

高齢者の対話型コミュニケーション状況把握のための 行動認識センサの実装と評価

伊藤 優樹¹ 上野 正義¹ 高橋 大夢¹ 千葉 慎二² 阿部 亨^{1,3} 菅沼 拓夫^{1,3}

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、位置・近接検出のための電力消費量の増加や、データ回収のためのリスクや手間の増大などの課題がある。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開発する。本発表では、当該センサの実装について述べ、その評価として、発話状況収集のための発話時間及び強弱情報、及び RSSI による位置検出が可能であることを示す。

1. はじめに

日本国内において、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]、改善策の一つとして「健康寿命」の延伸が期待されている。健康寿命とは「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」であり、健康寿命が他者との対話型コミュニケーションに関連があることがわかってきている [3], [4], [5]。実際、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疫学分野において示されている [6] が、従来の疫学調査では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、コミュニケーション状況把握の網羅性や正確性に課題がある。

網羅性や正確性を確保したデータ収集手法としてセンサデバイスを活用する例がある。既存研究では、被験者が装着したセンサデバイスを用いて発話や動作のデータを収集・分析し、コミュニケーション状況を定量的に把握する手法が提案されている [7], [8]。これらの研究では、被験者の活動への支障を低減するため、センサデバイスの小型化・軽量化が検討されているが、十分なセンシング精度の

確保、センサからのデータ収集手法に課題がある。

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、まず、当該センサの実装について述べる。また、実装した行動認識センサを用いて行った、発話状況収集のための発話時間及び強弱情報の獲得、及び RSSI による位置情報の検出の実験について述べる。実験結果から、これらの情報の獲得、検出が可能であることを確認した。

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University
² 仙台高等専門学校
National Institute of Technology, Sendai College
³ 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

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 ビーコンの RSSI 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 [9] 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 と他のウェアラブルセンサと比較して質量が大きく、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消費電力を 6.5 mA 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、動作可能時間を 24 時間としているのは無線を使用しない場合であり、無線を用いてオンラインで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オンライン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または Bluetooth の RSSI を用いている。そのため赤外線通信を用いる手法では精度向上のために赤外線モジュールの搭載数に応じて消費電力量が増加しており、Bluetooth の RSSI を用いる手法はセンサに搭載したモジュールの受信状態が続くことから消費電力量が大きくなっている。デバイスのサイズ及び質量を決定する要因は、搭載するバッテリー容量が大きな割合を占めており、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る。逆にデバイスを小型軽量化したい場合には、小型バッテリーを搭載することから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になるべく小型軽量化する必要がある。

(P2) データ回収のためのリスクや手間の増大

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 接続による充電時間を利用したデータ回収手法が用いられている。これは、省電力化により 1 度の充電で長期運用となる場合、デバイスがデータを保有するデータの期間が増加し保持するデータ量が増大すること、この場合における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。

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 による省電力な高頻度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

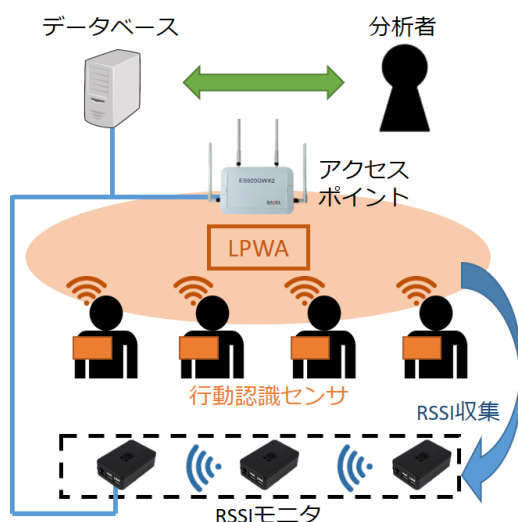


図 1 全体システム構成

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、対話型コミュニケーションが行われる可能性が高いスポット内と、それ以外の場所では見通し距離が大きくなる天井等に距離を空け設置する。

3.3 行動認識センサの設計

3.3.1 行動認識センサの概要

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る 100 ms 毎の発話パワー、身体動作状況は加速度センサによる 100 ms 毎の加速度をそれぞれ収集し、LPWA 通

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	ラビスセミコンダクタ
LoRa	ES920LR2	株式会社 EASEL

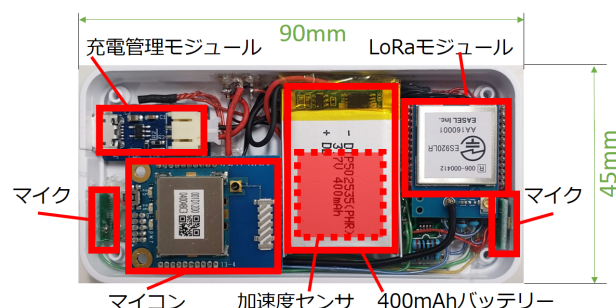


図 2 実装した行動認識センサの内部



図 3 行動認識センサの装着時の外観

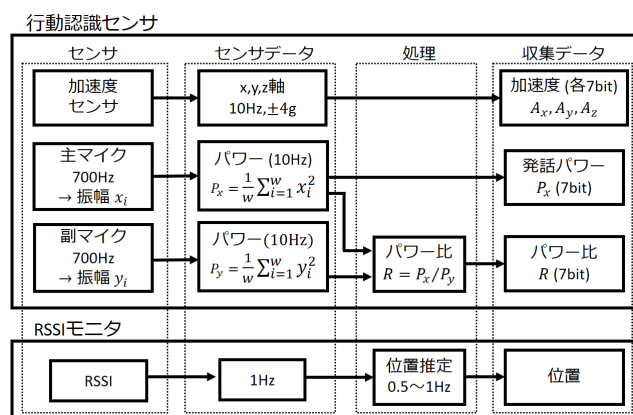


図 4 行動認識センサによるデータ生成

信によりアクセスポイントを介してデータベースに送信する。センサはできる限り小型・軽量とし、音声を収集するため被験者の胸部に装着するバッジ型とし実装した。実装した行動認識センサの内部構造を図 2、センサ装着時の外観を図 3、使用したセンサモジュールを表 1 に、それぞれ示す。また、行動認識センサによるデータ生成フローを図 4 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フローを図 5 に、それぞれ示す。

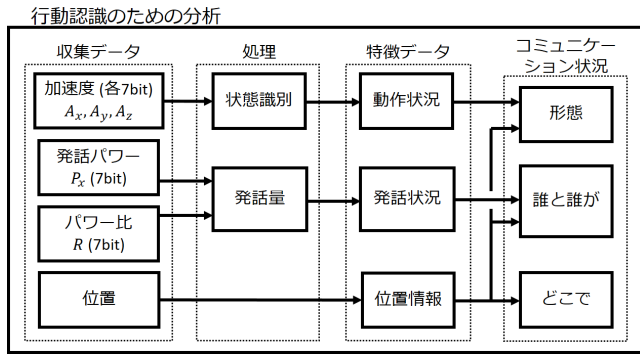


図 5 サーバによるコミュニケーション状況の分析

3.3.2 発話状況の収集

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ある。本研究では、2つのMEMSマイクを用いて、音源である装着者の口元に近い点に主マイク、主マイクより口元からさらに距離を離れた位置に副マイクを配置し、それぞれのマイクが音源からの距離差により生じるパワー差から装着者の発話とそれ以外の音を判別することで、発話状況を取得する。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パワー情報により収集する。2つのマイクで取得した音声をマイコンに搭載されたA/Dコンバータで700Hzでサンプリング、12bitで量子化した振幅を取得する。1フレームは48msとし、1フレーム毎のサンプル数 $w=32$ の主マイクから得られた振幅 x_i の平均振幅 P_x を(1)式を用いて、また副マイクから得られた振幅 y_i の平均振幅を(2)式を用いて、それぞれ算出する。

$$P_x = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w x_i^2 \quad (1)$$

$$P_y = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w y_i^2 \quad (2)$$

また、得られた2つのマイクのパワーの値の比であるパワー比 R を次のように算出する。

$$R = P_x / P_y$$

得られたデータのうち主マイクの平均振幅 P_x を、発話状況における発話パワーとして、またパワー比 R を、得られた発話パワーにおける装着者の発話の成分を示す値として、それぞれLPWAを用いて送信する。送信のためそれぞれを7bitへ丸め込み、1秒間に10回ずつ、計140bit取得する。コミュニケーションの分析では、発話パワー P_x およびパワー比 R から発話時間および強弱を算出し、装着者の発話状況进行分析する。

また、発話パワー P_x とパワー比 R から得られる装着者の周囲音のパワー、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。さらに、発

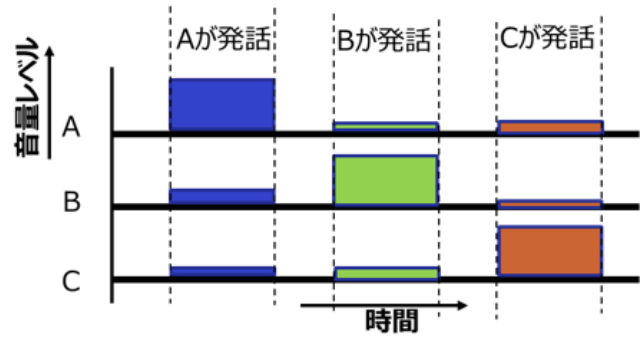


図 6 音量レベルによるコミュニケーション状況の推定

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6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つつ会話している状況が推測可能である。

3.3.3 動作状況の収集

動作状況は行動認識センサに搭載した3軸加速度センサによりX軸、Y軸、Z軸の加速度をそれぞれ1秒間に10回ずつ、7bitへ丸め込み計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し、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。

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、位置検出のために行動認識センサの送信するLPWA通信の電波のRSSIを取得する。一般にRSSI値は送信強度が一定の場合、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が、屋内においては壁や天井による反射の影響によりRSSI値から正確な距離を得ることが難しいことが予備実験によりわかっている[10]。本研究ではセンサ装着者の位置は、主に対話型コミュニケーションを行っているグループの特定に用いるため、大まかな位置が推定できれば良いので、精度としてはそれほど高くなくとも良い一方で、反射などにより発生する遠い位置にあるRSSIモニタでの誤検知は低減する必要がある。そのため本研究では、パラボラアンテナ型のリフレクタを用いた有指向性のRSSIモニタを設計し、天井など見通し距離が大きくなる場所への設置による反射の影響を低減することで、距離に対し得られるRSSI値の正確性の向上を図った。作成したRSSIモニタは対話コミュニケーションがとられる頻度が高いと予想されるエリアの天井等上部に1つ以上設置し、エリア近傍に存在するセンサの送信する電波のRSSI値を収集することで、おおまかな

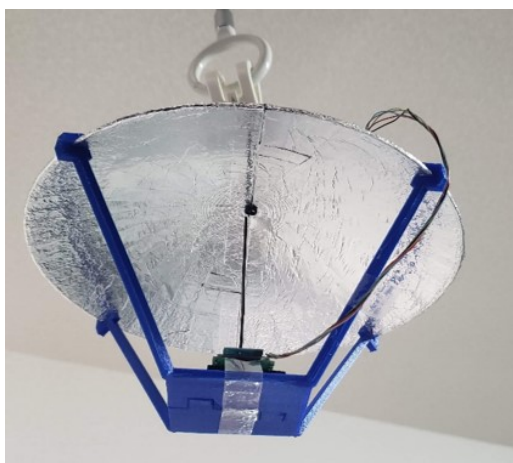


図 7 RSSI モニタ

位置を検出する。また、建物の構造や障害物等の影響で正確な位置が得られない場所においては、小型の RSSI モニタを卓上や壁などに設置し補助的に RSSI を収集することで精度の向上を図る。図 7 に作成したリフレクタを用いた RSSI モニタを示す。リフレクタは LoRa 波長を考慮し直径 300 mm 程とし、指向性を持たせることで位置推定の精度向上を図る。

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の集約は LPWA の一種である LoRa を用いる。本研究では、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 通信を受信しセンサデータを集約する役割として、アクセスポイントを実験対象施設内に 1 つのみ設置する。また、アクセスポイントはプライベート LoRa パケットをデータベースに保存するため、Ethernet または 4G/LTE 回線を伝送するための 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つ。

本システムは、高齢者の集まるコミュニティセンター等を実験対象施設として、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、伝送レートが最大となる設定とする。具体的には LoRa の通信帯域幅を 500 kHz、拡散率を 5 とした。使用帯域は ARIB STD-T108 によりキャリアセンス 5 ms 以上、送信後停止時間 50 ms 以上、最大送信時間 4 s の制限が定められていることからこれに準拠する。

本システムでは行動認識センサの 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 (44 byte) 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にかかる時間は約 14 ms である。

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	0.15 mA	—	1	0.15 mA
マイク	0.5 mA	—	1	0.5 mA
マイコン	5 mA	7 μ A	0.504	2.52 mA
LoRa	10 mA	0.9 μ A	0.014	0.14 mA
合計	—	—	—	2.86 mA

3.6 行動認識センサの稼働可能時間

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、パケット送信までの稼働サイクルを 3.5 節までで述べた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。

上記の値に基づき、平均消費電力は 2.86 mA となった。使用予定の 400 mAh のバッテリーを用いる場合、稼働可能時間は $400 \text{ mAh} / 2.86 \text{ mA} = 140$ 時間である。既存研究 [8] 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 2.86 mA であることから約 56 % 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探ると、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。

4. 実験

4.1 マイクによる発話状態の取得

4.1.1 実験目的、環境、方法

本実験は、2 名での対話を想定し、1 名のみ発話状況を収集するために行動認識センサを装着した。行動認識センサを装着し発話状況収集の対象者を「装着者」、もう 1 名を「対話者」とする。2 名が静音環境及び騒音が含まれる環境のそれぞれにおいて、発話声量の強弱を変化させ行動認識センサにより発話を収集し、環境音や他者の発話の影響を考慮した発話状況が収集可能であることを確認する。

実験環境について、静音環境はマイクの収集データに影響の無い十分に静かな環境、騒音環境はスピーカーを用いてショッピングモールの環境音を再生し、2 名の発話以外の音が存在する環境とした。騒音計により計測した行動認識センサ近傍における騒音レベルは、静音環境が 32 dBA、騒音環境が 55~60 dBA であった。それぞれの環境において、行動認識センサ装着を含めた 2 名での対話を想定し、装着者が通常の声量 (静音時において胸元で約 70 dBA) ・小さい声量 (約 60 dBA) で時間を空け 2 度発話、続いて対話者が同様に通常の声量と小さい声量で 2 度発話した。

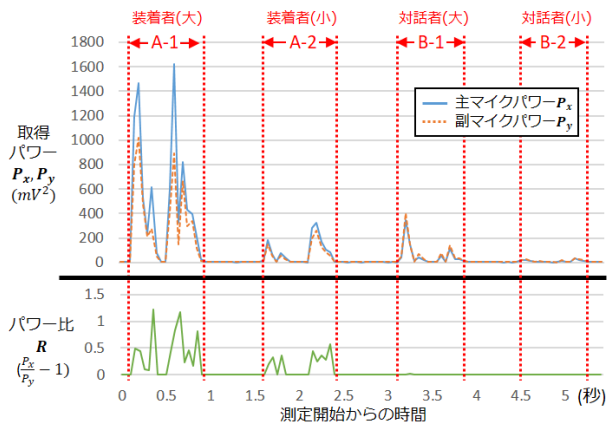


図 8 静音環境における音声収集

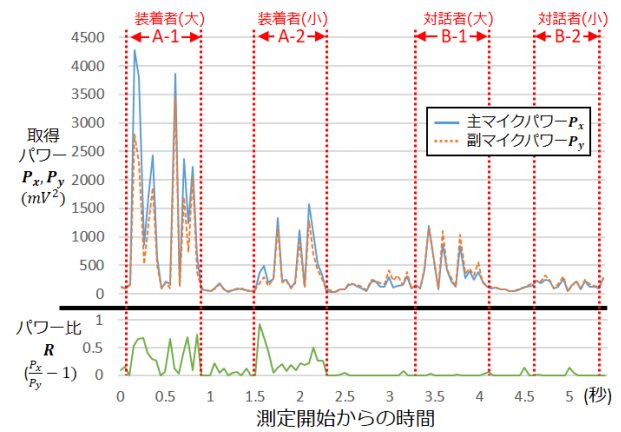


図 9 騒音環境における音声収集

4.1.2 実験結果と考察

静音環境における収集結果を図 8，騒音環境における収集結果を図 9 にそれぞれ示す．各図において，横軸は測定開始からの経過時間，縦軸は図の上部が行動認識センサに搭載された 2 つのマイクの取得パワー，図の下部が 2 つのマイクのパワー比を示す．

静音環境の実験結果である図 8 において，装着者の発話区間である A-1 および A-2 区間ではパワー比の値が 0.5~1 に変化する一方，対話者の発話区間である B-1 および B-2 区間ではパワー比の変化は見られなかった．また，行動認識センサが同程度のパワーを収集するが話者が異なる A-2 および B-1 区間において，小さい声量で装着者が発話する A-2 区間ではパワー比の変化が見られる一方，通常の声量で対話者が発話する B-1 区間ではパワー比の値の変化が見られなかった．このことから，装着者の発話時のみパワー比の値が変化するため，静音環境において対話者の発話の影響を受けずに装着者の発話のみを収集可能であると言える．次に，騒音環境の実験結果である図 9 において，装着者の発話区間である A-1 および A-2 区間ではパワー比の値が約 0.7 に変化する一方，対話者の発話区間である B-1 および B-2 区間ではパワー比の大きな変化は見られなかった．また，行動認識センサが同程度のパワーを収集するが話者が異なる A-2 および B-1 区間において，静音環境と同様に装着者が発話する A-2 区間でのみパワー比の値の変化が見られた．このことから，騒音環境においても装着者の発話時のみパワー比の値が変化するため，対話者の発話・騒音の影響を受けずに装着者の発話のみを収集可能であると言える．

これらの実験結果から，行動認識センサは静音と騒音の両環境において装着者の発話時間および強弱の収集が雑音の影響を受けずに可能であることを示した．

4.2 RSSI モニタによる位置検出

4.2.1 実験目的，環境，方法

本実験では，RSSI モニタと行動認識センサ間の距離に

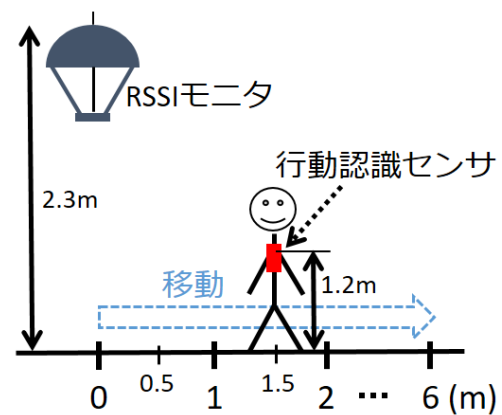


図 10 実験の模式図

よる LPWA の RSSI 値変化から，おおまかな位置検出が可能であることを確認する．

図 10 に実験の模式図を示す．LPWA を受信するパラボラアンテナ型 RSSI モニタは地面から 2.3m の高さに開口面を地面に向けて設置し，LPWA を送信する行動認識センサは地面から高さ 1.2m の胸部に装着した．RSSI モニタの直下を基準とし，地面と水平方向に行動認識センサを装着した人が移動することでデータを収集する．装着したことによる人体が RSSI に与える影響を確認するため，

- (1) RSSI モニタに人体の前面を向け移動
 - (2) RSSI モニタに人体の背面を向け移動
- の 2 通りの場合において，RSSI モニタ直下の基準点から 6m 移動し実験を行った．

4.2.2 実験結果と考察

(1)，(2) それぞれの場合において得られた結果を図 11 に示す．横軸は基準点である RSSI モニタ直下からの距離，縦軸は RSSI モニタが収集した RSSI 値である．(1)RSSI モニタに人体の前面を向け移動した場合，RSSI モニタとの距離が増加に伴う RSSI の指数関数的な減少，0.5m および 4.5m 地点でのディップが見られた．一方，(2)RSSI モニタに人体の背面を向け移動した場合，前面の場合に比べ

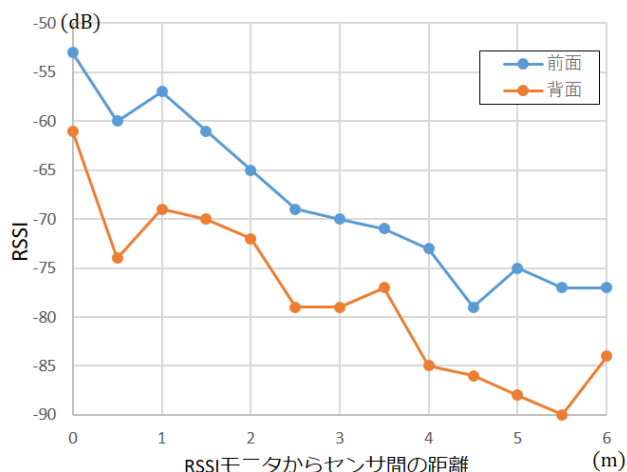


図 11 センサ位置による RSSI の変化

線形性が低い距離の増加に伴う RSSI の指数関数的な減少, 収集した RSSI が前面と比較し全体で 7dB~11dB 低い値, 前面と同様に 0.5m 地点でのディップが見られた。

これらの実験結果から, RSSI モニタによる位置検出は, 行動認識センサ装着者の向きと RSSI モニタの配置により 0~6m の範囲では最大 2m 程度の誤差が生じるが, RSSI の距離による指数関数的な減少を考慮することで位置検出おおまかな位置検出が可能であることを示した。また, 異なる地点に配置した複数の RSSI モニタにより RSSI を収集し, 得られた値から人体の影響を考慮し三角測量的に機械学習など用いて分析することで位置検出の精度向上が実現できると考えており, 今後手法を検討する。

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における, 装着者の発話状況収集と RSSI による位置検出の精度を確認した。

今後, より正確な位置検出が可能となるよう複数の RSSI モニタを用いた位置検出手法の検討, 近傍に複数の会話グループが発生する場合における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。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_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 (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. et al.: 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] Olguín, D. O. et al.: Sensible organizations: Technology and methodology for automatically measuring organizational behavior, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 39, No. 1, pp. 43-55 (2008).
- [8] 早川 幹ほか: 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] Olguín Olguín, D.: Sociometric badges: Wearable technology for measuring human behavior, PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology (2007).
- [10] 伊藤優樹ほか: 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, 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), Vol. 2019, No. 8, pp. 1-7 (2019).
- [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 (参照 2019-12-01)。