

■7 群 (コンピュータ-ソフトウェア) - 7 編 (分散協調とエージェント)

6 章 エージェントの応用

【本章の構成】

本章では以下について解説する.

- 6-1 Web とエージェント
- 6-2 エージェント指向ソフトウェア
- 6-3 シミュレーションと人工社会
- 6-4 電子商取引・人工市場・計算市場
 - 6-4-1 電子商取引
 - 6-4-2 人工市場
- 6-5 人工生命・エンターテイメント
- 6-6 インターネットロボット
- 6-7 人間社会における活動支援
- 6-8 RoboCup と RoboCupRescue

■7 群-7 編-6 章

6-1 Web とエージェント

■7群-7編-6章

6-2 エージェント指向ソフトウェア

■7群-7編-6章

6-3 シミュレーションと人工社会

■7 群-7 編-6 章

6-4 電子商取引・人工市場・計算市場

6-4-1 電子商取引

(執筆者：福田直樹) [2010年10月 受領]

電子商取引とは、その名の直接示すところを考えれば、電子的な通信手段を経由した商取引の総体である。特に本節で扱う電子商取引は、その通信手段として汎用のネットワーク回線（主にインターネット）を用いており、何らかのオープンなプロトコルに基づいていて、その商取引に対して極端に狭く限定されない範囲の参加者が参加できるものを指す。

ソフトウェアとして構成されたエージェントがその商取引に参加可能となるためのアクセス手段を、電子商取引は自明なインフラストラクチャとして持っている。例えば、書籍の販売を行っている Web サイト上の Web ページを人が閲覧して、決められた手順でのクリック操作と認証情報などの入力を行えば書籍を購入できるが、同様の操作をソフトウェアであるエージェントに代替させることの可能性は、容易に想像できる¹⁾。

具体的にエージェント技術を電子商取引に適用した研究事例としては、インターネット上のオンラインオークションサイトに対する自動入札の試みをマルチエージェント協調問題として扱った Ito らの例²⁾などがある。また、商取引そのものをエージェントが行わないが、商取引に関わる有益な情報を広範囲に収集して利用者に提示する研究事例として、Etzioni らのグループによる研究事例³⁾などがある。

電子商取引へのエージェント技術の適用は、新たな研究領域へのニーズを喚起する。電子商取引をソフトウェアプログラムであるエージェント自身が行うことを可能とするための技術として重要なものに、電子商取引にアクセスするための基盤プロトコル技術としての、Web サービス (Web Services) がある。電子商取引のためのサービス提供者を動的に捜しながらそのサービスをエージェントが利用可能とするための技術として、セマンティック Web に基づく Web サービス利用技術である、セマンティック Web サービス⁴⁾がある。

これ以外に、電子商取引へのエージェント技術の適用には、広範囲での新しい技術を必要とする。エージェントを人に代わって電子商取引に参加させるには、プライバシーの適切な保護や適切な評判情報の抽出などといった主に取引への参加者側に関わる課題のみでなく、その取引に用いられる市場メカニズムなどそのものへの影響やその対処も、重要な研究課題の一つとなってくる。また、商取引を時間的な観点から有利に進めるための通信遅延低減技術としてのモバイルエージェント技術の適用など、各分野の技術の応用に向けた進展が期待される。

■参考文献

- 1) R.H. Guttman, A.G. Moukas, and P. Maes : "Agent-mediated electronic commerce: a survey," The Knowledge Engineering Review, vol.13, no.2, pp.147-159, 1998.
- 2) T. Ito, N. Fukuta, T. Shintani, and K. Sycara : "BiddingBot: A Multiagent Support System for Cooperative Bidding in Multiple Auctions," Proc. Fourth International Conference on Multi Agent Systems (ICMAS2000), pp.399-400, 2000.
- 3) R.B. Doorenbos, O. Etzioni, and D.S. Weld : "A Scalable Comparison-Shopping Agent for the World-Wide Web," Proc. First International Conference on Autonomous Agents (AGENTS'97), pp.39-48, 1997.
- 4) S.A. McIlraith, T.C. Son, H. Zeng : "SemanticWeb Services," IEEE Intl. Sys. , vol.16, no.2, pp.46-53, 2001.

6-4-2 人工市場

(執筆著：和泉 潔) [2010年9月 受領]

(1) 人工市場＝エージェント＋価格決定メカニズム

人工市場とは、その言葉の通り、計算機上に人の手によって人工的に作り出された架空の市場のことである。これまで人工市場研究は、既存のモデルでは説明できなかった市場現象のメカニズムの解明や、市場理論の検証などで多くの成果をあげてきた。人工市場に参加しているのは、エージェントと呼ばれる計算機プログラムで表現された仮想的なディーラである。各エージェントの投資行動が集積し金融価格が決定されていくまでの価格決定のやり方を価格決定メカニズムと呼ぶ。どのようなエージェントを人工市場に参加させるのかが、人工市場研究の最も重要な点である。

(2) 人工市場研究の発展と主な成果

初期の人工市場では、各エージェントが少数の固定的な取引ルールしか持たないモデルが多かった。人工市場に学習と創発という観点を初めて導入したのが、サンタフェ人工株式市場の研究である¹⁾。このモデルでは、各エージェントの用いる予測式を従来よりも多様なものにし、更に、予測式の学習に進化的学習手法を用いた。これにより、バブルの発生や、予測ルールの複雑性の上昇などを人工市場で創発させた画期的な研究である。その後、より現実的な人工市場がでてきた。

U-Mart プロジェクトは、各エージェントの取引戦略を詳細化する方向の発展である。価格決定を行う市場サーバに、多様な取引プログラムが接続するタイプの人工市場である。これにより、金融価格の乱高下など市場の投機的な動きを回避するために、手数料率や値幅制限などの操作、マーケットメーカの有無、価格の更新速度の変更などの間接的な制御方法のテストを行っている²⁾。

AGEDASI TOF は、現実の経済記事を基にしたデータを人工市場に入力し、各エージェントに経済状況を判断する認知機構を持たせた。この人工市場により、現実のある時期のバブル発生・崩壊のメカニズムを解明したり、市場介入政策の決定を支援するシステムを構築した³⁾。

このほかにも、Nasdaq 市場の制度を評価する研究⁴⁾ など、人工市場で現実の金融市場の分析や評価に役立てる方向に進んできている。

(3) 現実の市場に近づく人工市場

今後、ソフトウェア技術の発展によって人工市場の取引エージェントがより現実的になれば、人工市場が実際の金融市場における取引戦略の試験台になることが可能であろう。それにより、個々の取引戦略の発展に貢献するだけでなく、金融市場全体の制度設計やルールの取り決めなどについても貢献することができるであろう。

■参考文献

- 1) W. Arthur, J. Holland, B. LeBaron, R. Palmer, and P. Tayler: "Asset pricing under endogenous expectations," in *An artificial stock market, in The Economy as an Evolving Complex System II*, B. Arthur, S. Durlauf, and D. Lane(eds.), pp.15-44, Addison-Wesley, 1997
- 2) 中島義裕, 松井啓之: "U-Mart プロジェクトの概要," 計測と制御, vol.43, no.12, 2004.
- 3) 和泉 潔: "人工市場: 市場分析の複雑系アプローチ," 森北出版, 2003.
- 4) V. Darley, and A.V. Outkin: "A NASDAQ Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems," World Scientific Pub Co Inc, 2007.

■7群-7編-6章

6-5 人工生命・エンターテイメント

(執筆者：有田隆也) [2010年10月 受領]

人工生命とは、生命の機能や振る舞いに関する原理を抽出し、それに基づく現象をコンピュータなどの人工メディアにおいて再現し、生命に関する普遍的知見を得ようとするアプローチである¹⁾。生命の構造、振る舞い、機能は、構成要素自体ではなく、それらの間の相互作用から創発するものとみなす点の特徴である。人工生命が重視する創発的現象には、自動的、自律的デザインという観点からの応用可能性が内在しており、実際、工学的領域に限らず、エンターテイメントの領域でも、様々な応用の試みがなされてきた。

6-5-1 人工生命とエンターテイメント

人工生命がエンターテイメントの領域に深く関わるのは次の2点から必然と言えよう。第1に、エンターテイメントの領域では、生命そのもの、あるいは生命的現象に対する潜在的ニーズが強い点である。なぜなら、エンターテイメントが創り上げる想像あふれる世界には様々な生命性が必要不可欠なためである。第2に、人工生命が研究対象としている創発的現象が極めてクリエイティブであり、また人の驚きを誘うものであるという点である。この性質は、エンターテイメントの自律性を魅力的に築くうえで重要である。

6-5-2 エンターテイメント志向の潮流

人工生命において、エンターテイメントやアートを志向する3つの潮流を述べる。

(1) 生態系進化

仮想的生物の生息する仮想生態系を計算機内に構築し、その生態を分析する研究群がある。そのなかの重要な研究として、シムズ (Sims) による仮想生物の形態と行動の進化モデルがある。個体発生による形態形成と行動の制御の両者を進化させたものであるが、特に意義深いのは、仮想生物2体が両者間に置いた仮想キューブを先に確保するタスクである。競合的共進化により、素早いキューブの確保、相手行動の妨害などの行動や、それらに適した形態の進化に成功した。一方、エンターテイメントをより強く志向したのは、ソムラーとローランであり、槽の底に映像を投影し、仮想生物が実際に泳いでいるように見える作品 *A-volve* を作った²⁾。力学的計算に基づいて泳ぎ回る仮想生物は食い合い、また繁殖する。インタラクティブ性も加えており、鑑賞者は、タッチパネルで輪郭を描き、新たな生物を水槽に追加できる。また、鑑賞者が水中で手を動かすと、仮想生物はそこから逃避する。

(2) 対話型進化

進化計算における適応度評価を人間が行う対話型進化計算の領域も活発である。そのパイオニアが、「利己的遺伝子」で有名なドーキンス (Dawkins) である。彼は、鑑賞者が複数のグラフィックス (突然変異体) から好みのものを選んでいくこと (人為選択) によって、グラフィックスを複雑化させていくバイオモルフ (biomorph) を考案した。選ばれた「親」のグラフィックス生成用データ (遺伝子型) を一部変化 (突然変異) させた複数の「子」を再び画面上に配置し、再び選択するというプロセスの繰り返しにより、鑑賞者の主観的な適応度地形を適応歩行して、鑑賞者にとって望ましい作品を生成する。対話型進化計算を用いてアミューズメン

ト志向の研究を行ってきたのが畷見達夫である。彼は、バイオモルフと同様な進化方式を踏襲し、グラフィックス生成のための SBART と、音楽生成のための SBEAT を開発してきた。現在、SBART では、GPU を用いたリアルタイム進化方式を実現し³⁾、SBEAT では、20 以上に及ぶ楽器パートを含む完全な楽曲を作成できる段階に達している。

(3) 群れ行動

群れを構成する個々の行動からの秩序創発を見事に表現したのがレイノルズ (Reynolds) のボイズ (Boids) である。仮想的な鳥であるボイドは、(1) 近隣ボイドの速度ベクトルを平均した速度ベクトルで動こうとし、(2) 近隣ボイドの重心方向へ移動しようとし、(3) 衝突を避けようとする。このような局所的な規則にも関わらず、極めて自然な群れ行動を再現し、また、障害物に応じて群れが二分した後には合流するなど、複雑性も創発させた。佐山は、群れ化学 (Swarm Chemistry) と銘打ち、Boids を拡張した興味深い研究を行っている。最新版では、各個体は動きに関するパラメータを持ち、他個体との衝突時に、評価基準 (例えば、近隣に同種個体数の多い方が勝者) に関して優れた個体が他個体にパラメータ群をコピーする。そして、捕食、共生、絶滅などのマクロなパターンの創発を鮮やかに示した⁴⁾。

6-5-3 今後の研究の方向性

従来の人工生命は、生命的現象を主にコンピュータで再現することにより、進展してきたが、近年、現実世界に結び付ける流れが強まってきた。一つは、従来の生物領域と融合し、文字通りの「人工生命」を実現する方向性である。もう一つは、エンターテイメントやアートの領域へ展開する方向性である。これは、生命の本質の一面を概念レベルで定義し、その中に人間を組み込んでシステムとして実現するものである。最初から表現を志向する従来のアートとは異なる。最近の研究事例として、池上高志がアーティストと組んだ Mind Time Machine がある⁵⁾。主観的な時間の生成をテーマとしたものであり、鑑賞者を含む環境のダイナミズムを取り込んで複雑な映像を何か月も生成し続けるインスタレーションを行っている。

■参考文献

- 1) 有田隆也：“人工生命 (改訂 2 版),” 医学出版, 2002.
- 2) C. Sommerer and L. Mignonneau: “A-Volve—An Evolutionary Artificial Life Environment,” in *Artificial Life*, V.C. Langton and K. Shimohara(ed.), pp.167-175, MIT Press, Boston, 1997.
- 3) T. Unemi: “SBART4—Breeding Abstract Animations in Realtime,” *Proceedings of the IEEE World Congress on Computational Intelligence*, pp.4004-4009, 2010.
- 4) H. Sayama: “Swarm Chemistry Evolving,” *Artificial Life XII: Proceedings of the Twelfth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, pp.32-33, MIT Press, 2010.
- 5) T. Ikegami and Y. Ogai: “Self-Organization of Subjective Time and Sustainable Autonomy in Mind Time Machine,” pp.624-625, 2010.

■7群-7編-6章

6-6 インターネットロボット

(執筆者：川村隆浩) [2010年11月 受領]

インターネットロボットとは、これまで人がコンピュータを操作して行っていたような処理を人に代わって自動的に実行するプログラムの総称である。ロボットの略称として、ボット (Bot) と呼ばれることもある。主には、検索エンジンなどで用いられている Web ページをかき集めるクローラや、オンラインゲームなどでキャラクタを人間に代わって自動的に操作するプログラム、またはカメラなどを搭載してネットワーク対応した家庭用エンターテインメントロボットを指す。更に最近では、Twitterなどのマイクロブログにおいて人に代わって自動的につぶやくシステムを指す場合もある。これは人工知能研究における人工無能に通じるものであるが、RSSなどを取得して時事ネタを定期的につぶやくボットや、ボット宛の発言に反応して発言するボットなど様々なタイプが開発されている。

しかし、ここでは本編で述べてきた通り、自律的、協調的に動作するソフトウェアエージェントをインターネット上で活用した事例について紹介する。狭義にはインターネットエージェントとも呼ばれる。

6-6-1 インターネットエージェント

前章で解説のある通り、エージェントシステム (またはエージェント開発環境) としては、マルチエージェントの JADE や Bee-gent、モバイルエージェントの Aglets や Plangent などが著名であるが、インターネットエージェントはこうしたシステムを用いて研究・開発されているものも多い。なお、Web ブラウザやメールのメール転送機能をユーザエージェントと呼んだり、ネットワークやサーバを監視するツール、スパムフィルタなどもエージェントと呼称されることもあるが、ここではそれらは含めないものとする (もっとも、最近は逆に、自律的な動作をするサービスであっても、必ずしもエージェントやロボットと呼称することは少ないかもしれない)。

以下では、代表的な応用例として商用化・実用化を視野に入れている事例を中心に紹介する。

(1) B2C 向け応用

秘書エージェントまたはパーソナルエージェントと呼ばれるタイプのエージェントは、ユーザのために自動的にあるタスクを実行するプログラムである。有名なものとして、1987年に Apple 社の元 CEO ジョン・スカリーが提案した「ナレッジ・ナビゲータ」では、画面上に現れた執事を模したエージェントとユーザが音声で対話しながら情報検索などを行っている様子が描かれている。このビデオは、現在でも Youtube などで閲覧可能である。なお、Apple 社は 2010 年、DARPA CALO プロジェクト (60 超の大学・研究期間によるエージェント研究) の成果を事業化したベンチャ企業「Siri」を買収し、音声での命令によって複数の他社サービス (レストラン、映画、イベント、地域情報、天気、タクシーなど) の中から最適なものを選択・実行できるサービスを iPhone 上で提供開始した。

一方、国内の事例としては、NTT ドコモが 2008 年にスタートした携帯電話向けサービス「i コンシェル」が挙げられる。これは執事を模したひつじのキャラクタを使った情報配信システムであるが、個人の関心や GPS による位置情報などに基づいて、スケジュールのリマインド

や、電車の案内、チケット情報などを提示する。また、総務省の情報大航海プロジェクトである「マイ・ライフ・アシストサービス」では、ユーザの行動ログを蓄積し、行動パターンから役立つ情報を提示することが試みられた。本サービスは、NTT ドコモのほか NEC や東京大学など 10 の団体・企業によって実証実験が行われ、今後、段階的に商用化が検討されている。更に、近年では Web ページやブログ、Twitter などから必要な情報を抽出するエージェントも数多く研究開発されている。

ほかに、特に買い物に特化したエージェントとしては、古くは 1995 年にリリースされたアンダーセン・コンサルティングによる「バーゲン・ファインダ」が有名である。これはユーザに代わってネットワーク上の複数のショッピングサイトの価格情報を調べてくれるものである。現在では、エージェントという呼称の有無に関わらず、多くの類似サービスが存在していることは周知の通りである。また、Amazon などが提供している協調フィルタリングによるユーザ間の嗜好の類似性から興味があると思われる商品を推薦するサービスなども買い物エージェントと言えるだろう。同様に、旅行計画に特化したエージェントも古くからエージェント研究のモチーフとなっているが、筆者は実用化されたものを知らない。ただし、上記の Amazon と同様に、旅行会社の Web サイトなどで機能としては既に多くのものが実現されていると言える。

(2) B2B/G2C 向け応用

B2B/G2C 向けでは、欧州を中心に従来の e-Commerce にとどまらず、e-Government や e-Healthcare への適用が研究されている。また、米国を中心にスマートグリッドへのエージェント応用も盛んに研究されている。ここでは、そうした応用例に共通する一つのキーワードとしてエージェントの実世界指向に注目したい。

上の秘書エージェントの実世界版とも言えるのが、IBM が 2008 年に発表した「Next five in five」(次の 5 年で世の中を変える 5 つの予測) のなかの「パーソナルショッピングアシスタント」である。これは現実の店舗での買い物において、リコメンド機能を持ったアシスタントエージェントが洋服からアクセサリまでベストな組合せを提示してくれるものである。ほかにも、ユーザが食べたものを管理し、カロリーを計算してくれるサービスなども広い意味で実世界指向エージェントである。これらは、サービス対象は一般消費者であるが、一次顧客は健康保険組合や保険会社であることから B2B/G2C とと言える。

一方で、センサネットワーク上の個々のセンサや監視制御装置をエージェント化したセンサエージェントと呼ばれるものも注目されている。ここでのセンサとは、従来の化学センサや物理センサに加え、監視カメラやヒューマンプロブ(人間による計測)も含まれ、今後ますます大規模化するセンサネットワークに(マルチ)エージェントの情報処理機能を付加することで、人の代理として各種の環境問題、安全・安心に関する問題を認識、予測、評価していくことが指向されている。例として、イーラボ・エクスペリエンス社の「フィールド・サーバ」(カメラとセンサと通信装置を一体化した主に農業用の屋外簡易計測機器システム)には、データ収集、制御、表示用のエージェントプログラムが対応している。また、広い意味では、前述のヘルスケア応用やスマートグリッド応用もこの分類に入るだろう。

今後は、セマンティック Web 技術の普及によってより扱いやすくなった Web 情報と、各種センサや Twitter のつぶやきなど実世界の情報とがエージェントによって統合され、真にユーザメリットのあるインターネットロボットが出てくることが期待される。

■7 群-7 編-6 章

6-7 人間社会における活動支援

■7群-7編-6章

6-8 RoboCup と RoboCupRescue

(執筆著者：浅田 稔) [2010年9月受領]

ロボカップは、西暦 2050 年までに「サッカーの世界チャンピオンチームに勝てる、自律型ヒューマノイドロボット（人間型ロボット）のチームを作る」という夢に向かって人工知能やロボット工学などの研究を推進し、様々な分野の基礎技術として波及させることを目的としたランドマーク・プロジェクトである。現在では、サッカーだけでなく、大規模災害へのロボットの応用としてロボカップレスキュー、次世代の技術の担い手を育てるジュニア、日常生活への応用を目指したロボカップ@ホームのリーグなどが組織されている。研究テーマや実験内容に関しては文献 1), 2), 3), 4) などを参照されたい。

6-8-1 研究課題

ロボカップが想定する研究課題は、動的・複雑・不確実な実世界での機敏で臨機応変な行動、複数ロボットの柔軟かつ多様な協調行動、最適なコミュニケーション戦略、などである。サッカーロボットでは、小型 (SSL)、中型 (MSL)、シミュレーション (Sim)、標準ロボット型 (4-legged/SPL: これまではソニー社製のアイボが使われていたが、2008 年からは、ヒューマノイドの標準ロボットが利用されている)、ヒューマノイドの各リーグがあり、主に大学院レベルの研究成果が競われている。シミュレーション部門では、純粋にソフトウェアのみでこれらにアプローチすることを想定しているが、実機部門では、ハード、ソフト、通信など多様な手段を総合してアプローチしている。

視覚をはじめとした実時間知覚（ボール、ゴール、フィールドライン、敵味方の瞬時の認識）、複数ロボットの機敏な運動制御（瞬時の攻守交替に対応する急激な加減速や方向転換、高速走行、安定性、ボールのキックやトラップの器用さや強さ）、多様な状況と行動（ボール、ゴール、プレーヤの位置関係や相対運動とゲームの文脈に応じて非常に多様な状況が生じ、各々の状況に応じた適切な意思決定と行動生成）などが挙げられる。

これらの成果、例えば、複数移動ロボットの制御技術は、各種物流における搬送車の自動制御に、また実時間視覚情報処理技術は、各種検査技術などへの応用が考えられている。大きな方向として、人間社会に導入されるべく日常と非日常への応用が競技会としても設定されている。前者はこれまでのロボカップ競技会で培った技術を日常生活に活かすことを目指したロボカップ@ホームである。人間の識別や活動支援などもくろんでいる。これらの課題を全世界の研究者が競い合うことで、科学技術の進展を目指している。後者はロボカップレスキューで、以下に説明する。

6-8-2 RoboCupRescue

ロボカップレスキューリーグは、複数ロボットの連携による災害救助ロボットの開発が目標であり、実機リーグとシミュレーションリーグに分かれる。前者では、実際の災害現場と同じスケールの競技場で、災害の度合いを三段階に分け、それぞれのステージにおいて、被災者の発見などを競う。現場のロボットからのセンサ情報（主に視覚）を頼りに遠隔操作によって災害現場のオペレーションを競う。図 8・1 にロボットの競技の様態を示す。



図 8・1 RoboCupRescue 実機リーグでの競技の一場面 (ロボカップ本委員会提供)

シミュレーションリーグでは、都市災害を可能な範囲でコンピュータネットワーク上にリアルに再現し、消防隊員、コマンダー、被災者、ボランティアなどの多彩なエージェントが、この仮想空間で様々な活動を繰り広げる。災害を最小に抑えるために必要な情報収集機器を想定し、ヘリコプターなども導入し、意思決定を競う。実時間計画、ヘテロマルチエージェントプランニングなどの研究テーマが含まれる。結果や成果はオープンリソースとなっており、誰でもがアクセスできる公開性がロボカップの特質である。

6-8-3 RoboCup の波及効果

図 8・2 に参加チーム数の推移を示す。第一回の名古屋での世界大会の参加チーム数が一挙に

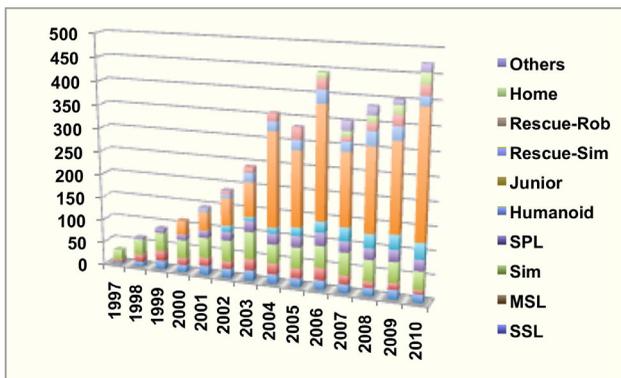


図 8・2 過去の世界大会の参加チームの推移 (ロボカップ国際委員会提供)

急増し、現状では、時間と場所の拘束から、出場チームを制限せざるをえない状況である。ロボカップの基本コンセプトは公開性にあり、研究・教育・産業の同時進行である。そのことで、大学生や研究者のモチベーションを上げると同時に、小中高生が参画するジュニアを通じて、両親や関係者などの研究と直接関係のない一般の方々も巻き込むことで社会的認知も高まり、ロボットの社会への導入の手助けとなっている。

■参考文献

- 1) 北野宏明, 浅田 稔: “「ワールドカップ」ロボットの挑戦,” 日経サイエンス, vol.28, pp.74-82, 1998.
- 2) 浅田 稔: “ロボカップにおける rt の進化と深化,” 機能材料, vol.25, no.1, pp. 7-16, Jan. 2005.
- 3) 田所 諭, 北野宏明(監修), RoboCup-Rescue 技術委員会, The RoboCup Federation, ロボカップ日本委員会(編): “ロボカップレスキュー: 緊急大規模災害救助への挑戦,” 共立出版, 2000.
- 4) 野田五十樹, 松原 仁: “ロボカップ 12 年,” 人工知能学会誌, vol.25, pp.183-188, 2010.