

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		建物火災における泡消火剤による消火活動の作業環境衛生評価	実施年度 平成24年度
研究代表者	所属	北九州市立大学国際環境工学部	
	氏名	上江洲 一也	
1. 研究の背景および目的 <p>国内においても、クラス A 泡消火剤による消火活動の有用性が認識されつつある。石けんを主成分とした泡消火剤は、生態環境中に流出してもその毒性が極めて低いことは、実験データで示されてきたが、消火活動を行う消防士に対する環境衛生評価は未だ行われていない。建物火災における消火活動の現場で有害物質が放出されているならば、閉鎖空間での作業になるため、相当な高濃度の有害物質に消防士が曝されることになる。したがって、消火活動の現場における有害物質の暴露の危険性を正確に把握しておく必要がある。本研究では、建物火災の消火活動に伴って放出される様々な物質を実験的に把握し、それらの物質の暴露危険性を適切に評価し、消防士の健康を維持するための方策を提言することを目的とする。</p> <p>前年度までの実績について述べる。23年度の本拠点の研究課題として FT-IR ガス分析装置 (ISO19702) を用いて、木材および木材と泡消火剤が燃焼した際に放出するガス組成を調査した。木材にはベイツガを使用し、泡消火剤には、石けん系泡消火剤と海外製市販泡消火剤 (フォスチェック) を用いた。泡消火剤を同時に燃焼させる場合は、50wt.%濃度の泡消火剤を泡立てたものを使用した。ガス組成を測定すると同時に、発煙性試験装置内にタバコ BY-2 細胞を設置し、細胞毒性も評価した。石鹸系泡消火剤と比較し、合成系泡消火剤を使用した場合の方が毒性が高くなるなど、使用する泡消火剤により、細胞への毒性が大きく異なったこと、どのような燃焼条件で細胞への毒性が顕著になるかについての知見を得たことは重要である。また、23年度の実験では、泡消火剤泡沫を攪拌により泡立てたため、実際の使用時とは泡の性状が異なると考えられる。そこで、24年度においては、泡消火器により泡立てた泡を使用して、使用時に近い状態での燃焼状態での評価を目的とした。また、それらの物質群の曝露危険性を人体への影響評価として、ヒト肺由来の培養細胞を用いた毒性評価を計画した。</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、進展度合いについても記載すること。

本研究は継続課題である。以下に23年度の達成状況を述べる。23年度の研究において、木材の燃焼時において発生する燃焼ガスを特定した。具体的には、FT-IR ガス分析装置（ISO19702）を用いて、木材および木材と泡消火剤が燃焼した際に放出するガス組成を調査。その際、木材にはベイツガを使用し、泡消火剤には、北九州市で開発された石けん系泡消火剤と海外製市販泡消火剤（フォスチェック）を用いた。泡消火剤を同時に燃焼させる場合は、50wt.%濃度の泡消火剤を泡立てたものを使用した。ガス組成を測定すると同時に、発煙性試験装置内にタバコ BY-2 細胞を設置し、細胞毒性も評価した。背景の項で一部述べたように、石鹼系泡消火剤と比較し、合成系泡消火剤を使用した場合の方が毒性が高くなるなど、使用する泡消火剤により、細胞への毒性が大きく異なったこと、どのような燃焼条件で細胞への毒性が顕著になるかについての知見を得たことは特筆事項である。

ガス分析では、木材のみを燃焼した場合、主に一酸化炭素（CO）とホルムアルデヒド（CH₂O）が検出された。木材と石けん系泡消火剤を燃焼した場合、主に一酸化炭素（CO）、アクロレイン（C₃H₄O）、二酸化窒素（NO₂）、プロパン（C₃H₈）が検出された。石けん系泡消火剤に含まれるキレート剤中に窒素が存在するため、二酸化窒素（NO₂）が比較的高濃度に検出されたと考えられる。木材と海外製市販泡消火剤を燃焼した場合、主に一酸化炭素（CO）、アクロレイン（C₃H₄O）、亜硫酸ガス（SO₂）、プロパン（C₃H₈）、エタン（C₂H₆）が検出された。フォスチェックは、主成分の界面活性剤にスルホン酸系の界面活性剤を用いているため、亜硫酸ガス（SO₂）が検出されたと考えられる。

前年度の実験では、泡消火剤泡沫を攪拌により泡立てたため、実際の使用時とは泡の性状が異なると考えられる。そこで、24年度においては、泡消火器により泡立てた泡を使用して、使用時に近い状態での燃焼状態での評価を目的とした。また、前年度は、最も簡便な生細胞のモデルとして植物由来細胞を用いたが、燃焼ガス及び消火活動中に発生するガス中の物質群への人体が曝露される危険性、および影響を評価するための、より実証的なモデルとして、ヒト肺由来の培養細胞を用いた毒性評価を採用した。

以下に、実験の内容について簡便に述べる。燃焼実験には、前年度と同様に、米楯の切片を用いた。燃焼チャンバー内で加熱・燃焼を促し、FT-IR 装置を使用して、石鹼系泡消火剤（MK08）を用いた場合と海外製市販消火剤（フォスチェック）の処理の有無と木材からの燃焼ガスの発生の関係を明らかにした。

50%濃度に希釈した消火剤水溶液を泡立てて、木材（米楯）とともに加熱し、放出されるガス組成を調査した。図1に燃焼実験の様子を示す。昨年と同様に、泡消火剤である MK-08 を用いた場合には、NO₂ が検出された。これは、アミノ酸系のキレート剤を用いているためであると考えられる。フォスチェックを用いた場合では、SO₂ が放出された。これは、主成分の界面活性剤に含まれているためであると考えられる。



図1. 木材片を用いた燃焼実験の様子。木材表面への泡消火剤の有無により燃焼ガス組成および燃焼ガスの細胞毒性が大きく変化した。



図2. 実験室での細胞培養の様子。北九州市から細胞培養機材、無菌操作ブース、および培養細胞を移設し、1週間培養したヒト肺細胞由来細胞を利用して細胞毒性実験を行った。

今年度の実験では、タバコ培養細胞を用いた毒性評価と同様の結果が人の肺由来細胞に

においても再現できるかが注目された。図2に示すように、ヒト肺由来細胞の培養は、動物細胞培養用CO₂恒温槽および二酸化炭素ボンベ、無菌操作用フードなど試験に用いるモデル細胞の培養に必要な装置・器具を実験に先立ち、搬送・設置し、1週間の培養細胞を行った後に細胞影響評価試験に用いた。同時に燃焼ガスをサンプリングし、細胞懸濁液に一定の流速で添加し、その後に誘導される細胞死の誘導状況を経時的に異なるタイムポイントで回収した細胞の細胞死比率を染色法により観察し、毒性評価実験を行った。

その結果、MK-08を用いた場合には、致死率がほぼ0%であり、生細胞への影響はほとんどないことがわかった。これに対し、フォスチェックを用いた場合には、ガス曝露後30分後には致死率が100%であった。これはフォスチェックより放出されるSO₂の影響であると考えられる。昨年と生物材料は異なるが、消火活動時の消火剤の選定が消火活動時に発生するガスの生物毒性を大きく変化させることが再確認できたといえる。

図3に示すように、燃焼実験で発生したガスの成分分析作業と細胞毒性評価は同時を行ったことで、燃焼条件の違いや、木材への消火剤添加の有無により変化するガス組成と毒性との関係を特定にむけて知見を得ることができた。しかし、その後の実験において、燃焼試験で検出された燃焼ガスの個別の成分による細胞死の誘導試験を行ったが、燃焼ガス中に存在する濃度では、単一の成分が細胞死を誘導することはなかった。従って、燃焼ガス中の複数の成分が相加的、あるいは相乗的に作用し、毒性を示すことが考えられる。



図3. 燃焼ガス処理細胞を用いた細胞生存率試験（奥）とFTIR等機材取り込みデータの解析の様子（手前）。

※スペースが足りない場合はページを増やしても構いません。

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)
実験容器等	126,433	宿泊費	47,000		
培養用プラスチック等	74,812	交通費	135,840		
FTIR 用フィルター	54,600				
DNA 合成	29,400				
宅配便代	14,800				
木材(米梅)	10,500				
炭酸ガス	2,940				
工業用窒素	3,675				
計	317,160	計	182,840	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）

昨年と今年の実験により、木材の燃焼では、パイロット・フレイムなしの燻焼条件下でより誘導な燃焼ガスが発生すること、パイロットフレイムがある条件においては、泡消火剤の添加により、誘導なガスが発生する場合があること（合成系界面活性剤を主成分とする泡消火剤の場合）が示された。この知見をもとに消火活動時の作業者の安全確保の観点からより望ましい消火作業手順の提案や作業環境影響評価を指標とした消火剤の選定など、実際の消防活動の現場に応用可能な多くの知見が得られた。今後、産学官連携の枠組みを活用し、上記の提案を具体化し、現場での実証試験に進む必要がある。

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）

<国際学会・口頭発表>

Noriyasu, A., Otsuka, K., Ishizaki, Y., Tanaike, Y., Matsuyama, K., Uezu, K., and Kawano, T. (2012) A novel wild-land fire-fighting foam for minimizing the phytotoxicity of wood burning-derived smoke tested in living plant cells. ICFMEME 2012: International Conference on Frontiers of Mechanical Engineering, Materials and Energy (2012.12.19-21, Beijing) (審査あり、口頭発表)

<学術誌・投稿済み、審査中>

Noriyasu, A., Otsuka, K., Ishizaki, I., Tanaike, Y., Matsuyama, K., Uezu, K. and Kawano, T. (2013+) A novel wild-land fire-fighting foam for minimizing the phytotoxicity of wood burning-derived smoke tested in living plant cells. **Advanced Materials Research** (1月投稿済み、審査中)