

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		避難計画のための煙の視覚的感知に関する実験的検討	実施年度 平成24年度
研究代表者	所属	早稲田大学人間科学学術院・准教授	
	氏名	佐野 友紀	
1. 研究の背景および目的			
○研究の背景			
<p>2000年に建築基準法の性能規定化による避難安全検証法が導入され、すでに、15年弱が経過しようとしている。様々な実務の場面で適用されている。避難安全検証法では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<u>避難時間の計算においては、在館者は、あらかじめ出口の位置を知っている様にそれぞれが全体効率に合わせて分離した出口を選択し、室出口あるいは階段出口に進む想定である。</u>このような想定通りの避難行動を実現するためには、室内、建物内での避難誘導が重要になる。</p> <p>このような場面においては、煙中での避難誘導が重要な課題であると考え。このために、<u>避難誘導を適切に行なうための誘導灯の煙中の視認性が重要であることから、誘導灯の設置状況と視認性の関係を検討する。</u>過去には、実際の煙を利用した視認性検討実験が行われてきたが、現在では、研究倫理の観点からこのような実験は行えない。このため、被験者の安全を配慮した新しい実験方法が必要となる。本研究では、新しい実験方法を用いた結果を既往の煙中誘導灯視認性研究と比較する事で、新しい実験方法の妥当性を検討する。</p> <p>本研究は煙の<u>視覚的影響による煙中の避難行動時における誘導標識の視認性に</u>着目し、周囲の煙の状況、設置状況が誘導灯の視認性に与える影響を明らかにする。このために、<u>煙実験施設を用いた実大実験を実施し、その特性を把握する。</u></p>			
○研究の目的			
<p>本研究では、誘導灯及び案内標識の煙中における視認性に着目する。煙の濃度・標識の種類・標識の視認角度・空間の明暗が視認距離に与える影響を明らかにすることで、火災避難時に有効活用し得る誘導灯及び案内標識の配置計画の基本資料とすることを目的とする。</p>			

2. 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、進捗度合いについても記載すること。

ここでは、研究成果の概要を示す。あらかじめ設定した目標はほぼ達成された。

本課題は継続課題であり、2011年度、2012年度に継続して行った。いずれも、避難安全検証法にかかわる適切な避難誘導のための誘導灯の煙中での視認性を検討するものである。具体的には、2011年度は、研究方法の検討および正面からの視認性の確認、2012年度は被験者を増やしたより実証的な実験および方位角の大きい方向から見た（表示面を斜め横の浅い角度から見て、見えにくい方向）場合についての検討を行った。研究方法・実験条件は、以下に示す。

結果として、広場上の空間や通路に垂直に誘導灯が設置されている場合になどは、誘導灯の表示面と視線の方位角が大きいため、煙中では非常に見えにくく、誘導灯の存在が認識しにくくなる場合もあることが明らかになった。

○ 実験方法・実験条件

以下に2年分の実験方法・実験条件を比較して示す。（図番号は報告書本編に準拠）

・2011年度

- ◆ 実験名称：煙中における案内標識及び誘導灯の視認性実験

◆ 実験概要

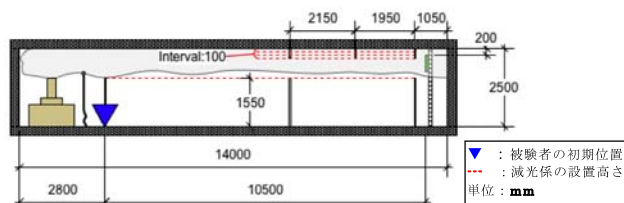


図1：実験器具の位置及び被験者の初期位置（断面図）

実験日時：2011年9月14日（水）9:30～

17:00

実験場所：東京理科大学 火災科学研究センター 実験棟 実験空間

（図1）

被験者：20歳代の大学生・大学院生20名

（男性10名、女性10名）

実験条件：

- i) 減光計の位置(図2、表2)
- ii) 照明「白色蛍光灯」
- iii) 標識の種類

「案内標識 / 通路誘導灯（左方向） / 通路誘導灯（両方向） / 避難口誘導灯」（図3）

* 誘導灯は高輝度誘導灯C級を使用し、案内標識表示面の縦幅を誘導灯に合わせる。



図3：標識の写真例

iv)標識の水平角「0° /30° /60° 」

v)煙の種類「白煙」

vi)煙の濃度「薄い/中間/濃い」

・ 2012 年度

◆ 実験名称：煙中における案内標識及び誘導灯の視認性実験

◆ 実験概要

実験日時：2012 年 11 月 5 日（月）

9:00～18:00

2012 年 11 月 16 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

実験棟 実験空間（図 4、5）

被験者：20 歳代の大学生・大学院生 40 名

実験条件：

i)減光計の位置

ii)照明「白色蛍光灯（平均床面照度=92lx）」

iii)標識の種類

「案内標識表（示周辺輝度=472cd/m²） /通路誘導灯（左方向） /通路誘導灯（両方向） /避難口誘導灯」

* 誘導灯は高輝度誘導灯 C 級を使用し、案内標識表示面

の縦幅を誘導灯に合わせる。

iv)標識の水平角「0° /60° /70° /80° 」

v)煙の種類「白煙」

vi)煙の濃度「うすい (Cs=0.7) /ややうすい (Cs=1.1) /中間 (Cs=1.75) /濃い (Cs=2.5)」

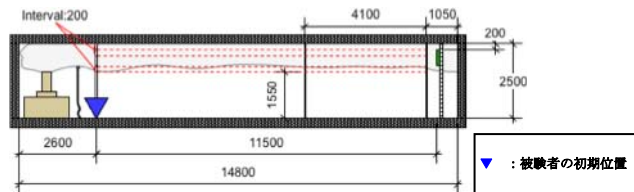


図 4：実験器具の位置及び被験者の初期位置（断面図）

実験場所：東京理科大学 火災科学研究

センター

実験棟 実験空間（図 4、5）

被験者：20 歳代の大学生・大学院生 40 名

実験条件：

i)減光計の位置

ii)照明「白色蛍光灯（平均床面照度=92lx）」

iii)標識の種類

「案内標識表（示周辺輝度=472cd/m²） /通路誘導灯（左方向） /通路誘導灯（両方向） /避難口誘導灯」

* 誘導灯は高輝度誘導灯 C 級を使用し、案内標識表示面

の縦幅を誘導灯に合わせる。

iv)標識の水平角「0° /60° /70° /80° 」

v)煙の種類「白煙」

vi)煙の濃度「うすい (Cs=0.7) /ややうすい (Cs=1.1) /中間 (Cs=1.75) /濃い (Cs=2.5)」



図 5：実験空間外観

○ 研究成果

①煙を利用した被験者実験方法の確立

安全な煙として、スモークジェネレータを用いた実験装置を用いて、煙の視認性、煙中の誘導灯の視認性を検討する実験方法を確立した。一般的に利用するスモークジェネレータの煙は、温度が低いため、浮力がなく火災時の煙のように上昇しない。このため、煙に熱を与える大型のヒートガンをもちいて、煙に浮力をあたえるなどの方法を開発し、その有効性を検討した。また、煙濃度の計測方法および煙濃度の安定化手法（空気の拡散のタイミング等）を詳細に検討することで、

安定的な煙環境を構築することが可能になった。

②煙中の誘導灯・誘導標識の視認性実験（水平角：0°、30°、60°、70°、80°）

2011年度の実験より誘導灯の視認角度は水平角0,30,60°において、視認性に大きな差異がないことを確認した。

2012年度の実験より、以下のように誘導灯の視認角度は水平角0,60,70,80°の差異について、以下のように考察した。

○水平角を考慮した煙濃度起因する誘導灯視認距離予測式の導出

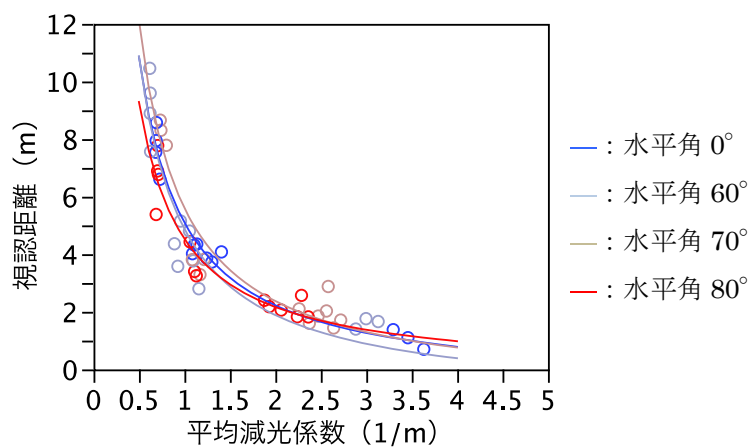
視認距離と平均減光係数を用いて、標識毎に平均減光係数に対する視認距離の回帰式を求め、減光係数に対する視認距離の予測式とする。

以降、予測式の導出及びその過程について述べる。

(1) 各標識における減光係数に対する視認距離の予測式

各標識について、水平角毎に減光係数を-1次の項とした減光係数に対する視認距離の曲線回帰式を求める。

【案内標識】



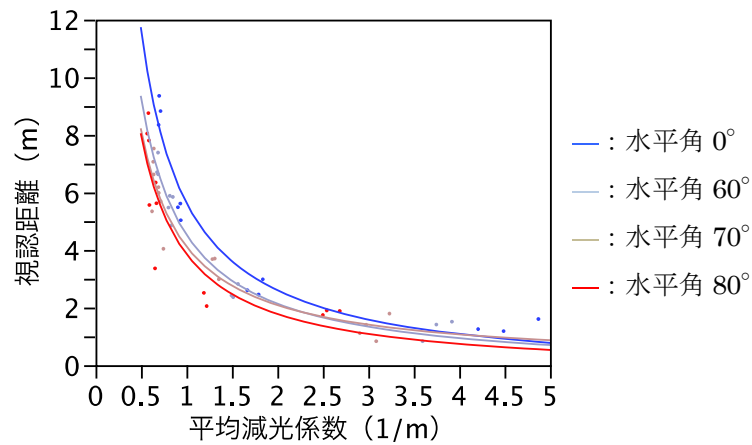
角度 0° : 視認距離 (m) = $-0.65 + 5.76 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.97 p<0.0001

角度 60° : 視認距離 (m) = $-1.11 + 5.99 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.88 p<0.0001

角度 70° : 視認距離 (m) = $-0.65 + 5.76 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.92 p<0.0001

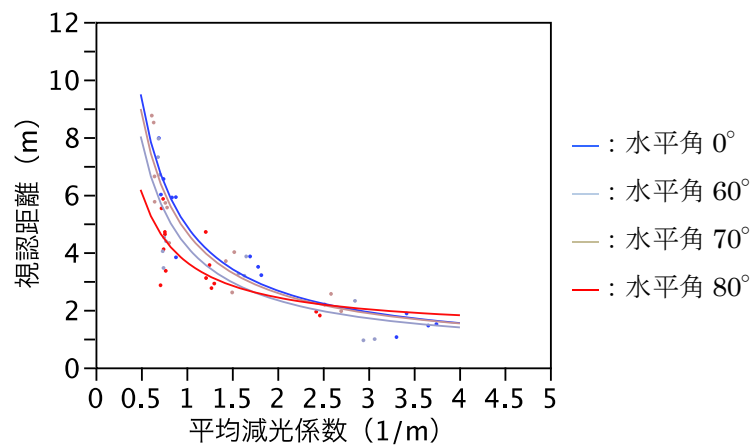
角度 80° : 視認距離 (m) = $-0.21 + 4.71 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.91 p<0.0001

【通路誘導灯（左方向）】



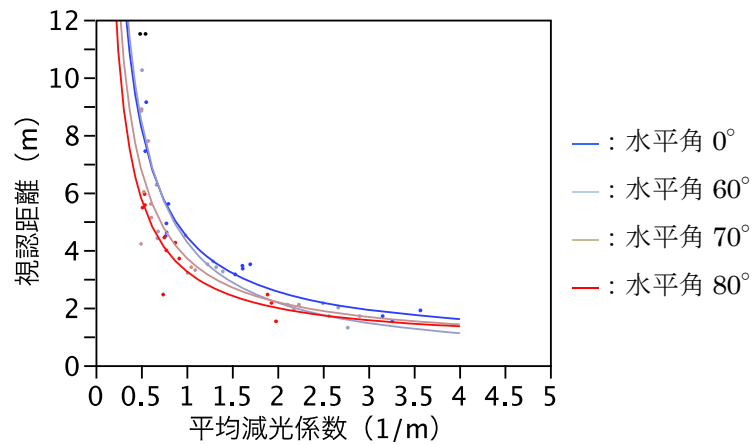
角度 0° : 視認距離 (m) = $-0.44 + 6.07 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.94 p<0.0001
 角度 60° : 視認距離 (m) = $-0.25 + 4.79 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.96 p<0.0001
 角度 70° : 視認距離 (m) = $0.05 + 4.07 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.91 p<0.0001
 角度 80° : 視認距離 (m) = $-0.30 + 4.16 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.79 p<0.0001

【通路誘導灯 (兩方向)】



角度 0° : 視認距離 (m) = $0.41 + 4.52 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.90 p<0.0001
 角度 60° : 視認距離 (m) = $0.45 + 3.77 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.68 p=0.0005
 角度 70° : 視認距離 (m) = $0.47 + 4.24 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.83 p<0.0001
 角度 80° : 視認距離 (m) = $1.19 + 2.47 / \text{平均減光係數 (1/m)}$ R2 乘 0.56 p=0.0013

【避難口誘導灯】



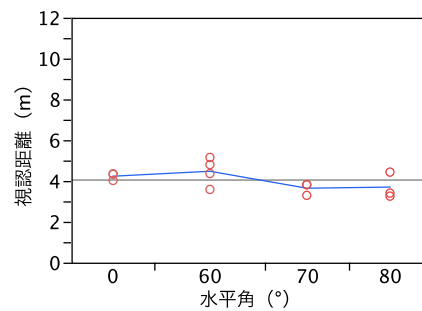
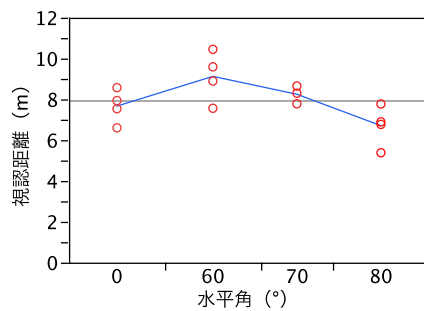
角度 0° : 視認距離 (m) = $0.64 + 3.83 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.90 p<0.0001
 角度 60° : 視認距離 (m) = $0.04 + 4.25 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.90 p<0.0001
 角度 70° : 視認距離 (m) = $0.64 + 3.09 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.71 p=0.0002
 角度 80° : 視認距離 (m) = $0.71 + 2.55 / \text{平均減光係数 (1/m)}$ R2 乗 0.82 p<0.0001

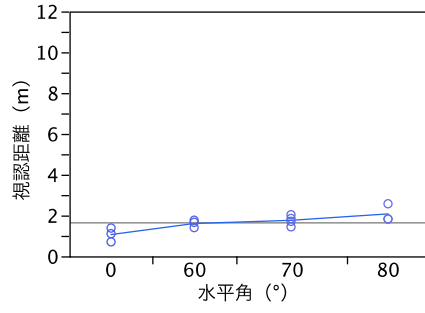
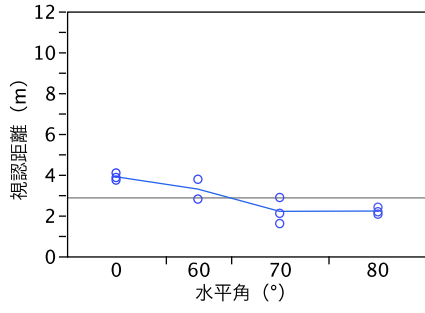
全標識の全角度において、分散分析による F 検定における有意確率が 0.05 未満となり、有意水準 5%において回帰式は統計的有意性を持ち、予測に役立つ。決定係数が 0.56～0.96 となり、回帰式の精度が認められる。

(2) 各標識における水平角と視認距離の関係

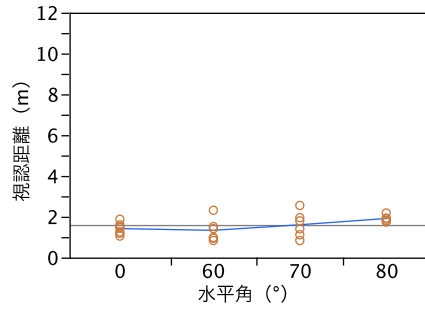
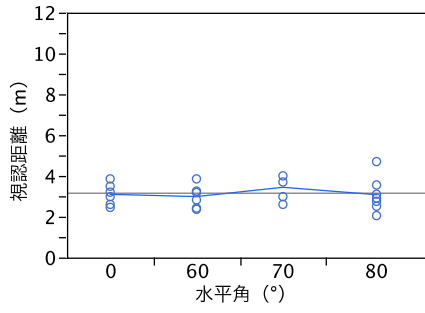
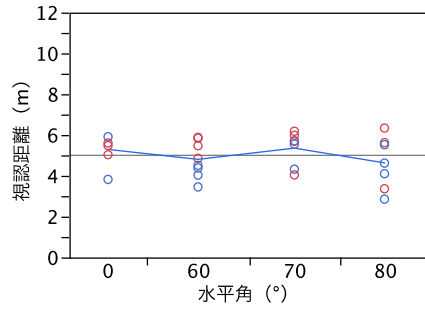
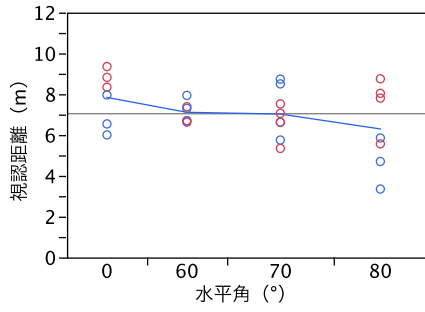
各標識について、実験条件の各煙濃度における水平角に対する視認距離の関係を把握する。

【案内標識】

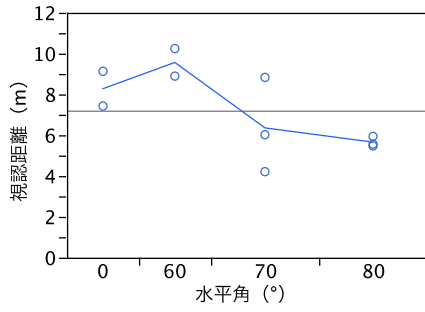




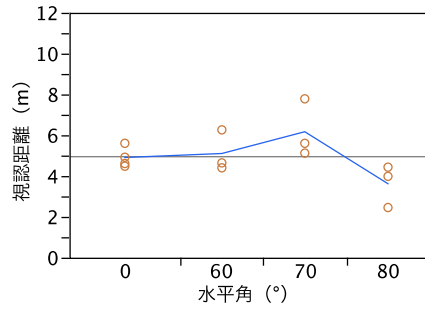
【通路誘導灯】



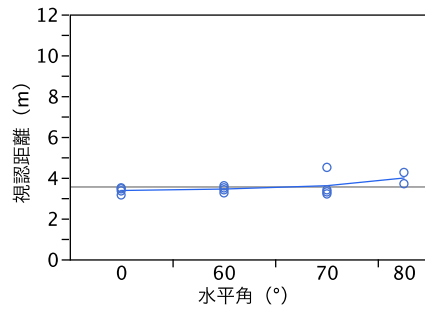
【避難口誘導灯】



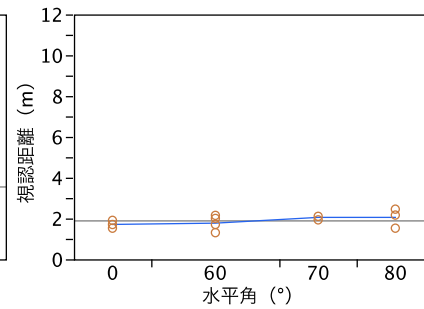
濃度「うすい」



濃度「ややうすい」



濃度「やや濃い」



濃度「濃い」

濃度が濃くなると視認距離と水平角に関係性は見られない。距離と水平角間に関係性が見られる場合の内濃度が濃くなると、視認距離は①水平角 70° までに水平角の影響が見られる、②水平角 70° は水平角 0° と同等となる。

○まとめ

2011年度に続き、2012年度においても案内標識及び誘導灯について煙中における視認距離が減光係数による回帰式で表されることが明らかとなった。2012年度においては、水平角に対する視認距離への影響は線形ではなく、水平角 80° において、有意水準 5%の検定において、視認距離の低下もしくは水平角による影響の喪失が見られた。加えて、Cs・V 指標検討の結果、70° においても、視認距離が多少減少することが確認できた。したがって、各標識について水平角 70° の回帰式により得られる視認距離を用いることが、設置の際の安全性を考慮した値と言える。

視認距離は減光係数の分数関数で表せる。減光係数と視認距離の積 $C_s \cdot V$ (神²⁾の研究においては一定値をとる) が定数となることを確認出来、2011年の導出式についても妥当性を追認出来た。

本研究では、安全な煙を利用した被験者実験の実施方法を検討し、方法を確立した。今後は、この方法を用いて、新たな誘導灯の検討、または、駅等の誘導標識の煙中での視認性検討等を行うことが求められる。

3. 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)
スモークジェネレータ・スモーク液 (スロー)	138,558				
スモーク液・マスク・換気扇	120,378				
誘導灯・三脚・GoPro カメラ	211,894				
スロー駅	19,551				
計	490,381	計	0	計	0

4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

○ 煙中の誘導灯の視認性にかかわる研究成果についての今後の展開

本研究では、通路状の空間においては、誘導灯表示面が進行方向と垂直になるような向きに設置された場合に視認性が低くなることに着目し、実験を行った点で新規性が高い。この成果は、今後の消防検査・指導等による誘導灯設置の方法を検討する上での一助となると考えられ、今後の発展性が期待できる。

○ 煙を用いた被験者による視認性検討実験方法の確立および今後の展開

2年間の継続研究を通して、被験者に負担の少ない煙を用いて、煙中における誘導灯の視認性を被験者実験によって確認する方法を確立した。現在導入されている誘導灯の視認性からみた性能検討については、神らによって、1970年代から継続的に検討された研究成果をベースとしている。当時の神らは、木材クリブ等を燃焼させた人体に有害な実際の煙を用いているが、現在では研究倫理の観点から、このような実験は非常に困難である。

これに対して、当該実験でもちいたスモークジェネレータによって発生させる煙は、被験者に対する負荷も少なく、安全性を配慮しながら行える方法であると考えている。煙発生機構については、すでに、東京理科大学大宮研究室において、開発された者ものであるが、今回の実験検討を通して、被験者への刺激の提示、実験順序、評価手法の開発等、実験におけるソフトに関わる手法開発を行えた事は有用である。この方法は、今後の研究に対しても継続的に用いる事が出来る事から、今後の研究の発展性が期待できる。

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）

2011年、2012年の成果をもとに、各年度、日本火災学会研究発表会に論文を投稿し、発表を行った。また、今後は、査読論文等への成果の投稿を行う予定である。

○藤井皓介、畠山雄豪、遠田敦、大宮喜文、佐野友紀：「煙中における案内標識及び誘導灯の視認性」、『日本火災学会』、C10、栃木、2012年5月

○藤井皓介、畠山雄豪、遠田敦、大宮喜文、佐野友紀：「煙中における案内標識及び誘導灯の視認性 その2 視方向に対する標識水平角の鋭角時における視認距離に対する影響」、『日本火災学会』、受付番号0022、熊本、2013年5月（発表予定）