

修 士 論 文

3次元図形理解のための協同学習支援システム

350304289 濱 孝幸

名古屋大学大学院情報科学研究科

複雑系科学専攻

2004年度

3次元図形理解のための協同学習支援システム

350304289 濱 孝幸

近年、eラーニングが注目されている。eラーニングは、学習者がいつでもどこでも学習可能なことが主な特長であり、また、eラーニングの参加者同士のコミュニケーションが重要な役割を果たす。そこで本研究では、学習者が他の学習者とお互いに教え合うことにより、両者の理解を深めることのできる学習形態である協同学習に注目し、3次元図形理解のための協同学習支援システムを構築した。3次元図形の理解には、対象となる図形の形状イメージを形成できるか否かが重要である。そのため、模型等を用いて実際に3次元図形を観察する学習方法が有効であるが、模型の作成には高度な技術や多くの時間を要する。そこで本システムでは、仮想空間上に3次元モデルを提示する方法を用いた。仮想空間を用いることで3次元図形を手軽に扱うことができるほか、コンピュータのシミュレーション能力を生かして、相貫体の作成や任意の平面による切断面の表示が可能である。また、本システムは1台のサーバーと複数台のクライアントから構成されている。各クライアント間では通信が可能であり、図形の作成やその図形に対する操作の過程を、他のクライアントにリアルタイムに送信することができる。その結果、1つの仮想空間を指導者や学習者の間で共有することができる。さらに、学習者間のコミュニケーション手段として、電話のようにお互いが相互的に会話できる音声通信機能を導入した。これらの機能により、自分の意思を適切に表現することができ、3次元図形理解に対する高い効果を期待できるものと考えている。本稿後半では、本システムを使用してどのような学習を行うことができるのか、その学習方法の例をいくつか紹介する。

Collaborative E-learning System
for Understanding Three Dimensional Figures

350304289 Takayuki HAMA

Recently, e-learning is brought to attention. Main feature of e-learning is that learners can learn anytime, anywhere. But the significance of the communication with other learners is often goes unrecognized in e-learning. Then, I paid attention to the collaborative learning that was able to deepen understanding by learners' teaching each other, and constructed the collaborative e-learning system for understanding three dimensional figures. It is important whether to be able to form the shape image of figures for understanding 3-D figures. Therefore, it is effective for learners to look at real three dimensional figures such as a physical model, but model building needs advanced technique and a long time. The system I produced use the method of laying out 3-D model on virtual space. By using that, 3-D figures can be treated easily. The system is possible to make intersecting bodies and to display their sections cut by arbitrary cutting planes. The system is composed of one server and some clients. It is possible to communicate with other clients. The process of making figures and the operation to these figures can be transmitted to other clients in real time. As a result, instructor and learners can share one virtual space. In addition, voice communication function that makes it possible to talk mutually like telephones was introduced as communication means among learners. These functions help to express learner's own thought appropriately. The function is effective to understanding 3-D figures. In latter part of this thesis, I introduce some examples of anywhere at anytime learning and show how to use the system in the field of education.

目次

1. はじめに	1
1-1. 背景	1
1-2. 目的	2
2. システムの機能	4
2-1. システム概要	4
2-2. クライアント側メイン画面	5
2-2-1. メニューバー	5
2-2-2. 図形作成ツールバー	6
2-2-3. 操作補助ツールバー	8
2-2-4. 図形描画画面	8
2-3. 図形作成機能	9
2-4. 図形操作機能	11
2-5. 切断面描画機能	12
2-6. 通信機能	12
2-6-1. 図形共有機能	15
2-6-2. 音声通信機能	17
2-7. 記録機能	18
3. 本システムの使用した学習方法	20
3-1. 図形の基本的な性質を知る	20
3-2. 複雑な図形を作成する	22
3-3. 切断面の形状を見る	24
3-4. 音声通信による意思疎通	26
4. おわりに	28

1. はじめに

1-1. 背景

近年、ネットワーク基盤の向上やインターネットの利用者の急増を背景に、eラーニングが注目されている。eラーニングとは、ネットワーク等の通信技術を用いた遠隔教育のことであり、eラーニング白書^[1]によると、「eラーニングとは、情報技術によるコミュニケーション・ネットワーク等を使った主体的な学習である。」と定義されている。ネットワークの利便性を活かし、「いつでも」「どこでも」学習が可能、という特長を持つほか、学習者が自らの意志で参加することができ、学習を進めていく上での適切な指導が適宜与えられるのがeラーニングである。

このeラーニングにおいては、指導者と学習者、または、学習者同士のコミュニケーションが重要であるため、本研究では、学習者同士が学習に関する情報を共有し、お互いに教え合うことで学習効果を高めることのできる学習形態である、協同学習に注目した。eラーニングにおける協調学習については様々な研究が行われており^[1]、それらの研究では、学習者の授業への積極的な参加や、成績の向上が見られ、効果的であると報告されている。

また、3次元図形の理解には、対象となる図形の形状イメージを形成できるか、つまり、2次元上の見取り図や三面図から3次元図形を頭の中にイメージできるか否かが重要である。このイメージ化を支援する有効な手段として、実際に、図1-1に示すような3次元図形の模型を用意することが挙げられるが、模型の完成品を購入するための費用や、模型を製作する場合は、そのための時間や技術が必要となり、学習者個人が用意するには敷居の高いものとなっている。

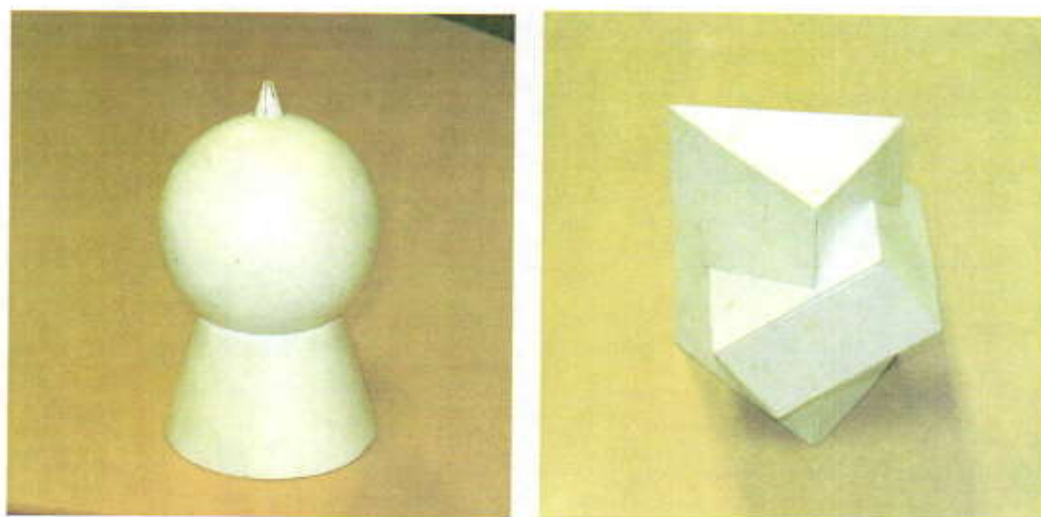


図1-1：3次元図形の模型の例

1-2. 目的

上記の背景をふまえ、本研究では3次元図形理解のための協同学習を支援することを目的としたシステムを構築した。本システムは、

- (1) 3次元図形理解の支援
- (2) ネットワークを用いた協同学習の支援

の2点を主な目的としている。

3次元図形理解の支援として、コンピュータ内の仮想空間上に3次元モデルを提示している。仮想空間を用いることで、3次元図形を手軽に扱うことができるほか、コンピュータの持つシミュレーション能力を活用することができる。各学習場面における仮想空間を用いた場合の利点を、モデルを用いた場合の比較と共に、表1-1に示す。

本システムでは、3次元モデルや切断面の平行移動や回転といった操作をマウスでリアルタイムにアニメーション表示することができる。図1-2に、円錐の上部を切断している切断平面を回転させた時の切断面が変化していく様子を示す。また、図1-3に、三角柱と直方体の相貫体において、直方体を平行移動させた時の相貫体に変化していく様子を示す。この機能は切断面や相貫体の理解に役立てることができる。

表1-1：3次元図形を仮想空間上で扱うことによる利点

学習場面	模型	仮想空間
3次元図形作成	・高度な技術や、多くの時間が必要	・短時間で作成が可能 ・図形の修正が容易
切断面の理解	・模型作成時に切断面を決定し、修正は困難	・任意の平面で切断が可能 ・切断面の移動や回転が可能
相貫体の理解	・相貫体とその相貫体を構成する図形の対応付けが困難	・様々な図形を任意の位置や角度で組み合わせることが可能

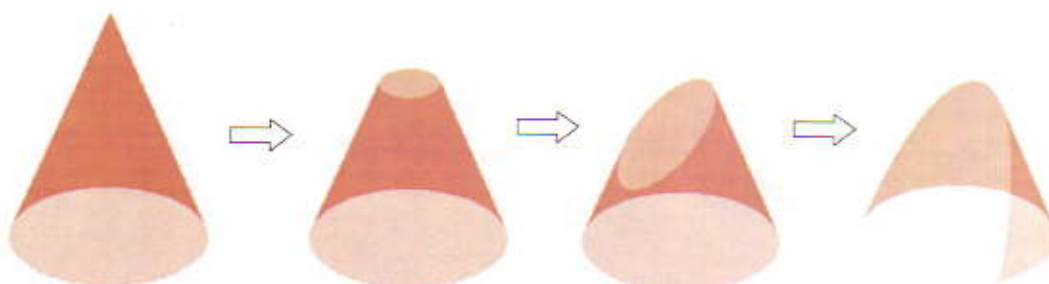


図1-2：切断面の変化の様子

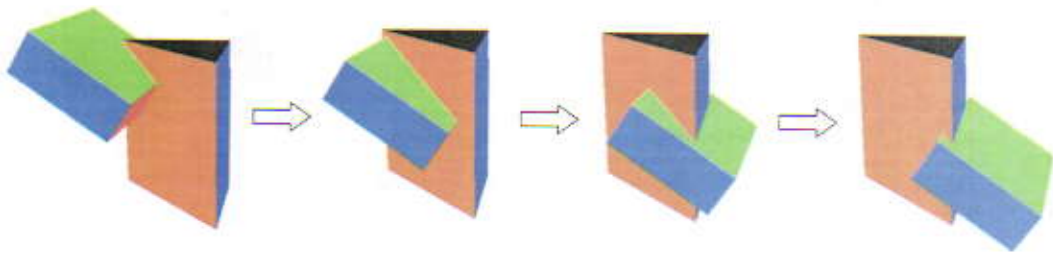


図1-3：相貫体の変化の様子

ネットワークを用いた協同学習の支援として、図形共有機能と音声通信機能を用意した。図形共有機能とは、複数の学習者間で共通の画面を表示し、画面内の図形に対する操作（移動・回転など）をリアルタイムに表示することで、1つの仮想空間を学習者間で共有する機能である。音声通信機能とは、電話のようにお互いが相互的に会話できる機能である。これらの機能で、学習者同士のコミュニケーションを支援する。

2. システムの機能

本章では、システムの機能について説明する。本システムの仮想空間上で用いる座標系は、図2-1に示すような右手座標系であり、水平方向がX軸、垂直方向がY軸、奥行き方向がZ軸である。回転角度については、右ネジ方向が正である。

なお、本システムは鷺見ら^{[2][3]}によって作成されたものを元に構築した。筆者の担当した箇所は、主に音声通信機能と記録機能である。

2-1. システム概要

本システムは、図2-2に示すように、1台のサーバーと2台以上のクライアント

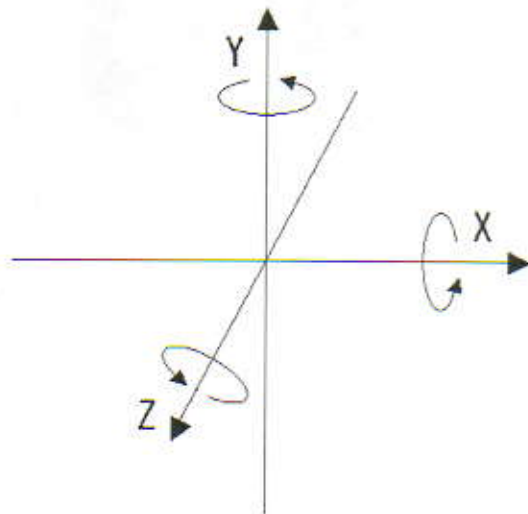


図2-1：本システムで用いる座標系

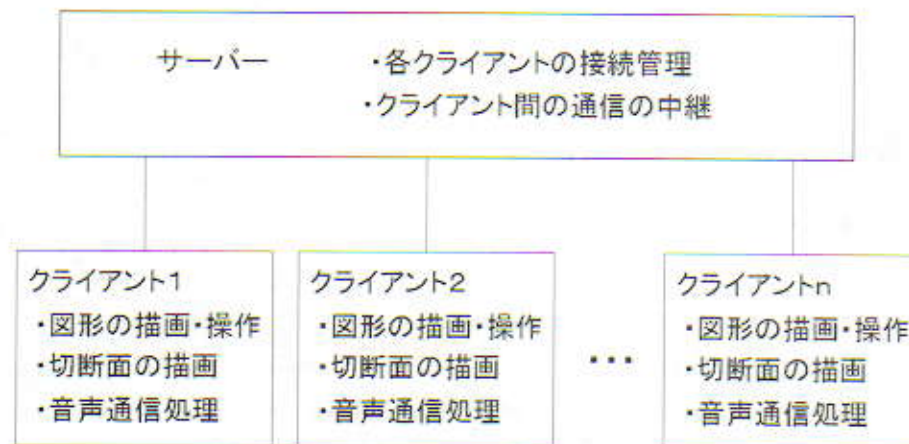


図2-2：システムの通信形態

から構成される。クライアントは、図形の描画や作成、切断面の描画など、3次元図形を理解するための機能を担当する。サーバーでは、各クライアントの接続管理や通信の中継といった、クライアント間の通信のサポートが行われる。

2-2. クライアント側メイン画面

図2-3に、クライアント側のメイン画面を示す。

- ① メニューバー
- ② 図形作成ツールバー
- ③ 操作補助ツールバー
- ④ 図形描画面面

このメイン画面は起動時に表示される。以下、それぞれの項目について説明する。

2-2-1. メニューバー

図2-3中①のメニューバーの詳細を図2-4に示す。

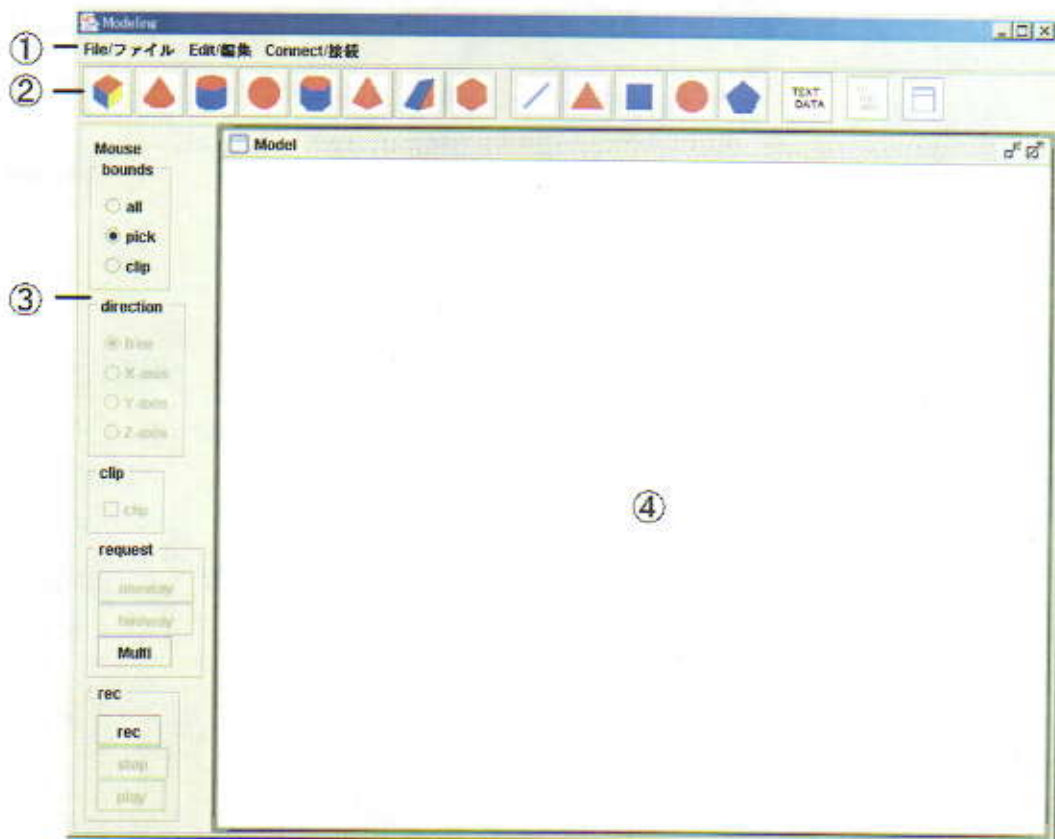


図2-3 : クライアント側のメイン画面



図 2-4 : メニューバーの詳細

それぞれの項目の機能は、次の通りである。

File/ファイル

Open/開く : 図形の定義が記されたファイルを開く。

Save/保存 : 画面上の図形をファイルに保存する。

Exit/終了 : 本アプリケーションを終了する。

Edit/編集

Undo/元に戻す : 直前に行った図形に対する操作を取り消し、操作前の状態に戻す。

Del/すべて削除 : 画面上の全ての図形を削除する。

Connect/接続

Connect/接続 : 接続設定画面を開き、接続の設定を行う。

2-2-2. 図形作成ツールバー

図 2-3 中②の図形作成ツールバーの詳細を図 2-5 に示す。また、それぞれの項目の機能を表 2-1 に示す。ツールバー上のボタンをクリックすると、各機能に応じたダイアログボックスが表示される。そのダイアログボックスで図形作成に必要なパラメータを指定し、図 2-3 ④図形描画画面に図形が作成される。



図 2-5 : 図形作成ツールバーの詳細

表 2-1 : 図形作成ツールバーの機能

項目名	機能	指定するパラメータ
直方体	直方体を作成する	縦, 横, 高さ
円錐	円錐を作成する	底面の半径, 高さ
円柱	円柱を作成する	底面の半径, 高さ
球	球を作成する	半径
正多角柱	正多角柱を作成する	底面の種類, 底面の外接円の半径, 高さ
多角錐	正多角錐や多角錐を作成する	底面の種類, 底面の1辺の長さ, 高さ
直角三角柱	直角三角柱を作成する	間の角が直角となる2辺の長さ, 高さ
正多面体	正多面体(正四面体, 正六面体, 正八面体, 正十二面体, 正二十面体)を作成する	多面体の種類, 1辺の長さ
直線	直線を作成する	長さ
三角形	正三角形, 二等辺三角形, 直角三角形を作成する	三角形の種類, 各辺の長さ
四角形	正方形, 長方形, 平行四辺形を作成する	四角形の種類, 各辺の長さ, 鋭角部分の角度(平行四辺形)
円	円, 扇形を作成する	半径, 中心角(扇形)
正多角形	正多角形を作成する	多角形の種類, 外接円の半径
座標指定による作図	各頂点の座標を指定し, 図形を作成する	各頂点の座標
複数図形の結合	画面上の複数の図形を結合し, 1つの図形として扱えるようにする	(パラメータなし)
背景色の変更	背景の色を変更する	背景色

2-2-3. 操作補助ツールバー

図2-3中③の操作補助ツールバーの機能を以下に示す。

Bounds グループ

- all : マウス操作の対象を全ての図形にする。
- pick : マウス操作の対象を1つの図形にする。
- clip : 切断平面を用意し、その切断平面をマウス操作の対象にする。

direction グループ

- free : 切断平面に対して自由な操作を可能にする。
- X-axis : 切断平面がX軸に直交するように傾きを固定する。
- Y-axis : 切断平面がY軸に直交するように傾きを固定する。
- Z-axis : 切断平面がZ軸に直交するように傾きを固定する。

clip グループ

- clip : チェックすると、Bounds グループで clip から all に変更する際、切断平面もマウス操作の対象にする。チェックがない場合、切断平面は削除される。

request グループ

- oneway : 通信形態を片方向通信に変更する。
- twoway : 通信形態を双方向通信に変更する。
- Multi : 図形の三面図を表示する。

rec グループ

- rec : 図形や操作、音声を動画ファイルとして記録するための録画を開始する。
- stop : 録画を停止し、動画ファイルを完成させる。
- play : 録画された動画ファイルのうち、最新の動画を再生する。

2-2-4. 図形描画面

図2-3中の④は図形描画面である。この画面内に図形が表示され、図形に対する操作を行う。

2-3. 図形作成機能

本システムでは、直方体や円錐などの基本的な図形の作成を簡単に行うことができ、複雑な図形であってもこれらを組み合わせて作成することができる。図形作成の手順を以下に示す。

- (1) 図2-3中②の図形作成ツールバーで、作成したい図形を選択する。
- (2) 図形作成ダイアログが表示され、各パラメータを入力する。図2-6、図2-7に直方体用のダイアログを例として示す。なお、ここで入力するパラメータは、表2-1に示した図形に応じたパラメータと、各図形に共通したパラメータとして、描画方法、色、位置、角度がある。
- (3) ダイアログの「OK」ボタンをクリックすると、図2-3④図形描画面面に図形が作成される。図2-6、図2-7に示されたパラメータで作成した例を図2-8に示す。

描画方法は、面の描画については、表示、非表示、半透明の3種類、辺については、表示、非表示の2種類を指定することができる。図2-9に、六角柱の内部に直方体がある場面を、異なる設定で描画した場合の例を示す。描画方法によって図形の理解のしやすさが異なるため、学習者にとって理解しやすい描画方法を選択することができる。

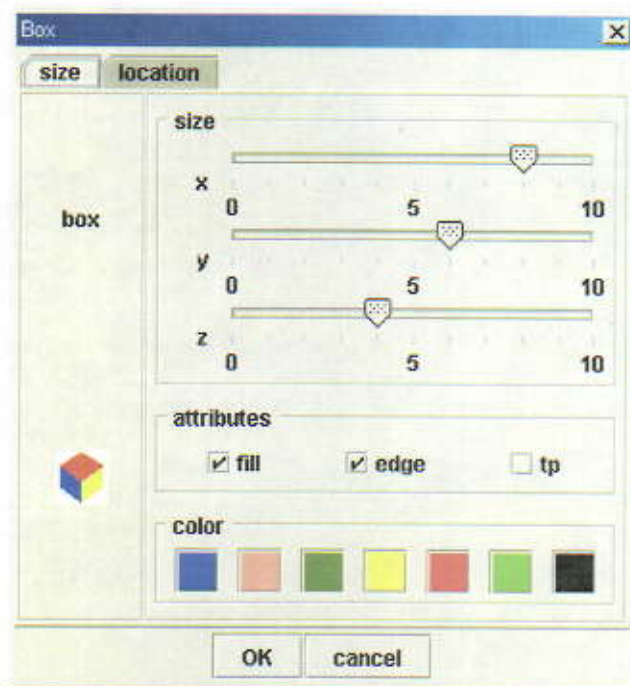


図2-6 : 図形作成ダイアログ (直方体用1)

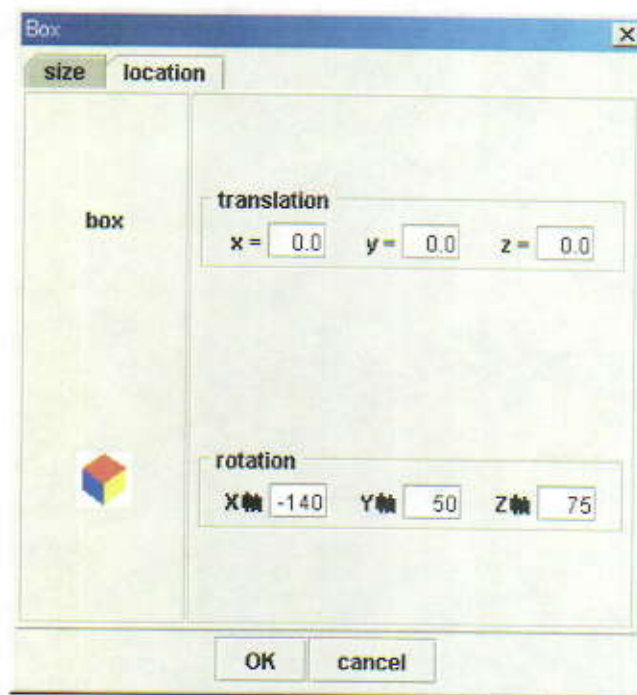


図 2-7 : 図形作成ダイアログ (直方体用 2)

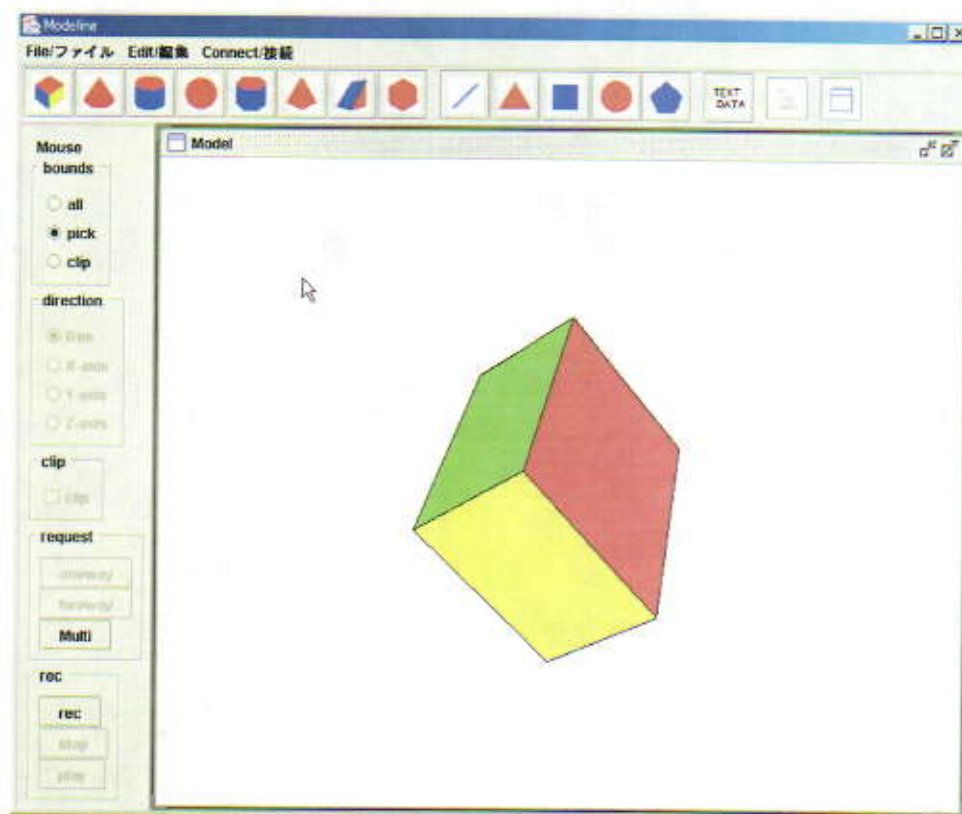


図 2-8 : 作成された直方体

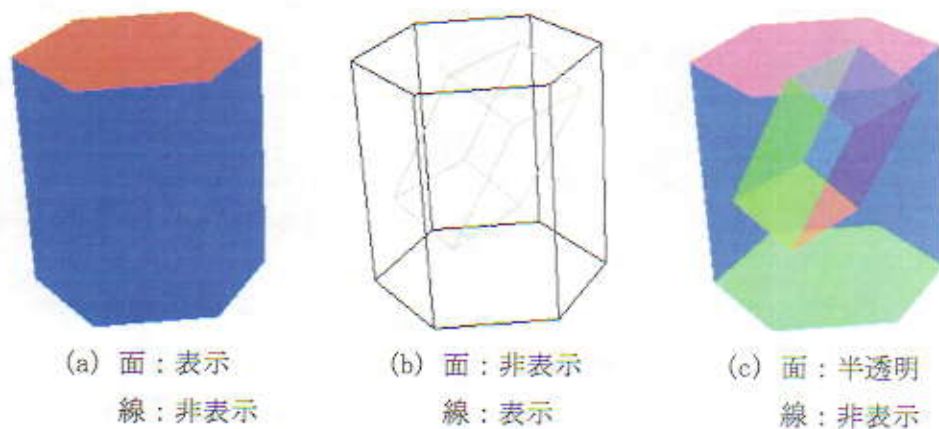


図 2-9：異なる描画方法の例

2-4. 図形操作機能

本システムでは、作成した図形に対して、移動、回転、変形を施すことができる。移動と回転に関しては、その変化をアニメーションとして見るができる。図 1-3 は、三角柱と直方体が交わった相貫体であり、そのうち、直方体を移動させている様子を示している。図 2-10 は、三角柱と直方体の相貫体であり、直方体を回転させている様子を示している。

また、各図形を 1 つずつ移動させるだけでなく、全図形をまとめて操作することもできる。このようなアニメーション表示は、学習者が頭の中で 3 次元図形をイメージすることを支援する。

図形操作にはマウスを使う。図形をマウスの左ボタンで左右にドラッグすると X 軸を中心に回転、上下にドラッグすると Y 軸を中心に回転する。また、マウスの右ボタンでドラッグすると XY 平面上を平行移動する。図形をダブルクリックすると、図形作成で用いたダイアログ (図 2-6, 図 2-7) が表示され、各項目を設定することができる。

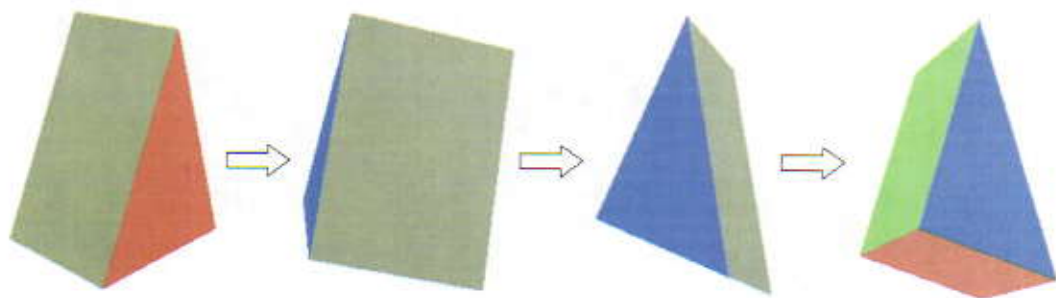


図 2-10：回転している様子

2-5. 切断面描画機能

本システムでは、任意の平面で図形を切断し、その切断面を描画することができる。さらに、その切断平面を平行移動、回転させることができるので、切断面の形状が変化していく様子を観察することができる。図1-2は半透明表示している円錐の上部を切断し、切断平面を回転させている様子である。切断面の形状が円、楕円、放物線と変化していく様子を確認することができる。

切断面を描画するには、図2-3中③の操作補助ツールバーにある bounds グループの clip をクリックする。切断面の操作は、図形と同様、マウスの左ボタンでドラッグすると回転、右ボタンでドラッグすると平行移動する。ただし、操作補助ツールバーの direction グループで free 以外の項目がチェックされている場合は、平行移動のみが有効となる。

2-6. 通信機能

本システムでは、通信機能を用い、学習者同士の協同学習を支援している。図2-2に示すように、1台のサーバーと複数のクライアントから構成され、クライアントがサーバーに接続することで通信可能となる。

サーバープログラムを起動すると、図2-11に示すような画面が表示される。プログラムを起動しているマシンの IP アドレスが①に表示され、②に使用するポート番号を、③にクライアントの最大接続数を入力する。入力後、④の start ボタンをクリックしてサーバーを起動させる。⑤のテキストボックスには、サーバーの状態やクライアントの接続状況が出力される。

サーバー起動中は、④の start ボタンが stop ボタンへと変わり、サーバーを停止させるボタンとなる。図2-12は、使用するポート番号を 10000、クライアントの

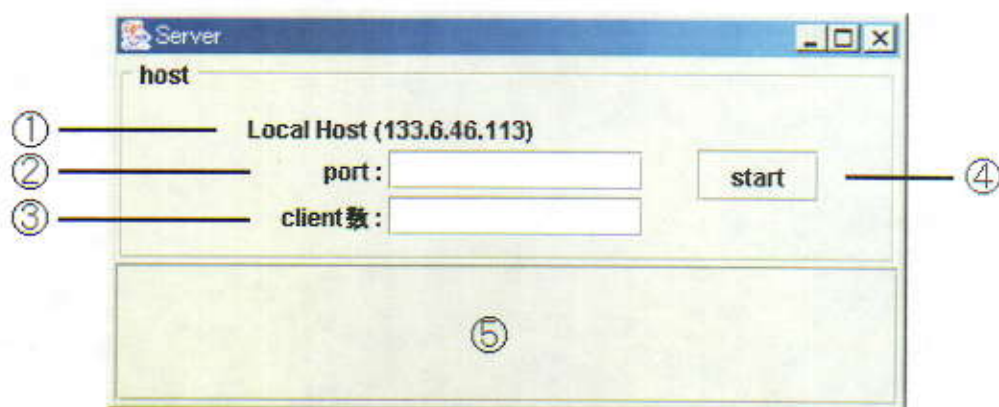


図2-11:サーバープログラムの起動画面

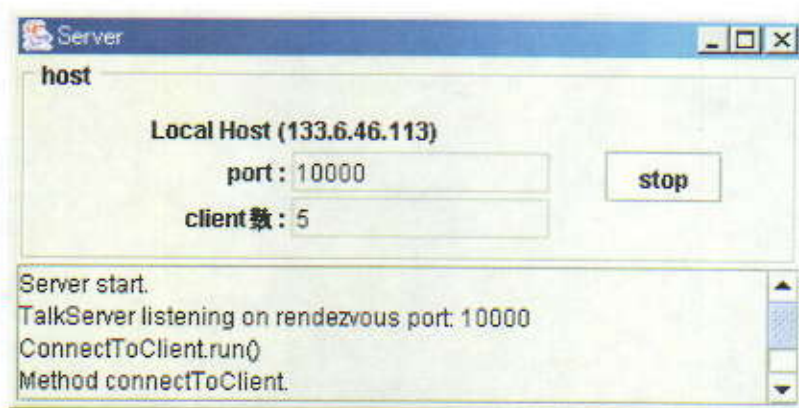


図 2 - 1 2 : サーバー起動中の画面

最大接続数を 5 とした場合の例である。

一方、クライアント側の設定は、図 2 - 3 中の①で示す接続メニューを選択することによって表示される、図 2 - 1 3 に示す画面で行う。以下に各項目の役割を示す。

- ① URL : 接続先サーバーの IP アドレスを入力するテキストボックス
- ② port : 接続先サーバーのポート番号を入力するテキストボックス
- ③ name : クライアントの名前を入力するテキストボックス
- ④ connect : サーバーへの接続を開始するボタン
- ⑤ voice chat : チェックすると、音声通信が有効になる
- ⑥ recording voice chat : チェックすると記録機能において音声も記録する
- ⑦ : 接続状況が出力されるテキストボックス



図 2 - 1 3 : クライアント側の通信設定画面

サーバーへの接続が成功すると、次は他クライアントとの通信のための設定を行う。
 図 2 - 1 4 はサーバーに接続した後の通信設定画面である。以下に各項目の役割を示す。

- ⑧ : サーバーに接続されているクライアントのリスト
- ⑨ : 通信を始める際の初期図形データ
 - send : 自クライアントにある図形を使用する。
 - receive : ⑧のリストから選択されたクライアントの図形を使用する。
- ⑩ 通信形態
 - data : 図形データのみを送受信し、その後の通信は行わない。
 - oneway : 通信形態を片方向通信にする。
 - twoway : 通信形態を双方向通信にする。
- ⑪ 通信を開始するボタン

通信開始後、設定に従って図形共有機能と音声通信機能が稼動する。

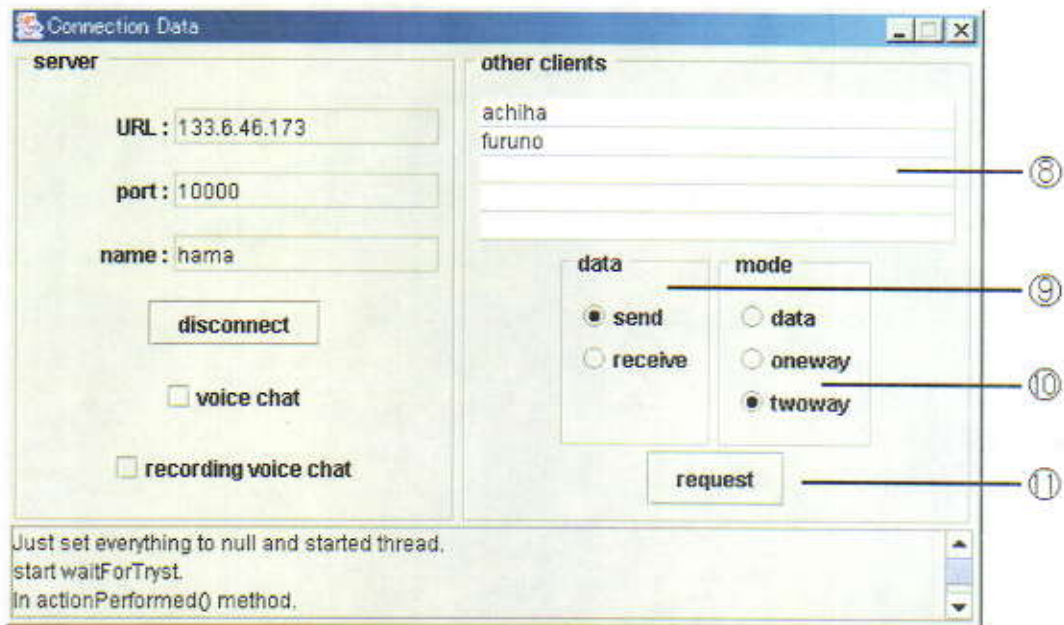


図 2 - 1 4 : 接続後の通信設定画面

2-6-1. 図形共有機能

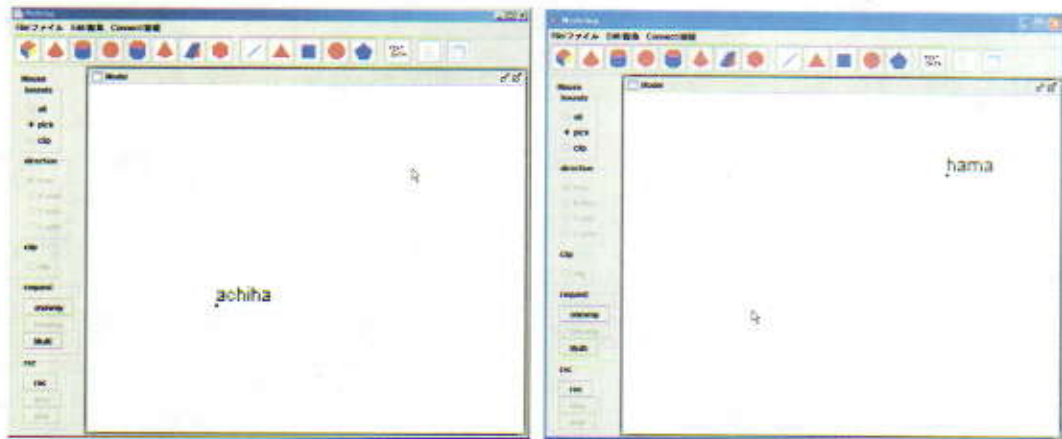
通信が開始されると、自分以外のマウスカーソルの位置が画面上に表示される。位置は点で表現され、その点の右上にクライアント名が表示される。その後、いずれかのクライアントが図形の作成や操作を行うと、その情報がリアルタイムに他のクライアントに送信され、それぞれのクライアントの図形描画画面で結果が表示される。

通信が開始され、図形が共有されている様子の例を図2-15に示す。例では、クライアント hama (図左) とクライアント achiha (図右) で通信を行っている。通信が開始されると、図2-15①のように相手のマウスカーソルの位置が表示される。クライアント hama の画面 (図①左) ではクライアント achiha のカーソルの位置が、クライアント achiha の画面 (図②右) ではクライアント hama のカーソルの位置が表示されている。続いて、クライアント hama が円錐と球を使った相貫体を作成した (図②)。さらに、その作成された図形をクライアント achiha が回転させている (図③)。

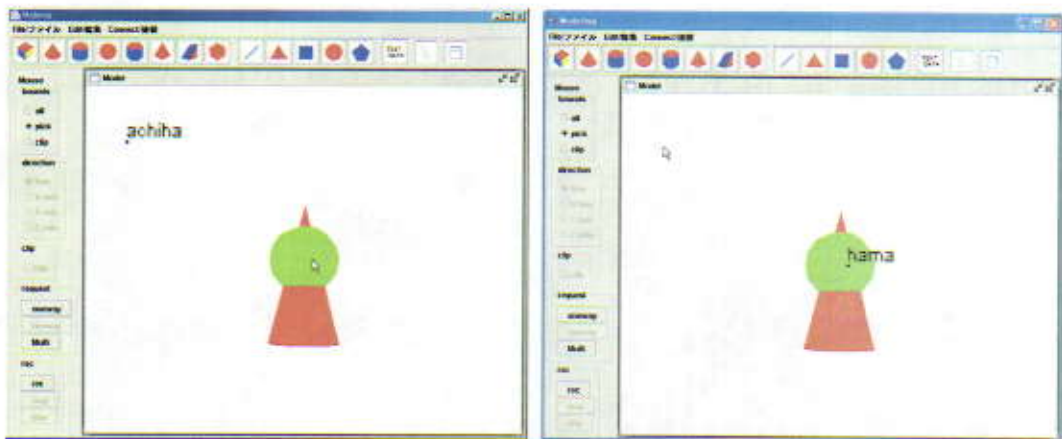
このように、図形共有機能では、図形の作成や操作といった情報がリアルタイムに送信され、他のクライアントでその結果が即座に出力される。また、作成された図形を、作成したクライアント以外のクライアントで操作することができるため、同じ仮想空間を複数のクライアントで共有している感覚で協同学習を進めることができる。

左側：クライアント名 hama

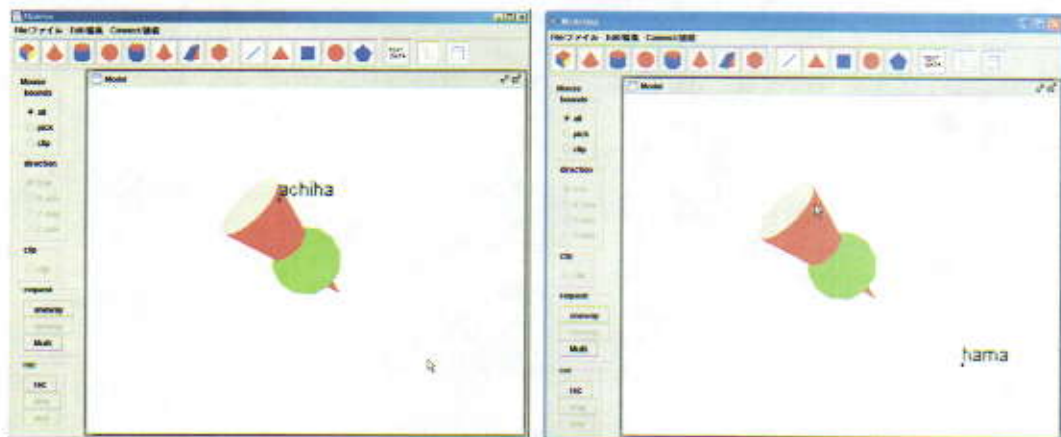
右側：クライアント名 achiha



① 通信開始直後



② クライアント hama が相貫体を作成



③ クライアント achiha が相貫体を回転

図 2-15：仮想空間を共有している様子

2-6-2. 音声通信機能

本システムでは、通信が開始されると、図形共有機能と共に音声通信機能が稼動する。音声通信機能とは、電話のようにお互いが相互的に会話できる機能であり、キーボードを介した文字によるコミュニケーションより、意思を簡単に、かつ、正確に伝えやすい利点がある。さらに、ヘッドホンとマイクが一体化されたヘッドセットに代表されるような、ハンズフリーの機器を使用することで、システムを操作しながらコミュニケーションを図ることができる。

音声通信機能を実現するために、Microsoft 社の DirectX に含まれる DirectPlay Voice というライブラリを使用した。そのため、音声通信機能を使用するためには、DirectX をセットアップする必要がある。DirectX をセットアップする方法として、Microsoft 社の提供する Windows Update というアプリケーションを使用する方法が挙げられる。なお、DirectX のバージョンは 8.0 以上が必要である。

また、音声通信機能を使用する場合、マイク等の音声入力機器の動作テストが行われている必要がある。もし動作テストが行われていない場合、本システムが自動的に動作テスト用のソフトを起動し、音声入力機器の動作テストを実行するよう促す。これは図 2-13 に④で示す connect ボタンをクリックした際に行われる。動作テスト用ソフトが起動した時の画面を図 2-16 に示す。起動後、「次へ」ボタンをクリックすることで、図 2-17 に示すようなサウンド用ハードウェアのテストが行われ、図 2-18 に示すユーザーによる音量調節を行い、動作テストが完了する。



図 2-16 : 音声入力機器動作テスト用ソフトの起動画面

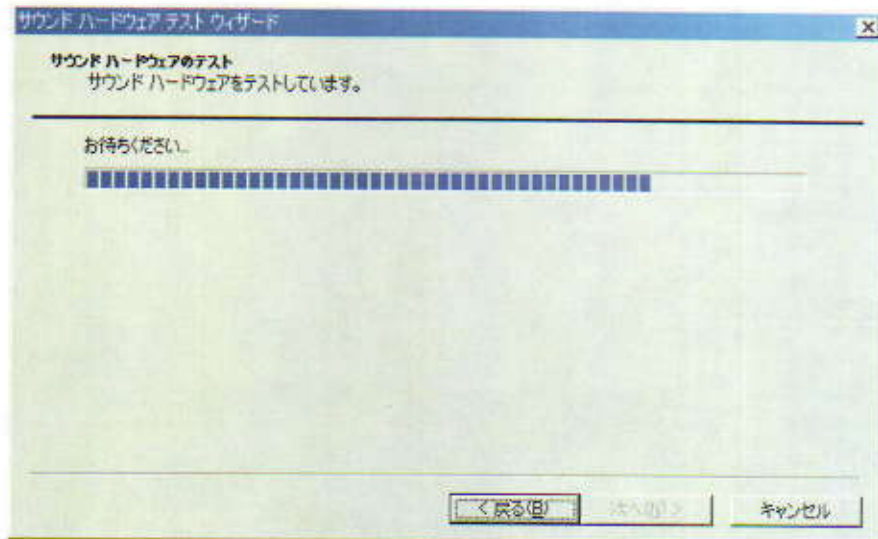


図 2-17 : 動作テスト用ソフトによるハードウェアのテスト画面

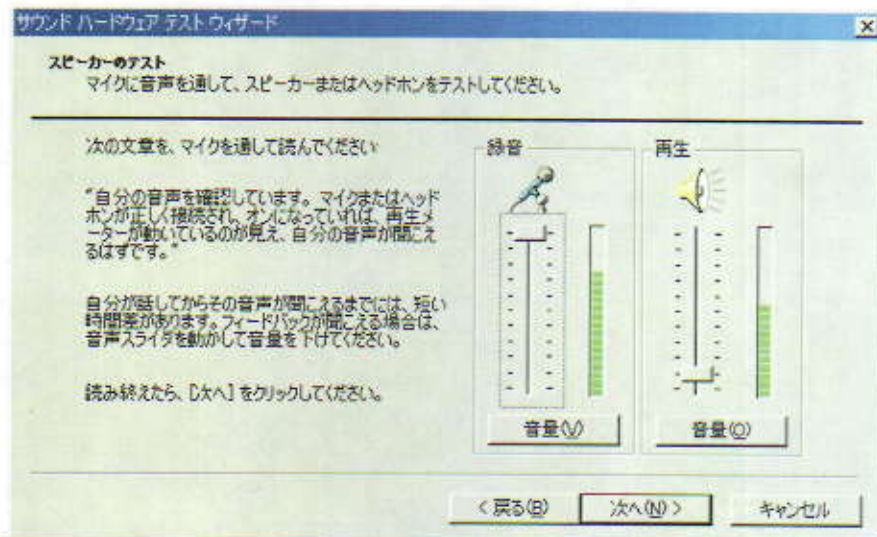


図 2-18 : ユーザーによる音量調節画面

2-7. 記録機能

本システムには、システムの操作や音声通信の様子を録画し、動画ファイルとして保存する、記録機能がある。この記録機能は、図形の作成や操作、マウスマウスの移動、図形作成時のダイアログ、メニューバーの操作など、メイン画面上で行われるシステムの操作を録画する。さらに、画面を録画すると同時に音声通信による会話も録音する。また、通信機能を使用していない場合でも録画することができる。

記録された動画ファイルは avi 形式であり、かつ、非圧縮である。そのため、Microsoft Media Player や RealOne Player に代表されるような動画再生ソフトを用いて再生することができ、CODEC (COmpresser DECompressor : データを圧縮・伸張するソフトウェア) を必要としない。

記録機能の用途としては、学習の様子を記録して復習に利用する、学習の様子を教師が評価するために提出させる、指導する時に使用する資料を予め作成する、といったことが挙げられる。

記録機能を動作させるには、メイン画面上の操作補助ツールバーにある rec グループのボタン群を使用する。システム起動時は図 2-19 左に示すように、記録開始ボタンのみが有効となっている。記録開始ボタンによって録画が開始されると、画面を 200ms 毎にキャプチャーしたビットマップファイルや音声を録音したファイルといった、動画ファイル作成のための一時ファイルが「_system_tmp」ディレクトリに作成され、図 2-19 中央に示すように記録停止ボタンのみが有効となる。その後、記録停止ボタンを押すと、一時ファイルから動画ファイルが生成され、一時ファイルは削除される。生成された動画ファイルは、「avi」ディレクトリ内に「記録開始日時.avi」という名前で保存される。例えば、2005 年 1 月 31 日 15 時 58 分 30 秒に記録が開始された場合、ファイル名は「20050131155830.avi」となる。記録ボタン群は図 2-19 右に示すように記録開始ボタンと動画再生ボタンが有効となる。ここで動画再生ボタンを押すと、最後に記録した動画ファイルが、関連付けされたアプリケーション (ファイルをダブルクリックした時に起動するソフト) で再生される。



図 2-19 : 記録用ボタン群 (左 : 起動直後, 中央 : 記録中, 右 : 記録終了後)

3. 本システムの使用した学習方法

本システムではどのような学習が可能なのか、その学習方法の例をいくつか紹介する。

3-1. 図形の基本的な性質を知る

3次元図形を理解する場合、いかに図形を頭の中でイメージできるかが重要となるが、その際、図形の基本的な性質が助けとなる。例えば五角錐の場合、図3-1、図3-2、図3-3に示すように、横から見ると三角形に、下から見ると五角形に、上から見ると五角形の各頂点から中心に向かって直線が伸びているように見える。こうした情報を得ることによって、学習者は五角錐がどのような形であるかを頭に思い浮かべ易くなる。

本システムでは、マウスでの操作によって、自由な角度から図形を見ることが出来る。その操作の結果はリアルタイムにアニメーションによって表示されるため、複数枚の静止画による提示と比べて情報量が多く、理解しやすい。さらに、角度を数値で指定することによる、特定の方向からの表示も可能である。

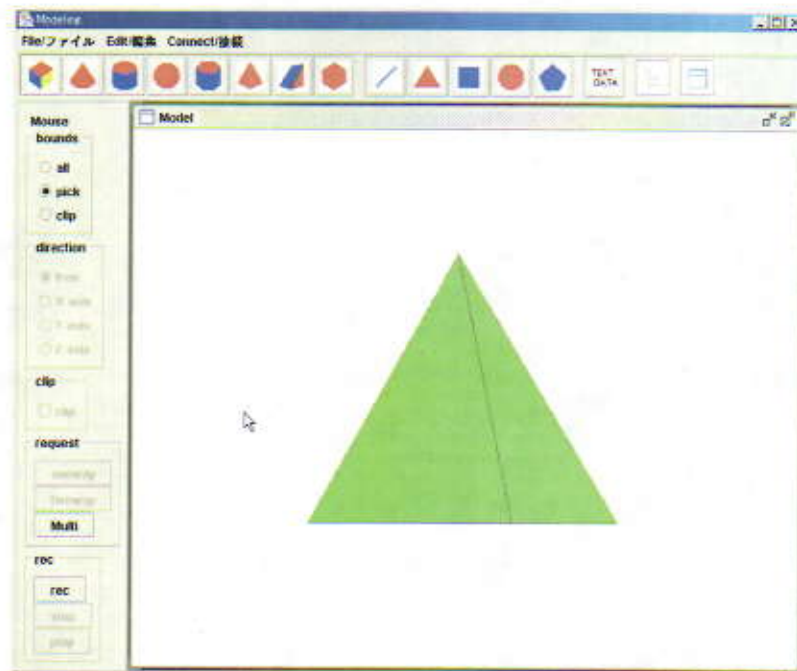


図3-1 : 横から見た五角錐

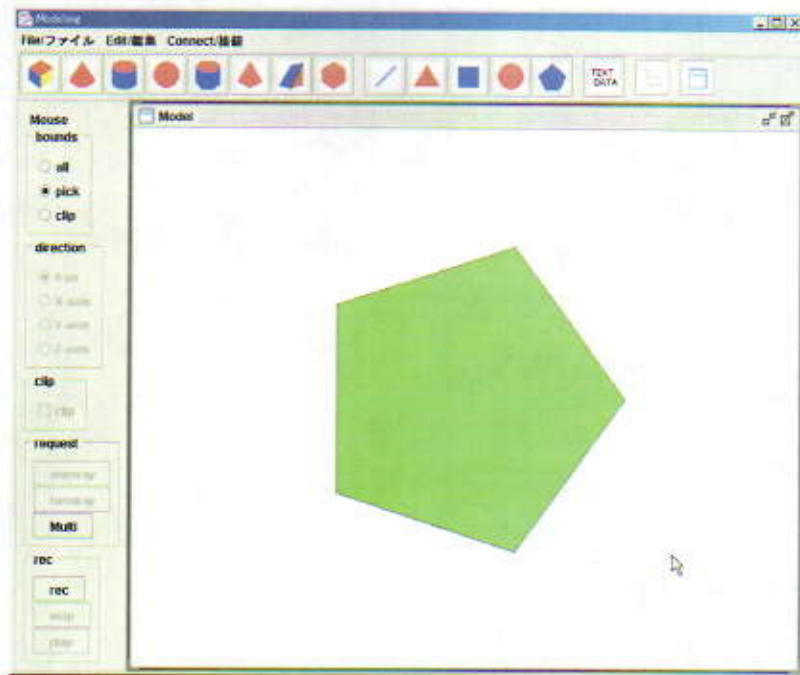


図 3 - 2 : 下から見た五角錐

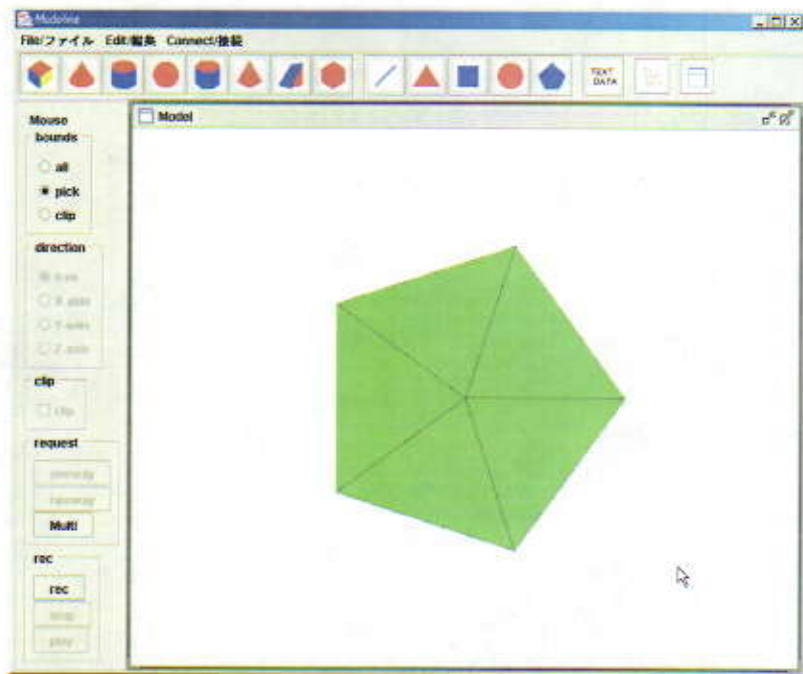


図 3 - 3 : 上から見た五角錐

3-2. 複雑な図形を作成する

直方体や円錐といった基本的な図形を組み合わせて、複雑な図形を作成するという作業は、3次元図形を理解する上で重要な作業である。しかし、実際に図1-1のような模型を作成するとなると、高度な技術が必要となり、これからそれを3次元図形の理解に役立てようとする人には向かない作業である。

本システムでは、基本的な図形を簡単に作成することができ、その図形を自由に平行移動させることや、自由な角度で回転させることができる。そのため、複数の図形を組み合わせて相貫体を作ることも容易である。

図3-4、図3-5、図3-6は、2つの円柱をT字に組み上げる作業の様子を示している。まず、2つの円柱を図形作成機能で作成する(図3-4)。その2つの円柱をT字になるよう移動、回転させて完成である(図3-5)。ここで、図形全体を回転させてみると、2つの円柱の接合部分が曲線を描いていることが分かる(図3-6)。このように、完成した図形を様々な角度から観察することも可能で、3次元図形の理解を深めることができる。

また、図形の作成や削除が簡単であるため、学習者による試行錯誤が可能である。完成後の図を問題として与え、学習者が試行錯誤によって図形を完成させていく、という学習方法も考えられる。

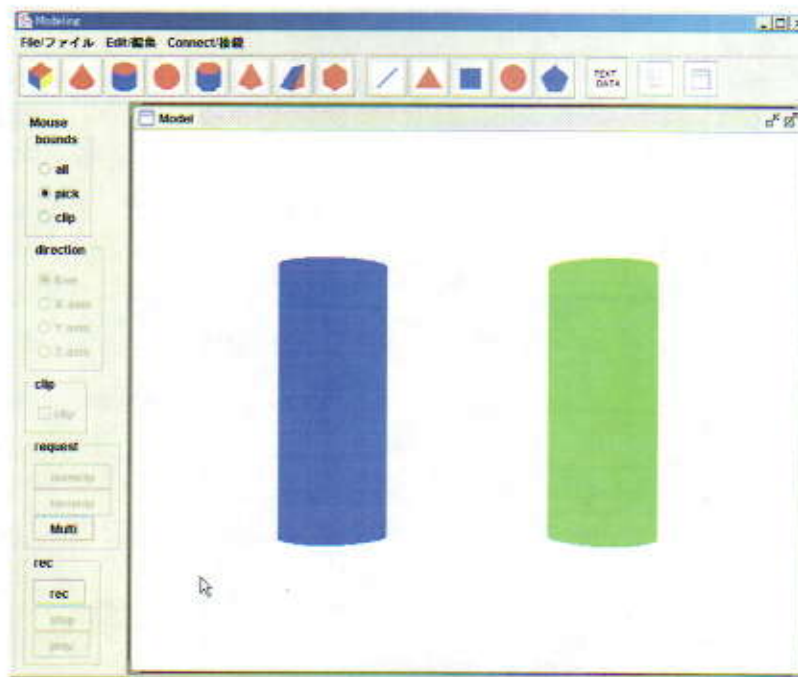


図3-4 : 2つの円柱を作成

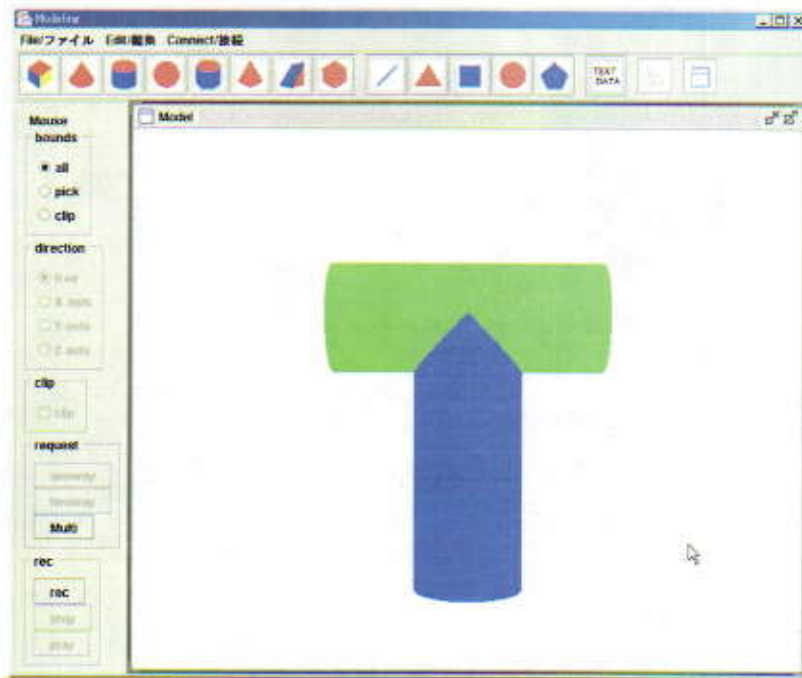


図 3 - 5 : T字になるように移動, 回転させる

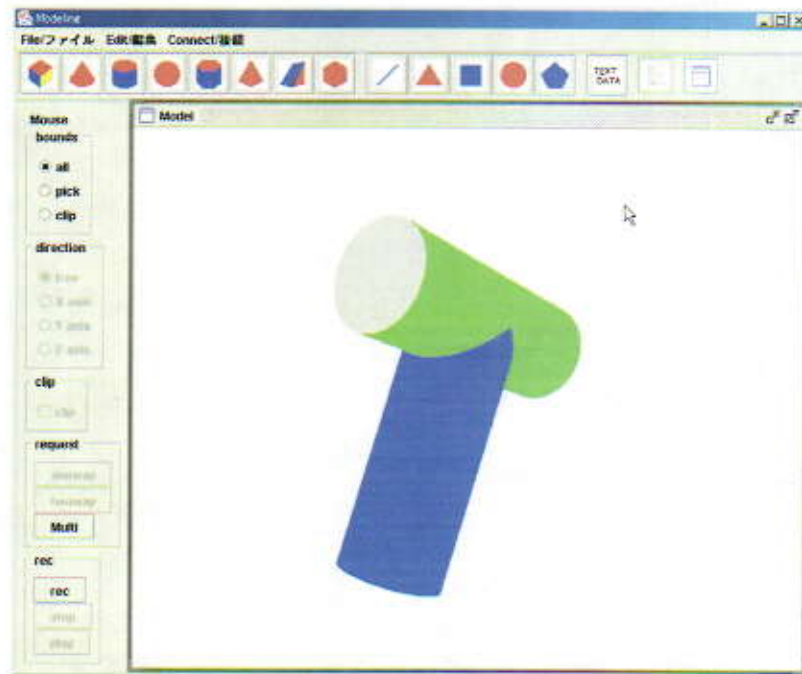


図 3 - 6 : 接合部分は曲線を描く

3-3. 切断面の形状を見る

3次元図形を平面で切断した際の切断面は、図形の性質を理解する上で重要な要素である一方、相貫体と同様、その学習は困難である。切断面の形状を観察できるモデルの作成も、より高度な技術を要する。

本システムでは、XY平面、YZ平面、ZX平面を切断平面として図形を切断した状態を観察できるほか、切断平面をマウス操作によって自由な位置や角度に動かすことができる。操作方法は図形に対する操作と同様、マウスの左ボタンによるドラッグで回転、マウスの右ボタンによるドラッグで移動する。また、切断平面の操作はリアルタイムにアニメーション表示されるため、切断面の形状の変化を見ることができ、3次元図形の理解を深めることができる。

図3-7から図3-10は、立方体の一部を切断し、その切断面の形状の変化を観察している様子である。図3-7は、立方体の一部を切断し、切断面の形状が三角形となっている様子である。図3-8では、3つの頂点を通るように切断平面を回転、移動させ、切断面の形状が正三角形となっている。その切断平面を徐々に移動させ、図3-9では六角形に、図3-10では正六角形に、切断面の形状が変化している。このような変化の様子を、本システムを使って観察することができる。

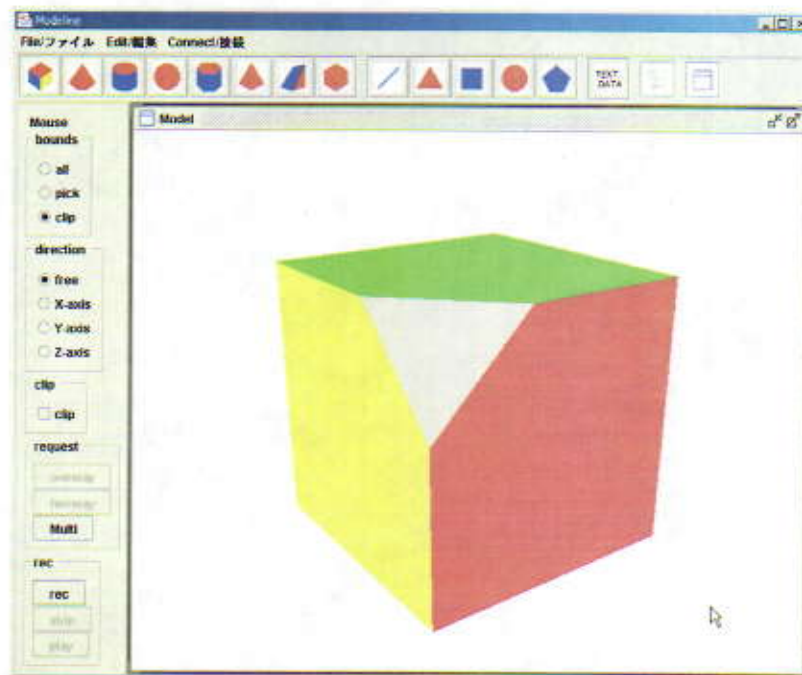


図3-7：立方体の一部を切断

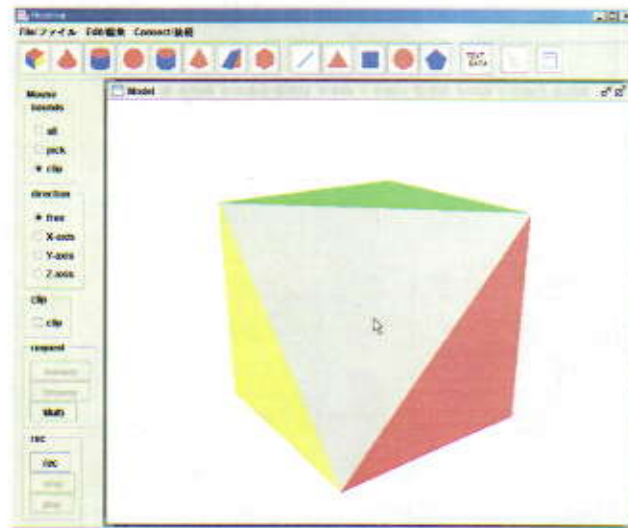


図 3 - 8 : 切断面の形状が正三角形

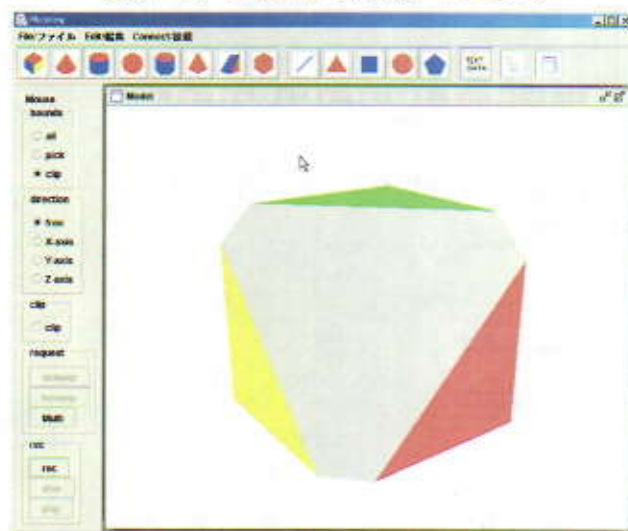


図 3 - 9 : 切断面の形状が六角形

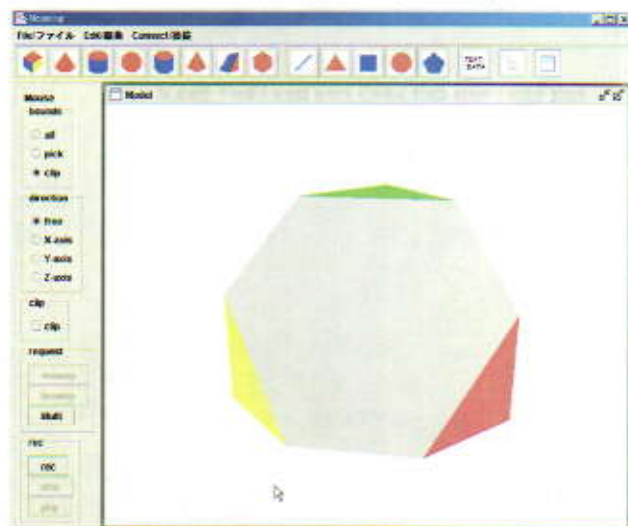


図 3 - 1 0 : 切断面の形状が正六角形

3-4. 音声通信による意思疎通

コンピューターネットワークにおいて、リアルタイムでのコミュニケーション手段として、文字チャットが使用されることが多い。しかし、キーボードに不慣れな人には使いにくい、図形操作に必要なマウスと同時に使用することができない、口頭と比べて文章での意思表示は難しい、といった問題点がある。

そこで本システムでは、音声通信機能を導入し、会話でのコミュニケーションを可能にしている。会話をコミュニケーションの手段とすることで、スムーズな意思疎通を図ることができ、ヘッドセットと併用することでマウスによるシステムの操作を同時に行うことができる。

音声通信によってどのような学習ができるのか、学習している場面を想定し、その様子を以下に示す。図3-5の2つの円柱をT字に組む作業を、生徒Aが生徒Bに本システムを使用して教えている場面である。なお、図3-11から図3-14は、生徒Bが使用しているクライアントの画面であり、赤線は後から追加した線で、マウスカーソルの軌跡を表す。

A「まず、この緑のを横にするだろ。」(図3-11)

A「で、青いやつの端の部分を、」(図3-12)

A「ここ、ちょうど真ん中になるように持ってくるんだよ。」(図3-13)

B「こう？」 A「そうそう、そこ。」(図3-14)

このように、学習者が普段使用している口語での意思疎通が可能である。

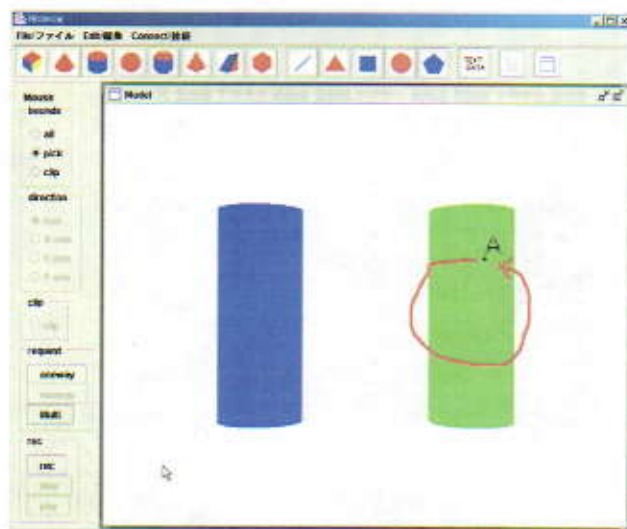


図3-11：場面1 A「まず、この緑のを横にするだろ。」

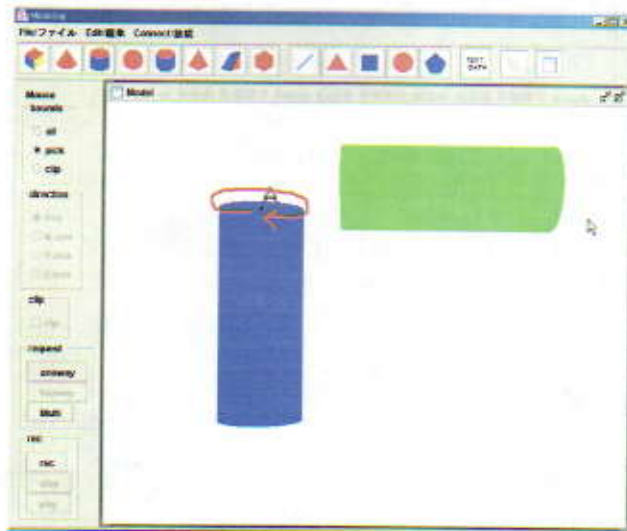


図3-12 : 場面2 A「で、青いやつの端の部分を、」

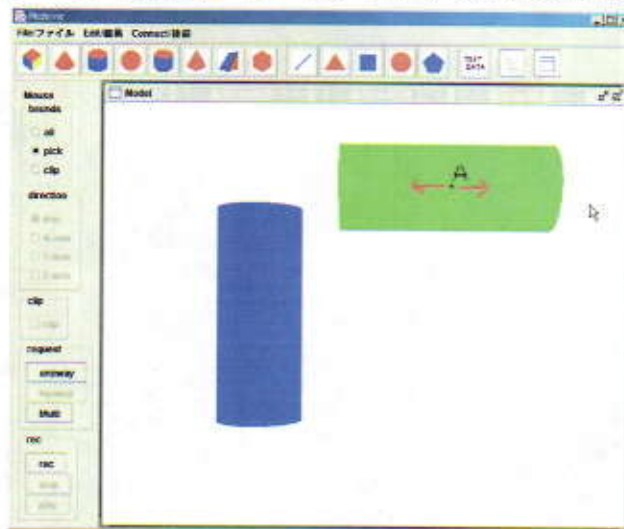


図3-13 : 場面3 A「ここ、ちょうど真ん中になるように持ってくるんだよ。」

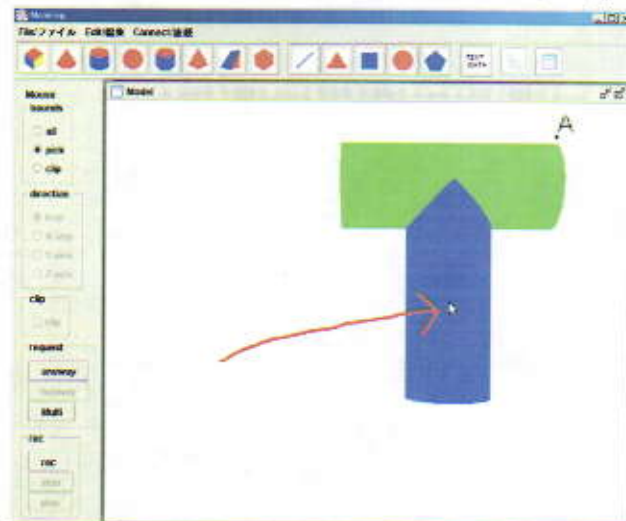


図3-14 : 場面4 B「こう？」 A「そうそう、そこ。」

4. おわりに

本研究では、3次元図形理解のための協同学習支援システムを構築した。本システムでは、3次元図形理解の支援として、仮想空間を用いた図形作成機能、図形操作機能、切断面描画機能がある。図形作成機能は、仮想空間上に直方体や円錐といった基本的な3次元図形を作成する機能であり、基本的な図形の組み合わせによって複雑な図形の作成も可能である。図形操作機能は、作成された図形を移動、回転させる機能であり、操作の結果をアニメーションで提示する。切断面描画機能は、作成された図形を任意の切断平面によって切断し、その切断面の形状を表示する機能である。図形と同様、切断平面に対しても操作を行うことができる。また、協同学習の支援として、ネットワークを用いた図形共有機能、音声通信機能がある。図形共有機能は、図形の作成や操作の情報を、サーバーに接続された複数のクライアント間でリアルタイムに送受信し、1つの仮想空間を共有する機能である。音声通信機能は、電話のようにお互いが相互的に会話できる機能であり、学習者同士の円滑なコミュニケーションを支援する。

さらに、記録機能を付加したことにより、資料の作成や復習、もしくは、学習に参加する人が同時にシステムを使用できない場合であっても、説明する場面を録画した動画ファイルを使っての学習のフォローが可能である。

謝辞

本研究にあたり御指導を頂いた横澤肇教授に深く感謝致します。また、お世話になった情報科学研究科の皆様に感謝致します。

参考文献

- 1) 先進学習基盤協議会：eラーニング白書 2003/2004年版，オーム社（2003）
- 2) 鷲見智明：空間認識力養成のための協調学習支援システム，名古屋大学情報文化学部自然情報学科 卒業論文（2004）
- 3) 岩崎季世子：3次元図形の協調学習支援システム，名古屋大学情報文化学部自然情報学科 卒業論文（2002）
- 4) 東海図学研究会：空間構成・表現のための図学，名古屋大学出版会（1999）