

協調型e-Learningシステムにおける相互作用型チューター・ロボットとシミュレータに関する研究

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-11-16 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 東條, 敏幸 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/19697

明治大学大学院理工学研究科

2016年度

博士学位請求論文

協調型 e-Learning システムにおける相互作用型
チュータ・ロボットとシミュレータに関する研究

A Study on Interactive Tutor Robot and Simulator
for Collaborative e-Learning System

学位請求者 電気工学専攻
東條 敏幸

目次

第1章 序論

1.1 研究背景	2
1.2 研究目的	4
1.3 本論文の構成	6

第2章 協調型 e-Learning システムの構成と機能の定義

2.1 協調型 e-Learning システムにおける学習プロセスの定義	10
2.2 個別学習におけるシステム構成と機能の定義	12
2.3 グループ学習におけるシステム構成と機能の定義	13

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

3.1 はじめに	16
3.2 個別学習向け e-Learning システムの構成	17
3.3 個別学習向け e-Learning システムにおけるチュータ・モデル	18
3.3.1 複合手法型シミュレーション・チュータ	19
3.3.2 相互作用型ロボット・チュータ	22
3.3.3 ハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ	23
3.4 クオリアとアウェアネスの適用	25
3.5 プロトタイプの場合・スタディ	28
3.5.1 ロボットの組み立てを適用した e-Learning フローの事例	29
3.5.2 人間とロボットの相互作用	40
3.6 まとめ	46

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型

チュータ・ロボット(Interactive Tutor Robot : ITR)

4.1	はじめに	49
4.2	ITR を配置した e-Learning システム	50
4.2.1	ITR を配置した e-Learning システムの形態	50
4.2.2	協調学習における学習者と ITR との関係	51
4.2.3	学習者 と ITR 間の相互作用	52
4.3	クオリアとアウェアネスの適用	54
4.4	ITR のジェスチャーによる相互作用	55
4.4.1	ITR のジェスチャーの定義	55
4.4.2	ジェスチャーのダイナミックス効果	57
4.4.3	ジェスチャーの波形設定手法の比較	59
4.5	ITR のジェスチャーにおけるダイナミックス効果の考察	66
4.6	実験観察と SD(Semantic Differential)法による評価	67
4.7	まとめ	73

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ

学習支援ロボット・ネットワーク・シミュレータ

5.1	はじめに	75
5.2	e-Learning システムにおける仮想グループの運用管理	76
5.2.1	協調型 e-Learning 端末機器の組み合わせ	76
5.2.2	協調型 e-Learning システムにおける学習ステップ	78
5.2.3	仮想グループの運用と管理	80
5.3	仮想グループ運用管理チュータ	80
5.3.1	仮想グループ運用管理チュータへの要求事項	80

目次

5.3.2 相互作用型チュータ・ロボット(ITR)	81
5.4 仮想グループにおけるチュータ・ロボット・ネットワーク	84
5.5 プロトタイプの場合・スタディ	87
5.5.1 チュータ・ロボット・ネットワーク・システム	87
5.5.2 ABM(Agent Based Model)を活用した 仮想グループ・ネットワーク・シミュレータ	89
5.5.3 ITR と学習者を独立表示したネットワーク・モデル	92
5.5.4 仮想グループ運用管理システムの利用形態	100
5.6 クオリアとアウェアネスの適用	101
5.7 まとめ	102
第6章 結論	
6.1 本論文のまとめ	104
6.2 協調型 e-Learning システムの展望	105
参考文献	108
発表業績	116
謝辞	120

第 1 章

序論

1.1 研究背景

グローバルな人材への社会的要求の高まりや、情報通信インフラの発展に伴って、大学における授業形態も変貌を遂げようとしている。大学の教室は、問題を解決したり新たな発想を創造するように、知識を知恵として活用すべく、思索や行動をする場所と考えられる。大学では従来からの授業方式である講義を補完するために、理工学系の学科においては各種実験科目がカリキュラムとして設定されている。講義で学んだ理論を体験する場として、実験教材を用いて小グループにて問題の発見や解決策の相談をしながらシミュレーションや実験が進められる。また、授業を2つのモジュールに分割して、前半は講義を行い、後半はディスカッションを行うことにより、知識の蓄積と知識の応用を図る学習の場を提供する取り組みも行われている。この学習方式はアクティブ・ラーニング[1]と呼ばれ、グループにおけるディスカッションを通じて、グローバルな人材の要件である「発見力」や「解決力」を涵養する教育手法として関心が高まっている。

情報通信インフラを活用した教育アプリケーションは、このような大学における授業形態の変貌を加速する牽引力ともなっている。例えば、米国を中心に台頭してきた大規模公開オンライン講座（Massive Open Online Course : MOOC）[2-4] は、インターネットを活用して学習コンテンツを提供する教育システムであるが、e-Learning の範疇におけるアプリケーションのひとつとして取り扱われている。反転授業（Flipped Classroom）[5] と呼ばれる授業形態は、MOOC に代表される e-Learning システムを用いて、事前に学習者が必要とする知識を習得した後に教室に集合してディスカッションを行うものである。従って、現行の e-Learning システムは、知識の習得を支援する機能の活用の特化されたものであり[6-11]、ディスカッションは教室内で行うといった棲み分けがなされている。

大学での授業形態を変貌させるもうひとつの牽引力は、情報通信インフラを構成する主要機器である情報通信端末の進歩にあると考えられる。1980年代に16bit パーソナル・コンピュータが登場して以来飛躍的な進歩を遂げてきた要因は、インターネットという情報通信インフラの恩恵を受けてきたことに加え、ユーザ・インターフェースの技術進歩も大きく寄与していると思われる。情報通信端末としてのノート・パソコンやスマートフォンは現在の情報通信インフラにおいて主役の座にあるが、その理由のひとつとしてマウスやタッチパネルといったマン・マシン・インターフェース (Man Machine Interface : MMI)[28-30] が挙げられる。パーソナル・コンピュータのインターフェースは、黎明期においてはテキスト・ユーザ・インターフェース (Text User Interface : TUI) と呼ばれ、ディスプレイとキーボードの組み合わせによる文字ベースのインターフェースであった。1980年代に入り、アップル・マッキントッシュにて熱狂的なユーザを獲得したマウスが長い間主役の座を占めていた。マウスは、グラフィック・ユーザ・インターフェース (Graphic User Interface : GUI) を構成するポインティング・デバイスであり、このお蔭でパーソナル・コンピュータの操作性や利便性が著しく向上した。近年、ロボット工学の発展に伴い、ヒューマノイド・ロボットが市民権を得つつある。この様式のロボットは、パーソナル・コンピュータの GUI に次ぐ新たな機能としてロボット・ユーザ・インターフェース (Robot User Interface : RUI) [28-30] を実現するための研究対象として注目されている。RUI は、e-Learning システムにおいて、学習者との円滑なコミュニケーションを実現する潜在能力を秘めたインターフェースでもある。

このように、教育分野において学習を支援するツールとして、e-Learning に関する種々の取り組みやヒューマノイド・ロボットに関する研究の機運が高まってきている[12-15].

1.2 研究目的

本研究では、このような背景を踏まえて、現存の e-Learning システムが支援できる領域を拡張し、個別学習からグループ学習までを支援する教育システムを提案し、その実現手法について述べる。システムの利用者として理工学系の学生層を想定し、学習コンテンツに実験科目の要素を取り入れ、個別学習の質的向上を図るとともに、ディスカッションの題材として用いる。提案の教育システムは、インターネットを活用した e-Learning システムの形態で学習者に提供される。個別に知識習得することに重きを置いた従来の e-Learning システムとの差別化を図り、グループ学習支援機能が具備されていることを明示する名称として協調型 e-Learning システムと表記する。協調学習は、グループにおいて学習者同士がディスカッションをしながら学習を進める形態を示し、グループ学習の範疇に含められている[41-46]。協調型 e-Learning システムにおいて、学習者は個別学習による知識の習得からグループ学習による知識の応用まで行うため、システムが提供する学習コンテンツや操作性は、継ぎ目のない一貫性が保たれたものが求められる。そのため、システムの要求機能を実現する要素技術として、シミュレータ[31-40]とヒューマノイド・ロボット[16-27]を採用する。本論文では、複数のシミュレーション・モデルを取り扱う機能とそれらを連結して協調シミュレーションを行う機能を特長とするシミュレータ[39]を明示し、複合手法型シミュレータと表記する。また、ヒューマノイド・ロボットは、人間との円滑なコミュニケーションを実現するための主要機能である相互作用(Interaction)[26,27]を明示し、相互作用型ヒューマノイド・ロボットと表記する。

本研究で提案する協調型 e-Learning システムにおいて、知識の習得は個別学習を支援するサブシステムを用いて行われる。学習者は、システムが提供する学習コンテンツを利用して必要な知識の習得を行う。この段階で習得される

知識は、次の学習段階であるグループ学習において必要となる。従って、シミュレータを活用し、学習対象の機械的構造、制御方式、利用される環境での挙動観測などが仮想環境において体験的に習得できることを目的とする。

学習コンテンツの事例として、家庭用途の2輪自律走行型ロボットを選定し、その設計と挙動観測が行える学習環境の実現を図る。本事例では、ディスクリット・イベント・モデル(DEM)[35]とエージェント・ベースト・モデル(ABM)[36]の2種類のモデルを用い、それらを連結し協調シミュレーションを行うことにより仮想環境において学習支援を行う。また、相互作用型ヒューマノイド・ロボットは、学習者を支援する指導者(チュータ)の役割を果たすために採用する。相互作用による学習者との円滑なコミュニケーションを図るとともに、ロボット・ユーザ・インターフェース(RUI)を活用して仮想空間に配置されたオブジェクトへのアクセス性の向上を図る。

知識の応用は、協調型 e-Learning システムにおいてグループ学習を支援するサブシステムを用いて行われる。グループ学習は、インターネットに接続された学習者が仮想グループを構成して行われるため、その運用管理をどのようにして行うかが重要項目となる。そこで、複合手法型シミュレータと相互作用型ヒューマノイド・ロボットを組み合わせることにより、仮想グループ運用管理チュータ(Virtual Group Managing Tutor : VGMT) を構成し、グループ学習の支援を行うことを目的とする。

VGMT を用いた手法では、仮想グループをロボット・ネットワークとしてモデル化し、その論理的な接続形態を示すトポロジを設定する。仮想グループにおけるディスカッションの進捗状態に適合するトポロジは、VGMT を構成する処理エンジンであるエージェント・ベースト・モデル(ABM)を用いたシミュレータの実行結果を反映して動的に切り換えが行われる。学習者は、VGMT の支援を受けてディスカッションを進め、最終的な結論を得る。

提案の協調型 e-Learning システムはインターネットを用いた遠隔教育システムの形態を取り、教材はノート・パソコンのディスプレイ上の仮想空間に表示される。そのため、教材として提供される学習コンテンツのリアリティやグループ学習において協同学習者の存在感をどのようにして学習者にもたらしかが重要項目となる。このようなリアリティや存在感は、脳科学や心理学の分野で用いられている「クオリア」[53]と「アウェアネス」[54]という2つの概念に対応することを示す。個別学習からグループ学習までを支援する協調型 e-Learning システムにおいて、複合手法型シミュレーション技術と相互作用型ヒューマノイド・ロボットによるシステム実現の可能性と有用性を示し、「クオリア」と「アウェアネス」の実現手法と学習者にもたらし効果について述べる。

1.3 本論文の構成

本論文は、以下に示すように、第1章から第6章によって構成される。

第1章

本章では「序論」として、研究背景、研究目的、構成について述べる。大学における授業形態の変貌、それを加速する情報インフラの発展等の背景を踏まえて、新たな e-Learning システムを提案し、実現のための要素技術の取り組みについて述べる。

第2章

本章では「協調型 e-Learning システムの構成と機能の定義」について述べる。まず、協調型 e-Learning システムにおける学習プロセスの定義を行うにあたり、個別学習とグループ学習の2段階を設定する。次に、個別学習を支援するシステムの構成と機能の定義、およびその機能を実現するための要素技術の役割りについて述べる。最後に、グループ学習を支援するシステムの構成と

第1章 序論

機能の定義，およびその機能を実現するための要素技術の役割りについて述べる．要素技術として，複合手法型シミュレーション技術と相互作用型ヒューマノイド・ロボットを適用する．

第3章

本章では「e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル」について述べる．第2章で定義した学習プロセスの内，個別学習を支援するチュータ・モデルとして，複合手法型シミュレーション・チュータ(Multi Method Simulation Tutor)，相互作用型ロボット・チュータ(Interactive Robot Tutor)，ハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ(Hybrid Agent Model Tutor) の3種類のモデルについて述べる．次に，学習者に経験を伴う学習のリアリティと協同学習者の存在感をもたらすために，「クオリア」と「アウェアネス」の概念の適用について述べる．プロトタイプのカース・スタディにあたり，複合手法型シミュレーション技術の特長を活かし，デスクリート・イベント・モデル(DEM)とエージェント・ベースト・モデル(ABM)を用い，2輪自律走行型ロボットを学習教材とした事例について述べる．最後に，学習支援のために適用した相互作用型チュータ・ロボット(ITR)におけるロボット・ユーザ・インターフェース(RUI)の応用例を示し，仮想空間に配置されたオブジェクトへのアクセス性向上のための取り組みと学習者にもたらす効果について述べる．

第4章

本章では「協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット(ITR)」について述べる．先ず，ITR を配置した協調型 e-Learning システムの全貌とシステムを利用する学習者と ITR の間で発生する相互作用について述べる．相互作用を活用することにより，個別学習とグループ学習において，学習者の「気づき」を誘起し学習効果の向上を図る．相互作用の内，特に ITR

第1章 序論

のジェスチャーに着目し、ジェスチャー生成手法の比較とジェスチャーがもたらすダイナミクス効果について考察する。実験観察による客観評価と SD (Semantic Differential)法による主観評価を実施し、ITR のジェスチャーが「クオリア」と「アウェアネス」の実現にどのように作用するか、また個別学習とグループ学習それぞれにおいて学習者にもたらす効果について述べる。

第5章

本章では「協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット・ネットワーク・シミュレータ」について述べる。先ず、第2章で定義した学習の第2段階において行われるグループ学習を支援するために、仮想グループ運用管理チュータ (Virtual Group Managing Tutor : VGMT) を提案し、その構成と機能について述べる。次に、学習者とチュータ・ロボットにより構成される仮想グループをロボット・ネットワークとしてモデル化し、論理的な接続形態を示すトポロジを設定する。そして、トポロジとグループ学習におけるディスカッションの進捗状態との関係について述べる。プロトタイプのカース・スタディとして、エージェント・ベースト・モデル (ABM) を活用した仮想グループ・ネットワーク・シミュレータの適用事例について述べる。最後に、仮想グループの運用開始前、運用段階、運用終了後の3段階における VGMT の利用形態を示し、グループの意思決定過程において VGMT が学習者にもたらす効果について述べる。

第6章

本章では「結論」として、本論文のまとめを行い、第3章、第4章、第5章における取り組み事項の総括を述べる。また、協調型 e-Learning システムの展望について述べる。

第 2 章
協調型 e-Learning システムの構成
と機能の定義

2.1 協調型 e-Learning システムにおける

学習プロセスの定義

協調型 e-Learning システムにおける学習プロセスの定義を行うにあたり、個別学習とグループ学習の2段階の設定をする。

個別学習においては、

- (1) 学習の第1段階として、学習課題に関連する知識の習得を行う。
- (2) 学習環境は、インターネットに接続された e-Learning システムの形態を前提とする。
- (3) 学習においては単なる知識の蓄積に留まらず、経験を伴う学習のリアリティを得ることを目標とする。

といった前提条件のもと検討を進める。

個別学習において、学習者はターゲットとする科目の技術内容に関する知識を得る。この知識は、次の学習段階で活用するために必要な知識となるため、どのような知識として学習者に蓄積させるかが研究の着眼点となる。例えば、ある知識情報に関して、国語辞典のような用語の意味だけを記憶する方法でなく、それがどのように構成されていてどういう条件でどういう機能を発揮するというように、実際に課題となる事象を自ら経験して、どういう条件を与えればどういう結果が予測できるといった応用が効く知識の蓄積が必要である。理工学を学ぶ学生にとって、辞書を使って用語の知識を得ることと、実験を行ってその用語の示す対象がどのような挙動をするかを知識として得ているのでは、その知識の応用段階においてどのような結果が導き出されるか、その差は歴然としている。従って、学習の第1段階として定義する個別学習においては、学習者が如何に経験を伴うリアリティをもって知識の蓄積ができるかについて着目し検討を進める。脳科学や心理学の分野において用いられている用語である「クオリア」[53]は、人間の記憶の状態を表現するにあたり、ありあり

第2章 協調型 e-Learning システムの構成と機能定義

とした感覚や経験を伴う感覚を示すものとしている。本研究における学習のリアリティを表現する用語として、この「クオリア」という用語を適用し、工学分野の課題として取り組みを行う。

グループ学習においては、

- (1) 学習の第2段階として、学習課題に関連する知識の応用を行う。
- (2) 学習環境は、インターネットに接続された e-Learning システムの形態を前提とし、仮想グループにてグループ学習を行う。
- (3) グループでのディスカッションを経て、課題の発見力や解決策の創造力を涵養する。

といった前提条件のもと検討を進める。

グループ学習においては、事前に蓄積された知識を駆使して、与えられた課題に対して、グループに参加した学習者間でディスカッションを行いながら最終的な結論を導き出す。グループ学習においては、個別学習によって得られた知識の応用形として他の学習者に提案できるか、他の学習者から発せられた提案を理解しそれを更に発展させることができるか、最終的に議論が発散することなく結論を導き出すことができるかが重要項目となる。このグループ学習は、従来の方式のように大学の教室などに一堂に会して実施する方法と異なり、e-Learning システムを前提とした遠隔教育を想定しており、学習者はネットワーク上に仮想グループを形成する。従来のような環境においては、参加した学習者は無意識のうちに協同学習者の存在を感じ取っている。ネットワークに接続された e-Learning を前提とした学習環境においては、協同学習者の存在感を如何に学習者に伝達するかが重要項目となる。脳科学や心理学の分野では「アウェアネス」[54]という用語が協同学習者の存在感を表現する概念として用いられている。本研究においては、この「アウェアネス」という用語を適用し、工学分野の課題として取り組みを行う。

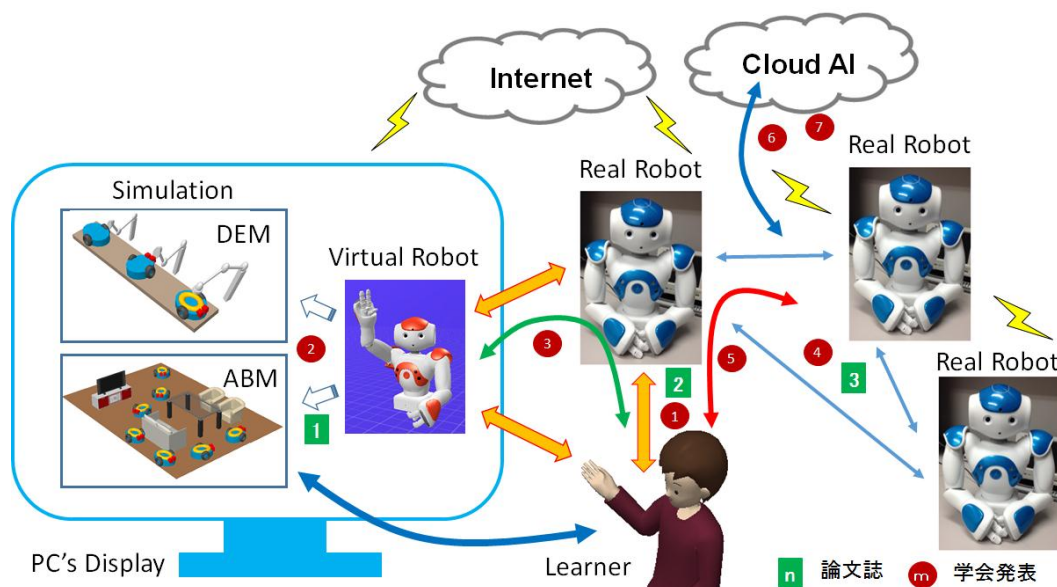


図 2.1: 協調型 e-Learning システムの全貌

このような学習プロセスを支援する e-Learning システムは、図 2.1 に示すようにインターネットに接続されたノート・パソコンとヒューマノイド・ロボット [56] により構成される。各学習段階におけるシステム構成と機能については次項に述べる。

2.2 個別学習におけるシステム構成と機能の定義

第1段階の個別学習は、図 2.1 において、左側を中心に構成したサブシステムを用いて行われる。複合手法型シミュレータ [38, 39] を用いた学習コンテンツを提供し、ヒューマノイド・ロボット [56] は学習支援を行う。学習コンテンツは、複合手法型シミュレータの主要機能であるディスクリート・イベント・モデル (DEM) [35] とエージェント・ベースト・モデル (ABM) [36] を用いて生成される。図 2.1 に示す学習コンテンツの事例では、学習対象を 2 輪自律走行型ロボットの組み立てとそれが使用される環境における挙動を観測する内容を示している。学習コンテンツの作成にあたっては、要素技術として複合手法型シミュ

第2章 協調型 e-Learning システムの構成と機能定義

ュレーションを活用し、組み立ての様子やロボットの挙動はシミュレーションの実行モードで観測することとする。また、ヒューマノイド・ロボットは学習者の支援用に配置され、ノート・パソコンのディスプレイ画面にはソフトウェア・ロボット、ノート・パソコンの傍らにはハードウェア・ロボットが配置される。これらのロボットは、総称してハイブリッド・チュータと定義される。チュータとしてのヒューマノイド・ロボットの主たる用途は学習者に適宜アドバイスを与えて学習支援を行うことであるが、ソフトウェア・ロボットとハードウェア・ロボットは、仮想空間と現実空間のインターフェースとしても用いる。これは、パーソナル・コンピュータの分野で用いるユーザ・インターフェースにおいて、現在主流のグラフィック・ユーザ・インターフェース(GUI)に代わる新たな機能として注目されているロボット・ユーザ・インターフェース(RUI) [28-30]の可能性についての示唆を与えるものとする。

学習の第1段階の個別学習において、複合手法型シミュレータと相互作用型ヒューマノイド・ロボットという2つの要素技術を活用した取り組みについては、第3章および第4章にて詳述する。

2.3 グループ学習におけるシステム構成と機能の定義

第2段階のグループ学習は、図2.1において、右側を中心に構成したサブシステムを用いて行われる。複合手法型シミュレータは、ネットワークに接続された学習者によって構成される仮想グループを運用管理するエンジンとして活用する。ヒューマノイド・ロボットは、学習者が仮想グループにおいてディスカッションを行うことを支援するために用いる。ヒューマノイド・ロボットは、それぞれインターネットに接続され、内蔵された通信機能を使ってロボット・ネットワークを形成する。各ロボットは、学習者とペアを成しており、ネットワーク上に学習者の仮想グループが構成される。この仮想グループにおい

第2章 協調型 e-Learning システムの構成と機能定義

て、ネットワークの論理的な接続状態を示すトポロジを設定し、仮想グループ運用管理エンジン内のシミュレータによりトポロジの運用管理を行う。仮想グループにおいては、学習者側からコミュニケーションをする相手となる学習者を選択する操作は、このネットワーク運用管理エンジンの支援を得て行う。仮想グループにおけるディスカッションを円滑に行い、最終的な結論を導き出すためには、ディスカッションの進捗状態に適合するトポロジを選択することが必要であり、クラウド AI 上にこのネットワーク運用管理エンジンを配置し、その中核を成す機能は複合手法型シミュレータを活用することによって実現する。また、仮想グループの運用ログを記録保存し分析することにより、後続のグループ学習支援のために再活用する。

学習の第2段階のグループ学習において、複合手法型シミュレータと相互作用型ヒューマノイド・ロボットという2つの要素技術を活用した取り組みについては、第4章および第5章にて詳述する。

第3章
e-Learning システムにおける
ハイブリッド・チュータ・モデル

3.1 はじめに

本章では、e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデルの提案をする。第2章で定義した学習プロセスの内、個別学習において学習者を支援する手法として、3種類のチュータ・モデルを提案する。複合手法型シミュレーション・チュータ(Multi Method Simulation Tutor)は、学習者に提供する学習コンテンツの生成を行うために用いる。相互作用型ロボット・チュータ(Interactive Robot Tutor)とハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ(Hybrid Agent Model Tutor)は、学習者に助言やコメントを与え学習支援を行うため、およびシステムの操作性の向上を図るために用いる。次に、学習者に経験を伴う学習のリアリティと協同学習者の存在感をもたらすために、「クオリア」[53]と「アウェアネス」[54]の概念の適用に関する検討を行う。特に、学習コンテンツとしてノート・パソコンのディスプレイに表示される仮想空間に存在するオブジェクトに対する「クオリア」の実現について考察する。そして、プロトタイプの場合・スタディにあたり、複合手法型シミュレーション技術の特長を活かし[39]、ディスクリット・イベント・モデル(DEM)[35]とエージェント・ベースト・モデル(ABM)[36]を用い、2輪自律走行型ロボットを学習教材とした事例を示す。教材として選択した2輪自律走行型ロボットの組み立て工程のシミュレーションにより、ロボットの機械構造、制御手法を体験的に学習する。2輪自律走行型ロボットの挙動観測においては、ロボットが置かれた環境から受ける影響や他のエージェントから受ける影響がロボットの挙動にどのような変化をもたらすかを学習することを目標とする。最後に、学習支援のために適用した相互作用型チュータ・ロボット(Interactive Tutor Robot: ITR)におけるロボット・ユーザ・インターフェース(RUI)[28-30]の応用例を示し、仮想空間に存在するオブジェクトへのアクセシビリティ向上のための取り組みと学習者にもたらす効果について考察する。

3.2 個別学習向け e-Learning システムの構成

ノート・パソコンやインターネットの普及に伴い、困難なことがなく e-Learning の端末機器を準備することができるようになってきた。インターネットと相まってノート・パソコン経由で多様な e-Learning コンテンツを享受できるようになってきた。従来の e-Learning システム[6-11]においては、e-Learning コンテンツはノート・パソコンに表示される。ノート・パソコンのディスプレイ上で、学習者は学習対象とする科目のコンテンツを閲覧し、関連する知識を得た後にポップアップ・ウインドウの確認試験機能ボタンを押して理解度やレベルの確認を行う。

本研究では、以下に示す端末機器、学習ステップ、仮想グループ学習運用などの新たな e-Learning システムの諸元について提案する。また、複数のモデルを取り扱う複合手法型シミュレーション技術[38, 39]と相互作用型ロボット工学[12-27]を相補的に用いることにより、新たな e-Learning システムを実現するためのチュータ・モデルを提案する。提案の e-Learning システムにおいては、e-Learning 端末機器としてノート・パソコンとヒューマノイド・ロボット[55, 56]を配置する。

図 3.1 に、e-Learning システムの端末機器として配置したノート・パソコンとヒューマノイド・ロボットを示す。ノート・パソコンはインターネットに接続され、選択された e-Learning の学習科目のコンテンツを表示する。ヒューマノイド・ロボットも同様にインターネットに接続され、選択された e-Learning のコンテンツを学習者が学習することを支援する。このヒューマノイド・ロボットを相互作用型チュータ・ロボット(Interactive Tutor Robot : ITR)と定義し、学習者とのコミュニケーションを行うために用いる。配置されたヒューマノイド・ロボットは、学習者との様々なコミュニケーション手法を実現するための強力な相互作用機能を有している[55, 56]。



図 3.1: 新たな e-Learning システムにおけるノート・パソコンと
ロボットの組み合わせ

3.3 個別学習向け e-Learning システムにおける チュータ・モデル

本研究では、複数のモデルを取り扱う複合手法型シミュレーション技術と相互作用型ロボット工学の要素技術を相補的に用いて、新たな機能を実現するための e-Learning システム向けのチュータ・モデルを提案する。目標とする e-Learning システムにおいて、学習者を支援するためにはチュータの機能が重要であり、e-Learning システムの有効性を促進するためにロボットを適用した。以下に、目標とする e-Learning システムにおける 3 種類のチュータ・モデルについて述べる。

3.3.1 複合手法型シミュレーション・チュータ

複合手法型シミュレーション・チュータ (Multi Method Simulation Tutor) は、システムのモデル化にあたりシステムの特徴、規模、抽象度に応じて最適なモデルを選択し、複数のモデルを取り扱う機能[39]を利用した学習支援用のチュータとして提案する。提案の e-Learning システム向けのシミュレーション・ツールとして AnyLogic (XJ technology 社) を適用する[33]。このシミュレーション・ツールは、以下に示す3種類のシミュレーション・モデルを支援している。

- (1) ディスクリート・イベント・モデル

(Discrete Event Model : DEM)

- (2) エージェント・ベースト・モデル

(Agent Based Model : ABM)

- (3) システム・ダイナミックス

(System Dynamics : SD)

このシミュレーション・ツールにおいては、上記のモデルを組み合わせることで協調シミュレーションを実施することができる。本研究においては、2種類のモデルを選択した。例えば、生産と消費のモデルにおいては、生産プロセスはディスクリート・イベント・モデル (DEM) で表現でき、生産された商品が出荷される市場における消費モデルはエージェント・ベースト・モデル (ABM) で表現できる。そしてこれらのモデルを連結した協調シミュレーションを行うことにより、最適化されたモデル規模でシステム全体の状況を観測できる。

図 3.2 に生産と消費の協調シミュレーション事例を示す。本例においては、工場の生産ラインでの生産モデルとして家庭電化製品を想定している。DEM の環境の中で、半完成品の動き、使用する部品の購買の動き、それぞれの組み立て工程の動きが一連のフローとして観測することができる。更に消費モデルに

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

においては、ABM を用いて生産ラインで作られた家庭電化製品が市場でどのように消費されているかシミュレーションで観測できる。ABM においては、消費者はエージェントと呼ばれ、置かれた環境において自律的にかつ主体的な挙動をするものと定義される。例えば、消費行動の傾向をプログラミングすることにより、消費者の行動パターンをデータベースに格納することができる。商品の宣伝活動のような外部環境の働きによって消費行動に及ぼす作用に関して、事前にエージェントの挙動パラメータを設定することができる。

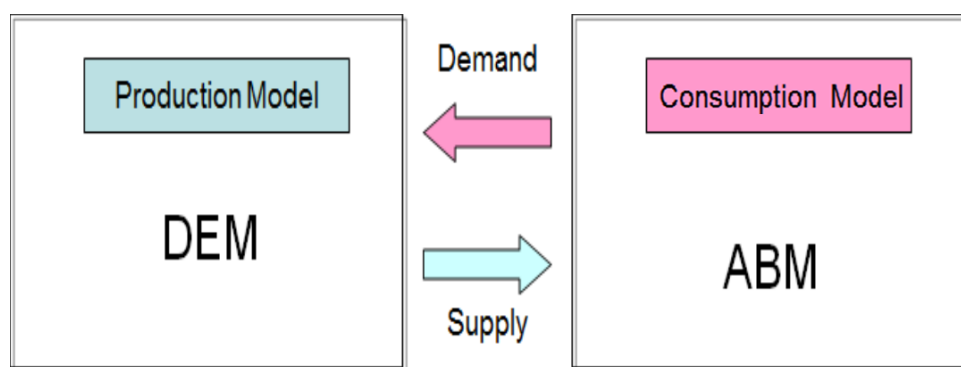


図 3.2: 生産と消費の協調シミュレーション

本研究では、生産と消費モデルのシミュレーション手法の応用により、e-Learning における教育コンテンツとしてロボットの設計と開発の初歩的な学習コンテンツを提供することとした。ロボットは、基本的にはセンサー、プロセッサ、アクチュエータといった3つの機能によって構成される。ロボットは一種の組み込みシステムであり、科学技術分野における学習者向けの要素技術を包含しており、学習教材として適していると考えられる。更に、ロボットのハードウェアとソフトウェア、制御のメカニズムと要素技術を考慮し、これらの組み合わせによって構成される種々の環境におけるエージェントの挙動シミュレーションを行う。

図 3.3 にロボットの設計開発モデルとロボットが適用される環境での動作モデル間で協調シミュレーションを行う事例を示す。

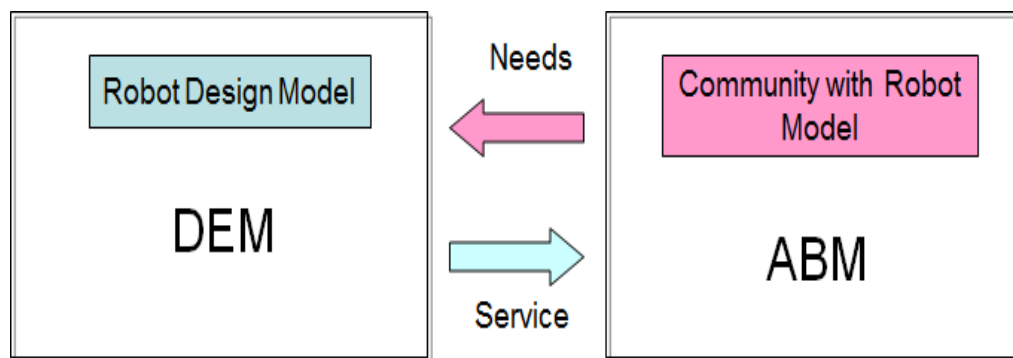


図 3.3: ロボットの設計とロボットが存在するコミュニティの
協調シミュレーション

学習用に単純化されたロボットの設計開発プロセス・モデルは DEM の環境下でシミュレーションが行われ、ロボットが適用される環境での挙動は ABM の環境下でシミュレーションが行われる。ABM においては、学習者によって作り出されたロボットは学習者エージェントと定義される。更に、チュータ機能を有するエージェントをチュータ・エージェントと定義し、学習者エージェントとの間の相互作用の結果として、顕在化した問題点や改善点に関する情報を学習者にフィードバックする。このようにして、学習者は DEM 環境下で単純化されたロボットの組み立てプロセスと制御フローを学習し、ABM 環境下で学習者エージェントとチュータ・エージェントの相互作用の挙動を観測することにより問題点や改善点を発見することができる。

3.3.2 相互作用型ロボット・チュータ

相互作用型ロボット・チュータ (Interactive Robot Tutor) は、現実空間に設置されたロボットの分身を仮想空間に配置することにより、仮想空間に存在するオブジェクトへのアクセス性の向上を図るために用いる。現実空間におけるロボットをハードウェア・ロボット、仮想空間におけるロボットをソフトウェア・ロボットと定義する。尚、前節で述べた ABM シミュレーション環境においては、ロボットという呼称は用いず、エージェントと表記する。ハードウェア・ロボットとソフトウェア・ロボットは共有化された動作パラメータを用いて完全に同期した動作を行う。現実空間において、学習者とハードウェア・ロボット間で生じた動作を、仮想空間に配置したソフトウェア・ロボットが再現することが可能であり、仮想空間に存在するオブジェクトに対するアクセスが可能となる。

本節で提案する相互作用型ロボット・チュータは現実の世界と仮想の世界を仲介するに適した機能を有した新たなインターフェースであり、ロボット・ユーザ・インターフェース (RUI) 応用のひとつとして、3.5.2 節にて詳述する。

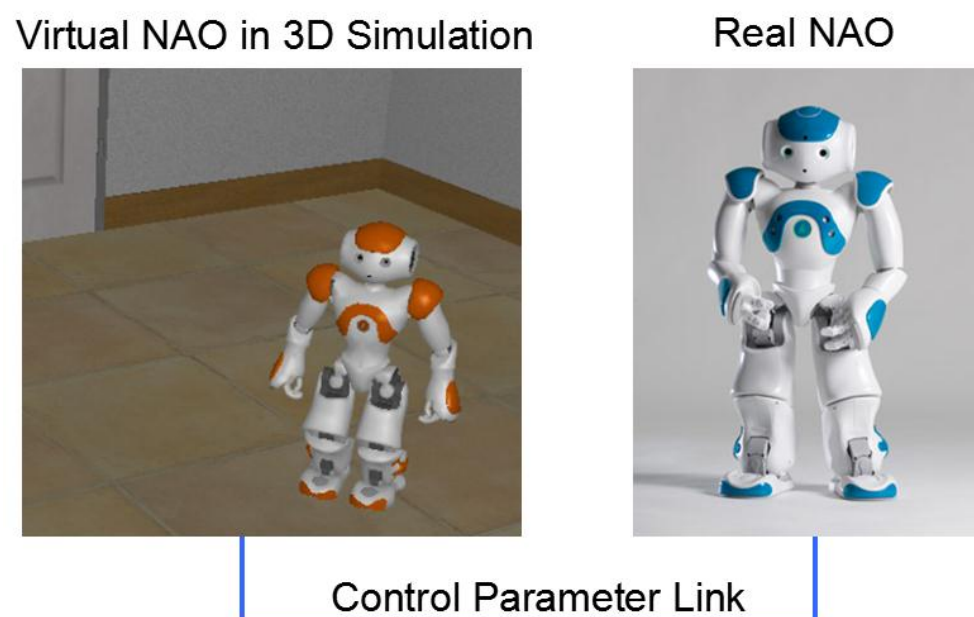


図 3.4: NAO 向けの 3 次元シミュレーション環境

本研究においては、NAO (Aldebaran Robotics 社) と呼ばれる教育や研究分野で使用されているロボットを採用した [55, 56]. 図 3.4 に, ロボット NAO 用の 3次元シミュレーション環境の事例を示す. NAO はヒューマノイド・ロボットの範疇に入るが, ソフトウェア開発環境が充実しており, 強化された対話機能をもった相互作用型ロボットとして注目されている. 更には, 3次元環境での動作やシミュレーションを行うための開発環境も提供されている.

3.3.3 ハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ

前述のシミュレーション・ツール AnyLogic と相互作用型ロボット NAO を相補的に用いて, ABM の環境下で2種類のエージェントの相互作用動作のシミュレーションを行う. これをハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ (Hybrid Agent Model Tutor : HAMT) と定義する.

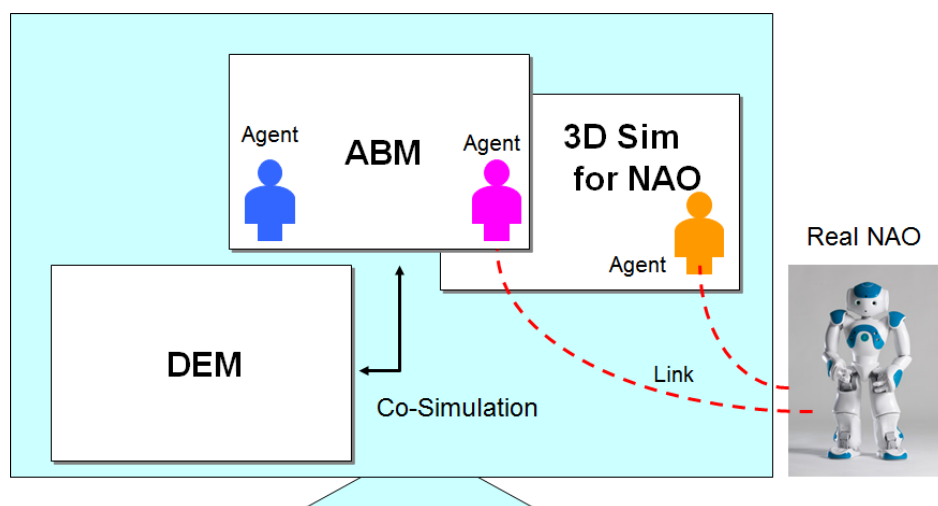


図 3.5: ハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ
のシミュレーション

図 3.5 に, ハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ (Hybrid Agent Model Tutor : HAMT) のシミュレーション環境の概念図を示す. AnyLogic を

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

用いることにより、ディスクリット・イベント・モデル (Discrete Event Model : DEM) とエージェント・ベースト・モデル (Agent Based Model : ABM) といった2種類のモデルを連動し協調シミュレーションを実施する。

DEM においては、シミュレーションの対象となるシステムの構成や制御フローを一義的に定義でき、プロセス・フロー・チャートはプログラム言語に代わるビジュアル・ツールとして使用される。そして、各プロセスの動作は他のプロセスの挙動の影響を受けることなく独立性が高いシミュレーションを行う。DEM で組み立てられたロボットが適用される環境を模した仮想空間において、ロボットの挙動や環境から受ける影響をシミュレーションするのが ABM である。ABM においては、DEM で作製したロボットを学習者エージェントと定義する。この学習者エージェントは、AnyLogic では状態遷移図を用いることにより定義される。次に、現実空間に設置されたハードウェア・ロボットを活用し、人間と NAO のコミュニケーションによって得られる挙動パラメータを作成し、仮想空間におけるエージェントの挙動を決める性質情報として用いる。このエージェントをチュータ・エージェントと定義する。これら2種類のエージェントを用いた ABM シミュレーションにおけるモデルがハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ (Hybrid Agent Model Tutor : HAMT) である。学習者によって DEM で作られた学習者エージェントは、環境からの影響に加えてチュータ・エージェントからの影響も受けて、ABM シミュレーションにおいて多様な行動パターンを学習者に展開する。学習者はハードウェア・ロボットを経由して、ABM シミュレーション内の仮想空間に配置されたチュータ・エージェントを操作することにより、同じ仮想空間に存在する学習者エージェントに対して意図的に影響を及ぼすことが可能となる。

DEM で作製されたロボットが適用される環境において、ロボットの周囲環境からの影響だけ考慮して ABM シミュレーションを実施する場合は、想定範囲

内のロボットの挙動が観測される。このような方法では、周囲環境のパラメータとして ABM に設定できる組み合わせ数には限界がある。限定された数の条件の下でシミュレーションを行わなければならないため、後に現実環境で適用した際に想定外の問題が発生する懸念が生じる。

こういった問題点を解決するために、HAMT を適用する。学習者エージェントが多様な行動パターンで動作するシミュレーションを観測したい場合は、同一環境にチュータ・エージェントを追加配置する。そして、現実の世界で学習者とハードウェア・ロボット間で発生する行動パターンから抽出した挙動パラメータの設定を行う。これは多様な行動パターンから発生する問題に対する解決策を見出すための有効な手段と考える。この発想を実現する方法として、コミュニケーション機能を強化したハードウェア・ロボットを利用すること、そしてシミュレーションの世界での挙動パラメータとして人間とのコミュニケーションから得られる行動パターン情報を用いることを提案する。学習者によって設計されたロボットは最終的には現実の世界で動作する。現実の世界にロボットを送り出す前にエージェントの挙動パラメータとして現実世界の情報を前もって取得することで、ABM シミュレーションがカバーできる想定範囲の拡大が期待できる。

3.4 クオリアとアウェアネスの適用

e-Learning システムには、インターネットを用いた遠隔教育システムとして、時間や空間の制約を超越した優位点がある。その一方で、仮想的な教育環境では、如何に教材のリアルな感覚を実現するか、そしてグループにおける協同学習者の存在感を得るかが難しい問題である。実際の教室を使った授業では、特別な注意を払わなくてもそのような感覚を得ることができる。学習者が学習への達成感を得たり、グループ学習において協調的な作業を行う上で、こ

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

これらの感覚は重要な概念と考えられる。従って、科学技術向けの教育システムに「クオリア」[53]と「アウェアネス」[54]を適用することにした。これらは脳科学分野や心理学分野においてひとつの手法として用いられている概念である。「クオリア」は、実験的な経験に基づく事象の感覚を意味する。「アウェアネス」は、協同学習者の存在感を特別な意識を払うことなく受容される感覚を意味する。従来方式の e-Learning においては、「クオリア」と「アウェアネス」の2つの概念を実現することは難しいと考える。

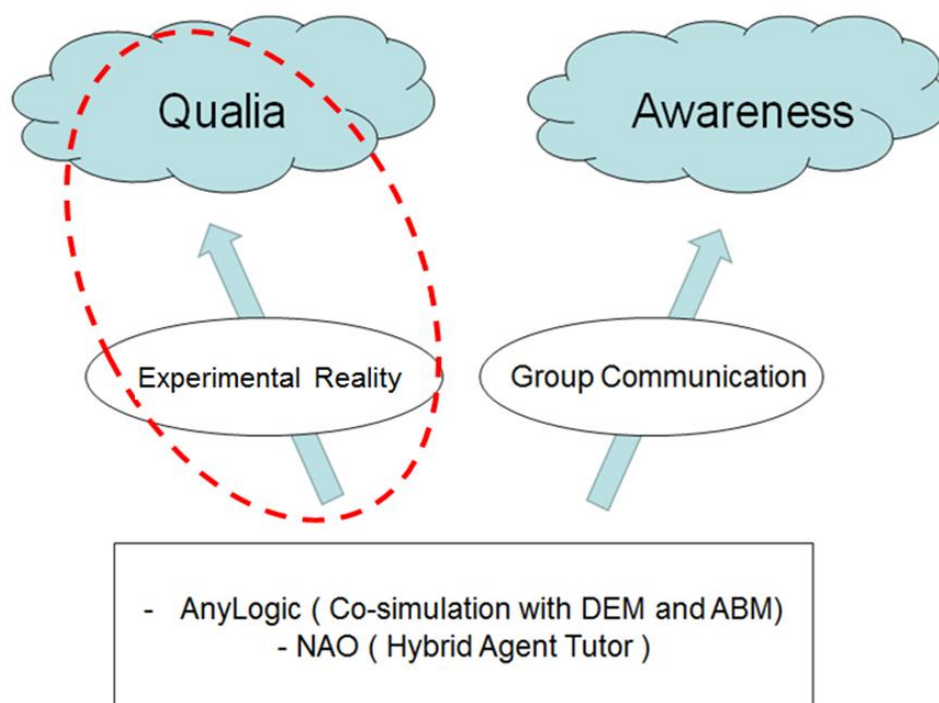


図 3.6: 「クオリア」と「アウェアネス」の実現のための概念

図 3.6 に、「クオリア」と「アウェアネス」を実現するための概念図を示す。図中の赤色の破線で囲った項目は、本章での主たる取り組みを示す。e-Learning システムでの学習の第1段階においては、学習者は主として個別学習の形態で知識の習得に努める。この方法には、学習者が必要とする速度で学習が実施できる利点がある。然しながら、深刻な問題も存在する。例えば、スプーン・フィーディングや一方的な知識の詰め込みや記憶力を試すといった指

導様式などである。このような方法で得られた知識は、それが記憶力試験のような記憶の確認には有効な方法であるとしても、問題点を発見したり解決策を創造することには繋がらない。知識をより高い次元に高める必要があり、ここでは学習者は各人が実際に行った経験に基づく印象を伴う情報の蓄積が必要とされる。この印象を明示する概念として「クオリア」を適用する取り組みを行うこととした。目標の実現に向けて、複合手法型シミュレーション技術における協調シミュレーションを活用することにより、知識の習得にあたっては、この印象を高めるための取り組みを行った。

次に、e-Learning システムにおける学習の第2段階においては、学習者はインターネットに接続された他の学習者と仮想グループを形成し、グループ学習を行う。この環境では、学習の第1段階にて蓄積された知識を活用する場として、提案されたアイデアに対して参加した学習者間で隘路事項の抽出や意見交換を行いながら結論を導き出して行く。

グループ学習を淀みなく実施するためのひとつの要素として、協同学習者の存在感が挙げられる。学習者が物理的に同一の教室に集う条件では、学習者は協同学習者の存在感を特別な注意を払うことなく感じ取ることができる。然しながら、学習者がインターネットに接続された仮想グループにおいては、上記のような存在感を得ることは難しい。

協同学習者の存在感を実現するための概念として「アウェアネス」を適用する取り組みを行った。グループ学習においては、この取り組みが協同学習者の存在感を引き出すためのひとつの方法と考える。学習者の周辺環境の雰囲気に関して共有される情報は、ロボットと人間の相互作用によって得られる。グループ学習において、ロボットを経由して他の学習者の存在感に関する情報を伝達し、協同学習者の存在感を引き出す。こういった観点から見た学習効果については、従来の e-Learning システムでは実現が難しい点があるが、「クオリ

ア」と「アウェアネス」という2つの概念を適用することで、より高いレベルの効果を期待できると考える。提案システムに相互作用型チュータ・ロボット(ITR)を活用することは、グループ学習において協同学習者の存在感を実現する手段として有効であると考えられる。

尚、前述のように、本章では「クオリア」に関する取り組みを主として行うため、「アウェアネス」に関する具体的な取り組みについては、第4章および第5章にて詳述する。

3.5 プロトタイプの場合・スタディ

目標とする e-Learning システムにおいて、複合手法型シミュレータと相互作用型ロボットを適用することにより、プロトタイプの場合・スタディについて述べる。

図 3.7 に、個別学習を支援する e-Learning システムの概要を示す。本システムは、複合手法型シミュレータと相互作用型チュータ・ロボット(ITR)により構成される。個別学習を支援する e-Learning の学習コンテンツは、ディスクリット・イベント・モデル(DEM)とエージェント・ベースト・モデル(ABM)の両方が行える複合手法型シミュレータを活用することにより提供される。目標とする e-Learning の科目として、ロボットの組み立てと操作による挙動観測を選択した。ロボットの組み立てプロセスは、DEM シミュレーションにて記述される。ロボットが適用される環境でのロボットの挙動は、ABM シミュレーションにて行われる。更には、学習者、現実空間のロボット、仮想空間のロボットを相互に接続し学習者を支援するために、相互作用型チュータ・ロボット(ITR)を適用する。

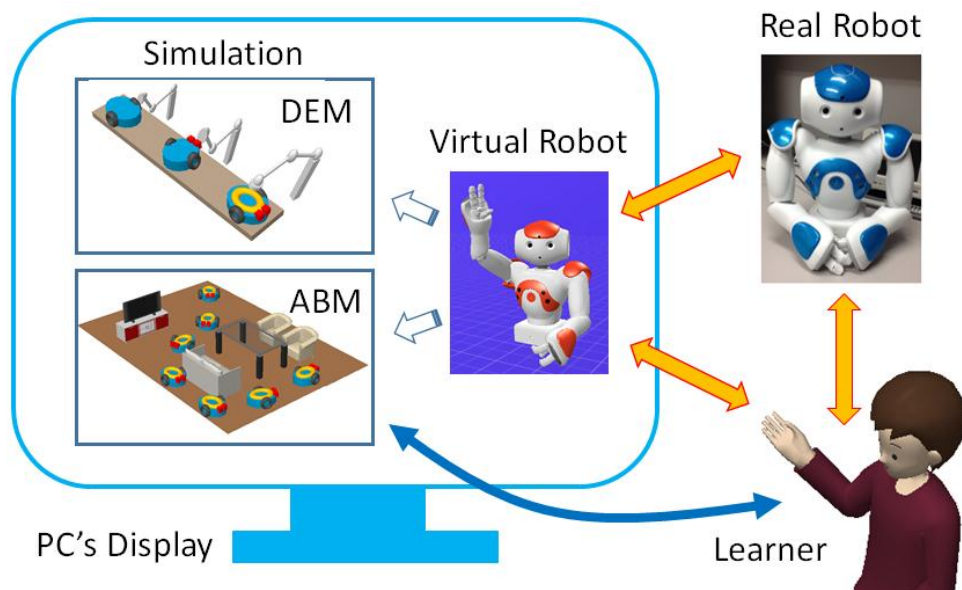


図 3.7: 個別学習を支援する e-Learning システムの概要

3.5.1 ロボットの組み立てを適用した e-Learning フローの事例

プロトタイプのカース・スタディとして、ロボットが行動する社会または共同体について考える。DEM の環境下でロボットを組み立てる場合は、部品のデータベースやロボットのメカニズムや制御フローにより構成される機能ブロックから成るライブラリ・データベースは教育コンテンツとして事前に用意される。そして、学習対象とする環境に適用するように構成されたロボットの組み立てを行うためのシミュレーションを DEM を使用して実現する。加えて、DEM のプロセス・フローとアニメーション機能を活用して、それぞれの部品の構成がどのように処理されるかを時系列にかつ 3 次元で観測できるようにする。ロボットが行動することが想定される社会や共同体を模した仮想環境は、ABM にて作り出される。DEM にて組み立てられたロボットは、ABM においてはひとつのエージェントとして扱われシミュレーションが実行される。ABM においては、エージェント間の相互作用の振る舞いをシミュレーションする。ABM が作

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

り出す仮想環境において、学習対象とするエージェントの振る舞いを観測することにより、学習者はその効果や反映すべき問題点や新たな要求としてのロボットの改善点などに関する情報を得ることができる。

図 3.8 に、学習教材としてロボットを想定した学習フローの事例を示す。

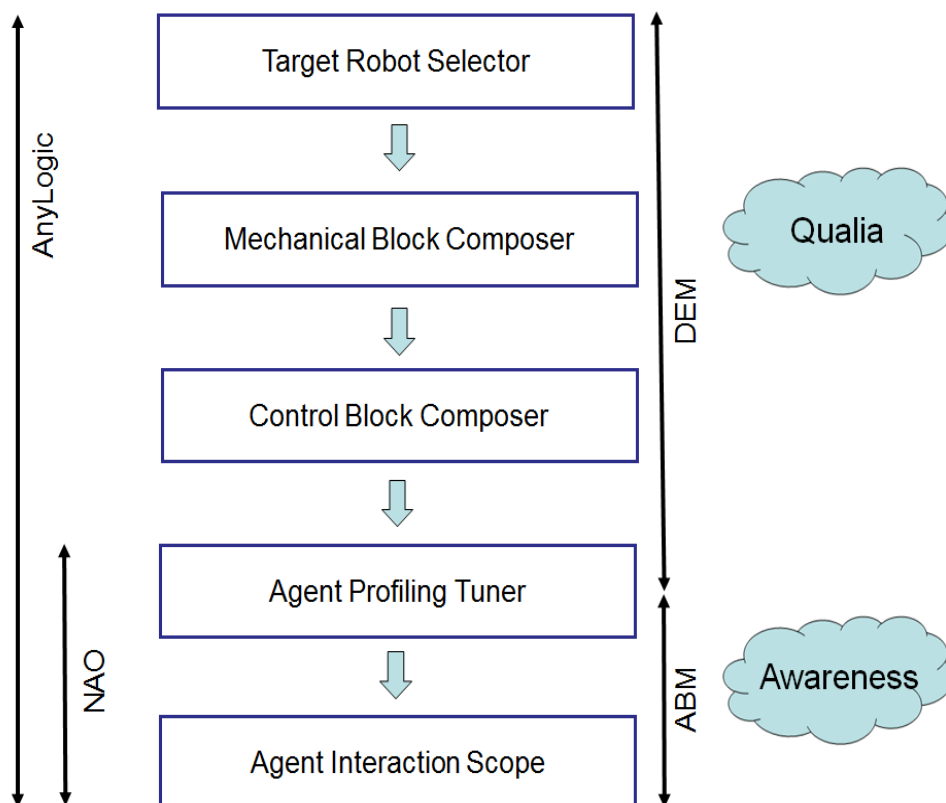


図 3.8: ロボットを教材とした学習フローの事例

本事例では、主たるプロセスは下記のように5つの工程から構成される。

(1) ターゲット・ロボット・セレクト

学習者は、高齢者介護施設、家事、チーム・プレイ・ゲーム、緊急救助等の共同体や分野に用いることを想定した学習対象ロボットを選択する。

(2) メカニカル・ブロック・コンポーザ

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

学習者は、学習対象とするロボットの構成に適した機械的な部品ブロックを選択する。

(3) コントロール・ブロック・コンポーザ

学習者は、学習対象とするロボットの制御シーケンスを設定するために必要な制御ブロックを選択する。

(4) エージェント・プロファイル・チューナー

学習者は、ロボット・エージェントの挙動を決める基礎情報となるプロファイルの調整を行い、ABM シミュレータに設定する。

(5) エージェント・インタラクション・スコープ

学習者は、ABM シミュレーションでのエージェントの挙動を観測する。

これらの一連の操作により、学習者はロボットの機能と制御フローの組み合わせを理解することができる。加えて、学習対象とする環境においてロボットがどのような挙動をし、環境にどのような影響を及ぼすかを知ることが可能となる。学習対象とする環境におけるエージェントのキャラクターは、予め標準モデルとして作成されるが、現実の世界でロボットが人間とのコミュニケーションを行うことにより抽出されたパラメータを用いることも可能である。シミュレーション環境では、現実の世界との相互作用を伴う挙動を実現できる。これは、現実世界と仮想世界のインターフェースを活用し、仮想ロボットの挙動と現実ロボットの挙動を同期させることによって可能となる。

近年、ロボットは産業や公共インフラや家庭内というふうに様々な分野に使用されている。提案の e-Learning システムにおけるプロトタイプとして、家庭用途のロボットを選択した。

図 3.9 に、貨物運搬、清掃、ホーム・セキュリティといった家庭用途のロボットの事例を示す。これらの家庭用途ロボットは、e-Learning のコンテンツ

として選択表に表示される。e-Learning 向けに学習対象となるロボットの仕様を簡素化した。学習対象とするロボットの基本仕様は、以下のように定義される。

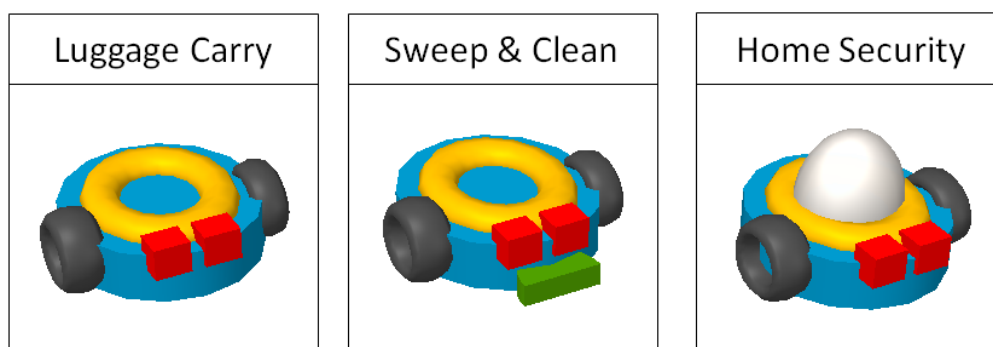


図 3.9: e-Learning のコンテンツとしての家庭用ロボットの種類

(1) 貨物運搬ロボット

本ロボットは、ベースとなる筐体、駆動用の2つの車輪、光学センサ、タッチセンサにより構成される。本ロボットは、家庭内の小規模の貨物の運搬に使用される。2輪自律走行の基本動作の学習を行う。

(2) 清掃ロボット

本ロボットは、ベースとなる筐体、駆動用の2つの車輪、光学センサ、接触センサ、塵埃の掃き出しと吸引用モジュールにより構成される。本ロボットは、部屋において塵埃の清掃用に使用される。清掃モジュールを用いて、環境に対する能動的な動作の学習を行う。

(3) ホーム・セキュリティ・ロボット

本ロボットは、ベースとなる筐体、駆動用の2つの車輪、光学センサ、接触センサ、カメラセンサにより構成される。本ロボットは、住人不在時に内蔵カメラにより室内の撮影をし、その画像をインターネット経由で送信する留守番

機能を有する。カメラセンサを用いて、環境からの影響を考慮した受動的な動作の学習を行う。

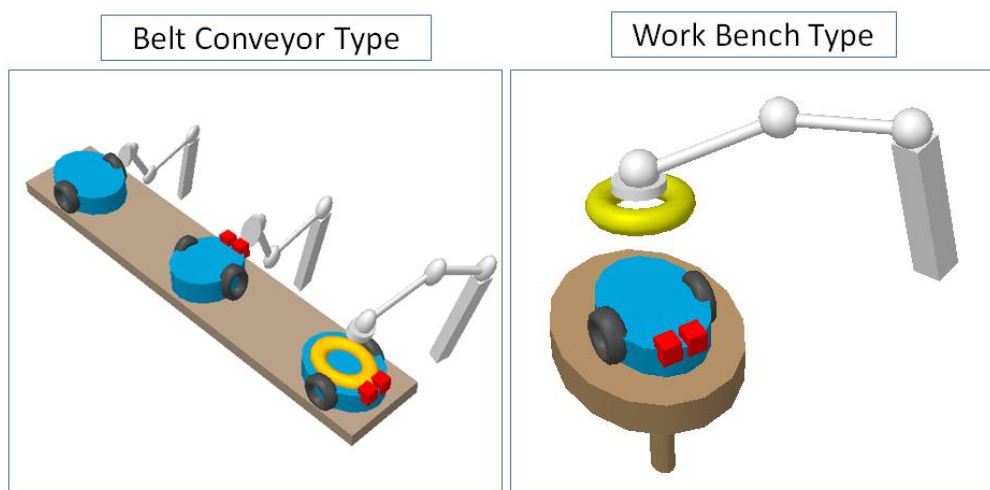


図 3.10: ロボット組み立ての方式

学習者は、この選択表で学習対象とするロボットを選択し、DEM シミュレーション・モデルを適用することにより実行される組み立てプロセス・フローを観測する。ロボットの組み立てに関して、2種類の方式を述べる。一つ目は、ベルト・コンベヤ方式である。二つ目は、ワークベンチ方式である。

図 3.10 に、ロボット組み立ての両方式を示す。ベルト・コンベヤ方式の場合は、学習対象とするロボットは単一機能を有するロボットアームにより組み立てられる。学習対象とするロボットは複雑ではない。学習者は、このプロセス・フローにより、どのように部品が取り付けられるかといった手順を学習できる。ワークベンチ方式の場合は、多機能を有するロボットアームにより組み立てられる。学習対象とするロボットの組み立て部品とプロセスは複雑である。ロボットアームは、組み立て手順と学習対象とするロボットに取り付けられる部品の幾何学的位置関係を学習者に示す。ロボットアームは、シミュレーション内で学習者にとってマニピュレータとしての機能を果たす。学習者は、

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

シミュレーションの実行モードにおいて3次元表示されたロボットの組み立てプロセス・フローを学習できる。

図 3.11 に、仕様定義された手順によってロボットが組み立てられるプロセスを示す。1 番目の図においては、右側の駆動ユニットがロボットアームにより取り付けられる。2 番目の図においては、左側の駆動ユニットがロボットアームにより取り付けられる。3 番目の図においては、光学センサがロボットアームにより取り付けられる。4 番目の図においては、接触センサがロボットアームにより取り付けられる。

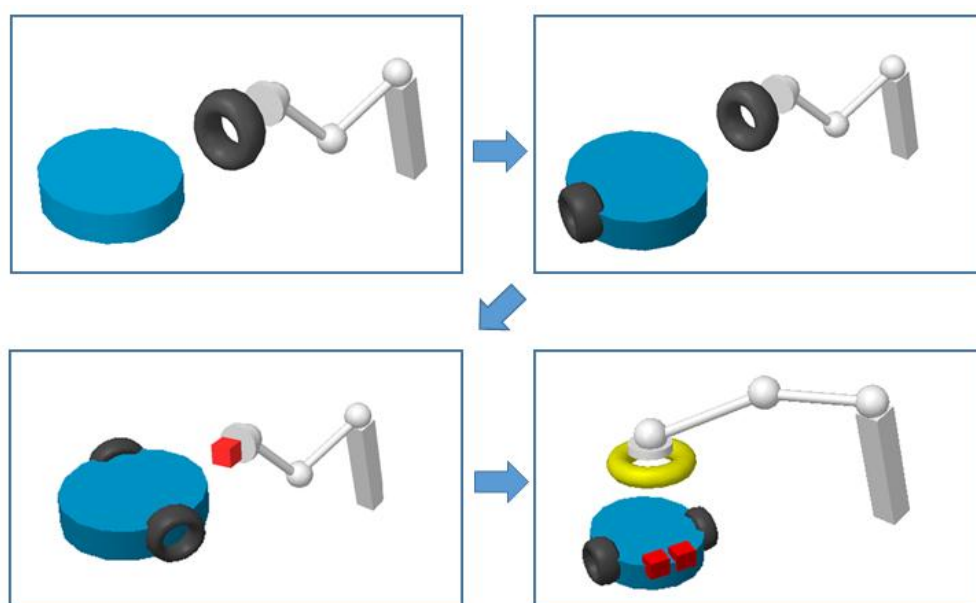


図 3.11: ロボット組み立ての手順

ロボットの組み立てが完了後、学習者は仮想空間において学習対象とするロボットがどのような挙動をするか観測できる。

図 3.12 に、居間と寝室におけるターゲット・ロボットの挙動を示す。居間に掃除ロボットを配置することにより、周囲環境への能動的な動作を観測でき、寝室にセキュリティ・ロボットを配置することにより、周囲環境からの影響を考慮した受動的動作を観測できる。このシミュレーションは、ABM にて実

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

行される。仮想空間のデータはライブラリに格納される。各部屋における経路探索は、いくつかの経路パターンデータのリストが格納されたシミュレーション・システムにおいて、シミュレーション記述によって予め固定されている。学習者は、2次元もしくは3次元表示されたシミュレーション実行ウインドウ内で、ターゲット・ロボットの挙動を観測できる。加えて、他のエージェント・ロボットとの相互作用を観測するために、同じシミュレーション環境内にエージェントの追加をすることができる。

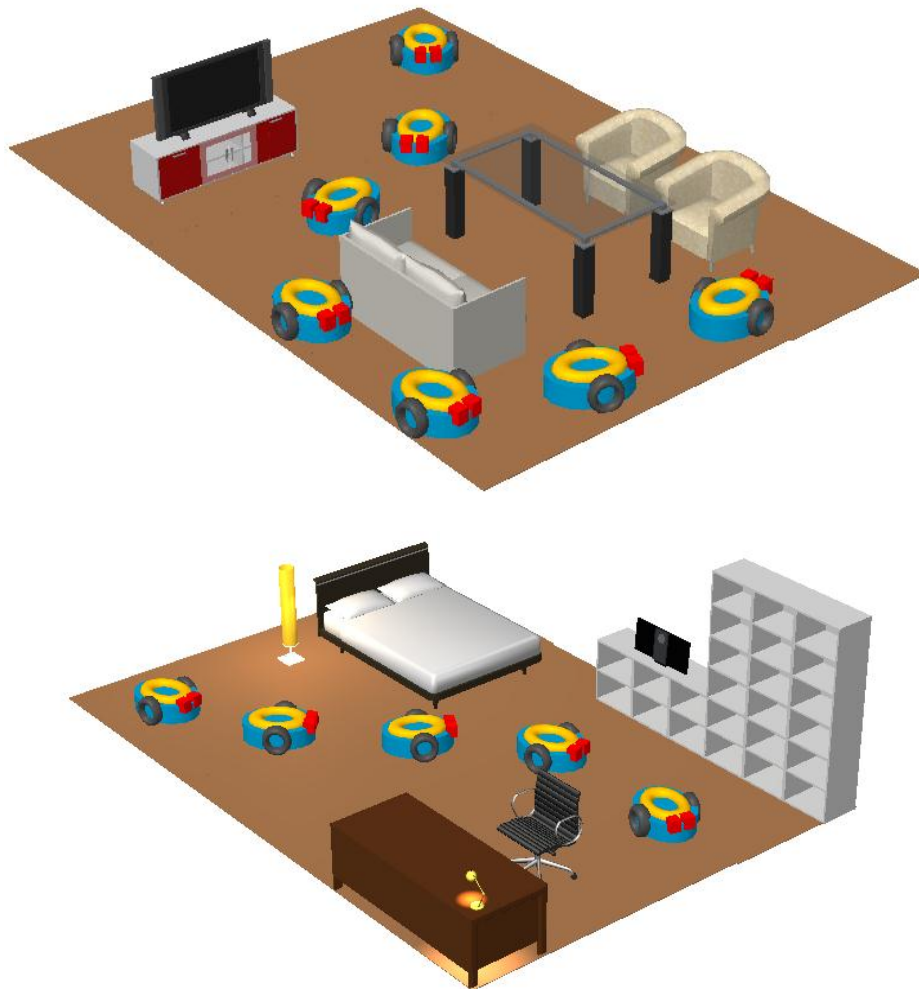


図 3.12: 居間と寝室におけるターゲット・ロボットの挙動

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

提案の e-Learning システムにおいては、DEM を用いてロボットの組み立てと制御フローに関する要素技術についてシミュレーションを実施する。これは、学習における第1段階の機能をもたらす。第1段階の作業として作られたロボットは、ABM においてエージェントの役割を持ち、第2段階として協調シミュレーションが実施できる。目標とする環境において既に存在するエージェントとの相互作用を観測することができる。このようにして、学習対象とする環境において自律的に展開されるロボット・エージェントの挙動がどのようになるかを観測できる。シミュレーションを行うためのパラメータとして、上記の結果を反映して再び DEM に戻すことができる。協調シミュレーションを適用し現実感を引き出す効果を経験することにより「クオリア」の実現を図る。

図 3.13 に、経路探索を行うシステムによる e-Learning コンテンツの事例を示す。経路探索は、2次元の迷路図内に示される。協調シミュレーション環境においてエージェントとして経路探索ロボットを配置する。シミュレーションにおけるエージェントと定義されたロボットに経路情報を与える。シミュレーションの実行モードでは、実際にロボットが走行する段階で2台のカメラによってそれぞれに設定された撮影アングルにて観測できる。一つ目は、鳥瞰図と呼ばれる撮影アングルであり、学習者は走行状態にあるロボットを俯瞰する立場から観測できる。この撮影アングルを「バースビュー・カメラ」と表記する。二つ目は、ロボットの視点で設定されたもので、カメラはロボットに取り付けられる。ロボットのカメラの視点は、学習者の視点と同期される。この撮影アングルを「ロボットビュー・カメラ」と表記する。これにより、学習者は実際にロボットになった感覚で経路探索を行うことができる。この機能を使うことで、経験的なリアリティを伴う感覚を実現できる。

図 3.13 において、表示される実行ウィンドウの下部に2種類の3次元表示ウィンドウがあるが、左側が「バースビュー・カメラ」、右側が「ロボットビ

ユー・カメラ」である。表示画面中の青色の筐体は、図 3.9 で示した家庭内の小規模貨物運搬用ロボットのベース筐体を示す。煉瓦を積み上げた壁面により構成された迷路をこのロボットが進行する様子は、学習者が希望する速度で進行する。学習者は、ロボットの挙動を連続したタイムスケールで観測することも、任意の時刻での静止画像として観測することも可能である。

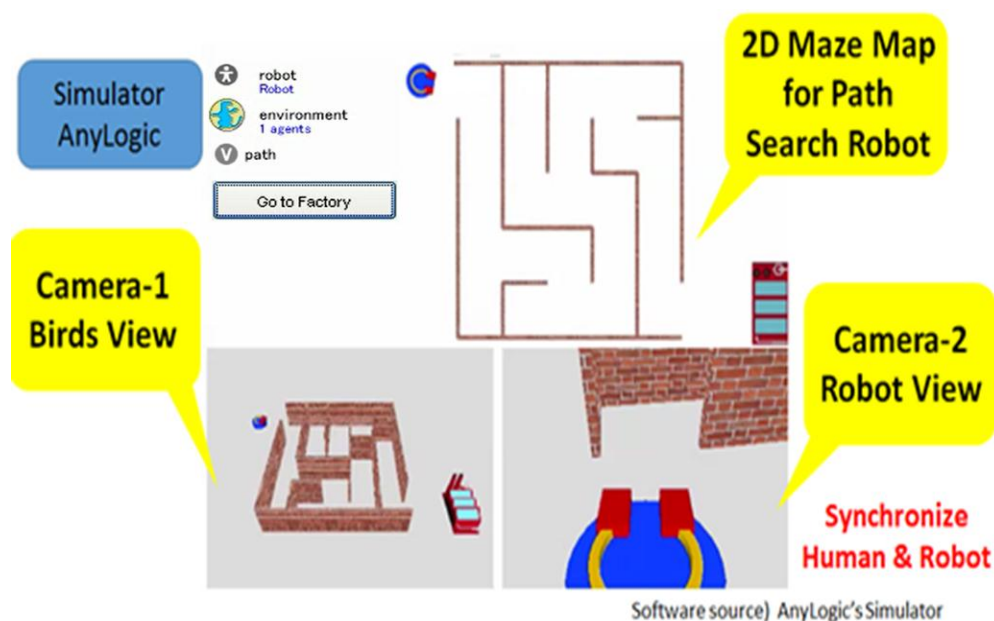


図 3.13: 経路探索を行う e-Learning コンテンツの事例

図 3.14 に迷路を進行する経路探索ロボットの動作を任意のタイムスロットで分解画像表示した事例を示す。図 3.14 ①から⑧までの一連の分解画像は、ロボットが迷路の入口に位置するところから開始し、迷路の出口に設置された工場の模型画像に達するまでの挙動を示している。

これら 2 種類の撮影アングルは、学習者が e-Learning のコンテンツを利用して製作したロボットが目標とする環境においてどのような挙動を示すかを 2 つの視点から観測する機能を提供する。学習者は、全体を俯瞰する大局的な観測と細部にわたる観測がともに行える。

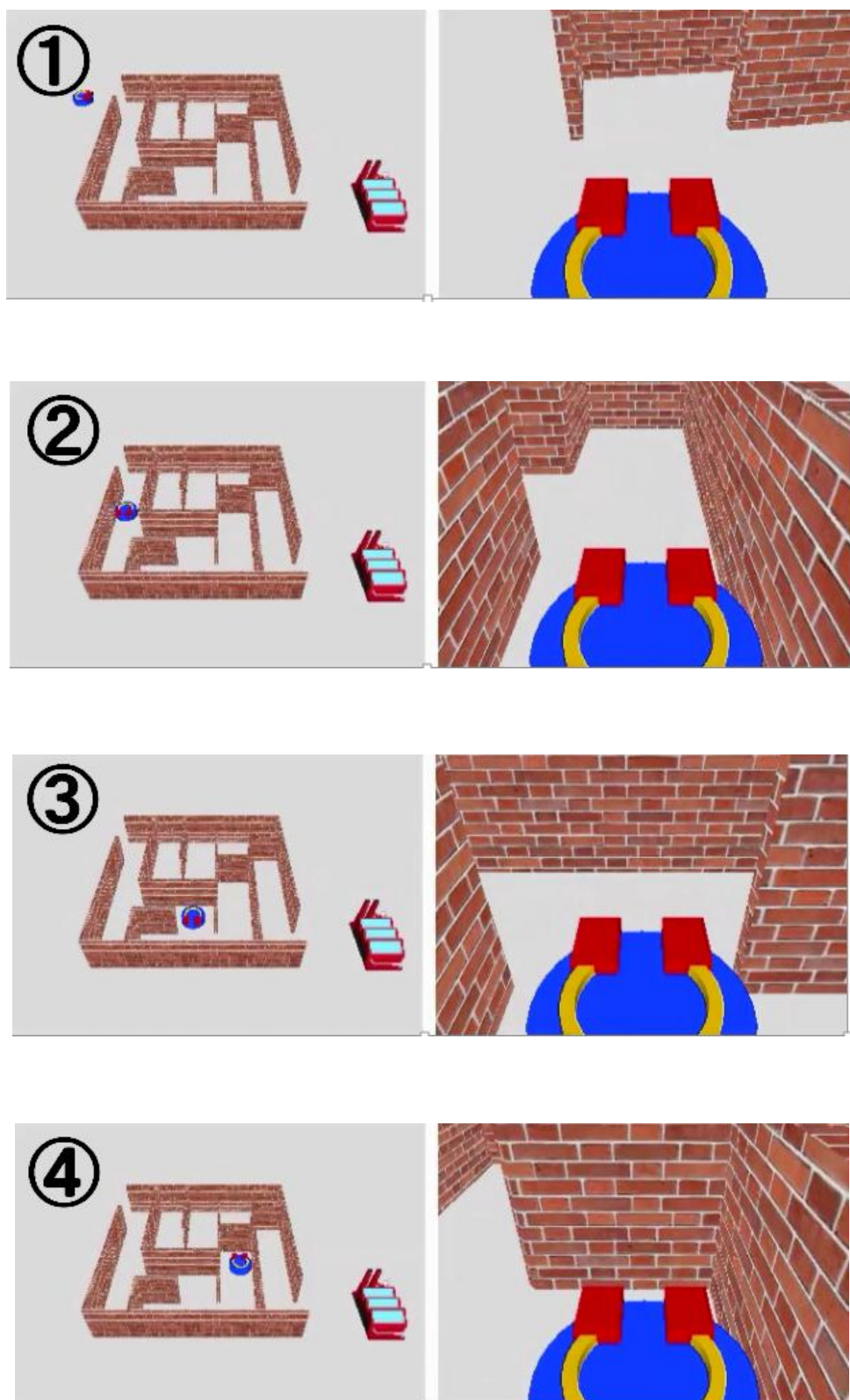


図 3.14: 迷路を進行する経路探索ロボットの分解画像(1)

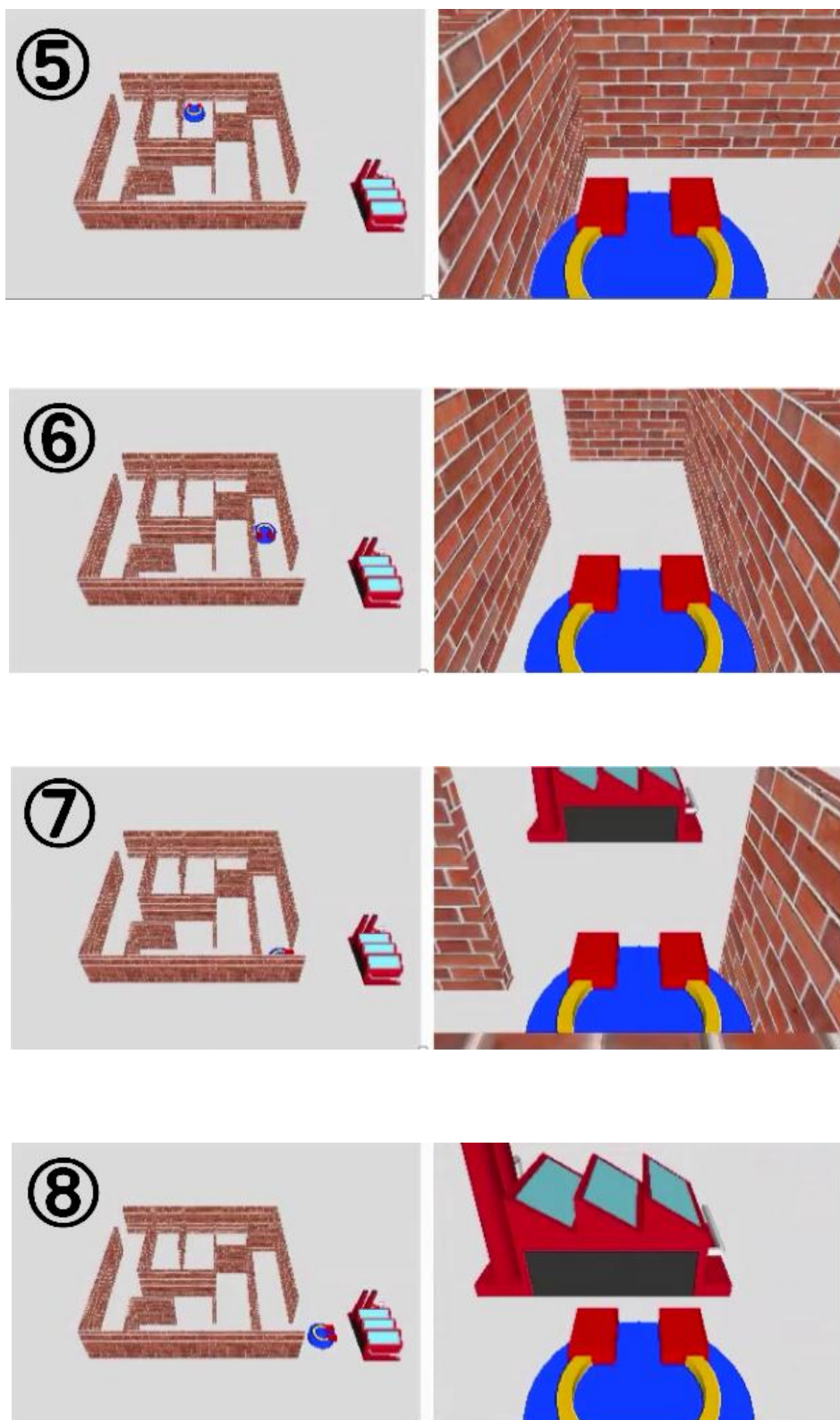


図 3.14: 迷路を進行する経路探索ロボットの分解画像(2)

3.5.2 人間とロボットの相互作用

提案のシステムにおいては、ロボットはチュータの働きをする。学習者は、このチュータ・ロボットから様々な支援を得ることができる。

図 3.15 に、ロボット(チュータ)と人間(学習者)の相互作用を示す。人間とロボットにおける相互作用[20-27]は、2方向のメッセージの伝達により構成される。一つ目は、ロボットから人間に対するもので、視覚的にはロボットのジェスチャー、聴覚的にはロボットの音声と効果音を取り上げた。

二つ目は、人間からロボットに対するもので、視覚的には人間の表情や態度、聴覚的には音声、触覚的には接触を取り上げた。提案の e-Learning システムにおいては、特にロボットのジェスチャーに焦点を当てて取り組むこととした。

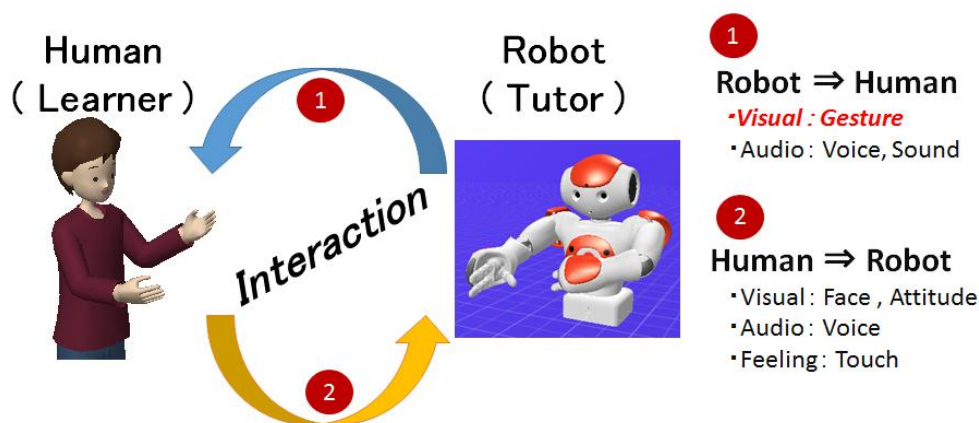


図 3.15: チュータ・ロボットと学習者間の相互作用

更に、リアル・ロボット NAO と人間とのコミュニケーションから抽出されたエージェントのパラメータを伝達することによって、シミュレーションにおいて現実の環境におけるパラメータを反映することができる。人間とロボットの相互作用を活用し、ロボットのジェスチャーのダイナミクス効果により「アウェアネス」を実現する。

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

図 3.16 に、ロボットのジェスチャーの編集システムを示す。本事例では、メッセージをロボットから人間に伝達するためにロボットのジェスチャーを活用する。ロボットの右腕は、「初めまして」という意味付けをしたジェスチャーとして動作し、頭部も上下に動作する。ロボットの頭部と腕部に内蔵されたアクチュエータの軌跡は、波形図に表示される。この波形図では、アクチュエータの軌跡として曲線が示される。学習者が受ける印象は、この波形図の曲線の最大値の位置を編集することにより変えることができ、また腕部のアクチュエータの協調動作によっても変えることができる。

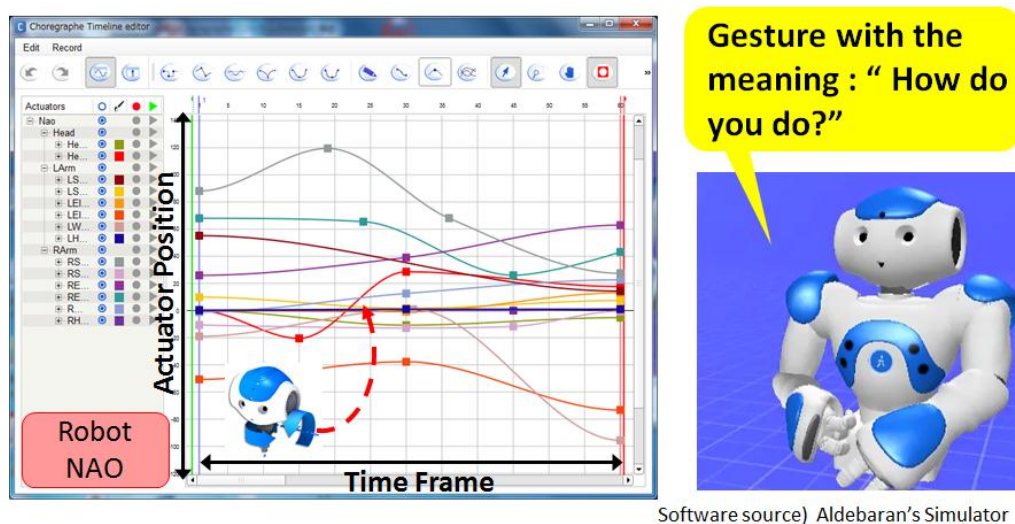


図 3.16: ロボットのジェスチャーの編集システム

(1) ロボットのジェスチャーの定義

図 3.17 にロボットのジェスチャーの事例を示す。これらは、e-Learning システムにおいて学習者を支援するために用いられる。(A) は、挨拶の動作を意味し、同時に「初めまして」というメッセージが発せられる。(B) は、困難な問題に直面した動作を意味し、同時に「難しい問題だね」というメッセージが発せられる。(C) は、学習者の意見に同意を示す動作を意味し、同時に「そ

うして見よう」というメッセージが発せられる。(D)は、学習者への賞賛を示す動作を意味し、同時に「やったね」というメッセージが発せられる。

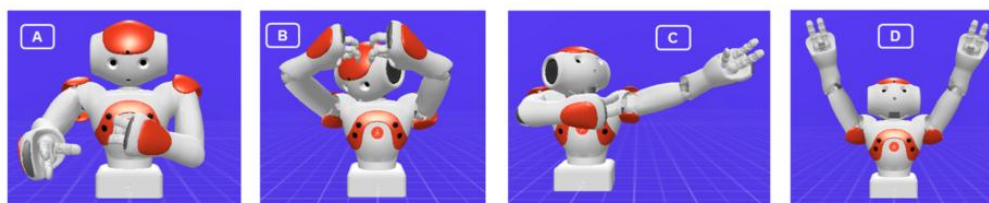


図 3.17: ロボットのジェスチャーの事例

(2) タイムスロット内の連続的ポーズ

図 3.18 に、時系列にロボットのジェスチャーを分解した画像を示す。これは、左側から右側に動作が遷移することを示す。ジェスチャーは定められた時間枠における連続的なポーズで構成される。実際のロボットの動作においては、それぞれのポーズ間の時間の値は、学習者に異なる印象を与える可能性のある重要な要素である。例えば、ロボットが頷く動作をする際に、頭を速く下げた後にゆっくり上げた場合と、反対に遅く頭を下げた後に速く上げた場合では、学習者に与える印象は異なったものになる。また、頭部と腕部の同期動作は、ジェスチャーの印象を決定づける主要項目である。これを、ロボットのジェスチャーにおけるダイナミクス効果と定義する。この効果を活用して、e-Learning の有効性を高める。本項目に関しては、第4章にて詳述する。

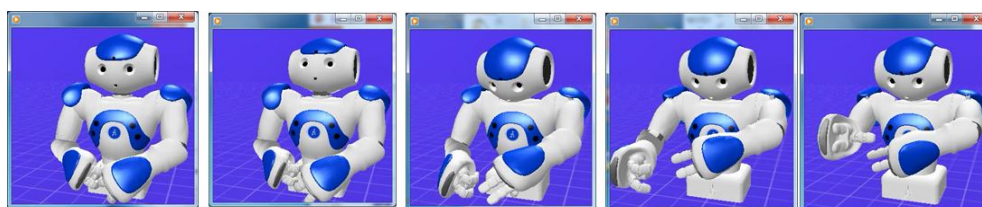


図 3.18: ロボットのジェスチャーの分解画像

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

図 3.19 に、相互作用型ロボット NAO を活用した新たなマン・マシン・インターフェース (MMI) を利用した外観検査の事例を示す。この機能は、ロボットの組み立て段階において、外観検査と操作検査のプロセスに用いられる。外観検査のプロセスにおいては、学習者はリアル・ロボット NAO の頭部を触り操作する。リアル・ロボット NAO の動作は、シミュレーションでのロボット組み立てプロセスにおけるエージェント・ロボットにリンクされる。

学習者は、リアル・ロボットの頭部を任意の方向に動かすことで、シミュレーション上のエージェント・ロボットの画像を様々な視点から観測することができる。

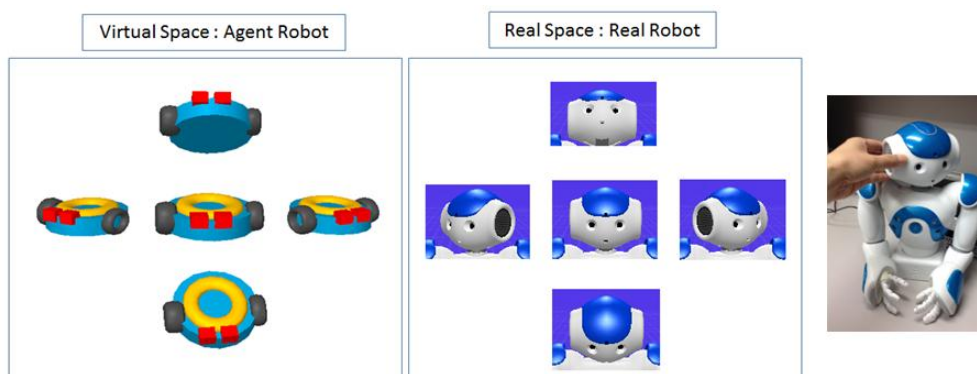


図 3.19: ロボットの新 MMI を活用した外観検査例

図 3.20 に、相互作用型ロボット NAO を活用した新たなマン・マシン・インターフェース (MMI) を利用した操作検査の事例を示す。学習者は、リアル・ロボット NAO の両腕を触ることにより操作を行う。リアル・ロボット NAO の動作は、シミュレーションでのロボットの組み立てプロセスにおけるエージェント・ロボットにリンクされる。学習者は、リアル・ロボットの両腕を触って動かすことにより、シミュレーション上のエージェント・ロボットを任意の方向に動作させることができる。リアル・ロボット NAO は、新たなマン・マシン・インターフェース (MMI) を有したリモート・コントローラの役割を果た

第3章 e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデル

す。これは、ロボット・ユーザ・インターフェース (RUI) のひとつの応用形態である [28-30]。この新たなインターフェースを相互作用型マン・マシン・インターフェースと定義する。

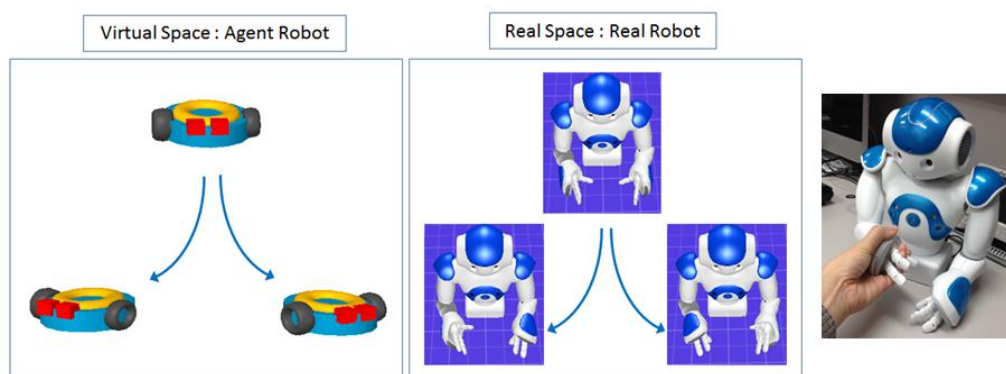


図 3.20: ロボットの新 MMI を活用した操作検査例

提案の e-Learning システムにおける新たなマン・マシン・インターフェースの実現のためにハードウェア・ロボットを適用する。従来の e-Learning システムにおいては、学習者と e-Learning システム間の相互作用は、表示パネルとポインティング・デバイスとしてのマウスによってなされていた。マウスは、従来のパーソナル・コンピュータにおいて広く普及したポインティング・デバイスである。ロボットをチュータとして捉え、如何に人間との有効なインターフェースを実現するかについて検討を行った。提案の e-Learning システムにおいて、相互作用型マン・マシン・インターフェースとしてロボットの活用を図った。

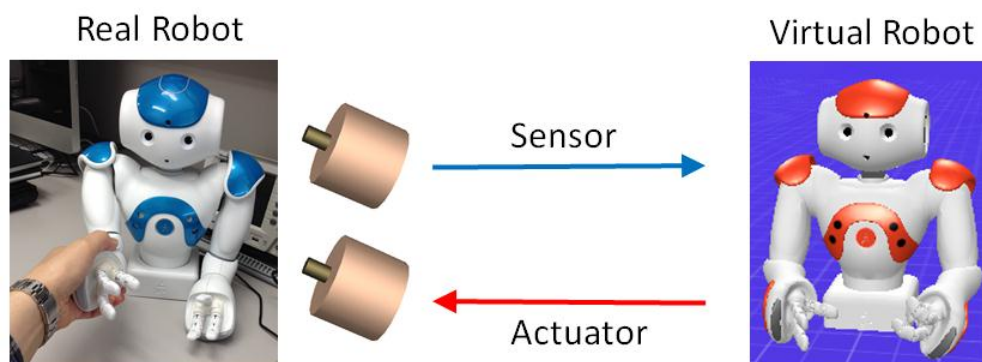


図 3. 21: リアル・ロボットのアクチュエータとセンサの機能

図 3. 21 に、リアル・ロボットにおけるアクチュエータとセンサーを示す。ハードウェア・ロボットの頭部と腕部は、本来はロボットに内蔵されたアクチュエータを制御することにより、それぞれの局面に適した動作をするために仕様が定義されている。提案する方式では、このアクチュエータに本来とは逆の機能を定義する。ハードウェア・ロボットにおいては、アクチュエータとして DC モータが使用されている。このモータは、学習者からの入力信号を発生する信号発生器としても使用することが可能である。学習者が、ロボットの手を掴み右側もしくは左側に強制回転させた場合、組み込まれたモータは学習者の動きに合わせて電気信号を発生する。この信号を学習者からの入力信号として捉え、シミュレーション上のソフトウェア・ロボットに伝達する。このようなインターフェースにおいては、学習者は経験を伴うリアリティを得ながら仮想ロボットを制御でき、マウスよりも効果的である。ロボットそのものをリモート・コントローラとして使用することにより、目標とする e-Learning システムにおいて柔軟性と相互作用型マン・マシン・インターフェースが実現できる。



図 3.22: ロボットを活用した相互作用型

マン・マシン・インターフェース

図 3.22 に、ロボットを活用した相互作用型マン・マシン・インターフェースを示す。本事例では、学習者はロボットの手を掴み時計方向に強制回転させている。組み込みDCモータは、電気信号を発生する。この信号は、インターネットを経由して仮想ロボットに伝達される。学習者は、制御信号を仮想ロボットに送ることができる。同時に、仮想ロボットは応答信号を生成しハードウェア・ロボットのアクチュエータに伝達する。学習者は、ハードウェア・ロボットからリアルタイムの反応を得ることができる。これにより、マン・マシン・インターフェースにおいて、仮想空間に存在するオブジェクトとの相互作用を経験的に実感できる環境を作り出すことが可能となる。

3.6 まとめ

本章では、e-Learning システムにおけるハイブリッド・チュータ・モデルの提案を行った。第2章で定義した学習プロセスの内、個別学習を支援するチュータ・モデルとして、複合手法型シミュレーション・チュータ(Multi Method Simulation Tutor)、相互作用型ロボット・チュータ(Interactive Robot Tutor)、ハイブリッド・エージェント・モデル・チュータ(Hybrid

Agent Model Tutor) の3種類のモデルを個別学習の支援を行う要素技術として適用した。次に、学習者に経験を伴う学習のリアリティと協同学習者の存在感をもたらすために、「クオリア」と「アウェアネス」の概念の適用については特に個別学習において学習者にもたらす効果について考察を行った。そして、プロトタイプの場合・スタディにあたり、複合手法型シミュレーション技術の特長を活かし、ディスクリート・イベント・モデル(DEM)とエージェント・ベースト・モデル(ABM)を用い、2輪自律走行型ロボットを学習教材とした事例を示し、学習コンテンツへの採用の可能性を考察した。最後に、学習支援のために適用した相互作用型チュータ・ロボット(ITR)におけるロボット・ユーザ・インターフェース(RUI)の応用例を示し、仮想空間に配置されたオブジェクトへのアクセス性向上のための取り組みと学習者にもたらす効果について考察を行った。

個別学習における学習コンテンツ作成にあたり、複合手法型シミュレーションと相互作用型チュータ・ロボットを活用することにより、学習者が経験を伴う知識を習得することに寄与するものと考えられる。

第4章
協調型 e-Learning システムにおける
相互作用型チュータ・ロボット

4.1 はじめに

本章では、協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット(Interactive Tutor Robot : ITR) の提案をする。ITR は、個別学習とグループ学習において学習者との円滑なコミュニケーションを行い、学習者を支援する助言やコメントを発する指導者(チュータ)としての役割りを担っている。また、学習コンテンツとして提供されるシミュレーション上の仮想空間に配置されたオブジェクトへのアクセス性を向上するための新たなインターフェースとして、ロボット・ユーザ・インターフェース(RUI)を具現化する主要機器である[28-30]。更には、グループ学習において、ネットワークを構成し仮想グループを運用するための主要ネットワーク機器でもある。本章では、先ず、ITR を配置した協調型 e-Learning システムの全貌とシステムを利用する学習者と ITR の間で発生する相互作用について示す。相互作用は、学習者と ITR の間で発生するコミュニケーションを中心としたイベントであり、この機能の善し悪しがシステムの操作性や利便性に大きく影響する[12-27]。ITR には、学習者にとって必要な時に適切な働きかけをしてくれ、肯定的に受け入れられる存在としての挙動が求められる。本研究では、相互作用を活用することにより、個別学習とグループ学習において、学習者の「気づき」を誘起し学習効果の向上を図る。個別学習においては、学習コンテンツを通じて得られる知識への「気づき」、グループ学習においては、協同学習者の存在への「気づき」である。これは、「クオリア」[53]や「アウェアネス」[54]で示される感覚に共通するものである。そこで、相互作用の内、特に ITR のジェスチャーに着目し、ジェスチャー生成手法の比較とジェスチャーがもたらすダイナミックス効果について考察する。実験観察による客観評価と SD (Semantic Differential)法[26,27,47]による主観評価を実施し、ITR のジェスチャーが「クオリア」と「アウェアネ

ス」の実現にどのように作用するか、また個別学習とグループ学習それぞれにおいて学習者にもたらす効果について考察する。

4.2 ITR を配置した e-Learning システム

4.2.1 ITR を配置した e-Learning システムの形態

e-Learning システムにおいて、学習者を支援する機能として ITR を適用する。近年、ロボットの高性能化は目覚しく、特に研究・教育分野向けにソフトウェア開発環境やコミュニケーション機能を強化した仕様のものが提供されるようになってきた。学習者とロボット間の対話を積極的に活用し、e-Learning システムの学習効果の向上を図ることを目的とし、音声や身振り手振りによる対話機能を有するロボットをチュータとして位置づけ、学習者の支援を行うことを試みた。

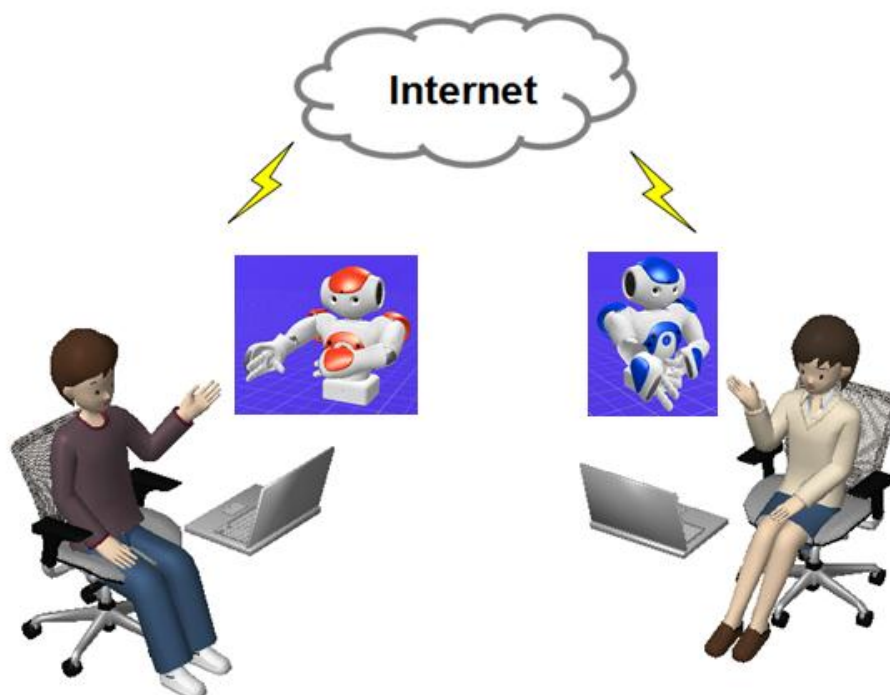


図 4.1: チュータ・ロボットを伴う e-Learning システムの形態

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

学習者と e-Learning システムとの間の相互作用は、従来方式でのパソコン利用環境においては、学習者がパソコン上に表示される質問内容と対話形式で学習を進める形態を示している。本研究では、パソコンに併置される形でロボットの筐体を配置する。図 4.1 に、ロボットが併置された e-Learning 環境の形態を示す。インターネットに接続されたノート・パソコンおよび ITR を活用する学習者により構成される環境をひとつのユニットとする。このユニットはインターネットに接続できる環境であれば空間的制約を受けることなく接続することができる。ユニットにおいて、ノート・パソコンはインターネット経由で提供される e-Learning のコンテンツを表示する。ITR は提供される e-Learning の学習効果を高めるために学習補助として用いる。学習者はノート・パソコンと ITR により構成される環境を用いて学習する。本研究では、単独ユニットで行われる学習を学習の第 1 段階における個別学習、また複数ユニットで行われる学習を学習の第 2 段階におけるグループ学習と位置づけ、特に後者における学習支援機能をより明確化し従来の e-Learning システムとの差別化を図るために、協調型 e-Learning システムと定義する。

4.2.2 協調学習における学習者と ITR との関係

図 4.2 に協調学習における学習者と ITR との関係を示す。学習の第 2 段階においてはグループ学習が行われるが、学習者はインターネットに接続された ITR を介して形成された仮想グループにて学習を行う。本システムに用いたロボットは、仏国アルデバラン社が NAO というコードネームで開発したヒューマノイド・ロボットであり [55, 56]、人間との相互作用を実現するための各種センサ機能を有している。人間の五感の内、視覚、聴覚、触覚を実現するためのカメラセンサ、音声、動作(ジェスチャ)機能を備えている。インターネットに接続された ITR とそれを活用する学習者がペアを成す。このペアはインターネ

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

ット上に複数存在するが、本例では2組存在する場合を示す。まず、学習者と ITR の間において発生するイベントを相互作用と定義する。相互作用においては、学習支援情報の提供や理解度の把握が行われる。次に、ITR と ITR 間において発生するイベントを通信と定義する。通信においては、学習支援情報の共有と蓄積が行われる。最後に、学習者と学習者間において発生するイベントを協調学習と定義する。学習者は、学習過程の第1段階では個別学習の形態で主として知識の習得に努める。そして、第2段階では習得した知識を応用すべく、グループ学習の形態で問題解決のアイデア共有とブラッシュアップを行う。通常、グループ学習は同一の場に行われるのが従来のスタイルであったが、協調型 e-Learning システムにおいては、ITR を媒体として、学習者が仮想グループを形成してグループ学習を行う。

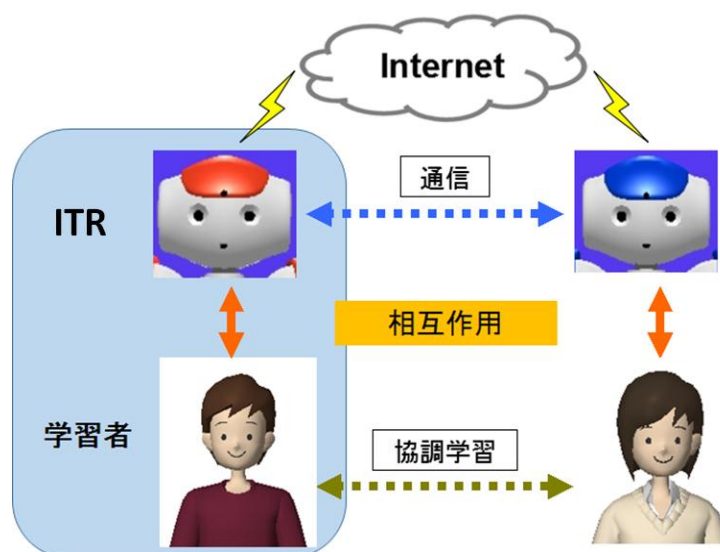


図 4.2: 協調学習における学習者と ITR の関係

4.2.3 学習者と ITR 間の相互作用

相互作用は、ITR から学習者に対するメッセージの伝達と学習者から ITR に対するメッセージの伝達により成立するものとする。ITR と学習者間のメ

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

メッセージ伝達には、五感の内、視覚、聴覚、触覚機能を用いて行う。先ず、ITR から学習者に対するメッセージの伝達手段としては、視覚的にはジェスチャー、聴覚的には音声や効果音が挙げられる。本研究に用いた ITR には、頭と両腕が動かせるアクチュエータと音声や効果音が発生できるオーディオ機能が内蔵されている。

そして、学習者から ITR に対するメッセージの伝達手段としては、視覚的には顔の表情や態度、聴覚的には音声、触覚的には頭や両腕への接触が挙げられる。本研究に用いたロボットには、視覚の機能を果たすカメラセンサ、聴覚の機能を果たすマイクロフォン、触覚の機能を果たすタッチセンサが内蔵されている。

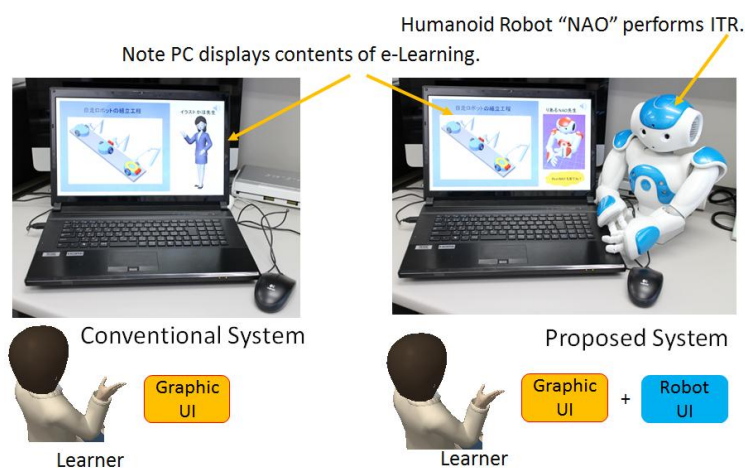


図 4.3: 学習者に対するユーザ・インターフェースの比較

図 4.3 に、学習者に対するユーザ・インターフェースの比較を示す。図の左側は従来方式の e-Learning システムの構成を示す。右側は本研究にて提案した協調型 e-Learning システムの構成を示す。学習者は、e-Learning システムが提供するユーザ・インターフェースを使用してシステムとの情報の授受を行う。従来方式の e-Learning システムにおいては、ノート・パソコンのディスプレイに表示される画像と広く普及しているポインティング・デバイスである

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

マウスを用いてグラフィック・ユーザ・インターフェース (GUI) を学習者に提供する。協調型 e-Learning システムにおいては、従来方式の GUI に加えて、ロボットの相互作用機能を活用したロボット・ユーザ・インターフェース (RUI) を提供する。

4.3 クオリアとアウェアネスの適用

「クオリア」[53]と「アウェアネス」[54]の概念については、3.4節において述べたが、本章では ITR のジェスチャーが「クオリア」と「アウェアネス」の実現にどのように作用するかについて考察する。

個別学習においては、学習者は個々に独立した環境で主として知識の習得に努める。学習は学習者が希望する進度にて行われる利点がある。然しながら、一方的に知識を流し込み暗記を促すといったいわゆるスプーン・フィーディングの様相を呈するといった弊害も深刻な問題である。このようにして得られた知識は、暗記問題の様な選択式の記憶力を試す試験においては有効であっても、課題を発見しその解決策を創造するといった学習目的には適合しない。学習者には自ら主体的な経験に基づくリアリティを伴った知識の蓄積が必要であり、知識から知恵への昇華が求められるのである。このような感覚を表現する概念として「クオリア」の適用を図った。具体的な実現手段として、「クオリア」で表現される感覚を学習により習得される知識への「気づき」と置き換えて、ITR と学習者との相互作用を活用することにより、知識への「気づき」を誘導するアプローチを行った。

グループ学習においては、学習者はインターネットに接続された他の学習者と仮想グループを形成しグループ学習を行う。そこでは、学習の第1段階で蓄積された知識を応用する場として、問題解決のためのアイデア提案や学習者間の意見交換によりアイデアのブラッシュアップを行う。グループ学習を円滑に

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

行うためのパラメータのひとつが協同学習者の存在感である。学習者が一堂に会して行う形態の場合は、学習者は無意識のうちに協同学習者の存在を感じ取っている。然しながら、インターネットに接続された学習者間においては大きな課題である。協同学習者の存在感を表現する概念として「アウェアネス」の適用を図った。具体的な実現手段として、「アウェアネス」で表現される存在感を学習者の存在への「気づき」と置き換え、ITR と学習者との相互作用によって学習者の挙動に関わる情報を得る。そして ITR 経由で他方の学習者側に設置された ITR を用いて再現し伝達することによって、グループ学習においては協同学習者の存在への「気づき」を引き出すアプローチを行った。

このように、「クオリア」と「アウェアネス」の2つの概念を適用し、学習による知識への「気づき」、また協同学習者の存在への「気づき」を誘導することにより、従来の e-Learning システムにおいては難しかった学習効果を得るために、その実現手段として ITR の活用を図った。

4.4 ITR のジェスチャーによる相互作用

前述の「クオリア」や「アウェアネス」の2つの概念を適用し、ITR の相互作用を活用して「気づき」を誘導することによる学習効果の向上を図った。

ITR から学習者に対するメッセージの伝達手段としては、音声や効果音といった聴覚に関するものとメッセージ性を伴うジェスチャーといった視覚に関するものが挙げられる。本研究では特にリアルな空間に配置された ITR のジェスチャーについて取り組むこととした。

4.4.1 ITR のジェスチャーの定義

ITR を e-Learning システムに適用するにあたり、使用されるジェスチャーの事例を図 4.4 に示す。

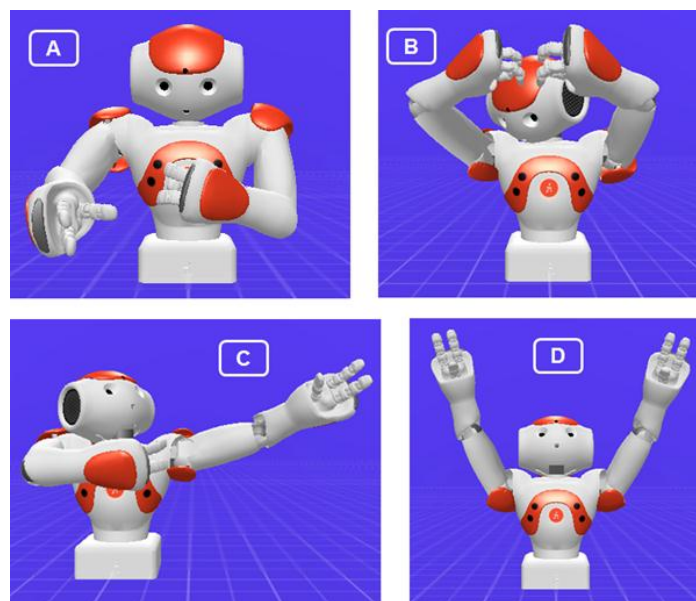


図 4.4: ITR のジェスチャーの事例

本研究の協調型 e-Learning システムに採用した NAO は、二足歩行機能を除いた上半身モデルである。これは、パソコンに併置することを前提にした使用方法では安全確保の面から二足歩行機能は不要と判断したためである。本例では、ITR が学習支援を行う時に、対話の中で出現することが想定される音声発生内容とそれに対応する意味付けされたジェスチャーを示す。図 4.4. [A] に示すジェスチャーは、右手を差し出し握手を求めるポーズを示しており、同時に「宜しくね。」という音声を発する。図 4.4. [B] に示すジェスチャーは、両手で頭をかかすポーズを示しており、同時に「難しいね。」という音声を発する。図 4.4. [C] に示すジェスチャーは、伸ばした手の方向を仰ぐポーズを示しており、同時に「そうしてみよう！」という音声を発する。図 4.4. [D] に示すジェスチャーは、両手を挙げて万歳をするポーズを示しており、同時に「上手くやったね。」という音声を発する。音声合成による言語の発生とそれぞれの発話内容に対応して意味付けをしたジェスチャーとの組み合わせにより、コミュニケーションのリアリティを高める取り組みを行った。また、ITR のジェスチャーは、動作開始から終了までの時間軸においてそれぞれの時刻におけるポーズ

の集合体となる。各ポーズ間の所要時間を早くまたは遅くする操作即ち加速度の調整を行うことにより、ジェスチャーから受ける印象が異なったものとなる。具体的な事例としては、ITRの頭部の動作に注目し、頭を前方に傾けまた元の状態に戻す場合、それぞれの時間配分を調整することにより、ITRが同意を意味する頷き動作を行っているのか、もしくは学習者の反応を促す動作を行っているのかといった意味付けを変化させることができる。各ジェスチャーには、最終的なポーズだけではなく、そのポーズに至るまでのダイナミックな動作プロセスに重要なメッセージ性が伴うと考え、よりリアリティを高めた対話環境を実現するための取り組みを行った。

4.4.2 ジェスチャーのダイナミクス効果

ITRのジェスチャーは、任意の時間枠におけるポーズの集合体となる。最終的なポーズが同じであっても中間の動作過程が学習者に与える印象を異なるものとする。本節では、ジェスチャーがもたらすダイナミクス効果について述べる。図4.5にジェスチャー設定する際の動作波形編集の事例を示す。『わかった。』と意味付けされた状態を示すジェスチャーの事例として、ITRが首を縦に振って頷くジェスチャーを示す。本研究に用いたITRの頭部の自由度は首の縦振りと左右振りの2自由度が与えられている。本事例では、首の縦振り用のアクチュエータのみ活性化している。図4.5.①に示す初期ポーズ、図4.5.②に示す首を前に傾け頷いたポーズ、図4.5.③に示す最終ポーズの3つのポーズを指定し、ポーズ間のアクチュエータの動作は自動補間する。一連のアクチュエータの動作の軌道は波形表示されるが、『わかった。』という状況に対応して、スムーズな曲線や、リニアな直線で表現可能である。この波形のピーク点を前後や上下に移動して編集をすることにより、ジェスチャーから受ける印象を変えることが可能となる。

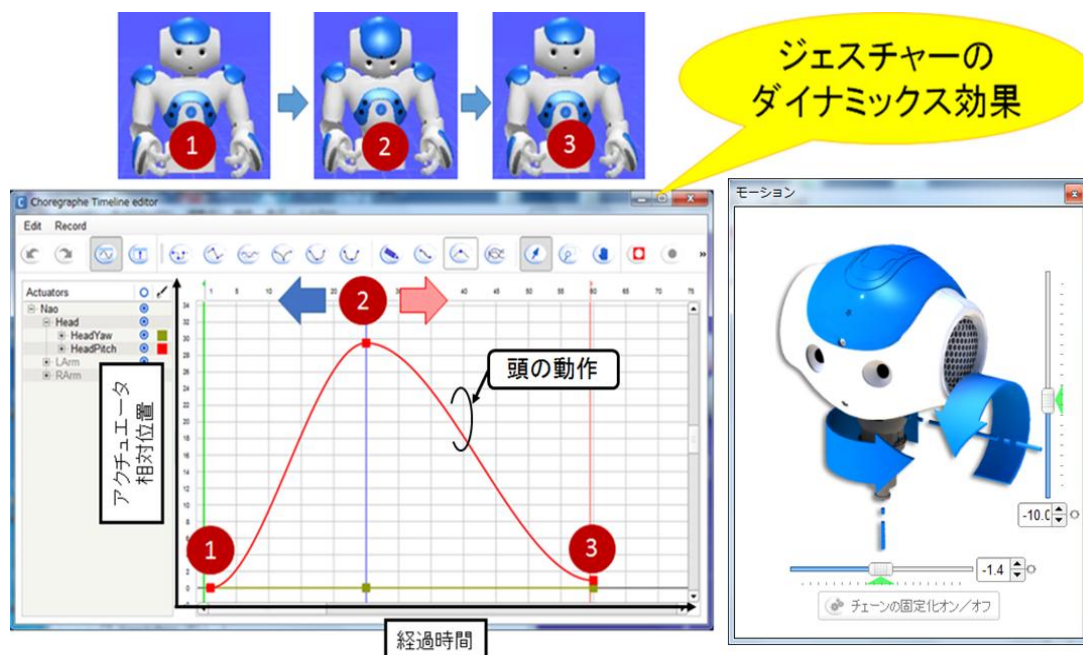


図 4.5: ジェスチャー定義の事例

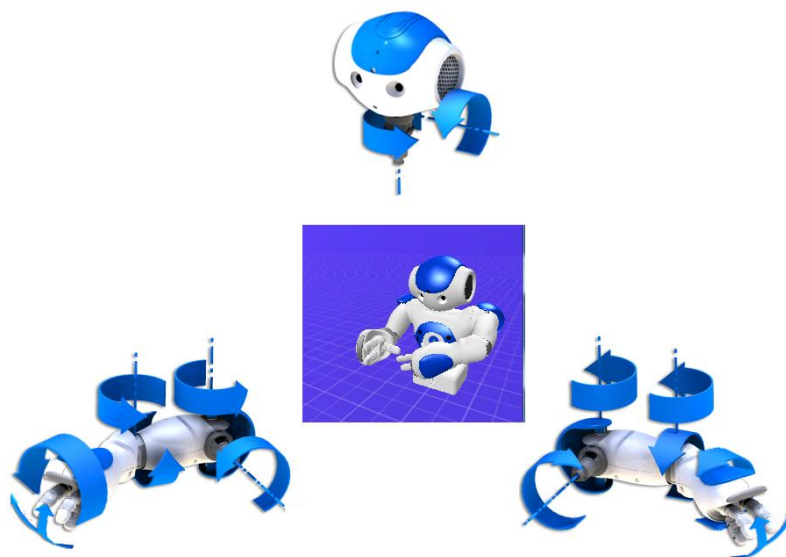


図 4.6: ITR に内蔵されたアクチュエータの配置と動作方向

図 4.6 に、本研究に用いたロボットに内蔵されたアクチュエータの配置と動作方向を示す。頭部には2つのアクチュエータが内蔵されており、自由度は2

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

である。右腕部には6つのアクチュエータが内蔵されており、自由度は6である。同様に左腕部には6つのアクチュエータが内蔵されており、自由度は6である。

4.4.3 ジェスチャーの波形設定手法の比較

前述のジェスチャーのダイナミクス効果を用い、想定した学習場面に適合する印象を学習者に与えるための波形設定手法を比較した事例を以下に示す。

図4.7に一つ目の事例を示す。この場合では、①頭部の動作は単純設定として最短距離で直線的に動作、②頭と腕の連携動作は無しに設定して独立した時間枠で動作している。波形表示ウィンドウでは、ロボットに搭載されたアクチュエータから引き出された破線矢印が示す波形が頭部の動作を示すが、動作波形は直線で表わし、また頭が動作している間、両腕は動作しない設定としている。

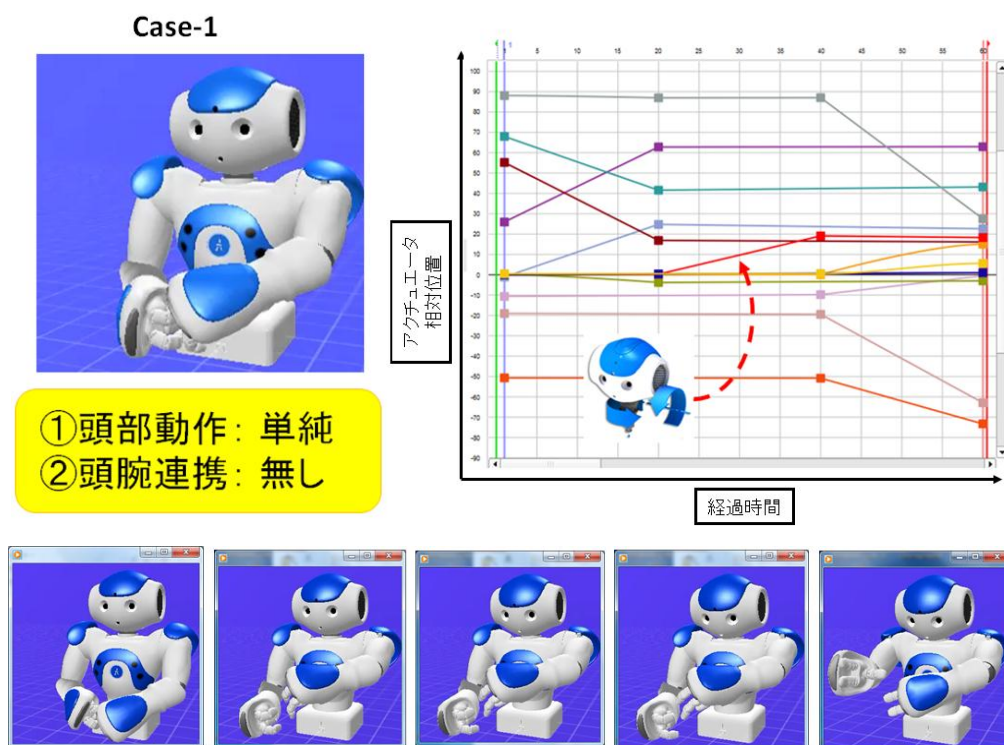


図4.7: ITRのジェスチャーの事例 (Case-1)

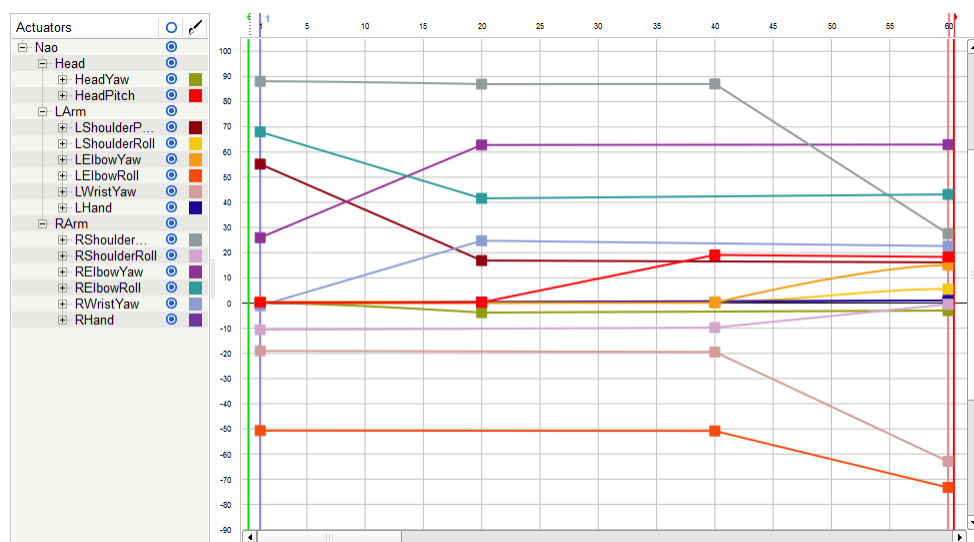


図 4.8: ITR に内蔵されたアクチュエータの波形表示例 (Case-1)

図 4.8 に、ITR に内蔵されたアクチュエータの動作波形の表示画面を示す。画面の左側ウィンドウには、各アクチュエータの名称が表示されている。右側に表示されたウィンドウには各アクチュエータの動作波形が直線的に表示されている。

図 4.9, 図 4.10 および図 4.11 に、図 4.8 で示した動作波形によって実際に ITR が動作する様子を 12 コマのタイムスロットに分割して取得した画像を示す。図 4.9 は、ITR の動作画像を斜め 45 度のカメラアングルにて撮影したものである。図 4.10 は、ITR の動作画像を正面のカメラアングルにて撮影したものである。図 4.11 は、ITR の動作画像を側面のカメラアングルにて撮影したものである。



図 4.9: ITR のジェスチャーの分解画像 (Case-1:斜面)



図 4.10: ITR のジェスチャーの分解画像 (Case-1:正面)

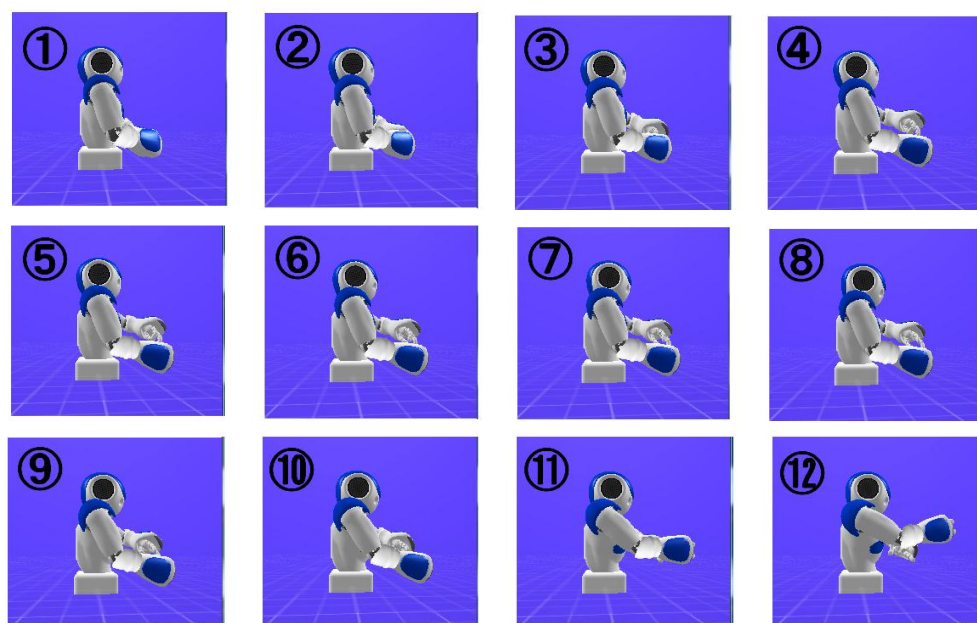


図 4.11: ITR のジェスチャーの分解画像 (Case-1:側面)

図 4.12 に二つ目の事例を示す．この場合では，前述の図 4.7 の場合と同じ意味付けをされたジェスチャーを用いており，①頭部動作を複雑設定とし頭を一旦上部方向にオーバーアクションを行い，②頭と腕の連携有りの設定をして同一の時間枠で頭と腕が連携動作する設定をしている．波形表示ウィンドウでは，前例と同様にロボットの頭部に搭載されたアクチュエータから引き出された破線矢印が頭部の動作を示すが，動作波形はスムーズな曲線で表現し，頭部を上下方向にオーバーアクション気味に動作している．そして，頭が動作中に腕も連携して動作している．

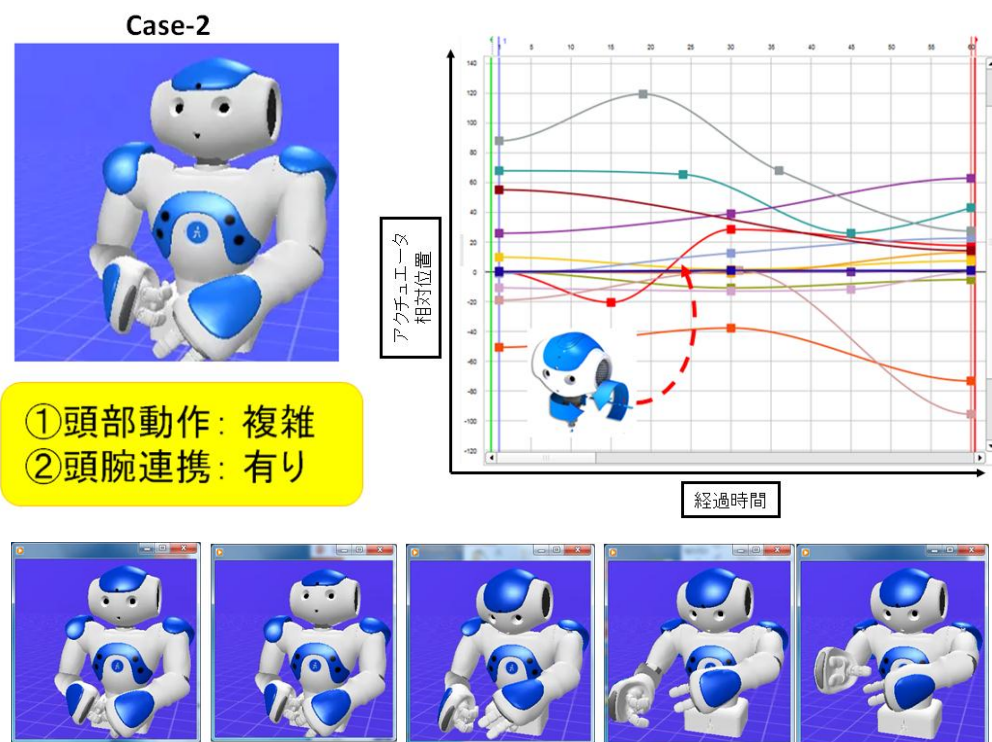


図 4.12: ITR のジェスチャーの事例 (Case- 2)

図 4.13 に、ITR に内蔵されたアクチュエータの動作波形の表示画面を示す。画面の左側ウィンドウには、各アクチュエータの名称が表示されている。右側に表示されたウィンドウには各アクチュエータの動作波形がスムーズな曲線で表示されている。

図 4.14, 図 4.15 および図 4.16 に、図 4.13 で示した動作波形によって実際に ITR が動作する様子を 12 コマのタイムスロットに分割して取得した画像を示す。図 4.14 は、ITR の動作画像を斜め 45 度のカメラアングルにて撮影したものである。図 4.15 は、ITR の動作画像を正面のカメラアングルにて撮影したものである。図 4.16 は、ITR の動作画像を側面のカメラアングルにて撮影したものである。

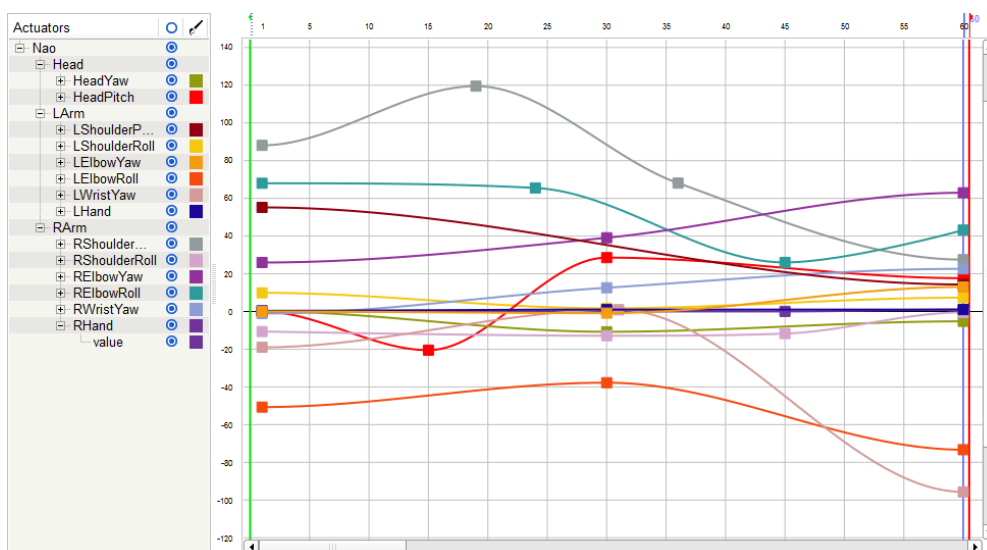


図 4.13: ITR に内蔵されたアクチュエータの波形表示例 (Case-2)

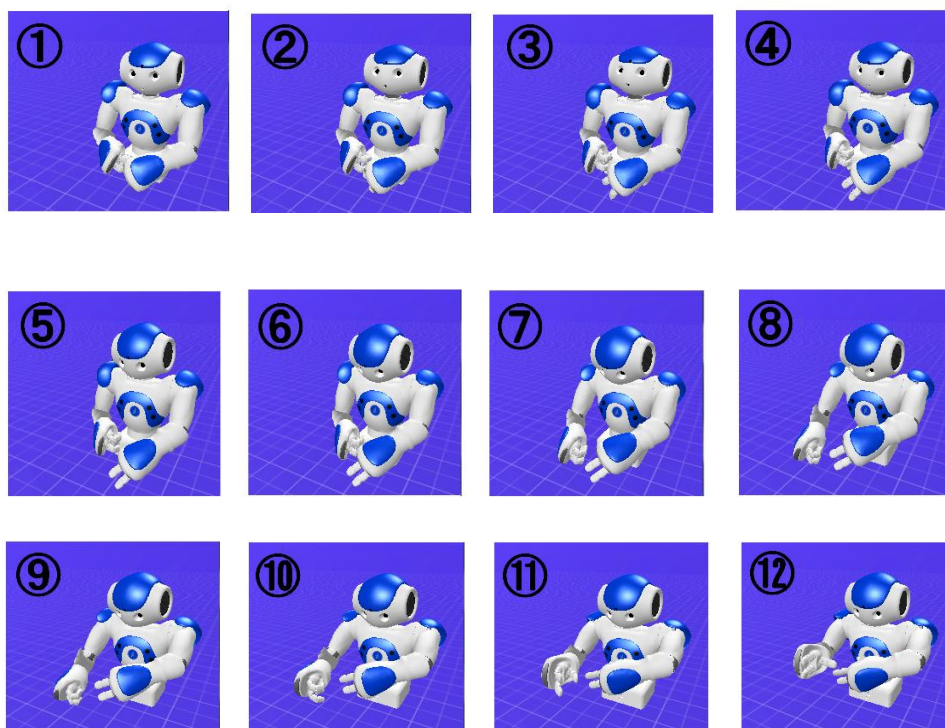


図 4.14: ITR のジェスチャーの分解画像 (Case-2 : 斜面)

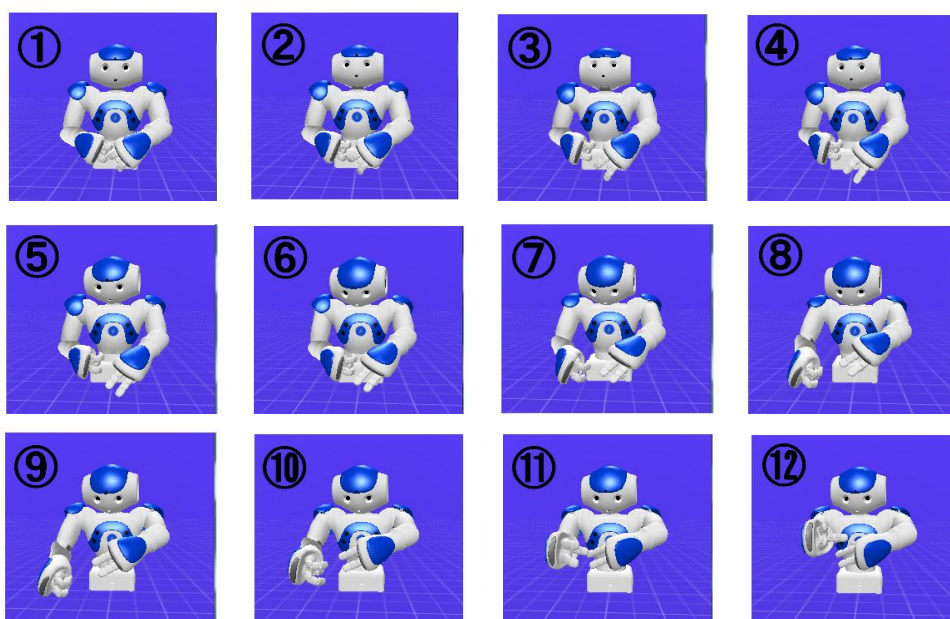


図 4.15: ITR のジェスチャーの分解画像 (Case-2 : 正面)

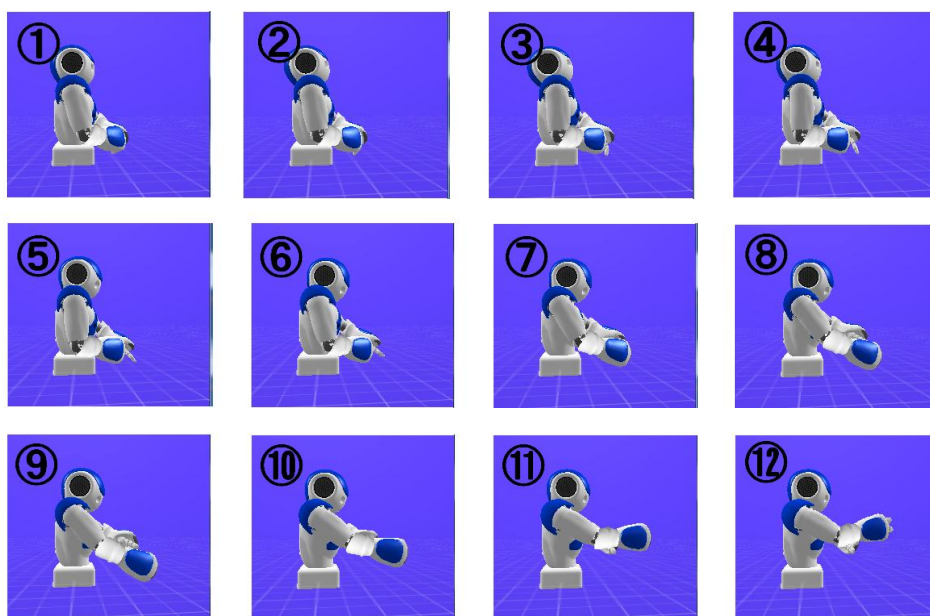


図 4.16: ITR のジェスチャーの分解画像 (Case-2 : 側面)

図 4.7 と図 4.12 におけるジェスチャーの波形設定手法の比較の結果, ITR が学習者に発するジェスチャーのメッセージ性を向上するために頭部の動作およ

び頭部と腕部の連携動作の2項目を活用することとした。これら2項目を活用したジェスチャーの考察については次項において述べる。

4.5 ITR のジェスチャーにおける

ダイナミックス効果の考察

学習の第1段階では、ITRのジェスチャーが如何に学習者の意識を誘導できるか、学習の第2段階では協同学習者の存在感を如何に引き出せるかの2点に着目し、ジェスチャーのダイナミックス効果を活用するためにITRの波形設定を行った。頭部のジェスチャーに関しては、一旦首を上げて最終ポーズのポジションの反対方向に首振り動作波形を挿入して首の縦振り動作が学習者に印象付けられる様にオーバーアクション動作設定としている。この設定により、ITRが学習者に対して注意を喚起し、視線を注いでいると言った印象を与える動作となっているか波形編集画面上で動作観測しながら調整を行った。また、頭部と腕の連携動作に関しては、右腕を上げる動作に連携して頭を上げる動作を行うことにより、差し出した右腕へ注がれたロボットの視線に合わせて学習者の意識を右手に誘導するように動作がなされているか波形編集画面上で動作観測しながら調整を行った。ITRから学習者に注がれる視線を意識付けることやメッセージ伝達の際に最重要と考えられるITRの部位に学習者の意識を誘導することを波形調整目標とした。

個別学習においては、ITRのジェスチャーを活用し、学習者にITRの発する学習補助メッセージを伝達し、適時な助言を受けたという経験的記憶が付加されることにより、学習により習得された知識への「気づき」の誘導を図った。また、グループ学習においては、ITRは予めプログラムされた学習補助動作に加えて協調型 e-Learning を用いて学習している他の学習者の挙動をモニタリングし、その状況を他の学習者に対してITRのジェスチャーで再現し伝達する

ことにより協同学習者の存在への「気づき」を引き出すことを目指した。グループの意思決定などの学習指導要項の実施において効果をもたらすことを狙いとした。

このように、ジェスチャーのダイナミクス効果を活用することにより、従来の e-Learning では難しかった学習者と ITR 間の相互作用による「気づき」の実現を図った。

4.6 実験観察と SD 法による評価

本研究で提案した協調型 e-Learning システムにおいて、設置された ITR のジェスチャーが学習者の反応にどのような影響をもたらすか、また学習者にどのような印象を与えるか、それが「気づき」の誘導に寄与しているかという点に関して、実験環境を用いて被験者の反応の観察を行うと共に、SD (Semantic Differential) 法を用いてアンケート調査を行った [26, 27, 47]。前者は、客観的評価法のひとつとして用い、後者は、人間と相互作用をするロボットの評価手法として先行して用いられている一手法であり、学習対象となるシステムの印象を評価する主観的評価法として用いた。

図 4.17 に評価に用いた実験環境を示す。本例では3種類の実験環境を設定して行った。図 4.17. Case-1 は、ノート・パソコン上に表示された教育コンテンツに併設される形で3Dイラストのインストラクターを配置したものであり、イラストは固定されたままで動作しない。図 4.17. Case-2 は、ノート・パソコンに表示される教育コンテンツに併設される形で3Dアニメーションロボットのインストラクターを配置したものであり、3Dアニメーション技術を用いて動画として表示される。図 4.17. Case-3 は、外部にリアルなロボットのインストラクターを配置したものであり、現実空間でリアルなロボットが動作する。このリアルなロボットは、本研究で示す ITR と同義である。この3種類の

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

評価において、従来方式と比較、および仮想空間と現実空間における ITR のジェスチャーが学習者に与える印象の違いを評価した。



図 4.17: チュータを伴う評価環境

図 4.18 に実際の評価に用いた ITR を活用した協調型 e-Learning システム環境を被験者が利用している様子を示す。

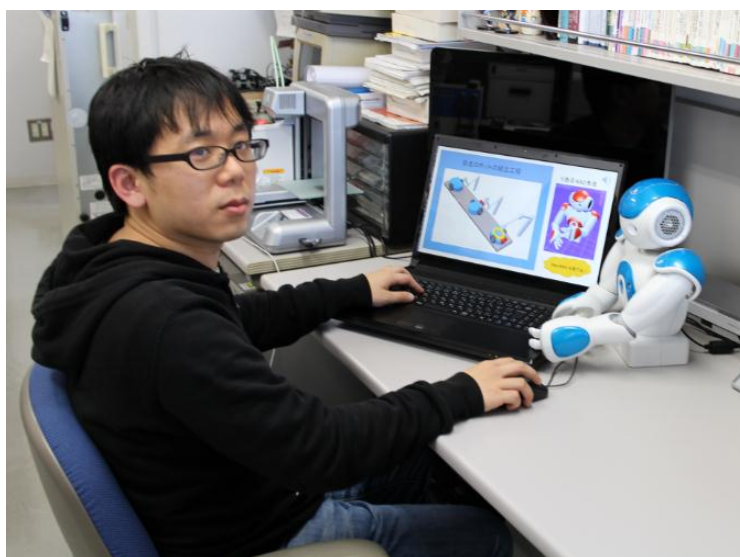


図 4.18: ITR を伴う e-Learning システムの実験環境

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

本実験環境においては、協調型 e-Learning システムを用いた学習の第1段階での個別学習において想定される ITR のジェスチャーとして、ノート・パソコンに表示されるコンテンツへの被験者の視点を誘導する動作と被験者の挙動に対する同意を示す動作を展示した。また、第2段階でのグループ学習において想定される ITR のジェスチャーとして、協同学習者の挙動の内、特に相手の発言を求める動作や被験者の発言に同意を示す動作を展示した。

本実験環境における被験者の反応について観察した結果、学習過程の第1段階を想定した ITR のジェスチャーに対しては、ITR の腕と頭の動きに合わせて ITR が指し示すノート・パソコンのコンテンツ表示画面への視線の移動が認められ、ITR の頭の上下動作に対しては、被験者への同意を示す頷き動作と認識されたことが認められた。また、学習過程の第2段階を想定した ITR のジェスチャーに対しては、被験者の発言を促す ITR の腕の動きに対し何らかの発言をしようとする挙動が認められ、ITR の頭の上下動作に対しては第1段階と同様に頷き動作と認識されることが認められた。

このように ITR のジェスチャーに反応して、被験者の意識が ITR の頭部や腕部に向けられていること即ち「気づき」の誘導が認められた。

表 4.1 に SD 法を用いて実施した結果を示す。表中の折れ線グラフは、3種類の実験における評価ポイントの平均値をプロットしたものである。表 4.

1. Case-3 は、本研究に示す ITR を用いた事例であるが、従来方式に相当する表 4. 1. Case-1 に比較して相対ポイントが大きい項目に注目すると、「新鮮」「革新的」「暖かい」「近づき易い」といった ITR に対して肯定的な印象が被験者にもたらされていることがわかる。「クオリア」や「アウェアネス」実現の具体的項目として取り組んだ「気づき」を誘導するために ITR に設定調整したジェスチャーが、学習過程において想定される場面において被験者にとって

第4章 協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット

肯定的な印象として意識され、「気づき」を誘導する上で有効に作用することが認められた。

また、本システムの評価にあたり、被験者のロボット分野に関する経験や興味が SD 評価に与える影響を検証するために被験者のプロフィール調査を併せて実施した。表 4.2 に調査結果を示す。本システムの評価に参加した学生は報告者が所属するシステム制御研究室配属の学部3年生および4年生、大学院修士1年生および2年生であり、被験者の標本数は10名である。質問項目は、コンピュータ経験、ロボットに対するイメージ、評価したシステムへの将来像について構成されている。結果は、「コンピュータ経験を有し」、「人の手助けをするロボットをイメージし」、「実験対象システムについては将来便利になる」と感じている学生像として捉えられる。理工系を志向する学生の中でも特にロボットに興味を持ち、コンピュータやプログラミングの経験があり、ロボットを活用した教育システムを使用するにあたり、比較的導入障壁が低く興味を持って参加することが期待できる学習者層と考えられる。

表 4.1: チュータの比較評価

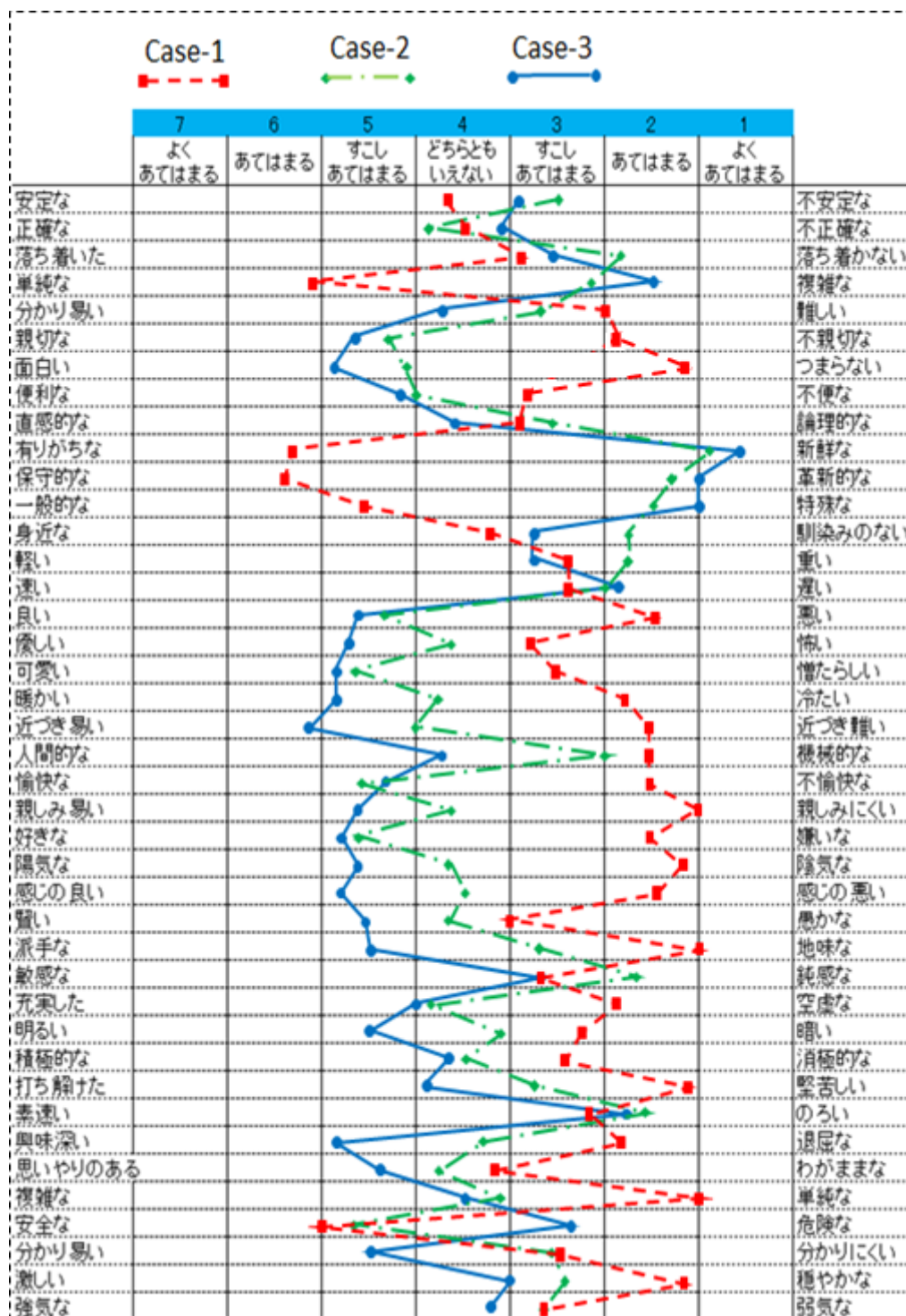


表 4.2: 被験者のプロフィール

Q1	コンピュータの使用歴はどのくらいですか？	
A1	5年以上	80%
A2	1年から5年未満	20%
A3	1年未満	0%
Q2	コンピュータのプログラムを作成したことがありますか？	
A1	趣味や研究などで時々作成する	40%
A2	作成したことがある	60%
A3	作成したことがない	0%
Q3	テレビ番組でロボットコンテストを見たことがありますか？	
A1	毎年、1度は見る	0%
A2	見たことがある	60%
A3	見たことがない	40%
Q4	家にロボットのおもちゃがありますか？	
A1	たくさん持っている	0%
A2	少し持っている	50%
A3	まったく持っていない	50%
Q5	ロボットの登場する映画を見たことがありますか？	
A1	好んでよく見る	20%
A2	時々見る	50%
A3	自ら積極的に、あまり見ない	30%
Q6	ヒューマノイド型ロボット(人型ロボット)を見たことがありますか？	
A1	興味をもって、よく見た	10%
A2	見たことがある	70%
A3	見たことがない	20%
Q7	「ロボット」という言葉を聞くとどのようなものを想像しますか？	
A1	鉄腕アトムやドラえもんのような人間の手助けをするもの	70%
A2	ペットロボットのように人間の手助けをしないもの	10%
A3	産業用ロボット	20%
Q8	金額的に手が届けば、SoftBankのPepperのようなロボットを購入しますか？	
A1	パソコン程度の価格なら購入する(10~20万円程度)	0%
A2	家電品程度なら購入する(5~10万円程度)	40%
A3	購入しない	60%
Q9	インターネットを使った遠隔教育システムにヒューマノイド型ロボットが活用されるとあなたの学習環境はどう変わりますか？	
A1	とても便利になる	30%
A2	それなりに便利になる	60%
A3	あまり変わらない	10%
Q10	インターネットを使った遠隔教育システムにヒューマノイド型ロボットが活用されるのはいつごろだと思いますか？	
A1	10年以内	40%
A2	20年以内	40%
A3	30年以上	20%

4.7 まとめ

本章では、協調型 e-Learning システムにおける相互作用型チュータ・ロボット(ITR)の提案をした。まず、ITR を配置した協調型 e-Learning システムの全貌とシステムを利用する学習者と ITR の間で発生する相互作用について考察を行った。相互作用を活用することにより、個別学習とグループ学習において、学習者の「気づき」を誘起し学習効果の向上を図った。相互作用の内、特に ITR のジェスチャーに着目し、ジェスチャー生成手法の比較とジェスチャーのもたらすダイナミクス効果について考察した。実験観察による客観評価と SD (Semantic Differential)法による主観評価を実施し、ITR のジェスチャーが「クオリア」と「アウェアネス」の実現にどのように作用するか、また個別学習とグループ学習それぞれにおいて学習者にもたらす効果について確認した。

個別学習において、相互作用型チュータ・ロボット(ITR)は、学習者にとって必要な時に助言やコメントをしてくれる存在として肯定的に捉えられる。グループ学習においては、協同学習者の挙動を再現することでその存在感を引き出すことができる。このように、協調型 e-Learning システムにおける有用な存在であることが確認された。

第5章
協調型 e-Learning システムにおける
仮想グループ学習支援ロボット・
ネットワーク・シミュレータ

5.1 はじめに

本章では、協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット・ネットワーク・シミュレータの提案をする。第2章で定義した学習の第2段階において行われるグループ学習を支援するために、仮想グループ運用管理チュータ (Virtual Group Managing Tutor : VGMT) を提案し、その構成と機能について示す。グループ学習において、学習者はコミュニケーションによって結合された相互作用型チュータ・ロボット (Interactive Tutor Robot : ITR) を経由してインターネットに接続され仮想グループを形成する。仮想グループの中では、ITR を経由して学習者間でディスカッションが行われ、最終的にグループの意思決定[48-52]がなされる。そのため、仮想グループを運用管理し、グループの意思決定を支援する機能が必要となる。そこで、学習者と ITR により構成される仮想グループをロボット・ネットワークとしてモデル化し、論理的な接続形態を示すトポロジを設定する。そして、仮想グループにおけるディスカッションの進捗状況に適合するトポロジは、VGMT によって動的に切り換えが行われる。VGMT は、ロボット・ネットワークを運用管理する機能に加えて仮想グループの意思決定を支援する機能も有する。VGMT による意思決定支援機能は、従来の意思決定支援システム(DSS)やエキスパート・システム(ES)と異なり、仮想グループを構成する学習者の知恵を引き出し、他の学習者との共有を支援することにより最終的な結論を誘導するものである。プロトタイプの場合・スタディとして、エージェント・ベースト・モデル(ABM)を活用した仮想グループ・ネットワーク・シミュレータの適用事例について示す。最後に、仮想グループの運用開始前、運用段階、運用終了後の3段階における VGMT の利用形態を示し、グループの意思決定過程において VGMT が学習者にもたらす効果について考察する。

5.2 e-Learning システムにおける仮想グループの運用管理

ノート・パソコンとインターネットの普及により、さしたる困難なく e-Learning の環境機器を入手することが可能となった。インターネットに接続されたノート・パソコンを経由して、様々な e-Learning のコンテンツを取得することが可能となってきた。従来の e-Learning システムにおいては、e-Learning のコンテンツはノート・パソコンのディスプレイに表示される。ノート・パソコンのディスプレイ上で、学習者は目標とする科目のコンテンツを閲覧し、関連する知識を習得し、そしてポップアップ・ウィンドウに表示される演習機能を用いて小規模なテストを行うことによって理解の進捗やレベルを確認する。

本研究では、従来の e-Learning システムでは支援が難しかったグループ学習を支援する新たな e-Learning システムとして、その端末機器の構成、学習ステップ、そして仮想グループ運用管理手法について提案する。この新たな e-Learning システムは、グループ学習を支援する機能を有することを明示的に表現するために、協調型 e-Learning システムと定義する。

5.2.1 協調型 e-Learning 端末機器の組み合わせ

提案のシステムにおいては、協調型 e-Learning システムの端末機器としてノート・パソコンとヒューマノイド・ロボットが設置される。図 5.1 に、協調型 e-Learning システムの端末機器としてノート・パソコンとヒューマノイド・ロボットの組み合わせを配置した事例を示す。ノート・パソコンは、インターネットに接続され、目標とする協調型 e-Learning の科目のコンテンツを表示する。ヒューマノイド・ロボットも同様にインターネットに接続され、学習者が対象とする協調型 e-Learning のコンテンツを学習する際の支援を行う。このヒューマノイド・ロボットは、相互作用型チュータ・ロボット

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

(Interactive Tutor Robot : ITR)と定義され、学習者とのコミュニケーションを行う形態で相互作用を実現する。配置されたヒューマノイド・ロボットは、強力な相互作用機能を持ち、学習者との様々なコミュニケーション手法を実現するためのユーザ・インターフェースを有している。



図 5.1: 端末機器としてのパソコンとロボットの組み合わせ

提案の協調型 e-Learning システムは、学習者、ノート・パソコンそして ITR の組み合わせにより構成される。研究室内には、2組のノート・パソコンと ITR の組み合わせを構築した。ノート・パソコンは、インターネットに接続され協調型 e-Learning のコンテンツを表示する。ITR も同様にインターネットに接続され、学習者を支援する。協調型 e-Learning による学習の第1段階においては、ITR は学習者に対して種々の情報を提供する指導役として動作し、ロボットに内蔵されたセンサーを用いて協調型 e-Learning の学習コンテンツの進捗に関して学習者の反応情報を取得する。現状の端末システムにおいては、ノート・パソコンとヒューマノイド・ロボットは分離した構成となっている。

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

ヒューマノイド・ロボット自体も、高性能のマイクロ・プロセッサを内蔵しており、ノート・パソコンと同等の情報処理能力を有する。将来の端末システムにおいてはノート・パソコンとヒューマノイド・ロボットが結合されて、例えば、表示パネルはロボットに取り込まれると考えられる。3次元ホログラムは、将来仮想ディスプレイ機能を実現する手段としてロボットに組み込まれることが期待される。

5.2.2 協調型 e-Learning システムにおける学習ステップ

従来の e-Learning システムにおいては、ほとんどの場合において学習者が個別に学習できるようにコンテンツが提供されている。このような e-Learning システムにおいては、グループ学習の環境を提供することが困難である。そう言った理由から、例えば、現状の大学において試験的に取り組まれている反転授業では、学習者は先ず e-Learning システムを用いて必要な知識を習得する。そして、大学の教室に集合してクラスメイトと一緒にディスカッションやレビューを行うことにより学習対象となる課題の解決を行う形式を採用している。

図 5.2 に、協調型 e-Learning システムにおける学習ステップを示す。図中の左側は個別学習、右側は仮想グループによるグループ学習を示す。従来のスタイルの組織においては、プロジェクト管理者が固定されたグループをタスク・フォース・ルームと呼ばれる部屋に組織し、フェイス・ツー・フェイスのグループ運営を行う。然しながら、この方式は多くの制限や制約が時間的また空間的な問題として存在し、世界中から種々の発想や提案を得ることが難しい。そのため、仮想グループを表現する手法としてのネットワーク・モデルとそれを運用管理するシステムが仮想グループによるグループ学習において有効な機能として働くのである。

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

提案の協調型 e-Learning システムにおいては、2つの段階の学習ステップを考慮した。協調型 e-Learning システムにおける学習の第1段階においては、学習者は関連する分野の情報としての知識を蓄積する。全ての e-Learning のコンテンツは、学習指導要項のリストに従って学習者に提供される。それぞれの e-Learning のコンテンツは、シミュレータの機能を使って構成され、実行モードでは2次元もしくは3次元で表示される。協調型 e-Learning による学習の第2段階においては、全ての学習者はチュータ・ロボットとペアを成し、インターネットに接続される。学習者は、チュータ・ロボットを経由して仮想グループに加わり、学習課題に対して問題の解決や適切な提案を行う。提案の協調型 e-Learning システムにおいては、全ての学習者はインターネットに接続され仮想グループを構成する。そこでは、協調型 e-Learning システムの支援機能として設定された仮想グループ運用管理チュータ (VGMT) の支援を得て種々のディスカッションが実施される。

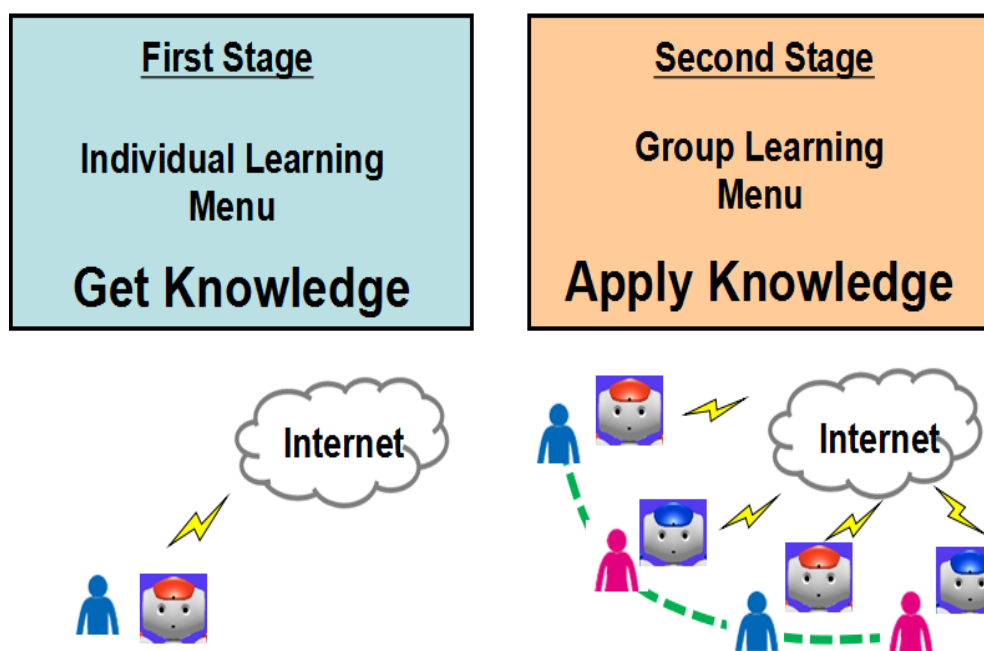


図 5.2: 協調型 e-Learning システムにおける学習ステップ

5.2.3 仮想グループの運用と管理

グループは、種々の組織において運用され管理される。限られた時間内で、十分に議論された結論をもってグループの意思決定を行うことが優先事項である。実際のグループにおいては、グループ運営は定まったコーディネータやオピニオン・リーダーによって統制される。リアルな環境でのグループにおける参加メンバーは、特別に意識することなく協同学習者の存在に関する感覚を得ている。然しながら、インターネットに接続された仮想グループにおいては、上記の存在感を得ることは困難なことである。この問題を解決するために、仮想グループの運営にあたり VGMT システムを適用し、運用管理を行うこととした。

5.3 仮想グループ運用管理チュータ

5.3.1 仮想グループ運用管理チュータへの要求事項

工業や商業分野等の実際の社会においては、様々なグループが組織され管理統制されている。これらのグループは通常プロジェクト・チームやタスク・フォースと呼ばれる。プロジェクト・リーダーは、スマートなプロジェクト・チームまたはタスク・フォースの管理統制が期待される。最終的に、組織の運用やシステムの制御に関しても適切な意思決定が望まれる。近年、システムは大変複雑になり、グループに所属する人員もまた増大している。グループの意思決定を行うことが大変難しくなっている。全てのスタッフは、グループのリーダーとなる可能性を秘めている。グループの意思決定を支援するために、仮想グループ運用管理チュータ (VGMT) を適用することを提案する。VGMT は仮想グループの運用管理を行うことによりグループの意思決定の支援を行う。これまでにいくつかの意思決定システム (Decision Support System : DSS) が既に開発されいろいろな分野において成功を収めている。従来の DSS においては、

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

知識データベースと推論エンジンによって構成されていた。それは、スペシャリストの知識を有するエキスパート・システムとして機能してきた。然しながら、まだ改善されるべき問題が残っていることも事実である。実際に、公共交通システムやエネルギーシステムのような社会システムの管理統制においては、ヒューマン・エラーが深刻な問題である。技術革新の速度は大変速く、直ちに目標とするシステムにリアルタイムで情報取得し把握した結果を反映することは難しくなっている。提案のシステムにおいては、2種類の意思決定支援を行う処理エンジンを備えている。一つ目は、クラウドAIであり、リアルタイムで情報の蓄積を行い、リアルタイムで情報の処理を行う。そして、二つ目は、相互作用型チュータ・ロボット(ITR)であり、人間の頭脳との融合を実現する。

本研究では、インターネットに接続された ITR を適用する。このロボットには、多くの種類のセンサーが内蔵されており、人間との相互作用の実現に適したユーザ・インターフェースを提供する。ロボットと人間との相互作用は、2方向のメッセージの伝達により構成される。ロボットから人間においては、視覚的にはロボットのジェスチャー、聴覚的にはロボットの効果音と音声である。人間からロボットにおいては、人間の表情や動作、音声、ロボットへの接触などがある。

5.3.2 相互作用型チュータ・ロボット(ITR)

図 5.3 に、相互作用型チュータ・ロボット(ITR)に内蔵されたセンサー群の配置を示す。相互作用機能を有するヒューマノイド・ロボット NAO(Aldebaran Robotics 社)を採用したが、これには高度な相互作用を実現するための機能が内蔵されているからである[55, 56]。提案の協調型 e-Learning システムに適用したロボットは、14個のアクチュエータを内蔵し、両腕と頭を動かすことがで

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

きる。そして、サウンドシステムにより音声と効果音を生成できる。これらの機能を用いて、協調型 e-Learning システムのコンテンツとして、学習者にメッセージを伝達することができる。

学習者からロボットへの情報伝達については、視覚的には学習者の表情や態度、聴覚的には音声、触覚的にはタッチセンサを採用した。加えて、超音波システムがこのロボットにおいては利用可能である。提案の協調型 e-Learning システムに用いたロボットには、2セットのカメラセンサー、4セットのマイクروفオン、タッチセンサーが頭部と腕部に内蔵されており、胸部には超音波センサーシステムが内蔵されている。

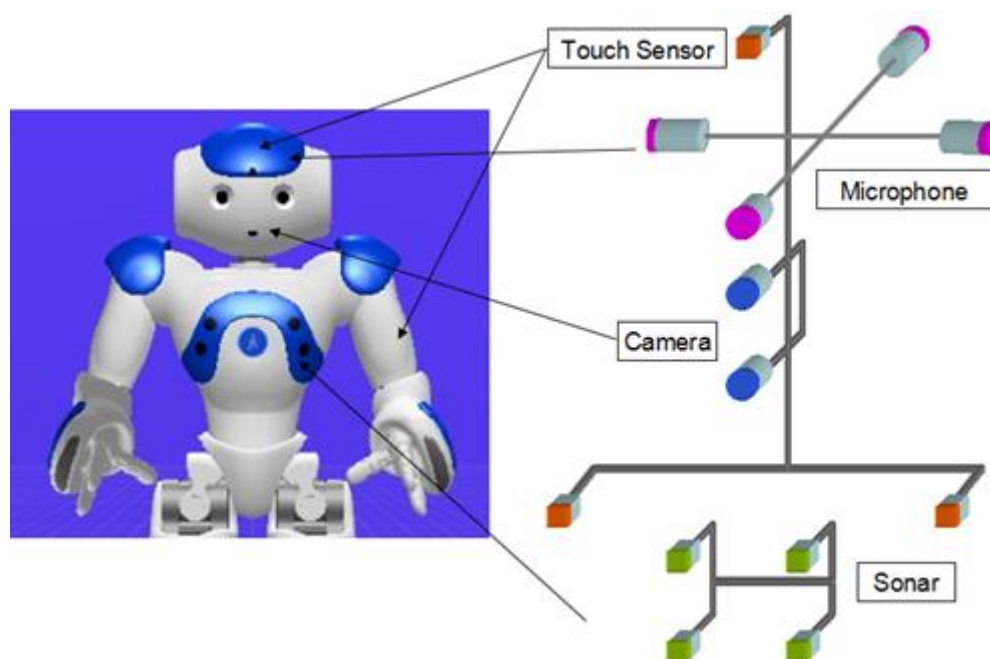


図 5.3: ITR に内蔵されたセンサー群の配置

図 5.4 に、各センサーを活用した学習者との相互作用機能の実現事例を示す。

- (1) 視覚機能を用いた相互作用

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

ITR の頭部に内蔵されたカメラ・センサーの内、上部のカメラにより学習者の顔の表情をモニタリングする。下部のカメラにより学習者の手の動きを中心としたジェスチャーをモニタリングする。

(2) 聴覚機能を用いた相互作用

ITR の頭部に内蔵された4つのマイクロフォンにより、発話者である学習者の声が正面から来る音声として焦点を絞り込む。

(3) 触覚機能を用いた相互作用

ITR の両腕部に内蔵されたタッチセンサーにより、学習者の接触を検知するとともに、ITR の腕を掴んで回すことによりマウスなどのポインティングデバイスの役割を果たす。

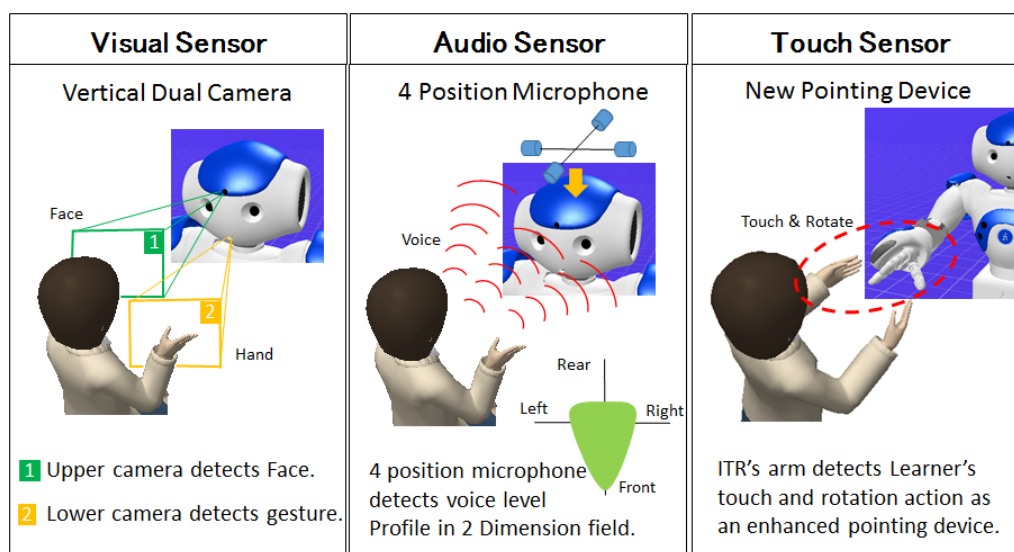


図 5.4: 各センサーを活用した学習者との相互作用の例

仮想グループでは、各学習者はロボットを経由してインターネットに接続される。学習者と ITR はペアを成し、強い相互作用型の接続を行う。学習者と ITR は、学習者からチュータ・ロボット方向、チュータ・ロボットから学習者方向にメッセージを発する。それぞれの学習者の意見情報は、ロボット・ネッ

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

トワークを経由して仮想グループにいる全ての学習者間で共有される。チュータ・ロボットはネットワークを形成し、それぞれにコミュニケーションを行い、それぞれの接続ノードの状態情報を共有する。仮想グループの全てのノードの状態を分析した後に、チュータ・ロボットはサブ・ネットワークを作り、仮想グループにおけるオピニオン・リーダーを選定する。チュータ・ロボットは、各学習者にアドバイスやコメントのメッセージを与える。学習者は、ネットワークの状態情報として、ディスカッションやレビューが行われているステータス情報を入手して、意思決定を行う。このチュータ・ロボットの機能は、協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ運用管理チュータ (VGMT) として適用される。

5.4 仮想グループにおけるチュータ・ロボット・

ネットワーク

提案の協調型 e-Learning システムにおいて、チュータ・ロボットは種々のセンサーの集合体とみなされ、学習者との相互作用を形成する。図 5.5 に、VGMT を用いたロボット・ネットワーク・システムを示す。これは、ロボット・ネットワーク接続の状態を共有し、人間の頭脳との融合を行うものである。学習者から発せられる情報の大部分は、チュータ・ロボットとの相互作用によって伝達される。視覚、聴覚および触覚情報は、チュータ・ロボットに内蔵されたセンサーによって取得される。取得されたデータの前処理は、チュータ・ロボットによって行われ、クラウド・システムに伝送される。前処理は、ネットワークの負荷を低減する。クラウド・サーバに保存されたデータは、解析および再保存され、仮想グループの意思決定支援に活用される。

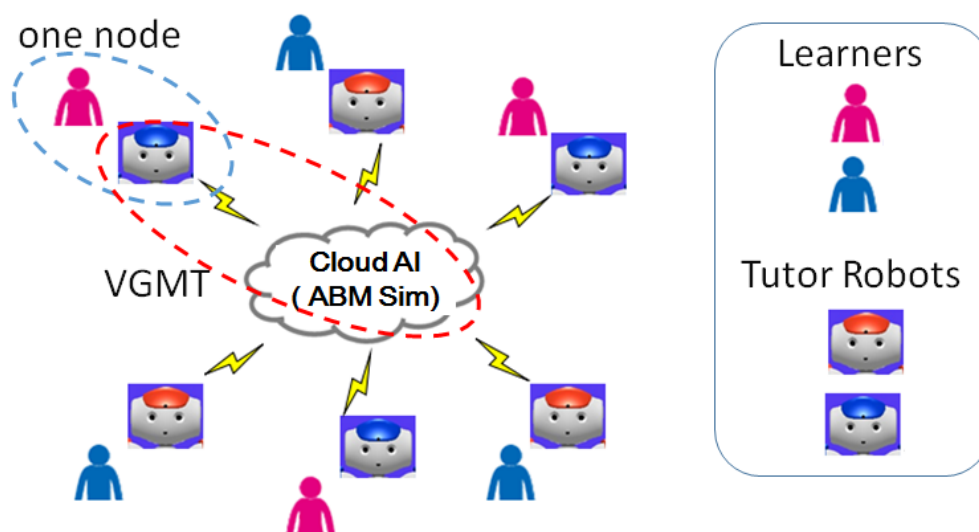


図 5.5: VGMT を用いたロボット・ネットワーク・システム

学習者とチュータ・ロボットのペアは、ネットワークにおいてひとつのノードと定義する。チュータ・ロボットは、物理的にネットワークに接続されており、学習者は相互作用の働きによってチュータ・ロボットと強い結合がなされている。VGMT の支援を得て、最終的に学習者は仮想グループの意思決定を行う。

図 5.6 に、チュータ・ロボットのネットワーク接続の事例を示す。ネットワーク接続形態を簡素化し、6つの丸印で示されたノードで示す。本事例は、6名の学習者が参加した仮想グループを示している。図 5.6. (a)は全ノード接続、図 5.6. (b)は小規模グループ、図 5.6. (c)はペアリングというネットワーク接続形態を表現したものである。チュータ・ロボットはネットワークの状態と各ノードの学習者のメッセージを共有する。仮想グループのディスカッションの状態に従って、チュータ・ロボットはネットワークの接続形態を調整する。例えば、グループ・ディスカッションの初期段階では、チュータ・ロボットは「ペアリング」の接続形態を作り、対を成した学習者間で密な会話がなされるようにし、それぞれの提案やアイデアのブラッシュアップを行う。次に、

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

チュータ・ロボットは、小規模グループを形成し、小さなグループでのディスカッションを実施する。2名からなるペアリングの接続形態において、相互の主張が衝突した場合に議論が進展せず膠着状態となることがある。その場合、3名から構成される最小グループでは、多数決という意思決定手段を用いて議論を進展することが可能となる。

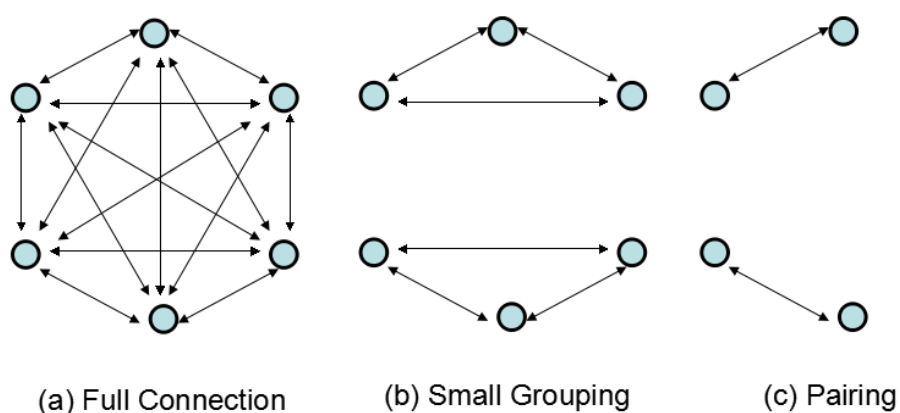
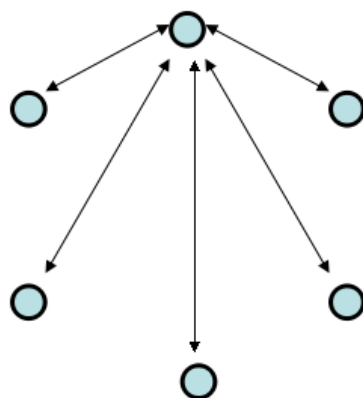


図 5.6: チュータ・ロボット接続の形態(1)

図 5.7 に、グループ・ディスカッションの最終状態を示す。様々な接続形態でのグループ・ディスカッションが行われた後、チュータ・ロボットは支援対象とするグループのオピニオン・リーダーを検出し、図 5.7. (d) に示す「オピニオン・リーダー」という名称の接続形態を行う。オピニオン・リーダーは、学習の第 1 段階での学習習熟度が高く、グループ学習に参加している他の学習者への働きかけも積極的に行うことのできる性質を想定している。仮想グループのグループ意思決定は、オピニオン・リーダーが牽引役となり行われる。



(d) Opinion Leader

図 5.7: チュータ・ロボット接続の形態(2)

5.5 プロトタイプのケース・スタディ

5.5.1 チュータ・ロボット・ネットワーキング・システム

チュータ・ロボット・ネットワーキング・システム(Tutor Robot Networking System : TRNS)は、従来のノート・パソコンを用いたネットワーク・システムに比べて、更に効果的な学習者との相互作用とデータ取得の環境を提供する。チュータ・ロボットには、ビデオセンサ、オーディオセンサ、タッチセンサなどの種々のセンサが内蔵されており、仮想グループにおける学習者のフィードバック情報を捕捉することができる。各種センサが内蔵されたチュータ・ロボットにおけるローカル・コンピューティングは、クラウド・コンピューティングを補完する機能として働き、仮想グループ・ネットワークの状態の運用管理を行う。学習者は、ロボット・ネットワークを経由してグループ学習の進行に必要なアドバイスやコメントを得られる。学習者にとっては、迅速かつ的確な意思決定を行うための新情報を得ることが可能となる。クラウド AI 内に設置される仮想グループ運用管理エンジンにはエージェント・ベースト・モデル (Agent Based Model : ABM) に対応可能な複合手法型シミュレーシ

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

ョンとして、AnyLogic を適用する。実際に学習者が協調型 e-Learning に参加して仮想グループ運用を行う前に、種々の形態のチュータ・ロボット・ネットワーク接続を行う。それにより、仮想グループの運用状態と結論に至るまでの経緯に関する進捗情報を事前に見積もることができる。前述の図 5.7. (d) に示したチュータ・ロボットの接続形態の事例は、AnyLogic を用いたネットワーク・シミュレーションの実行時には、図 5.8 に示すシミュレーション実行ウィンドウに表示される。色付けされた球体は、学習者と ITR のペアを示すノードを表しており、ウィンドウの下部に表示された 2 種類の 3 次元ウィンドウは、注目したいノードを観測視点の中心に位置するように表示位置の調整が可能である。本事例では、青色のノードで示される学習者がオピニオン・リーダーとなった場合を示している。

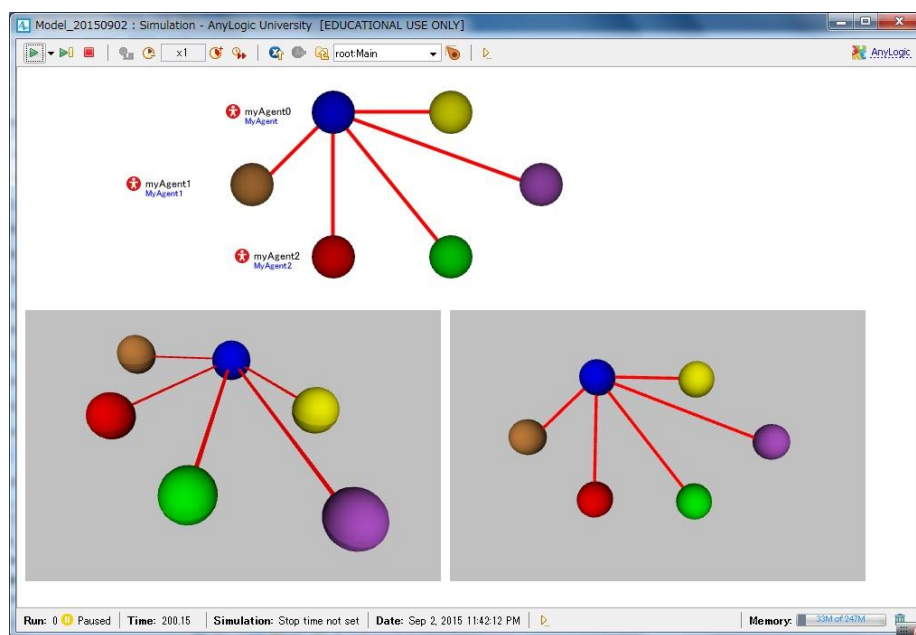


図 5.8: ネットワーク・シミュレーション実行画面

5.5.2 ABM を活用した仮想グループ・ネットワーク・シミュレータ

図 5.9 に、仮想グループにおけるノードに学習者の特質を表すキャラクター情報を追加したエージェント設定の定義を示す。各ノードは、ABM 向けに仕様が定められたパラメータを有する学習者と ITR によって構成される。このシミュレーションにおいては、「アクティブ」と「パッシブ」という2つのパラメータを定義する。学習者のキャラクターがより「アクティブ」に位置する場合は、協調型 e-Learning における学習の第1段階での習熟レベルが高く、グループ学習において他の学習者への手助けができるといった積極的な特質を持った学習者像を想定している。また、学習者のキャラクターがより「パッシブ」に位置する場合は、協調型 e-Learning における学習の第1段階での習熟レベルが低く、他の学習者からの手助けを必要とするといった消極的な特質を持った学習者像を想定している。

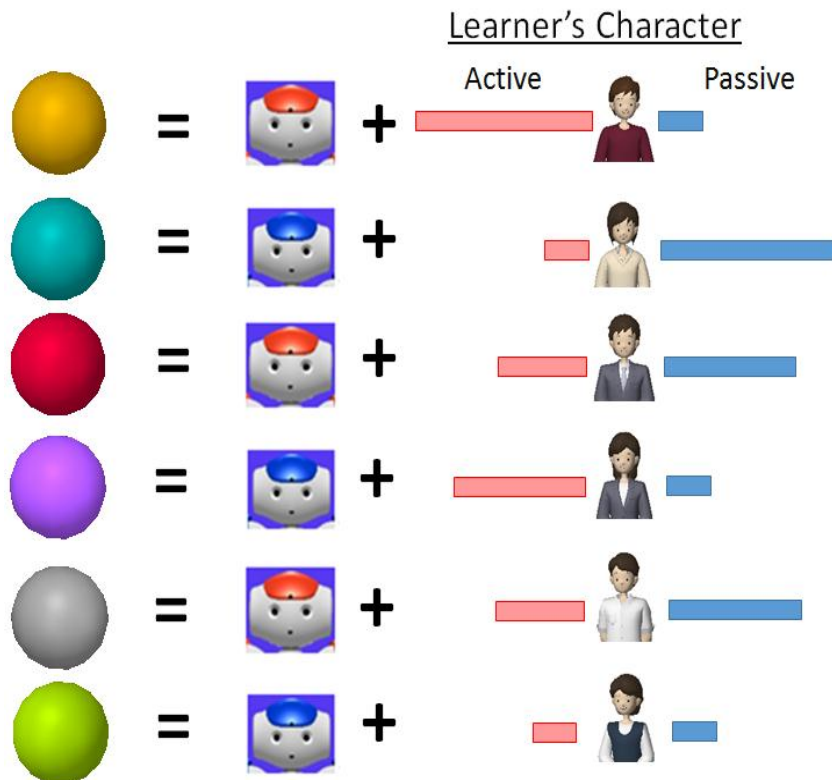


図 5.9: 仮想グループにおけるノード定義

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

図 5.10 に、仮想グループ運用管理シミュレーション実行モードのウィンドウ画面の表示例を示す。図 5.9 で示した学習者のキャラクターは、ウィンドウ内の右上に表示されたスライドスイッチにより「アクティブ」「パッシブ」レベルの設定ができる。本事例では、6名の学習者が参加している仮想グループを示している。ウィンドウ内の左上に表示されている球体は学習者を示すノードであり、「アクティブ」レベルが高い場合はより大きく表示され、「パッシブ」レベルが高い場合は、より小さく表示される。本事例では、赤色で示されたノードの学習者の「アクティブ」レベルを最大にし、紫色で示されたノードの学習者の「パッシブ」レベルを最大としている。

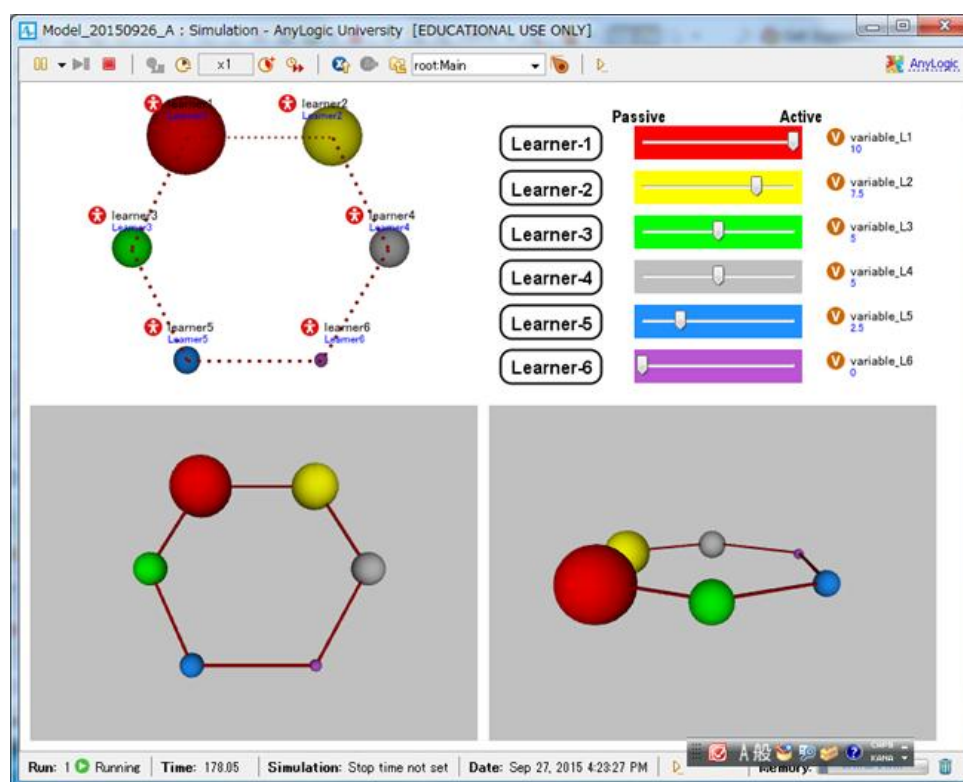


図 5.10: 仮想グループ運用管理シミュレーションの実行画面

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

図 5.11 に、仮想グループ運用管理シミュレーションの状態遷移を示す。仮想グループ運用状態に関し、図 5.11. (a)は初期状態、図 5.11. (b)は最終状態を示す。初期状態においては、各ノードは同じサイズの色付きの球体で表現される。最終状態においては、アクティブなノードは大きな色付き球体に変化し、パッシブなノードは、小さな色付き球体に変化する。球体のサイズは、仮想グループにおける学習者の積極性のレベルを示す。各ノードは、種々の太さの接続パイプを持ち、それは接続の強度を示し、学習者間の情報交換の粗密状態を表している。接続パイプが太く表示されている場合は、学習者間のコミュニケーションが頻繁に行われていることを示し、細く表示されている場合は、学習者間のコミュニケーションが余り行われていないことを示す。ノードの接続に関し球体の大きさと接続パイプの太さという2種類の情報を得た後、VGMTはその情報を共有し、仮想グループの運用管理を行い、ディスカッションの方向性と結論に至るまでのプロセスを誘導する。また、これらのネットワーク状態を示す3次元画像は、グループ学習に参加している学習者に提示され、学習者が観測したい視点を中心に調整した画像表示が可能である。学習者は、グループ学習において、自己のネットワークにおけるステータスを把握することができる。

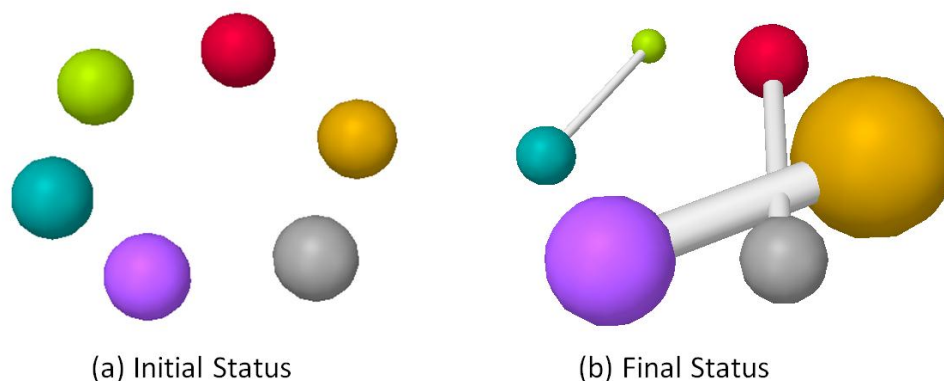


図 5.11: 仮想グループ運用管理シミュレーション状態遷移

5.5.3 ITR と学習者を独立表示したネットワーク・モデル

前節では、ネットワーク・モデルを簡素化して、学習者と ITR を融合したノードを用いて表現する手法を述べた。本節では、それを拡張し学習者と ITR を分離独立して表示する手法について述べる。図 5.12 に、物理的な接続と協調型 e-Learning システムのネットワーク・モデルを示す。ITR は、学習者との相互作用を行い、クラウド AI に接続される。クラウド AI は仮想グループ運用管理エンジンとして機能する。ITR とクラウド AI による仮想グループの運用管理は、協調型 e-Learning システムの環境下で反転授業(Flipped Classroom)を行うことを可能とする。

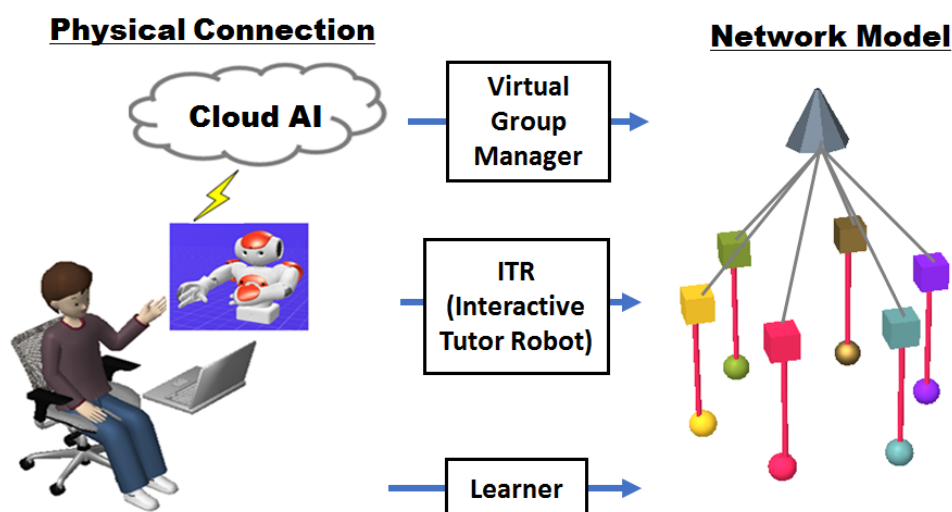


図 5.12: 協調型 e-Learning システムの物理的接続とネットワーク・モデル

本ネットワーク・モデルにおいて、学習者と ITR を分離独立して 2 階層のネットワークを構築した理由を以下に述べる。提案の協調型 e-Learning システムに適用した相互作用型チュータ・ロボット (ITR) は、大別して 2 つの機能を有する。先ず一つ目は、学習者がネットワーク上に構成された仮想グループに参加するため、ネットワーク接続を支援するユーザ・インターフェースを実現

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

するためである。学習者がネットワークに接続して仮想グループに参加するといった利用形態は、従来方式であるグラフィック・ユーザ・インターフェース (GUI) を用いても可能である。然しながら、仮想グループへのアクセスの主導権は学習者側にあり、最悪の場合接続はしたものの何ら発言をしないという場合も考えられる。ITR を活用した協調型 e-Learning システムの場合は、ITR の相互作用機能を活用して、学習者にロボット・ユーザ・インターフェース (RUI) を提供する。学習者は、ITR とのコミュニケーションを主体とした相互作用により、種々のアドバイス等の支援を得るとともに、学習者から発せられる無意識の表情や態度といった付帯情報を ITR を経由することによって仮想グループに発信することができる。二つ目は、ITR が学習者のインターフェース機能のほかに、学習支援機能を有することにある。ITR には、チュータ・ロボット間で情報共有を行うためのネットワーク通信機能を有している。ITR は、それぞれのノードに接続された学習者との相互作用を通じて種々の学習支援を行い、それぞれのアクションに対する学習者の反応を学習支援データベースとして蓄積することができるとともに、効果のあるアクションについては他の ITR とその情報を共有することが可能である。これは従来のインターフェースにはない、ITR の優位性を示す機能でもある。従って、協調型 e-Learning システムを運用することによって、学習者が成長するとともに、学習支援をするチュータである ITR そのものの成長も期待できる。このような理由から学習者と ITR のネットワークを2階層表示するネットワーク・モデルを採用した。協調型 e-Learning が支援する仮想グループにおいては、VGMT を構成する ITR が主要技術要素として作用し、学習者のグループ・ディスカッションを支援し、反転授業において問題点の発見や最も良い解決策の誘導に寄与する。

図 5.13 に、仮想グループの運用管理におけるネットワーク形態を示す。図 5.13. (a) は、ITR ネットワークの初期接続状態として「ITR リング」を意味

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

し、グループ・メンバーの認証を行う。図 5.13. (b)は、ITR ネットワークの最終状態として「ITR フル・コネクション」を意味し、ターゲットとする仮想グループの最終情報を共有する。仮想グループ運用管理エンジンの情報と ITR 間で共有された情報に従って、学習者はガイドされ、いくつかのネットワーク・トポロジを形成し、グループ・ディスカッションを進める。図 5.13. (c)は、学習者の初期におけるピア・ツー・ピア接続として「Learner Pair」を意味し、コミュニケーションを開始する。図 5.13. (d)は、学習者の最小グループ構成の状態としての「Learner Small Group」を意味する。

ITR は、学習者を誘導して、適切な結論を伴ってグループ・ディスカッションを終結させる。

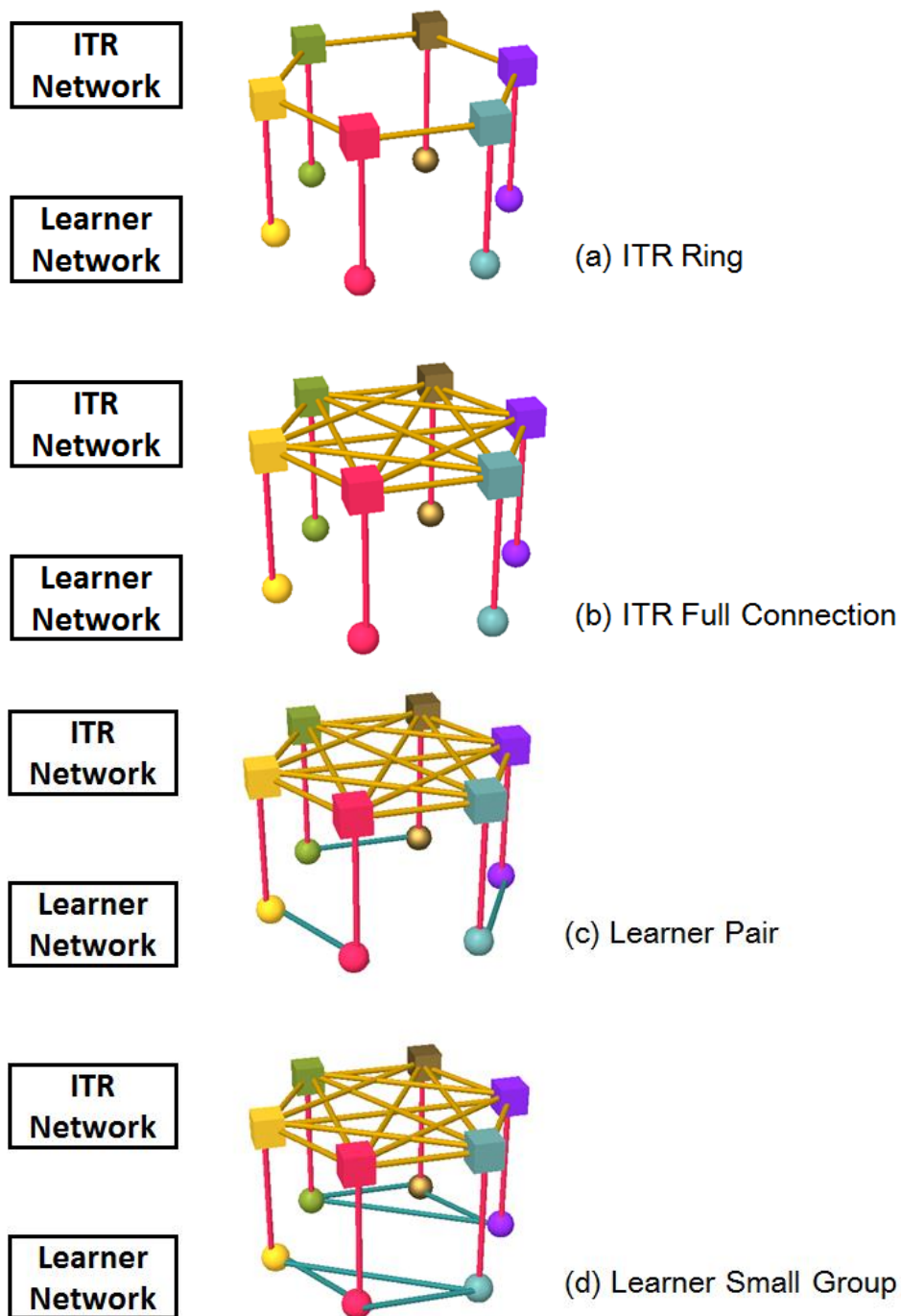


図 5.13: 仮想グループ運用管理におけるネットワーク・トポロジ

図 5.14 に、ITR と学習者を独立表示したネットワーク・シミュレーションの実行画面(1)を示す。表示画面中の立方体のノードは ITR を示し、球体は学習

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

者を示す。表示ウィンドウ中の下方に表示された2種類の3次元表示画面は、左側が ITR 側から見たネットワーク接続状態、右側が学習者側から見たネットワーク状態を示す。本事例はネットワーク運用の初期状態を示しており、ペアを成す ITR と学習者のみそれぞれ接続されており、その他の接続は未だ成されていない。

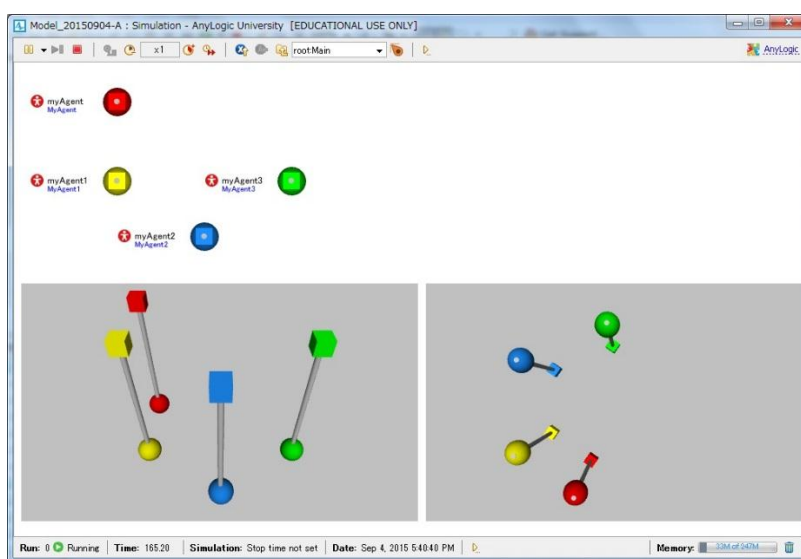


図 5.14: ITR と学習者を独立表示したネットワーク・シミュレーション(1)

図 5.15 に、ITR と学習者を独立表示したネットワーク・シミュレーションの実行画面(2)を示す。表示画面中の立方体のノードは ITR を示し、球体は学習者を示す。ネットワーク運用の最終状態を示しており、ペアを成す ITR と学習者がそれぞれ接続されていることに加えて、オピニオン・リーダーと位置づけられた学習者を示す球体に向けてその他の学習者を示す球体からの接続が成されている。本事例では、青色の球体がオピニオン・リーダーとして表示されている。

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

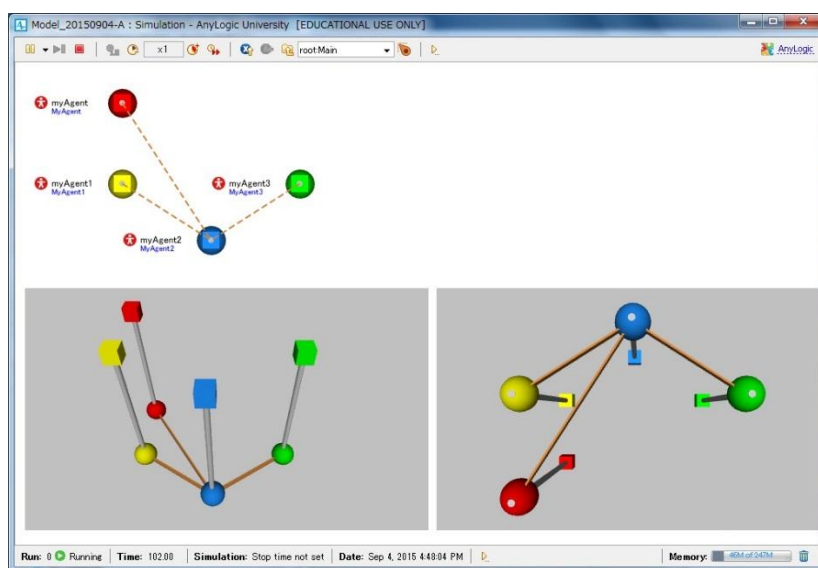


図 5.15: ITR と学習者を独立表示したネットワーク・シミュレーション(2)

図 5.16 に、学習者の特質を示すキャラクター情報を付加したネットワーク・シミュレーション(1)を示す。表示ウィンドウの右上に設定されたスライドスイッチは、学習者のキャラクターに関するパラメータを設定するために用いる。

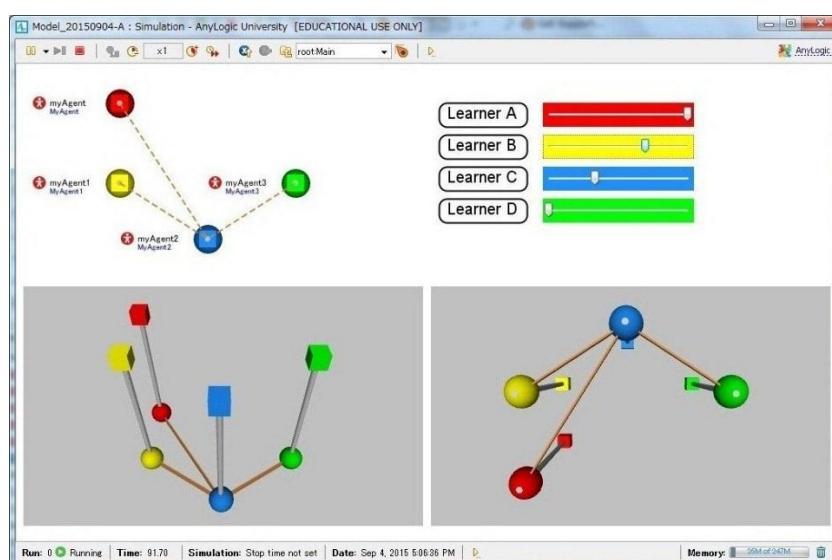


図 5.16: 学習者のキャラクタを付加したネットワーク・シミュレーション(1)

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

図 5.17 に学習者の特質を示すキャラクターを付加したネットワーク・シミュレーション(2)を示す。この表示例では、ITR の接続状態と学習者の接続状態を分離表示しており、ITR は全ノード接続の状態を示している。これは、ITR 間での情報共有が全て完了したことを意味する。

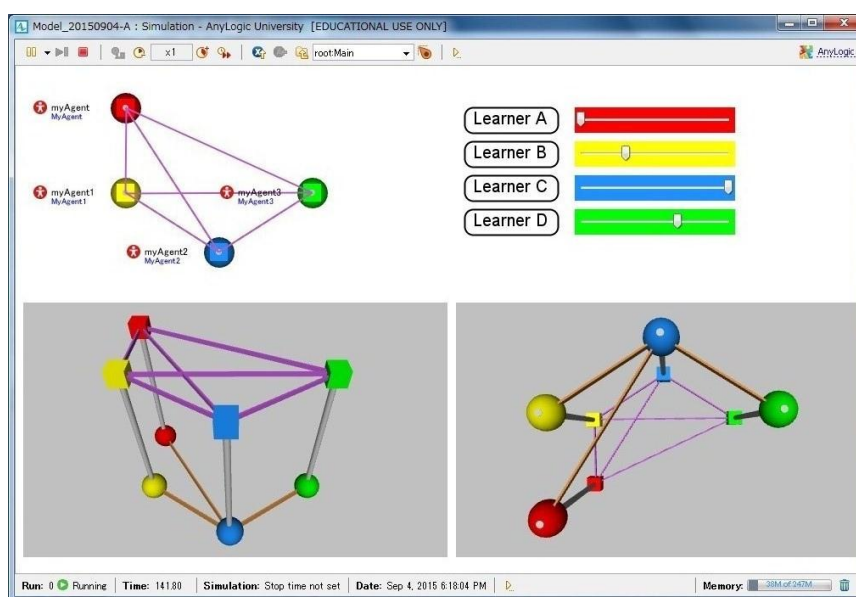


図 5.17: 学習者のキャラクターを付加したネットワーク・シミュレーション(2)

図 5.18 に、学習者間で実施されたコミュニケーション・ログの概念図(1)を示す。本事例は、学習者 A と学習者 B の 2 者間で行われたコミュニケーションの状態推移をグラフィカルに示した概念図である。図の上部から下部に向けて時間の経過を示す。各学習者の軸の円筒形で示したブロックは、学習者が思考に要した時間を示す。また、各軸間に施された帯は、学習者間で行われたコミュニケーションに要した時間を示す。グループ学習において、各学習者が思考に要した時間とコミュニケーションに要した時間の 2 つをログに記録するパラメータとして保存する。

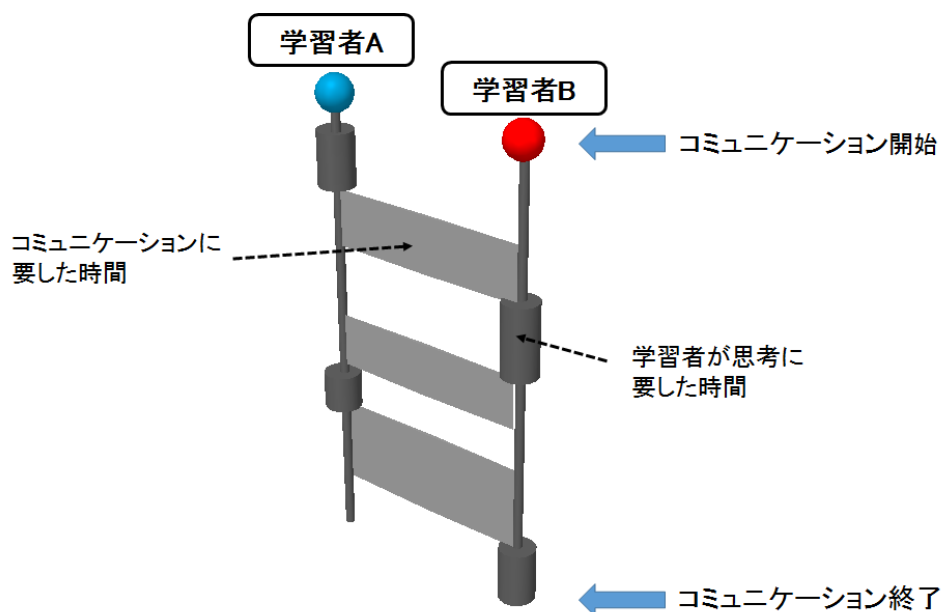


図 5.18: 学習者間のコミュニケーション・ログの概念図(1)

図 5.19 に、学習者間で実施されたコミュニケーション・ログの概念図(2)を示す。本事例は、学習者 A と学習者 B および学習者 C の 3 者間で行われたコミュニケーションの状態推移をグラフィカルに示した概念図である。図の上部から下部に向けて時間の経過を示す。各学習者の軸の円筒形で示したブロックは、学習者が思考に要した時間を示す。また、各軸間に施された帯は、学習者間で行われたコミュニケーションに要した時間を示す。本事例では、コミュニケーションは学習者 A から学習者 B、学習者 B から学習者 C、学習者 C から学習者 A というふうにリング状に行われている場合を示す。学習者 3 名によるスモールグループのケースとして、各学習者が思考に要した時間とコミュニケーションに要した時間の 2 つをログに記録するパラメータとして保存する。

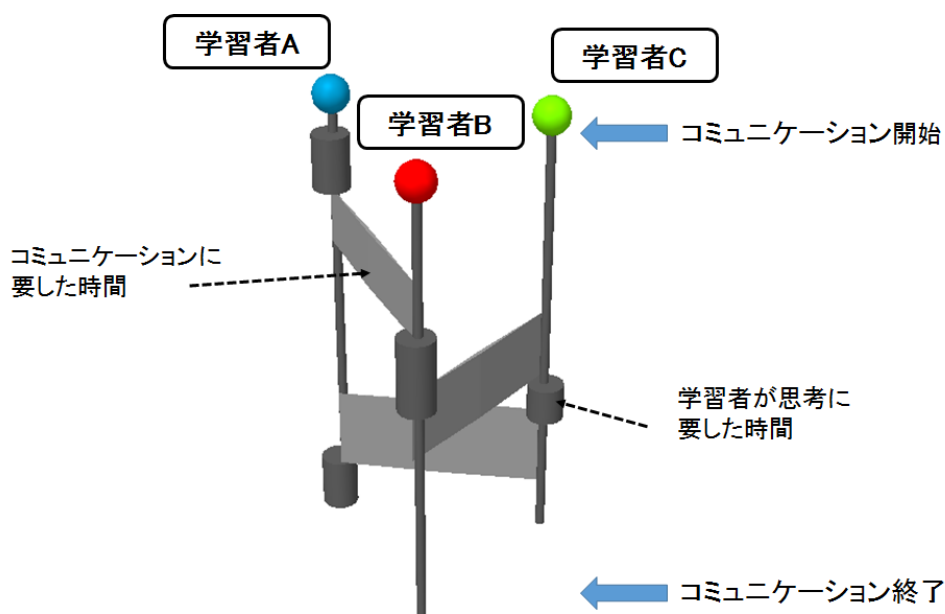


図 5.19: 学習者間のコミュニケーション・ログの概念図(2)

5.5.4 仮想グループ運用管理システムの利用形態

図 5.20 に仮想グループ運用管理システムの利用形態を示す。本システムは、仮想グループ運用開始前、運用段階、運用終了後の3段階において活用することを想定している。まず、仮想グループ運用開始前には、エージェント・ベースト・モデル (ABM) を用いてクラウド AI 内に構築された仮想グループ運用管理エンジンのシミュレーション機能を用いて事前評価を行う。このシミュレーションに用いるエージェントのパラメータは、協調型 e-Learning による学習の第1段階で行われた学習者の習熟レベルと ITR との相互作用から得られた学習者の特質を用いて設定する。事前シミュレーションによって得られた結果は、実際に仮想グループ運用管理を行う際のガイドラインとして利用する。次に、実際の仮想グループ運用管理段階では、ITR とクラウド AI 内に構築された仮想グループ運用管理エンジンにより構成される仮想グループ運用管理チュータ (VGMT) を用いて仮想グループの運用と意思決定支援を行う。最後に、仮想グループ運用後の段階では、前述の2つの段階における仮想グループの運用状態

第5章 協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット

の経緯記録データの比較を行い、データベースに記録し後続の仮想グループ運用管理に活用する。

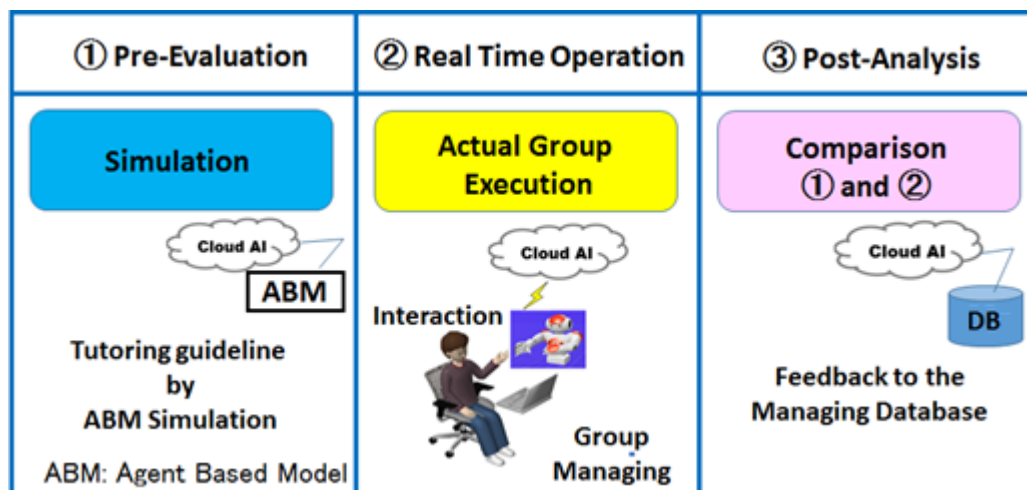


図 5.20: 仮想グループ管理の利用形態

5.6 クオリアとアウェアネスの適用

「クオリア」[53]と「アウェアネス」[54]については、3.4節と4.3節にて述べたが、本節ではグループ学習における取り組みについて述べる。

グループ学習においては、学習者は相互作用型チュータ・ロボット(ITR)を経由してインターネットに接続され仮想グループを形成する。協同学習者の存在感は、コミュニケーションの相手となる学習者側の ITR が捕捉した学習者の挙動情報を ITR が共有し、その動作をジェスチャーで再現することによって引き出される。ITR は学習者にとってチュータであると同時に他の学習者の挙動を再現する機能も有する。本研究では、この機能を用いて協同学習者の存在感を引き出し、「アウェアネス」の実現を図った。

また、クオリアに関しては、VGMT を用いて、ネットワーク・トポロジを動的に切り換えることにより、コミュニケーションを図りたい学習者同士が迅速な

共有を図ることができるため、知識獲得の充足感を伴った知識の習得が可能となり、それが「クオリア」の実現にも寄与すると考える。

5.7 まとめ

本章では、協調型 e-Learning システムにおける仮想グループ学習支援ロボット・ネットワーク・シミュレータを提案した。先ず、第2章で定義した学習の第2段階において行われるグループ学習を支援するために、仮想グループ運用管理チュータ (Virtual Group Managing Tutor : VGMT) を提案し、その構成と機能について示した。次に、学習者とチュータ・ロボットにより構成される仮想グループをロボット・ネットワークとしてモデル化し、論理的な接続形態を示すトポロジを設定した。そして、トポロジとグループ学習におけるディスカッションの進捗状態との関係について示した。プロトタイプの場合・スタディとして、エージェント・ベースト・モデル (ABM) を活用した仮想グループ・ネットワーク・シミュレータの適用事例を示した。最後に、仮想グループの運用開始前、運用段階、運用終了後の3段階における VGMT の利用形態を示し、グループの意思決定過程において VGMT が学習者にもたらす効果について考察を行った。

グループ学習においては、仮想グループの運用管理と協同学習者の存在感を引き出す機能の実現を目標としたが、複合手法型シミュレータと相互作用型チュータ・ロボットを組み合わせることでその可能性と有用性が確認できた。また、意思決定支援に関しては、学習者のディスカッションを促進することにより学習者の知恵の共有を図ることが可能となることが確認された。

第 6 章

結論

6.1 本論文のまとめ

本論文では、協調型 e-Learning システムを構成する主要サブシステムを3つのブロックに分割し、第3章、第4章、第5章にて述べた。第3章では、個別学習を支援する機能として、学習コンテンツの生成とロボット・ユーザ・インターフェース(RUI)について述べた。第4章では、個別学習とグループ学習双方において学習者との相互作用を実現する機能として、相互作用型チュータ・ロボット(ITR)について述べた。第5章では、グループ学習を支援する機能として、仮想グループ運用管理チュータ(VGMT)について述べた。

学習の第1段階で行われる個別学習においては、学習者はターゲットとする分野における課題に関係する情報を知識として蓄積する。その知識は、経験によって得られた学習のリアリティを伴うことによって、応用の局面において効果的に活用することができる。本研究においては、複合手法型シミュレーションと相互作用型チュータ・ロボットを活用することにより、第1段階において習得される知識に付加価値を付ける取り組みを行った。学習教材の事例として取り上げたロボットの組み立てと制御のシミュレーション、学習者が設計したロボットがターゲットとする応用分野でどのような振る舞いをするかを示すシミュレーション、いずれもこの複合手法型シミュレーション技術の活用によって実現できることが確認された。学習のプロセスに適合したシミュレーション・モデルとして、ディスクリット・イベント・モデル(DEM)とエージェント・ベースト・モデル(ABM)を活用できること、そしてそれらを連結して実行する協調シミュレーションは第1段階での学習コンテンツを形成するツールとして有効であると考えた。また、ノート・パソコンのディスプレイ上のソフトウェア・エージェントとノート・パソコンの傍らに配置されたハードウェア・ロボットの組み合わせによるハイブリッド・チュータ・モデルは、ロボットを介して仮想空間と現実空間を融合するツールとして採用した。チュータ・ロボ

ットからの支援情報を得て、学習者はリアリティを伴う知識の習得が可能となる。そして、ロボットを新たなインターフェースとして活用することにより、学習者が学習課題で作成したロボットの外観検査や操作性の検査において、よりリアリティを高めた仮想空間におけるオブジェクトへのアクセスが可能となる。こういったリアリティは、学習者にとって経験を伴う学習知識として蓄積され、「クオリア」の実現に寄与すると考える。

次に、教育の第2段階で行われるグループ学習においては、インターネットに接続された仮想グループでありながら、参加している協同学習者の存在感を得るために、相互作用型チュータ・ロボット(ITR)を適用した。ロボットのネットワーク通信機能と相互作用機能の活用により、ネットワークに接続された他の協同学習者の挙動を再現することが可能であり、学習者はロボットを介して協同学習者の存在感を得ることができる。これにより、グループ学習に必要な要件である「アウェアネス」の実現に寄与すると考える。また、仮想グループの運用管理にあたっては、ロボットのネットワーキング機能とネットワーク・シミュレータの組み合わせにより構成される仮想グループ運用管理チュータ(VGMT)が、仮想グループのネットワーク・トポロジの運用管理を行い、グループ・ディスカッションの円滑な進行と課題のゴールである最終結論への誘導支援に寄与すると考える。

6.2 協調型 e-Learning システムの展望

提案の協調型 e-Learning システムは、個別学習とグループ学習といった、学習における2つのプロセスを支援する機能を持ち、学習者にとって知識の習得から応用まで継ぎ目のない一貫した環境で支援することが可能である。大学での授業の形態は、徐々にではあるが確実に変化しており、グローバルな人材育成を目的とするアクティブ・ラーニングを支援する教育システムへの関心や

要求はますます高まってくると思われる。また、携帯情報端末や IoT(Internet of Things)の更なる発展に伴って、e-Learning を活用した学習システムの利用が促進されると考える。そのような状況において、本論文にて提案した協調型 e-Learning システムに興味を示して頂け、ご意見を賜ることができれば望外の喜びである。

また、グローバルな人材育成のためには世界中の頭脳とのコミュニケーションが必要であり、教育者や学習を希望する人々が自由に利用できる学習システムの提供は、高いモチベーションを持って取り組んで行きたいと考える。

参考文献

参考文献

- [1] 枝川義邦, 谷益美, 佐藤哲也: 「アクティブラーニングが知識学習に与える影響と実践に向けた課題」, 早稲田大学高等研究所紀要 第8号, pp.129-140 (2015)
- [2] 「MOOC等を活用した教育改善に関する調査研究」, 大学ICT推進協議会, pp.1-54 (2015)
- [3] J.Kennedy: “Characteristics of Massive Open Online Courses (MOOCs): A Research Review, 2009-2012” , Journal of Interactive Online Learning Vol.13 No.1, pp.1-16 (2014)
- [4] K.Ghadiri, M.H. Qayoum, E. Junn, P.Hsu, S.Sujitparapitaya: 「ムーク (MOOC) と反転授業がもたらす学びの変革～米国サンノゼ州立大学の挑戦～」, JUCE Journal 2013年度 No.3, pp.2-15 (2013)
- [5] 森 朋子: 「大学改革の進路 第1回 反転授業」, Between 2014年4・5月号, pp.34-35 (2014)
- [6] N. Capuano, S. Miranda, and F. Orciuoli: “E-Learning at Work in the Knowledge Virtual Enterprise” , in T. Daradoumis, S. Caballé, J.M. Marquès, F. Xhafa (eds.) Intelligent Collaborative e-Learning Systems and Applications. SCI, vol. 246, pp.53-63 (2009)
- [7] 大島純: 「教育心理学と実践活動 最近の認知研究からみた e-ラーニングの可能性」, The Annual Report of Educational Psychology in Japan Vol.47, pp.178-187 (2008)
- [8] 光原弘幸, 金西計英, 松浦健二, 能瀬高明, 森川富昭, 三好康夫, 緒方広明, 矢野 米雄: 「ブレンド型 e-Learning システムの構築・運用」, 鳴門教育大学情報教育ジャーナル No. 3, pp.47-54 (2006)

参考文献

- [9] 青木久美子：「学習スタイルの概念と理論—欧米の研究から学ぶ」，
Journal of Multimedia Aided Education Research Vol.2 No.1, pp.197-
212 (2005)
- [10] 吉川弘之他：「e-Learning による新たな教育手法の推進に向けての提
言」，日本産学フォーラム 知識社会における教育手法研究会報告 No.10,
pp.1-26 (2004)
- [11] 常磐裕司，住友仁：「大学における e-ラーニングの現状と次世代への
提案」，IBMプロフェッショナル論文 4 No.35, pp.64-73 (2002)
- [12] 八山幸司：「米国におけるロボットに関する取り組みの現状」，JETRO
2015年7月, pp.1-24 (2015)
- [13] 及川義道，松葉龍一，喜多敏博，鈴木克明，中野裕司：「e-ラーニング
のための小型ロボットを用いた学習支援の提案と試み」，教育システム情
報学会 JSiSE2015 第40回全国大会, pp.11-12 (2015)
- [14] ジメネスフェリックス，吉川大，古橋武，加納政芳：「教育支援ロボッ
トに活用できる感情表出モデルの提案」，Human-Agent Interaction
Symposium 2014, pp.1-6 (2014)
- [15] ジメネス フェリックス，加納 政芳：「教育現場で活用されるロボットの
研究動向」，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌）Vol.26 No.1,
pp.2-8 (2014)
- [16] 「平成25年度 特許出願技術動向調査報告書（概要）ロボット」，特
許庁総務部企画調査課 技術動向班, pp.1-42 (2014)
- [17] 奥川雅之，岩熊孝幸，寺西大：「ロボットの社会的役割を利用したロボ
ット技術への動機付け教育」，日本ロボット学会誌 Vol.31 No.2,
pp.169-174 (2013)

- [18] 三宅なほみ：「人口ロボット共生学：実践的な学習研究にロボットを導入して、何ができるか」, *Cognitive Studies* Vol.19 No.3, pp.292-301 (2012)
- [19] I. Lutkebohle, J. Peltason, L. Schillingmann, C. Elbrechter, S. Wachsmuth, B. Wrede, and R. Haschke : “A Mixed-Initiative Approach to Interactive Robot Tutoring” : Towards Service Robots for Everyday Environ, *STAR* 76, pp.483-502 (2012)
- [20] I.Lutkebohle, J.Peltason, L.Schillingmann, C.Elbrechter, S.Wachsmuth, B.Wrede, R.Haschke : “A Mixed-Initiative Approach to Interactive Robot Tutoring” , Towards Service Robots for Everyday Environ. *STAR* 76, pp.483-502 (2012)
- [21] 松井裕紀, 加納政芳, 加藤昇平, 伊藤英則 : 「Simple Recurrent Network を用いた感性ロボットのインタラクティブ表情表出」, *日本ロボット学会誌* Vol.28 No.3, pp.360-368 (2010)
- [22] 山岡史享, 神田崇行, 石黒 浩, 萩田紀博 : 「遠隔操作型コミュニケーションロボットとのインタラクションにおける印象評価」, *情報処理学会論文誌* Vol.48 No.11, pp.3577-3587 (2007)
- [23] 阪部俊也, 福田和廣, 天野裕司, 道下貴広 : 「ロボット製作を通じたエンジニア総合力育成教育」, *Journal of JSEE* Vol.54 No.3, pp.57-63 (2006)
- [24] 神田崇行, 平野貴幸, ダニエルイートン, 石黒浩 : 「日常生活の場で長期相互作用する人間型対話ロボット」, *日本ロボット学会誌* Vol.22 No.5, pp.636-647 (2004)

- [25] T.Kanda, M. Imai, T. Ono, and H. Ishiguro : “Numerical analysis of body meovements on human-robot interaction” , 情報処理学会論文誌 Vol.44 No.11 pp.2699-2709 (2003)
- [26] 神田崇行, 石黒浩, 小野哲雄, 今井倫太, 中津良平 : 「人間と相互作用する自律型ロボット Robovie の評価」 , 日本ロボット学会誌 Vol.20 No.3, pp.315-323 (2002)
- [27] 神田崇行, 石黒浩, 石田亨 : 「人間・ロボット間相互作用にかかわる心理学的評価」 , 日本ロボット学会誌 Vol.19 No.3, pp.362-371 (2001)
- [28] B.Dániel, P.Korondi, G.Sziebig, T.Thomessen: “Evaluation of Flexible Graphical User Interface for Intuitive Human Robot Interactions” , Acta Polytechnica Hungarica Vol.11 No.1, pp.135-151 (2014)
- [29] 椎名美奈, 石川達也, 長谷川晶 : 「ぬいぐるみの柔軟性を持ったロボティック・ユーザ・インタフェース (RUI) の構築」 , 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集, pp.1-4 (2008)
- [30] C.Bartneck, M.Okada: “Robotic User Interfaces” , Proceedings of the Human and Computer Conference (HC2001), pp.130-140 (2001)
- [31] A.Djanatliev, R.German : “Large Scale Healthcare Modeling by Hybrid Simulation Techniques using AnyLogic” , ICST Simutools 2013 , pp.248-257 (2013)
- [32] S.M.Ho, R.R.Katukoori : “Agent-based modelling to visualise trustworthiness: a socio-technical framework” , Int. J. Mobile Network Design and Innovation Vol.5 No.1, pp.17-27 (2013)
- [33] I. Grigoryev : AnyLogic 6 in Three Days: A quick course in simulation modeling. Any Logic, North America (2012)

- [34] H. Xi, S. Lee, Y. J. Son : “An Integrated Pedestrian Behavior Model Based On Extended Decision Field Theory And Social Force Model” , Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference, pp.824-836 (2010)
- [35] M. A. Majid, U. Aickelin, P. O. Siebers : “Investigating Output Accuracy For A Discrete Event Simulation Model And An Agent Based Simulation Model” , Proceedings of the 2009 INFORMS Simulation Society Research Workshop, pp.101-105 (2009)
- [36] C. M. Macal, M. J. North : “Agent-Based Modeling And Simulation” , Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference, pp.86-98 (2009)
- [37] XJ Technologies : “How to Build a Combined Agent Based / System Dynamics Model in AnyLogic :Tutorial” , XJ Technologies www.anylogic.com, pp.1-23 (2008)
- [38] T. Popkov and M. Garifullin : “Multi-approach Simulation Modeling: Challenge of the Future” , in K. Koyamada, S. Tamura, O. Ono (eds.) System Modeling and Simulation, pp.103-107 (2006)
- [39] A. Borshchev : “Multi-Method Simulation Modeling using AnyLogic” , XJ Technologies www.anylogic.com, pp.1-20 (2007)
- [40] I. N. Athanasiadis, A. K. Mentes, P. A. Mitkas, Y. A. Mylopoulos : “A Hybrid Agent-Based Model for Estimating Residential Water Demand” , Simulation: Transaction of The Society for Modeling and Simulation International, pp.175-187 (2005)
- [41] 山元有子, 向後千春 : 「グループ学習が学習成績と授業評価に及ぼす影響」 , 日本教育工学研究報告集 JSET14-2, pp.83-90 (2014)

- [42] 藤井佑介, 木下慶之: 「グループ学習における ICT 活用に関する一考察」, *Studies in and on Teacher Education* Vol.7 , pp.315-322 (2014)
- [43] 林佑樹, 小尻智子, 渡邊豊英: 「協調学習におけるアウェアネスを反映した対話支援インタフェース」, *成蹊大学理工学研* Vol.49 No.2, pp.63-68 (2012)
- [44] 大島純, 新原勇介, 太田健介, 大島律子: 「協調学習のプロセスと個人の貢献を測定する試み」, *日本教育工学会論文誌* Vol.33 No.3, pp.333-342 (2010)
- [45] 加藤吉博, 宇野翔太, 渡邊 貢規, 山田哲男: 「授業「マネジメント入門」における協調学習と環境経営の e ラーニング開発」, *東京都市大学環境情報学部 情報メディアセンタージャーナル* 第11号, pp.68-78 (2010)
- [46] 森朋子, 山田剛史: 「初年次教育における協調学習が及ぼす効果とそのプロセス」, *京都大学高等教育研究* 第15号, pp.37-46 (2009)
- [47] 若林尚樹, 政倉祐子, 田邊里奈: 「子どもを対象としたワークショップにおける主観的評価手法の提案- SD 法による主観的評価手法「子ども SD 法」の開発」, *日本デザイン学会 デザイン学研究 BULLETIN OF JSSD* 2014, pp.1-2 (2014)
- [48] 山崎由香里: 「組織における意思決定に対する処方的アプローチの適用可能性」, *成蹊大学経済学部論集* 第44巻第2号, pp.65-96 (2013)
- [49] J.Carenys: “Management Control Systems: A Historical Perspective” , *International Journal of Economy, Management and Social Sciences* Vol.1 No.1, pp.1-18 (2012)

参考文献

- [50] H. Armesh, H. Salarzahi, B. Kord: “Management Control System” ,
Interdisciplinary Journal Of Contemporary Research In Business VOL
2 NO 6, pp.193-206 (2010)
- [51] S. Lee, Y. J. Son : “Dynamic Learning In Human Decision Behavior
For Evacuation Scenarios Under BDI Framework” , Proceedings of the
2009 INFORMS Simulation Society Research Workshop, pp.96-100
(2009)
- [52] 佐々木薫 : 「集団意思決定の実験的研究 : Social Decision Scheme の検
討」 , 関西学院大学社会学部紀要第 93 号, pp.9-22 (2003)
- [53] M. Tye : “Visual Qualia and Visual Content Revisited: revised
from Visual Qualia and Visual Content” , in T. Crane (ed.) The
Contents of Experience, pp.447-456. Cambridge University Press,
Cambridge (1993)
- [54] E. M. Robertson and A. Pascual-Leone: “Awareness Modifies the
Skill-Learning Benefits of Sleep” . Current Biology 14, pp.208-212
(2004)
- [55] NAO next generation user guide EN 11-2012. Aldebaran Robotics,
Paris (2012)
- [56] A. Louloudi, A. Mosallam, N. Marturi, P. Janse, and V.
Hernandez : “Integration of the Humanoid Robot Nao inside a
Smart Home: A Case Study” , in International Federation of
Robotics, Executive Summary of World Robotics 2009, Sweden, pp.
35-44 (2007)

発表業績

学術論文

- [P1] Toshiyuki Tojo, Osamu Ono, Norzaidah Md Noh and Rubiyah Yusof, “Hybrid Agent Tutor Model for e-Learning System with Interactive Robotics” , Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering Vol.2, No.2, (Japan Society for Simulation Technology), pp.309–328, Dec. 2015
- [P2] Toshiyuki Tojo and Osamu Ono, “Virtual Group Network Modeling with Interactive Robot for Flipped Classroom e-Learning” , Proceeding of Asia Simulation Conference 2015, (The Korea Society for Simulation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg), pp.233–234, Nov. 2015
- [P3] Toshiyuki Tojo and Osamu Ono, “Virtual Group Managing Tutor for Collaborative e-Learning System” , Proceeding of JSST 2015 the 34th JSST Annual Conference: International Conference on Simulation Technology, (Japan Society for Simulation Technology), pp.237–240, Oct. 2015
- [P4] Toshiyuki Tojo, Osamu Ono, Norzaidah Md Noh and Rubiyah Yusof, “Intelligent Decision Supporting Tutor in Virtual Group Operation Control and Management based on e-Learning System” , Proceeding of the 10th Asian Control Conference 2015, (ASCC 2015, IEEE), pp. 1668–1673. May 2015
- [P5] Toshiyuki Tojo, Osamu Ono, Norzaidah Md Noh and Rubiyah Yusof, “Hybrid Agent Tutor Model for e-Learning System with Robotics” ,

AsiaSim 2014 Communication in Computer and Information Science
S.Vol.474, (Springer-Verlag Berlin Heidelberg), pp. 301-309,
Oct. 2014

- [P6] Norzaidah Md Noh, Rubiyah Yusof, Osamu Ono and Toshiyuki Tojo,
“Feedback Preferences in Case-Base Construction for Intelligent
Lab Tutor” , AsiaSim 2014 Communication in Computer and
Information Science S.Vol.474, (Springer-Verlag Berlin
Heidelberg), pp. 291-300, Oct. 2014
- [P7] 東條敏幸, 小野治, 「Interactive Tutor Robot Networking for
Collaborative e-Learning System」, 平成 27 年 電気学会 電子・情
報・システム部門大会 講演論文集 SS4-9 (電気学会 電子・情報・シス
テム部門), pp.1632-1633, 2015 年 8 月
- [P8] 東條敏幸, 小野治, 「e-Learning システムにおける相互作用型マンマシ
ンインターフェース」, 平成 27 年 電気学会 全国大会 講演論文集 3-069
(電気学会), pp.98, 2015 年 3 月
- [P9] 東條敏幸, 小野治, Norzaidah Md Noh, Rubiyah Yusof, 「協調型 e-
Learning システムにおけるインタラクティブ・チュータ・ロボット」,
平成 26 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 講演論文集 GS1-6
(電気学会 電子・情報・システム部門), pp.1421-1424, 2014 年 9 月

学会発表(口頭発表)

- [P10] 「Virtual Group Network Modeling with Interactive Robot for
Flipped Classroom e-Learning」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸),
Asia Simulation Federation, ハイアット・リージェンシー国際会議
会場(大韓民国・済州島), 2015 年 11 月

発表業績

- [P11] 「Virtual Group Managing Tutor for Collaborative e-Learning System」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸), Japan Society for Simulation Technology, 富山国際会議場(富山市), 2015年10月
- [P12] 「Interactive Tutor Robot Networking for Collaborative e-Learning System」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸), 電気学会, 長崎大学(長崎市), 2015年8月
- [P13] 「Intelligent Decision Supporting Tutor in Virtual Group Operation Control and Management based on e-Learning System」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸), Asian Control Association, ステラ・ハーバー国際会議会場(マレーシア・コタキナバル), 2015年5月
- [P14] 「e-Learning システムにおける相互作用型マンマシンインターフェース」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸), 電気学会, 東京都市大学(東京都), 2015年3月
- [P15] 「Hybrid Agent Tutor Model for e-Learning System with Robotics」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸), Asia Simulation Federation, 北九州国際会議センター(北九州市), 2014年10月
- [P16] 「協調型 e-Learning システムにおけるインタラクティブ・チュータ・ロボット」, 共同 (代表発表者: 東條敏幸), 電気学会, 島根大学(松江市), 2014年9月

謝辭

謝辞

本論文の執筆にあたり、ご指導・ご鞭撻を賜りました方々への御礼の言葉をこの場をお借りして述べさせて頂きたいと思います。まずは、博士後期課程に社会人特別入試にて進学するにあたり指導教授をお引き受け頂いた、明治大学理工学部教授の小野治先生に深く感謝申し上げます。小野先生とは、1979年からのお付き合いです。早稲田大学にて博士号を取得された後、明治大学に赴任されて初めてゼミ生としてご指導頂きました。学生時代には叶わなかった大学院博士課程進学の夢を託した長男への支援もひと段落し、定年後の社会貢献活動の準備を2013年に開始しました。明治大学のリバティアカデミー講座を生田キャンパスにて毎週土曜日に受講を開始し、100単位のアカデミー・ドクターを目指していました。そのような状況において、工学部を卒業後日立製作所での半導体エンジニアの道を選んだ私でも、母校明治大学の大学院博士後期課程進学の道が開かれていることをご教示下さったのが小野先生です。研究テーマの選定にあたっては、私の企業での専門と今後社会貢献したい分野を考慮して、教育に視点を置いたロボットとシミュレーションに関する研究をさせて頂くことになりました。研究の遂行にあたっては、これまでの企業人としては得ることが難しかったアカデミック・ネットワークの構築ができるよう、研究の成果発表の機会を多く与えて頂きました。その中でも、2015年にマレーシアで行われたアジア・コントロール・カンファレンスにて発表させて頂いたことが印象に残っています。設計部門にいた頃、マレーシアからの海外研修生を受け入れて初めて8ビット・マイクロコントローラ的设计指導をさせて頂いた経験もありアジア諸国の中でも大変興味を引かれます。また、2015年に大韓民国にて行われたアジア・シミュレーション・カンファレンスも印象深いものでした。2度の韓国駐在で計7年余りの韓国人エンジニアとのコミュニケーション経験が、この学会発表においても十分に活かされたと思います。私が出席させ

謝辞

て頂いた学会発表全てに必ずご参加下さり、アカデミックな世界における研究者の立ち振る舞いを背中であげて下さったのも小野先生です。

また、この度の博士学位請求論文の審査にあたり、副査をお引き受け頂いた、明治大学理工学部教授の三木一郎先生、久保田寿夫先生に深く感謝申し上げます。三木先生は、1979年に電気実験でご指導頂いて以来のお付き合いで、卒業後もモータ制御用に開発したマイクロ・プロセッサに関してご相談させて頂いたことが記憶に残っています。久保田先生は、博士後期課程進学後に拝命した電気電子生命実験の担当業務において、研究活動に活かせるよう種々の実験科目の経験をする機会を与えて下さいました。両先生とも、研究室のあるフロアでお見かけすると、必ず激励の声を掛けて下さる有難い方々です。

また、理工学部事務室の国分尚子様にも深く感謝申し上げます。学位請求論文の提出にあたり、種々のサポートを頂きました。窓口では勿論のこと、電子メールでも適宜丁寧なアドバイスを頂きました。

最後に、55歳という年齢での大学院博士課程への進学について深い理解を示してくれた故郷の両親、家族とりわけ私より一足先に博士学位を取得し勇気と希望を与えてくれた長男に感謝致します。

明治大学大学院 理工学研究科
電気工学専攻 博士後期課程
システム制御研究室

東條 敏幸