

研究課題別評価

1. 研究課題名: 人間とロボットの相互関係形成のための構造化学習

2. 研究者氏名: 久保田直行

3. 研究の狙い:

人間に優しいロボットの従来研究は、ある特定の行動学習や知識の抽出、音声対話や感情表現に基づく円滑なコミュニケーションを目指したものが多く、人間とロボットのコミュニケーション形態の形成や学習に関する議論は、ほとんど行われていない。また、人間とロボットとの相互関係形成の議論は、「慣れ」や「愛着」に関する議論だけでなく、「信頼性」への議論へと発展し、ロボットとの相互関係は、はき慣れたシューズや乗り慣れた自転車や自動車のように使用者の期待を裏切らない道具へと進化させうる。相互関係は、単に故障率や精度等の問題でなく、人間と人間のように実際に「関わる」ことにより相互適応するプロセスの中に構築される関係であり、相互関係形成を相互学習の枠組みから議論する必要がある。

本研究では、人間との相互関係を形成するためのロボットの構造化学習の方法論の確立を目指す。具体的には、人間とロボットとのコミュニケーション形態の形成プロセスの解析や人間からロボットへの教示方法の形成プロセスの解析に基づき、人間とロボットとの相互関係形成の議論を通して、人間がロボットをパートナーとしてより賢く共存できる方法論を構築することである。人間との相互作用の中から人間とロボットの相互関係形成を議論するためには、大きくわけて、以下の三つの観点から研究を進める。まず、コミュニケーションに必要なロボットの知覚システムに関する研究である。人間は、他者の発話内容や身振り・手振りに基づき、見ている環境から必要な情報を探索しながら、円滑なコミュニケーションを進める。したがって、人間のように環境を介したコミュニケーションを支えるための知覚システムを構築する。次に、ロボットの人間とのコミュニケーションと教示に関する基礎研究である。ロボットの学習において、成功や失敗に関する教示は、最低限、必要不可欠であるが、その教示の仕方そのものが形成される過程を例に、人間とロボットのコミュニケーションを可能にするロボットの学習機構や模倣学習のための方法論を構築する。さらに、行動学習時に人間との接触の構造や状況に関する価値関数を学習させることにより、未来のコミュニケーションにおいて、獲得済み行動を再現するための方法論を提案する。最後は、人間とロボットの相互関係形成を実現するための全体としての構造化学習の方法論に関する研究である。

4. 研究成果:

4.1 パートナーロボットの開発

本研究では、パートナーロボットとして、人型ロボット Hubot とパソコン型ロボット MOBiMac を開発した(図1)。人型ロボットを用いた研究では、身振り・手振りを行うことによる人間のような表現に基づくコミュニケーションを用いた相互関係の形成に関する議論を行うことを目的とする。一方、パソコン型ロボットを用いた研究では、特に注意の方向である「向き」に限定したコミュニケーションを用いた相互関係の形成に関する議論を行うことを目的とし、さらには、コンピュータをロボットに置き換えた場合の人間とコミュニケーションスタイルに関する研究を行う。

4.2 自然なコミュニケーションのための知覚システム

人間は、他者の視線や指差し動作、ジェスチャー等にしがたい、環境内から必要な情報を抽出している。特に、このような能力を実現する知覚システムは、環境内から全ての情報を抽出しようとするのではなく、他者との経時的なコミュニケーションにしがたい、必要とする情報を探索している。具体的には、環境が持つダイナミクスと人間とのコミュニケーションのダイナミクスにしがたい、知覚した情報に基づき、次に必要とされる情報を抽出するための知覚モジュールが選択される。本研究では、このような知覚モジュール選択機構を実現するために、スパイクングニューラルネットワーク(SNN)を用いる。SNN は、時空間的パターンを学習することができ、知覚モジュールに対応し

たニューロンが発火した場合、情報抽出を行うようにサンプリング間隔の制御を発火パタンに埋め込む。各ニューロンへの入力、他のニューロンからの発火情報や各種センサの計測値が入力される。図2にSNNを用いた画像処理の様子を示す。左上が原画像、中上が差分中抽出、右上が顔認識、左下が物体認識、中下が腕姿勢認識、右下がジェスチャー認識となっている。まず、差分抽出に基づき、注視領域を生成した後、各種画像処理知覚モジュールが選択される。画像処理知覚モジュール選択に用いられたSNNの発火履歴を図3に示す。実験結果から、ロボットは、適宜、コミュニケーションに必要な画像処理知覚モジュールを選択している様子が見られる。このように人間との円滑なコミュニケーションを実現するためには、その場に適切な知覚を行う能力が必要である。次に、ジェスチャー認識は、時間的な手の動きを抽出することを目的とし、ここでは、サイクリックジェスチャー認識の結果を図4に示す。この例では、8の字に動かした手の動きを抽出することができる。このように人間の手の動きを抽出し、そのときの状況や行動を学習することにより、未来におけるコミュニケーションにおいて、学習済み行動を再現することが可能になる。



図1 人型ロボット Hubot とパソコン型ロボット MOBiMac

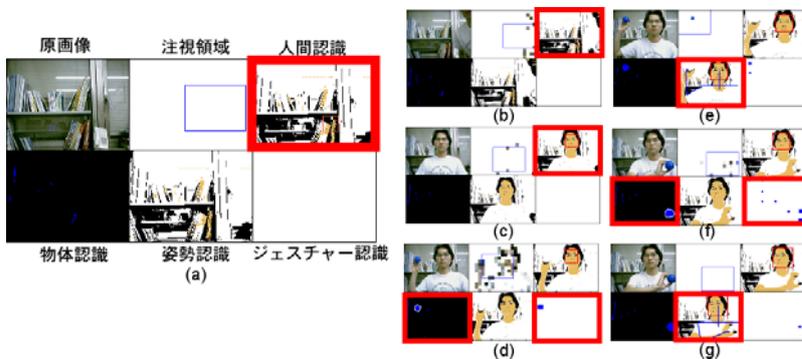


図2 SNNを用いたサンプリング間隔制御と画像処理

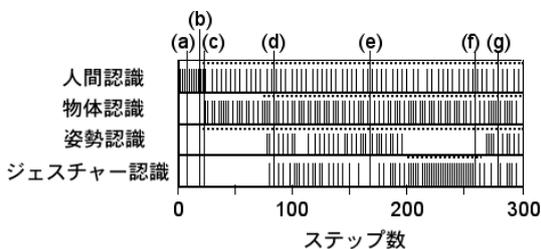


図3 画像処理知覚モジュール選択のためのSNN発火履歴

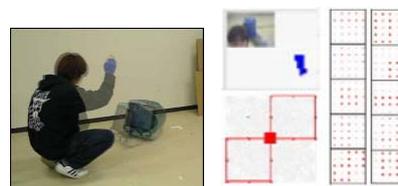


図4 ジェスチャー認識

4. 3 人間に優しい行動のための学習

人間に優しい行動の学習を実現するために、本研究では、(1)評価を与えずに、人間とロボットの試行錯誤的な接触から構造的なパタンを探り合う学習方法、(2)人間の評価に基づき人間にとって怖くない動作パタンを試行錯誤的に学習させる方法、(3)人間の動作パタンを模倣させる方

法を提案した。

まず、(1)では、異なる人間の接触パタンのダイナミクスを、知覚-行為循環に基づく予測情報を用いて、複数の異なるニューラルネットワークにより分散的に学習する手法を提案し、人間によるロボットのナビゲーションに適用した(図5)。ここでは、事前に人間には、ロボットの動作パターンが教えられていないため、人間は、ロボットの動作パターンを探索するために様々な接触を試みる。図6に学習の最初と最後の試行結果のロボットの軌道を示す。人間の接触のパターンは全くのランダムではなく、何らかの構造を持ち、ロボットはこの接触パターンを学習するとともに、人間に理解しやすい動作パターンを生成する。その結果、最初は、互いの反応の予測が困難だったため、うまく誘導できていないが、学習が進むにつれ、滑らかに誘導することができた(図6)。この互いの探索的、かつ、試行錯誤的な動作パターンをファジィ推論ルールで記述し、進化的計算を用いて生成し、人間がナビゲートしやすい動作パターンを学習できることを示した。ここで、重要なことは、ロボットの学習において、成功や失敗に関する教示は、最低限、必要であるが、この教示の仕方そのものが、相互作用を通して形成された点である。ロボットは、ランダムなセンサ入力を学習することが困難であり、人間がランダムな接触を試みるとき、ロボットは学習しない、すなわち、失敗という教示を表現できることを学習した。以上のことから、相互関係を形成するためには、互いに構造的な接触をし、互いに反応が予測可能であることが重要であることを示した。



図5 相互適応に基づくナビゲーション実験でのインタラクション

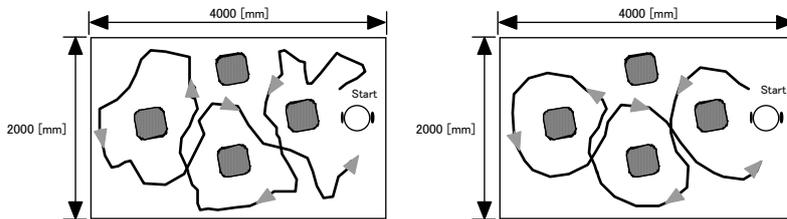
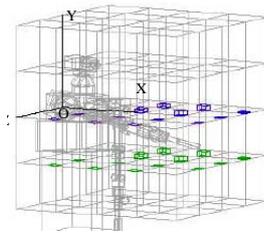


図6 相互適応に基づくナビゲーション実験におけるロボットの軌道の変化

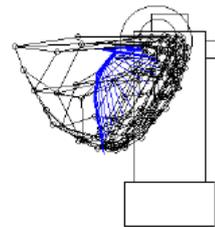
次に、(2)の適用例として、手渡し動作の学習を行った(図7)。ここでは、被験者に10段階の評価値入力を行ってもらった。具体的には、ロボットが行動(軌道)を提示しながら、人間の評価を3次元モデリングし、人間の評価の高い空間を通るような軌道に対話型遺伝的アルゴリズムを用いて生成した。また、自己組織化マップ(SOM)を用いて手渡し動作の目標点の分類学習を行うことにより、人間とのインタラクションで用いられる領域やタスクを分類した。また、階層型ニューラルネットワークを用いて軌道学習を行うことにより、人間に優しい軌道を学習できることを示した。



(a) 手渡し動作



(b) 3次元評価モデリング



(c) SOMを用いた軌道学習

図7 人間に優しい軌道生成

ここでは、最小限の評価入力だけで、人間の評価構造の3次元モデリング、タスクの分類、軌道学習を同時に行うことができ、互いの学習状況にあわせて調整し合いながら学習を同時に行う構造化学習の有効性を示した。

最後に、(3)では、人間の手振りにしたが、模倣学習を行う手法を提案した。模倣学習は、観測した動作パターンをロボットの身体的特徴にあわせて解釈して再現される。ここでは、4.2 で示したジェスチャー認識手法を用いて手の動きを抽出・分類し、ロボットが人間の手振り・身振りを学習する。図8に模倣学習の一例を示す。この結果では、人間の簡単な手振りのパターンを学習し、それを再現することができた。



図8 模倣学習の様子

以上のように、提案手法では、人間と触れ合うことから、様々な行動パターンを学習し、これらの獲得した行動を人間とのコミュニケーションにおいて再現できるため、互いの行動を予測し、期待を裏切らないパートナーになりうるために必要な基本的な行動学習能力があることを示した。

4. 4 経験に基づくコミュニケーションのための価値関数

人間の行動は、多くの場合、環境条件に制約される。例えば、子供にとって、リビングルームに置いてあるボールと子供部屋に置いてあるボールの遊び方は異なる。これは、相互作用の仕方が取り巻く環境条件に大きく左右されることを意味し、コミュニケーションの仕方も置かれている環境にあわせて変化し、身振り・手振りや発話内容の解釈も変化する。すなわち、行動学習を行う際に、その行動がどのような場所で、どのような状況で行われたかということ学習する必要があり、ここでは、価値関数を用いたマップビルディングを行う。この生成されたマップを参照することにより、経験に基づく未来のコミュニケーションがより円滑に行われる。研究室内にバッテリーステーションとボールを置いて、マップビルディングを行った一例を図9に示し、情報抽出の様子を図10に示す。人間とインタラクションをしながら、マップを更新するとともに、インタラクションの際の会話や認識した物体を関連づけるため、場所情報に基づく過去の経験を活かしたコミュニケーションが未来に実現される。

4. 5 小学校での英会話教育

本研究では、人間と相互作用しながらロボットが認知発達するため、適用事例の一つとして、小学校の教育現場にロボットを導入し、人間との相互関係形成のプロセスを議論した(図11)。近年、小学生のコミュニケーション能力の低下が問題視されている。その原因の一つとして、コンピュータゲームやテレビの視聴時間が長く、人と触れ合う時間が少なくなっていることがあげられている。子供のロボットとの触れあい方は、人や動物との触れあい方とは異なり、ロボットの仕組みを知ろうと色々なことを試みる。実際、ロボットが英語を話し出すと、ネイティブの先生とは英語であまり話そうとしない子供が、片言の英語で積極的にロボットと英語で会話しようと試みていた(図12)。一般にパソコンを用いた英会話教育では、画面上の2次元の世界に没入しがちになり、マウスとキーボードの操作だけで表情をほとんど見せないが、ロボットを用いた英会話教育では、身振り・手振りをとれないながら、遊び、楽しんでいた。さらに、子供が見せた積み木やボールを用いて、ロボットがリアクションするため、生きた英会話教育が実践できる。このように動きを伴うロボットを用いた教育では、子供のコミュニケーション能力の低下を抑制しつつ、生きた英会話を教えることができるため、語学教育に効果的に適用できると考えられる。次に、このロボットは、人間が見せたモノを記憶したり、インタラクションのパターンを学習できるため、子供がロボットに身近なモノを教える一方で、ロボットは、子供に英会話を教える、双方向の学習(相互学習)が実践でき、さら

に教育効果が高まる可能性がある。

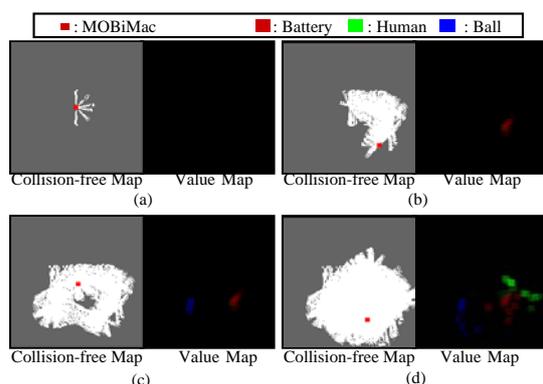


図9 マップビルディングの一例

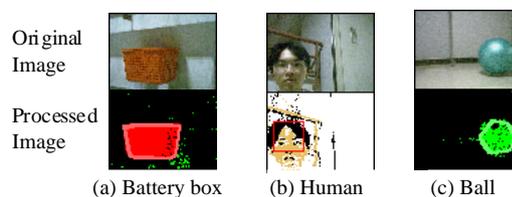


図10 マップビルディングにおける情報抽出



図11 小学校でのコミュニケーション



図12 ロボットを用いた英会話教育

5. 自己評価:

本研究では、2種類のパートナーロボットを開発し、自然なコミュニケーションを実現するために、様々な観点から相互関係形成に必要な構造化学習の方法論を提案した。当初の最終目標は、人間とロボットの相互関係の形成プロセスに関する議論を行うことであり、基礎実験を行った結果、互いに予測可能な接触と反応の関係を学習しあうことが重要であることを示した。しかしながら、人間のような自然なコミュニケーションを実現するために行った人型ロボットを用いた研究では、限られた時間の中で、当初の最終目標である人間とロボットの相互関係の形成には至らなかった。その原因は、人間との自然なコミュニケーションに必要な指示語理解や身振り手振りに基づく環境情報抽出のための知覚システムが不完全であったためであり、現在、これらの知覚システムの改良を行っている。一方、研究成果の適用事例として、小学校教育におけるロボットに関する議論を行った。コンピュータを用いた教育に代わりロボットを用いた場合、子供のコミュニケーション能力の低下を抑制しつつ、自主的かつ積極的な学習が行える可能性を示すとともに、ロボットと人間の双方向的な学習(相互学習)の有効性を示し、今後の効果的な教育ロボティクスの可能性を示した。以上、まとめると、3年間の研究成果として、様々な観点から人間とロボットのコミュニケーションに関する議論ができ、今後の発展的な研究に繋げるための方向性が固まったと思われる。

今後の展望として、人間との自然な関わりの中からロボットが認知発達するために必要な理論を体系化し、人に優しいパートナーロボットの学習のための方法論を確立していきたい。さらに、学校で子供を危険から守る能力を併せ持つ教育現場での総合的なロボットを開発する予定であり、「子供の認知発達の仕組みを解明し」、「子供の能力を引き出し」、「子供を危険から守る」ための教育現場の基盤構築と発展に貢献することが期待できる。

6. 研究総括の見解:

本研究は、人間との相互関係を形成するためのロボットの構造化学習の方法論の確立を目指す。本研究では、2種類のパートナーロボットを開発し、コミュニケーションを支えるためのパートナーロボットの知覚システムを開発するとともに、模倣学習に基づく行為システムと人間や環境とのインタラクションを評価するための価値システムを統合した構造化学習の方法論を提案したことは、大きな成果であり、高く評価できる。さらに、小学校での英会話教育への適用事例では、子供がロ

ボットに身の回りのものを見せながら覚えさせ、ロボットは子供に英語を教えることによる双方向的な学習の効果を示したことも評価できる。

今後の展望として、人間との自然な関わりの中からロボットが認知発達するために必要な理論を体系化し、人に優しいパートナーロボットの学習のための方法論を確立されたい。

7. 主な論文等:

論文

1. 久保田直行, 三原正雅, 小島史男, 福田敏男, “疑似生態系のための共進化型ロボットの行動獲得”, 日本知能情報ファジィ学会誌, 15巻, 1号, pp.88-97, 2003.
2. Kubota, N., Hisajima, D., Kojima, F., and Fukuda, T., “Fuzzy and Neural Computing for Communication of a Partner Robot”, J. of Multi-Valued Logic and Soft Computing, Vol.9, pp.221-239, 2003.
3. Naoyuki Kubota, Yosuke Urushizaki, “Communication Interface for Human-Robot Partnership”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.16, No.5, pp.526-534, 2004.
4. Naoyuki Kubota, “Computational Intelligence for structured Learning of A Partner Robot Based on Imitation”, Information Sciences, No.171, pp.403-429, 2005.
5. Naoyuki Kubota, Yusuke Nojima, Fumio Kojima and Toshio Fukuda, “Multiple fuzzy state-value functions for human evaluation through interactive trajectory planning of a partner robot”, Soft Computing, 2005.

国際会議発表論文

1. Naoyuki Kubota, Yusuke Nojima, Fumio Kojima, “Imitative Behavior Generation for A Vision-Based Partner Robot”, Proc. (CD-ROM) of 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2004), pp.3080-3085, Sendai, Japan, September 28 – October 2, 2004
2. Naoyuki Kubota, Kyotaro Tomoda, “Behavior Coordination of A Partner Robot based on Imitation”, Proc. of 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents, pp. 164-169, Palmerston North, New Zealand, December 13-15, 2004
3. Naoyuki Kubota, Kenichiro Nishida, “Fuzzy Computing for Communication of A Partner Robot Based on Imitation”, Proc. of 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (CD-ROM), pp. 4391-4396, Barcelona, Spain, April 18-22, 2005
4. Naoyuki Kubota, Kenichiro Nishida, “Human Recognition of A Partner Robot Based on Relevance Theory and Neuro-Fuzzy Computing”, Proc. (CD-ROM) of 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2812-2817, Edmonton, Alberta, Canada, August 2-6, 2005
5. Naoyuki Kubota, Toshiyuki Shimizu, Minoru Abe, “Joint Attention of A Partner Robot Based on Computational Intelligence”, Proc. (CD-ROM) of 2nd International Symposium on Computational Intelligence and Intelligent Informatics (ISCIII 05), pp.196-201, Les Côtes De Carthage, Gammarth Tunisia, October 14-16, 2005

国内会議発表論文

1. 久保田直行, 能島裕介, 小島史男, “パートナーロボットの見まね学習のための知覚システム”, 第20回ファジィシステムシンポジウム, pp.398-403, 2004.6.2-3
2. 久保田直行, 西田謙一郎, “ニューラルネットワークを用いたパートナーロボットのコミュニケーション”, 第14回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp.117-122, 2004.10.9.
3. 久保田直行, 清水俊之, “パートナーロボットの人間検出のための視知覚”, 第21回ファジィシステムシンポジウム 講演論文集, 8D2-2, 2005.9.8.
4. 久保田直行, 清水俊之, “模倣に基づく行動モデル生成と学習”, 日本応用数理学会 2005年度年会 講演予稿集, pp.48-49, 2005.9.23.

5. 久保田直行, 小嶋宏幸, “ロボットとのコミュニケーションによる英会話教育”, 2005年度学術講演会発表論文予稿集(CD-ROM), 11月18日 B-③, 2005.11.18.

著書

1. Fukuda, T. and Kubota, N., “Intelligent Learning Robotic Systems Using Computational Intelligence (Computational Intelligence: The Experts Speak, Edited by Fogel, D.B. and Robinson, C.J.)”, IEEE Press, pp.121-138, 2003.
2. 久保田直行, “知覚-行為循環によるパートナーロボットとのコミュニケーション(パターン・記号統合 基礎と応用-ペットロボットのペットらしさを求めて, 古橋, 萩原編)”, 丸善株式会社, pp. 158-171, 2004.
3. Toshio Fukuda and Naoyuki Kubota, “6.43.38 Robotics,” in Control Systems, Robotics and Automation, edited by H. Unbehauen, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [http://www.eolss.net]
4. Naoyuki Kubota and Toshio Fukuda, “6.43.38.4 Intelligent Robots,” in Control Systems, Robotics and Automation, edited by H. Unbehauen, in Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK, [http://www.eolss.net]
5. Naoyuki Kubota, Masayuki Kanemaki, “Search of Steady-State Genetic Algorithm for Vision-based Mobile Robots”, Recent Advances in Simulated Evolution and Learning (Kay Chen Tan, Meng Hiot Lim, Xin Yao, and Lipo Wang edited), World Scientific, pp. 729-746, 2004.

総説・解説

1. Fukuda, T. and Kubota, N., “(Tutorial) Computational Intelligence for Robotic Systems”, Proceedings (CD-ROM) of the 2003 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FuzzIEEE2003), p.1495, 2003-5.
2. Naoyuki Kubota, “(Tutorial) Learning and Evolution for Intelligent Robots”, Proc. (CD-ROM) of The 5th International Conference on Simulated Evolution And Learning (SEAL 04), BEXCO, Busan, Korea, October 26-29, 2004.
3. 久保田直行, “(解説)進化的ロボティクスと適応”;システム制御情報学会, システム/制御/情報, Vol.47, No.12, pp. 565-570, 2003.
4. 久保田直行, “(解説)知能ロボットの行動学習”;システム制御情報学会, システム/制御/情報, Vol.48, No.2, pp. 51-56, 2004.
5. 久保田直行, “(解説)システムインテグレーションとインテリジェントシステム”, 計測と制御, Vol.44, No.5, pp. 339-344, 2005.

招待講演

1. 久保田直行, (特別講演)鉄腕アトムとパートナー, 「未来を描くロボットの知-アトム生誕を記念して-」, 2003.4.7
2. 久保田直行, (招待講演)パートナーロボットのためのソフトコンピューティング, シンポジウム「最近のソフトコンピューティング技術の進展」, 早稲田大学, 2003. 6. 7
3. Naoyuki Kubota, (Plenary Speech) 「Structured Learning for Partner Robots」, Proc. of 2004 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Vol.1 pp.9-14, Budapest, Hungary, Jul.25-29, 2004
4. 久保田直行, (特別講演)「パートナーロボットの構造化学習」, KES 国際会議日本支部主催第2回講演会講演論文集, pp.9-16, 2004.7.17
5. 久保田直行, (招待講演)「ロボットを通して, 人の心や行動を考える」, 東京都千代田区立九段小学校, 2005.10.28
6. 久保田直行, (特別講演)「人の暮らしを明るく支えるパートナーロボット」, 第9回いたばし産業

見本市, 板橋区立東板橋体育館, 2005.11.17-19

受賞

1. Recognition Award, SOFT (国際シンポジウム, ISCI 2003), (論文題目) Computational Intelligence in Robotics, 2003-5.