

# 令和元年度終了研究開発課題成果報告プレゼンテーション

課題名『ケイ酸化合物系消火剤を用いた油火災消火に関する研究』 研究開発事業区分

研究代表者『 塩盛弘一郎・宮崎大学 』 研究期間【 令和元年度 ～ 令和元年度 1年間】

研究費 46千円（期間全体の直接経費の実際使用金額の合計） 消防機関等 日向市消防本部 ほか

## 【当初の目標】

油火災に適したケイ酸化合物ベースの感温性自己発泡型の消火剤を開発し、天ぷら油火災スケールからB火災消火能力の評価を行う。次の項目について研究を行う。

- 1) 油火災モデルの構築
- 2) 空中発泡現象の発現
- 3) 泡浮遊持続性・耐油性評価
- 4) 油消火実験

## 【研究開発の成果】

- 1) 天ぷら油火災を想定した、計測機器を設置した実験系を構築し、発火させて消火実験を行うモデルを構築した。
- 2) ケイ酸化合物をベースに液状から粉末状の消火剤を作成した。粉末消火剤は、天ぷら油が300℃以上で直ちに発泡した。ホワイトカーボンを混合した粉末消火剤は消火器から噴霧でき、天ぷら油火災の消火で発泡した。
- 3) 液状消火剤は、天ぷら油火災への噴霧で発泡し、表面に浮遊して消火まで油面を被覆した。消火後、時間経過とともに固体泡は消滅し、天ぷら油をゲル状に固化させた。
- 4) 液状消火剤を天ぷら油火災に噴霧することで、発泡して油面を被覆し、消火できることを実証した。作成した粉末消火器で天ぷら油火災に噴霧すると消火する事が出来、消火剤が発泡している事を確認出来た。

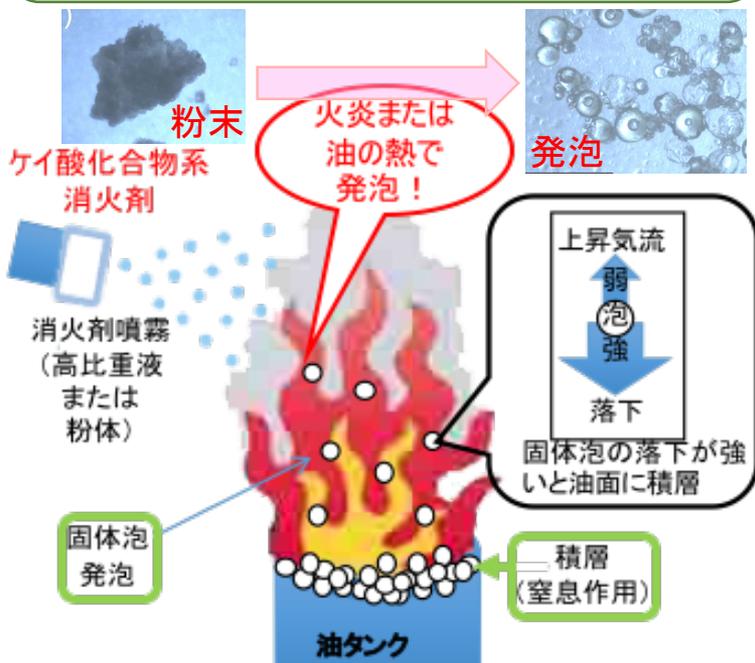


図1 ケイ酸化合物系消火剤のコンセプト



図2 液状消火剤による天ぷら油火災の消火実験

## 【当初の目標時における課題】

- 1) 消火実験室の空間に適した再現性ある消火実験モデルの構築
- 2) ケイ酸化合物消火剤の液体または粉体を用いた空中発泡現象の発現条件獲得
- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価を行う。このとき、消火剤を油に投入した場合も検討する。
- 4) 一般家庭の油消火も視野に入れた天ぷら油の消火実験を行う。
- 5) 最終的にタンク火災消火を目指し、ガソリンまたはn-ヘプタンを用いたB火災消火実験にて実用化の基礎データを獲得する。

## 【目標の達成度合と課題の解決状況】

- 1) 消火実験室の空間に適した再現性ある消火実験モデルの構築：**達成度70%**  
天ぷら油火災に対して、計測機器を設置した実験系を構築し、加熱発火させ消火実験を行った。
- 2) ケイ酸化合物消火剤の液体または粉体を用いた空中発泡現象の発現条件獲得：**達成度70%**  
空中発泡現象に代えて油中での発泡挙動を確認した。液状消火剤は天ぷら油火災の消火で発泡し、粉体の消火剤は、油温が300℃以上で瞬時にすべての粉末が発泡した。
- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価：**達成度100%**  
液状消火剤による消火で、天ぷら油表面で発泡し、表面を被覆し消火できた。消火後も表面及び油中を浮遊し、耐油性が確認出来た。冷却後に泡が消滅し天ぷら油が固化した。粉末消火剤の場合、発泡した泡が消火後も残っていた。
- 4) 一般家庭の油消火も視野に入れた天ぷら油の消火実験：**達成度100%**  
天ぷら油火災消火実験モデルで、種々の消火実験を行い、液状消火剤および粉末消火剤で消火できた（図3）。



図3 液状消火剤による天ぷら油火災の消火実験

- 5) ガソリンまたはn-ヘプタンを用いたB火災消火実験にて 実用化の基礎データを獲得：**達成度20%**  
継続的な実験を行うには安全確保が懸念され消火実験モデルの構築には至らなかった。

# <研究背景:素材として選んだケイ酸化合物の特徴>

## ケイ酸化合物

粘度低



液体

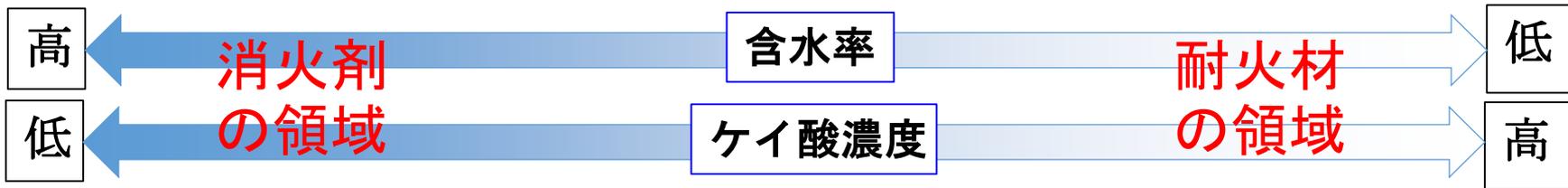
粘度高



ペースト状



固体状



・含水率を変えることで、液体から固体状まで状態を簡便に制御できる

# 1) 消火実験室の空間に適した再現性ある消火実験モデルの構築

エアゾール式簡易消火具の技術上の規格を定める省令<sup>14)</sup>に従い、図1に示す天ぷら油火災の消火実験モデルを構築した。

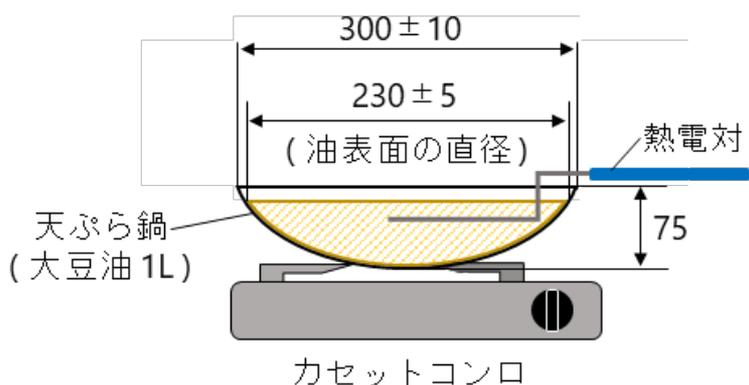
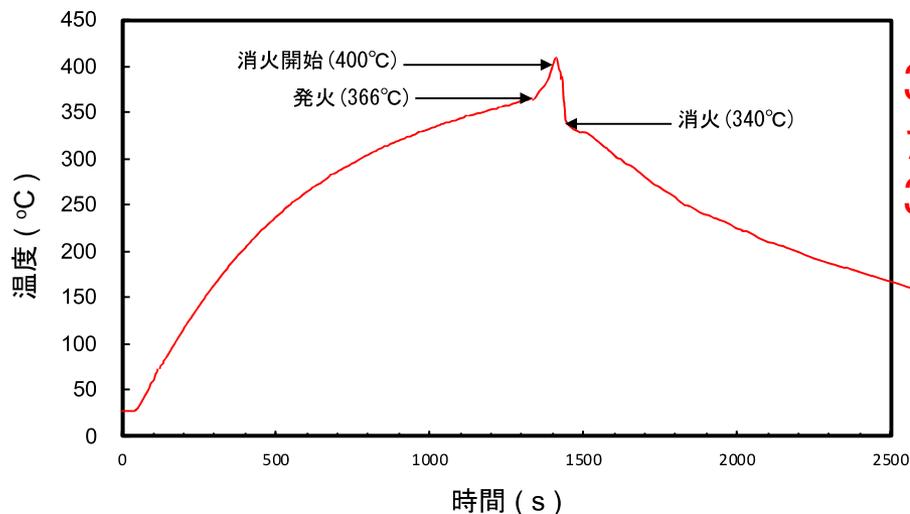


図1 天ぷら油火災の消火実験モデル

写真1 天ぷら油火災消火実験モデルの発火・燃烧の一例



360-370°Cで発火し、400°Cになった時点で消火を開始した。  
340°C付近に低下すると消火した。

図2 天ぷら油火災消火実験モデルの消火実験での油温の変化の一例

2) ケイ酸化合物消火剤の液体または粉体を用いた空中発泡現象の発現条件獲得  
 粉末消火剤の油中での温度と処理時間による発泡挙動を明らかにした。

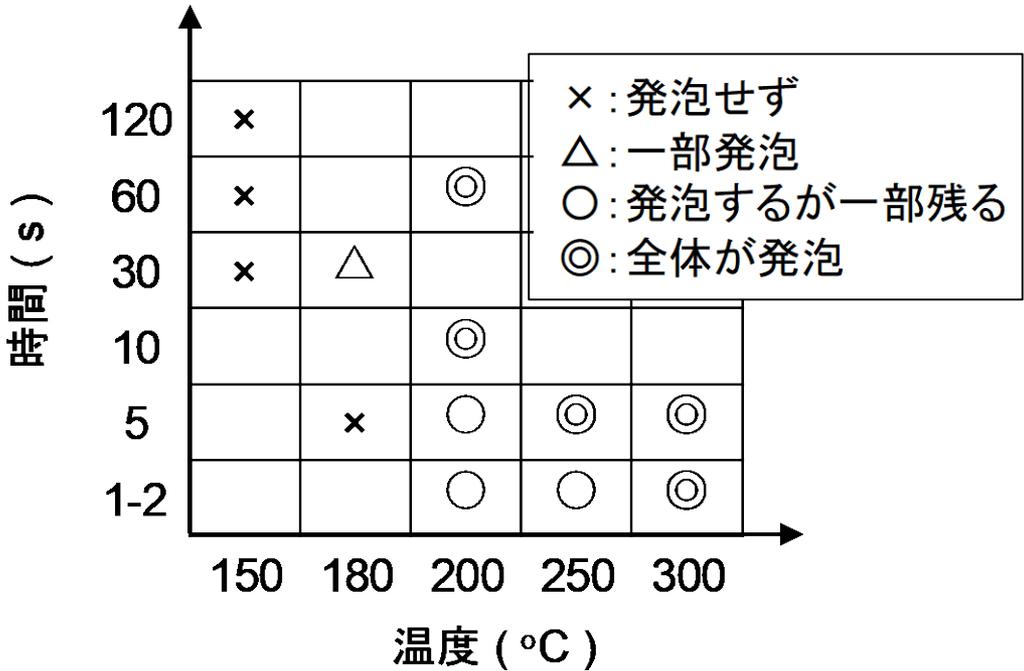
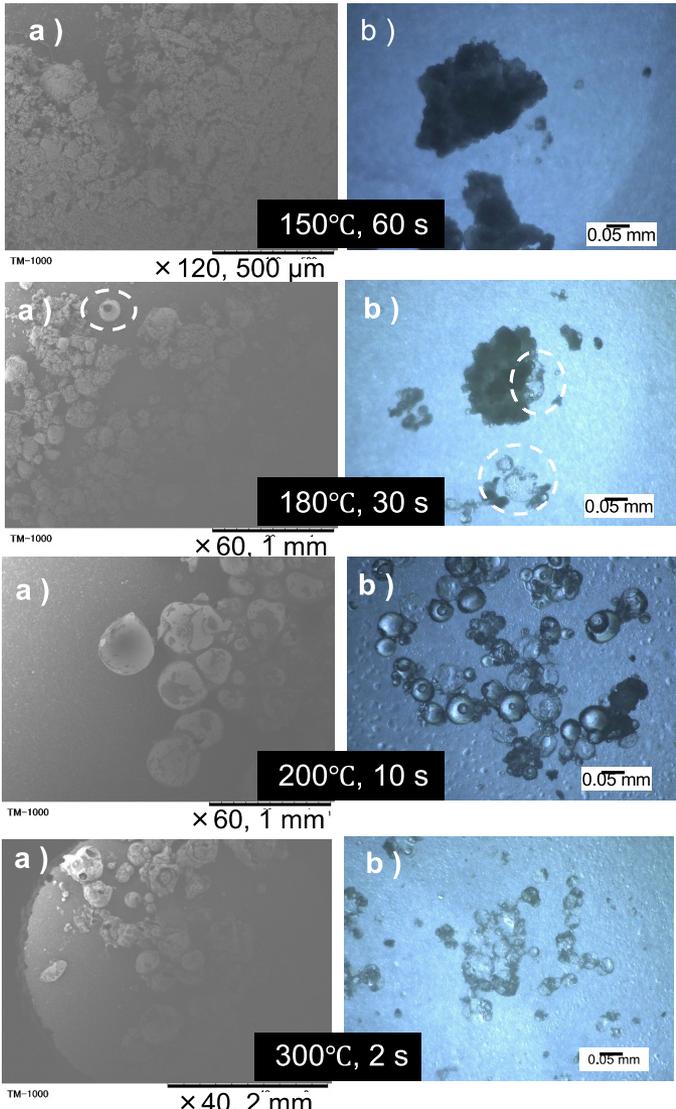


図3 粉末消火剤(020AlNa<sub>3</sub>)の天ぷら油中での発泡状態におよぼす加熱温度と処理時間との関係

200°Cから発泡が顕著となり、300°Cで全ての粉末が発泡した。

写真2 天ぷら油中で加熱処理(温度, 時間)された粉末消火剤(020AlNa<sub>3</sub>)の発泡状態の観察. a) SEM, b) 光学顕微鏡

- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油の消火実験



天ぷら油火災消火モデルに低粘度の**液状消火剤を噴霧**した場合の様子（まとめ）



- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油の消火実験

天ぷら油火災消火モデルに低粘度の液状消火剤を噴霧した場合の温度変化



液状消火剤の噴霧により、油温は急激に低下し、消火した

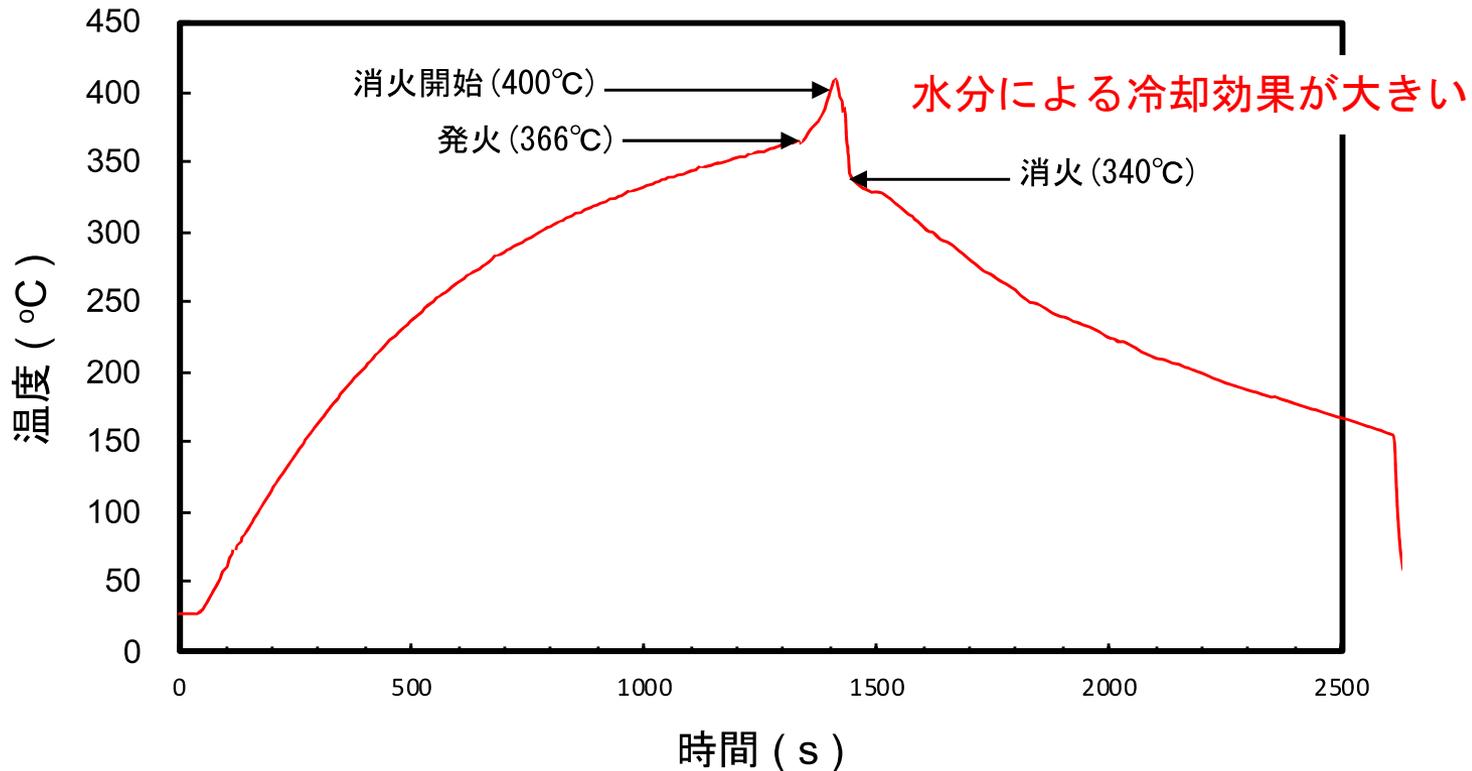


図2 天ぷら油火災消火実験モデルの消火実験での油温の変化の一例

- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油の消火実験

天ぷら油火災消火モデルに**粉末消火器**により噴霧した場合の様子



噴霧開始 (Start spraying)



噴霧継続 (Continue spraying)



噴霧継続 (Continue spraying)



- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油の消火実験

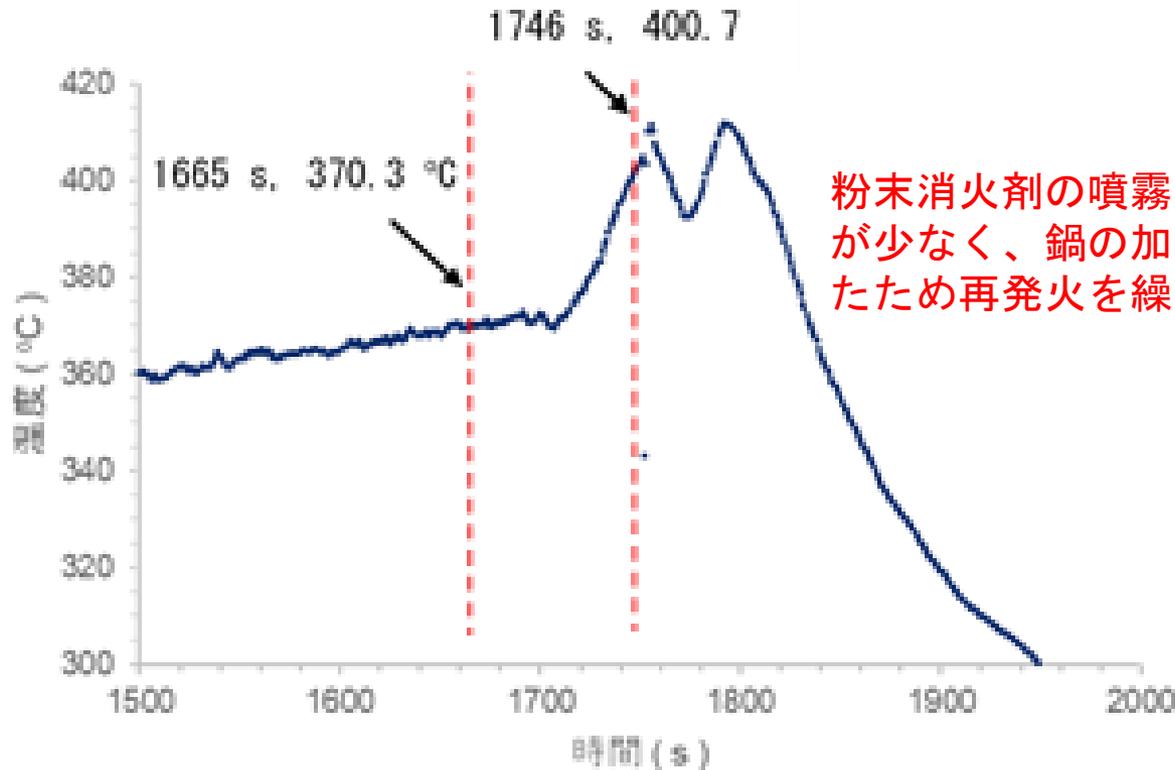
天ぷら油火災消火モデルに**粉末消火器**により噴霧した場合の様子



写真5 粉末消火剤による天ぷら油火災の消火

- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油の消火実験

天ぷら油火災消火モデルに**粉末消火器**により噴霧した場合の**温度変化**



粉末消火剤の噴霧による温度低下が少なく、鍋の加熱は継続していたため再発火を繰り返した

図5 天ぷら油火災の粉末消火剤の消火器による消火の際の油温の変化

- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油の消火実験

天ぷら油火災消火モデルに**粉末消火器**により噴霧した場合の**消火後の様子**



鍋の中で発泡した消火剤が固着し油を吸収していた。

写真6 天ぷら油火災を粉末消火器により消火した後の天ぷら鍋の様子

## 【研究終了時点で、課題解決に至らなかった理由】

### 5) ガソリンまたはn-ヘプタンを用いたB火災消火実験にて 実用化の基礎データを獲得

天ぷら油の消火実験で、一部油の飛散なども確認されたため、揮発性の高いガソリンやn-ヘプタンの消火を行う際の安全確保を検討した。

実験を行っている消防学校の施設では、ガソリンを燃焼させての粉末消火器での消火実習や、本消火剤による木材の着火のためのガソリン燃焼などは行っていたが、本研究で温度計測と撮影などを行いながら、新規の消火剤で消火実験を行う際の消火者の防護器具と、飛散した場合に引火・延焼した場合の消火、避難経路や換気設備の安全確保が不十分との指摘があり、B火災の消火実験を本施設では行わないこととした。

## 【今回の研究成果について、今後の展開】

本消火剤は、噴霧器で噴霧できる液状から、粉末として粉末消火器より噴霧できる形態で製造出来る(図4)。これまでの木材火災および金属火災への適用に加え、油火災でも適用出来ることが実証された意義は非常に大きい。本消火剤の幅広い火災への適用性が示され、波及効果は大きいと考えられる。

特に粉末消火器として利用するための粉末の流動性向上の基礎データも取得出来、消火器を試作しての噴霧実験も種々の条件で行う事が出来、粉末消火器としての実用化へ向けて研究が飛躍的に進んだ。家庭用の粉末消火スプレーの作成も可能であると考えている。

今後、実用化と市販に向けて、関連各所と協力しながら研究を継続する。



図4 ケイ酸化合物系消火剤の形態。上：液状消火剤；下：粉末消火器

# <同一の液体消火剤の木材およびマグネシウム消火実験結果>



被覆完了100秒時

木材

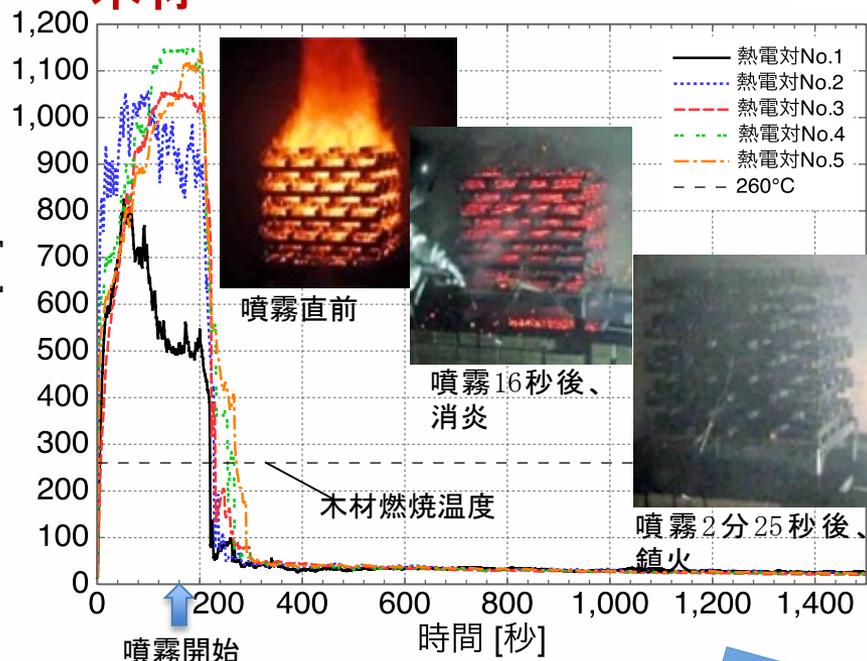


図 木材の消火実験での温度変化

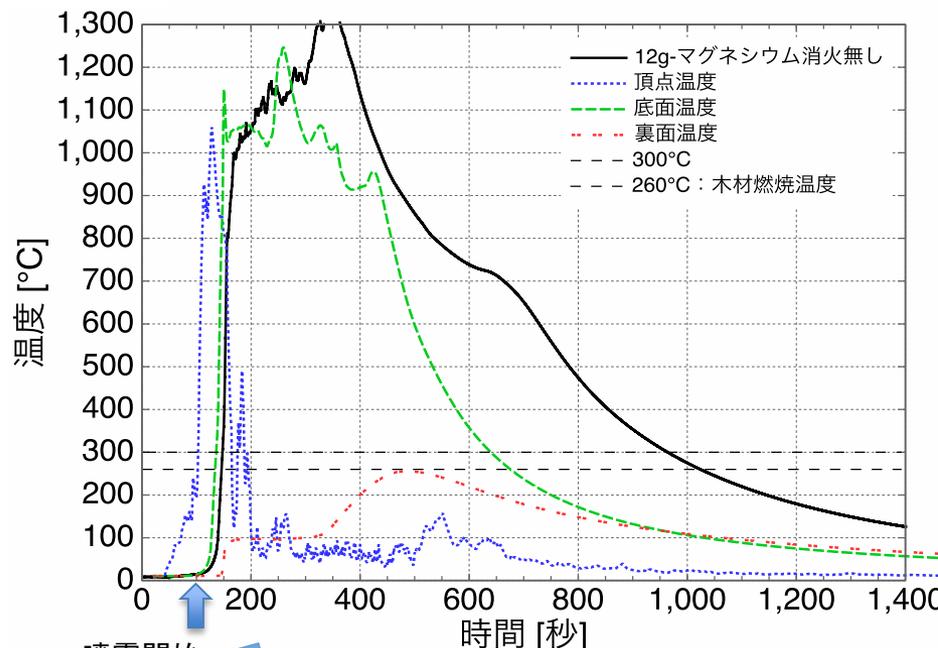


図 マグネシウムの消火実験での温度変化

同一の消火剤で木材の消火およびマグネシウムの消火ができる事を実験的に明らかにした

## 【製品化、システム運用、制度化など、広く実用するための課題】

本消火剤は、製品化および実用化の研究を継続している。

揮発性の高いガソリンやn-ヘプタンのB火災では油温がそれほど上昇せずに引火・燃焼する事から、粉末消火剤と発泡した素材とを複合化した消火剤の作成と実験を検討しており、この実証試験を行う必要がある。実験施設の検討を行い、火災モデルを構築する。

液体消火剤の製品規格を3種類決定し、製造原価等のコスト計算と販売価格の検討を行い、関連企業へ提示し、一部の企業では消火実験の演示している。

粉末消火剤については、流動性を向上した組成を決定し、消火器の試作を行い消火実験を実施している。

油火災の消火性能の向上のため粉末消火器への添加剤としての利用、およびマグネシウムなどの金属火災の消火剤としては好感触であり、今後の実用化の中心と考えている。

液状消火剤の場合、どの程度まで濃度を下げて効果を期待するかが問題であり、低濃度の試験を行う必要がある。また、実用化に向けて発泡性と価格のバランスを検討し、より低コストの消火剤を提案したい。

本消火剤の成果について、さらに広く公表し、導入を促したい。

### 3. 研究の内容と成果 (執筆要領)

## ケイ酸化合物系消火剤を用いた油火災消火に関する研究

○塩盛弘一郎<sup>1</sup>・正入木未来<sup>1</sup>・真 隆志<sup>2</sup>・松木巖生<sup>3</sup>・菅原鉄治<sup>2</sup>  
Koichiro Shiomori, Miki Shoiriki, Takashi Sana, Iwao Matsuki and Tetsuji Sugahara

**研究課題の要旨:** 本研究では、感温発泡性を有するケイ酸化合物を主成分とする液状消火剤および粉末消火剤を調製し、天ぷら油などの油火災の消火に適用し、消火特性を明らかにした。天ぷら油火災の実験モデルを構築し、消火剤の消火時での発泡挙動、発泡後の固体泡の油中での浮遊状態と経時特性、粉末消火剤の流動特性を明らかにした。種々の組成の消火剤を用いて天ぷら油火災の消火実験を行い、消火時の液状消火剤と粉末消火剤の消火特性を明らかにし、これまで報告した木材火災とマグネシウム火災に加え、油火災の消火にも有効である事を実証した。

**キーワード:** ケイ酸化合物、感温発泡性、被覆、油火災、無機高分子。

#### 1. はじめに

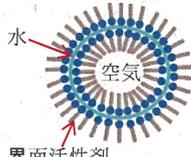
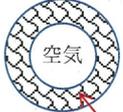
油火災の消火には、界面活性剤を主成分とする泡消火剤が用いられている。この泡消火剤の油火災消火原理は、油面から発生する可燃ガスを被覆し、油面への酸素供給を遮断する窒息作用である。石油タンク火災に使用する国内外の泡消火剤の性能が消火戦術も含め非常に詳細に研究<sup>1)</sup>されている。大容量泡放水砲に最も適した薬剤は、フッ素タンパク泡であった<sup>1)</sup>。しかしながら、フッ素系化合物は優れた消火性能を発揮する一方、火災消火時に発生する燃焼生成ガスは有害性を指摘されている<sup>2)</sup>。環境難分解性で、人の健康に悪影響の可能性を有するペルフルオロオクタンスルホン酸 (PFOS) とその塩は、平成 22 年に製造使用等が事実上禁止<sup>3)</sup>された。現在は、適合が確認された泡消火薬剤に限って混合使用することができる。しかしながら、近いうちに混合使用も禁止されると考えられる。その状況から内藤ら<sup>4)</sup>は、フッ素を含有していない泡消火剤の消火効率に関して研究を行っている。その結果、各泡性状に対応した増加係数を求め、泡供給率は 2.5 倍以上が必要であると示した。これらの知見は、有機物である界面活性剤を使用した泡消火剤のものである。

有機物である界面活性剤の泡消火剤と、無機物であるケイ酸化合物の本消火剤の比較を表 1 に示す。従来の泡消火剤と本消火剤の消火作用は、泡による窒息作用であるが、起泡要因、泡の種類、泡壁構造、消泡の要因および単泡の耐熱性は全て異なる。特に泡の壁構造由来による泡の耐熱性は、大きく異なる。

筆者らは、これらの特性を利用して、ケイ酸化合物を消火剤として開発してきた<sup>5-9)</sup>。本消火剤は、ケイ酸化合物の含水率を制御する事で、液

体、ペースト状、および固体の状態に変化させることが容易である。火源の熱により発泡する形状は、消火剤水溶液に含まれるケイ酸濃度に依存し、固体膜から固体泡まで変化させることができた。消火効果の知見として、木材の AI クリブを 3.8L の本消火剤 (液体) で消火できる事を実証した。1000℃ を超す燃焼中のマグネシウム (12g) に本消火剤 (液体) を噴霧しても爆発しないこと、マグネシウムの消火残物は再発熱しない安定した状態で消火できる事を実証し、固体泡よりも遮熱性が低い固体膜でさえマグネシウムの熱を閉じ込め、遮熱性に優れていることを実験的に明らかにした。本消火剤について、種々の消火実績を考慮すると、油火災で油面上に固体泡を被覆積層することができれば、窒息効果が発現すると考えられる。固体泡は高い耐熱性を有するため、火炎の熱による消泡が少なく、積層した泡の消失がこれまでの泡消火剤よりも非常に遅いと期待される。こ

表1 従来の泡消火剤と本消火剤の比較

	従来の泡消火剤	本消火剤
主な原料	界面活性剤	ケイ酸化合物
起泡要因	(物理的混合)	水+空気 加熱
泡の種類	液体泡	固体泡
泡壁構造	 逆ベクシル構造	 3次元網目構造
消泡の要因	水の蒸発	シリケート相の溶融
単泡の耐熱性	約100℃	800℃以上

(所属機関)

- 1 国立大学法人 宮崎大学
- 2 三生技研株式会社
- 3 日向市消防本部

れにより、油面に浮遊した固体泡による遮熱効果が期待され、消火に従事する隊員への熱放射が少なくなり、熱傷等の健康への悪影響を軽減する効果も期待される。

経済産業省は、平成30年7月のエネルギー基本計画において、石油備蓄の対応強化<sup>10)</sup>を示した。国内の石油備蓄は昭和53年から始まり、現在は約200日程度の石油を国内に備蓄<sup>11)</sup>している。依然として石油は主要エネルギー源であり、あらゆる産業の基幹原料である。そのため、タンク火災によって残存した石油や原油の有効利用が必要である。

原石油タンク火災の消火剤は、フッ素系泡消火剤からフッ素フリーの泡消火剤へと変更<sup>3)</sup>されつつある。フッ素フリーの泡消火剤は、フッ素系泡消火剤と比較すると、消火能力が低くなる傾向がある<sup>4)</sup>。そのため、同様の消火効果を発揮するには消火剤の使用量が増える<sup>4)</sup>。消火後の原石油の状態を考慮すると、原石油に相当量の界面活性剤と水が投入された状態となり、品質が異なっていると考えられる。この状態は、界面活性剤を圧入して採油<sup>12)</sup>する低品位の3次回収原油に似た状態と考えられる。低品位の原油を石油に精製するには多大な労力や工程を必要<sup>12)</sup>とする。一方、ケイ酸化合物消火剤でタンク火災を消火した場合の原石油溶液の状態を考えると、固体泡を分散した状態で、原石油そのものの品質はほとんど変わらないと考えられる。発泡した固体泡は、高耐油性であり、ろ過分離に耐えうる強度も有していると考えられる。そのため、タンク火災後の原石油は物理的なる過だけで消火剤を除去出来る。その後、既設の前処理工程の脱塩装置<sup>13)</sup>に導入すれば良い。この様にケイ酸化合物系消火剤を発泡させ、油火災を窒息消火できるならば、原石油の品位を可能な限り落とさず、再利用できる可能性が高まる。また、タンクや付帯設備などの事後処理も簡便となると期待される。

これまで油火災に対してケイ酸化合物消火剤を噴霧して消火した例は無い。そこで、本研究では、筆者らが開発した感温発泡性ケイ酸化合物系消火剤<sup>7)</sup>を、油火災の消火に適用することを行い、以下について研究を行った。

- 1) 消火実験室の空間に適した再現性ある消火実験モデルの構築
- 2) ケイ酸化合物消火剤の液体または粉体を用いた空中発泡現象の発現条件獲得
- 3) 固体泡の油面浮遊および耐油性評価
- 4) 天ぷら油火災の消火実験
- 5) ガソリンまたはn-ヘプタンを用いたB火災の消火実験

## 2. 天ぷら油火災の消火実験モデル

エアゾール式簡易消火具の技術上の規格を定める省令<sup>14)</sup>に従い、図1に示す天ぷら油火災の消火実験モデルを構築した。直径300 ± 10 mmの天ぷら鍋に大豆油を1 L入れ、ガスコンロで加熱し続け発火させた。油温は、熱電対を鍋の中心付近、底面から約1 cmの位置に設置して測定した。発火後、油温が400°Cになった時点で消火を開始し、天ぷら鍋内の炎が消えた後、ガスコンロの火を消した。

天ぷら油火災モデルでの発火までの過程の一例を写真1に、その際の油温の変化を図2に示す。コンロで加熱を続けると、約300°Cから白煙が発生し始め、次第に白煙発生は多くなり、355°C付近からさらに激しく白煙が発生し、約365°Cで発火した。発火後、炎が小さくなる様子が見られたが、再び炎は大きくなり定常燃焼が起こった。油温が400°Cに達した時点で消火剤の散布を開始し

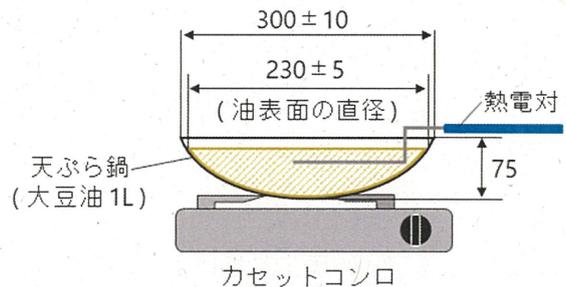


図1 天ぷら油火災の消火実験モデル



写真1 天ぷら油火災消火実験モデルの発火・燃焼の一例

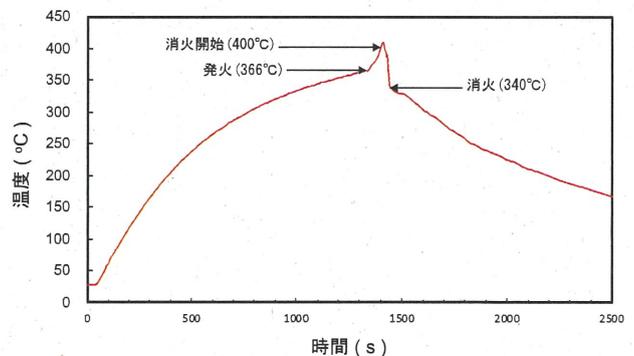


図2 天ぷら油火災消火実験モデルの消火実験での油温の変化の一例

た。消火剤散布で天ぷら油鍋内の炎が消えた時点で、コンロの栓を閉め、火を消した。この発火過程の温度変化は、実験を繰り返してもほぼ一定であり、再現性良い実験が可能であり、消火実験はこの実験モデルを用いて行った。

### 3 消火剤の発泡特性

本消火剤による油火災の消火モデルを図3に示す。これは、油火災の火炎の熱により消火剤の液滴もしくは粉末が空中で発泡し、油面上に浮遊して積層することで窒息させて消火する過程である。しかしながら、液状消火剤および粉末消火剤の両方で、空中で発泡するような噴霧条件では火炎の勢いにより消火剤が散逸され、消火が難しかった。消火剤が発泡することで空気抵抗が大きくなり、落下しにくくなった為と考えられる。

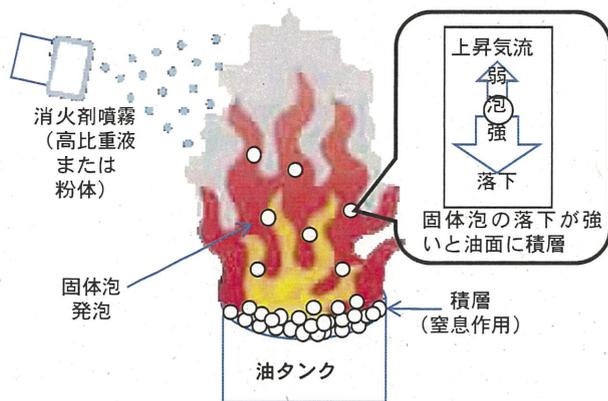


図3 感温発泡性消火剤による油火災の消火モデル

液状消火剤を塗布した場合の発泡特性は、既に報告<sup>5,8)</sup>しているのので、粉末消火剤の天ぷら油中での発泡特性を測定した。ケイ酸化合物水溶液(020AlNa<sub>3</sub>)を乾燥・粉碎させて調製した粉末消火剤を種々の温度の大豆油に所定時間浸漬し、取り出した後、エタノールで洗浄し風乾した。各試料は、走査型電子顕微鏡(SEM)および光学顕微鏡で観察し、発泡挙動を判断した。各温度と時間で加熱処理した粉末消火剤の外観を写真2に示す。粉末消火剤は150℃、60秒では全く発泡していなかった。180℃、30秒では一部が発泡しており、200℃、10秒の処理ではほぼ全てが発泡した。300℃では2秒の処理で全てが発泡した。温度が高くなるに従い、発泡した粉末消火剤の粒径が小さくなる傾向が見られた。粉末消火剤の発泡挙動の加熱温度と処理時間との関係を図4に示す。粉末消火剤は、150℃では時間が長くなっても発泡しないが、180℃では一部が発泡し、200℃では短時間でもほぼ全てが発泡した。さらに温度が高くなると、大豆油に入れると瞬時に発泡した。これらの

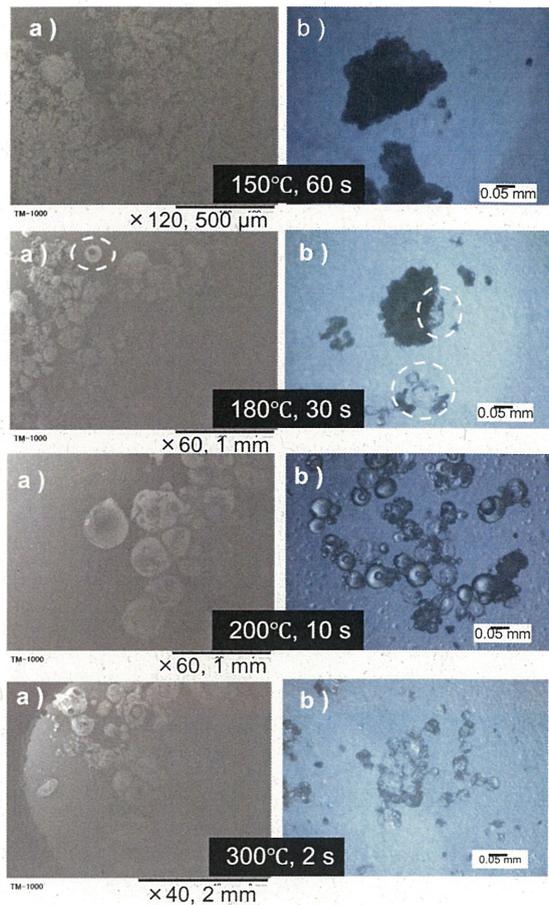


写真2 天ぷら油中で加熱処理(温度, 時間)された粉末消火剤(020AlNa<sub>3</sub>)の発泡状態の観察。  
a) SEM, b)光学顕微鏡

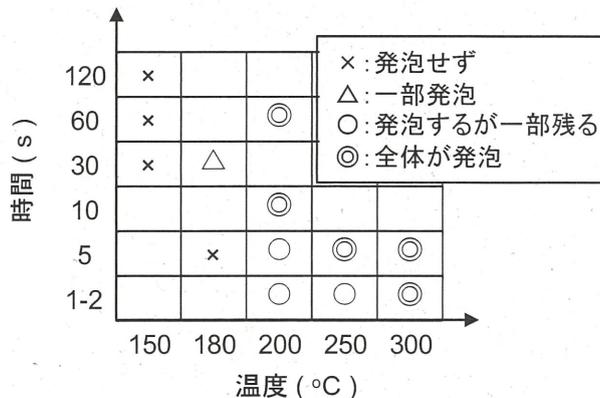


図4 粉末消火剤(020AlNa<sub>3</sub>)の天ぷら油中での発泡状態におよぼす加熱温度と処理時間との関係

ことから、天ぷら油火災モデルの消火において、粉末消火剤は天ぷら油に接触すると瞬時に発泡し、油面に浮遊し、油面を被覆し消火すると考えられる。

### 4 消火剤の流動特性

ケイ酸化合物の液状消火剤の固形分濃度と粘度の関係

は、詳細に調査している<sup>5,8)</sup>。本報では、粉末消火器に使用する事を想定し、粉末消火剤の流動性を、写真3に示す消火器からの噴霧試験により評価した。写真の小型消火器に粉末消火剤を充填し、噴霧させた際に噴霧された消火剤量と充填した粉末消火剤の重量比を噴霧率として評価した。ケイ酸化合物水溶液( $0.20\text{AlNa}_3$ )を乾燥・粉碎させて調製した粉末消火剤に疎水性ホワイトカーボン $1\text{wt}\%$ もしくは $2\text{wt}\%$ 混合した粉末消火剤を用いた噴霧試験において、いずれの場合も繰り返し試験で90%以上の噴霧率であり、実用的な流動性を有していることが確認された。



写真3 小型消火器による粉末消火剤の噴霧試験

### 5 液状消火剤による天ぷら油火災の消火

構築した天ぷら油火災モデルを用いて、液状消火剤による消火実験を行った。ケイ酸化合物水溶液( $0.20\text{AlNa}_3$ )を液状消火剤に用いて、霧状噴霧により消火実験を行った。発火後の消火過程を写真4に示す。噴霧直後は、噴霧



写真4 液状消火剤による天ぷら油火災の消火

による空気の巻き込みが起こり火勢が強くなったが、油面表面で発泡が起こり被覆することで火勢は弱くなった。被覆がさらに広がると消火され、浮遊し積層している固体泡の層が沸騰した油で波打ち、隙間から白煙が吹き出した。その後、油温の低下に伴い、白煙の発生は起こらなくなり、沈静化した。その後5分ぐらいすると白い固体泡は消滅し、大豆油がゲル状となった。液状消火剤は、アルカリ性が強いいため大豆油のケン化は起こり、ゲル状になったと考えられる。

この消火過程の油温の温度変化を図2に示す。400℃に達し、消火開始直後に油温は急激に低下し、340℃に低下したあたりで消火した。液状消火剤の使用量は、約250gから約530gと実験によりばらつきが大きかった。消火時の噴霧状態により、炎の巻き込みと油表面の固体泡の状態が異なったためと考えられる。しかしながら、油表面に固体泡が生成し、積層していくことが確認され、より効果的な散布方法を開発することにより、より効果的な消火が行えると考えられる。

### 6 粉末消火剤による天ぷら油火災の消火

構築した天ぷら油火災モデルを用いて、ケイ酸化合物水溶液( $0.20\text{AlNa}_3$ )を乾燥・粉末化し親水性ホワイトカーボン(DM-10)を2%添加したものを900gを小型消火器に充填した粉末消火器で消火実験を行った。粉末消火剤による消火過程を写真5に示す。粉末消火剤を火炎に噴射すると、消火剤の勢いにより油が周辺に広く飛散し火炎が広がったが、噴霧開始4秒後には消火できた。しかし、その後15秒で再発火し、再燃した。再び消火剤を噴霧すると約5秒で消火したが、その後9秒で再燃、噴霧約2秒で消火、さらに17秒後に再燃を繰り返した。この時点で消火器の中の粉末消火剤が無くなったため、水に浸した布を天ぷら鍋にかけて消火した。

この時の天ぷら鍋の発火時から、消火までの油温変化を図5に示す。消火剤を噴霧開始直後に油温は343℃に急激に低下したが、直ちに400℃に戻り、温度が上昇し続け、この時再発火した。再び消火剤を噴霧すると油温は390℃まで低下し、消火できたが、再び油温が上昇し、再度発火した。油温が発火点(360-370℃)以上であったため、発火しやすい状態が続いていたためと考えられる。火炎に対し消火剤を噴霧した際、消火確認後すぐに噴霧を止めるのではなく、天ぷら油の温度が発火点以下になるまで消火剤の噴霧を続けることで再燃を防げると考えられる。

消火後の天ぷら鍋の状態を写真6に示す。天ぷら鍋内にスポンジ状の塊が形成されており、粉末消火剤が高温の大豆油と接触することで発泡していることが確認された。油温が高いため、瞬時に発泡し、効果的に消火できていると考えられる。しかしながら、粉末消火剤の噴霧圧が高く、噴霧時に油と炎の飛散が見られた。映像をよく観察すると、燃焼している固まりが飛散している様子が見られ、粉末消火剤を噴霧した際に油を含んだ固体泡も天ぷら



写真5 粉末消火剤による天ぷら油火災の消火



写真6 天ぷら油火災を粉末消火剤により消火した後の天ぷら鍋の様子

ら鍋から吹き飛ばされ、炎が広がったと考えられる。粉末消火剤の噴霧方法の改善が必要であることが確認出来た。

まとめ

本委託研究で、ケイ酸化合物水溶液を用いた液状消火剤および、乾燥・粉碎させて調製した粉末消火剤を天ぷら油火災の消火に適用し、以下の知見が得られた。

液状消火剤を天ぷら油火災に噴霧すると、高温

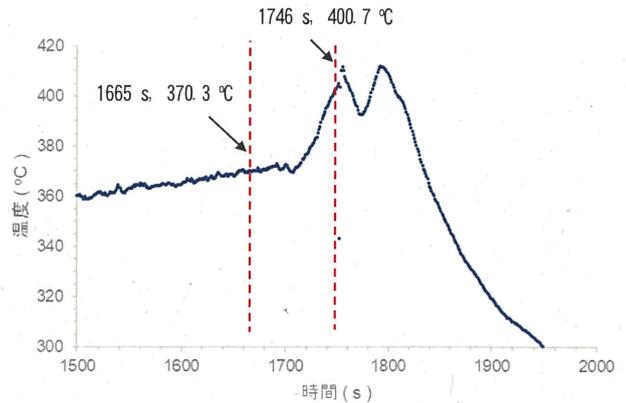


図5 天ぷら油火災の粉末消火剤の消火器による消火の際の油温の変化

の油面で発泡し、被覆することにより消火可能であった。消火後、大豆油表面の固体泡は消失し、大豆油がゲル化した。

粉末消火剤は、250°C以上で瞬時にほぼ全てが発泡した。粉末消火剤にホワイトカーボンを添加して充填した消火器において、粉末消火剤の90%以上を噴霧できた。粉末消火剤を天ぷら油火災に噴霧すると、油面で発泡しスポンジ状となり消火出来たが、再燃を繰り返した。

これらの結果より、ケイ酸化合物水溶液を用いた液状消火剤、および、ケイ酸化合物水溶液を乾燥・粉碎させて調製した粉末消火剤は、天ぷら油火災の消火に非常に有効である事が実証出来た。今後、噴霧方法の改善や消火器の構築を行うことにより、実用化が期待される。

謝辞

本研究は「令和元年度消防防災科学技術研究推進制度委託研究」(新手法開発型研究開発事業)による成果である。本実験の遂行にあたり、宮崎県消防学校の施設を使用させていただきました。各位の支援に対して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 独立法人消防研究所, “石油タンク火災の安全確保に関する研究報告書 -石油タンク火災に使用される泡消火薬剤の消火特性-,” 消防研究所研究資料第73号 (2006).
- 2) 貴志孝洋, 新井充, “含フッ素消火薬剤の大気環境影響に関する研究,” 大気環境学会, 42, 48-55 (2007).
- 3) 環境省ホームページ・化学物質関連情報 (PFOS規制) <https://www.env.go.jp/chemi/kagaku/oshirase/class1specified2.html> (2010)
- 4) 内藤博由, “フッ素フリー泡消火薬剤の泡消火効率改善に関する検討,” Safety & Tomorrow, 170, 28-38(2016).
- 5) 真 隆志, 菅原鉄治, 松木巖生, 塩盛弘一郎, “水ガラ

- スを主成分とした新規な被覆形成消火剤の開発と消火特性,” 科学・技術研究, 7, 43-50 (2018)
- 6) 真隆志, 菅原鉄治, 松木巖生, 塩盛弘一郎, “感温性を有する新規消火剤の消火特性と物性,” 消研輯報, 71, 225 - 233 (2019)
  - 7) 三生技研株式会社, 国立大学法人宮崎大学; “感温性無機組成物,” 特許第 5854422 号 (2019).
  - 8) 塩盛弘一郎, 松木巖生, 真隆志, 菅原鉄治, “感温性自己発泡型無機素材を利用した新規消火剤の研究開発,” 消防防災科学技術研究推進制度 平成 29 年度終了研究課題 成果報告書 (2019)
  - 9) 真隆志, 菅原鉄治, 松木巖生, 塩盛弘一郎, “木材およびマグネシウム」火災に有効なケイ酸化合物系消火剤,” 消研輯報, 72, 238 - 250 (2020).
  - 10) 経済産業省資源エネルギー庁: 第 5 次エネルギー基本計画, [http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/#head](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/#head) (2018).
  - 11) 経済産業省資源エネルギー庁: 石油備蓄の現況, [http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum\\_and\\_lpgas/pl001/pdf/2018/181115oil.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl001/pdf/2018/181115oil.pdf) (2018).
  - 12) 山口学, 中山敏雄, “原油の静電脱塩技術,” 静電気学会誌, 20, 68-74 (1996).
  - 13) 広瀬富雄, “原油の脱塩,” 燃料協会誌, 46, 201-209 (1967).
  - 14) 総務省令第 26 号, “エアゾール式簡易消火具の技術上の規格を定める省令,” (2005).