

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 3 月 31 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008 ～ 2011

課題番号：20240022

研究課題名（和文）

タンジブル・アンドロイドのための人工触感コミュニケーションシステムの開発

研究課題名（英文）

Development of Artificial Tactile Communication system for Tangible Android

研究代表者 才脇 直樹 (SAIWAKI NAOKI)

奈良女子大学・生活環境学部・准教授

研究者番号：20252637

研究成果の概要（和文）：本研究では、アンドロイドに繊細な触感をもたせ人間との触感コミュニケーションを実現できるシステムの構築を試みた。研究全体を大きく二分し、1：先端技術を用いた、触感の生成や分析を行う触感インタフェースシステムの開発・評価、2：さわり心地のような微妙な表情表現のできるアンドロイドの開発、のそれぞれに取り組み、最後にさわり心地に応じた表情によるコミュニケーションを実現するアンドロイドとしてまとめた。

研究成果の概要（英文）：In this research, we tried to construct the interface system to realize tactile communication using an android. First of all, we developed the interfaces for the generation and analysis of tactile feelings and evaluated. Next, we developed the android which was able to express the time variation of delicate facial expression. Finally, we developed the prototype android to realize comfortable communication by facial expression according to the tactile feelings.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2009年度	8,100,000	2,430,000	10,530,000
2010年度	6,900,000	2,070,000	8,970,000
2011年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
年度			
総計	30,000,000	9,000,000	39,000,000

研究分野：人間情報学

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：タンジブル、アンドロイド、人工触感、コミュニケーション、認知実験

1. 研究開始当初の背景

我々はこれまで蓄積してきた独自技術と経験に基づいて、本研究でアンドロイドに繊細な触感をもたせ人間との繊細な触感コミュニケーションを実現できるシステムについて検討した。このようなロボットは国内外で従来まだ開発されていなかったが、我々が関係する過去の関連研究成果には次の二つがあった。

(1) 人間の五感に関する情報処理と VR 技術を融合させた新しい試みの一つとして触覚を伝達する触感ディスプレイの研究がある。多くの研究では主として力覚 (Force) が扱われているが、我々はより繊細な触感 (Tactile) の分析と再現を目指し、新しい人工触感インタフェースの実現と脳における触感認知の研究に取り組んできた。

(2)(1)に加えて、我々は、**Repliee Q2**、**Geminoid** など一連のアンドロイドを開発し、人間とのコミュニケーション実験を行う中で五感インタラクションの本質、例えば人間らしい仕草や会話が被験者である人間の認識や行動に与える影響などを中心に評価してきた。

ユーザが触れて感じるができることを「タンジブル」といい、インタフェース研究の分野では海外を中心に最近注目されつつある概念である。国内外の研究の多くはタンジブルの概念を視覚と聴覚中心の伝統的なVRインタフェースに物理的な実体を持たせることで、インタフェースから伝達される情報の認知度を高める技術という観点から捉えている。一方で、人間は成長の過程できわめて多様な「タンジブル体験」を蓄積し、生涯を通じて豊富な「タンジブルコミュニケーション」を行っている。接触相手は人間同士のことであれば物の場合もあり、他の五感や思念の影響を受けて認識が変化することもある。

こうした人間の認識を中心としてタンジブルの本質を理解しコミュニケーションに利用するためには、人間的な実体を持ったインタフェースであるアンドロイドにタンジブル性を実装できる技術を開発して実験評価するのが有効なアプローチ法の一つであり、更にはアンドロイドに一層高度な五感センシング技術を与えて人間とのコミュニケーションの質を高めることにも役立つと考えた。

さらに、人間が相手の感性を読み取ってコミュニケーションする際に重要なのは、刺激に対する表情変化とそれに伴うリアクションである。例えば、柔らかい素材を触って「心地よい」と感じた際にうっとりするような表情を浮かべつつ撫で回したり、とげとげしい素材を触って「痛い」と感じた際に思わず手を引いて眉をひそめる、といった応答から、我々は相手の触感覚を理解し共有することができる。従来のアンドロイドやロボットは、こうした繊細な表現が不可能であった。

従って、これを実現できれば、人間とロボットの触感コミュニケーション、ひいては感性コミュニケーション全体の質的向上を実現できると考えた。

2. 研究の目的

1でも述べたように、我々はまだ国内外で完全には実現していない、独自手法による触感の再現とセンシングを要素技術として、アンドロイドに繊細な触感や表情表現をもたせ、人間との触感コミュニケーションを実現できるシステムの構築に挑戦している。

例えば、人間の代役となりうるアンドロイ

ド(例：**Geminoid**)が触感伝達機能を持てば、アンドロイドが物体を撫でた触感を別の場所にいるユーザが実感できるようになり、これまで実現している視聴覚に触感も加わったより緊密なインタラクションが可能になる。また**ReplieeQ2**のような自律タイプのアンドロイドが触感を感じる事ができれば、肌触りに関する会話やざらざらした素材を触って“びくっ”とするような触感に応じた適切な応答動作生成が可能になり、より人間らしく振舞わせることが可能となる。

以上より、我々はタンジブルなインタフェースを内包するアンドロイド実現のための人工触感コミュニケーションシステムの開発に取り組んだ。本研究の特色は、実体を持ったアンドロイドと組み合わせたタンジブルなコミュニケーションインタフェースとして機能する触感センサと人工触感ディスプレイを開発しようとしている点である。

また、このようなシステムが開発されることでアンドロイドを通じて、指先で憶える技能の獲得、スキンシップに代表される癒し効果、遠隔手術、宇宙開発からエンターテイメントまで、その応用範囲は非常に広く、社会的なインパクトも大きいと予測される。

また、こうしたシステムを開発するために、触感刺激と人間の感性の関係を心理実験や脳機能計測等を絡めて分析していく中で、人間の五感の中でも良く分かっていない触感認知の仕組み解明への知見が蓄積できるなど、サイエンス分野への貢献も副次的に期待できると考えた。

3. 研究の方法

タンジブルなアンドロイドインタフェースを実現するための研究ステップを、以下の2つの大きく分けて取り組むことにした。

(1) 新型触感センサと触感呈示ディスプレイという二つのインタフェースデバイスの開発

まず、アンドロイドの指先や皮膚で繊細な触感を検出するセンシング技術の開発に取り組んだ。従来の皮膚センサでは圧力分布や接触部分のセンシングが中心課題であった。しかし、本研究では特に、感性的な触感、具体的には布のような、ふわふわ、さらさら、ざらざらなどの触り心地、素材感、質感の特徴分析と触感再現のためのモデル化、パラメータ化を試みた。モデル化に際しては、触感刺激時のf-MRIによる脳機能計測なども併用した。

また、検出した触感を別の場所にいるユーザ(例えばアンドロイドの操作者)に伝達し、再現できる人工触感ディスプレイの開発にも取り組んだ。触感センサ

と同様に、ふわふわ、さらさら、ざらざらなどの感性的な触感再現に的を絞り、アクチュエータを制御する事で指先受容器への直接刺激による触感の呈示を試みた。

(2) 1 のデバイスを統合した触感コミュニケーションのシステム構築と評価実験

まず、触感検出時における人間のリアクション（主として表情と刺激に応じた体の動作）について、多くの被験者を対象に分析を試みた。

次に、その結果に基づいて、人間らしい微妙な応答表現が可能になるようにアンドロイドを改良するとともに、指先に装着した触感センサから検出した様々な触感刺激に応じて自然に表情を変えリアクションする制御ソフトウェアの開発を行った。

4. 研究成果

(1) 触感を表現する物理特性や人間の触感認知についてリアル素材を用いた計測実験を行い、触感センサや人工触感ディスプレイを構築するためのモデルに必要とされる、複雑な触感覚を創り出す刺激の物理的パラメータや心理特性について検討した（担当：才脇、石黒）。

被験者に呈示するリアルな触感としては、柔軟な肌触りから硬質・光沢感まで幅広い性質を持つアパレル系素材（各種布地など）を用いた。これは、アパレル系素材が人間の触感に日常触れるものとして最も多様・複雑な性質をもち、ミクロに見た場合の糸の性質や織構造、マクロに見た場合のテキスチャや色柄まで様々な実験条件を設定することができるからである。

実際、布の肌触り感覚を分析したり合成したりできる技術には産業応用の可能性が高く、様々な分野の企業からの問い合わせも多い。今回は、脳機能計測等生理生体計測を含む認知実験など、マルチモーダルな観点から心理・物理的触感特性を計測・分析することができた。

その結果、これまでは知られていなかった柔らかい素材の触感等に関する多数の知見を得ることができた。

(2) 触感を検出評価する触感センサと触感を呈示するアクチュエータの開発（担当：才脇、菅沼）

印刷型配線技術（プリンテッドエレクトロニクス）という新技術を導入して、高精度化された新型触感センサの開発に取り組んだ。また、才脇はこうした触感センサを用いて、

主としてアパレル系素材によって与えられる刺激から抽出できる信号スペクトルのパターン分類法について評価・検討した。従来の皮膚センサはこのような微妙な触感を計測することを目的としていないため、対応できるような高感度化、高精度化と特徴抽出のための信号処理について検討を進めた。

その結果、これまでのセンサでは検出・分類不可能だった微妙な触感の定量化に成功した。

さらに、小型振動素子を用いた新しい触感発生デバイスの開発を行った。ざらざら、つるつる、ふわふわといった基本的な触感特性を伝達できるアクチュエータを開発し、評価実験を行った。

その結果、従来の触感ディスプレイに比べて、廉価で容易に製作できる呈示装置を提案できた。また、触感の表現能力も同等程度であった。

(3) 触感を表現するインタラクションの分析と生成（担当：才脇、石黒、前野）

まず、触感検出時における人間のリアクション（主として表情と刺激に応じた体の動作）について、多くの被験者を対象に分析を試み触感コミュニケーションを実現するための動作について検討した。

その結果、触感のような微妙な刺激に対する応答は、これまでロボットの表情表現で取り組まれてきた喜怒哀楽のように動作が大きく判別しやすいものではなく、さりげなくささやかな変化に注目すべき事が明らかになった。

また、これらを実装するための新型アンドロイド素体をデザイン・開発した。そもそも、ほとんどのアンドロイドやロボットは、はっきりした喜怒哀楽のような感情が人間に分かりやすいように設計されており、ここで取り上げるような微妙な表現の分析や再現に取り組んでいなかった。しかし、実は日常生活の多くは、こうした「ちょっとした」リアクションで構成されており、喜怒哀楽のように分かりやすい表現の方がむしろ少ない事が、人間とのコミュニケーション実験を行う中で分かってきた。

そこで、我々がデザインしたアンドロイドでは、口元や眉、目などの微妙な動きを再現できるように、機械的構造から見直し改修を行った。

さらに、微妙な感情表現の動作はそれ自体非常に微小で分かりにくいにも関わらず、時間に対して動的であるからこそ人間に容易に認識されうることも分かった。ただ、従来は、こうした微妙な表現のダイナミックな時間変化を簡単に誰もが作成できるようなソフトウェア環境がなかった。そこで、アンド

ロイドの微妙な表情や仕草の動的表現を容易に入力できるソフトウェアを開発し、その有効性を確かめた。

以上のように、多くの研究成果を収めることができた事でメディアなどからも注目された。研究進捗状況により、学会や論文での発表を優先しなかったために断ったものも少なくなかったが、ほぼ全ての主要全国紙や著名なコミック雑誌からの取材を受けた。

学会の方からも、研究が完了しつつある平成24年3月の段階で5件の招待講演を受けることになったが、発表自体は24年度中となり本研究期間を外れるため、成果として掲載できないのが残念である。また、以上で述べた各成果について個別に論文をまとめているが、審査と掲載が24年度4月以降になるため、同様に掲載できず残念である。

このように取材や発表が次年度持ち越しになった最大の理由は、平成24年3月11日に発生した大震災による予算執行の遅れのために、アンドロイドやセンサなどの改修作業・納品等が半年以上大幅に遅れたためである。

しかし、このような研究には果てはなく、今後もシステム全体を完全にアンドロイドと統合して自然な触感コミュニケーションが実現するかどうかの評価実験と、その結果に基づく改良作業などが見込まれる。そのため、今回の研究成果として構築された、触感アンドロイドとインタフェースシステムについては、これからも長く重要な実験装置として大切に利用していきたいと考えている。また、そうすることが、震災にもかかわらず、優先的に研究費を執行していただけた事に感謝し、責任を果たすことでもあると考えている。

最後に、アンドロイドが繊細な触感に対して表情や動作を含めてリアクションするのは世界でも初めてであり、女子大の女子学生が中心になってこれらを開発したのも、日本の研究史上特筆すべき事と考える。共同研究者となってくれた学生たちに深謝したい。

以上、感謝の言葉をもって研究のまとめとしたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① M. Shimada, Y. Yoshikawa, M. Asada, N. Saiwaki, H. Ishiguro, “Effects of

Observing Eye Contact between a Robot and Another Person”, International Journal of Social Robotics, Vol. 3, No. 2, 2011, pp. 143-154、査読有

[査読有国際会議論文] (計4件)

- ① Yuko Akikawa, Yuka Koda, Naoki Saiwaki, Natsuki Komoda, Katsuaki Sukanuma, Yasutoshi Makino and Takashi Maeno, “Development of finger-shaped tactile sensor”, 2011 International Symposium on Computational Models for Life Science (CMLS-11) (2011)
- ② Mariko Kato and Naoki Saiwaki, “Design of Wearable Interface Considering Touch Communications,” Proc. of the Human-Computer Interaction, LNCS 5617, pp. 524-533, 2009.
- ③ Yuka Koda, Maki Taniguchi, Yukiyasu Kamitani and Naoki Saiwaki, “f-MRI Study of Brain Activation in Tactile Feeling,” Proc. of the Human-Computer Interaction, LNCS 5617, pp. 534-542, 2009.
- ④ Iyo Kunimoto, Naoki Saiwaki, Osamu Katayama and Yasuji Inobe, “Fundamental Research on Tactile Perception for Development of a Tactile Feel Display,” Proc. of the Human-Computer Interaction, LNCS 5617, pp. 336-345, 2009.

[学会発表] (計9件)

- ① 才脇直樹、「触感コミュニケーションが可能なタンジブル・アンドロイドの開発」、第5回人間情報学会定期講演会、2010年12月20日、東京大学
- ② 秋川優子、菰田夏樹、菅沼克昭、牧野泰才、前野隆司、才脇直樹「ヒトの指を考慮した新型触感センサの開発」、第4回人間情報学会定期講演会、2010年9月10日、奈良女子大学
- ③ 浅田真奈、石黒浩、才脇直樹、「触感アンドロイドの表情についての検討」、第4回人間情報学会定期講演会、2010年9月10日、奈良女子大学
- ④ 秋川優、幸田友香、菰田夏樹、牧野泰才、前野隆司、才脇直樹、菅沼克昭、「人間の指先型触感センサの開発」、電子情報通信学会HPB第3回研究会、2010年6月16日、東京大学

- ⑤ 浅田真奈、嶋田倫博、吉川雄一郎、才脇直樹、石黒浩、「アンドロイドを含めた三者間でのバランス理論の検討」、電子情報通信学会 HPB 第 3 回研究会、2010 年 6 月 16 日、東京大学
- ⑥ 嶋田倫博、吉川雄一郎、浅田真奈、石黒浩、才脇直樹「非親密対話相手によるアイコンタクトの社会的バランス効果」、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集 2A1-E21、2009 年 5 月 25 日、福岡国際会議場
- ⑦ 国本依代、才脇直樹「人工触感ディスプレイ開発のための触感特性の基礎検討」、第 30 回日本家政学会関西支部研究発表会、2008 年 10 月 11 日、畿央大学
- ⑧ 幸田友香、谷口まき、才脇直樹「f-MRI を用いた布地の風合いの差異判別可能性」、第 30 回日本家政学会関西支部研究発表会、2008 年 10 月 11 日、畿央大学
- ⑨ 加藤真理子、寺田努、秋田純一、戸田真志、才脇直樹「タッチコミュニケーションを考慮したウェアラブルインタフェースの構築」、Human Interface 2008、2008 年 9 月 4 日、大阪大学

〔その他〕(計 4 件)

ホームページ等

- ① (財)画像情報教育振興会(略称 CG-ARTS 協会)HP:大学・企業現場レポート ～デジタル最前線 Vol.6～「質感を見て、触って、脳で感じる。日本発の感性情報技術を。」奈良女子大学才脇研究室
<http://www.cgarts.or.jp/frontline/vol6/index.html>
- ② 産経新聞、「「女性視点」のアンドロイド開発」、平成 22 年 11 月 13 日
- ③ 徳間書店コミック誌月刊 ZENON 第 2 巻巻頭カラー特集、「「SF を科学する!! ～CYBER ブルー」のリアリティ～」、平成 23 年 1 月 1 日号
- ④ 国立大学支部通信(近畿支部)、「ロボット研究には繊細な女性の感性を」、月刊国立大学協会情報誌 JANU Vol. 20、平成 23 年 3 月号

6. 研究組織

(1) 研究代表者

才脇 直樹 (SAIWAKI NAOKI)
奈良女子大学・生活環境学部・准教授
研究者番号：20252637

(2) 研究分担者

石黒 浩 (HIROSHI ISHIGURO)
大阪大学大学院・基礎工学研究科・教授
研究者番号：10232282

菅沼 克昭 (KATSUAKI SUGANUMA)
大阪大学・産業科学研究所・教授
研究者番号：10154444

前野 隆司 (TAKASHI MAENO)
慶應義塾大学大学院・システムデザイン・マネジメント研究科・教授
研究者番号：20276413
(H23 年度)