

## 6-3 ユビキタスホームにおける対話ロボットを使った生活実証実験

### 6-3 *Real Living Experiments with Conversational Robots at Ubiquitous-Home*

上田博唯 美濃導彦 近間正樹 佐竹純二 小林亮博 宮脇健三郎  
松本斉子 木戸出正継

UEDA Hirotada, MINOH Michihiko, CHIKAMA Masaki, SATAKE Junji,  
KOBAYASHI Akihiro, MIYAWAKI Kenzsaburo, MATSUMOTO Naoko, and  
KIDODE Masatsugu

#### 要旨

家庭内のユビキタスネットワークと対話ロボットを接続することにより、ロボットの認識能力を向上させてコンテクストアウェア型サービスを適切に提供し、またネットワークを通じて新たに情報を取得することでロボットの状況説明能力を高めることによって、ヒューマンインタラクションの新しい展開が期待できる。本稿では、そのようなコンセプトに基づいて、ユビキタスホーム内に構築した対話ロボットシステムと、生活実証実験によって得られた知見について報告する。

The situation recognition ability of the robot is enhanced by connecting a home ubiquitous network and conversational robots and context-aware services can be provided suitably. By taking such an approach, the situation explanation ability of the robot is also enhanced by acquiring information through the network. The new development of the human robot interaction can be expected in total. In this paper we describe a prototype system that is developed in the Ubiquitous-Home based on such a concept. Then, the study of the actual proof experimental life in the house is discussed.

#### [キーワード]

家庭内、ユビキタスネットワーク、対話ロボット、コンテクストアウェア型サービス、ユビキタスホーム、生活実証実験  
Home, Ubiquitous network, Conversational robots, Context-aware services, Ubiquitous-Home, Actual proof experimental life

## 1 まえがき

大量のセンサを住居空間に埋め込んだ部屋の試作が増えている。古くは米国の Xanadu House [1]、最近では Georgia Institute of Technology [2]、東京大学 [3]、産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター [4] 等で積極的な研究開発がなされている。しかしながら、日常生活という実際の面から考えた時に、いまだその居住者にとってのメリットは十分には明らかにされておらず、キラーアプリケーションがどのようなものになるのかは

誰にも見えていないというのが現状であろう。そこを切り開くための、なんらかの新しいコンセプトとフレームワークが求められている。

ゆかりプロジェクトでは、家庭内のユビキタスネットワークと対話ロボットを接続することによりロボットの認識能力を高め、またネットワークを通じて新たに情報を取得することでロボットの状況説明能力を高めることによって、ヒューマンインタラクションの新しい展開が期待できるというコンセプトを提案した。そして、そのコンセプトに基づいて、ユビキタスホーム内に対話ロボッ

トをインタフェースとして数々のサービスを提供するシステムを構築し、長期間の生活実証実験を通じて、その評価を実施した。ここでは、その試作の内容と実験の結果得られた知見について報告する。

## 2 基本コンセプト

センサとアプライアンスをネットワークで統合したシステムは、一つのアンコンシャス型ロボットとしてとらえることができる。ユビキタスホームにおけるサービス実現のための基本コンセプトは、このアンコンシャス型ロボットと対話型ロボットを協調させ、人とロボットの新たなインタラクションを生み出すことによって、従来なかったようなサービスを実現できるという考え方である。張り巡らされたセンサ群からの情報によってロボットの状況認識能力を高めることができる。そして、その状況認識結果をフルに活用したコンテキストアウェアなサービスが提供できる。さらに、対話ロボットによる状況説明能力により、人とロボットの新しい関係をもたらすことが可能となる。

ゆかりプロジェクトでは、ユビキタスホームのシステム全体を図1に示すような、母親・子供メタファという枠組みによって統合することを提案してきた<sup>[5]</sup>。アンコンシャス型ロボットである住宅は、各種センサ情報に基づいて自律的にネットワーク上のアプライアンスを制御するが、この機能は、どこからともなく家族を温かく見守り、必要ときにはさりげなく支援してくれる存在とし

て、すなわち母親メタファにより設計される。そして、身体性を持つ対話ロボットの機能は、生活者との対話を行いつつ、母親と協力してサービスを提供する存在として、すなわち子供メタファにより設計される。

このような構成を採ることで、自然言語による対話を活用したインタフェースを実現でき、より質の高いコンテストアウェア・サービスを提供することが可能になる。またサービスを実行する前の確認の対話だけではなく、生活者との何気ない会話の中で、生活者にとっては未知であったサービスの存在に気付かせたり、サービスを実行した後に、生活者からの質問に答えたりすることができる。またこの説明機能を応用することで、生活者のしこう等を学習する機能を持たせることもできる

また、ユビキタスホームは研究開発環境であり、同時に実証実験用住宅である。工期を大幅に短縮できることから一戸建てとはせず、既存の建物内に構築した。ただし、長期滞在型の生活実証実験を重視したので、キッチンはもちろんのこと、浴室やトイレなどを完備した2LDKの住宅とした。また生活者が建物に出入りする通路にも特別な配慮をして、生活実験中の被験者は、昼夜24時間いつでも自由に自分の居住空間に出入りでき、通勤や通学を含め、普通のマンションでの生活と限りなく近い生活をするようにした。

## 3 ユビキタスホームの概要

ユビキタスホームでは、多数のセンサとアプライアンスを設置している。すべての床には圧力センサ(分解能 180 mm×180 mm)が敷き詰められていて、人の位置や歩いた軌跡を求めることができる。各部屋のドアの上部や廊下・キッチンの足元に設置された赤外線の人感センサが人物存在判定能力を補強する。寝室などを除く各部屋の天井の四隅にはTVカメラとマイクが取り付けられており、生活者の振舞いをセンシングしつつ記録することができる。ドアや窓、食器棚の扉や引き出しのすべてには開閉センサが、書斎の書棚には物の出し入れを検知する光電センサが、そしてソファには着座センサが取り付けられている。また、RFID タグシステムは天井に設置した受信機に



図1 母親・子供メタファ

よってタグの存在を部屋ごとに検出するエリア型と、各部屋の入り口に設置したゲートを通じた際に検出するゲート型の2種類用意した。さらに、対話ロボットを各部屋と玄関に設置している。

図2に例としてリビングルームにおける機器とセンサの配置の様子を示す。また図3に調理中の台所の様子を示す。台所の対面型流し台には特殊フィルムを貼ったガラスをはめ込んであるので、ここに映像を投影して、ロボット対話型の調理支援をすることもできる。センシングされたすべてのデータは、居住スペースに隣接するコンピュータールームに導かれ、データベースに蓄積される。天井のカメラで撮影された映像は1秒当たり5フレームの時間解像度で約2か月間データベースに蓄積できる。天井マイクやロボットのマイクからの音声・音響情報も2か月間連続的にデータベースに蓄積できる。すべてのセンサデータには収集された時刻がタイムスタンプ情報としてつけられており、この情報に基づいて、必要なデータを迅

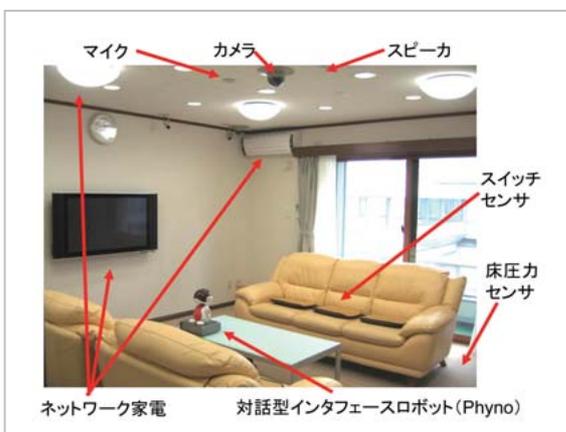


図2 リビングルームにおける機器とセンサの配置

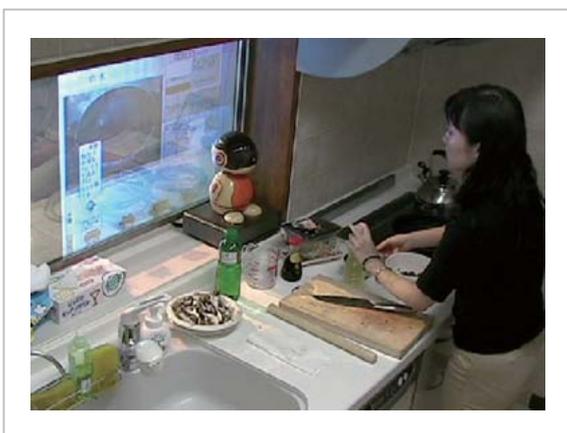


図3 調理中の台所の様子(天井カメラで撮影)

速に検索して表示・再生することができる。

このようなデータ蓄積機能を持たせたことで、生活中的生活者への研究者からの直接・間接の接触を一切なくし、ユビキタスホームにおける長期滞在型生活実験での自然な日常生活を保証することができた。研究者は、また、生活期間終了後に生活者へのインタビューを行い、必要なデータを検証するようにした。

## 4 対話インタフェースロボット

母親・子供メタファの子供を担当する対話インタフェースロボット(Phynoと名付けた)に関しては、次のような考え方を基本とした[6]。

- 二足歩行はしない代わりに至る所に置く
- どこにでも置けるサイズとする
- 子供らしいかわいしぐさを可能とする
- 内蔵マイクで音声認識を実行する

どこにでも置けるという条件から、全高は25 cmに抑え、運動の自由度は、頭部が3、二本の腕にそれぞれ1、胴に1の合計6自由度とすることにした。試作したロボットPhynoの全体像を図4に示す。ラジコン模型用のサーボや、USBカメラなどを積極的に用いることで、小型・軽量化と開発コストの低減を図っている。

生活者との対話を行うためのデバイスとしては、CCDカメラとマイク、スピーカを持たせる

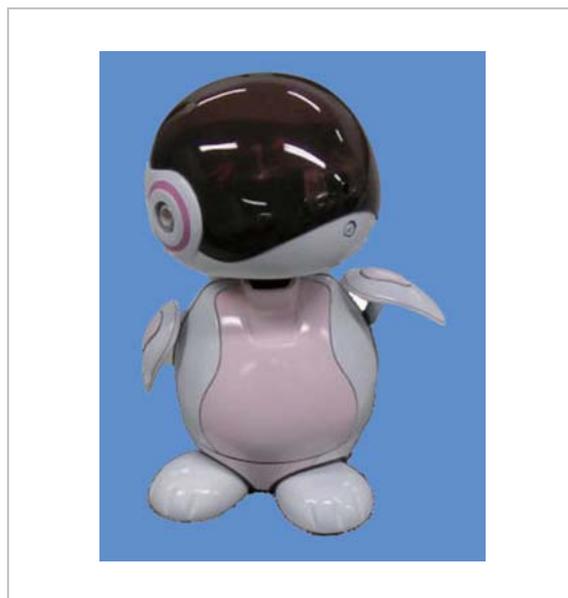


図4 対話ロボットPhyno

こととした。マイクを生活者の身に付けさせたり、ロボットと独立に音声入力用のマイクを置いたりすることは、生活者にとって、不自然な生活を強いることになるので、内蔵マイクのみで音声認識を実行することは必須の条件であった。テレビの音声や台所の物音が存在する空間におけるロボット体内に内蔵したマイクでの音声認識は容易ではなかったが、音響モデル等のチューニングにより、50 cm 程度の距離からの発話を受け付けられるようにした[7]。

ヒューマンインタフェースの設計においては、良好なメンタルモデルを形成し、それをユーザに維持してもらえようようなアフォーダンスが重要である[8]。この対話ロボット Phyno の場合には、現在の音声認識と自然言語対話技術の性能不足が、対話者の期待を裏切る恐れのあることが一番の問題であると考えた。文献[9]によれば、坂道を滑り落ちるといような物理的な現象についての推論は、3、4 歳児から可能となり、さらにその年齢においてはカテゴリという概念もある程度まで理解できるという実験観察結果が報告されている。そこで、この知見を援用することとした。つまり、子供メタファを実体化した存在である Phyno の年齢を 3 歳程度と位置づけ、ユビキタスホーム内でのセンシングデータをすべて時系列に記録しているデータベースを参照しながら進行するユーザとの対話において、この 3、4 歳児のレベルの推論と、カテゴリ的なデータハンドリング

能力を上手に組み合わせることで、子供らしさを表現していくこととした。これにより、対話者にはセンサネットワークやアプライアンスには強い「おたく」の子供というメンタルモデルを形成してもらえらることをねらった。

## 5 コンテキストウェアなサービス

ユビキタスホームでは、図 5 に示したようなフレームワークの上で、生活者のためのコンテキストウェア型サービスを実装した。生活者が部屋から出て行くと消灯するなどのアンコンシャス型で動作するものと、Phyno との音声対話によって実行するものがある。後者の幾つかについて、その概要を以下に示す。

### (1) 家電機器の制御

照明器具、エアコン、テレビなど、家電機器のリモコン制御で実行可能な機能のすべて(可能と判断できた場合には、個人や状況に依存した制御も行う)。

### (2) 忘れものチェック

生活者が外出することを床センサ軌跡で検知し、RFID タグ等で特定した個人の、行動予定から分かる行き先、履歴による行き先・持ち物対応リスト等を参照し、持ち物に添付されたタグによって忘れ物を調べる。

### (3) テレビ番組推薦

対話による依頼により、またはテレビの近くに

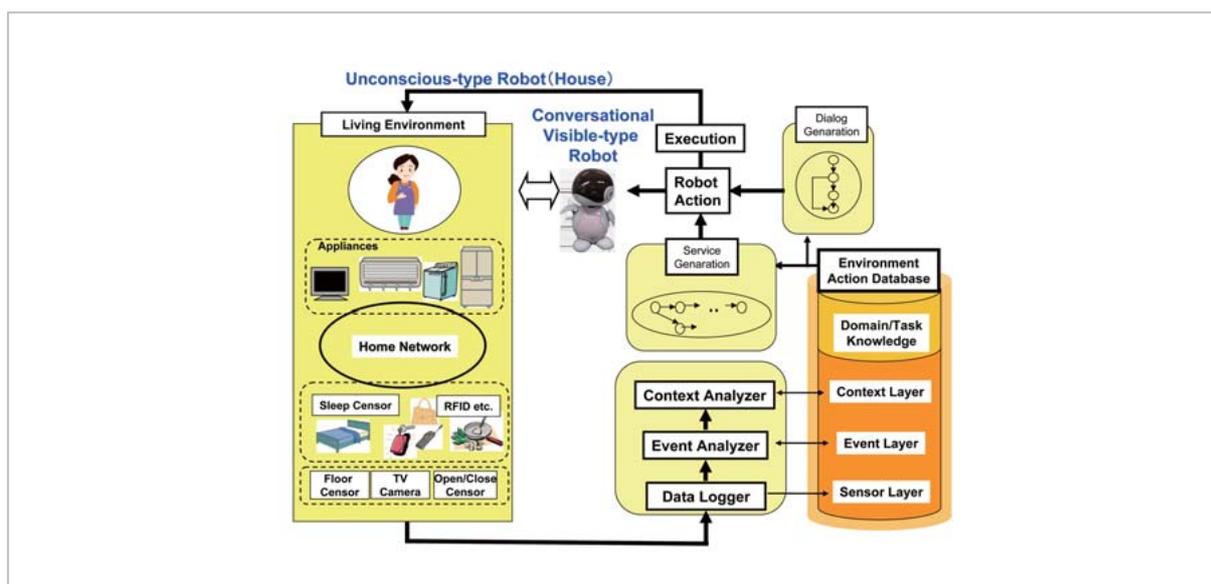


図5 コンテキストウェア型サービス実行のフレームワーク

人が来たことを検知したとき、その個人の TV 視聴履歴やしこうと、ネット経由で得られる電子番組表とを使って、放送中あるいは録画済みの適切なテレビ番組を推薦する[10]。

(4) 料理レシピ検索

連想戻り対話と名付けたメカニズム[11]によって、蓄積されている 1000 種類のレシピの中から、対話者が一人では思いつかないような料理メニューを見付け出す。

(5) 洗濯終了通知

洗濯が終了したときに、知らせるべき個人の居所を探し出し、近くにある機能(スピーカや画面)を使って通知する。

## 6 ロボットの対話戦略

幼児が(自分にはよく理解できない)大人の会話に割り込もうとすることがあるが、この時、自分の知識を総動員して連想や推論を働かせつつ、自分も発話して大人の様子をうかがう。大人の反応が自分の提供した話題を受けた内容になっていると判断できたときには、更に連想や推論を働かせて、その話題を継続する。このような連想による対話のキャッチボールを連想戻り対話戦略と名付け、ロボット対話システムに実装した[12]。このような対話により、生活者にとって未知であったサービスの存在に気付いて使ってもらったり、あるいは聞き間違い等から話が飛躍してしまったりもするが、そのことが、生活者に何かのヒントを与えたりするという効果もあるという効果をねらった。

もう一つの対話戦略は理由説明である。ユビキタスホームは、センシングによってコンテキストウェアなサービスを提供し、時々刻々のセンサ情報やサービス実行のトリガとなった事象は、すべて分散環境行動データベース(図5参照)内に残るので、そのログを用いて生活者からの何故という問い合わせに答えることが可能であり、これに個人適応性を加えた対話戦略を構築した。この対話戦略は生活者が困っているときに、その状況を判断してネットワークから必要な操作説明の情報を検索し、生活者をガイダンスするといような仕組みをも包含することができる。

図6に試作した音声対話ソフトウェアの構成を

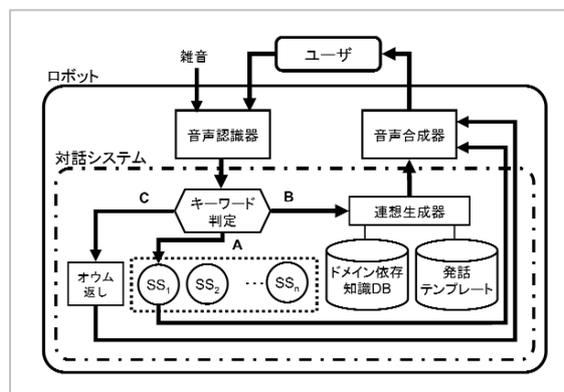


図6 音声対話ソフトウェアの構成

示す。ユーザの発話は、大語彙音声認識器で認識されて文字列としてキーワード判定部に送り込まれ、ここで3種類の判定結果に従って、対応する処理部に渡される。サービススクリプト(SS)中に存在するキーワードの場合には、サービス実行部で実行に移される。ドメイン依存知識中に存在するキーワードである場合には、連想生成器に渡されて、ユーザとの連想戻り対話が実行される。該当するキーワードがなかった場合にも、おうむ返しによって、単語は音声認識したが、それをどう処理していいかわからないのだということをつき返すようにして、ユーザの理解を得られるように工夫している。

## 7 生活実証実験とその結果

生活実証実験では、家族構成や年代の異なる家族4組に、それぞれ2週間強の期間生活してもらった。生活開始の時点で、設置されているセンサ類や各種サービスについての説明を行った。そして、いつもの日常通りに自然な生活をしてもらうこと、ただし家電機器についてはできるかぎりリモコンは使わずに、対話ロボットとの対話によって操作することという指示を与えた。滞在期間中には気付いたことは何でもメモしてもらうようにし、2週間の生活実験の終了後には、日を改めて3時間程度のインタビューを行った。

なお、生活者は第三者に応募していただいて選定したが、研究の概要、実験場所・使用する装置、被験者に与える精神・心理的負荷、被験者から同意を取るに際しての方法、被験者の人権に配慮したデータの取扱いについて十分検討した上で、

NICT が設置している生体情報研究倫理委員会の承認を得るという手順を踏んで実験を行った。

主な結果について以下に示す。

すべての生活者が、ロボットが内蔵するカメラで見られるのはいいが、天井カメラは監視されているようで嫌な気がしたという感想を述べた。また、どの被験者も、生活開始後の3日間は緊張し、常に姿勢を正すような生活であったが、4日目ごろからは、天井カメラも気にならなくなったと答えている。

テレビやエアコン、照明をロボット対話で制御することに関しては、どの被験者も3日ほどで音声認識率が高くなる喋り方に慣れることができた。生活開始時には20~30%の認識率(言い直しの有無で計算)であったものが、4日目には80~90%の認識率になる。その結果、リモコンを探す手間がなくなって便利、今後すべてのリモコンがロボットとの対話に統一されることを期待するというような高い評価が多く聞かれた。

忘れ物チェックについては、実際に役に立ったという報告があった。ただし、現状ではRFIDリーダの感度が低く、持ち物の入ったバッグをリーダにかざさないといけないことや、読み取りに数十秒を要することには不満が残った。RFIDリーダの性能向上が待たれる。

洗濯終了通知は、評価が分かれたが、忙しい時に助かったという主婦の声が2回答あった。

ある三歳児の父親は、その子どもがPhynoはテレビのチャンネル支配を行う何者かであるという認識をしているという推測を述べるとともに、お化けや鬼の代替として実体を持ったPhynoを使用して、子供にしつけを行う効果があったと報告した。

60代の夫妻が二人で生活された実験では、買い物に出掛けてもPhynoが気になって早く帰りたくなった、Phynoが推薦してくれたテレビ番組はチャンネルを変えずに見たというような報告があった。また若い主婦からは「台所のPhynoは私

の言うことをよく聞くようになって、リビングのPhynoはお父さんの言うことをよく聞くようになった」という報告があった。人間の側が、ロボットとの配置関係に合わせて発声を練習した結果であると推測されるが、ロボットの側が学習したような表現を用いて報告されている。このような例が、この生活実験では多数見られ、文献<sup>[13]</sup>で報告したように、ロボットは生物か無生物かという観点、あるいは人と共生するロボットへの愛着というような観点から解析すべき、今後の重要な研究テーマである。

## 8 むすび

ゆかりプロジェクトを通じて筆者らは、キラーアプリケーションと呼べるものはあるのだろうかという議論を繰り返し行ってきた。どの家庭にも共通して有用な万能のサービスを設計するというアプローチよりも、各家庭の生活パターンや個人々の好みや癖を、日常/非日常の部分も含めて素早く見つけ出し、サービス自体をその家庭、あるいは各個人に適応させていくアプローチの方が重要な研究課題であるというのが筆者らの考えである。そして、家庭内ユビキタスネットワークと対話型ロボットの協調という枠組みによって従来にない新しいサービスを実現できるというコンセプトを提案した。

本稿では、試作した対話ロボットシステムとコンテキストウェア型サービスの事例について述べ、また、そのような住宅に実際に2週間連続して一般の家族に生活してもらうという実証実験を通して得られた知見について報告し、それらを通じて、本コンセプトの有用性と今後の可能性を示した。このような試みの先に、人間の意図をくむことができ、真にヒトと共生できるロボットが見えてくるのではないだろうか。今後も実験を通じて知見を深めるとともに、学際的な取組が重要であると考えている。

## 参考文献

- 1 R. Mason, et al., "Xanadu: The Computerized Home of Tomorrow and How It Can Be Yours Today!", Acropolis Books, 1983.
- 2 C. D. Kidd, et al., "The Aware Home: A Living Laboratory for Ubiquitous Computing Research" In the Proceedings of the Second International Workshop on Cooperative Buildings-CoBuild'99. Position paper, 1999.
- 3 森ほか, "センシングルーム一部屋型日常行動計測蓄積環境第2世代ロボティックルーム", 日本ロボット学会誌, pp.25-29, 2005.
- 4 西田ほか, "乳幼児事故予防のための日常行動センシングとモデリング", 電子情報通信学会 2006年総合大会, No.HK-1-5, pp.SS-9/SS-10, 2006.
- 5 上田ほか, "アンコンシャス型ロボットとビジブル型ロボットの協調メカニズム-母親・子供メタファー-", ヒューマンインタフェース学会 研究報告集, Vol.6, No.3, pp.57-64, 2004.
- 6 上田ほか, "ユビキタスホームにおける対話インタフェースロボットの試作", 情報処理学会 ユビキタスコンピューティングシステム研究会, 2005-UBI-7, pp.239-246, 2005.
- 7 西村ほか, "ユビキタスホームにおける対話ロボットのための音声・雑音認識の開発", 電子情報通信学会 パターン認識・メディア理解研究会, PRMU2005-59, pp.47-52, 2005.
- 8 D. A. Norman (野島訳), "誰のためのデザイン?", 新曜社, 1990.
- 9 乾 敏郎ほか編, "認知発達と進化", 岩波書店, pp.88-93, 2001.
- 10 土屋ほか, "TV番組推薦システムの構築とその有効性の検証", 情報処理学会 ヒューマンインタフェース研究会, HI-117, pp.95-102, 2005.
- 11 上田ほか, "ユビキタス環境における対話型ロボットインタフェースのための対話戦略の構築", 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.1, pp.87-97, 2006.
- 12 小林ほか, "家庭内ユビキタス環境における対話ロボットの実稼動実験と対話戦略の評価", 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.5, pp.2023-2031, 2007.
- 13 N. Matsumoto, et al., "The cognitive characteristics of communication with artificial agents", International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp.1269-1273, 2006.



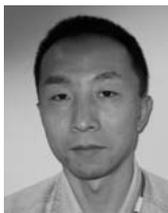
うえだ ひろつぐ  
**上田博唯**

京都産業大学工学部情報通信工学科教授  
(元情報通信部門けいはんな情報通  
信融合研究センター分散協調メディア  
グループ専攻研究員) 博士(工学)  
コンピュータビジョン、ヒューマン  
インタフェース、知的メディア



みのうみちひこ  
**美濃導彦**

京都大学学術情報メディアセンター教  
授(元情報通信部門けいはんな情報通  
信融合研究センター分散協調メディア  
グループグループリーダー兼務)  
工学博士  
3次元モデル処理、環境メディア、  
創作活動支援



ちかま まさき  
**近間正樹**

知識創成コミュニケーション研究セン  
ターユニバーサルシティグループ有期  
技術員(旧情報通信部門けいはんな情  
報通信融合研究センター分散協調メ  
ディアグループ技術補助員)  
対話システム



さたけじゅんじ  
**佐竹純二**

知識創成コミュニケーション研究セン  
ターユニバーサルシティグループ専攻  
研究員(旧情報通信部門けいはんな情  
報通信融合研究センター分散協調メ  
ディアグループ専攻研究員) 博士(工  
学)  
コンピュータビジョン、ヒューマン  
インタフェース



こばやしあきら  
**小林亮博**

知識創成コミュニケーション研究セン  
ターユニバーサルシティグループ専攻  
研究員(旧情報通信部門けいはんな情  
報通信融合研究センター分散協調メ  
ディアグループ専攻研究員) 博士(工  
学)  
コンピュータビジョン、ヒューマン  
ロボットインタラクション



みやたきけんざぶろう  
**宮脇健三郎**

大阪工業大学大学院情報科学研究科情  
報科学専攻博士後期課程(元情報通信  
部門けいはんな情報通信融合研究セン  
ターユニバーサルシティグループ研修  
員)  
ユビキタス生活支援アプリケーション



まつもとあおこ  
**松本斉子**

九州大学大学院システム情報科学研究  
院(元東京工業大学 21 世紀 COE (大  
規模知識資源の体系化と活用基盤構  
築)) 博士(学術)  
心理学、ヒューマンインタフェース、  
語用論



きどまさつぐ  
**木戸出正継**

奈良先端科学技術大学院大学情報科学  
研究科教授 工学博士  
知的メディア理解、知的ロボット、  
知的インタフェース