



Title	A Study on an IoT Sensing Platform for Multimodal Collaboration Analysis
Author(s)	山口, 隼平
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/101766">https://doi.org/10.18910/101766</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## 論文内容の要旨

氏名(山口 隼平)	
論文題名	A Study on an IoT Sensing Platform for Multimodal Collaboration Analysis (マルチモーダル協調分析のためのIoTセンシングプラットフォームに関する研究)
<b>論文内容の要旨</b>  コラボレーションはタスクの遂行において非常に重要な役割を担い、職場や教育現場などのさまざまな領域で影響を与えている。とりわけ学習科学の分野ではコラボレーションのメカニズムが広く研究されており、学習者同士のコラボレーションを分析することで知的生産性を高めるための重要な洞察を得ることができる。しかしながら従来の定性的な分析には人的・時間的コストを要するため、大規模な人数やグループ、長時間の活動を対象とする場合には分析が困難となる。 近年のInternet of Things (IoT) の進歩は、コラボレーションの定性分析におけるコスト削減を示唆している。IoTシステムを用いてコラボレーションに関する定量的なデータを分析者に自動提示することで、定性分析に要する人的・時間的コストを抑えることができる。コスト削減を通じて従来は及ばなかったコラボレーションの分析対象を拡張することが可能となり、コラボレーション解明に向けた新たな洞察を得ることに寄与する。 コラボレーションの定性分析をIoTでサポートするためには、3つの主要な要件を満たす必要がある。1つ目の要件は、センサデバイス間の時刻同期である。コラボレーション分析に用いられるデバイスは多数の人や異なる環境にわたって複数配置されることが想定される。デバイス間で時刻同期がとれていない場合、データ不整合により正確なコラボレーション分析が困難となる。2つ目の要件は、コラボレーションをマルチモーダルに抽出することである。定性分析では映像や音声を通じて複数のモダリティに着目することから、IoTシステムも同様にマルチモーダルなデータ抽出が必要となる。具体的には、分析のキーとなる学習者同士の対面、学習フェーズ、発話者、活動量、姿勢を定量的に抽出することが求められる。3つ目の要件は、ユーザビリティの高いシステムの設計である。コラボレーション分析を行う研究者や実務者が必ずしも情報技術に精通しているとは限らないため、技術に長けていないユーザにとっても操作性の高いシステムの設計が求められる。 上記の要件に基づいて、本研究ではコラボレーションを定量的に分析するIoTセンシングプラットフォームを提案する。提案システムは3つの要素から構成される。具体的には、高精度時刻同期の下でデータを収集するポータブルセンサ群、収集データからコラボレーションをマルチモーダルに抽出するアルゴリズム群、直感的な操作性を分析者に提供するウェブベースの可視化ツールからなる。本システムの導入によって、人手による作業に依存していたプロセスの大部分を自動化し、コラボレーション分析に要する時間と労力を大幅に削減することが可能となる。 第2章では、提案システムのアーキテクチャに関する研究を述べる。具体的には、各学習者のセンサデータを高精度時刻同期下で収集する名刺型センサ、学習者の対面、学習フェーズ、発話者、活動量をマルチモーダルに抽出する分析アルゴリズム、得られた結果を煩雑な操作不要で可視化するウェブアプリケーションを提案・実装する。定性評価、定量評価の両観点から、提案システムがシステム要件を満たすと同時にコラボレーションの定性分析をサポートすることが示された。 第3章では、提案システムの1モダリティである発話者を高精度に特定する技術を追究する。具体的には、ピークホールド回路を備えた音圧センサ、センサ間の高精度時刻同期、ノイズを含む音圧データから話者を正確に特定するアルゴリズムによってコラボレーション分析のための高精度な発話者特定を実現する。評価実験を通じて、参加者数やノイズの種類、発話時間によらず提案手法が頑健な発話者特定を実現することを示した。 第4章では、提案システムの1モダリティである姿勢を推定するための位置測位技術に着目し、本手法をコラボレーション分析の実環境に導入するうえでの課題と解決策を明らかにする。大規模なケーススタディと対照実験を通じて、簡便ながら高精度な位置測位を実現しうる視覚ベースの手法を姿勢推定に応用するうえでの実用的課題を解明した。得られた課題を解決するための手法としてUltra Wide Band (UWB) を視覚情報と統合した手法をプロトタイプとして提案し、評価実験を通じて位置測位の頑健性向上を示した。 本研究は、従来の定性分析に要していた人的・時間的コストの削減を実現すると同時にコラボレーションの分析対象を拡張する可能性を示唆している。これまで十分なコラボレーション分析がなされていなかった領域へのアプローチを可能にして、コラボレーションのさらなる解明を促進することが期待される。	

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

	氏　名　(　山口　隼平　)	
	(職)	氏　名
論文審査担当者	主　查　　教授	渡辺　尚
	副　查　　教授	村田　正幸
	副　查　　教授	山口　弘純
	副　查　　教授	下西　英之

## 論文審査の結果の要旨

学習コラボレーションは、職場や教育現場など共同でタスクを実行する環境で重要な役割を果たす要素である。学習科学の分野においては、従来、知的生産性を高めることを目的とした学習者間のコラボレーションメカニズムの分析がなされている。しかしながら、従来の定性的な分析手法においては分析に要するコストが高い欠点を有している。特に、参加者が多数に及ぶ場合や活動時間が長い場合には事実上分析が不可能である。

この問題に対し、本研究では、近年注目されているIoT (Internet of Things) 技術を駆使して、コラボレーションメカニズムの分析コストを削減することを目的とする。そして、IoTシステムによって、コラボレーション分析に必要不可欠な定量データを自動抽出する手法を提案する。この手法は、従前は不可能であった大規模コラボレーションの分析を可能とするだけでなく、分析者が見逃しがちな視点を新たに抽出できる可能性をも持つ。

本研究で提案されるコラボレーション分析支援手法は、3つの設計思想の上に成り立っている。第1は、センサデバイス間の時刻同期が重要であるとの観点である。コラボレーションの時系列を矛盾なく分析するためには、IoTデバイスの時刻同期が必須である。第2はコラボレーションの複数のモダリティを勘案する観点である。本研究では、モダリティとして映像と音声を取り上げている。この観点は、学習者同士の対面や学習フェーズ、発話者、活動量、姿勢などを多角的に分析することに貢献する。第3は、情報技術に必ずしも精通していない研究者や実務者が操作可能な仕組みを提供する観点である。

第2章では、上記の設計思想に基づいた提案システムのアーキテクチャについて述べている。名刺型センサを用いて学習者ごとのデータを高精度に同期取得し、対面状況や学習フェーズ、発話者、活動量を多面的に抽出する分析アルゴリズムと、結果を簡単な操作で可視化するWebアプリケーションを提案・実装している。定性評価と定量評価の両面から、提案システムが要件を満たしつつコラボレーションの定性分析を有効にサポートすることを確認している。

第3章では、本システムの抽出対象である発話者を高精度に特定する技術を探求している。ピークホールド回路に基づく音圧センサとセンサ間の高精度時刻同期から、ノイズが含まれる音圧データからも話者を正確に特定するアルゴリズムを提案している。評価実験では、参加者数やノイズの種類、発話時間などに左右されず頑健に発話者を識別できることを示している。

第4章では、学習者の姿勢を推定するための位置測位手法に着目し、実際のコラボレーション分析へ適用する際の課題と解決策を示している。大規模なケーススタディと対照実験により、視覚をベースとする簡便な高精度位置測位を姿勢推定に活用する際の実用的な課題を洗い出している。そのうえで、視覚情報とUWB (Ultra Wide Band) を統合した手法のプロトタイプを提案して評価実験による測位の信頼性向上を確認している。

本研究は、コラボレーションメカニズム分析に対して多大なコストを要していた従来方式に対し、IoT技術により自動化することでコストを削減すると同時に、分析対象を拡張する可能性を示している。本研究で得られた知見は、人々の日常生活における共同作業へ適応できる潜在性を有している。以上の成果により、本論文は博士（情報科学）の学位論文として十分に価値あるものと認められる。