

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330233

研究課題名(和文) 人同士のコミュニケーションを支援する会話ロボットの開発と分析評価

研究課題名(英文) Development and Evaluation of Conversation Robots that Support Informal Communications between Humans

研究代表者

武川 直樹 (MUKAWA, Naoki)

東京電機大学・情報環境学部・教授

研究者番号：20366397

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：コミュニケーションの場から疎外されがちな人に対して支援するロボットをデザインした。まず日常的な会話中の視線、顔の向き、表情、動作、およびそのタイミングなどを分析した。とくに、初対面の人同士の会話の沈黙場面、友人同士の食事中の自己開示場面の行動に着目して分析した。分析結果から人は会話をどのようにデザインしているかを明らかにし、その結果から会話を支援するロボットの行動のデザイン指針を明確にした。この指針に基づきデザインしたロボットを用いて実際に沈黙しがちな人同士の会話を活性化させる実験を行い、ユーザの行動やユーザの印象評価により効果を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the research is to design robots that supports humans who are often reserved in communication scenes. In particular, we focus on awkward silent scenes in conversation between participants at their first meeting, and self-disclosure scenes during eating between friends. We analyzed behaviors of gaze, orientations of faces, facial expressions, and their movements during the conversations. From analysis results, we found human behavior models for the conversation scenes, and proposed design guidelines for robot behaviors that support conversations of participants. We conducted experiments where a robot activates conversations between humans by behaviors of robot. Experiments clarified the effects by analyzing user's behaviors and their impression evaluations.

研究分野：ヒューマンインタラクション

キーワード：コミュニケーション支援システム インタラクションモデル

## 1. 研究開始当初の背景

人は出会いがあればコミュニケーションを行う。たまたまパーティで人に紹介されて付き合いが始まったり、ガイドと同行している旅行者同士がガイドの話のきっかけで親しくなったりする。一度、親しい仲間になれば、自然な雰囲気の中でお互いの思いや感情が共有され、親密感、安心感、一体感が生まれる。一方、社会の複雑化、核家族化、地域コミュニティの崩壊といった社会状況により多様なコミュニケーションの機会が減少し、親族間、世代間、地域内でのコミュニケーションギャップが存在している。その結果、現在、家族や仲間を通じて培ってきた日常のコミュニケーションが欠けていることが指摘されている。

会話ロボットや会話エージェントの研究開発が盛んに進められているが、ほとんどが情報提供や作業支援など会話の目的が明確な場を設定しており、人のコミュニケーションをしたいという欲求を満足し、親密なコミュニケーションを支援する会話ロボット、エージェントの開発はまだ少ない。

そこで、人と人のコミュニケーションの仲立ちをする複数人会話支援会話ロボットの研究を進める必要がある。また、多人数会話を支援するロボットの研究をすることは、人間のコミュニケーションの基礎科学研究としての本質を探る研究であり、いままさに期待されているものと考ええる。

## 2. 研究の目的

多人数の人と協力的・共感的コミュニケーションができる会話ロボットの設計論を確立するため、多様な会話の場を情報学、心理学、言語学から多面的に分析し、人の行っている相互行為の意図・感情の表出・理解との関係を記述し、人間科学としてコミュニケーションの仕組みとその重要性を明らかにする。得られた知見に基づきコミュニケーションの場から疎外されがちな人に対して周囲の人と自然にコミュニケーションできる（安心、安らぎ、充実、楽しさを提供）コミュニケーション支援ロボットを構築する。さらに、構築したロボットが、人の日常的な生活におけるコミュニケーションの場を創生し、日頃、会話をする機会が少ない人に対して会話のきっかけを演出し、人同士がコミュニケーション様子を、ふたたび多面的に分析し評価し、モデル改良、システム改良を行う。

## 3. 研究の方法

研究は、大きく2つのステップに分けて進める。まず一つ目のステップは、人同士のコミュニケーションを観察、分析して工学的に応用可能な知見を得ることである。この知見は、人間の行動を根源的に理解するための人

間科学としての意義も併せ持つ。そのために、日常的なコミュニケーションの場（会話、食事、作業など）を情報学、心理学、言語学から多面的に分析し、会話や食事動作などの相互行為と、意図・感情の表出・理解との関係を記述し、得られた知見から人のインタラクションモデルを構築する必要がある。特に、多人数（マルチパーティ）からなる会話を撮影して映像コーパスを作成し、マルチモーダルな会話動作（発話、顔の向き、表情、ジェスチャー、態度）の時間発展される仕組みを包括的に分析する。

ステップ2はステップ1の結果に基づき、人と共感的に会話できるロボットをデザインしてコミュニケーションの場から疎外されがちな人であっても自然に周囲の人と会話ができるよう会話支援をするロボットを構築することである。そのため人の会話行動を認識し、また、人にわかりやすい会話行動を生成するとともに、ロボットが複数人に気を使った会話をこなすため、話し手と聞き手の両方の役割を行なうモデル構築とデザインの確立が必要となる。

ステップ2の最後に、構築したロボットを実際に人と会話させて評価する。特に日常的に円滑な会話を苦手とする人（たとえば介護施設において一人で会話のない高齢者、シャイで自分から話しかけられない若者）を例題として、自らの話題が無くてもロボットがいる状況の中で会話を開始する仕組みを作る。ロボットを実際に複数人と会話させることによって再び評価を行い、モデル改良、システム改良に反映させる。

## 4. 研究成果

### ①人同士の日常的なコミュニケーション行動の構造分析

人の日常的なコミュニケーションシーンとして、友人同士2名の食事の様子を映像に収録した。食事をしながら会話を楽しむ共食においては、相手と会話を途絶えさせないように、食べる行為を埋め込む必要があるため、発話と摂食の行動調整が必要となる。食事の中の会話行動を分析することは、人のコミュニケーションの場をデザインする原理を明らかにすることにつながると思われる。

本研究では特に、二人の共食の比較として、同一協力者が一人ずつ食事をする孤食のシーンも映像に収録した。これにより、会話をせず食事のみの摂食行動と、友人と話しながら食事をする場合の行動の違いを分析する。コミュニケーションによって摂食動作がいかに制約を受けるかという視点から、人の摂食動作と視線行動を分析する。

6名の実験協力者に共食と孤食を行ってもらった。共食と孤食の実験は1週間の間隔をあけた。共食と孤食の食事風景を図1に示す。



図 1-a 孤食環境



図 1-b 共食環境

共食・孤食共に食事内容として、カレーライス、コンソメスープ、サラダ、ミネラルウォーターを提供した。上記メニューは日常的な食事場面に近づけるため、レストランのランチメニューを参照して参考に決定した。同様の理由でカレーライスは、ビーフカレー、チキンカレー、グリーンカレーから各協力者が選択できるようにした。食品はいずれも市販のレトルトや惣菜を用い、サラダ用に二種類のドレッシングを提供し、ミネラルウォーターはドリンクサーバーにより自由におかわりができるように設置した。

食事映像を観察しながら、協力者らの視線方向と食事動作を書き起こす。視線の書き起こしは、孤食の場合は、テレビまたは携帯を見ている (TV・携帯)、自分の食事 (自食)、その他の方向 (その他) の 3 方向で、共食の場合は、相手の顔を見ている (相手)、自分の食事を見ている (自食)、相手の食事を見ている (相手食)、その他の方向を見ている (その他) の 4 方向で書き起こした。

食事動作の書き起こしは、食べるための動作を図 2 の通り 4 つのフェーズに分類した。具体的には、ホームポジションにある手が動き始めてスプーンに触れるまで (食動作開始)、スプーンを持っている状態 (持つ)、スプーンが食べ物に触れている状態 (寄せ集める)、スプーンで食べ物をすくい上げ、口に入れるまで (口に入れる) である。

視線継続時間の割合について分析した結果、孤食における視線はテレビや携帯電話からのコンテンツの影響を受け、規則性は見られなかった。一方で共食は、協力者全員が自分の食事を見る時間が長く、自食への視線継続時間は孤食との比較からも有意に長かった。これは会話の相手を見続けることの心理的負担を回避するために、視線の逃げ道とし



図 2 食事動作の 4 つのフェーズ

て「自食」を使用したと考えられる。さらに共食では、相手にちらちらと視線を送りながら自分の食事に視線を向けるという行動が多いことがわかった。これは、コミュニケーションを伴う食事環境の社会的制約が、食事中の人の視線行動を統制したと解釈できる。

摂食動作の分析からは、共食中は孤食より「寄せ集める」フェーズが長いことがわかった。前述の視線の結果と合わせて考えると、会話中に視線を相手ではなく、自分の食事をみて操作するために使うことは、心理的負担を軽減し、居心地の良い食事の場を作ることに貢献するものと解釈できる。また、会話をやりとりする最中に、皿の上でカレーを寄せたり、かき混ぜたり、またサラダをフォークで刺す動作を繰り返すことによって、摂食のタイミングを凶っているとも解釈できる。この、皿上でスプーン操作を繰り返す行為は、会話を調整することに寄与している可能性がある。「寄せ集める」行為が、他者とのコミュニケーションを維持するための無意識的な社会的行為であると考え、共食が人間関係構築のための営みに寄与している可能性があることを、人の行動分析から明らかにしたと言える。

今回の食事時の視線と食事行動の分析から、人はコミュニケーションを維持するために自分のふるまいを適切にデザインしていることが明らかになった。すなわち、自分の食事に視線を向けることで、居心地の良い空間を構築し、さらに皿の上で食べ物を寄せ集める動作を繰り返すことで、コミュニケーションに邪魔にならないタイミングで摂食するよう、自己の行為を調整していることが明らかになった。

② 沈黙時にロボットが表出する  
ファイラーが会話の場に及ぼす影響

私たちの日常会話は、現在の話し手と次の話し手が交互に入れ替わることで成立する。話し手同士の交替が円滑に進まないことで生じる沈黙は、会話の場への非協力とみなされ、雰囲気が悪くなることがある。そのため、会話参加者らはこの沈黙状態を解消するように努力する。

人間と発話のやり取りを行う会話ロボットもその会話の参加者の一員と捉えるならば、人間と同様に沈黙の緩和に向けて振る舞う行動が必要である。そこで、本研究では

下の3つの課題を設定して、ロボットの適切な行動デザインを検討する。

第1の課題は、人とロボットとの会話の順番交替時の沈黙においても、人同士の沈黙と同様に「気まずさ」や「雰囲気悪い沈黙」と感じるかを明らかにすることである。もし、沈黙時にそのような気まずさを感じるのであれば、その気まずさを緩和するようなロボットの適切な行動デザインが必要である。人同士の会話であれば、気まずい沈黙の時間を埋めるための適切な行動をとっている。例えば、「ウン」や「エート」等の発話や、髪を触ったり、顎を撫でたり、話す代わりに自分が話せない状況にあることを、それとなく示すしぐさで沈黙の一部を埋めて、それとなく自分が話さないことを表現する行動がみられる。

第2の課題は、人とロボットとの沈黙においても、ロボットが同様の修復行動を行うことが適切といえるのかを明らかにすることである。

第3の課題は、ユーザ（実験参加者）の社会スキルと、ロボットの印象や会話の場を与える効果との関係を明らかにすることである。ユーザの社会スキルやコミュニケーション能力が高い場合、ユーザはその沈黙の気まずさを敏感に察知する。そのため、ロボットが沈黙の緩和行動を精確に行う必要があるが、比較的能力の高い人間の方が生じた沈黙の気まずさを補うという考え方もある。この場合、ロボットの会話構成能力は限定的でよい。一方、コミュニケーション能力の低いユーザにとっては、沈黙時の気まずさを感じ取りにくいことが予想される。また、気まずさを察知しても、その気まずさを緩和する行動を実行できない可能性がある。この場合ロボットが適切な緩和行動を行う方が好ましいとも考えられる。

以上の3つの課題を明らかにし、発話の順番交替時の気まずい沈黙時におけるロボットの適切な沈黙の緩和行動を調べ、ロボットの人とのインタラクション行動をデザインする。そのために、気まずい沈黙場面を含む人とロボットとの会話場面（動画シーン）を複数パターン作成し、映像評価者による主観評価を実施する。そして(1)その沈黙の気まずさが解消されるのはロボットのどのような行動か。(2)そのロボットの誠意や態度はどのような印象か。(3)映像評価者の社会スキルに依存して、上記の項目1、及び、項目2の結果は変化するか。という3つの観点から評価結果を整理する。

フィラーによるロボットの印象を評価するために、人とロボットによる2者会話を模した刺激映像を作成した。robovie-mR2（卓上ロボット）を利用し、RobovieMaker2を用いて動作生成した。図3に刺激映像の例を示す。映像は、沈黙時にロボットが、フィラーを表出する／人がフィラーを表出する／

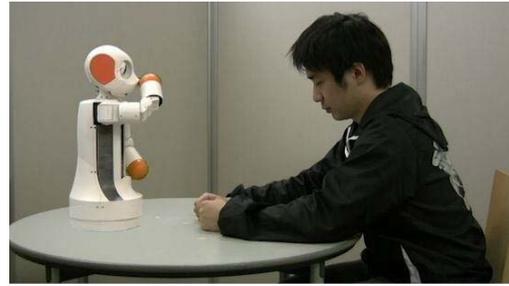


図3 刺激映像の例

どちらもフィラーを表出しない、の3種の映像の合計16個である。各映像の評価項目として(1)発話義務(人とロボットのどちらが話し出すべきか)、(2)次話者推定(人とロボットのどちらが話し出すと思うか)、(3)会話継続への誠意(人とロボットは会話継続に対する誠意があるか)、(4)場の気まずさ(場は気まずいと感じられるか)を設けた。(1)、(2)、(3)は5件法、(4)は7件法とした。

実験協力者として、大学生27名が参加した。この27名は事前に184名を対象に行ったコミュニケーションスキルの調査により、スコアが上位、あるいは下位にマッピングされた学生である。よって、あらかじめ社会スキルに差のある回答者を実験協力者として選定した。

刺激映像を視聴してもらうにあたり、実験協力者には、初対面同士である人とロボットが議論を行っており、時間内に意見をまとめなければいけない状況で議論が滞っている内容であることを教示した。

評価の結果、人とロボットとの会話においても沈黙が発生すると、人は気まずさを感じるということがわかった。また、沈黙時のロボットのフィラーは、ロボットの会話に対する誠意を伝え(図4)、同時に「次に話し出すであろう」ことを予測させる効果があった(図5)。

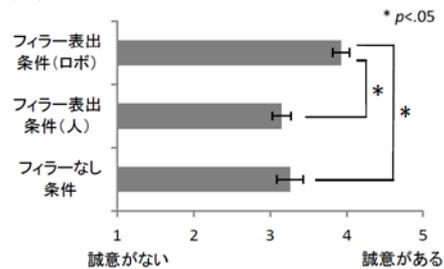


図4 ロボットの誠意評定値

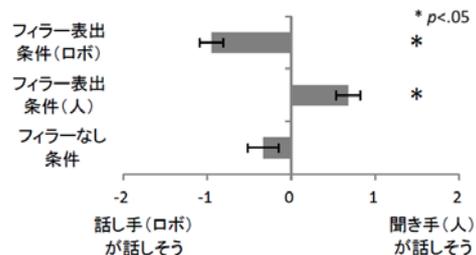


図5 次話者推定評定値

すなわち、ロボットが適切な状況、適切なタイミングでフィラーを行うことがロボットの会話において有効であることが示唆された。また、会話ロボットのフィラーによりロボットの会話に対する誠意が伝わる一方、沈黙の気まずさを軽減する効果が少ないこと（図6）がわかった。

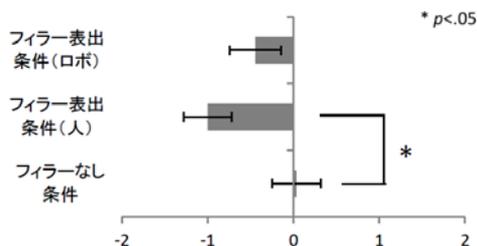


図6 気まずさの変化量

さらに、今回、協力者のコミュニケーションスキルのスコアが上位、下位に分類して協力者から評価してもらったが、低かったユーザにもロボットの誠意が伝わるということが分かった。人-ロボット間での意思疎通を容易にするための会話ロボットの行動のデザインの知見として、ユーザのロボットに期待する会話構成能力に合わせてフィラー行動を導入すると良いこと、人のコミュニケーションスキルに合わせてロボットの行動を適切にデザインすると良いことが得られた。

### ③ 多人数会話に介入する 会話支援ロボットの振舞い評価

本研究は、グループ会話において参加者の性格を考慮しつつ会話を促進・活性化できる気遣いのできる人（ファシリテーター）がいない状況を想定し、人同士のコミュニケーションに介入して会話を促進できる能力をもつロボットを開発することを目的とする。しかし、ロボットに人の気持ちを理解して気遣いをする能力を持たせることは現状の技術では難しい。そこで、人の気持ちを推測し、気遣いのできる能力はないが、答えづらい質問や行き詰まった状況に対して会話を促進する機能を有するロボットを開発することを目標とする。

具体的には、多人数の会話において沈黙が生じたとき、ロボットがその解消に向けて振舞う3通りの動作をデザインする。

- ・一人を次の話し手に指定して発話を促す振舞い（個人指定条件）：ロボットから話者指定された参加者のみが受動的に発話を行うことを強いられるため、一人の会話参加者が応答する責任を負う。そのため、答えにくい話題や状況では、心理的なストレスを受けるものと考えられる。

- ・複数人に発話の開始を促す振舞い（複数人指定条件）：ロボットから話者指定された複数人の参加者は受動的に発話を行うことを強いられる。しかし、参加者のうちの誰か一

人（あるいは全員）が自ら返事を行うことで会話は成立する。すなわち、自己選択によって会話が進行する。話者の発話に対して、能動的に応答するので全員が同時に発話することもあり、発話の重なりが頻発すると考えられる。そのため、円滑な順番交替は実現されにくい。

- ・誰かに話させたいが誰にも発話開始を促さない振舞い（宛先非指定条件）：話者の発話に対して特定の誰かが返事を行う義務はない。宛先を指定していないため、発話に対して、参加者のうちの誰か一人（あるいは全員）がロボットの会話を拾うことで会話は成立する。すなわち、誰かが自ら発話を始めることによって沈黙から復帰する。複数人指定条件と同様、現話者の発話に対して能動的に応答するので、全員が同時に発話することもあり、発話の重なりが頻発すると考えられる。

宛先のない発話は、ロボットの発話を無視するか、応答するかを選択権が存在すると考えられる。また、ロボットの発話に参加者が能動的に応答することから、個人指定条件と比べて参加者の話したいと思う気持ちが満たされると考えられる。

上記の振舞いを会話支援ロボット Neut（図7）に実装し、評価実験を行った。実験参加者は24名である。1グループの協力者3名に、Neutを介在させた会話を計8グループ実施した。各グループに3条件、各15分の会話をしてもらい、映像に記録した。各条件の会話終了後、質問紙により会話参加者にロボット、会話に関する印象を記入させた。

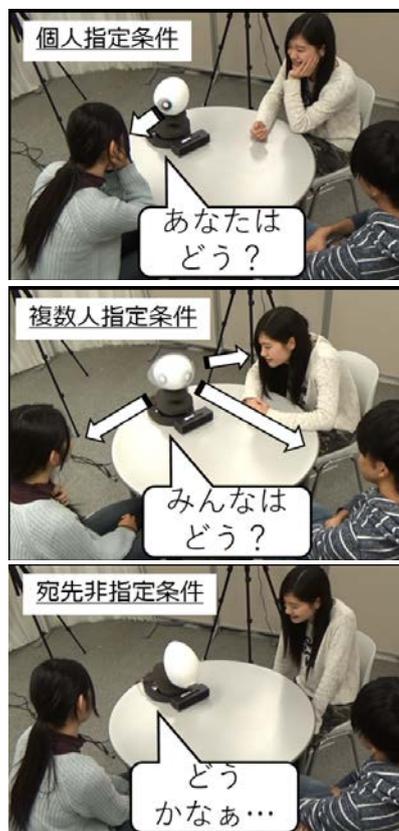


図7 実験協力者3人とNeutの会話

映像観察から、個人に宛先を向けるロボットは、特定の会話参加者からできるだけ多くのアイデアを引き出すことで会話を進めることに適していることが分かった。また、複数人に宛先を向けるロボットは、参加者の心理・認知的な側面を配慮しつつ、和やかな雰囲気ですpontaneouslyアイデアを引き出すのに適していることが分かった。発話の宛先を指定しないロボットは、順番交替を参加者自身に任せつつアイデアを出すことを促すような場合に適していることが分かった。

一方で、質問紙の回答を集計したところ、個人指定条件は、他条件と比べて、個人の応答責任がより強く、指定された参加者は心理的負担を強く感じていることがわかった。このことから個人指定条件では、ロボットが会話の主導を握り、より強い応答責任が個人にかかるため、個人指定条件は他条件と比べて、話者指定された次話者のプレッシャーが大きくなったと考えられる。一方、複数人指定条件、宛先非指定条件では、応答責任を持つ聞き手が複数人になることから一人当たりの応答責任が分散され、心理的なストレスが軽くなったと考えられる。

しかし、会話参加者が感じる心理的負担は個人差があり必ずしも会話へ悪い影響があるとは限らない。例えば、ある会話参加者は自ら次話者として名乗り出ることによって心理的負担を感じていて、誰かに話者指定されることを待っているという状況が考えられる。このような状況のときに、話者指定という行為をロボットに一任することで、自分から名乗り出たり、人に指名されるよりも心理的負担が少ないと感じる会話参加者もいるだろう。このように、様々な会話参加者のコミュニケーション能力や性格に応じて、最適な振る舞いを表出する会話支援ロボットを構築することも重要だと考えられる。これらの課題を解決して、Neutが日常の会話場面において人同士の会話を支援できるのかを検討することで本研究の目的とする会話支援ロボットを確立する。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

- ① 大島直樹, 君島啓太, 大和淳司, 武川直樹, “沈黙時におけるロボットのフィラー行動はコミュニケーションに寄与するか?—能力の限定された会話ロボットの行動デザインのために”, 電子情報通信学会 Vol. J99-A, No. 1, pp. 2-13 (2016) 【査読有】
- ② 武川直樹, 佐々木寛紀, 木村敦, “会話沈黙中に表出される音声・動作フィラーの役割の分析と会話ロボット/エージェントの行動設計指針”, 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J98-A, No. 1, pp. 93-102 (2015) 【査読有】

〔学会発表〕(計 18 件)

- ① 藤森亮, 大島直樹, 徳永弘子, 金子博, 武川直樹, “あなた話して/みんな話して

／だれか話してを使い分ける会話支援ロボットの振る舞い評価”, 電子情報通信学会 HCS 研究会, Vol. 116, No. 524, pp. 79-84 (2017) 2017 年 3 月 16 日, 東北大学 (宮城県仙台市) 【査読なし】

- ② Naoki Ohshima, Tatsuya Watanabe, Natsuki Saito, Riyo Fujimori, Hiroko Tokunaga, and Naoki Mukawa, “Neut: “Hey, let her speak” Design of a Speech Eliciting Robot that Intervenes in Brainstorming Sessions to Ensure Collaborative Group Work”, Springer International Publishing Switzerland 2015: HCII 2015 Posters, Part I, CCIS 528, pp. 764-769, (2015), 2015/8/2~8/7, The Westin Bonaventure Hotel, (Los Angeles, USA) 【査読有】
- ③ Naoki Ohshima, Keita Kimijima, Junji Yamato, Naoki Mukawa, “A Conversational Robot with Vocal and Bodily Fillers for Recovering from Awkward Silence at Turn-takings”, RO-MAN 2015 (The 24rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication) pp. 325-330. (2015), 2015/8/31~9/4, Kobe International Conference Center (Kobe, Japan) 【査読有】
- ④ Naoki MUKAWA, Hiroki SASAKI, Atsushi KIMURA, “How do verbal/bodily fillers ease embarrassing situations during silences in conversations?”, RO-MAN 2014 (The 23rd IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication), pp. 30-35. (2014), 2014/8/25, Heriot-Watt University (Edinburgh, Scotland, UK) 【査読有】

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.imlab.sie.dendai.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

武川 直樹 (MUKAWA, Naoki)

東京電機大学・情報環境学部・教授  
研究者番号: 20366397

### (2) 研究分担者

大島 直樹 (OHSHIMA, Naoki)

東京電機大学・情報環境学部・助教  
研究者番号: 30732820

### (3) 研究分担者

日根 恭子 (HINE, Kyoko)

東京電機大学・情報環境学部・助教  
研究者番号: 70625459

### (4) 研究分担者

木村 敦 (KIMURA, Astushi)

日本大学・危機管理学部・准教授  
研究者番号: 90462530