

# 高齢者の対話型コミュニケーション状況把握のための 行動認識センサの設計

伊藤 優樹<sup>1,a)</sup> 上野 正義<sup>1,b)</sup> 高橋 大夢<sup>2,c)</sup> 千葉 慎二<sup>2,d)</sup> 阿部 亨<sup>1,3,e)</sup> 菅沼 拓夫<sup>1,3,f)</sup>

概要：疫学分野において、他者との対話型コミュニケーションが高齢者の健康寿命と関連があることがわかってきている。コミュニケーション状況を把握し分析する方法としては、これまで、被験者へのアンケート調査による主観的評価が用いられており、網羅性や正確性の欠如による不十分さが課題となっている。これを解決するために、ICTの利活用が考えられるが、従来のコミュニケーション状況の把握・分析に用いられているセンサデバイスは、被験者の装着に伴う負担やリアルタイム性の欠如などの課題がある。そこで本研究では、高齢者の健康寿命との関係性の明確化を目指し、他者との対話型コミュニケーション状況を定量的に把握するための行動認識センサを提案する。本発表では行動認識センサ、およびデータ収集システムの設計について述べる。

## 1. はじめに

日本国内で、全人口に対する高齢者の割合の増加、および出生率の低下による少子高齢化が問題となっている [1]。高齢者の増加に伴い、介護・医療費の増大が予想されており [2]、労働者層の負担増が懸念される。改善策の一つとして、健康上の問題で日常生活が制限されることなく生活できる期間である「健康寿命」の延伸が期待されている。

健康寿命は、他者との対話型コミュニケーションと関連があることがわかってきている [3], [4], [5]。すなわち、対話型コミュニケーションの活性化が高齢者の健康寿命延伸につながると言われている。実際、集団を対象として疾病の発生原因や予防などを研究する学問である疫学分野においても、対話型コミュニケーションが健康寿命の延伸と相関関係があることが示されている [6]。従来の疫学調査において、被験者のコミュニケーション状況を把握し分析する方法としては、被験者へのアンケート調査による主観的評価がこれまで用いられてきた。しかしながら、被験者の

記憶に頼る従来の調査方法では、コミュニケーションの有無や状況を網羅的かつ正確に把握することは困難であり、対話型コミュニケーション状況把握のための ICT を利活用した効率的なデータ収集・分析手法の提供が期待されている。

定量的なデータ収集に基づくコミュニケーション状況把握の既存研究として、センサデバイスを活用したシステムを用いる手法がある [7], [8]。これらの研究では、被験者がセンサデバイスを装着し、対話型コミュニケーションにおける被験者の発話・動作などのデータを収集・分析することで、コミュニケーションの量や特徴などを定量化する手法を提案している。これらの研究では、被験者の日常生活での支障を低減するため、センサデバイスの小型化・軽量化・省電力化が検討されている。特に省電力化は搭載バッテリー量の減少による小型化・軽量化が見込まれることから特に重点的に研究が行われている。しかしながら、十分なセンシング精度を確保した上での小型化・軽量化・省電力化には課題がある。また、従来の各センサデバイスで収集したデータの集約方法として、各センサデバイスの記憶領域に一旦保存し、定期的にセンサデバイスを管理者が回収後、PC に接続し充電を兼ねてデータを収集する方法 [8] や、被験者がセンサデバイスに加えスマートフォン等のデバイスを携帯し、センサデバイスのデータを中継して集約する方法が用いられている [9]。しかし、前者はデータ収集から分析までのタイムラグが大きいという課題が、また後者は携帯するデバイスが増加するという課題が、それぞれ存在する。

<sup>1</sup> 東北大学大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

<sup>2</sup> 仙台高等専門学校  
National Institute of Technology, Sendai College

<sup>3</sup> 東北大学サイバーサイエンスセンター  
Cyberscience Center, Tohoku University

a) yuito@ci.cc.tohoku.ac.jp

b) mueno@ci.cc.tohoku.ac.jp

c) a1811517@sendai-nct.ac.jp

d) chiba@sendai-nct.ac.jp

e) beto@tohoku.ac.jp

f) suganuma@tohoku.ac.jp

そこで本研究では、高齢者の対話型コミュニケーション状況の定量的な把握のための行動認識センサおよびデータを収集するシステムを提案する。行動認識センサは装着者である高齢者への負担を低減するため、必要十分なセンサにより構成し、可能な限り小型・軽量とする。センサからのデータ伝送には省電力で広域通信が可能な LPWA 通信を導入し、リアルタイムでデータをデータベースに格納する。また、行動認識センサから送信される LPWA 通信の RSSI により装着者の大まかな位置を検出する。以上の取得データから、被験者の対話型コミュニケーションの状況として、対話グループの構成員やその中でのコミュニケーション上の役割等を検出する。

本提案でのセンサおよびシステムの実現により、前述した疫学調査における対話型コミュニケーションの正確かつ網羅的な状況把握が可能となり、よりの確かな分析が行えるようになる。また、コミュニケーション状況の可視化により、必要に応じてコミュニケーションの取り方に関してアドバイスしたり、リアルタイム支援システムによってコミュニケーションを活性化することが可能となるなどの効果が期待できる。

本稿では、行動認識センサのデバイス構成、ネットワーク構成、データ収集システムに関する詳細設計について述べる。また、プロトタイプシステムを用いた予備実験から、本提案の実現可能性について議論する。

## 2. 既存研究と課題

### 2.1 既存研究

センサデバイスによるコミュニケーション状況把握の既存研究として、ソシオメータ [7]、ビジネス顕微鏡 [8] などがある。

ソシオメータは、コミュニケーション状況を可視化するための、ネックストラップにより首から下げて装着するタイプのセンサである [7]。マイクによる発話状況の取得、加速度センサによる動作の取得、赤外線通信による対面検知、Bluetooth による位置検出を行い、無線または有線によりデータを回収する。位置検出は会場内に設置された Bluetooth ビーコンとの RSSI の三角測量により 1.5 m 以内の誤差で検知し、赤外線通信を用いて被験者間の対面を検出する。ソシオメータの課題として Bluetooth を用いた位置検出の消費電力が平均 5 mA [10] と大きいこと、複数人での対話型コミュニケーションに非対応であることが挙げられる。これはソシオメータの赤外線通信による対面検知が、被験者 2 人が 30° の円錐で 1 m の距離内で互いに向き合っている場合のみ可能となっている仕様のためである。また、センサが 110 g と質量が大きく、装着者の負担となる。

一方、ビジネス顕微鏡は、組織内でのコミュニケーション状況を可視化するためのセンサである [8]。ソシオメー

タ同様、ネックストラップやクリップで胸等に装着し、マイクによる発話状況と、加速度センサによる身体の動作を取得する。対面検知および位置検出はセンサに複数搭載された赤外線通信モジュールを用いており、対面検知の有効範囲拡大および省電力化を図っている。搭載バッテリーを 160 mAh の小容量とすることで、センサ質量は 33 g と、装着者の負担を軽減しながら省電力化により動作可能時間を 24 時間としている。位置検出は会場内に設置された赤外線通信ビーコンで行い、対面検知は正面の他に左右でも対面検知を可能としている。データ回収はリアルタイムな無線による方法、または PC への有線接続により行う。ビジネス顕微鏡の課題として、複数の赤外線通信モジュールを用いて位置検出・対面検知していることによるデバイスの消費電力の増大が挙げられる。また、動作可能時間が 24 時間としているのは無線を使用しない場合であり、無線によりリアルタイムにデータを回収する場合は動作可能時間が大幅に減少する。そのため、動作可能時間を確保するためには無線を用いたリアルタイムでのデータ回収を利用できないという課題がある。

### 2.2 課題

2.1 節で述べた既存研究をまとめると、以下の 2 点が課題として挙げられる。

#### (P1) 位置・近接検出のための電力消費量の増加

既存研究では、位置検出や近接検出に複数の赤外線通信モジュールを用いている。そのため搭載数に応じ消費電力量が増加している。従って、ある程度の連続動作時間を確保したい場合は大型のバッテリーを内蔵する必要があり、逆にデバイスを小型軽量化したい場合には、動作時間に制限が生ずる。特に高齢者を対象とする本研究では、必要十分なセンサを装備してセンシング精度を保ちつつ、被験者の負担を低減するためなるべく小型軽量化する必要がある。

#### (P2) センサデータのオフライン処理

既存研究では、デバイスの稼働時間の観点から定期的な PC への USB 接続による回収手法が用いられている。これは、リアルタイムでの解析が不可であること、センサデバイスの故障などによりデータ消失のリスクがあるという問題がある。本研究では、最終的にはコミュニケーション状況に合わせたアドバイスや、支援システムによるコミュニケーション活性化を行いたいため、オンラインでのデータ収集・解析が必要である。

## 3. 行動認識センサとデータ収集システムの設計

### 3.1 提案概要

2.2 節で述べた課題に基づき、本研究では、以下の 2 点を提案し、それを用いて高齢者の対話型コミュニケーショ

ン状況の定量的な把握のためのシステムを実現する。なお、高齢者がコミュニティセンター等の室内のパブリックスペースで交流する場面を想定し、その際に行われる対話型コミュニケーションを対象とする。

**(S1) 小型軽量・低消費電力型行動認識センサ**

マイクと加速度センサのみを用いた小型軽量・低消費電力の行動認識センサ。マイクからの音量レベルと加速度センサからの身体の動きの情報から、対面型コミュニケーションの状況を認識する。また、位置検出には特別なセンサを導入せず、センサから送信される電波の信号強度を利用して、簡易的に行う。以上によりセンサデバイスの搭載モジュールを少数にとどめ、小型軽量化、かつ低消費電力化を実現し、(P1)の課題を解決する。

**(S2) LPWA による省電力な連続データ集約システム**

省電力で広範囲通信が可能な LPWA 通信を用いて、効率的に連続データを収集する。1 回当たりの通信可能なパケットサイズを小さくすることで、高頻度での連続データ送信を可能とする。また、データを行動認識センサ内に蓄積せずに連続的に基地局に送信するため、データ蓄積装置のために必要な電力を削減することが可能である。以上から、消費電力を抑えつつオンライン処理が可能なりリアルタイムデータ収集を実現し、(P2)の課題を解決する。

**3.2 全体システム構成**

図 1 に全体システム構成を示す。

本システムは行動認識センサ、アクセスポイント、RSSI モニタで構成される。行動認識センサは被験者に装着する。行動認識センサに内蔵されたセンサから、対話型コミュニケーション状況を把握するためデータを収集し、LPWA 通信によりアクセスポイントに送信する。アクセスポイントは対象施設に 1 つ設置し、行動認識センサから受信した LPWA パケットを HTTP パケットへ変換し、分析をおこなうためのデータベースにリアルタイムに保存する。RSSI モニタは、行動認識センサがデータ通信のために発する電波を受信し、その信号強度 (RSSI) を記録してデータベースにリアルタイムに保存する。RSSI モニタは、対象施設の対話型コミュニケーションが行われやすいポイントごとに設置する。

**3.3 行動認識センサの設計**

行動認識センサでは、高齢者の対話型コミュニケーション状況を把握するために、装着者の発話状況、および身体の動作状況を観測する。具体的には、発話状況はマイクによって音量レベルを、身体動作状況は加速度センサによって加速度を、それぞれ収集し、LPWA 通信によりアクセスポイントを介してデータベースにデータを送信する。使用

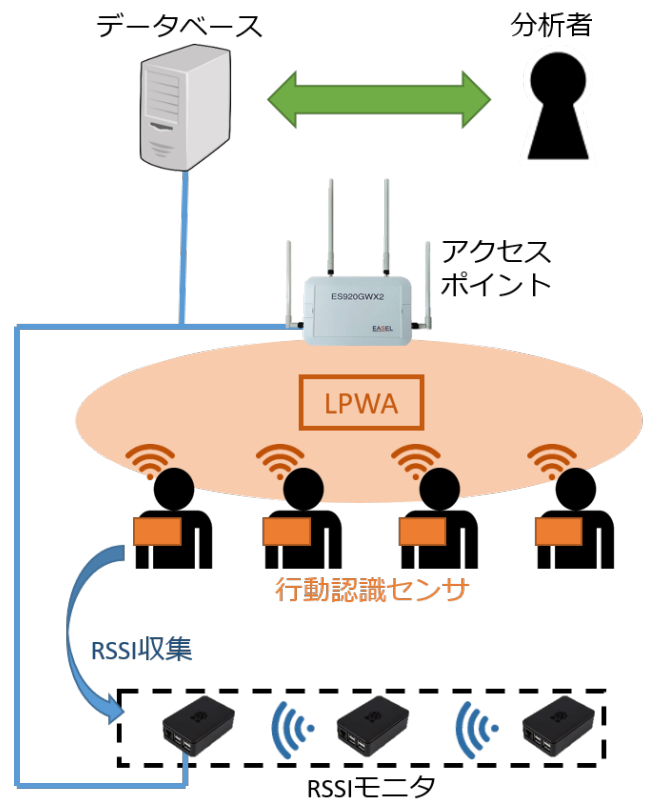


図 1 全体システム構成

表 1 搭載モジュール

モジュール	型番	メーカー
加速度センサ	KX224-1053	Kionix Inc.
マイク	SPU0414HR5H-SB	Knowles Electronics
マイコン	Lazurite 920J	ラピスセミコンダクタ
LoRa	ES920LR	株式会社 EASEL

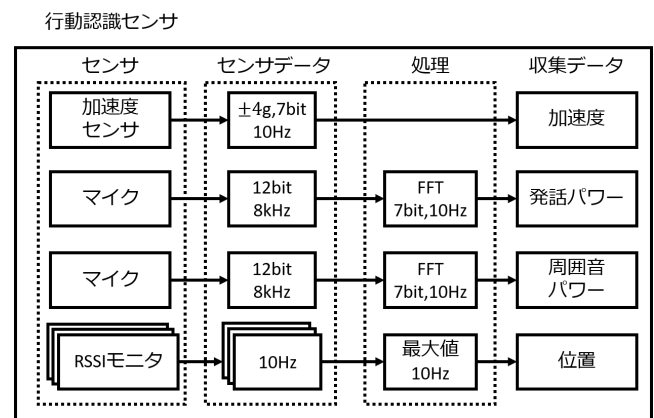


図 2 行動認識センサによるデータ生成

するセンサモジュールを表 1、収集するデータの行動認識センサにおける処理シーケンスを図 2 に、収集したデータからコミュニケーション状況を分析するシーケンスを図 3 に、それぞれ示す。

正確な発話状況を取得するためには、環境音や他者の発話等の雑音を除去し、装着者の発話のみを取得する必要が

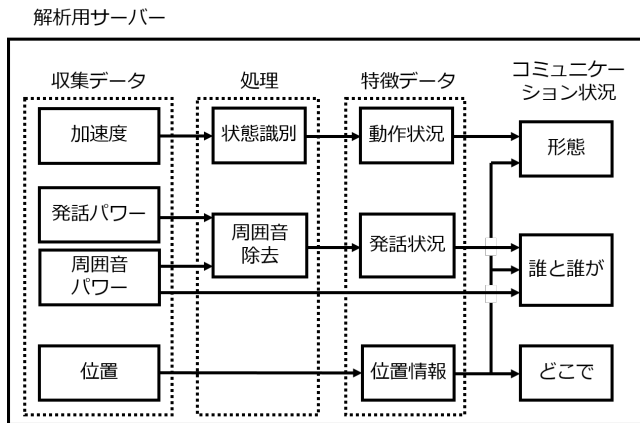


図3 サーバによるコミュニケーション状況の分析

ある。単一の音源から取得する手法として、指向性マイクを用いる方法があるが、指向性マイクはサイズの問題から本センサに採用することが難しい。また、装着者の発話のみを収集し、周囲の雑音の影響を受けにくい咽喉マイクを用いることは、高齢者への負担が懸念されることから、同じく本センサで用いることは望ましくない。一方、小型のMEMSマイクを用いて単一方向を集音する手法として、複数のMEMSマイクを用いて得た音源の信号処理により音源分離する手法があるが、音声処理コストが大きく消費電力がかかることから本センサで用いることは困難である。そこで本研究では、2つのMEMSマイクを用いてそれぞれの取得する音圧差から装着者の発話とそれ以外の音を判別することで、発話状況を向上することとした。発話状況は情報量、プライバシーの点からマイクが取得するエネルギー情報により収集する。MEMSマイクで取得した音声をマイコンに搭載されているA/Dコンバータで8kHz/12bitで量子化し取得する。6.4msフレームの短時間フーリエ変換により得られた各周波数のパワースペクトルの和であるパワーをエネルギー情報として取得する。また、得られたデータを7bitへ丸め込む。本研究ではエネルギー情報を2つのマイクそれぞれ1秒間に10回ずつ、計140bit分、取得する。

得られた音量レベルのデータ、および位置情報から対話型コミュニケーションを行っているグループを検知する。また、発話のタイミングや長さ等から、当該コミュニケーションの状況をより詳細に分析する。例えば、図4に示すデータからは、被験者A, B, Cが近接してコミュニケーションしていることがわかり、また、交互に話者を入れ替えてつづき会話している状況が推測可能である。

また、3軸加速度センサによりX軸, Y軸, Z軸それぞれの加速度を取得し、得られたデータを7bitへ丸め込む。本研究ではそれぞれ1秒間に10回ずつ、計210bit分、取得する。このデータから、被験者の身体の動きを推測することが可能であり、マイクからの音量レベルと合わせて、コミュニケーションの際の補足的情報として用いる。

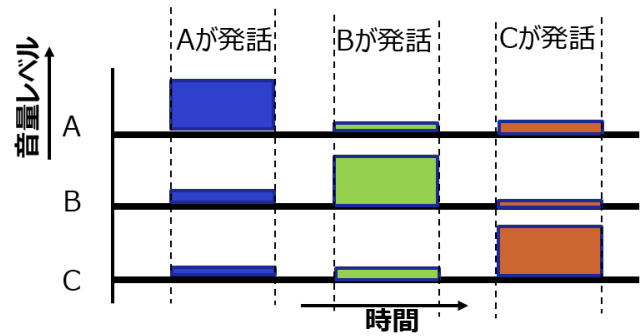


図4 音量レベルによるコミュニケーション状況の推定

なお、マイク及び加速度センサからのデータに基づくコミュニケーション状況の把握のための分析アルゴリズムは、現在機械学習の導入などを含め詳細を検討中であり、その検討結果については、稿を改めて報告する。

### 3.4 RSSI モニタによる位置検出

RSSI モニタは、対象施設の特定の位置の天井に設置し、それぞれが行動認識センサの送信するLPWA通信の電波のRSSIを取得し、各RSSIモニタのRSSI値を比較することで位置検出を行う。RSSI値は送信強度が一定の場合、一般に送信側と受信側の距離が近いほど大きくなり、遠いほど小さくなる。そのため得られたRSSI値が最も大きいRSSIモニタが行動認識センサに最も近傍しているとして行動認識センサの位置として検出する。RSSIを用いた高精度な位置検出手法として三角測量法がしばしば用いられるが、電波の反射特性が強いLPWAを室内で用いるため、正確な値が得られることが期待できない。また、本研究では被験者の位置を高解像度で推定する必要が高くないため、RSSI値の最大値により大まかな位置の検出を行うのみとする。

### 3.5 LPWA 通信を用いたデータ収集システム

行動認識センサで取得したセンサデータはLPWAの一種である、LoRaを用いて集約する。本研究では、LoRaにおいて開発者が独自にプロトコルを設計するプライベートLoRaを用いる。行動認識センサからのLoRa通信を受信してセンサデータを集約するアクセスポイントは、実験対象施設内に1つのみ設置し、プライベートLoRaパケットをEthernetまたは4G/LTE回線を用いたHTTP通信パケットに変換するゲートウェイとしての役割を持たせる。

本システムの実験対象施設として、高齢者の集まるコミュニティセンター等での運用を想定している。そのため必要な通信距離は短距離で十分であることから、LoRaは通信帯域幅500kHz、拡散率7の伝送レートが最大となる設定とする。使用帯域はARIB STD-T108によりキャリアセンス5ms以上、送信後停止時間50ms以上、最大送信時間4sの制限が定められていることからこれに準拠する。

表 2 消費電力

モジュール	稼働時電流	待機時電流	デューティ比	平均電流
加速度センサ	145 $\mu$ A	—	1	145 $\mu$ A
マイク	980 $\mu$ A	37 $\mu$ A	0.364	380 $\mu$ A
マイコン	5 mA	7 $\mu$ A	0.530	2653 $\mu$ A
LoRa	30 mA	1.7 $\mu$ A	0.040	1202 $\mu$ A
合計	—	—	—	4380 $\mu$ A

本システムでは LoRa によるデータ送信を 1 秒ごとに行う。3.3 節で設計したセンサ取得データを 1 秒ごとに送信すると 1 パケットあたり 350 bit(44byte) となる。そのため LoRa モジュールのデータシート [11] の伝送レートに基づきパケットの送信時間は約 35 ms 必要となる。キャリアセンス時間 5 ms を含めると 1 パケット送信に必要な時間は約 40 ms であることから、最大 20 台の行動認識センサが同時稼働することを想定した場合、周波数帯の使用率は 80% となり適切なタイミングの割当により衝突発生を回避し通信可能と考える。衝突を回避する通信プロトコルは設計を現在行っている。

ゲートウェイは LoRa パケットを HTTP での POST により中継する。そのためデータベースへのデータ保存のため、POST されたデータを受け取りデータベースに保存する Web サーバの構築も同時に行った。

### 3.6 行動認識センサの稼働可能時間

試作中の行動認識センサを図 5 に示す。各センサの特性および消費電流を行動認識センサの試作により確認し、図 6 に示すように 1 パケット送信までの稼働サイクルを、3.5 節までのデータ収集のための設計に基づき設計した。また、各センサについて、消費電流、設計した稼働サイクルに基づく稼働時間と待機時間の比であるデューティ比、デューティ比から算出した平均消費電流を表 2 に示す。なお、マイクはフィルタ回路の消費電流を含めた値となっている。それぞれのデューティ比は、設計した処理時間に基づき算出している。なおマイクのデューティ比は、1 回あたりのマイクの取得時間 6.4 ms に加えフィルタ回路が安定するまでの時間 30 ms の合計 36.4 ms となり、1 秒あたり 10 回取得を行うことから 1 秒あたり 364 ms として算出している。

上記の値に基づき、平均消費電力は 4.38 mA となった。使用予定の 480 mAh のバッテリーを用いる場合、稼働可能時間は  $480 \text{mAh} / 4.38 \text{mA} = 109.5$  時間である。既存研究であるビジネス顕微鏡と比較した場合、ビジネス顕微鏡は無線通信を用いない場合で 6.5 mA であるのに対し本センサはデータを連続送信する場合でも 4.38 mA であることから約 33% の消費電流の削減効果が期待できる。また、不稼働時に定期的に充電する運用方法を採用すると、バッテリーの容量を抑えることが可能となり、さらなる小型軽量化が達成できる。

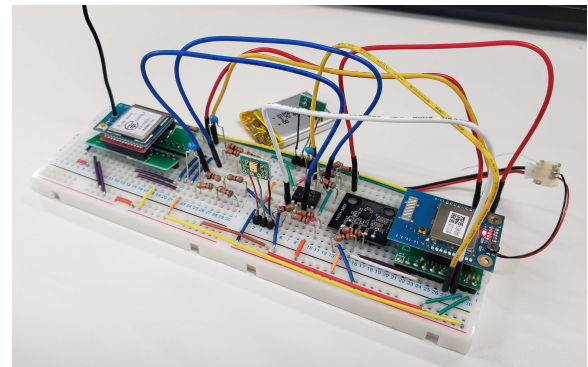


図 5 試作中の行動認識センサ

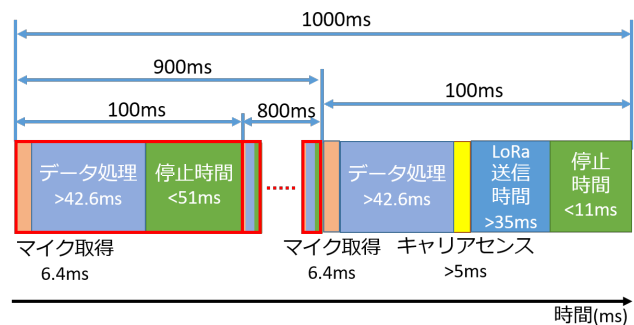


図 6 データ収集及び送信に係る 1 周期あたりの時間

## 4. 予備実験

### 4.1 実験概要

実装中のプロトタイプシステムを用いて予備実験を行い、本提案システムの動作検証、基本性能検証、およびそれらに基づく実現可能性の評価を行った。

### 4.2 RSSI モニタによる位置検出

RSSI モニタによる位置検出の予備実験を行った。結果を図 7 に示す。

本実験では、r1, r2, r3 の 3 つの RSSI モニタを、部屋の天井に直線的に配置した。配置位置は、基準となるポイントからそれぞれ 1.4m, 3.9m, 6.3m の位置である。この直線にそって、行動認識センサのプロトタイプを装着した人が移動した際の、基準点からの距離と、それぞれの RSSI モニタで観測された RSSI 値をプロットした。例えば青色で示した曲線は、被験者の移動とともに r1 において観測された RSSI 値の変化を示しており、r1 の真下近くを移動中には RSSI 値が高くなり、r1 から離れると次第に小さくなっていることが分かる。ある地点において、それぞれのモニタの RSSI 値を比較し、最も高い値を示した RSSI モニタの近傍に被験者が存在すると判定する。その結果をグラフの下に「判定位置」として記載した。

0.5~2m の間の区間は実際に r1 が最も近い位置であり、かつ判定位置も r1 であることから正しく検出されていると言える。同様に、3~3.5m, 5.5~7m の区間も正しく検

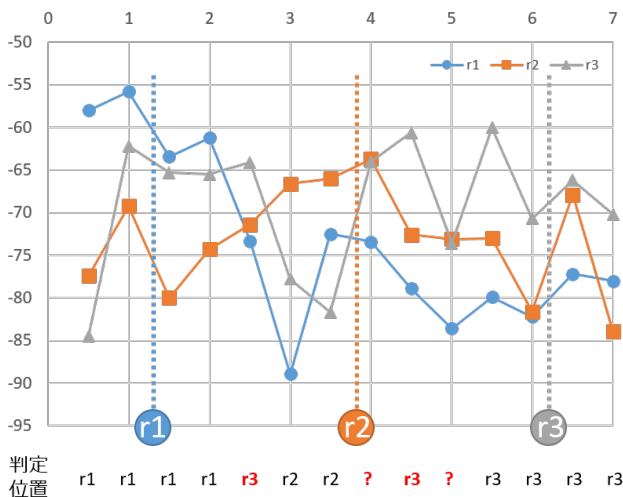


図 7 センサ位置による RSSI の変化  
(縦軸:RSSI [dBm] 横軸:位置 [m])

出できている。しかし、本来 r1 または r2 が最も高い値を示す位置である 2.5 m 区間では最も遠い r3 が、本来 r2 が最も高い値を示す位置である 4~4.5 m でも r3 が最も高い値を示しており、位置の検出に失敗している。これは壁等による電波の反射の影響によるものと推測される。現在、RSSI モニタの LoRa 受信機は無指向性のワイヤアンテナを使用しているが、今後、指向性を持つアンテナの導入によって、検出精度の向上を図る必要があると考える。

#### 4.3 マイクによる発話状態の取得

使用する無指向性 MEMS マイクによって装着者の発話のみを取得することの実現可能性について考察する。マイクと音源との距離により取得するパワーの変化を図 8 に示す。縦軸がマイクが取得するパワー、横軸がマイクと音源間の距離である。パワーの取得方法は 3.3 節で述べた通りである。音源は出力が一定の 1 kHz 正弦波である。なお音源から出力していないとき、パワーは  $1\sim 2 V^2$  を示した。

被験者への装着場所は胸付近であることから音源である口元から約 15 cm と考える。マイク間は音源から見て 5 cm 程度の距離としたとき、2つのマイクは音源から 15 cm と 20 cm の位置に配置する。図 8 より、マイクが取得するパワーは、音源から 15 cm で  $3,000 V^2$ 、20 cm で  $1,800 V^2$  と変化する。このことから装着者が発話した場合、2つのマイク間で  $1200 V^2$ 、60%の差が生じることがわかる。一方、発話以外の音源からの音はこれほどの差を生じないことが予想され、これらの現象から装着者の発話を区別して取得することが可能であると考えられる。

#### 5. まとめ

高齢者の健康寿命との関係性の明確化を目指した、他者との対話型コミュニケーション状況を定量的に把握するための行動認識センサを提案し、RSSI による位置検出と無

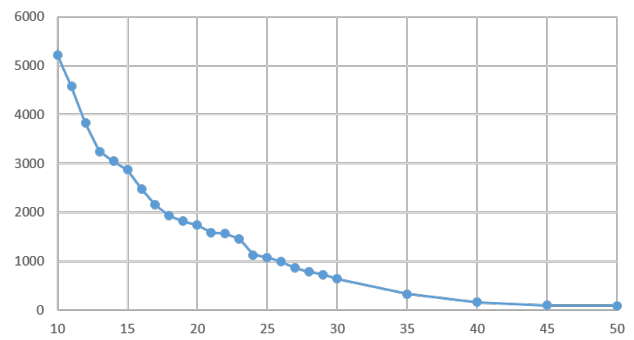


図 8 距離による取得エネルギーの変化  
(縦軸:パワー [ $V^2$ ] 横軸:音源からの距離 [cm])

指向性 MEMS マイクによる装着者の発話状況収集についての予備実験から本提案の実現可能性を検証した。

今後、より正確な位置検出が可能となるよう RSSI モニタの調整が必要である。また、近傍に複数の会話グループが発生する場合、位置および発話状況の変化から会話グループを特定する手法を検討する必要がある。さらに、行動認識センサの同時使用台数の増加による通信性能劣化について検証し、LoRa パケットの衝突を防止するためのプロトコルを検討する必要がある。また、本研究での行動認識センサとデータ収集システムを、仙台市内のコミュニティセンターに設置し、実証実験を実施してその有効性を検証する予定である。

#### 参考文献

- [1] 内閣府: 令和元年版高齢社会白書, 内閣府 (オンライン), 入手先 (<https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/html/gaiyou/s1.1.html>) (参照 2019-12-01).
- [2] 健康保険組合連合会: 2025 年度に向けた国民医療費等の推移, 健康保険組合連合会 (オンライン), 入手先 ([https://www.kenporen.com/include/press/2017/20170925\\_1.pdf](https://www.kenporen.com/include/press/2017/20170925_1.pdf)) (参照 2019-12-01).
- [3] Saito, T., Murata, C., Saito, M., Takeda, T. and Kondo, K.: Influence of social relationship domains and their combinations on incident dementia: a prospective cohort study, *J Epidemiol Community Health*, Vol. 72, No. 1, pp. 7-12 (2018).
- [4] Murata, C., Saito, T., Tsuji, T., Saito, M. and Kondo, K.: A 10-year follow-up study of social ties and functional health among the old: The AGES Project, *International journal of environmental research and public health*, Vol. 14, No. 7, p. 717 (2017).
- [5] Yokobayashi, K., Kawachi, I., Kondo, K., Kondo, N., Nagamine, Y., Tani, Y., Shirai, K., Tazuma, S. et al.: Association between social relationship and glycemic control among older Japanese: JAGES cross-sectional study, *PloS one*, Vol. 12, No. 1, p. e0169904 (2017).
- [6] Saito, M., Kondo, N., Aida, J., Kawachi, I., Koyama, S., Ojima, T. and Kondo, K.: Development of an instrument for community-level health related social capital among Japanese older people: The JAGES Project, *Journal of epidemiology*, Vol. 27, No. 5, pp. 221-227 (2017).
- [7] Olgúin, D. O., Waber, B. N., Kim, T., Mohan, A., Ara, K. and Pentland, A.: Sensible organizations: Technology and methodology for automatically measuring organiza-

- tional behavior, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 39, No. 1, pp. 43–55 (2008).
- [8] 早川幹, 大久保教夫, 脇坂義博: ビジネス顕微鏡; 実用的人間行動計測システムの開発, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 96, No. 10, pp. 2359–2370 (2013).
- [9] Lederman, O., Mohan, A., Calacci, D. and Pentland, A. S.: Rhythm: A Unified Measurement Platform for Human Organizations, *IEEE MultiMedia*, Vol. 25, No. 1, pp. 26–38 (online), DOI: 10.1109/MMUL.2018.112135958 (2018).
- [10] Olguín Olguín, D.: Sociometric badges: Wearable technology for measuring human behavior, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology (2007).
- [11] 株式会社 EASEL: 特定小電力無線モジュール ES920LR データシート Version 1.03, 株式会社 EASEL (オンライン), 入手先 ([https://easel5.com/wordpress/wp-content/uploads/ES920LR\\_データシート.pdf](https://easel5.com/wordpress/wp-content/uploads/ES920LR_データシート.pdf)) (参照 2019-12-01).