

# SIGVerse: 身体的認知・運動を伴う社会エージェントのためのシミュレータープラットフォーム

SIGVerse: Simulation Platform for Social Agents with Physical Motion and Embodied Perception

稲邑哲也\*1      柴田智広\*2      瀬名秀明\*3      橋本敬\*4      川合伸幸\*5      宮下敬宏\*6  
Tetsunari Inamura      Tomohiro Shibata      Hideaki Sena      Takashi Hashimoto      Nobuyuki Kawai      Takahiro Miyashita  
櫻井圭記\*7      清水正宏\*8      大武美保子\*9      細田耕\*10      梅田聡\*11      乾健太郎\*2  
Yoshiki Sakurai      Masahiro Shimizu      Mihoko Ohtake      Koh Hosoda      Satoshi Umeda      Kentarou Inui

\*1 国立情報学研究所      \*2 奈良先端科学技術大学院大学      \*3 作家  
National Institute of Informatics      NAIST      Writer

\*4 北陸先端科学技術大学院大学      \*5 名古屋大学      \*6 ATR      \*7 プロダクション I.G  
JAIST      Nagoya University      ATR      Production I.G

\*8 東北大学      \*9 東京大学      \*10 大阪大学      \*11 慶応大学  
Tohoku University      The Univ. of Tokyo      Osaka University      Keio University

We focus on a synthetic research on elucidation of genesis of social intelligence – physical interaction between body and environment, social interaction between agents and role of evolution and so on –, with aiming to understand intelligence of humans and robots. For such an approach, we have set interdisciplinary discussions with wide viewpoint for various research field such as cognitive science, developmental psychology, brain science, evolutionary biology and robotics. To understand a mechanism of intelligence of human beings and to develop intelligent robotics systems, two interactions should be considered; physical interaction between agents and environments and social interaction between agents. In social science field, several multi-agent simulation systems were proposed to realize social interaction, language evolution and so on. On the other hand, robotics researchers often use dynamics as well as sensor simulator. However there is no integrated system with dynamics, perception, and social communication simulations. In this paper, we propose such a simulation environment called SIGVerse.

## 1. はじめに

知能ロボットの開発には人間の知能のメカニズムを知ることが一つの有力な手段であるが、人間や動物のような複雑なシステムにおける知能の原理を解明するには、身体と環境との物理的相互作用や社会的相互作用など、多くの周辺分野についての理解や知識が必要になってくる。このような背景から我々は社会的知能発生学研究会と呼ばれる研究会を通じて、認知科学、発達心理、脳科学、複雑系など、の学問からヒントを得ながら、人や動物のような複雑なシステムの原理を探求するためロボットやシミュレーションなどを用いた構成論的・計算論的アプローチに基づいた議論を行ってきている。

しかしながらこのような異分野交流は議論の発展に寄与することはあっても共同研究による具体的な学術的成果を生み出すには非常に多くの時間と努力が必要であった。

本稿では、このような背景に基づき、様々な研究分野の研究者が、仮想環境上のソフトウェアエージェントを共通して使用することで、人間の知能のメカニズムを様々な角度から探るアプローチを取る。

そこで、力学・物理シミュレーションだけではなく、エージェントの知覚世界のシミュレーションや、エージェント同士のコミュニケーションをシミュレーションする機能を盛り込み、ロボット分野の研究者のみならず、様々な「知能に取り組む研究分野」で共通して使っていくことのできるシステムの構築を目指す。

## 2. 力学計算・知覚・コミュニケーションの統合シミュレーション

ロボットの運動の力学シミュレーションについては、世界的に幅広く開発が進められており、数多くのプロジェクトが存在する。例えば日本ではヒューマノイドロボットの研究用に産総研・東京大学・製造科学技術センターによって開発された OpenHRP[1] が使われている。現在ではこのシステムを発展させた OpenHRP3[2] が産総研・東京大学・ゼネラルロボティクス社によって開発されている。また Webots[3] という商用のソフトウェアも広く流通しており、マルチエージェントのロボット環境をシミュレーションする事が可能となっている。フリー環境では Player/Stage/Gazebo[4] というシステムが有名である。これらのシステムはマルチエージェントのシステムに対応しつつも、知覚のシミュレーションや、通信や対話等のコミュニケーションが物理的特性および身体特性によって影響を受ける事をシミュレートする事は困難である。

一方、社会科学の側面からも大規模なマルチエージェントシステムのシミュレーションが期待されており、例えば東工大の COE「エージェントベース社会システム科学の創出」や、科研費学術創成領域研究「マルチエージェント・シミュレータによる社会秩序変動の研究」等の研究プロジェクトが立ち上がっており、GPGSIM[5] というシミュレーション環境が提案されている。また、言語進化学の分野では、繰り返し学習モデル [6] によるエージェント間の言語伝播のシミュレーションシステムが提案されているが、いずれも身体を持つロボットや人間のようなエージェントが、視覚や聴覚などの知覚を伴って行動するような階層のシミュレーションの実現には至っていない。運

連絡先: 稲邑哲也, 国立情報学研究所, 千代田区一ツ橋 2-1-2,  
TEL: 03-4212-2518, inamura\_at\_nii.ac.jp

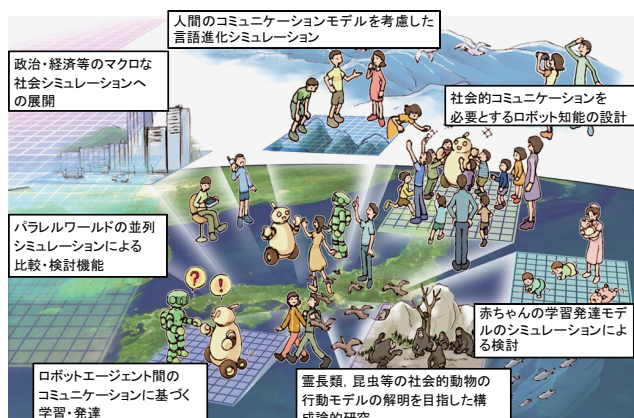


図 1: Concept sketch of SIGVerse

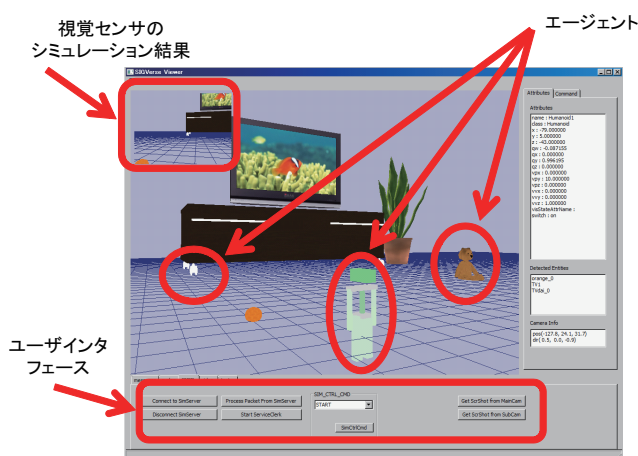


図 2: A screenshot of user interface

動・知覚・社会の統合というマルチスケールなシミュレーションが持つポテンシャルがこのような社会科学シミュレーションに果たす役割も大きいと考える。

また、単に身体性を持つ社会エージェントを構築するだけでなく、ユーザがオペレータとして仮想空間内のアバターを操作する事のできるインタフェースを構築する事で、人間機械協調系の評価実験系を組む利用方法が考えられる。セカンドライフ等のアバターを操作する仮想空間システムでは、ユーザが多数参加してインタラクションを行う社会システムを評価・分析する事は可能である。しかし、そこに自律的に行動する知能ロボット等のエージェントを投入し、ユーザとのインタラクションを解析したり、エージェントの性能評価を行うことは、セカンドライフの根幹のソフトウェアの改変を必要とし、非常に困難である。また、セカンドライフではシステム内の時間が実時間と等しいため、エージェント間のインタラクション戦略の評価や、影響の観察などの際に、長時間に渡るインタラクションの継続が必要な際に制約が出てしまう。たとえばスキルを既に獲得しているエキスパートのロボットが、仮想環境内で初心者ロボットにスキルを伝達する際に、試行を数千~数万というオーダーで行い、その都度エキスパートロボットが初心者ロボットにアドバイスを投げかけるような協調学習の実験を行う際に、時間のスケールを実時間よりも早く行わせることで、実験をスムーズに進める事が必要となる。

そこで、本稿では物理・力学シミュレーションと、社会的なコミュニケーションのシミュレーションを同時に扱うことのできるマルチエージェントシミュレーションシステムを提案し、そのプロトタイプシステムを紹介する。図 1 は、このシミュレーションの展開可能性を示すコンセプト図である。

### 3. 統合シミュレーションプラットフォーム:SIGVerse

#### 3.1 力学シミュレーション

力学シミュレーションには Open Dynamics Engine(ODE)<sup>\*1</sup>を用いており、各物体・エージェント間の相互作用をシミュレートする。力学計算をする必要が無いエージェントについては、個別に力学計算をするかしないかを選択できるような構造になっており、計算コストの短縮を図ることができる。

#### 3.2 知覚シミュレーション

シミュレートできる知覚のモダリティとしては、視覚、聴覚、力覚がある。視覚のシミュレーションには OpenGL が用いられ、エージェントの視点・視野から得られる画像のピクセルマップを提供する事ができる。

なお、本シミュレータのコンセプトの一つとして、様々な異なる研究領域で利用できるようにする点があるため、研究者は自分の研究で前提となっている条件に合わせて希望する情報を取得するような枠組みになっている。例えば、画像処理のシミュレーションを行いたい場合もあれば、画像処理は省略し画像の認識結果が得られているという前提で研究を進めたい場合もある。そこでシミュレートできる知覚情報は、ピクセルマップ画像のような生の信号だけでなく、物体の色・形・大きさ・位置等の特徴量情報、物体の名前、物体の ID 番号のようなシンボル情報を取得できるようになっている。また視野を定義することが可能で、オクルージョンを考慮して視野内に入っている視認できる物体のリストも取得できるようになっている。

聴覚のシミュレーションとしては、計算コストの側面から音場や反響音のようなシミュレーションは採用せず、音声データの通信を行うこととした。エージェントから発せられる声は距離に応じて届きにくくなるという条件設定に基づき、距離の二乗に反比例して音のパワーが減衰するような効果を入れることができる。またある閾値の距離以内にだけ声が到達するようにすることもできる。視覚の場合と同じく、音データそのものの生情報を送信するだけでなく、音声認識された結果だけが送信されるような高次情報提供機能も搭載されている。

力覚については主に ODE で計算されたオブジェクト間の力・トルク情報が取得可能である。また接触しているかどうかの判定による On/Off の触覚センサもシミュレート可能である。

#### 3.3 コミュニケーションのシミュレーション

基本的にはエージェントは聴覚のシミュレーションによるコミュニケーションを行うが、聴覚だけでなく、光信号による通信や無線ネットワークによるコミュニケーション等多様なモダリティに対応可能な設計になっている。光通信の場合には光を受信するセンサをカメラとする事で、前節の視覚シミュレーションで光の受信をチェックする事が可能である。また無線通信においてもある距離の範囲内だけに信号を伝達するような制限をかける事が可能である。

また、本システムでは、仮想環境の中のエージェント同士のコミュニケーションだけでなく、仮想環境と実世界のユーザの

\*1 <http://www.ode.org>

表 1: Lists of available API functions

setJointAngle ( <i>arg1</i> , <i>arg2</i> )	関節 <i>arg1</i> の位置制御目標を <i>arg2</i> に設定
setJointTorque ( <i>arg1</i> , <i>arg2</i> )	関節 <i>arg1</i> のトルクを <i>arg2</i> に設定
getPosition	オブジェクトの 3 次元位置の取得
getRawSound	他のエージェントが発声した生の音声信号を取得する
sendRawSound	生の音声信号を発声する
sendText( <i>text</i> , <i>distance</i> )	テキストメッセージ <i>text</i> を距離 <i>distance</i> 以内にいるエージェントに発信する
captureView	エージェントの視点で得られるピクセルマップを計算する
detectEntities( <i>arg</i> )	エージェント <i>arg</i> の視野に入っている全てのオブジェクトの ID を取得する
getObj( <i>arg</i> )	<i>arg</i> という名前を持っているオブジェクトの ID を取得する
getObjAttribution( <i>arg1</i> , <i>arg2</i> )	オブジェクト <i>arg1</i> の属性 <i>arg2</i> の属性値を取得する

間のインタラクションの機能も提供可能である。図 2 に、仮想環境の表示例を示す。

関連するシステムとしてセカンドライフやオンライン RPG 等のシステムを基盤として構築された研究プラットフォーム [7][8] が存在するが、力学シミュレーションや知覚シミュレーションを行うことは基本的に不可能である。

なお、コミュニケーションについては、ジェスチャや身振り動作を通じたモダリティも存在するが現在の所、このようなコミュニケーションに関するプロトコルは設定されていない。この問題については、ジェスチャの背景にある意図などの内部状態を直接通信するモードや、ジェスチャパターンそのものを伝達して動作認識をするモードなどを切り替える事で対応していく予定である。

### 3.4 シミュレータの構造

本シミュレータはサーバクライアント形式となっており、中央のサーバシステムでは主に力学演算が行われる。知覚を用いて行動を行う物体はエージェントと呼ばれ、ロボットや人間のアバターがエージェントの候補となる。エージェントの行動は専用の C++ の API を用いて記述することが可能で、前述した知覚機能、コミュニケーションの機能を用いる事ができる。表 1 に利用可能な API の一部のリストを示す。将来的には C++ だけでなく、Python 等のインタプリタ言語への拡張を予定している。アバターはプログラムされた通りに動作するだけでなく、リアルタイムにオペレータから与えられた指示に基づいて行動することも可能である。

知覚のシミュレーションのためには、負荷を分散する必要がある。サーバシステムだけでなく、個別に設置した知覚シミュレーションサーバで計算を行う事が可能な構造となっている。具体的には視覚をシミュレートして画像のピクセルマップを提供するモジュールは、中央のサーバではなく、知覚シミュレーションサーバが担当している。

上記のような SIGVerse のソフトウェア構造を図 3 に示す。

## 4. SIGVerse の利用例

### 4.1 人間機械協調系の評価としての利用

SIGVerse の特徴は、力学計算、知覚シミュレーション、コミュニケーションのシミュレーションを同時に行う事ができる点である。本章では、これら 3 つの機能を全て活用するアプリケーションの例として人間とロボットが協調してタスクを実行する例について述べる。

シミュレーションを用いる開発者の目的は、人間と協調してタスクを遂行する事のできるロボットの知能をいかに開発するか、いかに効率の良い協調動作を実現するか、という事にある

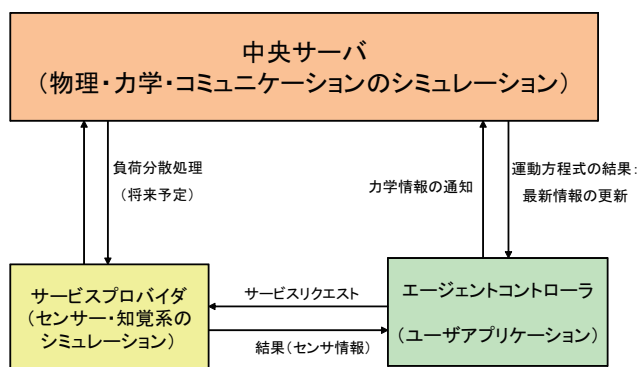


図 3: Software configuration of SIGVerse

とする。開発者は様々なモデルや仮説を取り入れながらロボットの判断・行動モジュールを開発し、シミュレータ上でそのパフォーマンスを確認する。この際、実際の人間とロボットが協調する事が求められるが、等身大のヒューマノイドロボットを購入・開発する事は限られた環境でなければ実現しない。そこで、ロボットと協調するオペレータが仮想環境内のアバターを操作する事で、ヒューマノイドロボットとユーザの協調作業を再現する。開発者が開発する知能モジュールは、仮想的な視覚や聴覚を用いてその場の状況理解やユーザの状態認識を行い、アームを制御するモジュールが力学計算を行い、さらにアバターとロボット間のコミュニケーション機能がシミュレーションを通じて実行される。このような使用例を発展させる事により、単に人間機械協調系の研究だけでなく、Robocup のような競技ベースの研究教育システムも構築できる。

上記のアプリケーションの例として「お好み焼きを焼く」というタスクを人間とロボットが協調して実行する状況を SIGVerse 上で実行した。このアプリケーションの実行画面例を図 4,5 に示す。オペレータが利用できる GUI には「ひっくり返す」「油をひく」「ソースを塗る」「火力を調節する」などのボタンがあり、タスクの目的はお好み焼きを焦がさないように、なるべく早く焼き上げる事を協調の目的としている。基本的にオペレータが GUI を使って作業を進めるが、ロボットは状況を判断しつつ、オペレータが作業をしている内容と並列して実行できる作業があった場合には、「今のうちに油をひいておきましょうか?」「火力を弱くしましょうか?」などの質問をオペレータに投げかけ、オペレータの反応を見ながら作業を遂行していく。図 4 は仮想環境のアバターがオペレータの指示に基づいてお好み焼きをひっくり返そうとしているシーン、図 5 はオ



図 4: A case in which a user operates avatar agent



図 5: A case in which a robot helps avatar's task

ペレータが特に何も作業を開始しないので、ロボットがまず油をひく作業を遂行しているシーンである。

実験として、オペレータがすべての行程を GUI で行う場合と、ロボットがオペレータの代わりに適切な作業を行う場合の 2 種類のケースをシミュレーションしてみた。前者のオペレータがすべての作業を行う場合にはタスク遂行まで 3 分 14 秒必要であったところ、後者の協調型のタスク遂行の場合には 1 分 58 秒で完了した。このように、人間機械協調系の性能を定量的に評価する道具として、有効な使い方が可能である。

## 5. まとめ

本稿では、人間やロボットの知能のメカニズムの理解のために必要となる学際的な研究アプローチのための、身体性の力学シミュレーションと、センシングと、社会的コミュニケーションを同一のシステム上で統合するシミュレーションプラットフォームのコンセプトを提案し、そのプロトタイプシステムを実装した。

具体的なアプリケーションの例として、人間とロボットが協調してタスクを遂行する例を挙げたが、ロボットの知能モジュールの設計評価以外にも様々な応用例が考えられる。例えば、昆虫の群知能のメカニズムを解明する生物学、神経生理学の観点から、昆虫の環世界を知覚シミュレーションによって再現し、知覚情報、身体的行動、および群内でのコミュニケーションを結び昆虫の行動規範のモデルを評価する事ができる。

今後は、SIGVerse を身体性の問題と社会性の問題を同時に考慮する具体的な研究事例に対して適用し、その有用性を確認していく予定である。シミュレーターの詳細な開発状況をウェブページ\*2 に随時掲載して行くので、興味のある方はご覧頂きたい。

## 謝辞

本プロジェクトは国立情報学研究所 (NII) の戦略的研究推進プログラム「グランドチャレンジ」の支援を受けた。またセカンドライフと SIGVerse の関連について NII の Helmut Prendinger 准教授から有益なコメントを頂いた。ここに感謝致します。

\*2 <http://www.iir.nii.ac.jp/>

## 参考文献

- [1] 金広, 藤原, 梶田, 横井, 金子, 比留川, 中村, 山根. ヒューマノイドロボットソフトウェアプラットフォーム OpenHRP. 日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 7, pp. 785–793, 2003.
- [2] 中岡, 山野辺, 比留川, 山根, 川角. 分散コンポーネント型ロボットシミュレータ OpenHRP3. 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 5, pp. 399–406, 2008.
- [3] Olivier Michel. Webots: Professional Mobile Robot Simulation. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 39–42, 2004.
- [4] B. Gerkey, R. T. Vaughan, and A. Howard. The Player/Stage Project: Tools for Multi-Robot and Distributed Sensor Systems. In *Proceedings of the 11th International Conference on Advanced Robotics*, pp. 317–323, 2003.
- [5] 齋藤宗香, 山口裕, 八槇博史, 秋山英三, 瀬島誠, 吉田和男. 国際政治・経済研究のためのシミュレーション環境 GPGSiM の開発. エージェント合同シンポジウム (JAWS2008), 2008.
- [6] S. Kirby and J. Hurford. The emergence of linguistic structure: An overview of the iterated learning model. In Angelo Cangelosi and Domenico Parisi, editors, *Simulating the Evolution of Language*, chapter 6, pp. 121–148. Springer Verlag, London, 2002.
- [7] Anette von Kapri, Sebastian Ullrich, Boris Brandherm, and Helmut Prendinger. Global Lab: an interaction, simulation, and experimentation platform based on "Second Life" and "OpenSimulator". In *Proc. Pacific-Rim Symp on Image and Video Technology*, 2009.
- [8] Johansson Magnus and Harko Verhagen. Massively multiple online role playing games as normative multiagent systems. In Guido Boella, Pablo Noriega, Gabriella Pigozzi, and Harko Verhagen, editors, *Normative Multi-Agent Systems*, No. 09121 in Dagstuhl Seminar Proceedings, Dagstuhl, Germany, 2009. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum fuer Informatik, Germany.