

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：32639

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2009～2013

課題番号：21120010

研究課題名(和文) 社会場面での人の役割分担の自律的発生メカニズムの解明

研究課題名(英文) Modeling of autonomous role taking mechanism in social scene

研究代表者

大森 隆司 (OMORI, TAKASHI)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号：50143384

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 53,400,000円、(間接経費) 16,020,000円

研究成果の概要(和文)：コミュニケーションの認知計算論的なモデル化を目指して、他者の状態推定に基づく行動決定モデルを構築した。実験では、子どもとロボットの遊びにおいて子どもの興味をできるだけ長く保つことを目的に、子どもモデルを用いてその振る舞いから興味を推定し、それを維持する働きかけを選択する行動決定モデルを開発した。行動実験でその効果が確認された。また、より幅広い子どもの特性を対象とするため、保育士が操縦するロボットによる遊び実験を行い、行動決定の知的情報処理および情動系のほかに興味による報酬修飾の機能を含んだコミュニケーションモデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this study, for a purpose of computational modeling of cognitive communication, we constructed a behavior decision model that makes use of an estimated internal state of other. In our experiment, for a purpose of keeping an interest of child as long as possible, we made a robot to choose an action that elaborate the interest of the child based on the estimated mental state. We evaluated the effect of the model through a behavior experiment. Then, to enable a wider spread of child's characteristics, we tried a play experiment of a child with a nursery nurse operated robot. Through the experimental result, we constructed a communication model that includes both of an intelligent information processing and a modulation of reward through the interest state.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学

キーワード：コミュニケーション 認知計算モデル 意図推定 他者モデル 行動決定

## 1. 研究開始当初の背景

コミュニケーションは、表面的には言葉や身振りなどによる情報交換と理解できる。しかし本質的には、伝わった情報によって二人（複数）の参加者の心の中で変化が起こり、それがまた次の情報交換を促すというより心理的なプロセスである。その過程の理解がなければ、我々は他者の考えを理解することもできないし、自分の意図を伝えることもできない。

コミュニケーション場面での役割分担の発生とは、他者の意図推定に基づく行動予測と、その予測に合わせた自己の行動選択が、自己と他者の双方で行われた結果であると理解できる。その際、自己と他者が異なる行動を取ることでより効率的にタスクを解決できるなら、それが役割分担といえよう。その際、相互に相談することなく、あるいは誰かの指示を受けることなくその役割分担が創発したなら、それは自律的発生である。

他者の意図推定が可能になるには、自己と他者の間で行うタスクの実行過程についての理解の共有が必要である。それが状況に基づく他者の意図の推定を可能とする。しかし実際、どのようなタスクにすると狙ったとおりの行動が生まれるのか、ということは明らかではない。本研究の一つの目標は、実験室的な課題ではなく、より現実的な場面でそれを行うことである。それに対応して考えたのが、ロボットと子どもの遊びである。ロボットを使うのは、コミュニケーションが明白なルールに従って実施されて他の要因が入り込まないことを保証するためである。また、子どもを対象とする理由は、行動実験を行う場合にその心的過程が正直に出てくることが期待されるからである。このような想定で我々は、この研究計画を始めた。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、対人インタラクション場面で我々が行う他者の意図の推定に基づく行動決定について、そのプロセスの認知科学的な解明と、それに対応する脳内情報処理過程のモデル化である。前述の通り我々は、場面としてロボットと子どもの遊びを選んだ。対象となる子どもは、心の理論が完成して他者の意図推定は行えるが、複雑な推論などは行わない6歳児（幼稚園年長）とした。

本研究では「他者モデル」を重要視する。「他者モデル」とは我々自身が理解する他者についての知識を集積したものである。対人場面では我々は、他者モデルに基づいて他者の行動を解釈し、その解釈と他者モデルに基づいて他者の行動を予測し、それに対応した自身の行動を決定する。その過程の理解こそ

が、自律的な役割分担の基礎になると考える。本研究ではそれが「子どもモデル」となり、研究の興味は子どもモデルとはどのような知識で、我々はそれを如何に用いて子どもに対する自身の振る舞いを決めていくかを明らかにすることである。

そのため本研究では、(1) 遊びの観察に基づく子どもモデルの構築、(2) 保育士の行動観察と遊び過程のモデル化、(3) 対人遊びロボットによる遊び実験、を行った。

一方で、この実験を通して、約3割の子どもで遊びが成立しにくいことが観察された。実験者の観察からは、それは子どもの特性であるように思われるが、それもまた子どもモデルのパラメータとして取り込んでいく必要がある。例えば「性格」は、子どもモデルの広い範囲の振る舞いに影響する重要な特性であり、ある種のメタパラメータであると考えられる。あるいは「興味」は、行動決定を支配する重要なパラメータであることは間違いない。これらのパラメータはコミュニケーション場面にどのように影響するかは経験的には明らかであるが、それをモデル的に記述して子どもモデルに取り込むことは、より広い範囲のコミュニケーションの理解に重要である。

## 3. 研究の方法

### (1) 遊びの観察に基づく子どもモデルの構築

本研究の予備的調査として、ゲームプログラムを組み込んだロボットと子どもの遊び実験を実施した。初対面のロボットと子どもが対一（研究者が傍にいて支援）で対話と遊びをして、その間の子どもの様子を観察した。最初はロボットが名前や年齢を質問してそれに子どもが応える形で進行し、途中からトランプゲーム（神経衰弱）で遊んだ。結果は失敗であった。最初は興味津々であった子どもが、会話の途中から次第によそ見をするようになり、ゲームも最後には「もうやりたくない」とまで言われた。

何が問題だったのだろうか？終了後に子どもにインタビューし、ビデオを見直したところ、多くの問題点が見つかった。例えば、ロボットは一方的に発話して子どもからの質問を無視した。ゲームプレイではコンピュータの論理的な判断で最善を取って子ども相手に勝ってしまうなど、人間の成人であれば絶対にしないことを行っていた。通常の人との対話では、我々は相手の思っていることを推定し、相手の興味を引き付けてそれを維持する会話を行う。またゲームで自分が強いならば、相手と楽しく遊ぶことを意識してわざと負けることもある。この結果から我々

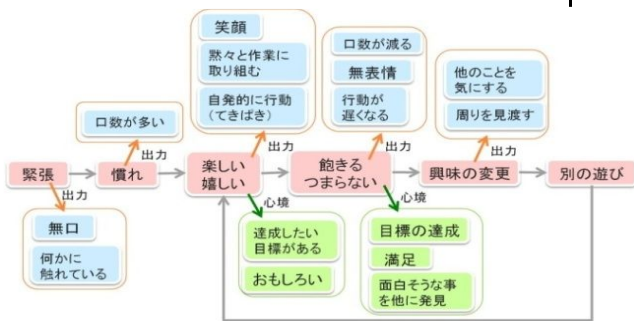


図1．特徴的な子どもの振舞い

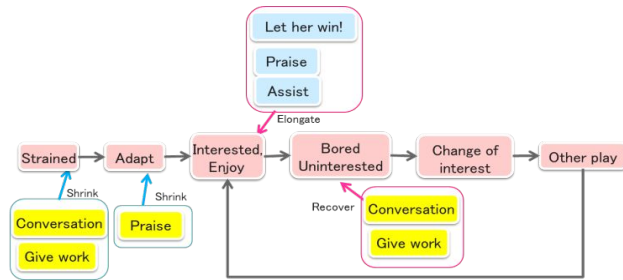


図2．保育士の行動決定戦略

は、本研究の目標を、対話や遊び中の子どもの心的状態を推定してできるだけ長く遊ぶ行動決定をする方法の探索とした。そこで、経験のある保育士にお願いして、初対面の子どもと30分間遊んでもらい、その行動を観察した。

### 実験 保育士と子どもの遊び観察実験

保育士には子供を飽きさせずに遊ぶようお願いし、その遊びの様子を録画した。実験後には子どもの何をどのタイミングで見たかなど、各場面における行動戦略について、遊びの映像を見ながら回想してもらった。観

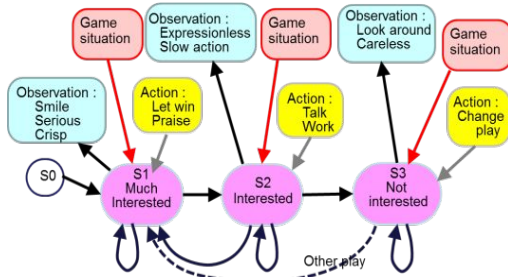


図3 子どもの心的状態に応じた行動決定モデル

察時間は30分で、5種類の遊びを行った。

この観察では、子どもにとっては実験場所や相手など初めてのものばかりで、子どもは最初はかなり緊張していた。しかし、保育士との会話や遊びを通して次第にその場の環境に慣れ、徐々に遊びを楽しむ様子が見られた。しかし、同じ遊びを続けると次第にその遊びに飽き、興味が他のものへと移っていき、別の遊びがはじまると、再びその遊びに対して楽しい、面白いという状態に戻るという、

状態遷移が観察された(図1)。

遊びの各状態で特徴的な振る舞いが観察された。例えば、「緊張」状態では口数が少なく手を後ろに組んだり、何かをずっと握っているような行動があった。また、少し緊張が和らいだ「慣れ」状態では口数が次第に増え、「楽しい/嬉しい」状態では笑顔を見せたり、黙々と作業に打ち込んで話しかけても聞き流すなどの行動が観察された。一方、「飽きる/つまらない」状態では、「楽しい/嬉しい」状態と比べて口数は減少し、無表情になり、周りを気にするなどの行動が多く見られた。

これらの心的状態は、例えば保育士は映像からでも安定的に推定可能であり、子供の状態記述として有効である可能性が高い。また、この状態は時間とともに自然に変化すると考えられるが、保育士はその時間変化を短縮あるいは延長させる行動を選択したと解釈でき、観察後の回想報告からも確認された。すなわち、保育士は遊びの時間全体を通じて子供の遊びに対する姿勢を推定し、遊び戦略を考えていた。その過程を図2に示す。

### (2) 保育士の行動観察と遊び過程のモデル化

実験 からの子どもの心的状態の遷移モデルとそれに対応する保育士の行動戦略をうけて、遊び相手のロボットの行動決定モデルを構築した(図3)。子どもには3つの内部状態があり、観測された子どもの行動指標から推定される。そしてその各状態に応じたロボットの行動選択の確率分布が規定されている。このモデルを用いて、5~6歳の子供に対し遊び相手ロボットとの1対1の遊び実験を行った。

### 実験 ロボットと子どもの遊び実験

参加した被験児は12名(平均5.85歳, SD 0.3, 男児7, 女児5)で、ロボットとは初見であった。一人は実験前にロボットに会うのを怖がって帰ったためデータから除外し、11



図4 ロボットと子どもの遊び場面

人のデータを分析した。保護者には書面と口頭で説明して承諾を得た。ロボットは家庭用サービスロボット DiGORO を使用した(図 4, 左側)。

DiGORO は左右のアームと回転する腰, 3 本指のハンドを持ち, 身体やおもちゃを使った遊びができる。また, カメラで表情認識ができ, 顔の左右と上下方向の角度, 笑顔度を得られる。子供とできるだけ長く遊び続けるため, ロボットは図 3 のモデルに従い遊びや行動を切り替える。本実験では, 認知度が高くほぼすべての子がルールを知っている神経衰弱, じゃんけん, 絵本読みをゲームとして採用した。

実験では, 子どもがロボットとテーブルを挟んで椅子に座り, ロボットと遊んだ。ロボットは自律的に動作するが, 実験中は実験補助者が常に子どもに付き添った。実験は, 子供が入室してから, 対話による慣らし(5分)と遊び(25分)の後に退室という流れで行った。カードゲームではロボットがカードを指差し, 実験補助者もしくは子どもがカードをめくった。神経衰弱とじゃんけんを状況に応じて切り替えた。対話中はロボットは顔追跡でアイコンタクトを行った。

遊びの過程でロボットは, 子供の表情や動きなどからロボットや遊びに対する興味の度合いを推定した。ロボットに取り付けたカメラで子どもを正面から録画したと同時に, Kinect で子どもの 3 次元的動き情報も記録した。こうした記録映像を遊びに関する質問

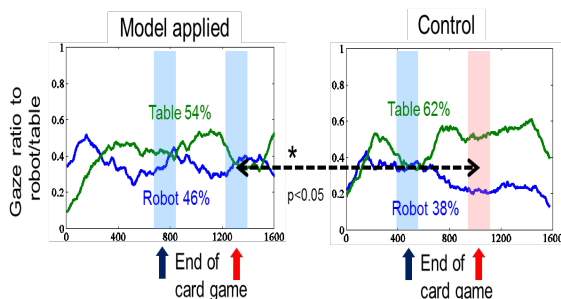


図 5 子どもが注視する対象の時間比

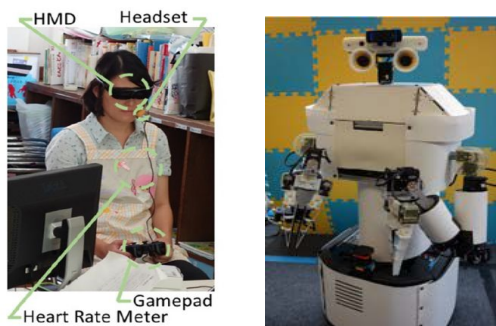


図 6 保育士が操縦するロボットによる遊び。保育士は HMD と操作パッドで操作し, 音声認識結果を再合成してロボットが発話する。

項目の結果と共に解析することで, 遊びの好みや性格と振る舞いを関連付けした。

本研究で提案する子どもモデルを意識したロボット行動決定の効果を評価したところ, 子どもがロボットの顔を見る時間に違いが見られた。子どもはゲームが終わった瞬間, 「次はどうする」という視線で相手の顔を注視する。二回目のゲームが終わったとき, 本モデルで行動したロボットに対する顔の注視時間が, コントロールとして一様な確率で行動したロボットと比して有意に長かった。これより, 子どもは本モデルで行動したロボットをより人間的という視点で見ているものと推測される。

遊びの後, 子どもと保護者に聞き取り調査を行なった。保護者には対象児についての TS 式幼児・児童性格診断検査を実施した。この検査では, 顕示性・神経質・情緒不安・自制力・依存性・退行性・攻撃性・社会性・家庭適応・学校適応・体質傾向の 11 項目, さらに, 顕示性・神経質・情緒不安・自制力・依存性・退行性・攻撃性を総合した個人傾向, 社会性・家庭適応・学校適応を総合した社会傾向の 2 項目がある。

遊びの好みについて因子分析を行ったところ, 子どもにより好きな遊びに偏りがあった。その傾向と性格要素との関連を調べるために因子分析したところ, 34 種類の遊びから 2 つの因子が抽出された。その内容から第一因子は「協調 競争性」, 第二因子は「技能 創造性」と特徴づけられた。一方で, 保育士は子供の行動から性格的傾向も推定していると考えられる。そこで性格的傾向と相関する特徴的な行動を探したところ, 家庭適応のスコアと実験中に保護者に振り返って笑いかける・話しかける行動との間に相関があった。また遊びの創造性・競争性の特徴量は, 絵本読み中の子供の視線方向の安定性との相関があった。

#### 4. 研究成果

##### (1) 保育士の遊び戦略の解明

実験 では, ロボットと 30 分間遊ぶことのできた子どもについては, ゲーム終了後にロボットの顔を長く見たことから, ロボットに親しみを感じていると推定できた。しかし子どものうち約 3 割は緊張などで遊ぶことができなかった。一方で保育士が遊ぶ場合は, ほぼ 100%の確率で遊ぶことができると思われる。これより, 現状のロボット行動決定モデルはその適用範囲が狭く, 多様な子どもには適用できないものと考えられる。そこで, 非適応の子どもに対する働きかけの戦略を検討するため, 保育士が操縦するロボットによる子どもとの遊び実験を行い, 保育士の行動戦略を観察した。

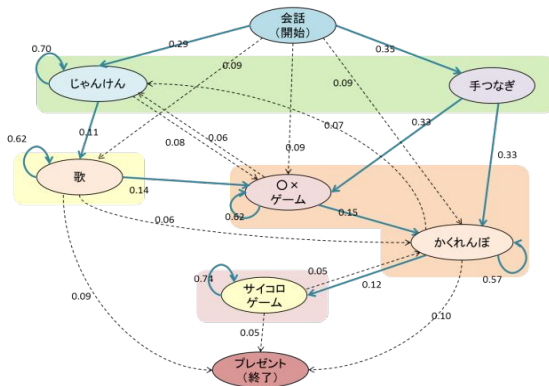


図7 保育士の遊び選択の状態遷移

### 実験 保育士が操縦するロボットと子どもの遊び実験

被験児は幼稚園年長児 39 名(男児 25 名, 女児 14 名, 平均年齢 5.26 歳, 範囲 5~6 歳)で. 実験は子ども達が通う幼稚園にて 12 日間に渡り 1 日 2~4 名に対して行った. 子どもと保護者はまず待機室にて説明を受け. 保護者はアンケートを記入した. 子どもは, 保育士が別室から遠隔操作をするロボットと遊び部屋で遊んだ. 実験には家庭用サービスロボット LiPRO (身長 105cm) を用い, 保育士は操作に慣れるため事前に十分な操作練習を行った.

ロボットは, ノンバーバルな情報の伝達を避けるため, 保育士の声を一度認識したのちに音声合成して発話した. 遊びは移動と発話を用いる「かくれんぼ」と「かけっこ」の 2 つとした.

被験児には胸部に張り付ける形式の無線心拍計を取り付け, 心拍, 体表温度, 加速度 (x, y, z 軸方向) を計測した. 心拍からはストレス指標 LF/HF 値を求めた. アンケート・生体指標・性格検査のうち, アンケート項目「できるだけロボットに近づきたくないと思っていた」とストレス指標の最大値に有意な正の相関 ( $p < 0.05$ ), 「調査中の機嫌がよかった」とストレス指標の最小値に有意な負の相関 ( $p < 0.05$ ) があった. 評価実験で各被験者の遊びをタグ付けし, 遊びの遷移確率を求めた. 図 7 はそのうち有意に確率が高いものを実線矢印で, それ以外で有意傾向であるものを点線で示した.

図 7 から, 保育士の遊び選択にはいくつかの戦略があることがわかる. 一つは, 子どもの緊張をほぐすための遊びの選択があるということで, じゃんけんのような誰でもできる簡単な遊びから, 歌, かくれんぼと遷移し, 最後にサイコロゲームのように説明しないといけないほど複雑だが満足度の高いゲームへと変化している. また, 満足度が高いと判断されるときは同じ遊びを再度選択する傾向があり, より理性的な子供ほど同じ遊び

を繰り返しでき, 衝動的な子供ほど同じ遊びを繰り返さずほかの遊びに移行していた. 遊びは保育士が選択していることから, 保育士はオンラインで満足度や性格を評価していると考えられる.

### (2) 子どもの心的構えの制御モデル構築に向けて

ここまでの実験および分析から, コミュニケーション場面における他者の心的状態の推定の重要さと, その推定にもとづく他者の働きかけの重要性が明らかになった. 実験ではロボットに直面する子どもの特性が幅広いことを示した. これは対ロボットに限らず一般的な人対人の場面にも当てはまるし, ロボットに接する成人や高齢者にも通ずるものと考えられる. また実験では, 保育士は明らかに子どもの心的状態をオンラインで推定し, それに合わせて緊張をほぐす効果のある遊びを戦略的に選択していた.

脳の認知過程という観点からは, 保育士の行動は以下のように解釈できる. まず保育士は長年の経験から子どもモデルを持っており, それを参照して子どもの観測からその心的状態を推定する. そして緊張の緩和と遊びへの興味の促進を評価関数として, 子どもへの働きかけの効果を予測しつつその行動を選択している. この子どもモデルの獲得とその運用のノウハウの蓄積こそが, 優れた保育士の技能であろう. ここで, 働きかけの効果のあり方に注目したい. 認知モデルでは一般に大脳皮質による知的情報処理の下に情動系があるとしている. しかし我々の観察では, 働きかけは緊張・興味・関心といった感性的なレイヤーに対して効果を持っている. このレイヤーは知的処理でも情動系でもなく, その中間にあって外部からの働きかけによ

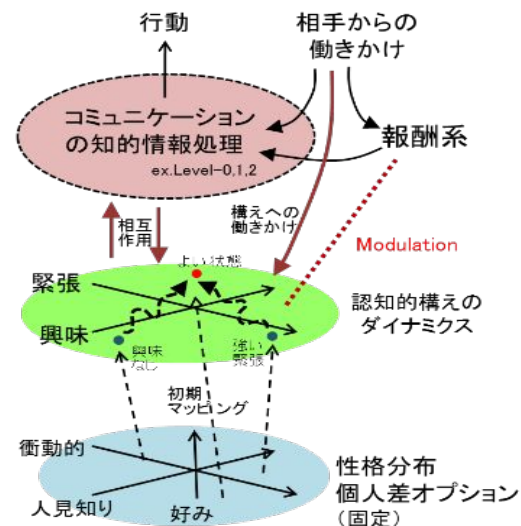


図8 感性層への働きかけと報酬系のモジュレーション

て状態が変化し,しかもその状態は報酬系に作用して,例えば同じ入力に対しても評価を変えてしまうほどの影響力を持つと考えられる.そのイメージを図8に示す.

今後は,脳内における他者モデルの在りかの解明と,その部位の活動から他者モデルの運用による行動決定過程を明らかにする必要がある.その理解が,コミュニケーションという心的相互作用の本質的理解につながるものと考えられる.

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 16 件)

Hideyuki Takahashi, Kazunori Terada, Tomoyo Morita, Shinsuke Suzuki, Tomoki Haji, Hideki Kojima, Masahiro Yoshikawa, Yoshio Matsumoto, Takashi Omori, Minoru Asada, Eiichi Naito : Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain, 査読有り, Cortex, Elsevier, (in press) 阿部香澄, 岩崎安希子, 中村友昭, 長井隆行, 横山絢美, 下斗米貴之, 岡田浩之, 大森隆司: 子供と遊ぶロボット: 心的状態の推定に基づいた行動決定モデルの適用, 日本ロボット学会誌, 査読有り, Vol.31, No.3, pp.263-274, 2013

Takahashi, H., Saito, C., Okada, H., Omori T., An investigation of social factors related to online mentalizing in a human-robot competitive game., Japanese Psychological Research, 査読有り, 55(2),144-153, 2013

高橋英之, 岡田浩之, 大森隆司, 金岡利知, 渡辺一郎: エージェントの擬人化の背景にある並列的な認知処理, 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.264-271, 2013

岩崎安希子, 下斗米貴之, 阿部香澄, 中村友昭, 長井隆行, 大森隆司: 遊びロボットによる子どもの性格傾向の推定に関する研究, 日本感性工学会論文誌, 査読有り, Vol.12, No.1, pp.219-227, 2013.

Akiko Iwasaki, Takayuki Shimotomai, Kasumi Abe, Tomoaki Nakamura, Takayuki Nagai, Takashi Omori: Using Robots to Estimate Children's Personalities, Transactions of Japan Society of Kansei Engineering, 査読有り, Vol.12, No.1, Special Issue, pp.219-227, 2013.

Tomoaki Nakamura, Komei Sugiura, Takayuki Nagai, Naoto Iwahashi, Tomoki Toda, Hiroyuki Okada, Takashi Omori : Learning Novel Objects for Extended

Mobile Manipulation, Journal of Intelligent & Robotic Systems, 査読有り, Vol.66, No.1-2, pp 187-204, 2012

高橋英之, 大森隆司: 社会認知における「社会的思い込み効果」の役割とその脳内メカニズム, 認知科学, 査読有り, Vol.18, No.1, pp138-157, 2011

Kenichi Minoya, Takaya Arita and Takashi Omori : Autonomous Acquisition of Cooperative Behavior based on a Theory of Mind using Parallel Genetic Network Programming, Artificial Life and Robotics, 査読有り, Vol. 16, No. 2, pp. 157-161, 2011

長田悠吾, 石川 悟, 大森隆司, 森川幸治: 意図推定に基づく行動決定戦略の動的選択による協調行動の計算モデル化, 認知科学, 査読有り, Vol.17, No.2, pp.270-286, 2010

横山絢美, 大森隆司: 協調課題における意図推定に基づく行動決定過程のモデル的解析, 電子情報通信学会論文誌 A, 査読有り, Vol.J92-A, No.11, pp.734-742, Nov.2009

[学会発表](計 70 件)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

大森 隆司 (OMORI TAKASHI)

玉川大学・工学部・教授

研究者番号: 50143384

(2)研究分担者

長井 隆行 (NAGAI TAKAYUKI)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・

准教授

研究者番号: 40303010

(3)連携研究者

なし