

自走式ロボット及び人感センサを用いた独居老人異常検知システムの開発

渡邊 貴大¹ 新井 イスマイル¹

概要:

高齢化による独居老人の増加に伴い、日常生活における独居老人の突然の健康異常および転倒などの事故による孤独死が大きな社会問題となっている。そこで、在宅において、独居老人が安心して、安全な生活が行える多くの独居老人の異常検知システムが研究・開発されている。部屋にセンサを設置して異常検知を行うシステムでは、発見が迅速に行える代わりに、センサの設置にかかるコストが高くなる。一方で、センサの設置にかかるコストを下げると、発見が迅速に行えない場合が多く、導入が進んでいない。本研究では、近年普及の進んでいる自走式ロボット（お掃除ロボット）に人感センサ（マイクロ波ドップラーセンサ）を搭載し、心拍・呼吸信号を検出することで利用者の異常を検知するシステムの開発した。評価実験を行ったところ、お掃除ロボットが移動しながら心拍・呼吸信号の検出を行うことはできなかったが、お掃除ロボットを停止させ、一般的な独居老人が暮らす部屋の端から端までの距離には十分な約 5m 前方からの人体の心拍・呼吸信号の検出に成功した。

キーワード：お掃除ロボット，ドップラーセンサ，異常検知，見守り

1. はじめに

近年、高齢化による独居老人の増加に伴い、日常生活における独居老人の突然の健康異常及び転倒等の事故による孤独死が大きな社会問題となっている。東京都監察医務院の調査^{*1}によると、東京 23 区の孤独死は年々増え、1987 年の男性 788 人、女性 335 人から、2006 年には男性 2362 人、女性 1033 人になった。また、亡くなってから発見までにかかる日数は、男性が 12 日、女性が 6.5 日となった。このように発見に時間がかかり、ガスをつけたまま死亡し、火事になる事例や死後 3 年経過し遺体が発見された事例^{*2}もある。

そこで、在宅において、独居老人が安心して、安全な生活が行える多くの独居老人の異常検知システムが研究・開発されている。象印マホービンが開発した「i-pot」^{*3}という製品では、コストが低い代わりに、発見が迅速に行えないという問題がある。また、RFID タグとタグリーダーを用いた研究 [1] では、発見が迅速に行える代わりに、コストが高いという問題がある。部屋にセンサを設置して異常検知を行うシステムでは、発見が迅速に行える代わりに、センサの設置にかかるコストが高くなる。一方で、センサの設置

にかかるコストを下げると、発見が迅速に行えない場合が多く、導入が進んでいない。そこで本研究では、近年普及の進んでいる自走式ロボット（お掃除ロボット）を用いて、センサ自体を移動させるという考えのもと、設置コストと迅速性を実用レベルに高めた独居老人の異常検知システムの開発をした。評価実験を行ったところ、お掃除ロボットが移動しながら心拍・呼吸信号の検出を行うことはできなかったが、お掃除ロボットを停止させ、一般的な独居老人が暮らす部屋の端から端までの距離には十分な約 5m 前方からの人体の心拍・呼吸信号の検出に成功した。本稿では、次章にて現存する独居老人検知システムを述べるとともに課題を挙げ、3 章では自走式ロボット及び人感センサを用いた独居老人異常検知システムの提案、4 章で提案手法の設計、5 章で提案手法の実装、6 章で実装したシステムの評価、7 章で全体のまとめを行う。

2. 関連研究

独居老人の異常検知システムの実用性を高めるためには、以下の 2 つの要件を両立することが望まれる。

(1) 迅速性

利用者が異常状態になってから、検知するまでにかかる時間が短いこと。

(2) 低設置コスト

部屋にセンサを設置する際のコストが低いこと。

¹ 明石工業高等専門学校 電気情報工学科, Department of Electrical and Computer Engineering, Akashi National College of Technology

^{*1} <http://www.fukushihoken.metro.tokyo.jp/kansatsu/kouza.files/19-kodokushinojittai.pdf>

^{*2} <http://business.nikkeibp.co.jp/article/report/20131024/255021/>

^{*3} <http://www.mimamori.net/index.html>

2.1 独居老人異常検知システム

これまでに多くの独居老人の異常検知システムが研究・開発されている。本節では、その一部を概説するとともに、上記の要件に着目し、メリット、問題点を述べる。

2.1.1 i-pot

象印マホービンが開発した、ネットワーク接続されたポットが使用履歴を、1日2回メールで利用者の家族に知らせる製品^{*3}である。この製品は、身近で頻繁に使うポットで見守りができ、設置コストが低い、異常を検知するまで半日以上かかってしまう。また、利用者家族が異常と認識しなければ、さらに時間がかかってしまい、迅速性に欠ける。また、長期外泊やたまたまポットを利用しなかった時などの誤検知があるため、異常を検知するためには、利用者家族が利用者の行動を把握している必要があり、利用者家族の負担が大きくなる点が問題点である。

2.1.2 仮設住宅における緊急通報サービス

仙台市では、仮設住宅に一人で暮らす65歳以上の高齢者や重度障害者を孤独死から守る緊急通報サービスが2012年9月1日から始まっている。^{*4}これは、各戸に取り付けられた自動通報システムが、トイレを12時間以上使っていない状態や、火災、ガス漏れなどを検知すると、警備会社や消防に通報するものである。このサービスは、利用者家族が利用者の行動を把握している必要がないので、利用者家族の負担は小さいが、市区町村レベルの大規模な設備の整備が必要となるため、インフラ整備面でのコスト消費がデメリットと言える。

2.1.3 RFID タグとタグリーダを用いた研究

鍛冶らの研究では、部屋に設置したRFIDタグとタグリーダを用いて、電界強度の変化から転倒状態を検知している。[1]この研究では、転倒してから検知するまでの時間が短く、迅速性が高い。その反面、各部屋に1つのRFIDタグと複数のタグリーダを設置する必要があり、部屋数の多い家では、設置コストが高くなるのが問題点である。

2.2 マイクロ波ドップラーセンサによる心拍・呼吸信号検出

マイクロ波ドップラーセンサは、赤外線センサに比べ、熱源などの影響を受けづらい性質を持つため、注目を集めている。また、人の大きな動きだけでなく、微細な動きにも反応できるドップラー効果を利用しているため、高感度な人の検知が可能となっている。このような特性を持つことから、これまでにマイクロ波ドップラーセンサを用いて心拍・呼吸信号を検出しようとする研究が数多くなされている。[2][3][4]しかし、マイクロ波ドップラーセンサは検知対象から直接反射したマイクロ波を解析する必要があり、指向性の高いアンテナを取付けているため、利用者が

決まった場所にいる場合しか心拍・呼吸信号を検出できないという問題点がある。

2.3 既存の独居老人異常検知システムの課題

多くの独居老人の異常検知システムが研究・開発されているが、あまり導入が進んでいない。その理由は、部屋にセンサを設置して異常検知を行うシステムでは、発見が迅速に行える代わりに、センサの設置にかかるコストが高くなり、センサの設置にかかるコストを下げると、発見が迅速に行えない場合が多いためである。つまり、迅速性と低設置コストが両立できないためである。今後は、迅速性と低設置コストを両立したシステムの開発が求められる。

3. 提案手法

前章の課題を解決するため、既存の独居老人異常検知システムにはなかった、センサ自体を移動させ、使用するセンサの数を減らすことで、設置コストを下げ、迅速性と低設置コストを両立した独居老人異常検知システムの提案をする。センサを移動させる手法としては、お掃除ロボットに搭載し、お掃除ロボットを移動させる手法をとる。また、センサは、心拍・呼吸信号の検出を行う研究が多く行われているマイクロ波ドップラーセンサを用いる。

お掃除ロボットにセンサを搭載し、データ収集を行う手法は、これまでの研究でも用いられ、実際のシステムでも導入されている。三木らの研究[5]では、お掃除ロボットに照度センサを搭載し、オフィス内の照度データの収集を行い、照度分布計測を行っている。また、IBM社では、お掃除ロボットに温度・湿度センサを搭載し、データセンター内の温湿度の管理を行っている。^{*5}これらの研究及びシステムでは、お掃除ロボットを用いることで、センサ数を減らし、部屋中にセンサを設置するシステムよりもコストを低くすることが可能となっている。

また、マイクロ波ドップラーセンサとは、送信波と周波数を比較した場合、対象物の移動速度に比例して受信波の周波数がシフトする現象(ドップラー効果)を利用したセンサーであり、図1のような構成となっている。周波数 f_s のマイクロ波を送信系のパッチアンテナから移動している対象物に放射し、反射してきた周波数 f_r のマイクロ波を受信系のパッチアンテナで受信する。そして、これらの信号の差分をSBD(ショットキーバリアダイオード)で検波した信号を出力するセンサのことである。ドップラーセンサから放射されるマイクロ波を人体に向けて放射し、出力信号に対して高速フーリエ変換(FFT)処理をすることで、微細な心拍・呼吸信号などの動作を周波数で分離ができる。

^{*4} <http://www.yomiuri.co.jp/feature/eq2011/information/20120902-OYT8T00302.htm>

^{*5} <http://www.techweekeurope.co.uk/news/ibm-roomba-data-centre-heat-emc-117925>

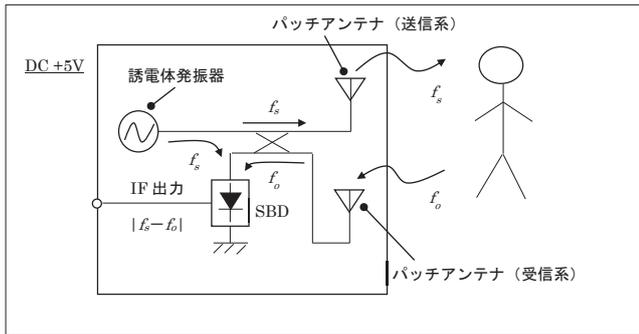


図 1 ドップラーセンサの原理図

4. 提案手法の設計

システム全体の流れを図 2 に示す．また，それぞれの処理の詳細を述べる．

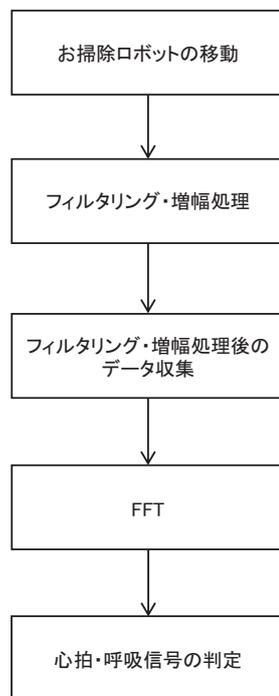


図 2 システム全体の流れ

4.1 お掃除ロボットの移動

お掃除ロボットが部屋中を移動する工程である．現在市販されている自走式ロボットの大半は，あらかじめプログラムによって，動作が決められている．このロボットにマイクロ波ドップラーセンサを載せ，身体に異常がある人を検知することも可能であるが，本来，身体に異常がある人を検知するために作られたものではないため，無駄な動作が増え，迅速な検知が行えない．そこで，迅速な検知が行えるようにプログラムによって，動作を制御する必要がある．そのプログラムの作成に用いるのが ROS (Robot

Operating System) である．ROS とは，ROS によるソフトウェア開発手法を覚えるだけで，様々な市販ロボットの制御プログラムを開発できるミドルウェアのことである．ROS では，図 3 のように，ロボットに接続された PC と監視用の PC がデータのやり取りを行い，ロボットに接続された PC がロボットに命令を送ることで制御が可能となっている．また，C++，Python など様々な言語でプログラム可能であるため，本研究では，通信や文字列解析において豊富なライブラリを持つ Python を用いる．

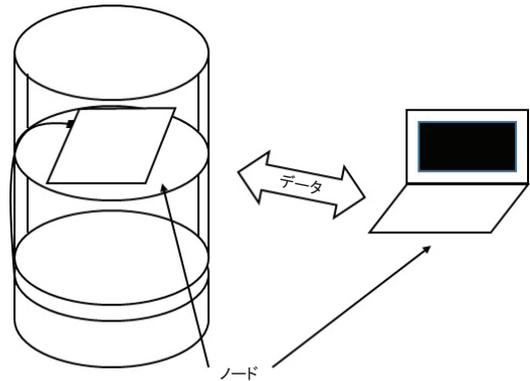


図 3 ROS におけるの通信のイメージ図

4.2 フィルタリング・増幅処理

部屋中を移動しているお掃除ロボットに載せたマイクロ波ドップラーセンサのセンサ値を，フィルタリング・増幅処理する工程である．マイクロ波ドップラーセンサのセンサ値の中で，心拍・呼吸成分は非常に微細な信号であるため，データ収集の際，生データを用いると，直流成分の微細な値の変化でも，その中に埋もれてしまったり，量子化時にデータがカットされてしまうので，電子回路によって処理を行う必要がある．そこで，作成した回路が図 3 のようになる．この回路は，マイクロ波ドップラーセンサの生データ (IF 出力) に対し，まず，コンデンサで直流成分を除去し，その後，オペアンプで 100 倍に増幅し，出力するという回路である．

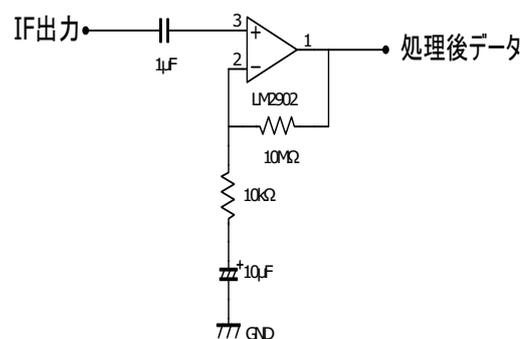


図 4 フィルタリング・増幅処理回路

4.3 フィルタリング・増幅処理後のデータ収集

フィルタリング・増幅処理されたデータを収集する工程である。データ収集するには、電圧データロガーや A/D コンバーターを用いる。本研究では、電圧データロガーを用いて、データの収集を行う。また、心拍・呼吸信号は、回路処理されたデータでも値が非常に小さいため、量子化時にデータをカットさせないようにするために、測定可能な範囲でレンジを小さくする必要がある。

4.4 FFT

収集したデータを FFT 処理し、周波数スペクトルを表示する工程である。FFT 及び周波数スペクトルの表示は、Microsoft Excel, MATLAB, Octave などで行うことができる。本研究では、GUI で容易に操作ができる Excel を用いて FFT 処理を行う。

4.5 心拍・呼吸信号の判定

表示された周波数スペクトルから心拍・呼吸信号の判定を行う工程である。心拍信号は 0.83~1.58[Hz] (50~95 回/分), 呼吸信号は 0.27~0.42[Hz] (16~25 回/分) とし、特徴的なスペクトルがあれば、正常、特徴的なスペクトルがなければ、異常という判定ができる。

5. 提案手法の実装

本章では、実装したシステムについて述べる。お掃除ロボットは、iRobot 社の iRobot Create を用いた。お掃除ロボットに命令を送る PC は、ASUS 社の UX21A (OS: ubuntu12.04.2) 監視用の PC は、SONY 社の PCG-4121GN (OS: ubuntu12.04.2) を用いた。また、マイクロ波ドップラーセンサは、新日本無線社のドップラーモジュール NJR4178J を用い、給電は UX21A の USB ポートから行った。また、地上から約 50cm の位置に固定設置した。このマイクロ波ドップラーセンサの仕様を表 1 に示す。

表 1 ドップラーモジュール NJR4178J の仕様

項目	仕様
動作電圧	5.0 ± 0.2[V]
出力電圧	7-11[mW]
中心周波数	10.525[GHz]
周波数安定度	± 5[MHz]
リターンロス感度 (受信感度)	-90[dBc]
温度範囲	- 30 to + 55[]
外形	46.5mm × 40mm × 12mm

フィルタリング・増幅処理を行う回路は、ブレッドボード上に実装した。実装した回路を図 5 に示す。

フィルタリング・増幅処理後のデータ収集には、T&D 社の電圧データロガー VR-71 を用いた。この電圧データロガーの VR-71 を仕様を表 2 に示す。

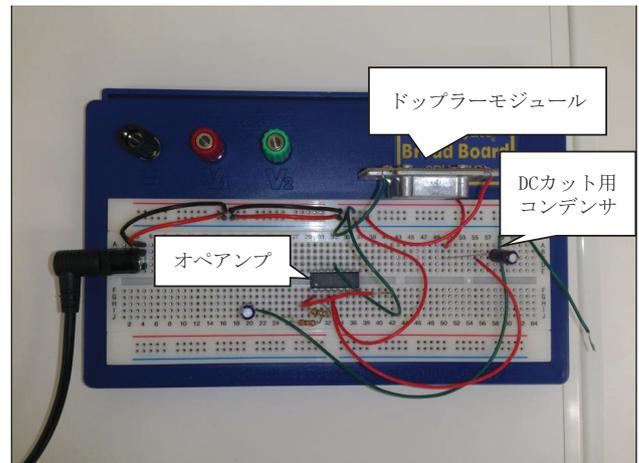


図 5 ブレッドボード上に実装した回路

表 2 電圧データロガー VR-71 の仕様

項目	仕様
測定チャンネル数	2 チャンネル
入力インピーダンス	約 1[MΩ]
入力電圧範囲	± 15[V]
測定レンジ	± 1/2/6/15[V]
測定分解能	0~1[V] : 1[mV], 1~1.8[V] : 1~2[mV] 1.8~2[V] : 1~5[mV], 2~5.4[V] : 5[mV] 5.4~6[V] : 5~10[mV], 6~15[V] : 10[mV]
測定精度	± 5[%] + 5[dig]
記憶間隔	0.02/0.05/0.1/0.2[秒] 0.5/1/2/5/10/15/20/30[秒], 1/2/5/10/15/20/30/60[分]

6. 実装したシステムの評価

まず、基礎実験として、お掃除ロボットを移動させずに、前方に人がいない場合の測定を行った。また、実装したシステムにおいて、お掃除ロボットが移動中の場合の測定、お掃除ロボットが停止中の場合の測定を行った。全ての実験において、電圧データロガーのサンプリング間隔は、0.05[s]、データ数は 1024 個、測定レンジは ± 2[V] とした。

6.1 マイクロ波ドップラーセンサの前方に人がいない場合

まず、基礎実験として、お掃除ロボットを移動させずに、前方に人がいない場合の測定を行った。その際の周波数スペクトルを図 6~図 8 に示す。これらの図では、0.2[Hz] 付近に特徴的なスペクトルが現れているが、振幅が 0.2 付近で非常に小さいので無視していいものと考えられる。

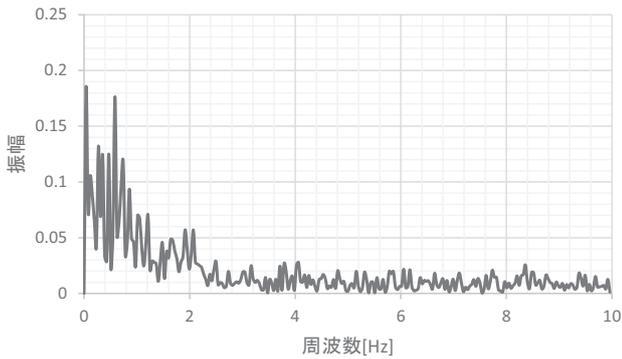


図 6 前方に人がいない場合の周波数スペクトル (a)

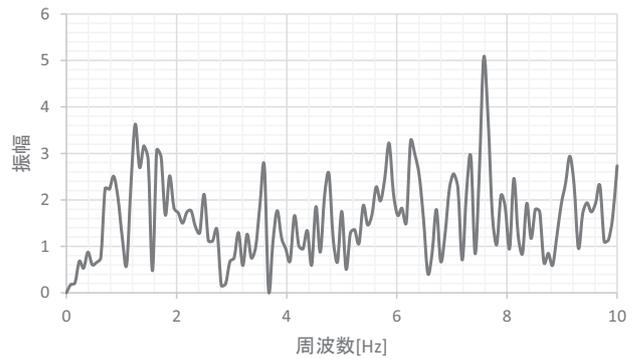


図 9 移動中に測定をした場合の周波数スペクトル (a)

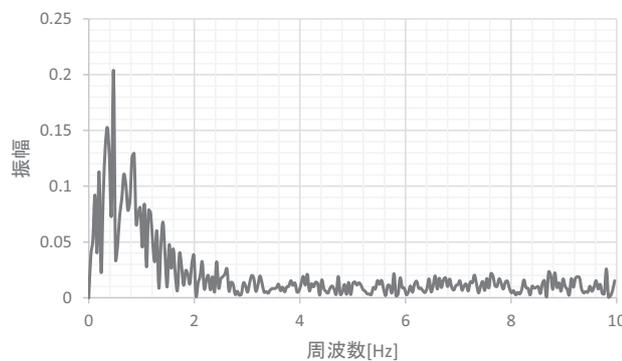


図 7 前方に人がいない場合の周波数スペクトル (b)

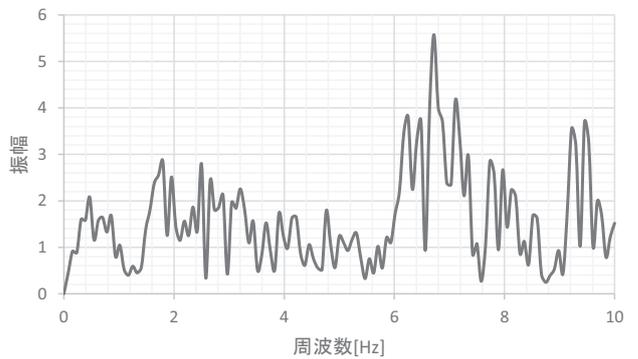


図 10 移動中に測定をした場合の周波数スペクトル (b)

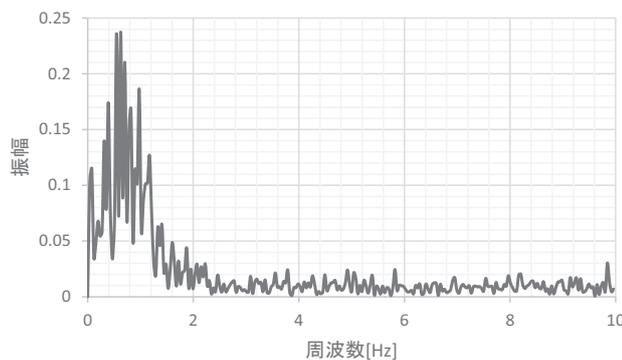


図 8 前方に人がいない場合の周波数スペクトル (c)

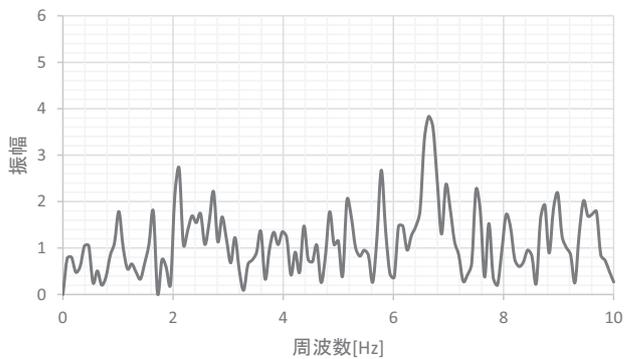


図 11 移動中に測定をした場合の周波数スペクトル (c)

6.2 お掃除ロボットが移動中の測定

約 5m 前方の人に対してお掃除ロボットが接近して測定を行った場合の周波数スペクトルを図 9～図 11 に示す。これらの図では、心拍信号の 0.83～1.58[Hz]、呼吸信号の 0.27～0.42[Hz] 以外の周波数においても特徴的なスペクトルが現れており、心拍・呼吸信号が検出できていないことが分かる。

6.3 お掃除ロボットが停止中の実験

お掃除ロボットを停止させ、一般的な独居老人が暮らす部屋の端から端までの距離には十分である、約 5m 前方の人に対して測定を行った場合の周波数スペクトルを図 12～図 17 に示す。図 12～図 14 は、呼吸時の周波数スペクトル、図 15～図 17 は、息止め時の周波数スペクトルを示している。図 12～図 14 では、0.3[Hz] 付近に特徴的なスペクトルが現れている。これは、呼吸信号の 0.27～0.42[Hz] に含まれており、呼吸信号が検出できていることが分かる。また、図 15～図 17 では、1[Hz] 付近に特徴的なスペクトルが現れている。これは、心拍信号の 0.83～1.58[Hz] の中に含まれており、心拍信号が検出できていることが分かる。

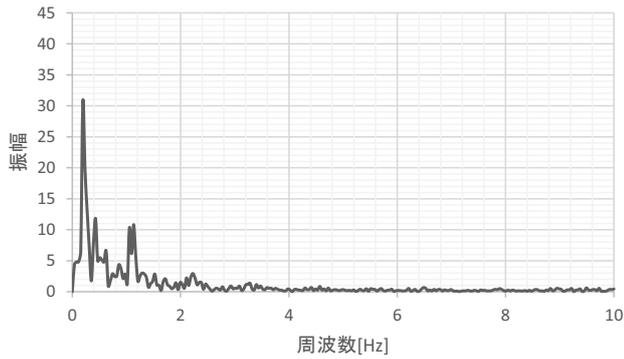


図 12 呼吸時の周波数スペクトル (a)

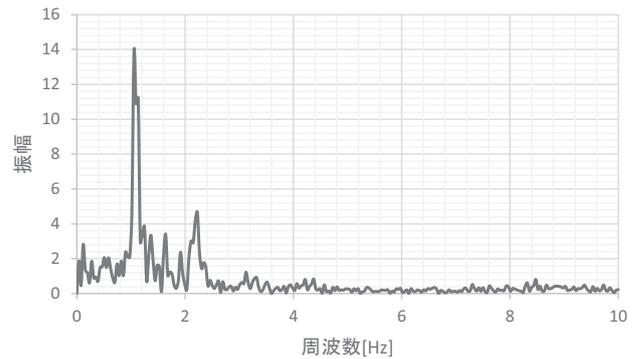


図 16 息止め時の周波数スペクトル (b)

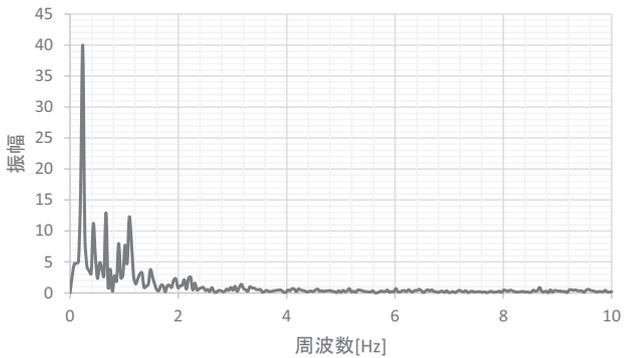


図 13 呼吸時の周波数スペクトル (b)

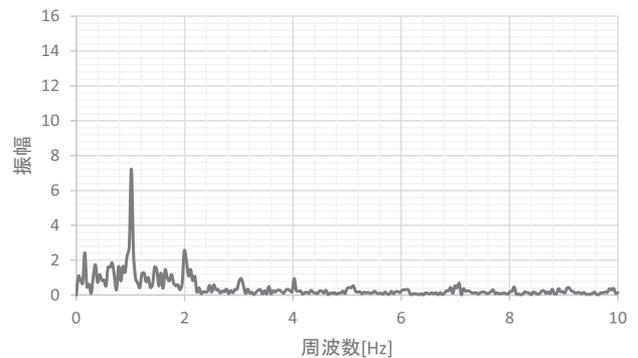


図 17 息止め時の周波数スペクトル (c)

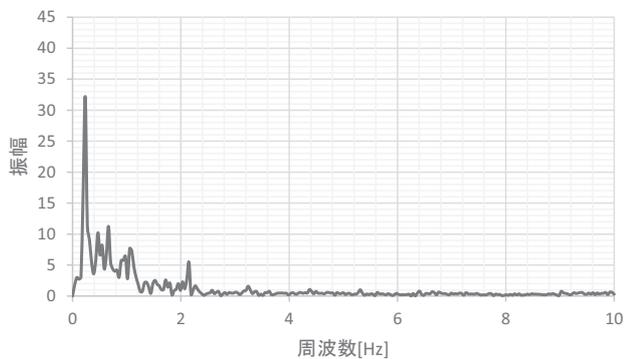


図 14 呼吸時の周波数スペクトル (c)

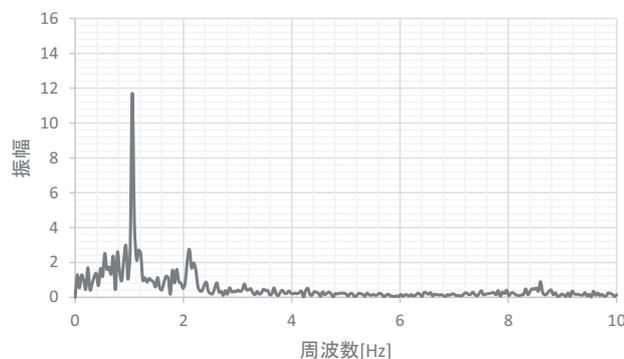


図 15 息止め時の周波数スペクトル (a)

6.4 まとめ

お掃除ロボットを移動させながら、人体の心拍・呼吸信

号の検出を試みたところ、心拍・呼吸信号の検出は出来なかった。しかし、お掃除ロボットを停止させ、一般的な独居老人が住む部屋の端から端までの距離には十分な約 5m 前方の人体の心拍・呼吸信号の検出を行ったところ、心拍・呼吸信号の検出をすることができた。

7. おわりに

本研究では、既存の独居老人異常検知システムの課題として、迅速性と低設置コストが両立できていないことを挙げ、その解決策として近年普及が進んでいる自走式ロボット（お掃除ロボット）を用いて、独居老人の異常検知を行うシステムの提案を行った。この提案手法では、お掃除ロボットに搭載したマイクロ波ドップラーセンサの出力値を回路で処理後、FFT 処理により、心拍・呼吸の分離を行う。本来の目的である、お掃除ロボットを移動させながら、人体の心拍・呼吸信号の検出を試みたところ、心拍・呼吸信号の検出は出来なかった。しかし、お掃除ロボットを停止させ、一般的な独居老人が暮らす部屋の端から端までの距離には十分な約 5m 前方の人体の心拍・呼吸信号の検出を行ったところ、心拍・呼吸信号の検出をすることができた。今後の課題としては、お掃除ロボットが移動しながら検知を行うことは困難であると考えため、どれくらいの頻度で部屋を巡回すれば独居老人の心停止を逃さないかなどを実証実験等を行い調べる必要がある。

参考文献

- [1] 鍛冶良作他: "RFID タグシステムによる閉空間における転倒状態検出法の提案", 情報処理学会研究報告 (2011-UBI-20), pp.73-80(2008).
- [2] 上田淳慈: "福祉分野への適用を目的としたマイクロ波人挙動センサの検討", 平成 22 年度 熊本大学総合技術研究会報告集, (2011).
- [3] 久保肇他: "マイクロ波ドップラーセンサによる移動・呼吸信号検出", 生体医工学 48(6), pp.595-603(2010).
- [4] 黒澤賢太他: "マイクロ波ドップラーを用いた非接触心拍測定", 日本大学理工学部学術講演会予稿集, pp.394-395(2009).
- [5] 三木光範他: "自動走行ロボットを用いた照度分布実測手法", FIT2013(第 12 回情報科学技術フォーラム), pp.319-320(2013).