

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：82665

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15184

研究課題名（和文）大規模施設在館者のフルプルーフを考慮した避難誘導方法の検討

研究課題名（英文）Study on Evacuation Guidance Considering Fool Proof in Large Scale Building

研究代表者

藤井 皓介（FUJII, Kosuke）

総務省消防庁消防大学校（消防研究センター）・その他部局等・その他

研究者番号：10759575

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、現在の避難計画では想定されていない施設計画を考慮した避難誘導方法の検討を目的とした。大規模施設の避難時における人による誘導方法と誘導灯の設置方法の現状と課題を調査するとともに、実験に基づき誘導灯と人的誘導が経路選択行動に与える影響を実証的に把握した。その結果、大規模施設において誘導灯のみならず人的誘導が必要となること、誘導方法のほか進行先通路の幅や混雑状況が避難者の経路選択に影響を与えること、進行先の状況により経路選択が異なることを前提として避難誘導方法を検討する必要があること、経路状況と誘導方法両方の考慮が避難誘導による安全性確保において重要となることなどを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築設計時に作成される建築基準法の施設計画と消防法の避難誘導対策は、管轄する行政機関が異なることもあり別個の枠組みの中で計画、実施されており、避難計画については双方を統合した基準や対策がない現状がある。特に、人による誘導と誘導灯を組み合わせた避難誘導について、避難計画では想定されていない。本研究は、避難計画で想定されていない進行先の空間状況と誘導灯および人的誘導による誘導方法の組み合わせが避難者の経路選択行動に与える影響の把握、およびこれに基づく避難誘導方法の検討を通して、施設計画と避難誘導対策の両者を横断した安全性の高い避難計画を作成するための基礎資料となる知見を提供できた。

研究成果の概要（英文）：This study examined the guidance methods for the evacuation safety considering the facility plan, which are not supposed in the current evacuation planning. The surveys of the actual conditions and problems of methods for guidance by human and installation of emergency exit sign for evacuation in large scale buildings were conducted, also, the guidance indicated by the emergency exit sign and human were derived empirically based on the experiments. As a result, this study identified that the considerations of both the route conditions and the guidance methods are important to ensure the evacuation safety: the route guidance indicated by the human is necessary as well as that indicated by the sign in large scale buildings, the guidance methods, the evacuee's route choices are influenced by the conditions of the width of and the congestion in the passage ahead, and the evacuation guidance methods have to be considered on the assumption that the route choice are varied according to them.

研究分野：建築計画 避難安全

キーワード：避難行動 避難誘導 大規模施設 空間 誘導灯 サイン 滞留 群集

1. 研究開始当初の背景

建築物はその設計段階において建築基準法および消防法の避難・防災関係規定に基づき在館者の全館避難を想定した火災時の避難計画が作成される。ただし、建築と消防の制度分離により、現状では両制度が調整された避難計画がなされていない。

不特定多数の在館者が利用する大規模施設において施設を包括した避難誘導は重要なものとなるが、人的誘導と誘導灯を統合した避難誘導対策、およびこれらの大規模施設に対する適応方法については確立されていない。避難計画作成にあたり、建築基準法に基づく避難計算では、火災発生場所ごとに使用可能な最も近い階段や出口等を避難者が使用することを想定した施設計画が作成されるが、避難者の経路選択、避難誘導については考慮されていない。一方、消防法では、誘導サインの設置に加えて自衛消防組織による避難者の誘導など、避難誘導に関する規定を定めている。しかしながら、誘導灯は火災による臨機応変な避難経路の変更を考慮したものではなく、人的誘導についても具体的な方法は示されていない。例えば、1972年の千日デパート火災ならびに1973年の大洋デパート火災では、避難誘導が十分に行われず、在館者の逃げ遅れによりそれぞれ118人、103人の死者が生じている。このような状況における安全性を担保するためには、フルプルーフな避難を可能とする方法が必要である。対策の重要性から表示面の輝度や視認距離の観点から誘導灯の視認性の向上が繰り返し図られてきたが、避難者の経路選択行動や避難誘導方法について、施設計画との適合も含め現在も研究途上の段階にある。

2. 研究の目的

不特定多数の在館者が利用する大規模施設において火災時に一斉に避難した場合、従業員等現地スタッフによる施設を包括した避難誘導は困難となる。誘導スタッフの指示がない場合は避難者自らが誘導灯に従って避難することが基本となるが、大規模施設において誘導灯は視認しづらい可能性が高く、避難誘導が十分に行われない場合、避難時間の遅延や逃げ遅れが発生する要因になる。大規模施設に対応した誘導灯の設置方法および人的誘導方法は確立されておらず、これらを用いた避難誘導対策について避難計画では反映されていない。本研究は、人および誘導灯による誘導効果メカニズムを明らかにする。この結果をもとに、避難計画と避難誘導対策の両者を横断した安全性の高い避難誘導対策作成の基礎資料を提供するため、現在の避難計画および避難誘導対策では想定されていない人による誘導指示と誘導灯による経路表示を組み合わせた避難誘導方法を検討する。

3. 研究の方法

(1) 人的誘導および誘導灯による避難誘導の実態把握

国内主要都市圏の大規模複合施設を対象に、誘導灯の設置実態について現地調査を行う。誘導サインの設置空間、設置位置、表示内容の特徴を把握、整理することで、避難者の視点を想定した誘導灯設置空間のシーケンスを明らかにする。加えて、誘導対策の有無と具体的な誘導方法についてヒアリング調査を行う。大規模施設の避難時における人的誘導と誘導灯の現状と課題を実際の対策状況から把握する。

(2) 人的誘導および誘導灯による避難誘導効果の把握

調査に基づき決定した経路選択が必要となる空間について、誘導灯と人的誘導が経路選択行動に与える影響の検証を通じ、誘導効果を把握する。具体的には以下の手順をとる。

避難者を想定した被験者を経路選択が必要となる実際の空間を模した実大規模のバーチャルリアリティ（VR）空間で行動させる。24名の被験者を用い被験者の行動および発話をビデオカメラ撮影等によって記録する。実験における経路選択行動を分析し、空間状況および誘導方法による経路選択傾向を把握することで、空間による避難誘導効果の差異を明らかにする。

(3) 避難誘導効果を考慮した誘導方法の検討

上記、1. および 2. の成果をもとに、避難誘導方法の実態、誘導効果メカニズムについて整理、考察を行う。その上で、避難者のフルプルーフを考慮した「建築-消防一体」の包括的な避難誘導方法について検討する。具体的には、多数の在館者が存在する大規模施設の避難計画に適合し、人による誘導指示と誘導灯による経路表示の組み合わせによる誘導効果メカニズムを含んだ避難誘導方法を検討する。

4. 研究成果

(1) 人的誘導および誘導灯による避難誘導の実態把握

実空間における誘導サインの設置状況を把握するため、国内主要都市圏の大規模複合施設を対象に現地調査を実施した。地下街や鉄道駅においては、オフィスやビル型の商業施設以上に幅員の広い通路が多く存在した。このような場所においては通路の幅員に加えて天井高の差や柱等の構造物により誘導灯を発見しづらい状況が見られた。また、通路の分岐点から伸びた通路間において幅員の違いが見られたほか、分岐点自体に不定形なものや広場状のものがあつた。分岐点に対する通路の接続位置の不均一さや平面方向の広さにより、誘導灯の指示方向に対する判断

や誘導灯の視認に時間を要したものがあつた。分岐点が不定形なものや広場状のもの、幅員を含め分岐先通路の形状が異なる空間においては、誘導灯を見落とす可能性がある。このほか、避難時の行動特性である向開放性に伴う広い通路の選択や、進行先の混雑状況による経路の選択も考えられ、誘導灯のみならず空間の状況も経路の選択に影響を与える可能性がある。このような空間状況によらず誘導を行う場合、誘導灯に加えて人的誘導をすることで適切な避難経路に誘導することが想定される一方で、誘導効果も空間状況に影響を受ける可能性も考えられる。

誘導対策の有無と具体的な誘導方法について国内主要都市圏の消防本部 5 箇所を対象に調査を行った。いずれの消防局も避難誘導の実施想定はしているが、規則やマニュアルの有無にはばらつきが見られる結果となった。また、規則やマニュアルを含め、現状想定されている避難誘導の方法については自衛消防隊との連携、自衛消防隊への委任、逃げ遅れの確認、誘導先に関する内容が主であり、人が直接行う誘導の方法に関する具体的な内容は想定されていないことが分かった。また、5 箇所中 4 箇所の消防局において避難誘導に関する訓練が行われていたが、過去の災害事例への対応策の検討や警防計画の作成時における机上の検討、建物側の要求に従って一緒に実施する受動的な訓練として行うとのことであつた。

表 1 大規模施設の消防活動における避難誘導の実施と訓練の現況

| 消防局 | 想定の有無 | 実施に関する規則 | 実施マニュアル | 誘導を想定する建築物 | 実施場所 | 最終的な誘導先 | 訓練の有無 | 訓練実施のタイミング |
|-----|-------|----------|---------|------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A | あり | あり | なし | ・全建物が対象。 | 屋内 屋外 | ・基本的に敷地内で誘導を完了する。 ・敷地に入りきらない場合や火災の状況等により敷地外まで誘導する。 | あり | ・基本的に警防計画等における仮想訓練で行う。 ・頻度、内容とともに建物側からの要求次第。要求があれば一緒に行う。 |
| B | あり | なし | 各署で異なる | ・高層建築物 | | ・公園や公民館の使用もありうる。 | あり | ・警防計画時に行う。 |
| C | あり | なし | あり | ・大規模競技施設とその他 | | ・火災の影響がない場所(空地など) ・少数であれば一時的な待機場所としてマイクロバスでの待機も可。 ・100~200人規模の場合、可能な場所を探す。 | あり | ・自衛消防隊の消火訓練、避難誘導訓練は行うが、消防隊も一緒に避難誘導訓練を行うことはない。 |
| D | あり | なし | なし | ・建物全て | | ・安全と考えられる場所。 ・私有地の使用について協力をお願いする場合もある。 | なし | - |
| E | あり | あり | あり | ・避難誘導を要する建物すべて ・高層、中層、低層の別を問わない | | ・「指定場所」を設定することが重要となる。 ・屋内、屋外にはあまりこだわらない。(災害状況の聞き取りのために住民をピックアップする。) | あり | ・実災害があつた都度もしくは各種会議時に、過去の災害事例を教材とし通常の耐火建物や高層階建物での避難者対応について、事例の紹介と対応策の検討を行う。 ・対象物の警防計画の策定時に検討を行う。 |

(2) 人的誘導および誘導灯による避難誘導効果の把握

経路選択が必要となる空間における人的誘導および誘導灯による避難誘導効果を把握するため、T字路（丁字路）について、進行先の通路幅員および滞留密度による空間状況と誘導灯および人的誘導による誘導方法の組み合わせが経路選択行動に与える影響を把握する被験者実験を行った。

(i) 実験方法

本実験においては、被験者（視力 1.0 以上で歩行に支障のない 20~30 代の成人健常者、男女同数）24 名を経路選択が必要となる実際の空間を模した実大規模のバーチャルリアリティ（VR）空間で行動させた（図 1）。進行先の通路幅員と滞留密度ならびに誘導方法である誘導灯と人的誘導の各条件が異なる T 字路の避難経路選択行動を把握するため、上記条件を変化させ、実際の空間を模した実大規模のバーチャルリアリティ（VR）空間（図 1）で、被験者 1 名に経路選択を行わせた（表 2）。被験者は、頭部に装着した HMD（ヘッドマウントディスプレイ）に投影される映像を見ながら実空間上を歩行することで VR 空間を移動できる。実験は以下の手順で行う。
①スタート地点において被験者に機器を装着する。
②被験者を経路選択の必要となる交差点に向かって歩かせる。

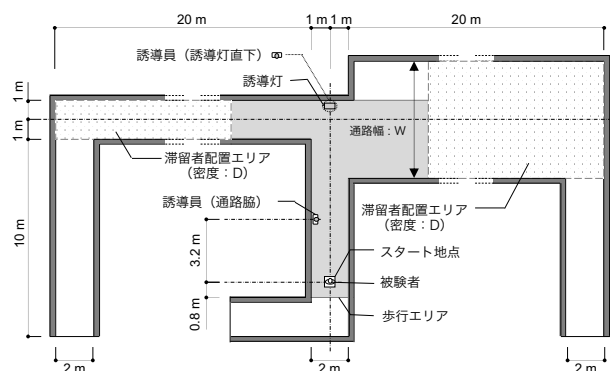


図 1 VR 空間平面図および条件設定

③HMD上の視界と発話された選択経路、理由を記録する。④被験者が経路を選択後、実験者が終了を宣言する。⑤被験者を再びスタート地点に立たせる。被験者1人あたりの総試行回数は練習1回を含め28回、7回ごとに10分間、計3回の休憩を設定し、①を4回、②～⑤を28回繰り返す。なお、HMDはVR製品VIVE PRO EYE (HTC社、重量：770g、視野角(対角)：110°、リフレッシュレート：90Hz、解像度：2880 x 1600ピクセル)を使用した。

表2 実験条件一覧

| 実験A (滞留なし) Experiment A (Without stay person) | | | | | 実験B (滞留あり) Experiment B (With stay person) | | | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| 実験番号 Exp. no. | 通路幅 Width[m] (左Left/右Right: W) | 誘導灯の指示 Direction with sign | 誘導員の配置 Staff position | 誘導員の指示 Staff guide | 実験番号 Exp. no. | 通路幅 Width [m] (左Left/右Right: W) | 誘導灯の指示 Direction with sign | 誘導員の配置 Staff position | 誘導員の指示 Staff guide | 滞留密度D [pers./m ²] |
| A1 | 2m/2m | 両方向 | - | - | B1 | 2m/4m | 両方向 | - | - | 0.5 |
| A2 | 2m/4m | 両方向 | - | - | B2 | 2m/4m | 両方向 | - | - | 1.0 |
| A3 | 2m/6m | 両方向 | - | - | B3 | 2m/4m | 両方向 | - | - | 2.0 |
| A4 | 2m/6m | 両方向 | 誘導灯直下 | 両方向 | B4 | 2m/4m | 両方向 | - | - | 3.0 |
| A5 | 2m/6m | 両方向 | 通路脇 | 両方向 | B5 | 2m/4m | 両方向 | - | - | 4.0 |
| A6 | 2m/6m | 両方向 | 誘導灯直下 | 左方向 (2m) | B6 | 2m/6m | 両方向 | - | - | 0.5 |
| A7 | 2m/6m | 両方向 | 通路脇 | 左方向 (2m) | B7 | 2m/6m | 両方向 | - | - | 1.0 |
| A8 | 2m/2m | 左方向 | 誘導灯直下 | 両方向 | B8 | 2m/6m | 両方向 | - | - | 2.0 |
| A9 | 2m/2m | 左方向 | 通路脇 | 両方向 | B9 | 2m/6m | 両方向 | - | - | 3.0 |
| A10 | 2m/6m | 右方向 (6m) | 誘導灯直下 | 両方向 | B10 | 2m/6m | 両方向 | - | - | 4.0 |
| A11 | 2m/6m | 右方向 (6m) | 通路脇 | 両方向 | B11 | 2m/6m | 右方向 (6m) | 誘導灯直下 | 両方向 | 0.5 |
| A12 | 2m/6m | 左方向 (2m) | 誘導灯直下 | 両方向 | B12 | 2m/6m | 右方向 (6m) | 誘導灯直下 | 両方向 | 4.0 |
| A13 | 2m/6m | 左方向 (2m) | 通路脇 | 両方向 | B13 | 2m/6m | 左方向 (2m) | 誘導灯直下 | 両方向 | 0.5 |
| | | | | | B14 | 2m/6m | 左方向 (2m) | 誘導灯直下 | 両方向 | 4.0 |

(ii) 実験結果

実験終了後に、被験者が今回の実験で酔った具合について質問紙を用いて調査した。回答は4段階評価(1:全く酔わなかった、2:あまり酔わなかった、3:やや酔った、4:とても酔った)とした。結果として、評価1が19人、評価2が5人となり、「酔った」について回答は見られなかった。

通路幅員と誘導方法による経路選択傾向を把握するため実験Aの経路選択割合を求めた(図2)。A1～A3のいずれも誘導灯が左右両方向を指示し誘導員は配置されていないが、実験間の通路幅は異なる。両通路幅が同じA1については、左右の経路を選択した人数に差は見られない。A2, 3ではともに8～9割の被験者が通路幅の広い方を選択した。誘導員がおらず、誘導灯の指示に左右差がない場合、幅員の広い方を選ぶ傾向が見られる。A4～A13では誘導員が配置されている。結果として、誘導員の配置にかかわらず、誘導員の指示方向が両方向のA4, 5では9割以上の被験者が幅員の広い右を選択し、誘導員の指示方向が左方向のA6, 7では全ての被験者が左を選択した。A8, 9はA1と同様、左右の通路ともに2mの幅を有するとともに、誘導員の指示方向が両方向となる一方、誘導灯は幅員の狭い左側の通路を指示する。ほとんどもしくは全ての被験者が、誘導員の配置にかかわらず、誘導灯の指示と同じ左方向を選択した。A10, 11とA12, 13は、いずれも誘導員が両方を指示する一方、それぞれ誘導灯が通路幅の広い方と通路幅の狭い方を指示する。A10, 11では9割以上、A12, 13では8割以上の被験者が誘導灯の指示した通路を選択した。誘導員および誘導灯両方の指示に左右差がない場合、通路幅が広い方を選択する傾向が見られた。誘導灯あるいは誘導員の指示方向のいずれか一方が片側、もう片方が両側の場合、通路幅にかかわらず、指示方向が重複する方の通路を選択する可能性が高い。

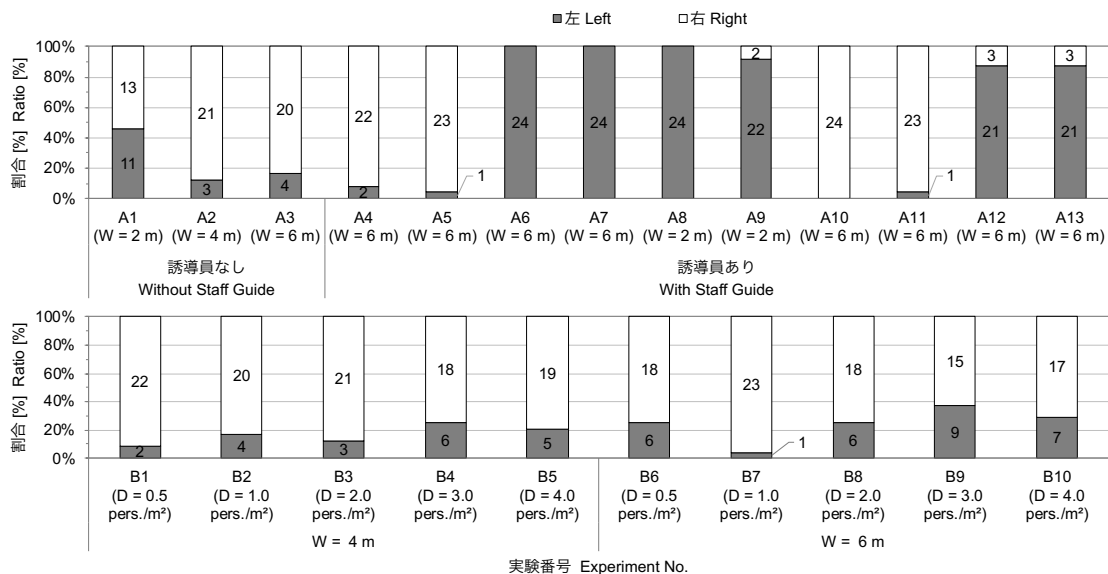


図2 実験における通路の選択割合

進行先の滞留密度による経路選択傾向を把握するため実験Bの経路選択割合を求めた(図2)。B1~B10では誘導員の配置はなく誘導灯は両方向となるが、幅員と進行先の滞留状況が異なる。右側通路の幅員が4mのB1~B5と6mのB6~B10のいずれも、密度にかかわらず幅員の広い右側通路の選択割合が多い。ただし、B1~B5とB6~B10を比較すると、後者の方が全体的に2m幅の左側通路を選択する割合が高い傾向が見られる。右側通路については同じ密度でも4m幅のB1~B5よりも6m幅のB6~10の方が滞留人数は多くなる。また、密度が3人/m²以上のB4、5とB9、10はそれぞれ密度が2人/m²以下のB1~B3とB6~B8よりも左側通路の選択割合が高くなる。進行先に滞留が生じている場合においても滞留が生じていない場合と同様に、幅が広い方の通路を選択する傾向が高い一方で、滞留人数の増加に従い幅が狭くとも人数がより少ない方の通路を選択する可能性が高くなると考えられる。

(3) 避難誘導効果を考慮した誘導方法の検討

(i) 誘導灯のみで避難誘導する場合

実験より、誘導員がおらず誘導灯が両方の通路を指示する場合において、幅の広い方を選択する傾向があることが明らかとなった。これは、進行先に同密度の滞留が生じていても同じ傾向となるが、一方で、滞留人数の増加に従って幅が狭い方の通路を選択する割合が増加する。両通路の密度が同じ場合、通路に滞留する人数は幅員の広い方が多く、分岐点から視認できる人数も広い方が多くなる。視認可能な人数が少ない方、もしくは視認できる人数から滞留の程度を想像し、より少ないと考える方を選択することが上記選択傾向の要因として考えられる。実験結果より通路の選択傾向として、誘導灯と誘導員の指示方向が重複する方の通路を選択することが想定されることから、誘導灯が指示する方向のうちから避難経路を指定する場合には、通路幅員等の空間形状に基づく向開放性によらず誘導員の配置が効果的なものとなることが考えられる。

(ii) 誘導員が避難誘導する場合

実験結果として、誘導員と誘導灯ともに両方の通路を指示する場合、通路幅の広い方を選択する傾向が見られた。誘導員がいない場合においても同様であり、両通路同時に誘導した場合は誘導員の有無にかかわらず幅員の広い通路を選択することが想定される。広い方の通路にのみ避難者が集中することになる可能性があり、避難行動特性の一つである追従性が発現した場合、その傾向はより高まることが推察される。予め平等に振り分けて誘導する、途中で避難者の選択が少ない方の通路のみに誘導する、誘導先を順番に切り替えて誘導する等の対応が必要となると考える。実験において、誘導灯と誘導員のうち、一方が片側、もう片方が両側を指示する場合、通路幅にかかわらず、指示方向が重複する方の通路を選択する傾向が見られた。誘導員が指定した経路に避難者を誘導し得るとともに上記の様な誘導員による避難者の割り振りも可能なものとする。上記で述べた避難者の割り振りは、建築基準法の避難計画における避難計算も考慮することで、誘導による避難効率を上昇させる可能性がある。避難計算においては開口部の流動係数等が使われ、このうち避難安全検証法においては避難経路上の滞留可能人数の計算も行われる。設計時に予め見込まれている流動量の多寡を考慮することで、局所的な滞留による避難時間の長期化を避けるとともに誘導時の判断を効率的なものとし、円滑な誘導に近づけることができると考えられる。

(iii) まとめ

本章では、進行先の通路幅員や滞留密度等の空間状況下における誘導灯と人的誘導を用いた避難誘導の方法を対象として検討を行った。大規模施設における誘導灯の設置状況調査、消防本部における人的誘導に関する対策の実態調査をすることで、大規模施設の避難時における人的誘導と誘導灯による対策の現状を把握するとともに、実験に基づき人的誘導および誘導灯による避難誘導効果を実証的に把握した。また、これらをもとに現在の避難計画および避難誘導対策では想定されていない大規模施設に対する適合性を考慮した避難誘導方法のあり方を検討した。

施設の規模が大きくなるほど避難経路が長距離化するとともに経路選択箇所が増加し、加えて、避難者数も増加する。避難者の経路選択が空間状況に影響を与え、これによる選択方向の誘導も考えられるが、誘導側の意図する方向に向かわせる場合、人的誘導によるアクティブな誘導の方が効果的と考える。局所的な滞留の発生や避難時間の長期化、逃げ遅れ等を防ぎ避難者の安全性を担保するためには、誘導灯や誘導員により避難者を指定した経路に誘導することが必要となる。また、これらの誘導を実際の避難時に遂行するためには、消防、施設ともに事前の計画作成と実践的な訓練の定期的な実施も重要となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 Kosuke Fujii, Tomonori Sano, Yoshifumi Ohmiya |
| 2. 発表標題 Influence of lit emergency signs and illuminated settings on walking speeds in smoky corridors |
| 3. 学会等名 13th International Symposium on Fire Safety Science (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 藤井皓介、田中俊成、水野雅之、佐野友紀 |
| 2. 発表標題 実歩行VR実験に基づく建物内T字路の避難経路選択傾向 実験の概要および誘導、幅員、密度と経路選択方向の関係 |
| 3. 学会等名 日本火災学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|-------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名 藤井皓介、佐野友紀、大宮喜文 |
| 2. 発表標題 誘導灯及び照明の有無が煙中の歩行速度に与える影響 その2 身長による違いに関する分析 |
| 3. 学会等名 日本火災学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 佐野 友紀 (SANO Tomonori) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 水野 雅之 (MIZUNO Masayuki) | | |
| 研究協力者 | 田中 俊成 (TANAKA Toshinari) | | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |