

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

鍛 冶 良 作^{†1} 廣 田 清 美^{†1} 西 村 拓 一^{†1}

特別養護老人ホームにおける夜間の巡回を支援するシステムを開発することを目的として、RFID システムに基づく転倒状態検出方法を提案する。ここでは、RFID タグとタグリーダを環境にだけ設置するため、非侵襲の転倒検出が可能である。まず、転倒事故が多いとされる洗面所を選定し、電界強度データを継続的に取得した。得られた時系列データをヒストグラムで分析し、人の姿勢と電界強度値の対応関係を調査した結果、各静止状態に対する特徴域が存在する事、静止状態での特徴域の幅が運動状態時と比較して非常に小さくなる事を見出した。更に、装置の配置関係で各特徴域が大きく分離する事を利用して、転倒状態を実験的に検出した。

Proposal of detection method of the state of falling in closed space with RFID tag system

RYOSAKU KAJI,^{†1} KIYOMI HIROTA^{†1} and TAKUICHI NISHIMURA^{†1}

In order to develop the supporting system for rounding at nighttime in special elderly nursing home, the real time detection method for the fallen person is proposed. Here, both the RFID tags and the tag readers are installed only in the environments, so the noninvasive detection of falling is possible. First, we have chosen the lavatory where the falling accident happens frequently, and have continuously obtained electric-field intensity data. We have made histogram analysis of the obtained time-series data, and as a result of investigating the relationship between human posture and electric-field value, we found that there is a feature space corresponding motionless state, and that the width of feature space for motionless state is much smaller than that for moving state. Moreover, by utilizing that each feature space is sufficiently separate with particular deployment of the devices, the fallen state is detected experimentally.

1. はじめに

多くの特別養護老人ホームや病院では、看護師や介護士が24時間体制で看護を行っているが、夜間は監視体制が不十分になるために徘徊等から転倒事故が発生している(1)-3)。夜間の監視体制を十分にするためには、人員を増加させるか、既存の人材の業務量を増加させることが必要になるが、過度な負担の増加はヒューマンエラーの増加につながりかねない(4)-6)。さらに、トイレや洗面所など他人の目が届かない場所で巡回直後に転倒が起こった場合には、すぐに発見することが難しい(7)-11)。このような転倒・転落事故は介護老人保健施設における事故の実に73%の割合を占めていることが報告されている(12)。

こうした状況下でセンサー技術およびネットワーク技術を融合させて、高齢者の見守りや看護・介護者の

活動を情報技術的な側面から支援しようという機運が高まっている(13)-17)。これらの技術を深夜帯の転倒事故の発見に応用できれば、老人の安全・安心を確保しつつ、看護師・介護士の負担軽減に大きく貢献できると考えられる。文献(13)-14)では、転倒のメカニズムを調査するために、人体装着型の転倒検出センサが提案されている。このセンサーとRFIDタグを組み合わせれば、リアルタイムの転倒検知が可能になる。しかしながら、介護保険法改正に伴う身体拘束を廃止する方針により、ホームの入居者や入院患者にセンサを装着させることなく見守りを行いたいという要求もある(12)。

人体にセンサを装着させずに転倒を検出するためには、環境側に各種のセンサを設置する必要がある。カメラやマイクは代表的な環境監視型のセンサであるが、トイレ、風呂場、寝室では、プライバシーの問題がある(17), 18)。一方、赤外線センサ、焦電センサは設置位置を工夫することで転倒状態の検出は可能であるが、虫や蜘蛛が受光部に入ると誤報を鳴らすなど、汚れに

^{†1} 独立行政法人 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

弱いという弱点がある他、周囲温度が高くなると誤動作が多くなることが知られている(15), (16), (19), (20)。不要な呼び出しを出来る限り低減させ、最終的にゼロにすることが、看護師・介護士の負担軽減のために求められている。

近年、田中ら(21)は、モノの動きや状態の変化と連動してアクティブ RFID タグの発信電波を遮蔽する手段を設けることにより、アンテナでの受信強度を微弱化させ、対象の状態を検出するシステムを提案した。このシステムによると、ドアが閉まるとアルミ板がタグを遮蔽するような位置に予め設置して置き、電波を受信できなくなることで、ドアが閉まっている状態を検出できるので、状態検知のためのセンサを別途用意する必要がない。しかしながら、人が転倒する姿勢は様々であり、これに連動させたタグの遮蔽手段を用意しておくことは困難である。

基本的に RFID タグから送出される電波の受信強度はタグとタグリーダの距離が広がる、あるいは金属などの電波を反射する遮蔽物が両者の間に置かれると低下するが、洗面所のような閉空間においては、このことが必ずしも当てはまらない。むしろ、近傍界の効果やマルチパス効果が顕著になり、電界強度だけを用いてタグとタグリーダの距離を見積もることは非常に困難になる。また、タグとタグリーダの間に存在する物体は、たとえ金属であっても電波を遮蔽せず、閉空間における受信特性からは予測が困難な特性を示すことが知られている(22)。

なお、タグとタグリーダが環境に固定配置されていて、かつ移動物体が存在しない場合には、電界強度はほぼ一定の値をとる事が掲載されているが(23)、この性質を積極的に利用して人の姿勢を検出しようという試みはなされていない。

本報告では、特別養護老人ホームにおける夜間の巡回を支援するシステムを開発することを目的として、RFID タグシステムに基づく転倒状態検出方法を提案する。ここでは、

- (1) 静止状態に対してすべてのタグの電界強度がヒストグラム上で特徴域を持つこと
- (2) 閉空間内においては転倒状態の特徴域とその他の状態の特徴域が識別可能になるタグ配置が存在すること

の二点を積極的に活用することにより、環境に設置したタグとタグリーダのみで、人体にセンサを取り付けることなく転倒の検出を可能にしている。また、人体そのものが電波のマルチパスに影響を及ぼすことを積極的に活用するため、人の動きや状態の変化と連動

してタグの発信電波を遮蔽する手段を別途用意する必要がない。2節では、本実験で使用した装置と環境について説明する。ここでは、使用したタグの放射特性データから非常に強い指向性があることを確認し、タグとタグリーダの距離が同じであってもタグの向き、アンテナの向きが異なれば得られる電界強度値が大きく異なる場合があるということを指摘している。また、タグの近傍にある壁の材質によってもその同様の効果が生じることに言及した。転倒事故が多いとされる閉空間として洗面所を選定し、RFID タグシステムを設置した。3節では、洗面所の実験で得られた時系列データをヒストグラムで分析し、人の姿勢と電界強度値の対応関係を調査した。その結果、各静止状態に対応した特徴域がヒストグラム上に存在し、その特徴域の幅が運動状態時と比較して非常に小さくなる事を確認した。さらに、装置の配置関係によって、前述の各特徴域が大きく分離する事を明らかにし、この特徴域の分離を利用して転倒状態を検出する方法を述べ、長時間にわたる実験によって誤動作がないことを確認した。4節では、まとめと今後の課題を示す。

2. 実験装置と実験環境

2.1 実験装置

転倒状態を検出するために表 1 に示す RFID タグ、および表 2 に示すタグリーダを用いて実験した。

それぞれの概観を図 1(a), (b) に示す。RFID タグは図 1(a) に示すようにボタン電池のバッテリーケースとその周辺回路が電波を出すアンテナになっている。タグリーダは図 1(b) に示すようにホイップ型アンテナを 2 本使用してダイバーシティ受信を行う。

表 1 使用したアクティブ型 RFID タグの仕様
Table 1 Spec of active type RFID tag used.

アクティブ型 RFID タグ (キュービックアイディ社 LAS-300T)	
タグ種	LAS300T1
送信間隔 1 秒での	7.2ヶ月
電池寿命	
動作温度範囲	0~40 °C
変調方式	FSK
電源	ボタン電池 (CR2032) 1 個
送信間隔	0.2 秒, 0.5 秒, 1 秒, 3 秒, 5 秒, 7 秒, 10 秒, 15 秒 (ジャンパにて設定変更可能, 本実験では 1 秒に設定して利用した)
送信周波数	315.1MHz
送信出力	微弱電波 (500μV/m 以下 3m 法)
外形寸法 (W/D/H)	47.8(W)×28.6(D)×8.8(H) [mm]
質量	約 11g(CR2032 含む)
アンテナ	ボタン電池ケース兼用型

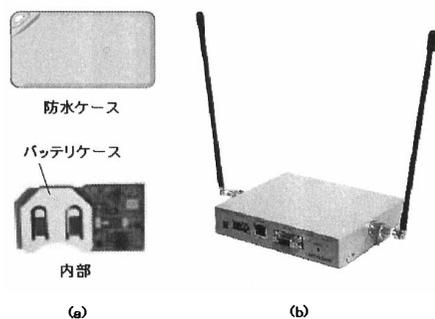


図1 装置の概観。(a) RFID タグ。(b) タグリーダ。
Fig.1 General view of device. (a) RFID tag. (b) Tag-reader.

RFID タグの放射特性を図2に示す。図2(a)は、タグを同図中央のようにバッテリーケースが右側になるようにターンテーブルの上に設置、15度ずつ回転させて、1m離れた場所にある水平にしたダイポールアンテナで水平成分の放射特性を測定したものである。ここに、測定結果は極座標で表示して、半径方向座標の0から1の範囲にある黒丸が測定値であり、実線で結んだ。全測定値の最大値で規格化してある。本図からわかるように、放射電力の水平成分は前後の指向性を有し、横方向にはほとんど放射していない。図2(b)は、同様に垂直成分を測定した結果であるが、全方向にわたってほとんど放射していない。図2(c)は、タグを同図中央のようにバッテリーケースが下になるようにターンテーブルの上に設置、同様に水平成分を測定した結果であるが、全方向にわたってほとんど放射していない。図2(d)は、同様に垂直成分を測定した結果であるが、全方向にほぼ等しく大きな電力を出している。

本タグは、首から下げて使用することを想定しているため、速くにも検出しやすいように、縦型の状態で水平方向への電波の飛びがよく設計されている。また、垂直偏波だけが強いので、タグとタグリーダの位置関係が変化すると、両者の距離に反比例した電界

表2 使用したアクティブ型RFIDリーダの仕様
Table 2 Spec of active type RFID reader used.

アクティブ型RFIDリーダ (キュービックアイディ社 LAS-300R)	
タグ識別個数	最大 50 個/秒
外部IF	RS-232C / LAN(10BASE-T)
受信周波数	315.1MHz
受信距離	TYP7m
その他	タグごとに受信電界強度を256段階で出力可能
外形寸法	152.0×116.9×30.0[mm]

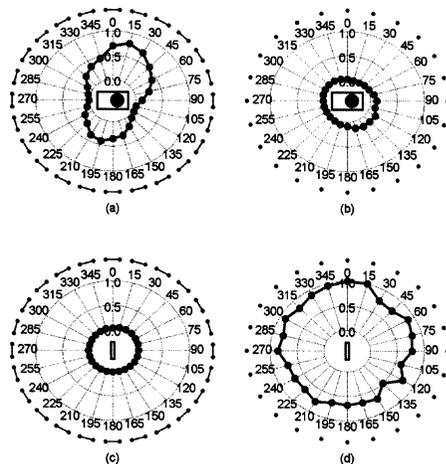


図2 RFID タグの放射特性。(a) タグを水平にして水平成分検波。(b) タグを水平にして垂直成分検波。(c) タグを垂直にして水平成分検波。(d) タグ垂直にして垂直成分検波。
Fig.2 Radiation characteristic of RFID tag. (a) Horizontal component is detected when tag is in a horizontal plane. (b) Vertical component when tag in a horizontal plane. (c) Horizontal component when tag in a vertical plane. (d) Vertical component when tag in a vertical plane.

強度値が得られない。さらには、タグやタグリーダを人体や壁に添付することによって、指向性が大きく変化することも予測される。なお、文献(24, 25)での反射箱での実験結果から明らかのように、全周囲が反射の大きな材料で囲まれている場合には、多重反射の影響でその放射特性は自由空間の放射特性から大きく逸脱することがわかっており、ここで示した放射特性を使用して閉空間での電磁界分布を予測することは困難である。

2.2 実験環境

以下で示す転倒状態の検出法では、人の姿勢の違いによって引き起こされる電界強度の変化をみるため、必ずしも上記の不利な点がボトルネックにはならない。

転倒検知実験はワンルームマンションの7階に位置する図3の間取りを持つ環境下にて行った。RFIDタグとタグリーダを洗面所に設置し、データ取得パソコンは居間の机の上に設置した。洗面所に設置されていた洗濯機の外皮は金属製であり、洗面所に隣接するユニットバスは内部にも金属製の材質が使用されていた(磁石がくっついた)。ドアは枠組み以外は非金属であった。洗面所の構成材料の概略は図4の通りである。このような散乱源が多い環境下では、多重反射の効果による通信容量の増大や回折限界を超えた電磁波

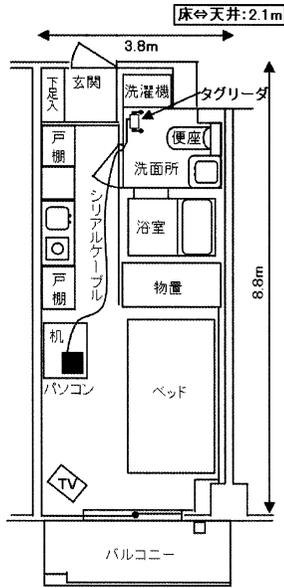
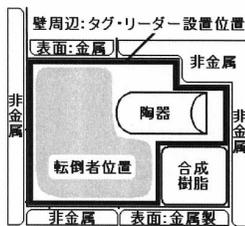


図3 実験空間の全体図

Fig. 3 Global view of the experimental space.



床・天井の材質は非金属である
転倒者の位置は床上50cm以下

図4 洗面所の構成材料の概略.

Fig. 4 Outline of composition material of lavatory.

の局在化が示唆されている 26)-28).

図5はタグとタグリーダーの配置を示したものである。設置に当たっては生活空間への影響をなるべく小さくするように配慮して、部屋の隅や縁に装置を設置することにした。ここに、12枚のタグは洗面所の内側の壁の床から2cm上の部分に電池(兼アンテナ)が壁に向かって右側になるように両面テープで貼り付けた(図5右上の拡大図および図1参照)。タグの横方向の配置関係は部屋の左右のコーナーから20cmの位置にそれぞれ1枚ずつ添付した後でその中間地点にもう一枚タグを添付した。よって同じ壁の面内にあるタグ同士の間隔は約50[cm]である。タグのタイプは表1のLAS300Tの新型であることを付記しておく。

タグリーダーは一台だけ使用した。まず、図5の1か

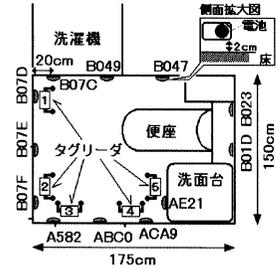


図5 洗面所に設置した RFID タグとタグリーダー

Fig. 5 RFID tags and tag reader installed in the lavatory.

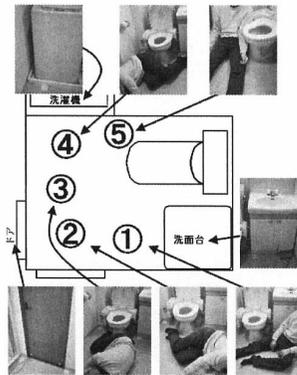


図6 洗面所における転倒状態

Fig. 6 State of falling in lavatory.

ら5の位置まで数字の順にタグリーダーの位置を換えて電界強度を測定した。

3. 閉空間における RFID タグシステムの電界強度の特性

図6と表3は、著者らが想定した洗面所における静止状態を示したものである。これらの図表の転倒状態1~5を他の静止状態0,6~9から識別して転倒状態を検出することを目標とする。ただし、静止状態7~9については、微動だにせず長時間同じ姿勢をとりつづけることは不可能であるので、3.4節の運動状態と静止状態の分離で詳しく取扱う事とし、ここではまず、静止状態0,6と転倒状態1~5を見分ける方法を述べる。

3.1 静止状態の電界強度の特徴

RFIDタグとタグリーダーを固定配置した後は、1つの静止状態に対して30秒間の電界強度測定を行い、12個のRFIDタグのデータを2秒に1回タグリーダーから取得し、一個のタグ当たり15個以下のデータを得た。ここで、データが15個以下になるのは、静止状態から静止状態に姿勢を変化させる際に大きく乱れた電界強度データを取り除いたためである。すなわち

運動状態の電界強度をフィルタで除去した。

図7はタグリーダを図5の1に設置した時のタグACA9の電界強度の時間変化を示したものである。ここに、黒丸が測定値を示し、その測定値の頻度を表すヒストグラム図が右方に同時に示されている。ここでは、身長177cmの人物が表3の姿勢0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 0の順に静止状態を30秒程度保ち、素早く次の姿勢をとった。なお、運動時の電界強度の乱れは除去してある。本図からわかるように、すべての静止状態はほぼ一定の電界強度値をとっている。ヒストグラムからも確認できるように、各状態に対応するピーク値の±2の範囲内に電界強度が収まっている。なお、状態2の時だけゆらぎが5と大きめであるが、これは30秒を測るためのストップウォッチをみるために腕を僅かに動かしたことによるものと推定される。さらに、本図からわかるように、転倒状態2~5は、通常の状態0,6から10%も低い値で安定しているの、閾値を設定することで容易に転倒状態2~5を検出できる。ただし、転倒状態1だけは通常の状態と識別することが困難である。

特に、静止状態がほぼ一定の電界強度をとるという性質は、一つの例外もなく、すべてのタグについて確認できた。ただし、タグとタグリーダが近くにある場合は、静止状態の特徴域と転倒状態の特徴域が重なるようになり、ヒストグラム上で状態を分類することが困難であった。

以下では、静止状態に対応したヒストグラム上のピークを電界強度の安定値と呼び、その安定値から揺らぎ幅を特徴域と呼ぶことにする。

3.2 無人状態の安定値からの乖離率

洗面所のような閉空間では、無人状態である比率が高いので、装置を十分に長い期間設置しておく、無人状態の電界強度が最も多くカウントされる。ここでは、この無人状態の安定値を基準値と考え、乖離率 ΔE を次式で定義する。

表3 想定した静止状態
Table 3 Assumed geostationary

状態番号	静止状態時の姿勢
0	洗面所に誰もいない
1	洗面台に向かって転倒 (図6①)
2	浴室ドアに向かって転倒 (図6②)
3	ドアに向かって転倒 (図6③)
4	洗濯機に向かって転倒 (図6④)
5	便座と壁の間に転倒 (図6⑤)
6	便座に座った状態
7	便座前に立った状態
8	洗面台の前に立った状態
9	洗濯機の前に立った状態

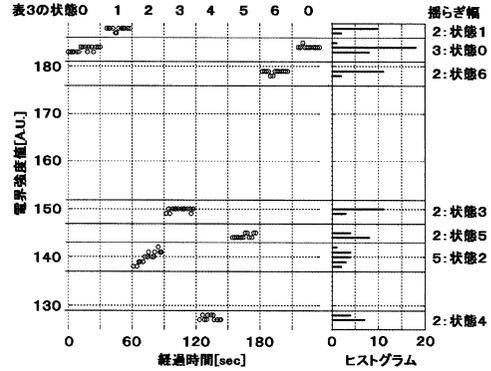


図7 電界強度の時間変化と電界強度値の出現頻度
Fig. 7 Time variation of electric-field-strength and its appearance frequency.

$$\Delta E = 100 \times (1 - E_i/E_0) \quad (1)$$

ここに、 E_i は表3の姿勢 $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ の時にタグリーダで測定された1分間の電界強度の安定値、 E_0 は無人状態 $i = 0$ の電界強度の安定値である。先ほどの図7で言えば、状態0,1,6の乖離率は10%以下であり、状態2,3,4,5の乖離率は10%以上である。つまり、このタグのデータは乖離率を10%に設定することで少なくとも転倒状態2,3,4,5は検出できることになる。

以上のことを12枚すべてのタグについて調べた結果、まず、タグリーダの位置が図5の1にある場合、

- タグ ABC0 は乖離率が -10%以下で転倒状態2,3,4,5を検出する (便座着席状態の乖離率は -3%)
- タグ ACA9 は乖離率が -10%以下で転倒状態1,2,3,4を検出する (便座着席状態の乖離率は +2%)

ことがわかった。つまり、2枚のタグを用いれば転倒状態をすべてを便座着席状態と区別して検出できる。

3.3 乖離率と装置の設置位置

図8は、5種類の設置位置(図5)に対する12枚のタグの電界強度の乖離率を6種類の静止状態(表3)に対して示したものである。図を一つのタグリーダに関してみるには、行を見ることとする。また、各タグに関してみるには、列をみることとする。各列には静止状態1~6の順に乖離率が棒グラフとして示されている。転倒状態1-5は黒塗りの棒グラフ、着席状態6は白抜きの棒グラフである。これらは、0に近いほど無人状態の電界強度に近いことを示している。白の棒グラフが小さく、黒の棒グラフが大きいほど、あるいは、黒の棒グラフと白の棒グラフの向きが上下反対であ

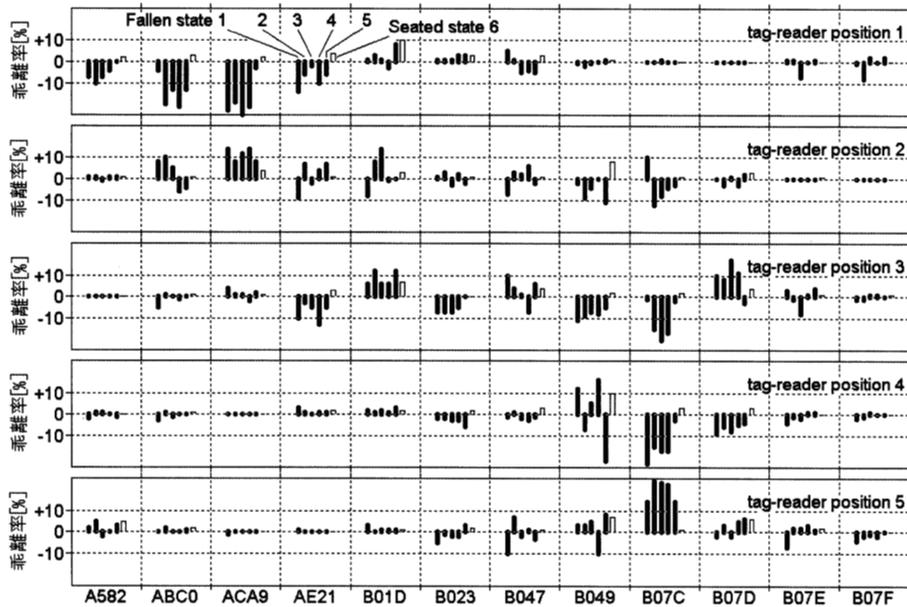


図 8 無人状態時の電界強度からの乖離率。
Fig. 8 Deviation rate from the electric-field strength when no one in the lavatory.

ば、着席状態と転倒状態との判別がつけ易いということを表している。

本図からわかるように、転倒状態と通常状態の乖離率のコントラストが大きくなるのは、タグリーダの位置が図 5 の 1, 4, 5 にある時、すなわち、金属壁の近傍にある時である。また、タグの枚数を増加させると、タグリーダの位置が 1 から 5 まですべての位置で転倒状態を識別可能である。さらに、乖離率が大きくなるようなタグとタグリーダと転倒物体との位置関係は、必ずしも、発信機と受信機を結ぶ直線状に転倒物体が存在していない。特に注目したい点は、発信機、受信機間に転倒物体があっても電波は遮蔽されず、逆にエンハンスされていることである。この原因としては、転倒物体による散乱のためにマルチパス環境が変化するためか (26), (27)、転倒物自体がアンテナのガイドの役割を果たすためであるか (28)、それらの複合的な効果によるものが考えられるが、現在のところ特定できていない。

3.4 運動状態と静止状態の分離

図 9 上図は運動状態を含めた電界強度の時間変化とそのヒストグラムを示している。ここでは複数の被験者に好き勝手に振舞ってもらい洗面所で一人きりになった時に一度だけ洗面台に向かって倒れるように指示した。図中に示されたコメントは乖離率が -10%を

超えた時間帯である。タグの設置位置は図 5 の ACA9 の位置、タグリーダの設置位置は同図 1 の位置である。上図をみるとわかるように、全部で 14 回の時間帯に -10%の電界強度である 180 を切った。転倒した回数は 1 回であるから、転倒検知成功率は $1/14=0.07$ である。また、ヒストグラムをみてわかるように、特徴域が重なって状態の分離が確認出来なくなっている。このように、運動状態には乖離率 -10%を超える状態が非常に多く含まれている。

ここで、転倒して動けない状態は、静止状態であることに着目する。静止状態の電界強度の性質は、ある期間にわたって安定値と特徴域を持つということである。今、静止状態のゆらぎ幅を 5 とし、動けない状態が 10 秒続くと危険状態であるということにする。このパラメータは、介護現場の状況に応じて決定するものであるが、今回の転倒の実演で 10 秒程度しか転倒していなかったため、このような短い値にした。この条件式は以下のように表すことができる。

$$\max[E(\Delta t)] - \min[E(\Delta t)] < 5 \quad (2)$$

ただし Δt は任意の連続した 10 秒間を示している。

図 9 下図は、同上図に条件式 (2) を新たに課したものである。本図から確認できるように、転倒状態のみを検出できている。また、ヒストグラムからわかるように転倒状態の特徴域だけその他の状態と分離されて

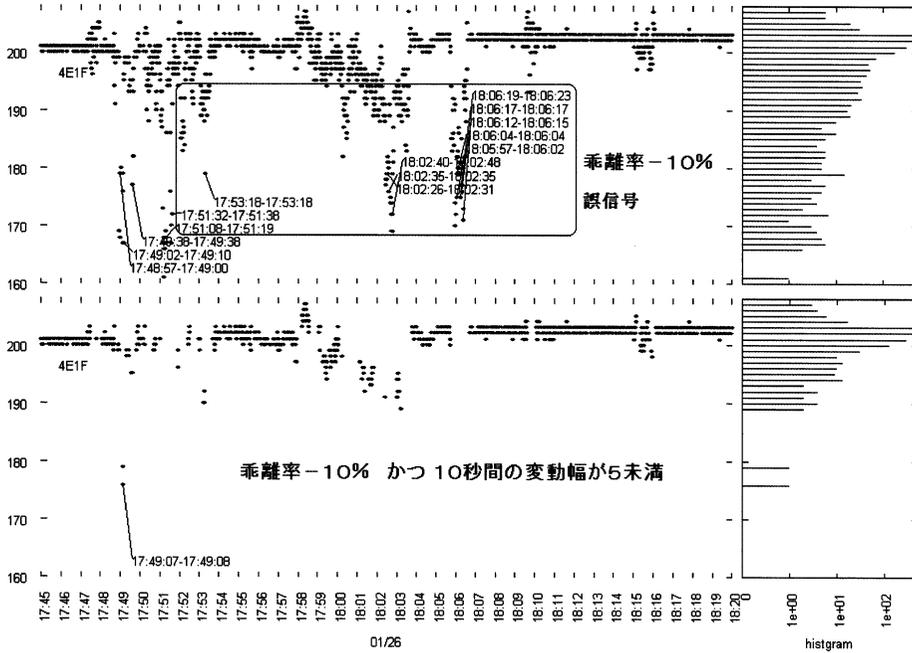


図9 運動状態を含めた電界強度の時間変化と電界強度値の出現頻度
 Fig. 9 Time variation of electric-field-strength and its appearance frequency including moving state.

いる。

以上からわかるように、転倒状態を検出するためには、条件式(2)により静止状態を抽出し、乖離率の閾値を-10%に設定すればよい。ただし、タグとタグリーダの配置、枚数は閉空間のサイズ、閉空間を構成する材質に大きく依存するため、最適な位置を予測することが困難であるが、本節で述べた手順に従えば比較的短時間にそのような配置を決定することができた。

本手法を一般家庭の洗面所等に適用する場合、この転倒状態の特徴域を求めるキャリブレーションがボトルネックとなることは明らかであるが、間取りが同じ部屋が多数存在する介護施設や病院では、1回のキャリブレーションで多数の部屋における設置位置を決定できる可能性が高い。さらに本手法の一部である、無人状態の特徴域を自動学習し、式(2)の否定から運動状態を検出する方法については、上記の転倒状態のキャリブレーションが不要であるため、金庫等の閉空間での不審者検出や廊下や通路での動体検出装置を現場で即座に構築できる可能性がある。

4. おわりに

特別養護老人ホームにおける夜間の巡回を支援する

システムを開発することを目的として、RFIDシステムに基づく転倒状態検出方法を提案した。ここでは、RFIDタグとタグリーダを環境にだけ設置するため、非侵襲の転倒検出が可能である。まず、転倒事故が多いとされる洗面所を選定し、電界強度データを継続的に取得した。得られた時系列データをヒストグラムで分析し、人の姿勢と電界強度値の対応関係を調査した結果、各静止状態に対する特徴域が存在する事、静止状態での特徴域の幅が運動状態時と比較して非常に小さくなる事を見出した。更に、装置の配置関係で各特徴域が大きく分離する事を利用して、転倒状態を実験的に検出した。今後の課題として、効率的な装置の配置方法の考案、判定条件(1)、(2)に必要なパラメータを自動学習する方法の考案を予定している。

謝辞 本研究の一部はNEDOからの平成20年度産業技術研究助成事業により実施した。また、本研究の一部は住友電気工業株式会社との平成18年度の試験研究「安全安心情報技術に関する研究」により実施した。RFIDタグの放射特性データを提供して頂きました株式会社キュービックアイディ 水本米喜様に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Fine W.: An analysis of 277 falls in hospital, *Geront. clin.*, Vol.1, pp.292-300 (1959).
- 2) Fine W.: Geriatric ergonomics, *Geront. clin.*, Vol.14, pp.322-332 (1972).
- 3) 新野直明, 中村健一: 老人ホームにおける高齢者の転倒調査: 転倒の発生状況と関連要因, *日本老年医学会雑誌*, Vol.33, No.1, pp.12-16 (1996).
- 4) 鈴木みずえ, 高橋秀人, 加納克己: わが国における転倒事故死に関する記述易学的研究, *医学と生物学*, Vol.126, No.5, pp.255-258 (1993).
- 5) 品地智子: 術後患者: 事故報告からの分析 (特集もう安心! 転倒・転落を防ぐ), *月間ナーシング*, Vol.21, No.6, pp.24-26 (2001).
- 6) 泉キヨ子: 患者の立場に立った予防ケアとしての転倒・転落防止対策, *看護 (Official Journal of the Japanese Nursing Association)*, Vol.56, No.13, pp.40-42 (2004).
- 7) 安村誠司, 芳賀博, 永井晴美, 柴田博, 岩崎清, 小川裕, 阿彦忠之, 井原一成: 地域の在宅高齢者における転倒発生率と転倒状況, *日本公衆衛生雑誌*, Vol.38, No.9, pp.735-742 (1991).
- 8) 新野直明, 安村誠司, 芳賀博, 上野春代, 太島美栄子, 樋口洋子: 農林部在宅高齢者を対象とした転倒調査-季節別にみた転倒者の割合と転倒発生状況, *日本公衆衛生雑誌*, Vol.42 No.33, pp.975-981 (1995).
- 9) 新野直明: 調査報告 浜松市 1998 年度転倒調査の結果から, *月刊地域保健*, Vol.30, No.6, pp.110-115 (1999)
- 10) 新野直明, 小坂井留美, 江藤真紀: 在宅高齢者における転倒の疫学, *日本老年医学会雑誌*, Vol.40, No.5, pp.484-486 (2003).
- 11) 新野直明: 在宅高齢者における転倒の疫学, *桜美林大学大学院国際学研究所「桜美林シナジー」*, No.4, pp.37-44 (2005).
- 12) 社団法人 全国老人保健施設協会: 第4章 身体拘束とリスクマネジメント, *リスクマネジメントマニュアル'06年版-CD-ROM付-有限会社全老健共済会*, pp.57-60 (2006).
- 13) 吉村拓巳, 堀内郁孝, 東祐二, 中島一樹, 藤元登四郎, 千原國宏, 田村俊世: 老人転倒モニタの開発とその評価, *T. IEE Japan*, Vol.120-C, No.12, (2000).
- 14) 田村俊世: 長寿社会に向けた生体計測とセンサ, *電学論E*, Vol.123, No.2, pp.37-42, (2003).
- 15) 影山芳之, 町田洋子, 森田敦: 高齢者介護施設における転倒事故防止のための人体検出装置の有用性について, *東海大学紀要開発工学部*, Vol.14, pp.47-51 (2004).
- 16) Harrop, P., Das, R., and Holland, G.: RFID in healthcare 2006-2016, *IDTechEx Ltd*, (2005).
- 17) 佐藤貢一, 末田隆敏, 池島由華, 今井博, 長瀧慶明: 医療・福祉施設を対象にした RFID 技術の適用実験, *大成建設技術センター報*, Vol.39 (2006).
- 18) Fogarty J., Au C., and Hudson S. E.: Sensing from the basement: A feasibility study of unobtrusive and low-cost home activity recognition, *Proceedings of the 19th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.91-100 (2006).
- 19) 奥田晋也, 金田重郎, 芳賀博英: アナログ型焦電センサによる人間の室内位置・身長判別法の提案, *情報処理学会 研究報告*, Vol.2004, No.112, pp1-8 (2004).
- 20) 宇田川健, 山崎裕二, 庄境誠: 赤外線センサにHMMを適用した物体の認識方法, *情報処理学会 研究報告*, Vol.2005, No.28, pp.179-186 (2005).
- 21) 田中博, 五百蔵重典, 谷中一寿: 遮蔽による受信強度変化を利用した状態検知方式一扉, 窓の開閉状態の遠隔モニタへの適用とその実証一, *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DIKOM 2008)* (2008).
- 22) Fontan F.P., Espineira P.M.: Modeling the wireless propagation channel, *Wiley* (2008).
- 23) 小西勇介, 中尾敏康, 田口大悟: “リフレレンスタグ”を用いたアクティブ RFID タグ検知精度向上方式, *FIT2005 情報科学技術レターズ*, pp.311-314 (2005).
- 24) Primiani V.M., Moglie F., Pastore A.P., and Pignotti A.: Numerical and experimental analysis of boundary fields in reverberation chambers, *EMC 2006. 2006 IEEE International Symposium on*, Vol.1, pp.129-132 (2006).
- 25) Fiumara V., Fusco A., Matta V., and Pinto I.M.: Free-space antenna field/pattern retrieval in reverberation environments, *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, Vol.4, pp.329-332 (2005)
- 26) Derode A., Tourin A., Rosny J.de, Tanter M., Yon S., and Fink M.: Taking advantage of multiple scattering to communicate with time-reversal antennas, *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 90, No.1, pp.014301, (2003).
- 27) Henty B.E. and Stancil D.D.: Multipath-enabled super-resolution for rf and microwave communication using phase-conjugate arrays, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 93, No. 24, pp. 243904 (2004).
- 28) Geoffroy L., Rosny J.de, and Fink M.: Focusing beyond the diffraction limit with far-field time reversal, *Science*, Vol.315, pp.1120-1122 (2007).