

センサやロボット技術を活用した 高度な避難安全性確保の可能性

鍵屋 浩司

国立研究開発法人建築研究所 防火研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

本研究は、日常生活で実用化されているスマートフォン等のセンサや介護用ロボットを活用して、火災等の災害時に施設内の高齢者等の避難弱者を含むすべての在館者の避難をしやすいように機能拡張したプロトタイプを建築物に実装して、実証実験を行うものである。

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を提示して、建築物等の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。本稿では、現在実施中の研究概要と今後の展開を紹介する。

キーワード センサ、スマートフォン、介護用ロボット、避難誘導、介助避難、避難弱者

1. はじめに

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(図-1)。

現在、建築防災計画は健康者を標準として計画されてきたが、超高齢社会では、身体能力が健康者よりも低下した避難弱者(自力避難が困難でその円滑かつ迅速な避難に支援を要する者)が大半を占めることが予想される。

このため、将来にわたって現行の防火規定で要求される水準と同等な避難安全性を確保するためには、より高度な避難安全性を確保することが必要である。

また、超高層建築物群や駅・地下街等の大規模施設に見られる機能の重層・複合化、建築ストックの長寿化、バリアフリー化への社会的要請に対して、様々な用途や多様な在館者特性に柔軟に対応できる避難誘導技術が必要不可欠と考える。

火災時の避難安全に関する技術的背景として、従来、火災の発生は火災報知器で在館者に知らされるが、建築物のどこでどのくらいの範囲で発生しているかは、防災センター等で受信される煙感知器や熱感知器の作動状況以外では即座に把握することは困難である。

このため特に大規模施設では在館者の火災覚知や避難開始の遅れ、避難経路の誤認、不特定多数の在館者の避難行動の混乱につながる可能性がある。

一方、近年のセンサ技術や情報通信技術の飛躍的進歩によって、高性能の感知・制御技術が普及するとともに、装着型・介護ロボット技術も実用化されている。

そこで、本研究ではメーカーとの共同研究等によって、実用化されているセンサやロボット技術を活用して、避難弱者を含むすべての在館者の火災時の避難を迅速かつ円滑にするように機能拡張したプロトタイプを建築物に実装して実証実験を行い、建築物等の施設の高度な避難安全性を確保する技術の開発を促進するものである。



図-1 高齢者人口と割合の実態と推計
(内閣府、平成30年度版高齢社会白書から作成)

2. センサやロボット技術を活用した避難安全技術

本研究では、以下の避難誘導技術のプロトタイプを構築して実証実験を行い、これらに要求される機能・性能等の技術基準の枠組みを構築することを構想している。

(1) 避難ナビゲーションシステム

超高層建築物群や都心の駅、地下街等の大規模施設において、火災感知器に空調・防犯センサ等を連携させて、火災時に火災による熱や煙の影響を受けている範囲などを即座にかつきめ細かく把握して、在館者のスマホやデ

デジタルサイネージ（電子看板）等にリアルタイムで有効な避難経路等の情報を提供する技術（図-2）である。



スマホで火災の状況に応じてリアルタイムに避難誘導するイメージ

人感センサ・防犯カメラ（屋内に設置されているセンサの例）

図-2 避難ナビゲーションシステムのイメージ

(2) 介護用ロボットを活用した避難技術

超高齢社会では、自力避難が困難な要介護者が火災等の災害時に避難しやすくするための技術開発がなお一層求められる。そこで、すでに普及が進みつつある介護用ロボット²⁾（表-1、図-3）に着目して、避難支援用に追加すべき機能や、ロボットが稼働する高齢者福祉施設や病院などの設計指針について検討する。

表-1 ロボット技術の介護利用における開発等の重点分野²⁾
（厚生労働省・経済産業省）

1. 乗介助	<ul style="list-style-type: none"> ロボット技術を用いて介助者のパワーアシストを行う装着型の機器 ロボット技術を用いて介助者による抱え上げ動作のパワーアシストを行う非装着型の機器
2. 移動介助	<ul style="list-style-type: none"> 高齢者等の外出をサポートし、荷物等を安全に運搬できるロボット技術を用いた歩行支援機器 高齢者等の屋内移動や立ち座りをサポートし、特にトイレへの往復やトイレ内での姿勢保持を支援するロボット技術を用いた歩行支援機器 高齢者等の外出等をサポートし、転倒予防や歩行等を補助するロボット技術を用いた装着型の移動支援機器
3. 排泄支援	<ul style="list-style-type: none"> 排泄物の処理にロボット技術を用いた設置位置の調整可能なトイレ ロボット技術を用いて排泄を予測し、的確なタイミングでトイレへ誘導する機器 ロボット技術を用いてトイレ内での下衣の着脱等の排泄の一連の動作を支援する機器
4. 見守り・コミュニケーション	<ul style="list-style-type: none"> 介護施設において使用する、センサーや外部通信機能を備えたロボット技術を用いた機器のプラットフォーム 在宅介護において使用する、転倒検知センサーや外部通信機能を備えたロボット技術を用いた機器のプラットフォーム 高齢者等とのコミュニケーションにロボット技術を用いた生活支援機器
5. 入浴支援	<ul style="list-style-type: none"> ロボット技術を用いて浴槽に入浴する際の一連の動作を支援する機器
6. 介護業務支援	<ul style="list-style-type: none"> ロボット技術を用いて、見守り、移動支援、排泄支援をはじめとする介護業務に伴う情報を収集・蓄積

し、それを基に、高齢者等の必要な支援に活用することを可能とする機器



図-3 実用化されている介護用ロボットの例

3. 機能拡張上の課題の整理

(1) 機能拡張の考え方

避難ナビゲーションシステムや介護用ロボットを活用した避難誘導技術のプロトタイプ構築にあたり、それらに求められる機能を明確にする必要がある。例えば、避難に要する時間に応じてシステムを機能維持するための電源の確保やシステムの省電力化が必須である。

そこで目的に応じた要求性能を明確にするための試みとして避難に要する時間と空間（移動距離）を整理したもの³⁾を図-4に示す。また、建築物単体を越えた避難にあたって避難誘導のスケールに応じて自助・共助・公助の位置づけの整理も必要である。

さらに、介護ロボットを活用した避難誘導について、施設内の自律走行も想定して、開発が急速に進んでいる自動車の自動運転技術のレベル⁴⁾を参考に、避難方法を整理³⁾した（表-2）。

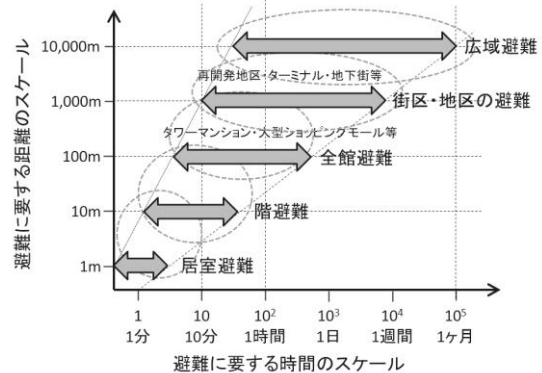


図-4 避難に関する時間と空間のスケール³⁾

表-2 自動車の自動運転化レベルとロボットを活用した避難³⁾

レベル	運転の主体	自動車の運転内容	ロボットを活用した避難
0	運転者	運転支援・自動化機能のない一般的な自動車	利用者・介助者が避難にかかる全ての行動を実行
1	運転支援	自動ブレーキ、車線逸脱防止機能等の運転支援	利用者・介助者の特定の避難行動を支援
2	部分運転自動化	限定された領域での部分的な自動運転で、運転者がシステムを監督	限定された領域での部分的な自動避難で利用者・介助者がシステムを監督
3	条件付運転自動化 (緊急時に対応可能な運転者)	限定された領域での自動運転で、緊急時以外はシステムが運転	限定された領域内を自動で避難。動作が中断された場合に介助者等が補助
4	高度運転自動化	限定された領域のみシステムが自動運転	限定された領域内の安全な場所まで自動で避難
5	完全運転自動化	運転者が不要な、完全な自動運転	屋外の安全な場所まで自動で避難

(2) メーカーの開発担当者へのヒアリング

実用化されているセンサ技術や介護用ロボットの避難誘導への機能拡張上の技術的課題や市場性について、それぞれのメーカーの開発担当者へのヒアリングを行った。

ヒアリングの方法は、本研究¹⁾の内容を説明した上で、各メーカーで実用化しているセンサやロボット技術の避難誘導への機能拡張の可能性について意見交換を行った。その結果、いずれも避難誘導は想定されていなかったが、機能拡張には興味を持っており、その市場性ととも、それぞれの技術の課題も明らかになった（表-3,4）。

表-3 センサ技術の避難誘導への適用上の課題

センサ技術の例	特徴	避難誘導への機能拡張上の課題(例)
AR(拡張現実)ナビゲーション	GPSが使えない屋内でスマホに表示された前方の視野に、目的地に向かう経路をリアルタイムに表示して誘導する	人混みの中を歩くような前方の見通しが確保できない場合は誘導できない
AIによる画像認識	駅等の施設で不特定多数の利用者の動きを防犯カメラの映像でリアルタイムに分析して異常を即座に検知する	避難が必要となる異常時の画像の状況をAIに適切に学習させることが必要
行動分析センサ	高齢者福祉施設や病院等の個室で在室者の動作をプライバシーに配慮しつつ見守る	停電時の電源の確保

表-4 介護用ロボットの避難誘導への適用上の課題

ロボット技術の例	特徴	避難誘導への機能拡張上の課題(例)
離床支援ロボット	ベッドの半分が車いすとして分離することにより、車いすとの移乗時の負担を軽減する	移乗の時間は短縮できるが、介助者による水平移動を前提に開発
自律走行車いす	周囲の状況を判断しながら目的地に向かって自動走行する	人混みの中では、自律走行が困難
装着型ロボット	身体に装着して歩行等の自律行動を支援する	パニック防止のため避難弱者ではなく、介助者が装着する方が現実的

4. スマートフォンによる大規模施設内の避難誘導

スマートフォン（スマホ）の普及や通信環境の発達によって、動画など膨大な情報がどこでも即座にやり取りできるようになってきている。

そこで、地下街などの複雑な大規模施設で火災などの災害が発生したときに、リアルタイムでスマホの画面に非常口までの避難経路をわかりやすく示して誘導する方法（図-5）を研究している。

まず、その可能性を検討するために、実験上の安全確保を前提に、スマホの使い方が歩行速度に及ぼす影響を建築研究所の廊下や階段を使って実験²⁾した（図-6,7）。

実験の方法は、20～56歳までの成人男女12名（表-2）が、廊下や階段の歩行コース（図-8）を通常の歩行のほか、前方の視野を表示させたスマホの画面（図-9）を見ながら歩く場合（「視野付きながら」）とスマホの画面で文字を打ちながら歩く場合（「文字打ちながら」）について、それぞれ廊下や階段を歩く速度をビデオカメラで撮影して測定した。

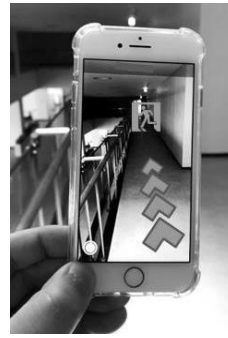


図-5 避難誘導のイメージ

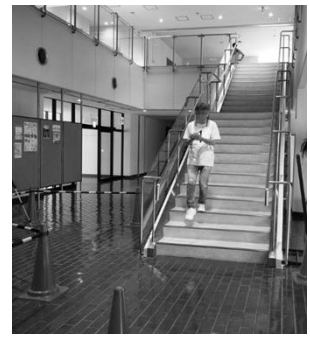


図-6 階段の歩行実験の様子

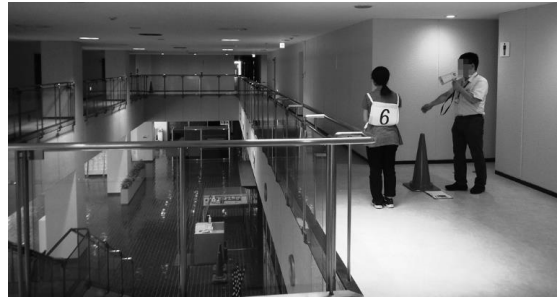
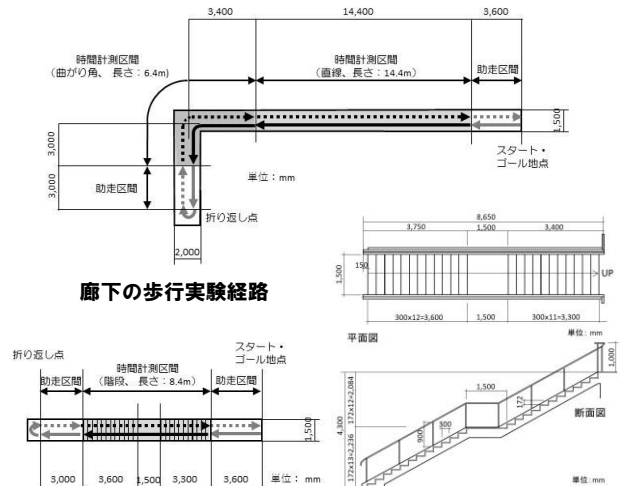


図-7 廊下の歩行実験の様子



廊下の歩行実験経路

階段の詳細図

図-8 実験の歩行コース（廊下・階段）

表-2 実験参加者リスト

No.	年齢	性別	身長 [cm]
1	56	男	168
2	32	男	177
3	33	男	161
4	35	女	158
5	36	女	168
6	20	女	154
7	44	男	167
8	26	女	159
9	24	男	173
10	30	男	166
11	24	男	173
12	46	男	172
平均身長			166.3



図-9 「視野付きながら」の画面

その結果、例えば「文字打ちながら」の場合の歩行速度は、通常の歩行速度より約15～30%低下したが、「視野付きながら」の場合、廊下を歩く速度については7%の低下であり、通常歩行に対して速度低下の幅が最も小さいことがわかった（図-10）。

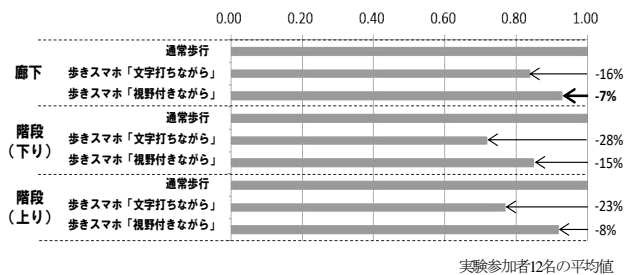


図-10 通常歩行に対する歩きスマホの歩行速度の割合

これは大規模施設内の廊下などの水平方向の避難誘導に、前方の視野をスマホの画面に表示させて避難誘導する技術の見通しをつけるものと考えられ、引き続き具体的な誘導方法などについて研究を行っている。

5. 介護用ロボットを活用した施設内の避難

高齢者福祉施設や病院において、自力避難が困難な要介護者が、火災等の災害時に避難しやすくするための研究を行っている。

従来、避難方法はベッド上の要介護者を複数の介助者が車いすやストレッチャー等に寄せかえたり、ベッドごと搬送する方法が取られており、介助者の身体的負担や人員確保が日常業務を含めて課題になっている。

そこで普及が進みつつある介護用ロボットに着目して、日常的な介護の使用のほか、災害時には避難にも活用するために追加すべき機能や、ロボットが稼働するこれらの施設の設計上の要件を明らかにするために、介護用ロボットを使った避難を模擬した実験を行っている。

事例として今年9月に建築研究所の実験施設で行った、介護用ロボットを使った避難実験を紹介する。実験では実用化されている介護用ロボットの例として、ベッドの一部が電動で分離・変形して車いすになる離床支援ロボット（図-11）を使用した。このように介護用ロボットを、自力避難困難者（自力で歩行することが困難な人）の避難に応用する実験は前例がない。



図-11 離床支援ロボット 図-12 要介護者（介護訓練用人形）

実験の方法は、離床支援ロボットのベッドに横たわる要介護者（介護訓練用人形、図-12）を、介助者役の20歳代の男女と40歳代の女性（計8名）それぞれがベッドを車いすにリモコンで分離・変形させて、部屋の出口を通して廊下に搬送するまでに要する時間を測定した。部屋は高齢者福祉施設の介護居室や病院の病室を模擬したベッド数の異なる部屋を再現（図-14）して測定した。



図-13 離床支援ロボットによる介助避難実験の様子

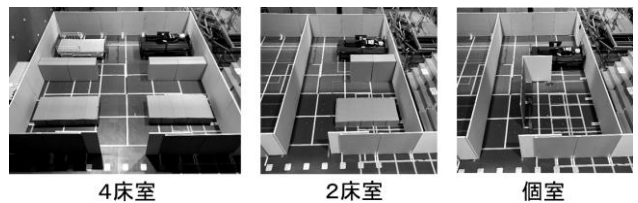


図-14 避難実験に使用した様々なベッド数の居室（病室）

6. 今後の展開

今後はメーカーとの共同研究等を通じて、実用化されているこれらの技術を避難誘導に機能拡張したプロトタイプを実際の建築物等の施設に実装して実証実験を行い、災害時の避難誘導に活用可能なセンサや介護用ロボットに必要な機能、これらを積極的に使う施設の設計上の要件を明らかにして、製品開発やその社会実装を促進する。

謝辞

ヒアリングにご協力頂きました各メーカーの開発担当者の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 鍵屋浩司・山海敏弘：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，日本建築学会大会学術講演梗概集，2019年9月
- 2) 厚生労働省老健局高齢者支援課・経済産業省製造産業局産業機械課：ロボット技術の介護利用における重点分野，平成29年10月改定（2020年10月15日閲覧）
- 3) 鍵屋浩司・山海敏弘：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，日本建築学会大会学術講演梗概集，2020年9月
- 4) (公社)自動車技術会：自動車用運転自動化システムのレベル分類及び定義 JASO TP 18004，2018.
- 5) 河合邦治，鍵屋浩司他：スマートフォンによる大規模施設内の避難誘導を想定した歩行速度の実測，日本建築学会大会学術講演梗概集，2020年9月

