

東京理科大学「火災安全科学研究拠点」

■ 研究成果概要報告書

研究課題		煙状況を考慮した避難行動に関する 実験的検討	実施年度
			平成 25 年度
研究代表者	所属	早稲田大学人間科学学術院・助手	
	氏名	畠山雄豪	
	問合せ先メールアドレス	yugo@aoni.waseda.jp	
受入担当責任者	氏名	大宮喜文	

1. 研究の背景および目的

2000 年の建築基準法改正による性能規定化の一環として、避難安全検証法が導入された。この検証により、建物内者が火災の熱や煙の影響および、避難行動を高度な検証方法によって、検討する事で従来の仕様規定を適用除外とする事が可能となる。この中で火災発生から避難が完了するまでの時間は、避難開始時間、歩行時間、出口通過時間の合計によって算出される。この避難開始時間については、室面積に応じた時間算出方法が一般的に用いられている。特に、ルート C においては、煙に暴露された状況での避難であっても、一定の条件を満たせば安全として認められている。

このような状況の中で、火災室の在館者の避難行動は、煙中であっても遅れなく理路整然と行われる事が想定されているが、実際には、避難計算で想定していない様々な避難遅れが考えられる。現在参照できる避難行動の成果は 30 年をさかのぼる神忠久らの一連の煙中の誘導灯認知行動に関する研究などであり、これを用いて理論構築を行っているのが現状である。しかしながら、避難者の身体寸法や身体能力、認知能力が変化した近年において、過去の知見をどこまで適用可能であるかについて、十分把握されているとはいえない。また、近年の人を対象とした研究倫理への要求の高まりにより、危険な状況での実験を実施が困難である現状がある。

そこで、本研究では、実験被験者への負荷が少ない煙を用いた実験を通して、煙中での避難時における歩行速度を明らかにする事を目的とする。具体的には、天井付近および通路空間に煙が滞留し煙による照明障害が起こる状況を想定した実大被験者実験を実施することで、煙濃度、照明・誘導灯の設置有無が歩行速度に与える影響について把握する。

共同研究者

フリガナ 氏名	所属	職	E-mail
佐野友紀 (サノトモノリ)	早稲田大学人間科学学術院	教授	sano-t@waseda.jp
藤井皓介 (フジイコウスケ)	早稲田大学大学院	博士後期課程	x03221987z@fuji.waseda.jp

2. 利用施設及び利用日

- ・ 東京理科大学火災科学実験棟 大規模実験室、倉庫
- ・ (2013 年 12 月 6 日 9:00～18:00)

3. 実験方法・研究成果、および考察（申請時の計画に対する達成度合いも含む）

※継続課題の場合は、前年度との関係性、進展度合いについても記載すること。

実験名称：煙中における歩行速度測定実験

煙濃度、誘導灯の設置の有無、室内照明の点灯／消灯が歩行速度に与える影響について把握することを目的として、以下の内容について被験者実験を行った。概要を以下に示す。

(1) 実験概要

実験日時：2013年12月6日（金） 9:00～18:00

実験場所：東京理科大学 火災科学研究センター 大規模実験室、倉庫（図1、2）

被験者：大学生・大学院生 20名（男女 各10名）

試行回数：130試行（実験計画法による実験条件の組合せ試行）

(2) 実験環境および煙測定方法、歩行速度測定方法（図1）

実験環境として事務所通路等の日常利用が行われる空間を想定した。そのため、平常時照明下の一例として「白色蛍光灯（平均床面照度=169lx）*6灯」を設置した。また、煙濃度を測定するために複数の減光計を設置した（図1）。煙は被験者の安全に配慮して、避難訓練時の煙体験等で用いられるスモーク液（ロスコ社製、スモーク液スタンダード）をフォグマシーン（ギミック社製、Viper-NT, Slow Fog Fluid）によって気化させたものを用いた。また、煙に浮力を与えるために電熱線を用いたヒートガンによって熱を与え、扇風機等により拡散することで、煙が一様濃度になる状況を設定した。

煙濃度の測定のために、レーザー式の減光計（キーエンス社製、lx2-V10）を歩行測定する地点として2m間隔で設置した。煙濃度は各被験者が実験試行した時間内での各地点での時系列の減光係数データを時間平均したものを地点数平均したものを算出し、平均減光係数とした。

歩行速度計測のために、2m間隔で壁および床の5ヶ所に歩行速度計測基準線を引き、その各地点の通過時点をとらえるためにビデオカメラを設置した。後にビデオカメラから通過時点を解析し、各被験者についてそれぞれの計測基準線間の歩行速度を算定した。

(3) 実験の設定および実験条件

実験条件は以下の通りである。

i) 室内照明の有無（照明 消灯／点灯）

ii) 誘導灯の有無（避難口誘導灯 なし／あり）*誘導灯は高輝度誘導灯 C 級を使用する。

iii) 煙の濃度「なし ($C_s=0$) / うすい ($C_s=0.5$) / 中間 ($C_s=1.0 \rightarrow 0.75$ ※) / 濃い ($C_s=1.5$)」

（※事前の設定値に対して、確認の結果、やや低めの濃度となっていたことを確認）

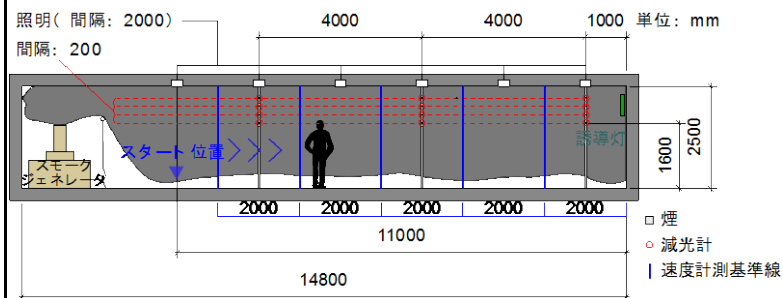


図 1 : 実験器具の位置及び被験者の初期位置 (断面図)



図 2 : 実験空間外観

表 1 : 実験条件

実施番号	照明	煙濃度	誘導灯	被験者
1~10	なし	なし	なし	1~10
11~20	なし	なし	あり	1~10
21~30	なし	濃い	あり	1~10
31~40	なし	中間	あり	1~10
41~50	なし	うすい	あり	1~10
51~60	あり	なし	なし	11~20
61~70	あり	なし	あり	11~20
71~80	あり	濃い	なし	11~20
81~90	あり	濃い	あり	11~20
91~100	あり	中間	なし	11~20
101~110	あり	中間	あり	11~20
111~120	あり	うすい	なし	11~20
121~130	あり	うすい	あり	11~20

(4) 実験結果：

煙中における歩行速度測定実験の結果は以下の通りである。なお、本報告では暗中で
の煙濃度と歩行速度の関係に着目し、照明「なし」条件の分析結果を示す。

(4)-1 煙濃度の各水準の設定状況の確認

事前に煙の濃度水準「なし ($C_s=0$) /うすい ($C_s=0.5$) /中間 ($C_s=1.00$) /濃い ($C_s=1.5$)」
として目標値を設定し、実験毎に減光計を参考にしながら調整した。ただし、煙濃度の
調整は容易ではなく、実験毎に多少のばらつきが見られる。このため、本分析にさきが
けて各濃度水準毎の煙濃度の平均値と標準偏差を確認した (図3、表2)。図の菱形の中
央横線が平均値、平均値からみて上下の菱形の縦の角が信頼区間($\alpha=0.05$)を示す。隣のデ
ータと比較して、この菱形同士が上下方向に重ならない場合に5%の有意水準で有意差が
あることを示す。この結果から、煙濃度の各水準毎に有意に差があり、また標準偏差も
小さいことから、煙濃度は判別可能な水準に適切に設定されていたことを確認した。最
終的には、煙の濃度水準について、中間のみの実際の設定値が目標値よりやや低めとし、
「なし ($C_s=0$) /うすい ($C_s=0.5$) /中間 ($C_s=0.75$) /濃い ($C_s=1.5$)」として、分析をす
すめる。

0 -
-

図3：煙濃度水準毎の平均減光係数の比較

表2：煙濃度水準と減光係数平均値・標準偏差

煙濃度水準	標本数	減光係数平均値	標準偏差
00 なし	80	0.000	0.000
01 うすい	40	0.579	0.024
02 中間	40	0.730	0.079
03 濃い	40	1.347	0.080

(4)-2 煙濃度と歩行速度の関係（照明：消灯条件、誘導灯：あり条件）

照明「消灯」、煙「なし」条件における煙濃度と歩行速度の関係を示す（図4）。煙の濃度水準「なし（ $C_s=0$ ）/うすい（ $C_s=0.5$ ）/中間（ $C_s=0.75$ ）/濃い（ $C_s=1.5$ ）」に対して、多重比較検定の結果、「なし」と「中間」「濃い」および「なし」「うすい」「中間」と「濃い」間で被験者の歩行速度の平均値に有意差が見られた。このことから、照明が「消灯」状態かつ避難口誘導灯が「ある」状態においては、煙が「なし」の状態と比較して煙濃度が「中間（ $C_s=0.75$ ）」以上になると、有意に歩行速度が低下することが明らかになった。さらに、煙濃度が「濃い（ $C_s=1.5$ ）」状態になると、「中間」と比較して有意に歩行速度が低下した。平均歩行速度は、煙「なし」では $1.20[m/s]$ であるのに対し、「うすい」 $1.12[m/s]$ 、「中間」 $1.05[m/s]$ 、「濃い」 $0.76[m/s]$ と減少することが明らかになった。

0-

すべてのペア
Tukey-KramerのHSD検定
^ ^

図4：煙濃度別平均歩行速度（照明：消灯、誘導灯：有り）

(4)-3 誘導灯の有無と歩行速度の関係

照明「消灯」、煙「なし」条件における避難口誘導灯の有無と歩行速度の関係を示す（図5）。避難口誘導灯設置の「あり」「なし」について、被験者の歩行速度の平均値に有意差が見られた。このことから、照明が消灯の状態においては、避難口誘導灯があることで有意に歩行速度が増加することが明らかになった。平均歩行速度は、煙「なし」の状態において、誘導灯「あり」では $1.20[m/s]$ であるのに対し、「なし」 $0.78[m/s]$ と減少することが明らかになった。

0-

図 5 : 誘導灯の有無と歩行速度の関係 (照明 : 消灯)

(4)-4 平均減光係数(煙濃度)と歩行速度の関係(照明「なし」誘導灯「あり」条件)

各実験における煙濃度と歩行速度の散布図を示す(図6)。各被験者データにばらつきはあるが、おおむね、煙濃度(減光係数)が大きくなると歩行速度が低下する傾向が読み取れる。このため、煙濃度と歩行速度の一次線形の近似式を算定し以下に示す(式(1))。図の直線が近似直線、楕円は95%確率楕円を示す。

$$V(\text{歩行速度}) = -0.328 * C_s(\text{平均減光係数}) + 1.248 \quad (R=0.636) \quad \dots\dots \text{式(1)}$$

この式を用いることで、照明「なし」誘導灯「あり」条件において、煙濃度(減光係数)から煙中での歩行速度を概算することが可能になる。

0-

図 6 : 平均減光係数(煙濃度)と歩行速度の関係(照明 : 消灯)

(5) まとめ

本研究では、実験被験者への負荷が少ない煙を用いた避難実験を通して、煙中での避難時における歩行速度を明らかにした。具体的には、天井付近および通路空間に煙が滞留し、煙による照明障害が起こる場合を想定した実大被験者実験を実施することで、煙濃度、誘導灯の設置有無が歩行速度に与える影響について把握した。

4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

本研究では研究倫理の観点から、被験者の安全性に十分配慮して、安全な煙を用いた実験を行った。実験に先立ち、申請者が所属する大学における「人を対象とした研究等倫理審査」の申請をし、実験実施の許諾をうけた。被験者保護の観点から、今後ますます実験実施が困難になることが予想される。このため、本実験で行った煙中の歩行実験については貴重なデータとして、今後も再利用することがのぞましい。実験データを今後も有効活用するために、広く公開する等の方法を検討することが必要であると考えられる。

5. 成果の公表状況（学会への発表、学術誌への投稿等を記述。予定も含む）

日本建築学会、日本火災学会等への査読論文を投稿予定。

論文名（予定）：煙中における照明・誘導灯の有無が歩行速度に与える影響

6. 経費の使用状況

消耗品費・会議費・印刷費等		旅費		人件費	
事 項	金額(円)	事 項	金額(円)	事 項	金額(円)
実験消耗品、ビデオカメラ、レンズ、コンピュータ等	349,780	実験準備・実験日交通費	27,340	被験者謝金・データ整理補助謝金	108,000
小計	349,780	小計	27,340	小計	108,000
東京理科大学 負担分 総計 485,120 円					
早稲田大学 負担分 総計 0 円					