

令和元年6月10日現在

機関番号：32660

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18931

研究課題名(和文) 電場を利用した火災時の煙制御に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental Study on Controlling Smoke Particles by Applying an Electric Field

研究代表者

松山 賢 (Matsuyama, Ken)

東京理科大学・理工学研究科国際火災科学専攻・教授

研究者番号：10307704

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,400,000円

研究成果の概要(和文)：火災時に発生する煙を電場により制御するためには、火災時に発生する煙の特性を把握する必要があることから、燃焼により発生する煙粒子の特性(粒径分布、荷電分布、粒子重量等)の把握を目的として種々の燃焼条件および可燃物材料に対して実験を行った。この結果、種々の実験条件における煙の粒径・個数や荷電量が得られた。

さらに排煙効率や煙を侵入させたくない室の遮煙性能の向上等、実大規模の煙制御に向け、縮小モデルによる電場による煙粒子の挙動を測定する目的で、模型区画を用いて電場による荷電粒子の挙動把握実験を行い、PIVによる計測結果から、その挙動を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築・土木・船舶の分野では最も身近である人命に関わる火災時の煙粒子について、電場による制御に関する研究がほとんどされていないのが実状である。本研究成果により、火災時に発生する高温の煙粒子の特性を把握する手法が提案され、さらに一部条件に対する結果が示されたことから、電場による煙の誘導(煙の流れ方向を変える)、停滞(煙の拡散の抑制)、分離(煙粒子と空気を分離)の実現が可能であることが示唆された。こうした技術は、建物の防排煙や防災設備に応用が考えられ、より安全な建築空間の実現が期待され、社会的意義は非常に大きい。

研究成果の概要(英文)：Smoke generated at the scene of a fire obstruct evacuation due to decreasing the sight, reducing the range of activities. For minimizing damage, a new method of smoke control to complement existing facilities has been studied by utilizing electrical characteristic of smoke particles. For practical using this method, the basic electrical characteristic such as an amount of electric charge and polarity of smoke particles is needed to be studied. Therefore, the objective of this study is to observe smoke particles experimentally on figuring out the electrical characteristic.

As a result, the value of electric charge and number concentration distribution according to the particle diameter were obtained. And then, the observation of induced smoke particle into an electric field by considering the electric charge and the charge status of smoke particles was proceeded by using PIV system. The induction effect of smoke particles was observed.

研究分野：火災安全工学

キーワード：火災 煙制御 煙粒子 帯電

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

火災時に発生する煙は、人体に有害な一酸化炭素やシアン化ガス等の毒性ガスが多く含まれているだけでなく、視認性の低下も引き起こし、建物内者が避難誘導灯等、重要な情報を得ることができず、避難行動の遅れや消防活動に支障をきたすことが懸念される。建築物をはじめ、トンネル、地下空間等の内部空間では、煙の拡散を防止するために、防火扉や防火シャッター等の防火設備、さらには煙を排出するために排煙機（機械排煙）や排煙窓（自然排煙）を設けることで一定の安全性は確保されているものの十分とは言えない。本研究では、こうした設備の安全性を向上すべく効率の向上、さらには、これに代わる新たな煙制御方法の確立を目指す、電場の利用に主眼をおいた基礎的知見を得ること目的とする。

電場による粒子を制御した研究開発は、質量分析などの分析分野だけでなく、粉体分野ではナノ粒子やサブミクロン粒子の研究から着色した帯電微粒子の制御によりプリンターが実用化され、微粒子の粒子径の分級に関する研究は新規材料の開発になくしてはならない技術となっている。近年では、受粉や農薬散布やイオン風を利用した乾燥技術の開発等の農業分野にまで広がっている。しかしながら、建築分野では普及には至っておらず、ごく限られた利用に留まっており、クリーンルームの集塵が唯一の実例かも知れない。この背景には、燃焼生成物である煙粒子の特性を把握できていないこと、またその特性は、燃焼の条件(可燃物特性、燃焼条件等)により異なる可能性が高く、多岐に亘ることに起因する。

現在の建築物における排煙設備は、主に自然排煙あるいは機械排煙であるが、排煙効率は給気や排煙口位置を含めた排出能力とのバランスによる検討のみで、その他の効率向上手段は皆無であるのが実状である。こうした背景から、煙粒子が持つ特性を明らかにし、その特性を利用して煙流動をコントロールできれば、建物内での効率的な排煙制御が構築可能となり、より安全な建築空間の構築が期待できると考えた。

2. 研究の目的

火災時に発生する煙は、人体に有害な一酸化炭素やシアン化ガス等の毒性ガスが多く含まれているだけでなく、視認性の低下も引き起こし、在館者が避難誘導灯等、重要な情報を得ることができず、避難行動の遅れや消防活動に支障をきたすことが懸念される。建築物をはじめ、トンネル、地下空間等の内部空間では、煙の拡散を防止するために、防火扉や防火シャッター等の防火設備、さらには煙を排出するために排煙機（機械排煙）や排煙窓（自然排煙）を設けることで一定の安全性は確保されているものの十分とは言えない。本研究では、こうした設備の安全性を向上すべく効率の向上、さらには、これに代わる新たな煙制御方法の確立を目指す、電場の利用に主眼をおいた基礎的知見を得ること目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、大きく2種類の実験的研究により構成される。一つ目は、可燃物の燃焼により火災を模擬した煙粒子を発生させ、電場による影響を受ける煙粒子の帯電量や粒径分布等の測定実験を行う。二つ目は、帯電量が既知である煙粒子を浮遊させ、縮小模型内において電場による煙粒子の誘導、停滞および分離に関する実験検討を行う。

(1)煙粒子の特性把握（帯電量および粒径分布等の測定）

実験概要

火災時に発生する煙を電場により制御するためには、まず火災時に発生する煙の特性を把握する必要がある。火災により発生する煙は、可燃物の種類、量、空間形態、出火原因等、様々な要因が複雑に絡み合う化学反応を伴った生成物である。

実験の前提として、煙粒子を測定するには安定した煙の発生が最も重要となる。煙を定常的に加熱する装置（以下、煙発生装置）を製作する。煙発生装置は、固定した加熱部（ランプヒーターやパイロットバーナー）と可燃物設置台から構成される。

測定項目

実験では、煙粒子に関して、可燃物の重量減少、煙濃度、粒径分布、荷電分布、煙周囲の状況に関して測定する。煙粒子の分析装置は、火災時を想定した高温の煙のため、排ガス測定等に利用される高温空気のサンプリングが可能な DEKATI 社の HT ELPI+を使用することとした。この装置により 6nm ~ 10 μm の微粒子の粒径分布、荷電分布、重量の測定を行う。

実験条件

煙の発生方法において、実験に使用する可燃物は、オフィスや住宅等の通常の建築空間において比較的多く存在する家具、衣服、家電製品等に使用されている材料を対象とした。詳細は、研究成果の中で述べる。なお、可燃物の加熱方法は、ランプヒーターによる無炎燃焼とライター等により着火させ、有炎燃焼およびそれらを同時に使用する加熱方法とし、電圧、ガス流量を制御し加熱外力を設定する。

実験方法

実験条件に合わせ、煙発生装置と蓄煙箱の距離および蓄煙箱を調整する。煙発生装置により安定した煙発生量が得られるよう、ランプヒーターまたは燃焼量を調整する。煙発生装置に可燃物をセットし測定を開始する。煙粒子を約 10 分間発生させ、その後約 20 分間測定を継続し、煙粒子の時間経過による影響を確認する。

(2)煙粒子の誘導実験

実験概要

排煙効率や煙を侵入させたくない室の遮煙性能の向上等、実大規模の煙制御に向け、縮小模型による電場による煙粒子の挙動を測定する目的で、電場による荷電粒子の挙動把握実験を行う。本実験では、荷電粒子の電場の影響を把握するために、模型箱内に電場領域を設け、煙粒子をアクリル箱内に入れ、その挙動を観察する。なお、煙粒子は、先の煙粒子の特性把握により帯電量が既知である条件を利用する。

測定項目

実験では、煙粒子に関して、煙濃度、粒径分布、荷電分布、移動速度を、電場に関して、印加電圧・電流を測定する。なお、煙粒子の挙動は煙粒子をトレーサーとして、PIVシステム(粒子イメージ流速計測法)による測定を行う。

実験条件

模擬煙粒子については、粒径および帯電量をパラメータとし、電場については、平板電極間の電圧、平板電極間の距離・形状(メッシュ)をパラメータとする。

実験方法

実験条件に合わせ、所定の帯電量になるように模擬煙に印加する電圧を調整し、蓄煙箱内に煙を誘導する。模擬煙を約10分間発生させ、煙粒子の挙動をPIVにより把握する。

4. 研究成果

(1)煙粒子の特性把握(帯電量および粒径分布等の測定)

燃焼により発生する煙の誘導・遮断に向け、煙粒子が持つ電気的特性を把握することが目的である。本研究では、表1に示す7種類の可燃材料を対象に、煙粒子の極性をはじめとする帯電量、ならびに粒子径の計測を行った。

表1 実験条件

試験体種類	可燃物量 (サイズ/本数)	煙発生方法	加熱方法
線香	18(本)		着火
杉	30×30×30 (mm)	くん焼	ランプヒーター
MDF			加熱強度： 30kW/m ²
PVC			
天然ゴム			
ポリエチレン			
天然ゴム(シート状)	3.5(g)	有炎燃焼	着火

実験方法

加熱条件により発生する煙の特性も異なることが予想されることから、くん焼および有炎燃焼により発生した煙の二種類について測定を行った。くん焼には図2に示すランプヒーターを使用し、有炎燃焼は直接着火する方法をとり、それぞれ発生した煙を測定した。試験体として使用する可燃物の種類および実験方法は表1に示す。

実験装置

実験装置は図1に示すように、測定装置が安定的に煙を吸引できるよう蓄煙箱(150mm×280mm×100mm)で一度煙を溜め、箱上部の開口(50mm×50mm)から排煙する。なお、くん焼時の加熱強度が一定(約30kW/m²)となるようランプヒーターと試験体の距離は30mmで固定した。

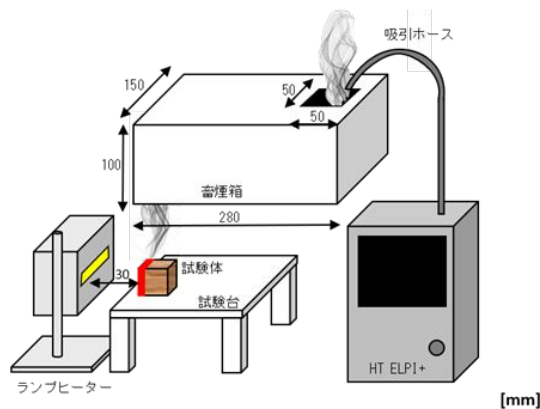


図1 実験装置概要

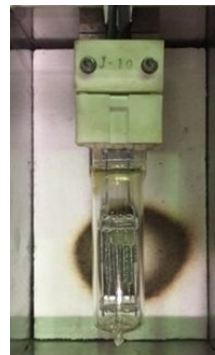


図2 ランプヒーター

測定装置

煙粒子の電気的特性(帯電量)を測定には、図2に示す Dekati 社の HT-ELPI+(High Temperature Electrical Low Pressure Impactor)を使用した。この装置は0.006μmから10μ

m の粒子に対し、電流値を測定する。この電流値から既往の研究により粒子径濃度、個数濃度を算定値として導くことができる。HT-ELPI+のコロナチャージャーはON と OFF を交互に切り替えることができ、OFF のときに煙粒子の帯電量(電流値)を、ON のときに個数濃度を測定する。

実験条件

試験体には汎用的に使用されている材料を選択した。試験体の形状およびサイズは、表 1 に示すように線香、天然ゴム(シート)を除き同形状、同サイズとした。加熱時間は約 10 分で、HT-ELPI+チャージャーの ON と OFF が切り替わるタイミングは 20 秒で設定した。

分析方法

HT-ELPI+のコロナチャージャーがエアロゾル粒子に電荷を与えるとき、ノイズを引き起こし正しく測定することができない。ノイズを除去するために、ON/OFF の各 20 秒のうちから 10 秒の結果を分析の対象とした。式(1)～(3)は連続したコロナチャージャーON/OFF 時の測定結果を 1 セットとして算定した。

1 粒子あたりの帯電量(電流値)[A]は式(1)から求めることができる。また、粒子径ごとの総帯電量(総電流値)[A]は式(2)から算出することが可能である。

$$\frac{I_r}{N_p} = I_E \quad (1)$$

$$I_r \cdot N_p = I_t \quad (2)$$

計測された電流値[A]は、次式(3)により電荷量[C]に変換できる

$$Q = I \cdot t \quad (3)$$

記号説明

I : 電流値[A], I_p : 1 粒子あたりの電流値[A], I_r : 生電流値[A/cm³], I_t : 総電流値[A], N_p : 個数濃度[1/cm³], Q : 電荷量[C] t : 時間[sec]

実験結果

図 3 は、粒子分布に対する個数濃度を示す。可燃物の種類に依らず、サブミクロンのより小さな粒子の個数濃度が大きくなっていることが分かる。

図 4 は、粒子分布に対する 1 粒子あたりの帯電量を示す。粒子径が大きくなるにしたがって帯電量が大きくなる傾向があった。

図 5 は、粒子分布に対する総帯電量を示す。図 4 ではサブミクロン以下では 1 粒子あたりの帯電量は小さかったが、個数密度が大きいため、各粒子径でのばらつきや可燃物による差異はあるものの、総量としては十分な帯電があることが分かる。

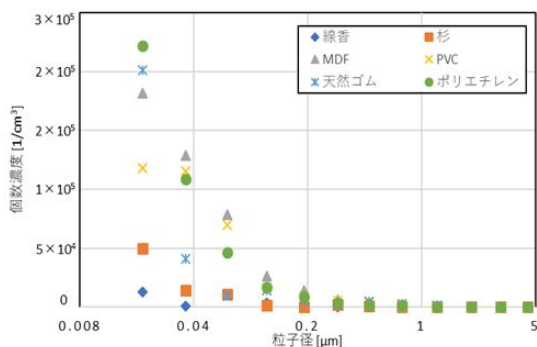


図 3 粒子分布に対する個数濃度

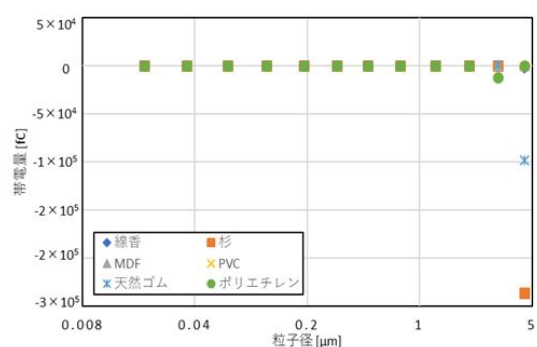


図 4 粒子分布に対する 1 粒子あたりの帯電量

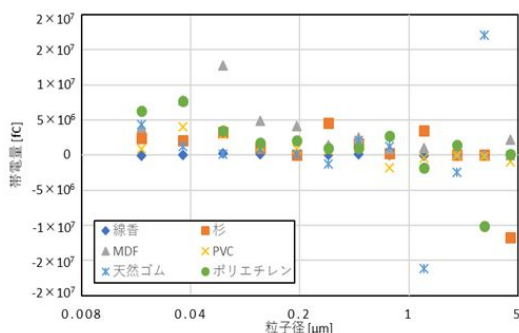


図 5 粒子分布に対する総帯電量

(2)煙粒子の誘導実験

遮煙性能の向上等、実大規模の煙制御に向け、縮小模型による電場による煙粒子の挙動を測定する目的で、電場による荷電粒子の挙動把握実験を行った。各可燃物で実施しているが、代表的な例として可燃物が天然ゴムの場合を対象に結果を述べる。

実験方法

先の煙特性把握実験と同様に、ランプヒーターにより試験体から発生した煙を対象に、その挙動を観察するため、図6に示す天井流を模擬した模型を用いて、電場領域における煙の挙動の変化をPIVによって計測する。PIVにおけるレーザーシートは図7および8に示すような位置とした。レーザーシートの向きは煙の流れる方向の水平方向であり、カメラは下から天板面を見上げる形で設置した。

なお電場領域は、図8に示すように、両極にはアルミメッシュが用いられ、最大30kVを印加した。

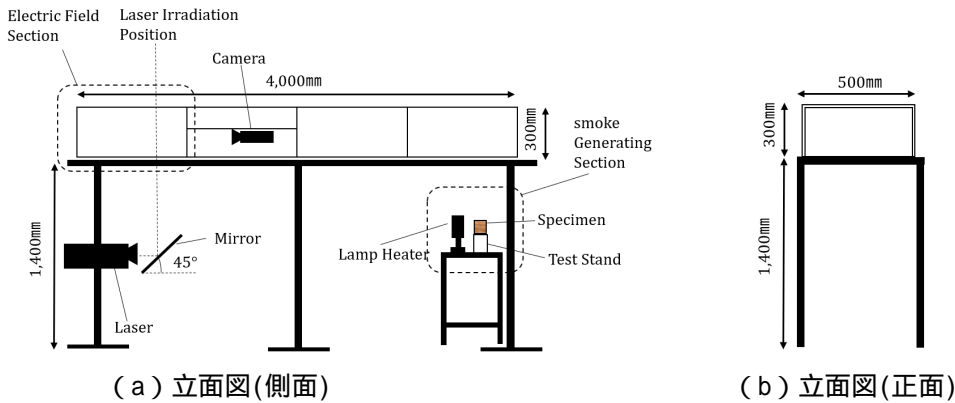


図6 実験装置概要

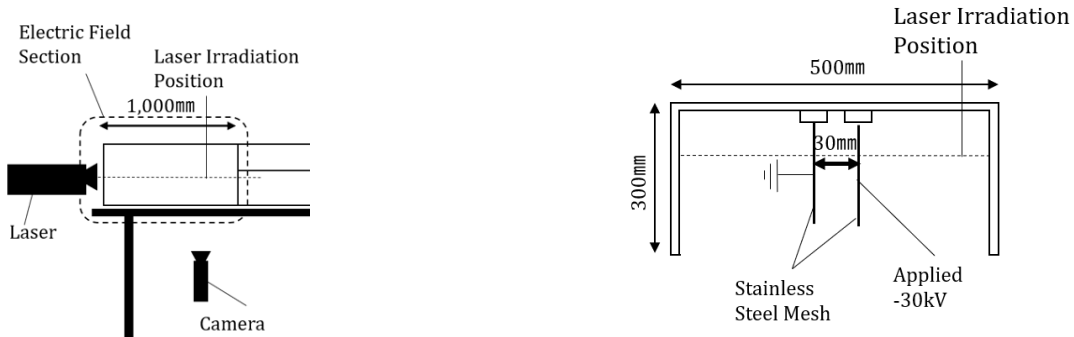


図7 PIV計測概要 (レーザーシートおよびカメラ)

図8 電場領域概要 (レーザーシート高さ)

実験結果

図9は、計測結果の一例であるが、+20kV印加時の天然ゴムの測定結果(平均速度)を示す。図の上側が印加側(+20kV)で下側が接地側である。この図から、微小ではあるが、電場により煙が印加側に誘導されていることが見て取れる。

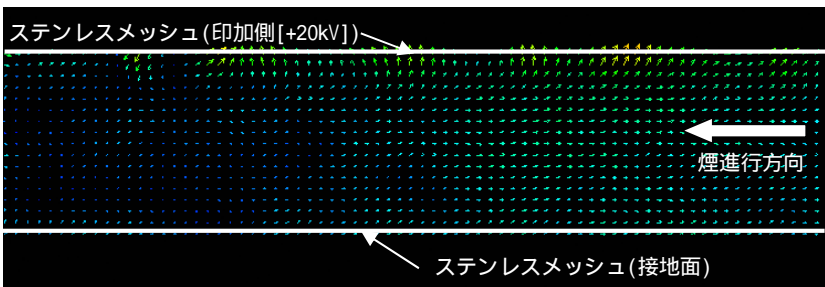


図9 測定結果の平均ベクトル

図10は、PIVにより計測した煙粒子の速度分布(印加方向の成分)である。X軸の距離とは、ステンレスメッシュ間の距離であり、0は接地側を示す。図から、電場領域全体で印加側に正であり、また特に印加側の付近の速度が大きいことが見て取れる。このことから、電場により煙が印加側に誘導されているといえる。

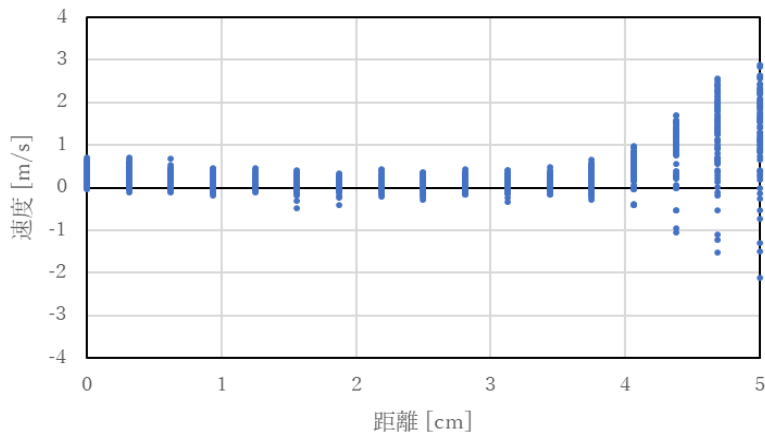


図 1 0 PIV の測定結果 (電位差方向の速度)

まとめ

煙粒子の電気的特性を把握するための帯電量および極性を測定する実験を行った。粒子分布に対する総帯電量の算出結果では、総帯電量は粒子の大きさに依存しないことが分かった。各可燃物で粒子分布に対する個数濃度の傾向が異なっていたが、総帯電量の大きさは、個数濃度が重要な要素となっていた。

また、煙粒子が電場領域においてどのような挙動を示すのか考察するために、PIV を用いた挙動把握実験をおこなった。天然ゴムから発生した煙の場合、領域全体にわたり印加側に誘導されていることが分かった。

本研究は、探索的性質の強いものであるが、火災時に発生する高温の煙粒子の特性を把握し、避難行動や消防活動を阻害する煙粒子を、電場による誘導(煙の流れ方向を変える)、停滞(煙の拡散の抑制)、分離(煙粒子と空気を分離)の実現を目的に実施した。こうした技術は、建物の防排煙や防災設備に応用が考えら、より安全な建築空間の実現が期待される。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名:

研究者番号(8桁):

(2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。