

消火に関する研究(第3報)

濡れの促進と微粒噴霧方法

若園吉一・安藤直次郎

STUDIES ON THE FIRE EXTINGUISHMENTS (3)

Methods for quick wetting and minute water spray

by Yoshikazu WAKAZONO and Naojiro ANDO

Synopsis

The authors have investigated the effects of the surface active agents for quick wetting and the minute water spray by means of a variable nozzle in the water extinguishing. As the results, to date, we confirmed that the water solution of alkyl polyethyleneglycolether and alkyl aryl polyethyleneglycolether was most effective.

1. 緒言

火災の場合、水は消火用としてホースより棒状で使われているが、油脂火災の場合には使用は不可能で、また電気火災も感電の危険がある。したがって、一般火災だけに適用されていた。しかし水が火災領域に噴霧状に使用されるならば速効的な消炎作用があって、油脂火災にも適用されることができ、しかも感電の危険もないこともわかって、それらの火災には水を機械的に噴霧する消火方法が適用されてきている。しかしながらこの機械的噴霧方法は、消火効果の大きい微粒状の噴霧を作るためには困難であり、たとえ微粒状の噴霧を作り得ても、その状態では射程距離が延びない欠点がある。そこで噴霧を必要としてしかも火点に接近することができない火災では、やむを得ず口径可変ノズルが使われている。このノズルは射程距離が自由に調節できる反面、噴霧粒子が大きく消火効果を著しく低下している。そこで、われわれは界面活性剤が水の表面張力を著しく低下させる能力があることに着目し、それを添加することによって水を微粒状にすることができた。そのうえ口径可変ノズルを使用したときはさらに噴霧粒子を細分することもできる。なお界面活性剤は水の表面張力低下によって生じる濡れの促進効果も期待できる利点がある。このように水に界面活性剤を使用した場合は、消火が効果的に行われることが明らかとなり、実際の火災にも有効なことが分ったのでここに報告する。

2. 水の消火作用

水の消火作用は次のようにいわれている。

2.1 湿潤・浸透作用

水は燃えている固体に湿潤・浸透して、可燃気体を発生する熱分解を妨げる作用をするものである。通常、湿潤(wetting)、浸透(penetrating)作用は非常に複雑で界(表)面張力、溶解度、表面の条件、粘度など多くの因子に支配される。しかし最も単純化して考えると、拡張係数 $SC=r_2-(r_1+r_{1,2})$ [液滴が固体上にあるとき、 r_1 :液体の表面張力、 r_2 :固体の表面張力、 $r_{1,2}$:固体と液体の界面張力] より液体の拡張

がり、すなわち濡れを支配するものは基本的には界(表)面張力であるといえる¹⁾。したがって界(表)面張力が低下されている水は湿潤・浸透作用が大きくなる。

2.2 希 釈 作 用

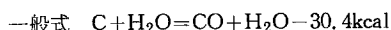
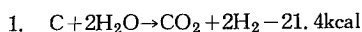
水が燃焼領域にかけられたとき、水蒸気となって空気中に拡散し、酸素濃度を希釈するために燃焼が阻止される作用である。

2.3 物理的減熱作用

水が燃焼領域にかけられたとき、水蒸気となる際に熱を消去するために燃焼が阻止される作用である。

2.4 化学的減熱作用²⁾

水は燃焼領域中かけられると水蒸気となり、燃えている遊離炭素と反応して水性ガスを生成する。その際に次式のような化学的吸熱が起きる。この吸熱作用は物理的吸熱作用より強いといわれる。(この場合に生成した水性ガスは水蒸気で希釈されて、空気の少ない雰囲気中にまきこまれて燃焼領域外に出る。)



すなわち炭素1モルと水(水蒸気)1モルが反応した際に30.4kcalの吸熱があり、水1モルが水蒸気となるとき吸熱は9.712kcal(100°C)であることから、両者の吸熱量を比較すると前者は後者の約3倍となる。

3. 水の能率的な使用法

2.で述べた水の消火作用に基づくと、能率的な消火をするためには次のような用い方が適切とされる。

3.1 界(表)面張力を低下させる

水が燃えている固体表面に拡がって濡れの現象が起きるとき、もし予かじめ水の界(表)面張力を低下させる作用の大きい物質たとえば適当な界面活性剤が添加してあれば、水の界(表)面張力が低下し濡れが著しく促進され、燃焼が抑制される。

3.2 比表面積を大きくすること³⁾

水が棒状で用いられたときは、濡れ効果、減熱効果および希釈効果などに役立つが、その作用は非能率的である。それは接近することができない場所へ、遠い距離から水が自由にかけられる利点を除いては、最も効果が少ない用い方で、使用水量の5~10%以上は実際の消火に役だっていない。火災は単に水の圧力に屈して消されているに過ぎず、また消火の際の水による損失も無視できない。さらに棒状ではB級火災(通電された電気設備火災)には適用できない。また燃焼領域に水が微粒状で噴霧されたときは、結果として水自身の比表面積が著しく増大されているために、一時に広い範囲に水が供給される。そこで短時間に多量の水蒸気が発生して、強い減熱と酸素濃度希釈が起きる。このようにして作り出された水蒸気は窒素および炭酸ガスと同じような酸素濃度を希釈する作用があるうえに強い吸熱作用もある。

以上を要約すると、噴霧消火は水を最も能率的に用いる方法であるといえる。しかしながら、現在行なわれている噴霧方法では射程距離が短いために、実用価値を著しく低下している。従って、それを、より効果的にするためには、射程距離を延ばす重要な研究課題が残されている。また2.4で述べた水性ガスの発生に起因する一酸化炭素の危険以外に種々の危険要素が存在している火災現場では、射程距離を延ばすことが必要である。

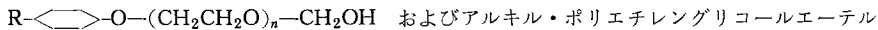
4. 界面活性剤を添加した水の消火効果

界面活性剤とはごく少量で、水の界(表)面張力を低下させる能力の大きい物質をいうのである。従って界面活性剤を添加した水の界(表)面張力は著しく低下するために濡れ効果が増し、また噴霧の際に微粒状

に細分され易くなる。そこで、あらかじめ消火に使用する水に適当な界面活性剤が添加されていると、3. で述べたような、水の能率的な消火効果が容易に得られるものと考えられる。ことに界面活性剤が添加された水は、重積された綿、繊維製品、油ぼろ、こん包材料のような、水が浸透し難いものの消火における濡れ効果および噴霧消火を能率的にする。

5. ポリエチレングリコール非イオン界面活性剤

界面活性剤にはイオン型（カチオン，アニオン，両性）および非イオン型などがあってその数は多い。すでに述べたように、消火を能率的にする目的で水に添加する場合は、水によく溶け、火災の熱で水の温度が上昇しても効力の低下が少なく、微量添加で界（表）面張力を低下させる能力が大きく、泡立ちの少ないもの（放水時の断続現象を避けるために）であればよい。しかし消火に利用される水はしばしば現場付近の天然水利、たとえば池、河川、海水などが利用される。それらの水は常に異物質を溶存し、ことに都市では著しく汚染されていることが考えられる。従って添加する界面活性剤は硬水、酸、アルカリ、酸化剤および電解質などに対して安定で効力の低下が少なく、しかも水によく溶け、それ自身も長期の保存に適し、器物の汚損と腐食および毒性がないうえに起泡性が小さいことなどの諸条件を満たすことが要求される。また微量の添加で目的が達せられ、安価であることが望ましい。そこでこのような諸条件を満たすことができる界面活性剤を検討した結果、現在までに得られたものはアルキル・アリル・ポリエチレングリコールエーテル



$\text{R}-\text{O}-(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ などの非イオン界面活性剤である。これについて以下の実験を行った。

6. 試験および結果

6. 1 試料

試料としては Table 1 に示した通りのものを用いて実験を行った。

Table 1 Constituent of surface active agents.

Chemical	(%)
Alkyl polyethyleneglycolether	15.0
Alkylaryl polyethyleneglycolether	15.0
Water	70.0
Total	100.0

6. 2 湿潤・浸透能力試験

2. 1 および 5. で述べた理由に基づいて、試料の湿潤・浸透能力（濡れ効果）およびそれらに対する酸、アルカリ、電解質、硬水および酸化剤などの影響を検討するために次の実験を行った。

6. 2. 1 表面張力低下能力の判定

水に試料が添加されたとき、試料の濃度と表面張力低下との関係を知るために、試料の濃度—比表面張力曲線を求めた。その結果は Fig. 1 である。

6. 2. 2 湿潤・浸透能力に対する酸、アルカリ、電解質、硬水、酸化剤の影響試験

界面活性剤に対するこの種の試験にはカンパス法（Canvas disc test）が広く応用されている。この方法は未精練カンパスを正方形に切断したものを液面に浮かべて、沈下するまでに要した時間（秒）を測定するものである⁴⁾。

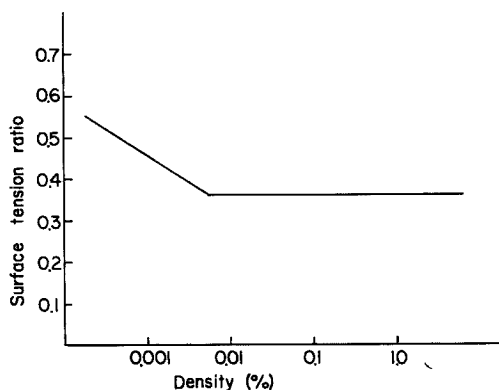


Fig. 1 The relation between surface tension ratio and density (%) of the test sample (Table 1)

Table 2 は水並びに水酸化ナトリウム (3.0%), 硫酸 (5.0%), 食塩 (10.0%) などの各水溶液に界面活性剤 0.5% を添加溶解したもの (15°C) に, 未精練カンバス (15mm×15mm) を用いた場合の沈下に要した時間 (秒) を測定したものである⁴⁾。

Table 2 Results of the measurement of sedimentation time in the solution of penetrate agents 0.5 per cent by a canvas disc test.

Penetrate agents	Distilled water	Solution sodium hydroxide 3%	Solution sulphuric acid 5%	Solution sodium chloride 10%
C ₈ ~C ₁₀ mixing alcohol EO ₆	3.5 sec	13.3 sec	10.1 sec	2.5 sec
Nonylphenol EO ₁₀	4.0 sec	37.5 sec	3.0 sec	×
Dodecyl benzene sulfanilic acid sodium	3.0 sec	>60.0 sec	14.0 sec	×
Di-propylnaphthalene sulfanilic acid sodium	4.5 sec	>60.0 sec	×	×
Sulfo succinic acid di-ethylhexyl ester sodium	1.0 sec	3.0 sec	3.5 sec	×

EO : Ethylene oxide × : Decomposition

Table 3 は水並びに水酸化ナトリウム (3.0%), 硫酸 (5.0%), 食塩 (3.5%), 塩化カルシウム (0.5%) 過マンガン酸カリウム (0.5%) などの水溶液に, 試料 0.008% (試料が表面張力を最も低下させるのに必要な最低濃度) を添加溶解したもの (15°C) に, 未精練カンバス (15mm×15mm) を用いた場合での沈下に要した時間 (秒) を測定した結果である。

Table 3 Results of the measurement of sedimentation time in the solution of test sample (Table 1) 0.008 per cent by a canvas disc test.

Distilled water	Solution of sodium hydroxide 3%	Solution of sulphuric acid 5%	Solution of sodium chloride 3.5%	Solution of calcium chloride 0.5%	Solution of potassium permanganate 0.5%
4.0 sec	15.0 sec	4.5 sec	3.0 sec	5.0 sec	8.0 sec

界面活性剤を添加しない水 (15°C) について未精練カンバス (15mm×15mm) を用いた結果, 沈下までに1,800秒以上の時間を要した。

6. 2. 3 火災応用事例

試料が 6. 2. 2 の試験結果から酸、アルカリ、海水、酸化剤および電解質などによってあまり影響されないで、消火に適用できることが分った。そこで原綿倉庫、綿工場、紙倉庫などの火災のように特に水が浸透し難いために、消火がきわめてむづかしいものに適用して濡れの促進効果を検討した。

次にあげる事例は京都市消防機関の協力によって、試料と同成分のものを 0. 008~0. 01%の割合で添加した水を使用して消火した場合のものである。

(1) 昭和35年10月28日、京都市中京区西ノ京銅駄町A紡績工場原綿倉庫(損害推定 2, 321, 386円): 動力仮配線の接続部のショートによる火花が原綿に着火し、さらに倉庫内に積み重ねてあった原綿に着火し、倉庫内に積み重ねてあった原綿こん包全体に拡大した。消火のために約2時間にわたって出動した全消防車の全力注水が行なわれたが、くん焼火熱を鎮火することができなかった。そこで構内の 110m³ の貯水そうに本剤約12 l を添加し、その水を噴霧注水によって消火に使用したところ約20分で内部の燃焼部に至るまで完全に消火することができた。

(2) 昭和35年10月19日、京都市南区東九条石田町M綿工場(建物焼失面積 453m², 損害額推定 3, 949, 000円): 一般注水消火で建物は完全に鎮火できたが、内部に積み重ねられていた古綿(打直し未済のもの)および製品が消火できなかったので、本剤を約0. 01%の割合で添加した水を噴霧注水によって使用したところ、容易に完全消火ができた。

(3) 昭和39年8月7日、京都市伏見区横大路八反田町、京都市清掃工場ごみ捨場: かん天続きで、集積中のごみが下部から自然発火し、敷地面積 40, 000坪の約 $\frac{1}{4}$ が3日間燃え続いた。そのために付近の田畑に煙による被害が出始めた。そこで注水消火をすることになり、ポンプ消防車4台が消火のために約8時間にわたり放水活動を行なった。しかし結果としては、上層部が一時的に消えるが注水を中止すると下部から噴出する熱気のために、燃焼が繰り返えされる状態で消火は全く不可能であった。そこで翌日ポンプ消防車2台、水そう付消防車2台、計4台で、まずポンプ消防車から水そう付消防車に付近の川水を利用して水を補給し、それに本剤を添加して消火活動を行なったところ、本剤18 l カン15本を使用し、約6時間の噴霧放水と棒状放水を併用して完全消火に成功した。

(4) 昭和40年3月8日、京都市南区八条東寺町、紙回収業N倉庫(建物焼失面積 525m², 損害額推定 3, 839, 000円): 建物の消火をすることはできたが、内部に積み重ねられた製紙原料(くず紙のこん包)の内部くん焼が容易に消えず、一昼夜にわたる注水にもかかわらず消火することができなかった。そこで本剤を使用することにして、水そう付消防車を使用し約9 l の本剤を添加した水を噴霧放水したところ約30分で完全消火ができた。

6. 3 噴霧効果試験

3. 2 で述べた理由により、試料が水に添加されたときの噴霧効果を検討するために次の実験を行なった。

従来の噴霧方法は、水を圧送して細孔より噴射する純機械的な方法である。したがって水の消火機能を高度に活用するためには、特別な性能をもつノズルが必要とされ、そのために特別に設計された長柄噴霧ノズル、ロータリー式噴霧ノズルなどが使われている。しかしこれらのノズルは有効射程距離が5 mの域を出ないために、火点に接近することができない場合も多く、その利用価値を著しく制限されている。そこで口径を自由に調節することによって、棒状と約15m範囲内で噴霧とに切り替えができる口径可変ノズル

(variable nozzle) が、使われている場合が多い。しかしこのノズルで作られた噴霧粒子はあらいために、水の消火機能が著しく低下する。したがってこのノズルの利用価値を高めるためには噴霧粒子を更に細分することが要求される。そこで試料が水に添加されたときは、水の表面張力が著しく低下されるために粒子が細分されやすくなり、無添加の水を使用したときよりも微粒状の噴霧が自動的に作られるものと考えられる。なお水に添加する試料の量は、表面張力を最も低下させることができる最低濃度 0. 008 %とした。噴霧条件としてはポンプ圧力を 7kg/cm², ポンプ筒先までの距離を 36m (ホース2本) とした。

噴霧効果の判定は、このノズルで最高の噴霧を作ることができる射程距離 5.0m および多くの場合に必要とされる有効射程距離 15~20m に基準をおき、水の場合と試料を 0.008% の割合で添加した水の場合について、同一条件で噴射して作られた噴霧の状態を比較した。

6. 3. 1 射程距離を 5.0m とした場合

1) 水の場合

噴霧は約 4.0m 幅で形成されたが、その状態はノズルの先端付近では多数の長い棒状に割れて噴射され、その前方では細分されるが完全な噴霧にならない。そのためにすき間を生じ、中央部付近では粗粒状、外側周辺部で微粒状となっている状態が認められた。この噴霧状況を撮影したものが **Photo 1** である。



Photo 1 Spreading pattern of water from the variable nozzle for the case of 5 meters effective range of stream.



Photo 2 Spreading pattern of water solution of test sample 0.008 per cent from the variable nozzle for the case of 5 meters effective range of stream.

2) 試料が添加された水の場合

1) の場合に比べて噴霧幅は約 1.5 倍に拡大されて約 6.0m となり、ノズルの先端から細分されてほぼ均等な微粒状の噴霧が作られた。この噴霧状況を撮影したものが **Photo 2** である。

6. 3. 2 射程距離を 15.0~20.0m とした場合

1) 水の場合

5.0m の場合に比べて噴霧幅は小さく、約 2.0m 幅の噴霧が形成された。その状態はノズルの先端では棒状に近い状態で噴射され、前方では拡大するが、中心部では粗粒の棒状で、周辺部では多少細分されるが、全体としては粗粒状の噴霧しか形成されなかった。この噴霧の状況を撮影したものが **Photo 3** である。

2) 試料が添加された水の場合

1) の場合に比べて噴霧幅は 1.5 倍に拡大されて、約 4.5m となった。全体が粗粒状で噴射されるが、途中で細分されて微粒化し、先端および周辺部では微粒状の噴霧が形成された。この噴霧の状況を撮影した



Photo 3 Spreading pattern of water from the variable nozzle for the case of 15 to 20 meters effective range of stream.



Photo 4 Spreading pattern of water solution of test sample 0.008 per cent from the variable nozzle for the case of 15 to 20 meters effective range of stream.

ものが Photo 4 である。

6. 3. 3 試料の添加量を増した場合

水に添加する試料の量を増した場合の噴霧効果に関しては、0.02～0.1% の濃度について検討したが、その効果にはほとんど差異が認められなかった。

6. 4 結 果

水に試料が添加されたとき、水の表面張力を最も低下させるに必要な最低濃度は 0.008 %の極めて希薄なものであり、その濃度での湿润・浸透作用（濡れ効果）は単なる水に比べて著しく強いことがわかった。またアルカリ、酸、硬水、酸化剤および電解質などによる影響も少なく、広い条件範囲で使用できることが認められた。そして火災の場合の事例では消火に使用された水の濡れを著しく促進することができ、特に水が浸透し難い燃焼物の消火にきわめて効果があることが立証された。

噴射効果に関しては、噴霧粒子があらいために利用価値を著しく低下している口径可変ノズルでの噴霧において、試料の微量添加で粒子をより微粒状にすることができ、しかも有効射程距離を 15～20m に延長したときも、自動的に粒子が細分されて能率的な噴霧消火ができることが認められた。

7. 使 用 方 法

以上の実験結果からアルキル・アリル・ポリエチレングリコールエーテルおよびアルキル・ポリエチレングリコールエーテルなどの非イオン界面活性剤を主剤としたものは界（表）面張力を低下する能力が大きく水によく溶け、消火に使用される水が海水または他物で汚染された場合でも使用に支障なく、使用に際しては試料を原液としてその 0.008%を水に添加すれば能率的な消火ができ、しかも噴霧消火に極めて有効であることも分った。そこで実際に使用する場合を対象として、次の方法を考えた。

消火に使用する水が貯水そうにある場合は、予め試料原液を 0.008%の割合で添加しておけばよい。ただし貯水そうが普通のコンクリートの場合は、水の浸透作用が著しく増大されているために漏水のおそれがあり、使用時に添加することが望ましい。

消火に使用する水が自然水利または消火栓を対象とするときは、試料原液を直接水に添加することができない。このような場合はラインプロポーション型式による吸入装置を利用すればよい。(この方式を利用すればスプリンクラーあるいはドレンチャーのような自動消火装置にも適用することができる。)またポンプの場合は吸水側に適当なバイパスコックを付し(最近の消防車には取付けてある。),それに連結した導管を試料原液中に入れておけば放水と同時に原液が自動的に吸入されて、水に添加することができる。この場合に吸入される原液の量は、導管の口径とポンプ圧力に左右されるから、使用のポンプ圧力を定めておき、その圧力で吸入される試料原液量を測定し、吸入量と放水した水の量から 0.008%の濃度になるように導管の口径または試料原液の濃度のいずれかを調節しておけばよい。

試料原液の添加量は水 1,000 l (1 t) に対して 80cc であり、18 l 詰め 1 カンの試料原液で水 225kl (225 t) に添加することができる。

8. 結 言

以上の実験によりアルキル・アリル・ポリエチレングリコールエーテルおよびアルキル・ポリエチレングリコールエーテルなどの非イオン界面活性剤を主剤とした試料原液は、水の界(表)面張力を低下させる作用が極めて強く、水に 0.008%の微量添加で著しく濡れを促進し、しかも微粒状に噴霧することが容易で、口径可変ノズルを使って噴霧した場合は微粒の状態で射程距離を延ばすことができることなど、消火に有効なことが認められた。また水では消火困難であった火災に、試料原液 0.008~0.01%を添加した水を使用して容易に消火することができることが分った。なお試料原液は水によく溶け、海水、硬水、酸、アルカリ、電解質、酸化剤などに安定で効力の低下が少なく、それ自身も安定で長期の保存に耐える。また、使用の際に器物を汚損せず、水に添加して使用する量は微量であるから費用は低廉となるなど、使用上多くの利点がある。

実験を行なうにあたって種々の支援を受けた京都市消防機関および明成化学工業株式会社に深く感謝する。

参 考 文 献

- 1) Schwartz, Perry : Surface Active Agents, 1959.
- 2) W.Hassler : Fire and Its Extinguishment, NFPA, QUARTERY JULY, 1962, p93~94.
- 3) W. Hassler : (消防研究所訳) : 消火原理と消火剤, 消火器工業会 1963, p18.
- 4) 磯田, 藤本 : 界面活性剤, 三洋化成工業 1964, p125~126.