

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：33603

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02982

研究課題名(和文) 火災の前駆的燃焼状況下及び鎮火後のファイアーデブリスのニオイ測定に関する研究

研究課題名(英文) Experimental Study on Odor from Combustible Materials in their Pre-Fire Situation in House

研究代表者

須川 修身 (Sugawa, Osami)

諏訪東京理科大学・工学部・教授

研究者番号：60162856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：ニオイを指標とした火災感知から燃焼残渣物分析までを行う事を目的とした。ニオイの定性・定量測定そして感知には基準のニオイが必要であり、ニオイ基準に木材やプラスチックの酸化熱分解時に発生するニオイを選定した。このニオイ基準を用いて、実大燃焼時のニオイを検証した結果、火災時のニオイ変化を検知できた。燻焼燃焼や火源から離れた位置では、ニオイの変化の方が従来型の火災感知器より早い時間に検知できた。また、室内雰囲気中のニオイをベースに設定しニオイ分を除去し、火災によるニオイ変化を明確に示せた。ニオイによる火災感知は、火源から遠い位置や燻焼燃焼のように緩慢に進展する火災に対して特に有効性が高い。

研究成果の概要(英文)：Scorched odor emitted from various materials gave ambiguous atmosphere when their oxidative combustion proceed. The odor generated from the oxidative combustible from woods and plastic were measured and assigned to their chemical species. Mixed odor of the burning Cedar with kerosene was measured to simulate the odor of incendiarism cases. The peak intensity of odor from wood appeared at around of 250-300 deg. C of thermally degradation period and which corresponds to CO, methane, and aldehyde. Tatami mats (including PS foam) gave odor of PS. The odor from the early stage of fire was detected earlier than or almost equal to the detection of the smoke. The odor detecting system could detect the early stage of fire earlier than or almost equal to the ordinal fire detecting system. The odor could detect CO, aldehydes, and other small molecular spices. It is expected that the odor detecting system could be the next generation fire detecting system.

研究分野：社会システム工学・安全システム

キーワード：火災 ニオイ 定量分析 定性分析 火災感知 模型実験 ガス濃度 可燃性液体

### 1. 研究開始当初の背景

火災発生時には、煙や熱の他にニオイも発生しており、在館者が煙や炎を発見し火災に気付くだけでなく、きな臭いあるいは通常と異なるニオイにより火災に気付くことも多い。また、火災における出火域や出火原因の特定は、同様な火災の再発防止につながる点においても重要である。火災現場の調査時に調査員や捜査員は、焦げ臭の中から油臭を感じ、可燃性液体を検知することがある。ニオイは五感の一つであるが、ニオイを定性・定量的に伝える語彙が極めて少なく、しかも定量的な表現は困難である。ニオイを指標とした火災状況(火災初期, 発展, 終了および燃焼残渣物の分析)把握に関する研究は世界的に行われていない。

### 2. 研究の目的

本研究では、ニオイ測定装置を用いて、ニオイを指標とした火災の前駆的状況から鎮火後の可燃性液体の存在有無までを定量・定性的に測定し、把握することを目的とする。

### 3. 研究の方法及び結果

本研究は、①火災と認識する「ニオイ」を選出し、②火災と認識する「ニオイ」の定量測定を行い、③実規模火災実験にて①、②の手法を適応し、既存の火災感知システムと比較し評価する手法で研究を進めた。

#### 3-1. 火災と認識する「ニオイ」の選出

##### a. 実験方法

火災時の主たる可燃物は、木材等の天然高分子材料及びポリエチレン(PE)やポリプロピレン(PP)などの合成高分子材料に大別できる。各材料の酸化熱分解時のニオイを測定し、火災と認識する「ニオイ」の選出を行った。

上記可燃物を一定昇温速度で加熱できる装置としてTG-DTA(リガク製TG8120)の排気口にニオイ袋(近江デオドラント製)を取り付け一定時間毎にガスを採取し、ニオイ測定装置(島津製作所製FF-2A)で分析した。測定条件は、純空気(G3)雰囲気(流量300mL/min)、到達温度550°C(昇温10°C/min)とした。排気口に取り付けたニオイ袋は、5分毎に交換し、1回に1.5Lのガスを採取した。採取したガスは、においの強さに応じて5~20倍にN<sub>2</sub>(G1)ガスで希釈した。試料は、天然高分子材料7種類(針葉樹3種類(スギ, ヒノキ, ベイツガ), 広葉樹3種類(ナラ, シラカバ, キハダ), その他1種類(タケ))及び合成高分子材料9種類(ABS, PMMA, HDPE, LDPE, EVAC, PA6,6, PP, PS, PC)とした。

##### b. 実験結果

図1は、スギの酸化熱分解時に採取したガスのニオイ測定装置の出力値を示す。約220~270°Cでニオイセンサ出力値が最大となり、スギから活発にニオイガスが放出されている。そこで、センサ出力が最大となった約220~270°Cのガス(スギ①と表記)及びその一つ前

の約170~220°Cのガス(スギ②と表記)を火災感知の基準ガスとして設定した。また、その他の試料(15種類)についても、同様に基準ガスとして設定した。

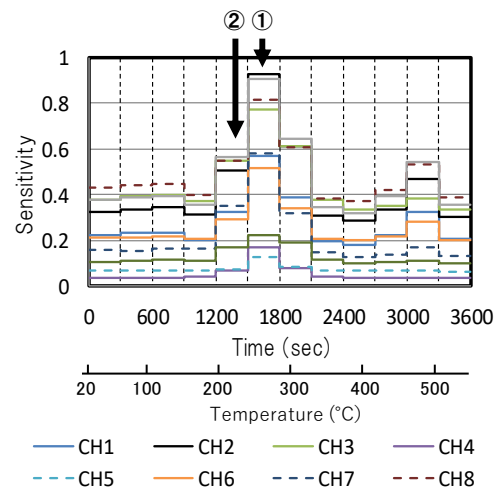


図1 ニオイ測定装置の出力値(試料:スギ)

#### 3-2. 火災と認識するニオイの定量測定

##### (1) 燃焼残渣物のニオイ測定

##### a. 実験方法

灯油は火災熱により成分比率が変化する。残渣物中の灯油検出には、灯油成分を基準ガスに設定し、受熱した灯油を定量的に検出できる基準ガス及び検出手法を選定した。

ニオイ袋に窒素ガス(G1)と直鎖の炭化水素物質を入れ、約0.1ppmのガスを各々の物質で作製し、ニオイ測定装置の検量線作成用の基準ガスとした。使用した直鎖の炭化水素は、オクタン(C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>)からオクタデカン(C<sub>18</sub>H<sub>38</sub>)の計11種類とした。

材料に灯油を塗布したものを試料としTG-DTAを用いて、加熱時の排気ガスを15分毎にニオイ袋に採取し試料ガスとした。TG-DTAの条件は、空気(G3)雰囲気(流量100mL/min)、到達温度200°C(昇温1°C/min)とした。試料は、①灯油のみ(10mg)、②灯油+アルミナ(10+10mg)、③灯油+スギ(10+10mg)、スギのみ(10mg)の4種類とした。試料ガスのニオイ強さに応じて5~1500倍に希釈し、ニオイ測定装置で分析した。

##### b. 実験結果

図2は、各試料の重量変化を示す。灯油成分が蒸発したため、120°C以上で全試料の重量は変化しなかった。スギ及び灯油+スギ試料は、120°C~200°Cで重量変化がないことより、スギの酸化熱分解前であったと考えられる。

図3は、灯油+スギ試料のC11に対する類似度を示す。C8~C10及びC12~C18に対する類似度では、0%又は、スギのみの試料と同程度現れ、灯油と明確に判別できなかった。一方、C11に対する類似度は、灯油含有の試料からは、115°Cまで類似度が5%以上見られたが、杉のみの試料では類似度は見られなかった。また、加熱温度が150°C以上になると、灯

油の有無に関わらず類似度が上昇し、灯油検出の妨げとなった。このことから、燃焼残渣物を加熱脱着法（加熱温度 115°C まで）により回収したガスを、ニオイ測定装置で分析し C11 に対する類似度が 5% 以上となれば、灯油成分を含有している可能性が高いことが分かった。このことは燃焼残渣物中の灯油成分の有無判定の支援となる。

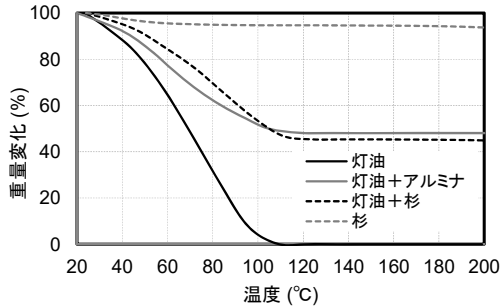


図 2 TG-DTA 測定における重量変化

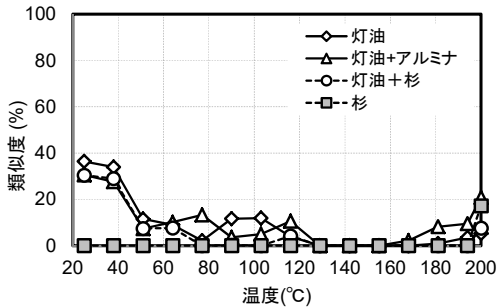


図 3 灯油+杉のニオイ測定結果 (基準ガス C11 に対する類似度)

### 3-3. 実規模火災実験

実規模火災実験により、ニオイの変化による火災感知と既存の火災感知システムと比較し、ニオイによる火災の進展状況を明らかにした。また、ニオイによる火災感知の優位性を実験的に確認した。

#### (1) 4 畳半 1 室の実大実験

##### a. 実験方法

図 4 に示すように、燃焼実験の建物は、一般住宅の 1 室 (4.5 畳) を模擬しており、2.7×2.7×2.4 m(H) の室内に 0.3m (H) の天井裏空間を設置した。壁は 12.5mm の石膏ボード、天井は 9mm の石膏ボード、床面は 12mm の合板の上に 3mm の化粧合板で仕上げた。建物には、腰高窓、腰高窓両側壁には屋内換気口および出入口用のドアをそれぞれ設置した。出入口ドアは、19cm の幅で開放した。室内には、ポリエステル製カバーとフォームのソファ (1.2×0.43×0.7m (H))、コミック誌を入れた木製カラーボックス、及び 20 型のディスプレイを置いた木製テレビ台を設置した。

火源は、木材クリブ 48 本を井桁に組み上げ、クリブおよび床面の一部に合計約 400g の灯油を散布し、クリブ下部に着火した。

計測は、燃焼時の重量、温度、ガス濃度、速度およびニオイ分析を行った。温度は、室内中心、ソファ後ろの壁等に合計 39 点測定した。

ガス濃度は、室内、出入口ドア等合計 4 点にてガス濃度計 (島津製作所製 CGT-7000) で計測した。ニオイガスは、部屋中心の床から高さ 1.6m, 2.4m, 2.55m (天井裏)、出入口の上部 (H=1.8m) 及びソファ後ろの壁 (H=2.4m) の合計 5 カ所から採取した。ニオイガスは、各点からガスをポンプ (榎本マイクロポンプ製作所製 MV-6005VP) で吸引し、ニオイ袋を 1 分毎に交換し採取した。

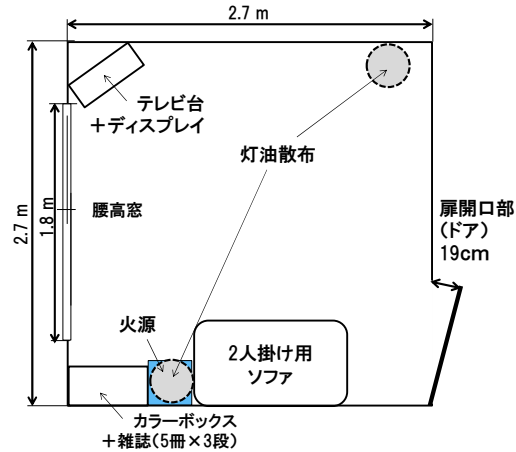


図 4 1 室の燃焼実験建物平面図

採取したニオイガスは、ニオイの強さに応じて 5~50 倍に希釈し、ニオイ測定装置で分析した。基準ガスは、悪臭防止法に定められている 9 種類のガス、購入時のガソリン及び灯油の 11 種類とした。

##### b. 実験結果

実験では、腰高窓が、着火から約 1 分 50 秒後にソファ側のガラスが 1 枚、約 3 分後テレビ台側のガラスがそれぞれ脱落し、非常に早い燃焼性状を示した。着火後約 3 分には噴出火炎が小さくなり、11 分後に放水消火した。

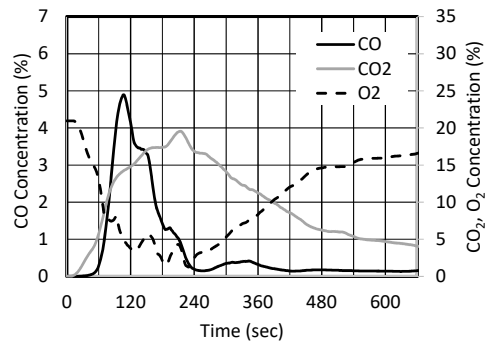


図 5 室内中央 H=2.4m のガス濃度結果

図 5 は、室内中央 H=2.4m のガス濃度測定結果を示す。着火 30 秒後には、天井面まで一酸化炭素、二酸化炭素ガスが到達し始めた。一酸化炭素ガスは、窓ガラスが割れる直前 (1 分 50 秒) に酸欠状態となり、最高濃度となった。二酸化炭素ガスは、窓ガラスが割れ新鮮な空気が流入し、活発な燃焼となった 3 分頃に最高濃度を示した。

図 6(a), (b) は、それぞれ灯油、炭化水素系

に対する類似度を示す。データは、ガス採取時間の真ん中にプロットした (0~60 秒に採取したガスは 30 秒に記述)。-1~0 分に灯油を散布し、0 分で着火した。図 6(a)より部屋中央 H=2.55m (天井裏) 以外の測定点で、1 分までに灯油の類似度が上昇したことより、散布した灯油が検出できた。

図 6(b)より着火から 1 分間に天井裏以外の測定点で、炭化水素系の類似度が上昇した。これまでの研究では、木材及びプラスチック材料の燃焼時には、アルデヒド系の類似度が上昇していた。本実験ではアルデヒド系の類似度は上昇しなかった。これは、灯油からアルデヒド系物質は発生せず、また早い燃焼速度を呈したことより、室内が短時間で高温となり、木材の分解時に発生したアルデヒド系物質は、さらに熱分解や燃焼が進み CO<sub>2</sub> 等に変化したためと考えられる。

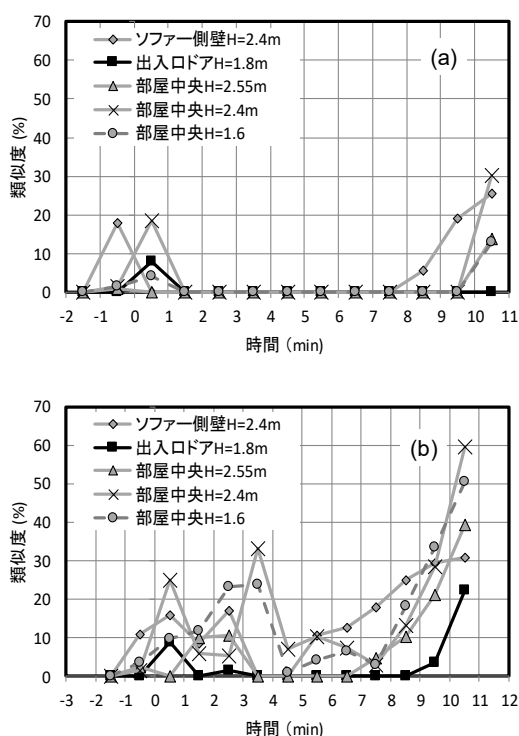


図 6 各時間のニオイ測定結果 (ニオイの質)  
(a) 灯油類似度, (b) 炭化水素系類似度

## (2) 4 畳半 2 室の実大実験

### a. 実験方法

図 7 に示すように、燃焼実験の建物は、一般住宅の 2 室 (4.5 畳) を模擬しており、2.7×2.7×2.4 m(H) の 2 室を 0.9×2.0m の開口部を通じて連結させた。壁は石膏ボード (12.5mm) 2 枚張り、天井は石膏ボード (9mm)、床面は合板 (12mm) 2 枚張りし塩化ビニル製のクッションフロア (2mm) 仕上げとした。各部屋には、ペアガラスの掃出し窓、屋内換気口を設置した。室内には、ポリプロピレン製カバーとフォームのソファ (1.2×0.6×0.9m (H))、木製カラーボックス、ディスプレイを置いた木製テレビ台を設置した。各部屋の床中央には、スタイロ畳を 2 枚ずつ敷いた。

火源は、A 室の畳面に灯油 1L を散布し、ライターで着火した。計測は、燃焼時の重量、温度、ガス濃度、速度およびニオイ分析を行った。温度は、室内中心、ソファ等に合計 46 点測定した。ガス濃度は、室内中央の高さ 0.4m と 2.35m、換気口等の合計 7 点をガス濃度計 (CGT-7000 および堀場製作所製 PG-330) で計測した。ニオイガスの採取は、部屋中心の床から 2.35m の高さおよび鴨居の中央の合計 3 か所とした。ニオイガスは、各点からガスをポンプで吸引し、ニオイ袋を 1 分毎に交換し採取した。各部屋の天井には、光電式スポット型感知器 2 種及び作動式感知器 2 種 (共にニッタン株式会社製) をそれぞれ 1 個ずつ設置し、各種火災感知器の応答とニオイ変化の時間を比較した。実験は、再現性を確認するため、畳を交換し 2 回行った。

採取したニオイガスは、ニオイの強さに応じて、5~50 倍に希釈し、ニオイ測定装置にて分析した。基準ガスには、3-1 で選出した酸化熱分解時に発生したガスを用いた。

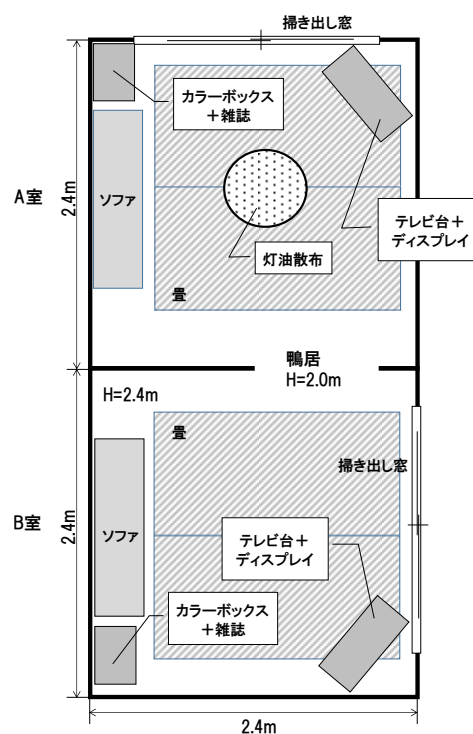


図 7 2 室の燃焼実験建物平面図

### b. 実験結果

図 8 は、基準ガスにスギ、PS を採った際の A 室及び B 室のニオイ測定結果を示す。データは、ガス採取時間の真ん中にプロットした。A 室、B 室共に、煙感知器、熱感知器が反応する前の着火から 1 分間に、スギ及び PS の類似度が上昇した。スギと PS の基準ガス①と②を比較すると、A 室では②の方の類似度が高かったが、B 室では殆ど違いは見られなかった。基準ガス①と②では、②の方が酸化熱分解の初期段階を検知できる可能性が高い。着火から 2 分後に、PS の類似度が上昇したことより、タタミボード等の木質系材料からポリスチレ



ンフォームへと燃焼・熱分解が移行したと考えられる。A室で発生したニオイガスは、B室へ流動拡散したが、B室は閉鎖空間であるため、ニオイガスは滞留しB室のスギ及びPSの類似度は、時間と共に上昇していったと考えられる。また、着火から2分後のCO及びCO<sub>2</sub>ガス濃度はそれぞれ、A室で約50ppm、0.5%であり、B室では約0ppm、0.25%であった。このことより、火災感知器の応答やガス濃度の変化よりニオイの変化の方が、早い段階で火災を検知できる可能性がある。

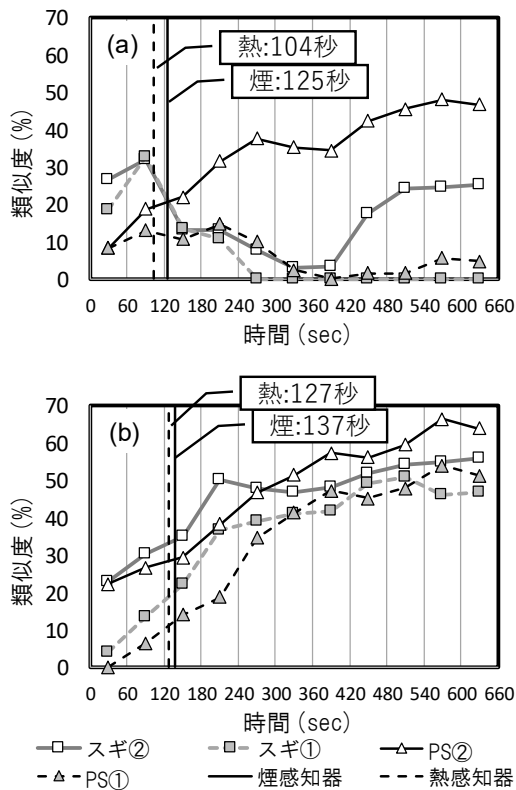


図8 2室の燃焼実験のニオイ測定結果  
(a) 出火室 (A室), (b) 隣室 (B室)

### (3) 一部2階建ての縮小家屋模型

#### a. 実験方法

実験は、1.8m×1.8m×1.8m (4畳半部屋の75%縮尺)の模擬空間を3室(1階部分に2室, 2階部分に1室)並べた配置とした(図9は実験時の様子)。1階の2室は、30cmの垂れ壁を通して接続した。1階と2階の間には60cm角の開口部を中心に設け、階段室相当とした。また、2階は掃出し窓を2カ所に設置し、掃出し窓は両側1cm開放した。出火室(1階)で発生した煙、ガス及び煙は、垂れ壁下を通して隣室に進展し、隣室中央部に設けた開口部(階段室に相当)を通り、2階部分へ流れ拡散する構造とした。壁及び天井は石膏ボード(12.5mm)1枚張りとし、燃焼等の観察ができるように、一面をポリカーボネート板(4mm)とした。室内に家具等は設置しなかった。温度は、可燃物設置位置、火災室垂れ壁手前、1階と2階の開口部に縦方向等、合計28点測定した。ニオイ及びガス濃度は、火源直上、火災室中央、火災室垂れ壁手前、及び2階天井面

等8カ所で測定した。ニオイガスは各点からポンプ(IBS製MF-1)で吸引し、ニオイ袋を30秒毎に交換し採取した。火災室中央及び2階部屋中央に光電式スポット型感知器2種及び作動式感知器2種(共にニッタン株式会社製)をそれぞれ1個ずつ設置し、各種火災感知器の応答とニオイ変化の時間を比較した。

採取したガスは、3-3.(2)と同様に分析した。また、2回目以降の実験では1回目実験のニオイが室内に付着しており、これらの影響を除去するため実験開始前のニオイガスをベースに用いた。

異なる可燃物のニオイを捉えるため、実験は可燃物の種類を変えて3回行った。1回目は電熱ヒータ上に設置したタオル(綿100%)3枚とした。2回目はプラスチック製ゴミ箱にコピー用紙(A4)を5~10枚入れたポリエチレン製袋3つを入れ、ニクロム線で着火した。3回目は木材クリブをロウソクで火源し実験した。



図9 実験時の様子(可燃物:タオル)

#### b. 実験結果

図10は一部2階建て縮小家屋模型実験のニオイ測定結果を示す。図10(a)は、可燃物にタオルを用い、基準ガスにはスギ②のニオイに対する類似度を示す。タオル実験では、伝熱ヒータ上のタオルがくん焼燃焼し、実験開始から800秒(13分20秒)後に有炎燃焼に移行したが、ニオイ測定は660秒で終了した。火災室の煙感知器は、実験開始から616秒で鳴動した。ニオイの変化から、火災室では300秒に変化が見られその後、隣室及び2階部分の類似度が上昇し、ニオイガスの流動拡散状況が明らかとなった。1階の熱及び2階の火災感知器は、作動しなかった。

図10(b)は、ゴミ箱を可燃物に実験を行った際の測定結果を示す。基準ガスには、LDPE②を用いた。実験前のニオイをベースに使用したことにより、火災によるニオイの変化のみを捉える事が出来た。実験では、ニクロム線加熱後すぐに有炎燃焼に移行し、プラスチック系可燃物から多くの煙が発生した。1階煙感知器が53秒、2階煙感知器が262秒後にそれぞれ作動した。1階部分のニオイは、150秒以降に変化が見られた。一方、2階は180秒でニオイの変化が見られ、2階の煙感知器よりも80秒程度早く変化を捉えることができた。

火源近傍では、既存の感知システムの方が早くに反応したが、流動拡散距離が長くなる2階部分に於いては煙感知器よりもニオイの方が早くに変化が見られた。

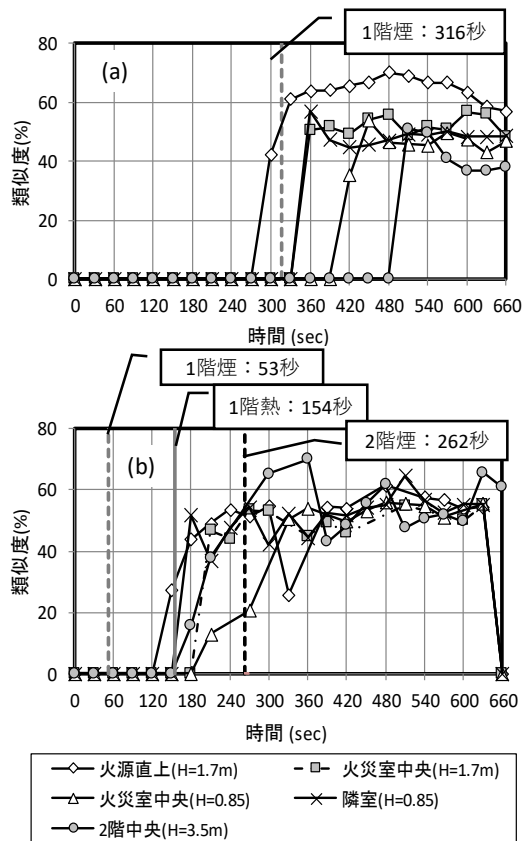


図10 一部2階建て燃焼実験の結果  
(a) タオル燃焼実験, (b) ゴミ箱燃焼実験

#### 4. 研究成果

ニオイの解析には、ニオイ基準ガスが必要であり、木材、プラスチックの酸化熱分解時に発生するニオイをニオイ基準に選定した。選定したニオイ基準を用いて、実大燃焼実験時のニオイを検証した結果、火災時のニオイ変化を検知できた。また、既存の火災感知システムと比較すると、進展の早い火災や火源近傍では既存のシステムの方が早かったが、燻焼燃焼や火源から離れた位置では、煙の粒子よりもニオイ分子の方が小さいため、煙より流動拡散が早い事から、ニオイの変化の方が早い時間に検知できた。また、室内雰囲気中のニオイをベースに設定しニオイ分を除去し、火災によるニオイ変化を明確に示すことができた。以上の事から、ニオイによる火災感知器は、火源から遠い位置や燻焼燃焼のように緩慢に進展する火災には有効性が高いことが示された。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Sugawa, O. and Kamiya, K., Experimental Study on FT-IR Analysis of Chemical Species from Wooden Materials in Precombustion, International Conference on Automatic Fire Detection, pp.371-

378, 2017.

〔学会発表〕(計9件)

- 越後谷, 須川, 上矢, 渡邊, 案部, 木田, 秋田, 木材・プラスチック混在時の酸化熱分解時に発生するニオイの測定, 平成30年度日本火災学会研究発表会, 2018.
  - 越後谷, 須川, 上矢, 渡邊, 案部, 木田, 清水, 実規模燃焼実験におけるニオイによる火災感知の検討, 平成29年度日本火災学会研究発表会, 2017.
  - Sugawa, O. and Kamiya, K., Experimental Study on FT-IR Analysis of Chemical Species from Wooden Materials in Pre-combustion Condition, 16th International Conference on Automatic Fire Detection, 2017.
  - 赤羽立矢, 須川, 上矢, 木質系材料の酸化熱分解時に発生する化学種の測定, 第49回安全工学研究発表会, 2016.
  - 上矢, 須川, 渡邊, 実規模火災燃焼実験におけるニオイの測定, 平成28年度日本火災学会研究発表会, 2016.
  - 上矢, 須川, 案部, 清水, 木田, 渡邊, 本間, 実規模燃焼実験におけるCOとCO<sub>2</sub>濃度比率, 日本法科学技術学会第22回学術集会, 2016.
  - 清水, 上矢, 案部, 木田, 本間, 渡邊, 須川, 少量の液体燃料を用いた室内火災の焼損痕跡の特徴, 日本法科学技術学会第22回学術集会, 2016.
  - 案部, 上矢, 清水, 木田, 本間, 渡邊, 須川, FDSによる換気回数を考慮した燃焼実験の再現, 日本法科学技術学会第22回学術集会, 2016.
  - 本間, 清水, 案部, 木田, 渡邊, 須川, FDSで用いるREFERENCE TEMPERATUREの測定, 日本法科学技術学会第22回学術集会, 2016.
6. 研究組織
- (1)研究代表者  
須川 修身 (SUGAWA, Osami)  
諏訪東京理科大学・工学部・教授  
研究者番号: 60162856
- (2)研究分担者  
岡 泰資 (OKA, Yasushi)  
横浜国立大学・環境情報研究科(研究院)・准教授, 研究者番号: 10240764  
案部 雄一郎 (AMBE, Yuichiro)  
科学警察研究所・法科学第二部・研究員  
研究者番号: 20779003  
渡邊 憲道 (WATANABE, Norimichi)  
科学警察研究所・法科学第二部・室長  
研究者番号: 30356175  
木田 勇次 (KIDA, Yuuji)  
科学警察研究所・法科学第二部・研究員  
研究者番号: 30779004  
本間 正勝 (HONMA, Masakatu)  
科学警察研究所・法科学第二部・主任研究官, 研究者番号: 90356220