

感温性を有する新規消火剤の消火特性と物性

三生技研株式会社

真 隆志、菅原鉄治

日向市消防本部

松木巖生

国立大学法人宮崎大学

塩盛弘一郎

1. 研究の背景

市町村の消防の広域化は、平成 6 年から消防庁が継続している取り組みであり、地域の消防体制の拡充を目指している。宮崎県の県北エリアにおける消防広域化は、平成 27 年 4 月に一部事務組合方式として高千穂町、五ヶ瀬町および日之影町が西臼杵広域行政事務消防本部として組織され、3 町の非常備が解消されたが、東臼杵エリアはいまだ消防本部や消防署が不在の非常備町村（以後、非常備町村と略す）を 4 町村抱えている¹⁾。非常備の理由として、東臼杵エリアは山で分断された地域であり、広域化のメリットが見出されないことと、地元の消防団及び役場の対応により消火活動が対応できるとの理由である。林野火災での活動を考えた場合、広域化を果たした西臼杵エリアにおいては地上消火活動の応援が得やすいが、東臼杵エリアは山間地域による分断と地上の消火活動の応援が得にくいと考えられる。とりわけ消火活動に携わる消防団員は、他の職業に就いており、初期消火活動に取りかかりにくい状況も察することができる。初期消火に空白時間があつた場合は、思いがけず大規模な林野火災に発達する可能性を有しており、何らかの方法にて効率的な林野火災の消火の方策を講じる必要がある。

筆者らはこれまで、木造部材に耐火性を付与するため、感温性無機組成物を用いて研究開発²⁾を行ってきた。ISO834 の標準加熱温度曲線に準じた

加熱環境にて、板状に加工した感温性組成物が、温度を感知して積層発泡することで、木造部材に 1 時間の耐火性能を付与できた。これは、形成する泡の形と大きさ、そして泡の耐熱性を向上させたことに由来する。しかしながら、開発した無機素材は板状加工に制約されるため、その優れた遮熱性能はシート状の建築部材に限られている。開発した無機素材の長所を持つ消火剤を創り出すことができれば、火災から家屋や森林資源などを守ることができると考えられる。そこで本研究では、ケイ酸化合物の消火剤への適用性および燃焼物に対する被覆状態を検討し、その消火能力を水を基準とした場合の倍数として表した。また、林野火災における残火処理の適用性と、本消火剤の環境影響評価についても検討した。これら実験結果から得られた事柄をまとめ、非常備町村における防災強化に関しても検討した。

2. 感温性無機組成物の耐火材から消火剤への開発

著者らが開発した感温性無機組成物²⁾を噴霧可能な状態にすれば、遮熱特性を持つ消火剤になると考え、液化実験を行った。写真 1 にケイ酸化合物を主成分とする消火剤を噴霧可能な粘度に調節し、飛び火クリブ (図 1) で消火実験を行った結果を示す。燃焼しているクリブに噴霧すると、感温性素材である本消火剤は、クリブ表面で脱水縮

合反応し、無機高分子となった。その高分子の形状は膜や泡であり、クリブ表面を固体の被覆物が覆うことで窒息作用を発現した。固体泡は、クリブの釘の頭の箇所や木タールのガスが強く吹き出している温度の高い箇所で形成しやすい傾向があ

り、固体膜は、温度の低い箇所で形成しやすい傾向があることが分かった。これらのことより、筆者らが開発した感温性無機組成物を噴霧可能な状態にすれば、消火剤を開発できることが分かった。

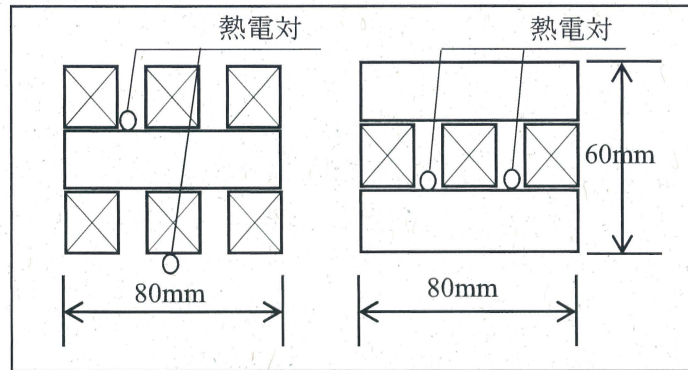


図 1 消火実験で用いたクリブと熱電対設置箇所

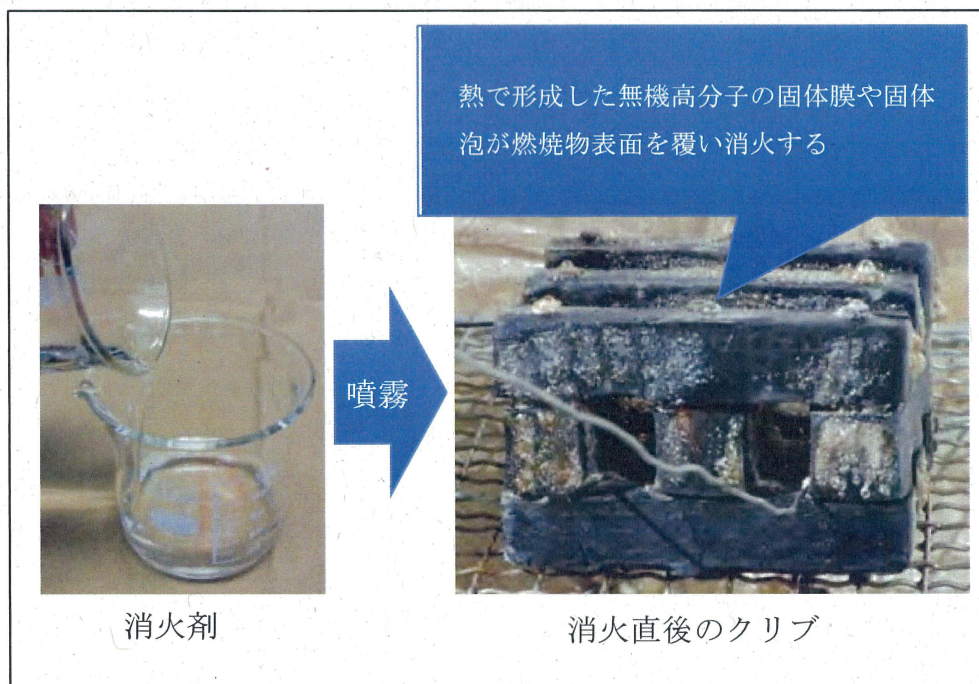


写真 1 ケイ酸化合物を利用した消火剤と、消火剤を噴霧して消火した直後のクリブの様子

3. 燃焼物表面での無機高分子の形状制御

本消火剤を燃焼物に供給すると、熱による脱水縮合反応により無機高分子が生成するが、その高分子の形状制御は詳細に検討されていない。そこで、燃焼物の表面環境を模すために、電気炉を空気が雰囲気下で 700℃に保持した。各粘度に調節した消火剤をスライドガラスに噴霧し、その直後に

電気炉に投入して、泡の形成状態を観察した。実験結果を写真 2 に示す。全てのサンプルで発泡が確認され、攪拌装置がなくても、発泡できる感温性無機組成物の性質を有していることがわかる。消火剤の粘度の増加と共に発泡する嵩高さが増し、固体膜面積が狭くなっている。ここで固体膜とは、泡または未発達な泡が積層することなく、横に広

がった状態を指す。消火作用を考慮すれば、燃焼物の表面を無機高分子が効率的に覆えばよく、無駄に嵩高くなる必要はないと考えられる。そのため同体積の消火剤ならば、粘度が低ければ被覆面積が大きくなり、消火効率が良くなる。一方、粘度の高い消火剤が嵩高くなる現象は、一定温度以上で遮熱性が発現する延焼阻止剤としての可能性

を有している。

以上のように、ケイ酸化合物を主成分とする本消火剤は感温性を有し、熱環境中で自発的に発泡することが出来る。さらには粘度を調節することによって、生成する固体膜や固体泡、および両方の混成物の形状が制御できることを明らかにした。

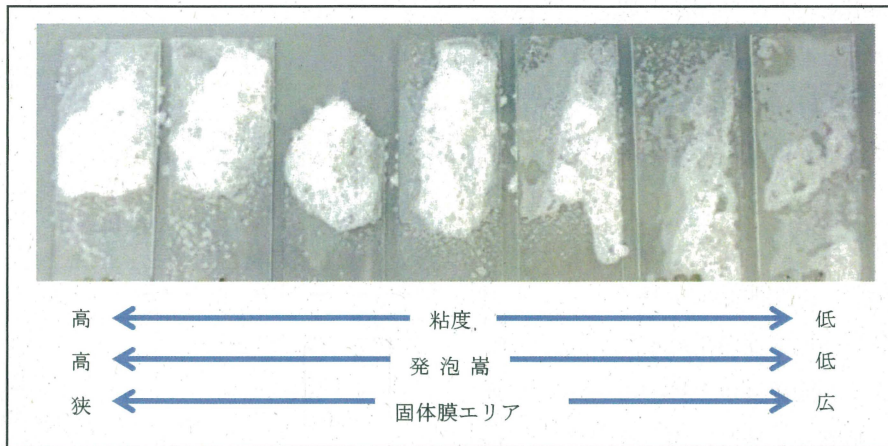


写真 2 700℃の電気炉に投入した任意粘度の消火剤の発泡状態の様子

4. 規格熱源を用いた消火実験

国際規格に準ずる飛び火クリブ (図 1) を用いて、消火実験を行った。消火実験の装置および用具の配置図を図 2 に示す。含水率を予め 10%以下に調節したクリブをガスコンロにて着火し、約 2 分間燃焼させた。燃焼中のクリブを消火実験箇所に移動させ、K 型熱電対を燃焼中のクリブに設置した。燃焼熱を熱電対が捉えたことを確認した後、

クリブの燃焼速度を約 1 分間測定した。その後、燃焼しているクリブに調製した消火剤を噴霧した。なお、消火剤の粘度は、噴霧可能な粘度であることを事前に確認している。消火実験は動画記録し、この時の消火状況、温度変化および使用した消火剤量データを記録した。下記する消火効果³⁾は、高橋の頂部注水法における理論消火式⁴⁻⁷⁾を変形して算出した。

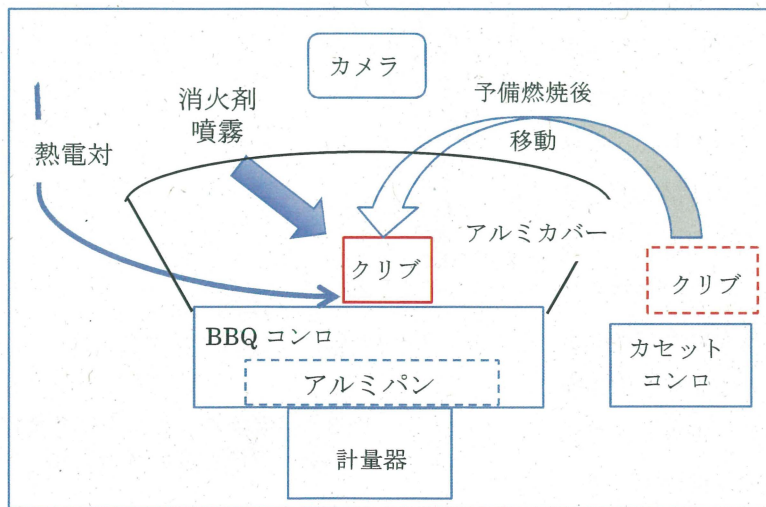


図 2 消火実験の装置・用具を横から見た配置図

図 3-1 に粘度 11.4mPa·s の場合の消火実験結果を示す。噴霧開始から直ちにクリブ内の温度が急激に下がった。噴霧停止後、一旦はクリブ内の温度が木材の燃焼温度 260°C 近くまで上昇したが、その後温度は緩やかに低くなった。噴霧停止後にクリブ内の温度が上がる現象は、発泡層がクリブ残熱の放熱を阻害したためと考えられる。粘度を 11.4mPa·s とした場合の消火剤使用量は 36g であり、消火効果は 1.5 であった。

図 3-2 に粘度 6.24mPa·s の場合の消火実験結果を示す。計測開始から直ちに消炎し、クリブ内の温度が下がったが、一部の熾火で計測温度が上昇する箇所があった。噴霧停止後は、消火剤の発泡はあまり見られず、クリブ内の温度が比較的速やかに低くなった。これは固体膜と固体泡の混成体であるため、クリブ内の放熱がある程度進んだと考えられる。粘度を 6.24mPa·s とした場合の消火剤使用量は 32g であり、消火効果は 1.6 であった。

図 3-3 に粘度 2.08mPa·s の場合の消火実験結果を示す。計測開始から 1 秒間噴霧すると消炎し、直ちにクリブ内の温度が急激に下がった。噴霧停止後は、消火剤の発泡は見られず、固体膜で被覆したことが分かった。そのためクリブ残熱が速やかに降下した。温度を計測している各所のクリブ温度もほとんどバラツキがなく、消火剤はクリブにほぼ均一に掛かったものと考えられる。このように粘度を低くすると消火剤が燃焼物に広がりやすく、固体膜を形成することで良好に消火し、なおかつ消火後のクリブの温度降下を早くすることができる。この時の消火剤使

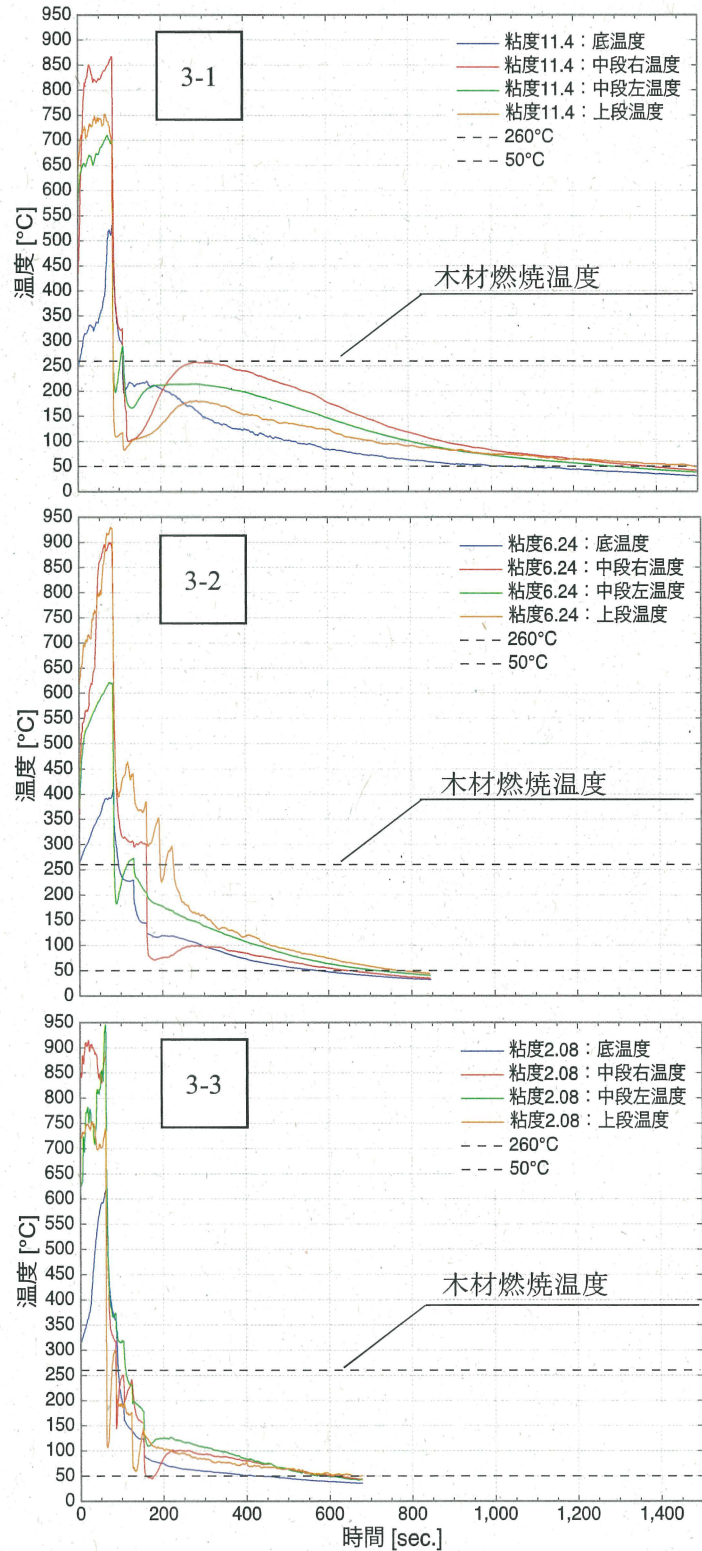


図 3 粘度調節した消火剤を噴霧した場合のクリブ内温度の経時変化

用量は 18g であり、消火効果は 3.4 であった。

表 1 に消火実験で使用した消火剤粘度、消火した液量、消火効果およびクリブ内温度が 50℃を下回った到達時間をまとめる。同組成の消火剤では、噴霧可能な粘度が下がるとともに、使用した消火剤量が減り、消火効果が上がった。これは、低粘

度の消火剤が効率的に燃焼物を被覆した効果と、水の気化熱を利用して急激に燃焼物の温度を下げる効果が同時に発現したためである。

以上のように、本消火剤を粘度 2mPa・s に調製した消火能力は、水に対し 3.4 倍であることが分かった。

表 1 クリブ消火実験で使用した消火液量と消火効果

サンプル 図	粘度[mPa・s]	消火剤使用量[g]	消火効果 Ef	50℃到達時間 [sec]
3-1	11.4	36	1.5	1490
3-2	6.24	32	1.6	768
3-3	2.08	18	3.4	592

5. 林野火災の残火処理モデル実験

林野火災で生じる熾火状態の切株を模するため、クヌギの切株を加工した。図 4 に切株のサイズと熱電対の設置位置を示す。凹状の加工は、燃焼による変形で熱電対が系外に外れないようにするた

めである。切株の内部 (図 4-a) にシース径φ5.2mm の K 熱電対を設置し、その他は図 4-b,c,d の位置に φ3.0mm で深さ 40mm の穴を空け、φ0.65mm の K 熱電対を設置した。

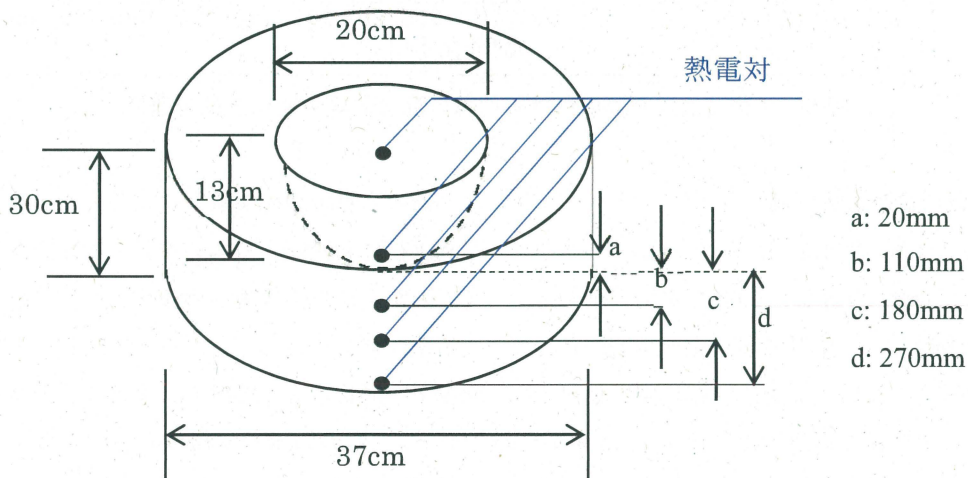


図 4 切株の寸法と熱電対位置

切株を約 1 時間燃焼させた後、消火剤を噴霧した。切株内の温度が 50℃以下となるまで温度測定を続けた。実験結果を図 5 に示す。消火剤は約 2.5 分間断続的に噴霧し、その使用量は 136ml であった。噴霧停止後は、切株内の温度が若干上昇したが、次第に温度が下がった。噴霧開始前の燃焼に

よる減量速度は 35.3g/min であり、燃焼していることが分かる。噴霧停止後から切株内の温度が急激に下がって一旦上昇した領域 (67.08~82.45min : 図 5 中の①破線枠) の減量速度は 4.1g/min であり、ほとんど燃焼が進んでいないことが分かる。さらに再上昇以降の領域 (82.45min 以降 : 図 5 中の②

破線枠)は減量速度が0.2g/minであり、温度が50℃以下となった143minには鎮火したと判断される。鎮火後、抉り内部に設置した熱電対を取り出すと、熱電対に伴って板状の炭化粉体の塊が取り出された。また、内壁の炭化部分を指で触っても、ほとんど炭の付着はなかった。このように、本消火剤は、粉体化した炭を固化させる効果と、炭の表面

を無機高分子が被覆する効果が見られた。本実験では少量の消火剤で再燃防止の知見が得られ、林野火災の残火処理にも使用可能な基礎的知見を得ることが出来た。つまり、再燃しやすい切株の残火処理が1回で済むため、地上の消火活動が効率的になるとともに、人員の戦略的配置にも寄与できると考えられる。

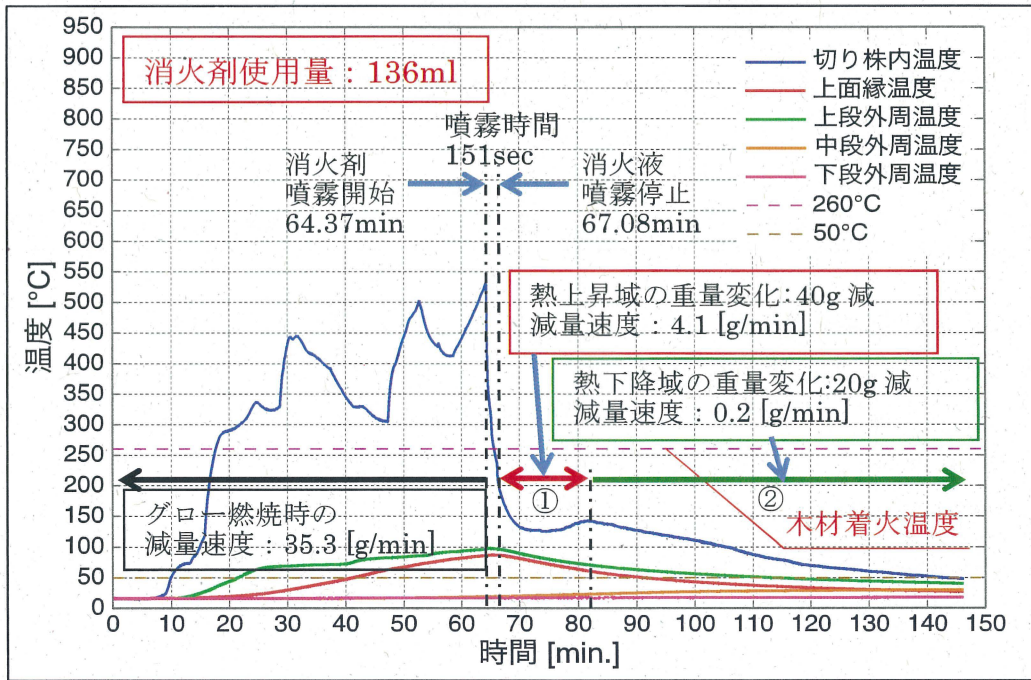


図5 切株の消火実験における切株内温度の経時変化と減量速度

6. 本消火剤の環境影響評価

宮崎消防学校内の縦1m、横1mの地面に、空中消火の水の有効量⁸⁾と等しい2.0Lの本消火剤を土壤に均一に噴霧し、定位置で写真撮影することで草本の経過観察を行い、実際の回復時間を検討した。写真3に試験地の環境回復の様子を示す。土壤噴霧から3日経過までは、スギナが主に枯死したが、その後、変化しない期間が続いた。18日目の降水をきっかけに草本の状態が好転し、草本の成長及び幼草の芽吹きも確認できた。23日経過すると、これまで点在していた消火液残渣も完全に見られなくなり、噴霧領域全体で草本の成長する勢いが感じられた。この消火液残渣の消失は、非

加熱の未重合物の潮解⁹⁾によるものと考えられる。降水後に各段階で草本の成長に変化を生じていることから、自然環境が回復するためには、雨が必須条件であることが分かった。これらのことより、本消火剤を環境に噴霧した場合は、その噴霧量の15～45倍の降水量が環境回復に必要であることが分かった¹⁰⁾。これはカラム実験結果とほぼ一致した。宮崎市の気象データを基に、環境回復に必要な時間を試算すると、冬期では約1か月と見積られる¹⁰⁾。

以上のように、空中消火での有効投下量と同量を設定して実験を行った結果、本消火剤は環境に与える影響はほとんどないことが明らかとなった。

噴霧初日
12/19
晴れ



7 日経過
12/27
曇り



23 日経過
1/11
晴れ



92 日経過
3/21
晴れ



写真3 閉鎖土壌での環境回復の様子

7. 感温性を有する新規消火剤のまとめ

筆者らは、建築木造部材へ耐火性を付与できる感温性無機組成物の知見を利用して、新たに消火剤を開発した。本消火剤は、加熱による化学反応で燃焼物表面に無機高分子を被覆する、これまでにない特徴がある。これまでに得られた結果をまとめる。

・消火能力について³⁾

噴霧速度を一定とした場合、粘度の低下(下限: 2mPa·s)とともに消火能力は向上し、水に対し3.4倍の消火効果がある。

・粘度の影響について³⁾

低粘度の場合: 消火能力が良い、固体膜を形成する、消火後の放熱性が高い、潮解が早い、消火剤に向く。

高粘度の場合: 消火能力は水より良い、固体泡を形成する、遮熱する、潮解がやや遅い、延焼阻止剤に向く。

・加熱後の性状について²⁾

耐熱性があり、約 850°C までは熔融劣化することなく、付着した物体に対して強く接着する。水の蒸発温度以上から 850°C 以下では劣化せず、被覆物を保持継続でき、窒息作用が続く。

・林野火災の残火処理について¹⁰⁾

燃焼切株を被覆することで、再燃を防止できた。また、本消火剤が高温の炭粉体を固定化し、飛散防止することが分かった。

・潮解について

潮解は室温環境下で起こる。被覆体の嵩高さが低くなると共に潮解時間は短くなった。潮解の程度は、消火剤の組成に依存する³⁾ことが分かった。

・環境影響について¹⁰⁾

有効な空中散布量において、環境負荷が少なく、宮崎市の冬期の条件では約 1 か月の期間で植生が回復すると見積もった。

8. 本消火剤の戦術的使用法と非常備町村への貢献について

山で分断された非常備町村を有する宮崎県の、

林野火災に対する防災の強化を図るために、本消火剤を用いた消火戦術と非常備町村への貢献を検討した。

空中消火においては、火災熱に感応し、高分子の固体膜や固体泡を形成する被覆特性を利用して、最初に林野火災の周辺部に本消火剤を空中散布することで、火勢を停滞できる。この火勢の停滞は、隣県からのヘリの到着時間を確保する時間を与えることになる。また、ヘリの復路で水源地に移動する時間も確保することが可能となる。

地上消火においては、粘度が高いタイプの本消火剤を、延焼予測地点から火源に向かって放つ消火方法が考えられる。最も効果が発揮されるのが、残火処理である。燃焼物の表面を高分子が覆い、空気を遮断することができる。また、高分子内に粉状の炭を取り込んで固化させる効果があるため、温度の高い炭を飛散させることがなく、飛び火自体を抑制することができる。再燃しやすい切株の残火処理が 1 回で済むため、地上での消火活動が効率的になると共に人員の戦略的配置が可能になると考えられる。

この様にこれまで人員が充分とは言えない非常備町村においても、本消火剤を配備・使用すれば防災強化が出来る可能性がある。非常備町村の防災を担う消防団員の消火活動時間を実質的に短くすることができれば、消防団員や役場の人たちの消火活動における人的負担が少なくなる。さらに、消防団員の所属する事業所の負担を軽減することができると考えられる。

謝辞

本研究は「平成 28 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)による成果の一部である。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頂きました。各位の支援に対して謝意を表します。

参考文献

- 1) 平成 28 年版 消防白書

- 2) 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（平成 27 年 12 月）
- 3) 真隆志、菅原鉄治、松木巖生、塩盛弘一郎；“無機高分子で被覆する新規消火剤の消火特性”，日本火災学会論文集（平成 29 年 5 月 3 日投稿）
- 4) 高橋哲；“燃烧木炭の消火”，消防研究所報告，49，pp.7-13（1980）
- 5) 高橋哲；“木材火災の消火—注水中の重量増加速度および消火時間”，日本火災学会論文集，30，pp.31-40（1980）
- 6) 高橋哲；“水系消火剤の作用機構と効率”，消防研究所報告，56，pp.7-11（1983）
- 7) 高橋哲、竹元昭夫；“少量水による大火災の延焼阻止技術の開発に関する研究報告書”，自治省消防庁消防研究所，消防研究所研究資料第 39 号（平成 9 年 12 月）
- 8) 岩本真司；“環境に配慮した林野火災用消火剤の開発”，古川電工時報，Vol.132，pp.48-51（平成 25 年 9 月）
- 9) 小櫃正道；“シリカゾル及びアルカリケイ酸塩水溶液による金属表面処理”，実務表面技術，Vol.30，No.2，pp.56-61（1983）
- 10) 真隆志、菅原鉄治、塩盛弘一郎；“感温性素材を利用した新規消火剤”，平成 29 年度日本火災学会研究発表会概要集，pp.60-61(2017)