

介護ロボットによる災害時の高齢者施設内の避難方法の標準化

代表研究者 東北工業大学建築学部建築学科 教授 鍵屋 浩司

【抄録】

日常の介護に導入されつつある自律走行車いす等の介護ロボットを、火災等の災害時に高齢者施設等の施設内の自力避難困難者の避難を想定した実験を行い、施設内の避難誘導において有すべき要件やこれらを活用する施設の設計指針や介護ロボットを活用した標準的な避難方法・要求される機能を提示する。

高齢者施設へのヒアリング調査によって、火災時の避難誘導方法の考え方について整理するとともに、施設の廊下やエレベータを自動運転車いすが移動する状況を模擬した実験を行い、ロボットの移動に必要な廊下幅や扉幅について検証を行った。

1. 研究の目的

1-1 研究の背景

超高齢社会に突入した我が国は、10年後に人口の3人に一人が65歳以上になることが予測されている。そして、現行の建築物等の施設の避難安全規定や建築防災計画は健常者を標準としており、今後は身体能力や空間認知能力が低下した自力避難困難者が大半を占めることが予想される。

このため、この避難安全規定が要求する水準と同等な避難安全性を将来にわたって確保するには、より高度な避難安全性を確保する方法が必要である。一方、介護分野では、装着して身体能力を補完するロボットや、超高齢社会の老老介護や介護人材不足に対応するために、近年、様々な介護ロボットが実用化（図1）され高齢者施設に導入されている。

これらの介護ロボットは、日常の介護支援のために実用化されているが、今後、非常時に介護ロボットを避難に利用する場合に、自力避難困難者を含むすべての建物利用者が円滑に避難できるように、廊下やエレベータ内を移動する条件などの避難方法の標準化が必要不可欠である。

本研究の代表研究者らは、建物内の自力避難困難者の避難における介護ロボットの活用方法とその有効性を実験的に検証してきた（図2a,b、文末の既往発表文献を参照）。



図 2a 離床支援ロボットによって高齢者に見立てた人形を居室から廊下へ搬送する様子

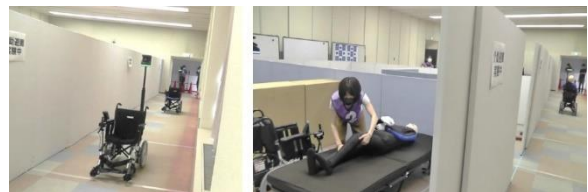


図 2b 自動運転車いすによる、高齢者施設を模擬した水平避難実験

また、介護ロボットには自動運転車いすや、見守りロボットのように自律走行機能を持ったものが建物内で普及しはじめている。その他のロボットとしては清掃ロボットや警備ロボット、搬送ロボットがあげられる（図3）。



警備ロボット <https://drone-journal.impress.co.jp/docs/news/1183732.html> 宅配ロボット https://www.zmp.co.jp/news/pressrelease_20190313 清掃除菌ロボット https://www.moniyas.co.jp/products/environment_whiz/ 自動運転車いす <https://jdouten-lab.com/ja/whill-haneda-airport-first>

図 3 自律走行ロボットの例



図 1 介護ロボットの例

（左：離床支援ロボット、中：装着型ロボット、右：自動運転車いす）

この自律走行するロボットとは自分の現在位置と経路上の障害物を自ら検知しながら走行するロボットであり、一般的には走行する経路をあらかじめロボットが記憶して、その経路上の障害物をセンサで感知しながら走行するものである（図4）。



図4 走行ロボットと自律走行ロボット

(正木良三『自律走行ロボットの制御技術・モータ制御からSLAM技術まで』(科学技術出版)を参考に作成)

しかしながら、現在のところ、高齢者施設や病院などの施設内での移動において、自律走行するロボットの移動方法のルールが整備されていないのが実情である。

このため、少なくとも火災等の災害時に、建物内の在館者の避難にあたって、ロボットが避難経路をふさぐ等により、建築基準法が担保している建築物の安全性を損なわないようにする必要がある。

1-2 研究の目的

本研究は、日常の介護に使われている自律走行車いす等の介護ロボットを火災等の災害時に高齢者施設等の施設内の自力避難困難者の避難を想定した実験を行い、避難方法の標準化を行うものである。

これにより、施設内の避難誘導において有すべき要件やこれらを活用する施設の設計指針や介護ロボットを活用した標準的な避難誘導方法を提示して、高齢者施設の高度な避難安全性を確保する技術の開発・社会実装を促進する。

2. 研究方法と経過

2-1 高齢者施設の災害時の避難誘導方法の実態調査

高齢者施設を対象に、災害時の避難誘導方法の実態をヒアリング調査して、夜間等の介助者が不足する時間帯等の自力避難困難者の避難誘導上の介護ロボットの運用上の課題および介護ロボットを災害時の施設内の避難に活用するための介護ロボットの機能及び建築物側に要求される条件を明確化する。

2-2 介護ロボットによる避難誘導を模擬した実験と標準的な避難方法の検討

2-1での検討をふまえて、自律走行車いす等の介護ロボットを活用して、高齢者施設における自力避難困難者の避難を迅速かつ円滑にする実証実験を、高齢者施設の居室や廊下を模擬して介助避難実験を行って、その結果を分析して施設内の避難誘導において介護ロボットや

施設が有すべき要件やこれらを活用する施設の標準的な避難誘導方法を提示する。

3. 研究の成果

3-1 災害時の避難誘導方法の実態調査

過去に研究代表者は、利用者150名の5階建ての介護老人保健施設を調査していたため、本研究では小規模で施設数が多い、いずれも青森県の2階建ての利用者20名弱のグループホームと有料老人ホームの調査を行った。

その結果、規模の大きな高齢者施設では、各フロアが防火区画で二分されていることが多く、火災の場合は防火区画を形成する廊下の防火戸を越えて避難すれば一定時間はその階で待機できる。小規模施設の場合は、防火区画が要求されない場合があり、廊下の避難のほかエレベータや階段などによる地上までの垂直避難が必要になる。

ただし、いずれも居室内にスプリンクラーの設置が要求されるため、居室内で出火してもスプリンクラーによって急激な延焼拡大は抑制されると考えられる。施設管理者も居室での火災時のスプリンクラーの稼働については信頼しており、自力避難困難者は階段付近で待機させて速やかに介助者が地上に下ろすことが基本になるとのことだった。

3-2 介護ロボットによる避難誘導を模擬した実験と標準的な避難方法の検討

東北工業大学の教室に、段ボール製の簡易パーティションによって、高齢者施設の廊下やエレベータのかごを模擬した段ボール製の壁を配置(図4)した。さらに、その中を介護訓練用人形を乗せた自動運転車いすを模擬した実験装置(図5)を手押しで移動させて、廊下やエレベータ乗車にあたって自動運転での通行可能性を評価した。



図4 廊下とエレベータを再現した配置

実験条件として、その廊下の幅や扉の幅を施設の実態を再現して配置し、自動運転車いすは施設内の経路をあらかじめ入力されており、障害物のセンサとして本体から 30cm の範囲の障害物を検知すると停止する前提で実験した。

実験で再現した廊下幅は 2.1m、1.8m、1.6m、1.2m とし、エレベータは一般的な 7 人乗り(扉幅 800mm)、ストレッチャーが乗車可能な 15 人乗り(扉幅 1200mm)を再現した(図 6a,b)。

なお、これらのエレベータの扉幅は、一般的な高齢者施設の居室の扉幅と同程度である。



図 5 自動運転車いすを模擬した装置(プラスチック棒はセンサの感知範囲を模擬したもの)

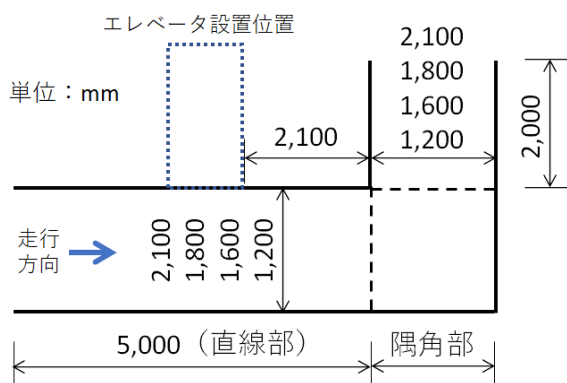


図 6a 廊下の形状

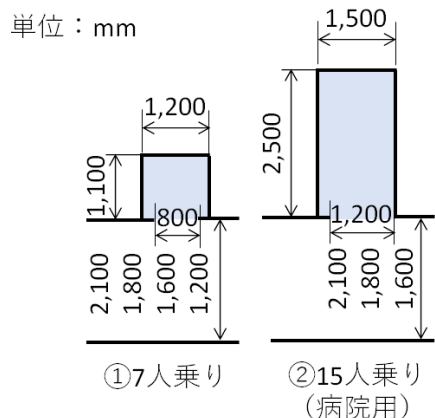


図 6b エレベータの形状



図 7 幅 1.8m の廊下での歩行者とのすれ違い



図 8 エレベータの扉幅による乗車進入実験(左:扉幅 800mm、右:1,200mm)

実験の結果を表 1 に示す。自動運転時のセンサの感知距離を外寸から 30cm(感知範囲の全幅 110cm)とした、自動運転車いすの移動に必要な廊下幅や扉幅は以下の通り。自動運転車いすが、在館者とのすれ違い(図 7)を前提に自動運転で通行可能な廊下幅は概ね 1.8m 以上であり、これ未満の廊下幅では、歩行時間や通路の分離、自動運転を一時的に手動搬送に切り替える必要がある。

また、自動運転車いすが自動運転で進入可能な扉幅は概ね 120cm 以上であり(図 8)、これ未満の扉幅では、エレベータの利用時間やエレベータの区分、自動運転を一時的に手動運転や手動搬送に切り替える必要がある。

実験で得られた通行可能な廊下幅 180 cm 扉幅 120 cm 以上という数値では、自動運転車いすを使用できる施設や条件が多く制限される可能性がある。

表 1 実験結果

(○:自動運転で通行可能、×:困難)

走行部分	実験条件	廊下幅(mm)			
		1,200	1,600	1,800	2,100
廊下直線部	歩行者:無	○	○	○	○
	歩行者:有	×	×	○	○
廊下隅角部	歩行者:無	○	○	○	○
	歩行者:有(内側)	×	×	○	○
	歩行者:有(外側)	×	×	○	○
EVへの進入	①扉幅800mm	×	×	×	×
	②扉幅1,200mm	○	○	○	○

4. 今後の課題

課題として、実験の条件であるセンサの感知範囲（本実験では 30cm とした）や自動運転車いすの速度に段階を設け、センサが障害物を感知すると、自動運転車いすが乗っている利用者に恐怖感を与えないように安全に減速して一時停止できる条件を明確化する。

加えてあらかじめ自動運転システムに入力されている施設内の経路上に静止している障害物や扉、壁をセンサが感知した場合に限り AI で停止条件を緩和することで、通行可能な廊下幅や扉幅の範囲が広がりより多くの場面で自動運転車いすが通行可能になると考えられる。

自動運転車いすが実験で走行可能だった廊下幅 1800mm 扉幅 1200mm での災害時の避難誘導を想定した場合、15 人乗りエレベータの乗車可能台数は自動運転車いすのセンサが稼働している場合は 1 台であり、センサを停止させ手動で乗車させた場合は 2 台と見込まれる。

迅速な避難誘導が求められる火災等の災害時において、自動運転車いすが歩行速度と同程度の移動速度であることに加え一台しか乗車できないといった理由から、災害時には防火区画された非常用エレベータの付室といった待機場所（いわゆる安全区画）への一次避難が現実的である。

さらに、センサが感知した対象物に動きがある場合とない場合に分けて減速条件や停止条件を緩和すること、自動運転車いす同士が互いを認識・通信することにより、追従走行をはじめ、すれ違いやエレベータへの乗車時などの効率的な自動運転が可能になると考えられる。

とりわけ、様々な自律走行ロボット同士が通信して互いを認識することと、その際の走行パターン（図 9）による走行ルールの整備が必要

であろう。

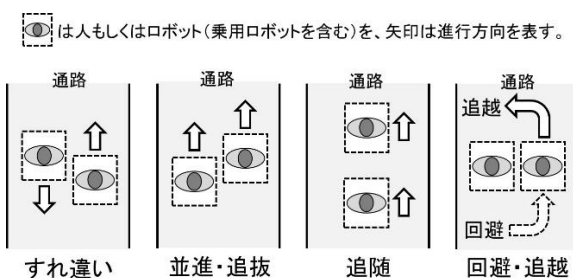


図 9 人やロボットの通路での走行パターン

5. 研究成果の公表方法

日本建築学会、日本火災学会等で発表する予定である。

【謝辞】

本研究は三井住友海上福祉財団研究助成「介護ロボットによる災害時の高齢者施設内の避難方法の標準化（研究代表者：鍵屋浩司）」によるものである。実験に協力頂いた大友玲緒君ほか研究室学生に謝意を表します。

【代表研究者らによる関連する既発表文献】

- 1) 河合、鍵屋他：自動運転車いすによる居室避難を想定した搬送時間の実測、日本建築学会大会学術講演梗概集、2022.9
- 2) 鍵屋、河合他：介護ロボットによる居室避難を想定した搬送時間の実測、建築学会大会学術講演梗概集、2021.9
- 3) 鍵屋、山海：センサやロボット技術を活用した避難のための基礎的検討、建築学会大会学術講演梗概集（防火）、2020.9
- 4) 鍵屋、山海：高度な避難安全確保のためのセンサやロボット技術の活用可能性、建築学会大会学術講演梗概集、2019.9

Standardization of evacuation methods in facilities for the elderly in the event of a disaster using nursing care robots

Primary Researcher: Koji Kagiya
Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture,
Tohoku Institute of Technology

Nursing care robots such as autonomous driving wheelchairs, which are being introduced to daily nursing care, are used in experiments assuming evacuation of people who have difficulty evacuating on their own in facilities such as elderly care facilities in the event of a disaster such as a fire. It presents the requirements to be implemented, design guidelines for facilities that utilize these, standard evacuation methods using nursing care robots, and required functions. Based on interviews with elderly care facilities, the general concept of evacuation guidance methods in the event of a fire is shown. We also conducted an experiment simulating the movement of an autonomous wheelchair through the corridors and elevators of the facility, and verified the corridor width and door width necessary for the movement of the robot.