

氏名	大津 耕陽		
博士の専攻分野の名称	博士（工学）		
学位記号番号	博理工甲第 1198 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の条件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
学位論文題目	インタラクション主体の粒度に応じた人間情報センシングと相互交流基盤の構築		
論文審査委員	委員長	教授	小林 貴訓
	委員	教授	島村 徹也
	委員	教授	小室 孝
	委員	准教授	大久保 潤
	委員	名誉教授	久野 義徳

## 論文の内容の要旨

情報通信技術の発展によって人々が様々な形態で手軽につながることができるようになった一方で、「有意義な」相互交流を実現する支援の在り方に関しては議論が必要な課題である。情報コミュニケーションにおいては、現実世界での対話と比較して伝達される情報が欠落することで齟齬が発生する、逆に過度な情報収集がプライバシーの侵害への懸念をもたらすといった様々な問題がある。これらの情報コミュニケーションにおける問題は、単純に個人々がインタラクションを進めていく上で障壁となるだけでなく、インタラクションに携わる個人の行動の意欲や参与を促進・抑制する大きな要素となりうる。このような背景から、人間同士のインタラクションを工学的に支援するにあたって、どのような情報をどのように伝達してあげることが、その価値の向上につながるのかに関しては議論が必要な課題である。

本研究においては、人間同士のインタラクションを支援する上での適切な情報獲得・伝達の在り方を考える上での 1 つの指針として、①インタラクション主体のスケール、②インタラクション主体の内部で伝達される情報の持つ情報量、という 2 種類の「粒度」に着目し、それらの違いに応じた情報獲得・伝達の課題について議論する。本論文ではこの課題のうち、インタラクション主体のスケールが小さい場合における「相手をより深く知るための内面情報センシング手法の実現」、インタラクション主体のスケールが大きい場合における「人々が集団として『創発的に』繋がるための技術支援の方法論の解明」の 2 点を特に重要な問題として捉え、そのそれぞれに対して解決方策を提案する。

第 2 章では、「相手の情報をより深く知るための内面情報センシング手法の実現」という課題に対応し、ユーザや環境への介入を伴わない非接触な方法で人の内部状態を計測する技術として、民生品の RGB カメラで撮影された顔映像を利用した心拍数計測手法に関して議論を行う。本論文では、比較的頑健な計測が可能だが計測速度が低速であるという特徴を持つランダムパッチを用いた心拍数計測手法に着目し、その高い頑健性を維持しながら計測速度の高速化を実現した取り組みについて報告する。先行研究での提案手法に対

し、計測領域の選択法の改善と、実装の効率化・最適化を行うことで、従来法の精度を概ね維持しつつ約14倍の実行速度の高速化を実現した。

第3章では、「人々が集団として『創発的に』繋がるための技術支援の方法論の解明」という課題に対応し、集団を構成する個々人の振る舞いの伝達と可視化に基づいて、その内部のつながりを促進する技術支援の方法について議論する。本論文ではその調査フィールドとして国内の大規模集団交流の事例である音楽ライブの現場に着目し、演者・観客間、観客同士の一体感・参加感・臨場感を促進するシステム開発・評価に取り組んだ事例について報告する。演者と観客の間の身体的な振る舞いを発光や振動を介して、双方向的に伝達・提示することが可能な双方向ライブ支援システム「Affinity Live」を開発し、プロの演者・実際のファンを対象とした50人規模での音楽ライブ形式の評価実験を実施した。結果として、提案手法が持つ「演者の身体的行動に同期した観客デバイスへの情報提示」「双方向的な振る舞いの伝達と可視化」が演者・観客間、観客同士の一体感を向上することを明らかにした。また、パブリックビューイングの現場を対象とした「遠隔ライブ参加支援システム」としてのシステムの拡張も実施した。

第4章では、遠隔でのグループコミュニケーションに着目し、その中で特有して発生する「相手がある場にいる感覚（身体的共在性）の欠落」に関する問題に対して議論する。本章では、これらの問題の解決方策として、映像通信とユーザデバイスを組み合わせることで、自他の映像や実世界環境に対して多様な粒度での情報獲得・提示を可能とした遠隔コミュニケーション支援基盤を提案する。本枠組みは、第3章の内容に関連し、双方向ライブ支援システム・遠隔ライブ参加支援システムと組合せて用いることで、演者・現地参加者・遠隔参加者の相互的な交流を実現する「汎用的ライブ支援プラットフォーム」を完成するものである。また、ライブイベント支援以外の文脈においても、立場の異なる様々な個人の集団への参加を促すシステムを設計するための汎用的な枠組みとなり得るものである。本枠組みの「汎用的ライブ支援プラットフォーム」としての利用可能性を検証するために、朗読劇イベントを対象とした現地・遠隔地の両方の参加者を対象として演者とのインタラクションを支援するシステムを開発し、実際のイベントで評価実験を行った。また、ライブ支援以外の文脈における本枠組みのさらなるユースケースとして、テレビ電話における空間連続性の向上への応用可能性に関する議論、アイデア出しの会議・遠隔授業の現場を対象とした参加者の交流支援システムの提案を行う。

第5章では本研究を総括した結論および将来展望について述べる。

## 論文の審査結果の要旨

当論文審査委員会は、当該論文の発表会を令和3年2月16日に公開で開催し、詳細な論文内容の審査、並びに質疑を行った。論文発表を含む学位論文の審査の結果、本提出論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。以下に審査結果の要約を示す。

本提出論文は人間同士のインタラクションに対する情報技術の利活用の方法について議論したものである。情報通信技術の発展によって、人々は様々な形態で手軽につながることができるようになった。しかし、情報通信技術によって、どのように「有意義な」相互交流を実現するかに関しては、新たな課題が生まれているとも言える。非対面コミュニケーションでは、現実世界での対面での会話と比較して、伝達される情報が不足するとコミュニケーションに齟齬が発生する。一方で、過度な情報収集と伝達はプライバシーに関する懸念をもたらす。これらの問題は、自然な対話を行う上で障壁となるだけでなく、相互作用（インタラクション）に携わる個人の行動の意欲や参与を促進・抑制する大きな要素となりうる。このような背景から、人間同士のインタラクションを工学的に支援するにあたっては、どのような情報をどのように伝達することが、その価値の向上につながるかを精査しなくてはならない。本論文では人間同士のインタラクションを支援する上での適切な情報獲得・伝達の在り方を考える一つの指針として、①インタラクション主体のスケール、②インタラクション主体の内部で伝達される情報量、という2種類の「粒度」に着目し、それらの違いに応じた情報獲得・伝達の課題について議論を行っている。

本論文は5章からなる。まず、第1章では、上述のような本研究の背景や目的、課題について述べている。

第2章では、主体のスケールが小さい場合のコミュニケーション支援において主要な課題である「相手の情報をより深く知るための内面情報センシングの実現」に関して、民生品のRGBカメラで撮影された顔映像から心拍数を非接触で計測する手法について検討し、特に、インタラクション場面での利用に適した頑健・高速に心拍数を非接触計測する手法を提案している。本章では、頑健な計測が可能であるが計測速度が低速であるという特徴を持つランダムパッチを用いた心拍数計測手法を基礎に、計測領域の選択法の改善と、実装の効率化に関する取り組みを通じて、従来法の精度を維持しつつ14倍の高速化を実現している。また、開発した手法を、汎用的なソフトウェアフレームワークとして実装しており、多様なアプリケーションへの適用が期待される。

第3章では、主体のスケールが大きい多人数間の交流支援における主要な課題である「集団への人々の参加を自然に促す技術の実現」をめざし、人間同士の同期的な行動を情報技術で促す支援から出発し、集団の創発性を高める方法を検討している。本論文では、その実験フィールドとして音楽ライブの現場を対象とし、主要な集団交流の要素である一体感・参加感・臨場感を促進するシステムの開発・評価に取り組んでいる。本章では、演者と観客の間の一体感を向上する双方向的な情報伝達体系を持つライブ支援システム「Affinity Live」を提案し、プロの演者と実際のファン50人を対象とした音楽ライブ形式の実証実験に基づく評価を行っている。被験者のアンケートやインタビューに基づくユーザ調査・映像に基づく被験者の振る舞いの観察から、観客の持つデバイスの振動を用いた演者の演技情報の伝達が、演者と観客の間の一体感の醸成に寄与すること。及び、観客同士の応援による行動を促したうえでその貢献を可視化する仕組みが観客同士の連帯感・一体感、参加性の向上に寄与することを明らかにした。

第4章では、グループでの遠隔コミュニケーションに着目し、相手と同じ場にいる感覚（身体的共在性）が失われる問題に対して議論を行っている。本章では、これらの問題の解決策として、テレビ電話システム上で通信相手の環境に介入する仕組みを取り入れた汎用的遠隔コミュニケーション支援プラットフォームを

提案している。本枠組みは第3章で議論したライブ支援システムを汎化・拡張させたものであり、現実空間において集約した群衆、遠隔地に散在する個人から構成される分散した群衆の両方に対して多様な情報獲得・提示が可能な体系を実現するものである。本枠組みのユースケースとして、ライブイベントにおける演者・現地参加者・遠隔参加者の相互的な交流を実現するシステムを提案しており、朗読劇イベントを対象としたフィールド実験に基づいてシステムの評価を行っている。また、遠隔授業における教員と学生間の双方向的なやりとりを支援するシステムの提案・実装も行っている。

第5章では、論文全体を総括し、本論文の貢献および将来展望について議論している。

本論文の主な内容は、査読付き学術雑誌論文2編（数理電子情報コースにおいて学術雑誌論文相当と見なす査読付き国際会議論文を含む）で公表されている。

以上のように、本論文の内容は、最先端技術の実装や、最終的に想定される実環境での実験に至っていることなどから、学術的に意義のある研究であると評価できる。よって、当学位論文審査委員会は、本論文を博士（工学）の学位論文として合格と判定した。