

360度レーザスキャナを用いた救助活動支援情報発信システムに関する研究

○山邊友一郎*¹ 谷 明勲*²

キーワード：360度レーザスキャナ センシング 救助活動支援 情報発信

1. はじめに

日本周辺は世界でも有数の地震多発地帯であり、今後発生が予想される海溝型地震、内陸型地震への備えを十分に行う必要がある。また気候変動の影響もあり、局地的な集中豪雨、河川の氾濫、突風・竜巻などに対しても同様に対策が必要である。災害発生時には身の安全の確保、迅速な避難・救助活動などが重要であり、同時に災害弱者に対する適切な支援も対策を考えておく必要がある。日本では近年高齢者の単独世帯の増加が著しく[1]、地域コミュニティの希薄化もあり災害時に適切な避難支援が受けられる可能性は低下しつつある。兵庫県南部地震では要救助者35,000人の約8割にあたる27,000人が家族や近隣により救出されたという報告[2]もあり、災害弱者の救助について検討する必要がある。

独居高齢者の避難支援・救助にあたって問題となるのは、支援が必要な高齢者の情報が直ちには入手が困難な点にある。状況が混乱しがちな地震時発生直後に、救助が必要な高齢者が居住する建物を選別し、救助者(一般市民含む)に情報発信するシステムがあれば効率的かつ合理的な救助活動に役立つと考える。

ある建物で救助が必要か否かを決定する要因は様々あるが、本研究では建物内の在室者の有無と家具の転倒の有無に着目した。災害発生前の在室者の有無を把握しておけば、在室者がいなかった建物は即座に救助対象から外すことが可能になる。次に家具の転倒の有無及び転倒の程度がわかれば、建物内の被害の程度を判断可能となるため、救助活動を行う際のトリージングとして活用することが期待できる。家具の転倒の危険性については、種々の研究・実験により確認されているが[3, 4]、センサ技術を用いて実際に室内を計測する研究はあまり例がない。

そこで本研究では、近年技術開発が目覚ましいセンシング技術を活用して、建物内の在室者の有無に関する情報、家具の転倒に関する情報を直接計測可能なシステムを構築し、災害時の救助活動を支援する情報を発信する仕組みとしての有効性を検証することを目的とする。

2. 救助活動支援情報発信システム

図1に救助活動支援情報提供システムのイメージを示す。OSHW(オープンソース・ハードウェア)を用いて2つのセンサ及びアクチュエータ(外部への情報発信を行うLED)を制御し、在室者の有無、家具の転倒情報を発信する

システムを構築した。以下に、本システムの構成要素となるデバイスを示す。

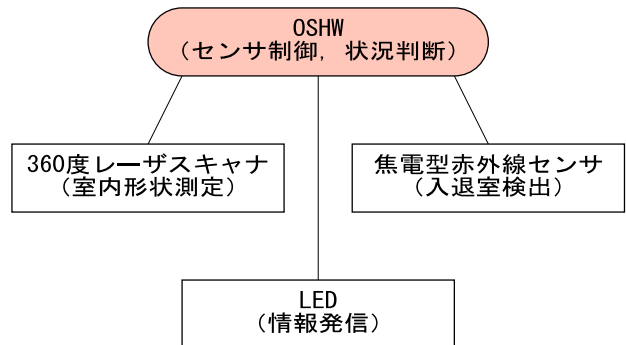


図1 救助活動支援情報提供システムのイメージ

2. 1 OSHW

本研究では、ハードウェアのArduinoボードとソフトウェアのArduino IDEで構成されるArduino Uno R3[5]を用いた(図2参照)。OSHWにセンサやアクチュエータを、IOピンを介して接続することで、種々の電子部品と情報のやりとりや制御を行うことができる。本研究ではOSHWに接続したレーザスキャナ、赤外線センサ及びLEDを制御し、救助活動支援情報を発信するプログラムを作成した。

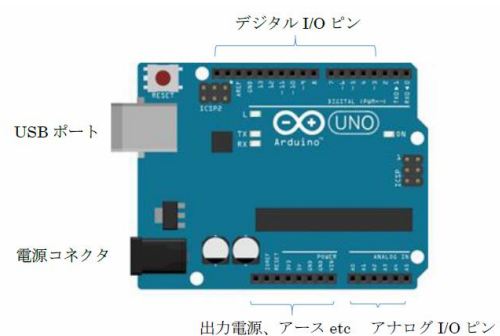


図2 OSHWの外観

2. 2 360度レーザスキャナ

レーザスキャナには、周囲360度を測定可能な2次元レーザスキャナで、主にロボットの自己位置推定と環境地図作成(SLAM)、障害物回避などの用途で用いられているRPLIDAR 360度レーザスキャナ[6]を用いた(図3参照)。レーザスキャナはレーザ信号を放射し、反射信号をデータ処理することで対象物との距離と角度を算出する(図4参

照)。レーザスキャナの基本性能を表1に示す。レーザスキャナはPCまたはOSHWと接続して制御することでスキャンデータの取得やデータ処理が可能である。



図3 レーザスキャナの外観

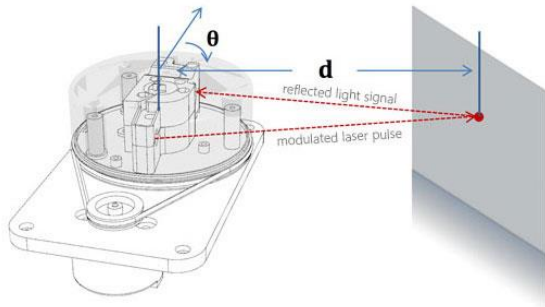


図4 レーザスキャナの計測方法[6]

表1 レーザスキャナ基本性能[7]

距離範囲	0.2~6 m
角度範囲	0~360度
距離分解能	< 0.5 mm (距離の1%)
角度分解能	≤ 1度
走査速度	5.5 Hz (2000 sample/sec)

2.3 焦電型赤外線センサ

焦電型赤外線センサは、人体や動物に反応する人感センサ(図4参照)で、防犯用アラームや自動点灯照明などに利用されている。センサ感度は約2m, 検出角度は約120度である。



図4 焦電型赤外線センサの外観[7]

3 実験結果及び考察

3.1 研究室の形状測定

実験は神戸大学の研究室で実施した。図5に研究室の平面図, 家具の配置位置及び計測装置の設置位置を示す。尚, 計測装置は床上1,200mmの位置に設置しており, 図5の平面図も同じ高さで切断したものである。計測装置設置位置ではレーザスキャナによる室内形状測定, 焦電型赤外線センサによる入退室管理, LEDによる情報発信を行う。

レーザスキャナを用いて研究室の形状を測定した結果を図7に示す(但し障害物A, B, Cは設置していない)。外周円上の数値は角度を表し, 同心円上で縦に3箇所並ぶ数値はレーザスキャナからの距離(mm)を表す。計測値はレーザスキャナを中心とした角度と距離を要素とする点群データとして得られる。但し, 見通しで死角となる部分のデータは得られないので家具の形状を全て再現するこ

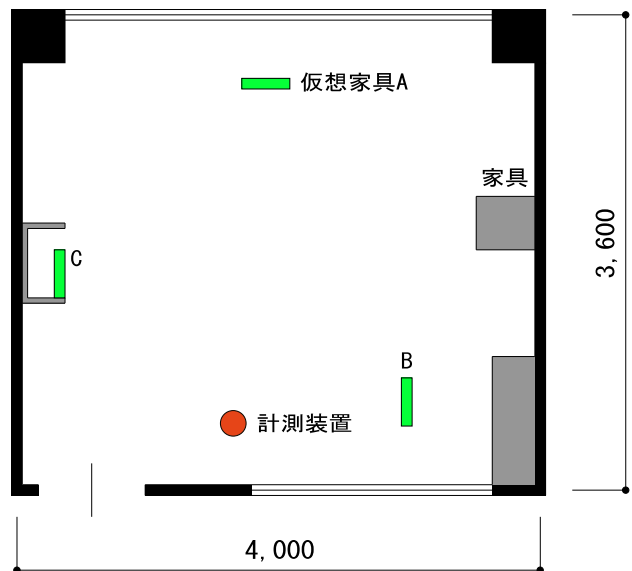


図5 研究室平面図 (h=1,200)

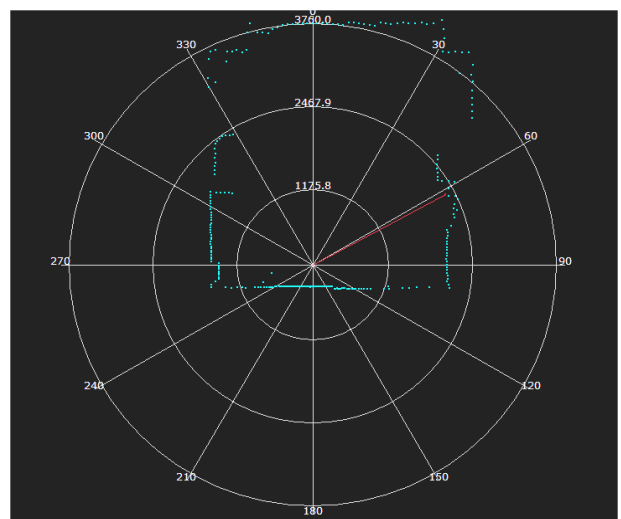


図6 計測結果

とはできない。また、壁際に不連続な箇所が散在するが、本や小物が設置されていることによると考える。レーザスキャナの性能上は、一周で360個のデータが得られるはずだが、上記の理由等によりデータの欠損があったため、図6は約300個のデータにより描画されたものである。

3. 2 救助活動支援情報発信システム

① 在室者検出

図7に在室者検出システムのフローチャートを示す。計測開始後、焦電型赤外線センサの前を人が通過するとセンサが反応し、在室者の有無の変化に応じてLED1を点灯・消灯させるシステムを構築し実験を行った結果、誤作動なく運用可能であることを確認した。

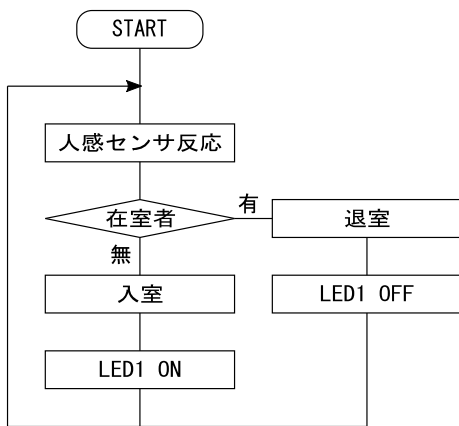


図7 フローチャート (在室者検出)

② 家具転倒検出

図8に家具転倒検出システムのフローチャートを示す。計測開始後、レーザスキャナにより家具の転倒を検出すると、転倒した家具の数に応じてLED2の点灯パターンを変化させることで救助の必要性の緊急度を併せて伝達する仕組みとした。図9に計測装置の設置状況を示す。手前がレーザスキャナであり、中央右ではLEDが点灯している。尚、実験にあたって、室内の家具は転倒防止措置がとられていて移動が困難であったため、仮想家具として直方体A(幅570mm)、B、C(図5参照)をレーザスキャナと同じ床上1,200mmの高さに配置することで家具の初期配置を再現した。図10に仮想家具を配置後の研究室の形状を測定した結果を示す。今回は、地震後に家具が倒れて計測距離の伸びが検出された場合を家具の転倒と判断した(図11参照)。次に、仮想家具A、B、Cの境界に位置する点の位置情報を図12に示す。図中括弧内数値はレーザスキャナで読み取った数値で左が角度、右が距離(mm)を表す。

上記の位置情報を平常時の状態として、計測した位置情報にどの程度の差異を識別すれば、地震時に家具が転倒したことを判断できるかを、仮想家具の位置、角度などを様々に変化させながら実験を行い、以下の結論を得た。

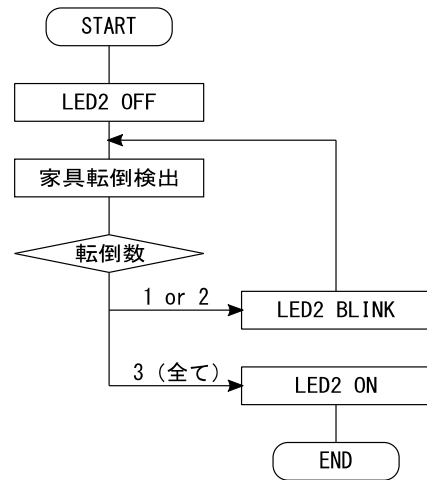


図8 フローチャート (家具転倒検出)

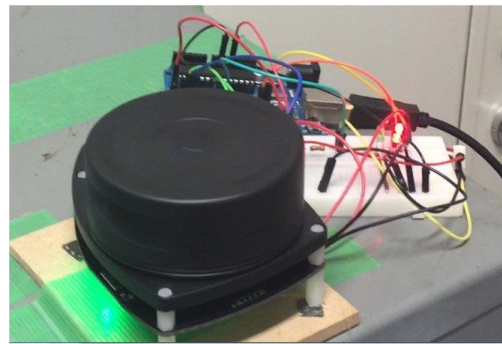


図9 計測装置

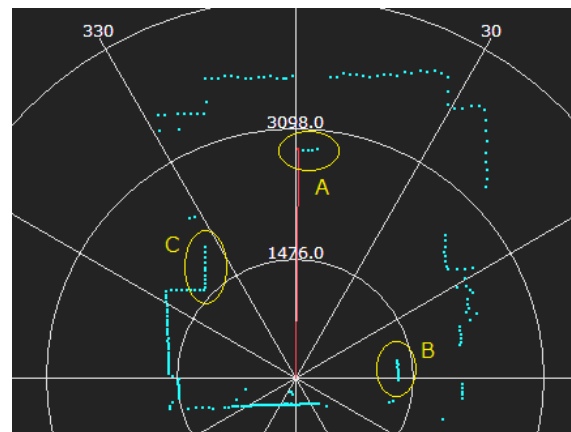


図10 計測結果

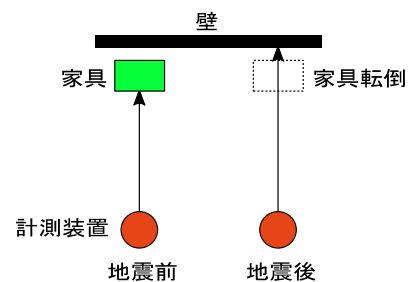


図11 家具の転倒判定

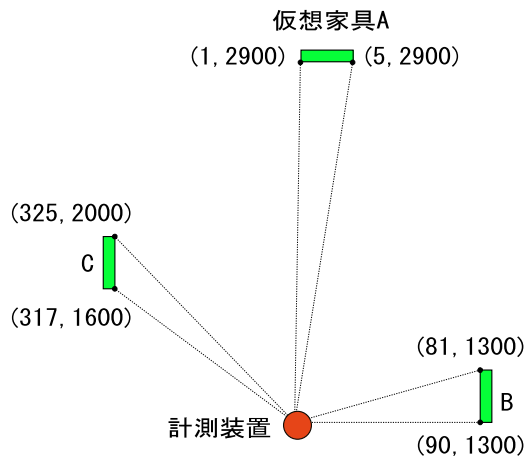


図1 2 仮想家具の位置情報

a. 距離延長の閾値

複数回の実験を行った結果、測定対象点が移動したことを誤作動なく判断するための距離延長の閾値は元の距離+200mmが適当であった。

b. 測定対象点の角度範囲

仮想家具A, Bはレーザスキャナに正対する位置に配置されているため、家具の存在範囲内での距離はほぼ等しいものとして処理した。また、角度範囲は1度内側に寄せた範囲で設定した（例えば、仮想家具Aでは1~5度の範囲に家具はあるが転倒判定では2~4度の範囲を対象とする）。これにより、角度有効範囲内のいずれかの点が距離延長の閾値を越えることにより家具の転倒を誤作動なく判断することができた。

仮想家具Cはレーザスキャナに対して斜めに配置されているため上下の端点までの距離が明らかに異なる（図1 2参照）。そこで上下の点を対象としてそれぞれ角度範囲及び距離延長の閾値を設定し、両方の点の移動を確認することを家具転倒の条件とすることにより確実な判断を行うことができた。

上記より本実験における家具転倒の判断条件を表2のようにまとめることができる。

表2 家具転倒の判断条件

	角度範囲 (度)	距離延長の閾値
A	2~4	3, 100
B	82~89	1, 500
C	318~319	1, 800
	324~325	2, 200

4 まとめ

本研究では、災害時の救助活動を支援する情報を発信することを目指して、OSHW、360度レーザスキャナ及び焦電型赤外線センサを用いてセンシングシステムを構築し、その有効性を実験により検証した結果、以下の知見を得た。

- ① 360度レーザスキャナにより室内の家具配置を含めた形状を良い精度で測定できる。
- ② 構築したシステムにより在室者の有無を精度よく推定可能である。
- ③ 家具の転倒を判別する際にはレーザスキャナに対する家具の向きに応じて測定方法や判定の閾値の設定に工夫が必要である。

また、本システムで発信可能な情報と救助の優先度（緊急度）の対応関係は表3のようにまとめることができ、この情報を救助活動におけるトリアージとして活用することが期待できると考える。

今後は、情報発信方法の改善（スピーカー、ライトの利用など）、情報の有効活用（自治体の災害対応部局への遠隔情報伝達など）、被災情報を活用したリアルタイム救助シミュレーションへの展開などの検討を行う予定である。

表3 発信情報と救助の優先度

救助の優先度	在室者	家具転倒数
最高	有	全て
高	有	一部
中	有	なし
低	なし	—

[謝辞]

本稿は神戸大学工学部建築学科卒業生(現フリー)石橋利輝氏が実施した卒業研究のデータをもとにまとめたものです。データ提供に対して感謝いたします。

[参考文献]

- [1] <http://preneta.b2you.biz/kisodata/setai2.html> (平成28年1月26日アクセス)
- [2] 河田恵昭:大規模地震災害による人的被害の予測, 自然災害科学, Vol. 16, no. 1, pp. 3-13, 1997.
- [3] 金子美香:家具の挙動推定に基づく地震時の室内被害評価に関する研究 (URL: https://www.aij.or.jp/jpn/design/2014/data/2014-award_KANEKO_M_dtd.pdf) (2016.1.20アクセス)
- [4] 竹中工務店 HP: (URL: <http://www.takenaka.co.jp/news/2014/05/02/index.html>) (2016.2.1アクセス)
- [5] Arduino HP: (URL: <http://www.arduino.cc/>) (2016.1.26アクセス)
- [6] RPLIDAR HP: (URL: <http://www.slamtec.com/en-US/rplidar/index>) (2016.1.20アクセス)
- [7] 秋月電子通商 HP: 製品情報, 焦電型赤外線センサユニット(SE-10) (URL: <http://akizukidenshi.com/download/ds/hanse/SE-10a.pdf>) (2016.1.20アクセス)

*1 神戸大学大学院工学研究科 准教授 博士(工学)

*2 神戸大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)