

2. リアルタイム地震情報を利用した防災および災害救助活動支援ロボットの開発

奥川雅之

1. はじめに

阪神淡路大震災後、ロボット工学分野の研究者を中心に、ロボット技術の導入による効率的な救助活動支援の必要性が議論されるようになった。東海地方では、東北地方太平洋沖地震のような大規模地震の発生が予想されている。そこで、本研究では、防災・減災の観点から、ロボット技術の活用を考え、建物の老朽化によって深刻な被害をこうむる可能性が指摘されている公団などの集合住宅と、高齢者、障害者や外国籍住民等「災害時要援護者」の増加が、被害をよりいっそう深刻化させる要因となっている点に着眼し、災害時要援護者を対象とした災害・防災ロボットの開発を行うこととした。

一般に、災害時要援護者は、災害発生時の避難行動判断に困難を抱えており、避難行動の遅延が懸念されている。理由として、高齢者は、体力低下および行動機能低下、視覚・聴覚障害者は、視覚的・聴覚的手段を通じた情報獲得の困難さ、外国籍住民は、日本語コミュニケーション能力の欠如や被災経験の少なさが挙げられる。

一方、阪神淡路大地震の後、気象庁は地震対策の一つとして、光ファイバーでネットワーク化された地震計を日本全国約 1000 カ所に設置し、リアルタイムに地震の震度と到達時間を情報配信できる緊急地震速報システムを整備している。実用化されている緊急地震速報システム向端末の多くは、日本語音声の再生や、液晶表示である。そのため、健常な日本人であれば、得られる地震情報から判断して、速やかに避難することができるが、言語の問題や身体にハンディーキャップを有する外国籍住民や障害者は、避難行動が困難であると推察される。

そこで、本研究では、集合住宅に住む災害時要援護者を対象としたユニバーサルな避難行動の伝達手段が必要であると考え、リアルタイム地震情報とロボット技術を利用し、避難行動支援を目的とした防災ロボットの検討を行う。

並行して、本学の防災キャンパス構想実現に向けた現場投入型レスキューロボットの開発を行う。現在研究されているレスキューロボットは、高難易度の不整地を走破するために、操縦者の操縦によって変形する能動クローラ機構が搭載されている。不整地踏破には、能動クローラが非常に高い効果を発揮するが、操縦者の熟練を要するため、操縦者への負担が増加する。そのため、レスキューロボットの配備数が増加したとしても、操縦者の確保が問題となる。そこで、外力によって変形する受動クローラ機構を導入することにより、操縦者への負担を減らすことができると考えられる。そこで本研究では、受動クローラを有し、遠隔操縦支援を行うことで、レスキューロボットの不整地走破性の向上を図る。

2. 地震情報のユニバーサル化

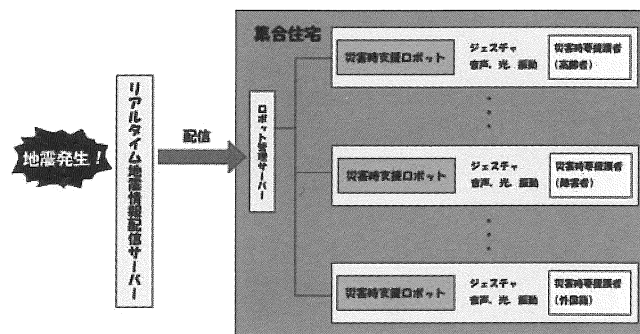
外国籍住民を対象とした災害に関する基本的な意識啓発や災害情報の的確な伝達、避難所生活の支援や安否情報の提供に関しては、必ずしも十分な対策が講じられていないのが現状である [1]。そこで、外国籍の住人がどの程度の地震に対する知識と経験の有無について、東海地方の企業で雇用される外国人労働者の地震災害に関する意識調査（2009年3月実施）によると、外国籍住人の約半数が地震に関する知識に乏しいことが分かる [2]。これまでに市販されている緊急地震速報を利用した情報提示端末は、いずれも音や光、絵文字などで震度、到達時間を知らせているが、外国籍住民に対して、震度や到達時間を知らされるだけでは、どのような行動を行ったら良いのかがわからないことがあると懸念される。そこで、災害時要援護者に対して、具体的な避難行動を指示することが必要になってくるものとする。

ノースカロライナ州立大学の故ロナウド・メイス教授は「最大限可能な限り、すべての人々に利用しやすい製品と環境のデザイン」とユニバーサルデザインを定義している。一方、日常生活の場で働くロボットは、人間と

対話しながら、人間からの要求を理解し、与えられたタスクを実行するというものである。しかし、対話そのものもロボットの重要な機能である。ロボットとの対話を通して、コミュニケーションだけでなく、種々の情報提供サービスを行うことができる。このように考えれば、ロボットも新しい媒体、メディアとみなすことができる。そこで、災害時要援護者に地震情報を伝達する際に、ユニバーサルデザインの原則にある「単純で直感的であること」をコンセプトとし、ロボットのモーションを伝達手段の一つとして採用することとした。本研究では、ユニバーサルに地震情報を伝達する手段として、効果音、音声、光、ジェスチャーを取り上げ、それぞれの特徴を整理した。効果音の特徴は、耳が不自由な人以外の利用者が気付き易いことである。また、効果音は、警告や警報に用いられるため、危険だというイメージを直感的に伝えることができる。しかし、効果音は単純であるため、避難行動や地震の情報を詳しく伝えることができない。音声の特徴は、震度や猶予時間、具体的な避難行動、災害情報を伝えることができる。しかし、効果音と同様に、耳が不自由な人や、言語が分からない外国籍住人に伝えることができない。光の特徴は、耳が不自由な人や、言語が分からない外国籍住人に伝えることができることである。暗い場所でも気付き易く、色数と点滅速度で利用者に伝えることができる。また、複数のLEDで絵を表現することも可能である。ジェスチャーの特徴は、避難行動を直感的に伝えることができることである。

3. 災害時避難行動支援ロボット

本研究では、リアルタイム地震情報を利用し、災害要救助者に対して避難行動を支援するロボットを「災害時避難行動支援ロボット」と定義する。災害時避難行動支援ロボットは、集合住宅に設置され、集合住宅住人を対象に、災害発生時の地震情報と避難行動をユニバーサルに伝達することを目標とする。集合住宅に設置されているロボット管理サーバに送信されるリアルタイム地震情報をもとに算出される危険度のレベルに応じた伝達手段をロボットに転送し、地震情報や避難行動に利用者に伝達するシステムである。震度と猶予時間を数値化し、それぞれを掛け合わせた数値を危険度と定義した。表に示すように6段階とした。



図：システム構成

震度	数値	猶予時間[秒]	数値	数値	危険度
7	10	1~6未満	10	70~100	6
6強	9	6~8未満	7	50~69	5
6弱	8	8~11未満	5	30~49	4
5強	7	11~21未満	3	20~29	3
5弱	6	21以上	1	10~19	2
4	5			1~9	1
3	4				
2	3				
1	2				
0	1				

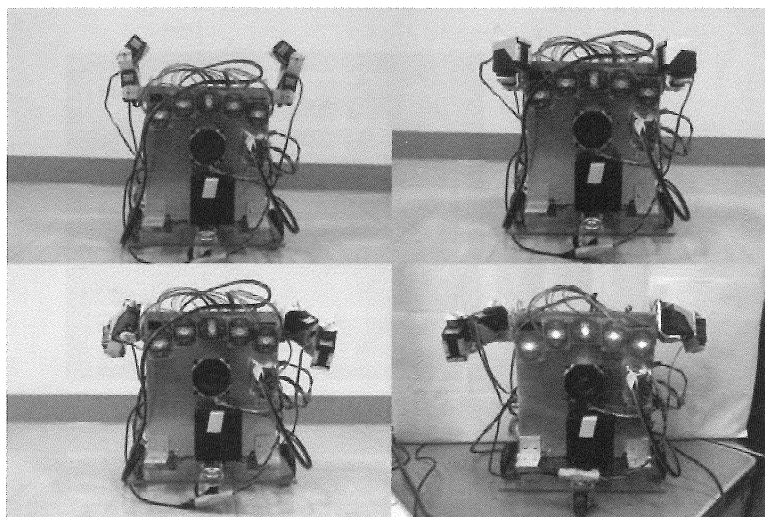
表：危険度と震度および猶予時間の定量化

試作したロボットは、スピーカーおよびフルカラーLEDを搭載しているため、効果音の再生、音声合成による地震情報の音声再生、様々な色の点灯・点滅が可能である。そして、双腕と車輪を有するロボットでジェスチャーを行うことができる。地震情報と避難行動を利用者に伝える際、「危険度」と「避難行動」を伝達する。音声で両者の情報を伝えるとともに、危険度については、気づき易い「効果音」と「光」を採用する。避難行動はロボットでしか表現できない「ジェスチャー」で表現し、避難行動を支援することとした。試作したロボットの大きさは、幅24cm、奥行き20cm、高さ25cm、重さは2.70kgである。

5. 評価実験

本学学生を対象に、アンケート調査を行った。今回、ユニバーサルな伝達手段を考慮した災害時避難行動支援ロボットの試作を行い、回答者に、危険度に関する色とその点滅スピードとの関係性、ロボットによるジェスチャーについて、試作ロボットを用いたいくつかの動作を見せるとともに、感想を記入してもらった。研究室Aから10名、研究室Bから1名、サークルから5名の合計16名に対してアンケートを行った。

アンケート結果より、危険を表す色のイメージは、赤、黄、緑、青、白の順番に危険だと感じる事が分かった。しかし、この色のイメージに点滅スピードの要素が加わると、「赤：点滅スピードが遅い」より「黄：点滅スピードが速い」の方が危険と感じる人が数人いたため、色情報だけでなく、点滅スピードによって危険度のイメージが変わってくるということが分かった。ジェスチャーに関しては、「逃げろ」を表現したロボットのポーズについては、「逃げろ」もしくは「避難しろ」を連想しやすいことが分かった。しかし、「頭を守れ」と「隠れろ」については、25%の人が、逆に回答していた。特に、「隠れろ」のポーズがよく分からないと答える人が多く、「机をたたく」という回答も見受けられた。したがって、「隠れろ」については、根本的にポーズを変えるか、音声による支援が必要であると考えられる。



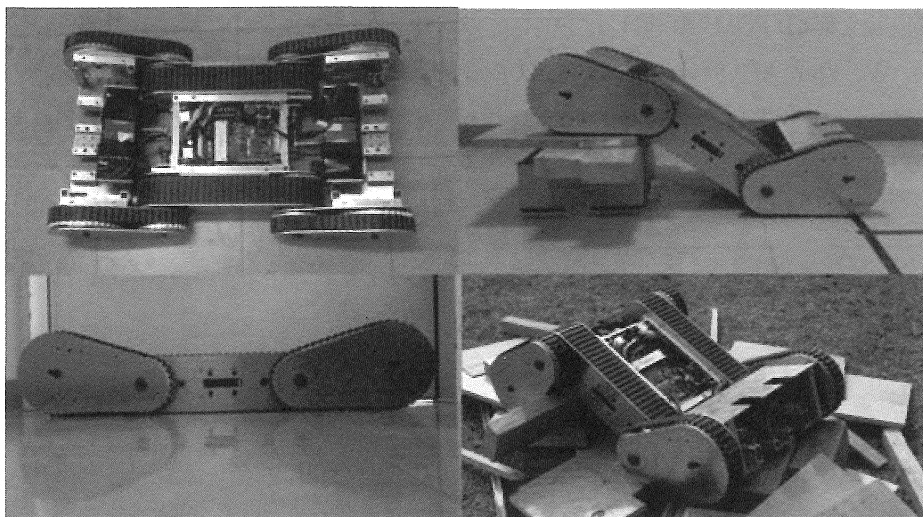
図：試作ロボットによる情報伝達例（左上：頭を守れ，右上：隠れろ，左下：逃げろ，右下：危険度6）

6. 受動クローラを有するレスキューロボットの開発

現在研究されているレスキューロボットは、高難易度の不整地を走破するために、操縦者の操縦によって変形する能動機構が搭載されている。不整地踏破には、能動機構が非常に高い効果を発揮するが、操縦者は操作の練習を行い熟練の動作を身につける必要があり、操縦者への負担が増えてしまうため操作には時間がかかってしまう。そのため、レスキューロボットの配備数が増加したとしても、操縦者の確保が問題となる。そこで、外力によって変形する受動機構が操縦者への負担を減らすことができると考えられる。そこで、本研究は、受動クロー

ーラを搭載し、遠隔操縦支援を行うことで、レスキューロボットの不整地走破性の向上を目指すものである。受動クローラを採用しているレスキューロボットは、新潟工科大学の BLUE-R2[3] や KAIST の ROBHAZ-DT3[4] が挙げられる。被災現場でガレキに大きな力を加えることは 2 次災害の危険性に繋がる恐れがある。ロボットが地面に与える接地圧 P は、接地面積 A 、ロボットの重量 N とすると $P=N/A$ の関係がある。同重量のロボット同士なら、接地面積が大きいほうが接地圧の軽減に繋がる。受動機構は地形に合わせて変形する特性があるため、受動機構を持ったロボットの接地点接地点が多くなるため、接地面積が増加し、接地圧の軽減が期待できると考えられる。また、能動機構を持ったロボットはセンサを用いて段差を認識する必要があり、能動させるための機構や動力が必要であるが、受動機構を持ったロボットは障害物に合わせて変形する機構なのでセンサを用いて障害物を認識する必要がない。受動機構の欠点として、クローラが自由に回転する範囲である受動幅を大きく取りすぎるとメインクローラと受動クローラが干渉して行動不能になる。また、受動機構で可動するクローラの重量が軽量になると路面とうまく接地せず空転してしまう。この欠点の解消するためには段差を登るのに必要な受動幅だけを残し、行動不能を回避する必要がある。また、模型による実験より受動クローラの重量が小さいと地面とベルトが接地せず、駆動力をうまく地面に伝えることが出来なかった。よって、受動クローラの重量を大きくする必要がある。

試作ロボットの外観を図に示す。寸法は、全長 710 × 幅 390 × 高 145 [mm]、重量は 19.5kg となった。



図：試作ロボット外観

7. 評価実験および考察

矩型段差、階段状連続段差、不整地および傾斜路の走破性検証実験を行った。矩型段差を 10 mm 毎に高くしていき、限界踏破高さを評価した。移動速度は 0.2 m/sec 一定とした。段差高さが 50 mm の場合は段差の形状に合わせて受動クローラが動いていることが確認された。しかし、段差高さが 90 mm の場合、角度が 90 度を越えてしまい受動クローラが本体に干渉してしまい、踏破が不可能であった。そこで、受動動作の可動範囲を制限することにした。受動クローラの可動角度を 90 度に制限することにより、段差踏破性能の向上が確認された。しかし、段差高さが 100 mm の場合、受動クローラ部重心とロボット本体重心との位置関係から、段差踏破できなくなってしまった。そこで、さらに制限角度を 45 度にしたところ、100mm の段差に対して、踏破が可能であることが確認された。段差高さ 150[mm] の場合は、受動クローラに関する制限角度を前後で異なる角度（前

方 60 度、後方 45 度) に設定することにより、踏破が可能であった。したがって、受動クローラを導入する際、可動範囲が段差踏破性能に影響を及ぼすことが確認された。階段踏破を想定した連続段差踏破実験では、ステップ幅によって、踏破可否が左右されることが確認された。

8. まとめ

本論文では、避難行動支援を目的とした防災ロボットの検討および試作を行った。また、受動クローラを有するレスキューロボットの設計・製作を行い、不整地走破に対する受動クローラ、速度制御の効果に関する検証を行った。前者に関しては、ロボットの改良を進めるとともに、外国籍住民に対するヒアリングおよび評価実験を実施して行く予定である。後者に関しては、改良・改善を行うとともに、カメラやマイク、各種センサなどを搭載し、現場投入を目指す。

参考文献

- [1] 総務省, 多文化共生の推進に関する研究会報告書 2007, 2007.
- [2] 阿部亮吾, 早川澄男, 川口祐有子, 外国陣労働者の地震災害意識調査 - 東海地方の製造業 A 社を事例に -, 愛知工業大学地域防災研究センター, pp. 28-32, 2009.
- [3] 結城健太, 五十嵐健生, 大金一二, レスキューロボットにおける受動機構の有効性について, 第 28 回日本ロボット学会学術講演論文集 CD-ROM, AC3G1-4, 2010.
- [4] Kang, S., Lee, W., Kim, M., Shin, K., ROBHAZ-Rescue : Rough-Terrain Negotiable Teleoperated Mobile Robot for Rescue Mission, IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2005), pp. 105-110, 2005.