

博士学位論文

内容の要旨及び審査結果の要旨

第51号

2023年3月

京都産業大学

は し が き

本号は、学位規則（昭和28年4月1日文部省令第9号）第8条の規定による公表を目的とし、令和5年3月19日に本学において博士の学位を授与した者の論文内容の要旨及び論文審査結果の要旨を収録したものである。

学位番号に付した甲は学位規則第4条第1項によるもの（いわゆる課程博士）であり、乙は同条第2項によるもの（いわゆる論文博士）である。

目 次

課程博士

1.	<small>キュウマ</small> 久間 <small>アンナ</small> 杏那	[博士 (物理学)]	1
2.	<small>ミタライ</small> 御手洗 <small>ショウ</small> 彰	[博士 (先端情報学)]	4
3.	<small>ヤマダ</small> 山田 <small>トモヒト</small> 等仁	[博士 (生命科学)]	9
4.	<small>タネムラ</small> 種村 <small>ヒロキ</small> 裕幸	[博士 (生命科学)]	12

氏名（本籍）	御手洗 彰（神奈川）
学位の種類	博士（先端情報学）
学位記番号	甲先 第5号
学位授与年月日	令和5年3月19日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
論文題目	人間の身体の内的変化に着目した社会的つながりを活性化させる環境知能システム
論文審査委員	主 査 棟方 渚 准教授
	副 査 平井 重行 教授
	〃 水口 充 教授
	〃 松原 仁 教授

論文内容の要旨

本学位論文は、身体の内的変化からユーザ状態を理解し、それに即した介入を行うことで、ユーザ同士の社会的つながりを活性化させる環境知能システムの実現を目指している。本論文で着目している「身体の内的変化」というのは、表情や姿勢など外観に表出されるような体外の変化ではなく、覚醒度に応じて無意識的に変化する皮膚電気抵抗値や動作を伴わない筋収縮によって意識的に変化する筋電位による身体の変化を指す。上記提案システムの実現に向け3つのアプローチで研究を行なっている。まず、身体の内的変化（皮膚電気抵抗）による①複数人コミュニケーションにおけるユーザ状態の理解と、②提案する環境知能システムのユーザ支援がユーザ間の社会的つながりを活性化し得るかについて調査を行なっている。次に、このような環境知能システムにユーザがアクセスする際の入力インターフェースについて、社会的つながりの活性を妨げることなく、身体の外観的变化（関節動作）を伴わずに入力可能な筋肉の等尺性収縮を利用した③入力インターフェースの開発を行なった。以下、3つのアプローチについて、方法と成果について具体的に説明する。まず、身体の内的変化に着目した①については、複数人でのコミュニケーション下における個々のユーザの無意識の内的変化から、社会的つながりを活性化させる要素の抽出

を行う観察実験を行なっている。実験では複数人コミュニケーション課題として、多人数参加型の対話心理ゲームと位置づけられる人狼ゲームを用い、人間同士のインタラクションの観察を通して、社会的つながりを活性化しうる振る舞いを調べた。対象とする被験者として、プロ（人狼劇出演の役者）と、アマチュア（大学生・大学院生）を用意し、50 試行以上のプレイを分析した。ここでは、複数人コミュニケーション時の社会的つながりを活性化させ得る要素のうち、他者の行動変容をもたらすような働きかけ（主に説得や誘導など）を中心に調べた。得られた知見として、「他者の状態（思考）や状況を理解し、働きかけるタイミングを決定すること」「他者の嗜好を理解し、適切な手法で働きかけること」、これらの要素が社会的つながりの活性に必要な「競争」に関わる意識を高めていたことが理解できた。次に、①で得られた社会的つながりの活性に寄与する要素を含めた②環境知能システムについて、システムによるユーザ支援が複数人ユーザの社会的つながりを活性し得るのかについて調査を行った。具体的には、被験者 2 名 1 組（12 組 24 名）で行うレクリエーションを対象とし、環境知能システムとの仲介役としてヒューマノイドロボットを用いて介入させ、社会的つながり活性化を促進し得るのかを調査した。2 名 1 組で行うレクリエーションとして、「だるまさんがころんだ」をベースとした VR ゲームを用意し、環境システムの介入の有無による、両被験者の振る舞いや印象の変化等を調査した。前述①の実験で得られた要素として、「適切なタイミング（主に会話の開始時）」と「適切な手法（必要としている情報を過不足なく提示する）」を採用した働きかけとして、被験者のうちどちらかが不利／有利な状況となったタイミングで、不利なプレイヤーに対してのみ有利な状況となるような情報の提供を行うといった場面を体験させ、ユーザの印象や振る舞いを調査した。この実験の結果として、ロボットを介した環境知能システムの介入が、両被験者のレクリエーションに対するモチベーションや勝敗への執着を有意に高めたことが示された。次に、ユーザが環境知能システムに直接アクセスする方法（情報入力手段）として、社会的つながりを阻害せず、身体の外観的変化（関節動作）を伴わない筋肉の等尺性収縮を利用した入力インターフェース開発し、その評価を行った。真の意味でユーザを支援する環境知能システムを構築するためには、どのような状況下においてもユーザの状況を適切に理解する必要があるが、従来手法では人間のコミュニケーションメディア（視覚、音声、身振り手振り）を利用した手法が多く用いられてきた、しかし従来手法では、実世界の活動を阻害するといった課題がある（例として、他者との会話中に音声入力インターフェースを使用できない、両手が塞がった状態では手指を使った操作ができない等）。環境知能システムを様々な環境・状況下で行うことを想定すると、従来のインターフェースでは、実世界の活動を阻害してしまう可能性がある。そこで、人間のコミュニケーションメディアを介さずに入力できる様式として、様々な状況下においてもユーザの主活動を止めることなく入力可能な関節動作を伴わない筋肉の等尺性収縮に着目した入力インターフェースを開発した。具体的には、そのようなインターフェースを開発するためにインタラクションの阻害要因（ユーザの入力モダリティが占有されている）に対して、問題の原因を調査し、それを改善するための手法として、筋電位を用いた入力インターフェースを開発し評価した。評価実験の結果、93.13%の入力識別精度を示した。

従来手法で同様の分類タスクを行った際の精度は 59.17%であったため、33.96%の精度向上を実現できていた。

本学位論文は、上記のような①から③のアプローチにより、「社会的つながりの活性化」を支援する環境知能システム構築の実現可能性を十分に示しており、得られた結果は人間に関わるあらゆる分野（娯楽、教育、医療など）におけるユーザ支援を実現する上で重要な知見となると考えられる。今後は本論文で得られた知見を環境知能システムに実装し、システムの実現及び長期間を目指すとしている。本論文で得られた知見、学術的成果は博士の学位に十分値するものであると判断する。

論文審査結果の要旨

本学位論文は、身体の内的変化（意識／無意識）に着目しユーザ状態を理解することで、ユーザ同士の社会的つながりを活性化させる環境知能システムの実現を目指している。身体の内的変化というのは、表情や姿勢など外観に表出される変化ではなく、覚醒度に応じて無意識的に変化する皮膚電気抵抗や筋収縮に伴って意識的に変化する筋電位による身体の変化を指す。上記システムの実現に向け、身体の内的変化（皮膚電気抵抗）による①複数人コミュニケーションにおけるユーザ状態の理解と、②提案する環境知能システムのユーザ支援がユーザ間の社会的つながりを活性化し得るかについて調査を行なっている。加えて、このような環境知能システムにユーザがアクセスする際の入力インタフェースについて、社会的つながりの活性を妨げることなく、身体の外観的变化（関節動作）を伴わずに入力可能な筋肉の等尺性収縮を利用した③入力インタフェースの開発を行なった。

身体の内的変化に着目した①については、複数人でのコミュニケーション下における個々のユーザの無意識の内的変化から、社会的つながりを活性化させる要素の抽出を行う観察実験を行なっている。具体的には、多人数参加型の対話心理ゲームと位置づけられる人狼ゲームを用い、人間同士のインタラクションの観察を通して、社会的つながりを活性化しうる振る舞いを抽出した。対象とする被験者として、プロ（人狼劇出演の役者）と、アマチュア（大学生・大学院生）を用意し、50試行以上のプレイを分析した。結果から、複数人コミュニケーションにおける社会的つながりを活性化させ得る要素のうち、他者に対する説得、つまり他者の行動変容をもたらすような働きかけを中心に調べ、以下のような知見を得た。

- 他者の状態（思考）や状況を理解し、働きかけるタイミングを決定すること
- 他者の嗜好を理解し、適切な手法で働きかけること

また、上記の要素を含め、②環境知能システムのユーザ支援が複数人ユーザの社会的つながりを活性化し得るのかについて調査を行った。具体的には、被験者2名で行うレクリエーションを対象とし、環境知能システムの仲介役としてヒューマノイドロボットを用いてレクリエーションを援

助させ、社会的つながり活性化の可能性を調査した。レクリエーションとして、「だるまさんがころんだ」をベースとしたVRゲームを用意し、両被験者の振る舞いや印象の変化を調査した。前述①の実験で得られた要素として、「適切なタイミング（主に会話の開始時）」と「適切な手法（必要としている情報を過不足なく提示する）」を採用した働きかけとして、被験者のうちどちらかが不利／有利な状況となったタイミングで、不利なプレイヤーに対してのみ有利な状況となるような情報の提供を行うといった場面を体験させ、ユーザの印象や振る舞いを調査した。この実験の結果として、ロボットを介した環境知能システムの介入が、両被験者のレクリエーションに対するモチベーションや勝敗への執着を有意に高めたことが示された。

次に、ユーザが環境知能システムに直接アクセスする方法（情報入力手段）として、社会的つながりを阻害せず、身体の外観的变化（関節動作）を伴わない筋肉の等尺性収縮を利用した入力インタフェースの開発を行いその評価を行った。ユーザを支援する環境知能システムを構築するためには、どのような状況下においてもユーザの状況を適切に理解する必要があるが、従来手法では人間のコミュニケーションメディア（視覚、音声、身振り手振り）を利用した手法が多く用いられてきた。しかし従来手法では、実世界の人間の活動を阻害するといった課題がある（例として、他者との会話中に音声入力インタフェースを使用できない、両手が塞がった状態では手指を使った操作ができない等）。環境知能システムを様々な環境・状況下で行うことを想定すると、従来のインタフェースでは、実世界の活動を阻害してしまう可能性がある。そこで、人間のコミュニケーションメディアを介さずに入力できる様式として、どんな状況下においてもユーザの主活動を阻害せずに入力可能な身体の内的変化を利用した（関節動作を伴わない筋肉の等尺性収縮に着目した）入力インタフェースを開発した。

具体的には、そのようなインタフェースを開発するためにインタラクションの阻害要因（ユーザの入力モダリティが占有されている）に対して、問題の原因を調査し、それを改善するための手法として、筋電位を用いた入力インタフェースを開発し評価した。評価実験の結果、93.13%の入力識別精度を示した。従来手法で同様の分類タスクを行った際の精度は59.17%であったため、33.96%の精度向上を実現できている。

本学位論文は、上記のような①から③のアプローチにより、「社会的つながりの活性化」を支援する環境知能システム構築の実現可能性を十分に示しており、得られた結果は人間に関わるあらゆる分野（娯楽、教育、医療など）におけるユーザ支援を実現する上で重要な知見となる。

本博士学位論文をふまえ、2023年2月13日14:00 14号館14102教室とオンラインで先端情報学研究所博士学位論文公聴会として実施し、副査の水口教授と平井教授、松原教授による本審査会を実施した。質疑応答を通して新規性や有用性を示し、今後の発展性についても明確となった。また、2編の査読付き学術論文のほか複数の発表があり、第三者の専門家による客観的評価がなされており、学術成果としての基準を満たしている。以上、博士学位論文公聴会による本審査と学術成果を踏まえ、博士学位論文として十分な内容を有すると判断し審査委員全員の一致で合格と判定した。

学術論文(査読有り)

[1] Designing Hand Gesture Sequence Recognition Technique for Input While Grasping an Object, Sho Mitarai, Nagisa Munekata, Daisuke Sakamoto, Tetsuo Ono, Transactions of the Virtual Reality Society of Japan, 26(4), pages 333-344, December 2021.

[2] 物を把持した状態における筋電センサを用いたハンドジェスチャ入力の問題抽出と新手法の提案、御手洗彰、棟方渚、小野哲雄、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、22(1)、pages 41-50、March 2017.

研究発表(査読無し) 一部抜粋 他8件

[1] 皮膚電気活動を指標とした人狼プレイヤーのゲーム体験に基づくハイライト抽出の試み御手洗彰、棟方渚人工知能学会全国大会論文集第36回全国大会(2022)、 June 2021.

[2] ロボットを用いたレクリエーション援助がプレイヤーのモチベーションに与える影響の調査、御手洗彰、棟方渚、研究報告エンタテインメントコンピューティング(EC)、 June 2022.

[3] 筋肉の非活動部位を活用した外科手術用の筋電入力インタフェースの検討、御手洗彰、棟方渚、研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)、 January 2022.

[4] 筋肉の非活動部位を入力モダリティとして用いたハンドジェスチャ認識手法の提案、御手洗彰、棟方渚、研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)、 November 2021.

[5] プレイヤーのゲーム体験分析による5人人狼の特性抽出、御手洗彰、山本浩隆、棟方渚、研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)、 August 2021.

[6] 人狼プレイヤーの皮膚電気活動の解析: 情動変化を利用したソシオメータの実現へ向けて、御手洗彰、水丸和樹、本田健悟、棟方渚、坂本大介、小野哲雄、情報処理学会インタラクション2018、pages 885-888、 March 2018.

[7] 前腕の表面筋電を用いたジェスチャ認識の実験的検討、御手洗彰、棟方渚、吉田彩乃、櫻沢繁、小野哲雄、研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI)、 2016. 13、 pages 1-6、 June 2016.