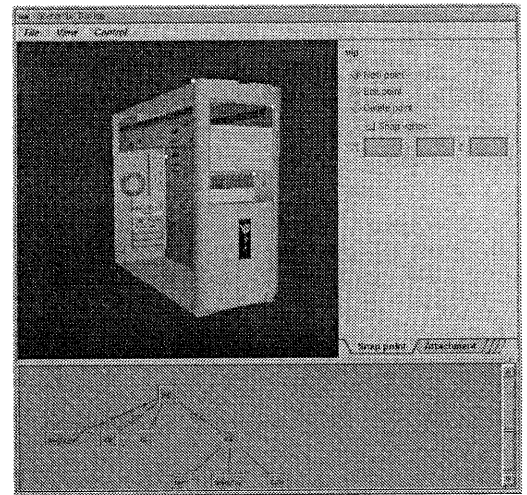


図 6: 組み立て・分解シナリオの定義

## 4. 基礎実験

### 4.1 条件

HyperClassの有効性を確認するため、早稲田大学（日本）、ビクトリア大学（ニュージーランド）、クイーンズランド・オープン・ラーニング・ネットワーク（オーストラリア）の3地点をインターネット接続し、基礎実験を行った。日本-ニュージーランド間、日本-オーストラリア間の1対1接続に加え、日本、ニュージーランド、オーストラリア間のマルチポイント接続も行った。今回の実験では次の

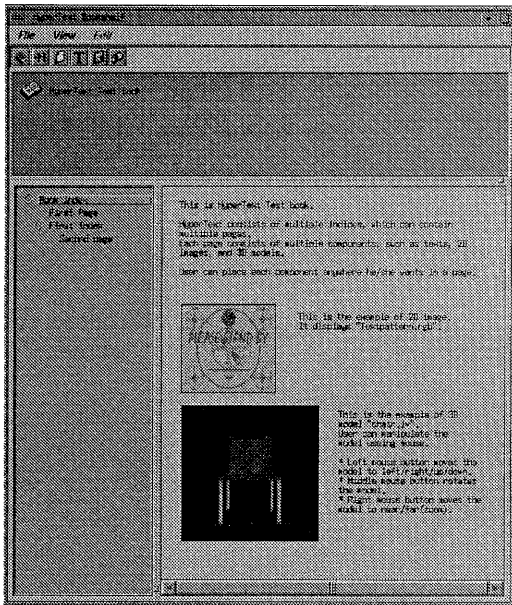


図 7: ハイパーテキストエディタ

3つのタスクを試みた。

1. 3次元オブジェクト（美術品）の表示・操作
2. ユーザ間のオブジェクト引き渡し作業
3. パソコン部品の組み立て作業

各地点ではSGI製ワークステーション(O<sub>2</sub>; CPU: R5000, 180MHz, IRIX Release 6.2, IRIS Performer 2.1, RAM 92MB)がプラットフォームとして用いられた。各クライアントはLANを経由してインターネットに接続し、サーバが立ち上げられたマシンのIPアドレスに接続した。

よりクリアな音声の送受信を行うとともに、各地点における映像の送受信を行うため、別途、Windowsマシン上でテレビ会議システムNetMeetingを補助的に実行した<sup>1</sup>。

## 4.2 結果と考察

### 4.2.1 1対1接続

教師サイト-学習者サイト間で約1~1.5秒の遅延が確認されたものの、アバタやオブジェクトの動作が途切れ途切れになったりすることもなく、協調作業を行う上では大きな影響は感じられなかった。

<sup>1</sup>HyperClassの持つ音声機能はLAN環境では問題なく動作が確認されたものの、インターネットを経由したデータ通信を行うのが困難であることが東京-横浜間を繋いだ事前の接続実験にて確認されている。

4.1章にて前述した1.のタスクにおいて、学習者らは3次元オブジェクトを操作・観察することにより、より直感的に知識を得ることができた。また、オブジェクトに関する学習者-教師間の質疑応答も活発に行われた。

2. 3.のタスクについても、仮想空間内のオブジェクト操作をスムーズに行うことができ、インタラクティブな学習指導の可能性が確認された。

マウスやキーボードを用いた操作は完全に自由度が高いとはいえなかったものの、未経験者でも操作を覚えるのが比較的簡単だったようである。

### 4.2.2 マルチポイント接続

マルチポイント接続のときも、前述の1対1接続の際とほぼ同程度にスムーズなアバタおよびオブジェクトの動作が確認された。

しかし、アバタを3体に増やしたことにより、「誰が何のオブジェクトを何処へ動かしているか（あるいは動かそうとしているか）」が理解しづらくなるという問題が生じた。これは1.のタスクではさほど大きな問題にならなかったものの、2. 3.のタスクでは顕著に感じられた。

そのため、音声によるやりとり（例：「ユーザAはオブジェクト1を動かす」）をより活発に行い、ジェスチャを用いる（例：操作を開始するときは「立つ」、終了するときは「座る」）ことにより、この問題を克服したが、今後この機能について改良を行う必要がある。

また、現在は1つのオブジェクトを複数のユーザが同時に操作することはできず、例えば2人の人物が同一の物体を協力して持ち上げるような作業は実現不可能である。よりインタラクティブ性の高い協調作業を行うためには、この点に関しても検討を行っていく必要があるように感じられた。

教師サイトにて表示された、マルチポイント接続によるパソコン組み立て作業中の実行画面を図8に示す。

## 5. まとめ

本稿では、インターネット接続により3次元仮想空間を共有し、3次元オブジェクトを用いた協調学習作業を行えるシステムHyperClassのコンセプトについて概説し、プロトタイプレベルで完成している同システムの機能について述べた。

また、日本、ニュージーランド、オーストラリア間の1対1、およびマルチポイント接続による基礎実験を行うことにより、同システムの有効性、および遠隔地を繋いだ協調学習の可能性について確認した。

今後は同システムに関する定量的な評価や基礎技術の改良を行っていき、より自由度が高く、臨場感が高いシステムの構築、および実際の授業への応用を目指す。特に、次の研究課題について重点的に検討していく予定である。



図 8: マルチポイント接続中の実行画面

- 教材, コースウェアの作成
- デジタルアーカイブ技術
- 現実的なアバタの表現
- 顔・人体動作の認識
- CSCW 技術応用

#### 謝辞

本システムを開発, 実装する上で協力して頂いた株式会社スリーディーの福岡いずみ女史, 加納裕氏, デザインを手掛けられた早稲田大学大学院国際情報通信研究科の松川浩二氏にこの場を借り, 深く感謝いたします。

また, 実験のセットアップおよび実験風景の撮影, 編集に協力して下さった早稲田大学大学院国際情報通信研究科寺島研究室の森岡園深女史, 李嘉喜氏, 神前敦紀氏に感謝いたします。

We would also like to thank everybody at Victoria University of Wellington and Queensland Open Learning Network who participated in the joint experiments.

#### 参考文献

- [1] 岸野 文朗: “ヒューマンコミュニケーション - 臨場感通信 -”, テレビ誌, Vol.46, No.6, pp.698-702 (1992)
- [2] 箕浦大祐, 山名岳志, 正木茂樹, 一之瀬進: 「多人数参加型3次元仮想空間における大規模人数表示方法」, 信学論 (D-II), Vol.J81-D-II, No.5, pp. 962-971 (1998)
- [3] 細谷克美, 加藤泰久, 川野辺彰久, 角田 進, 福原美三: 「マルチユーザ仮想空間を利用した協調学習環境の構成法」, 信学論 (D-II), Vol.J80-D-II, No.4, pp. 866-873 (1997)
- [4] 松川浩二, 田中 司, 高橋克直, 寺島信義, 富永英義: 「ネットワークによる3D・VRの教育への応用に関する研究」, 信学春季全国大会 A-16-33 (2000)
- [5] 松川浩二, 田中 司, 高橋克直, 寺島信義, 富永英義: 「ハイパークラス実現に関する検討'99」, 信学春季全国大会 A-16-37 (1999)
- [6] 松川浩二, 高橋克直, 津田伸生, 寺島信義, 富永英義: 「ハイパークラス実現に関する検討'99」, 信学春季全国大会 A-16-7 (1998)
- [7] 寺島信義: “知的通信システム - ヒューマンフレンドリーな通信環境の構築 -”, オーム社, pp. 91-107 (1997)
- [8] 相澤清晴, 斎藤隆弘, 原島 博: “構造モデルを用いた画像の分析合成符合化”, 信学論 (B), J-72-B-I, 3, pp. 200-207 (1989)