

## 消火用添加剤の消火効果について (第2報)

## —— 付着浸透性と消火効果 ——

The Effectiveness of Extinction by Addition to Water (Series 2)

—— The Relation between Wettability and the Extinguishing Power ——

桜 井 和 敏\*  
 平 沢 正 己\*  
 栗 田 光 教\*  
 鶴 岡 功 二\*\*

Extinguishing efficiency of several nonionic surface active agents against the rubber and wood fires have been investigated, followed by the previous work. This report also discuss the effect by adding viscouse agent to extinguishant, and aqueous solution soaked into the rubber and wood was measured in order to discover the relation between wettability and extinguishing power of addition to water.

As for rubber fire, extinguishants added to nonionic surface active agents could supress the fire rapidly compared with plane water, and increase of the viscosity was much more efficient for extinction because of adhesion force. As for wood fire, wettability of exthinguishant was increased, but extinction time and the damping of radiant intensity were not effectively than plane water.

## 1. はじめに

消防科学研究所報第21号(1984)においては、各種非イオン系界面活性剤を用いて、ゴム、木材及びガソリン火災に対する消火効率及び物理性状について報告した。しかし、燃焼させた各燃料や消火に用いた界面活性剤の供給量が小規模であったため、各界面活性剤の消火効果を判断する上で、結論を導くのに困難な面も見受けられた。

そこで、今回は燃焼させたゴム及び木材の初期重量並びに消火水の供給量を十倍以上に拡大し、消火効果の比較検討を行い、さらに、消火水に増粘剤を添加した場合の消火効果についても検討した。

また、非イオン系界面活性剤は、燃焼物体への付着浸透性に優れ、消火効果を高めて、再燃防止効果も良いと言われているが、時間経過に伴った付着浸透量の変化からの考察は、これまで行なわれていない。今回は、ひずみゲージを応用して、物体へ付着浸透する水溶液量を刻々測定できる装

置を作成し、消火用添加剤の付着浸透性と消火効果との関係を、実験を通じて確認し、消火活動への活用方策について研究を行ったので報告する。

## 2. 実 験

## (1) 消火用添加剤の種類

ア ファイヤー・アウト

イ 展着剤

成分については、第一報に示したとおりで、水への添加量は、最大の界面活性を示す濃度とし、それぞれ0.2容量%とした。

ウ 水+CMC

エ 展着剤+CMC

CMCは、消火水の増粘剤として用いた。CMCは、カルボキシメチルセルロースの略で、セルロースに親水性のソジウムカルボキシメチルを導入して、水に可溶性性質を与えたものである。水への添加量は、CMCは0.2重量%、展着剤については0.2容量%とした。

## (2) 燃焼実験

消火実験に当り、各燃料の燃焼性状、受熱輻射量を見るために、燃焼試験を行った。

ゴム火災実験は、天然ゴム(15mm×15mm×337mm) 59本を井桁状に、また木材火災実験は、気乾状態の杉材(21mm×30mm×300mm) 42本を、井桁状に組んで行った。

点火は、井桁積みの底面約5cmの位置に、蛇腹状にロックウール布を敷き、これにメタノールを染み込ませて燃焼させた。

受熱輻射量の測定は、東京精工機製、RE-III型輻射温度計を使用し、ゴム火災実験にあつては、燃料から2m、木材火災実験では1m離れた位置に設定し、各燃料上面より15cm上の輻射量を測定した。

### (3) 消火実験

消火装置の概略を図1に示す。消火用添加剤を加えた消火水を銅製の溶液槽に入れ、コンプレッサーで圧縮空気を供給して、ノズルより消火水を放射させた。ノズルは、円錐噴霧を生じさせるもので、各消火用添加剤を加えた消火水の、粘度の差による放水量の違いを一定にして、毎分2.6ℓの割合で放水するため、コンプレッサー圧力を適宜調整した。またノズルは、各燃料の側面から70cm、上面から170cmの位置に固定した。

### (4) 付着浸透性試験

ゴムや木材に付着浸透する消火水を、時間経過と共に測定する装置として図2に示すものを作成した。

試料の吸水量の測定は、試料に消火水が浸透することによりアルミ板にひずみを生じ、そのひずみをストレインゲージで電気的变化として検出した。

アルミ板(40cm×5cm×1mm)を頑強な台に固定し、固定台の縁から3cmのアルミ板上にストレインゲージを接着して取付けた。

試料は、アルミ板の他端から吊して消火水中に浸漬し、試料中に消火水が付着浸透すると、試料の<sup>み</sup>か<sup>け</sup>の比重が増加するに伴い、アルミ板にひずみを生じる。このひずみをストレインゲージで検出して併共和電業製ひずみ測定器で測定した。

試料は、良く乾燥させた天然ゴム板(10cm×10cm×1.5cm)と杉材(20cm×15cm×1cm)を用いた。

ゴム板は、重量減少量が0%のもの及び300°Cの電気炉に入れて重量減少量を2%まで熱分解

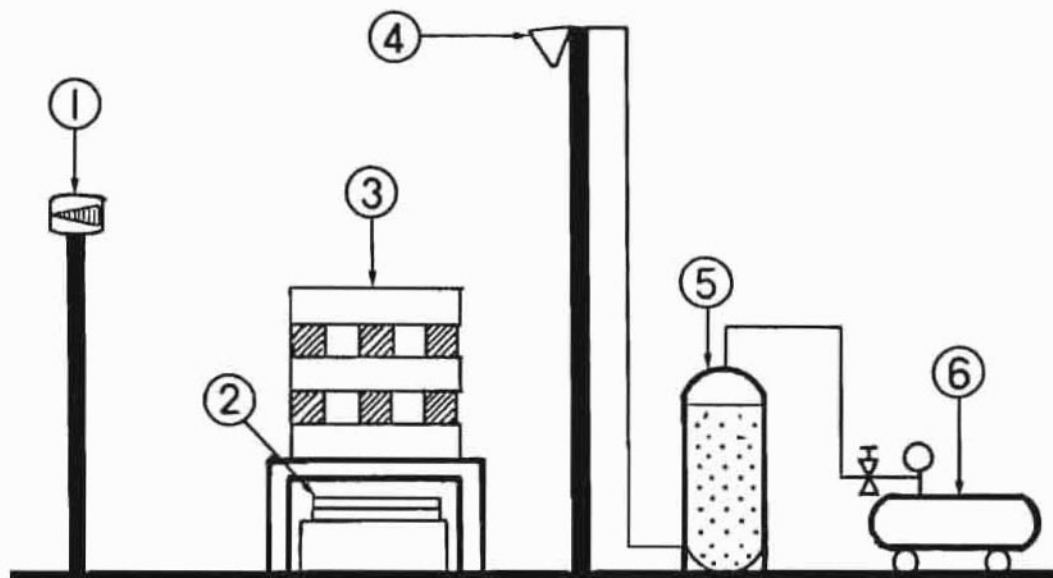


図1 消火実験装置

- ①輻射計 ②点火用ロックウール布 ③燃料(ゴム、木材)  
④噴霧ノズル ⑤溶液槽 ⑥コンプレッサー

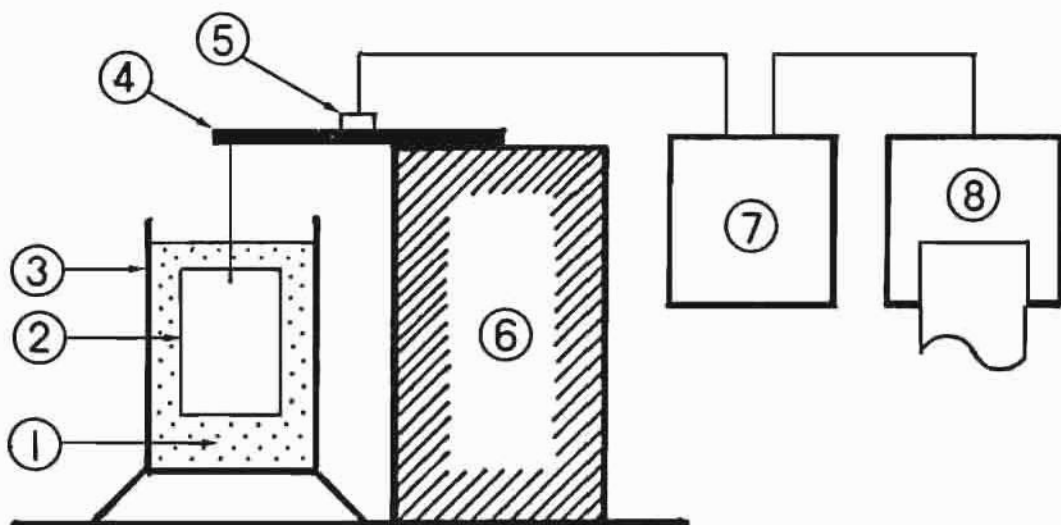


図2 付着浸透性試験装置

- ①消火水 ②ゴム、木材 ③容器 ④アルミ板  
⑤ストレーンケージ ⑥固定台 ⑦ひずみ測定器 ⑧記録計

したものを直ちに消火水に浸して測定した。

杉板については、重量減少量が0%のもの及び300°C電気炉で重量減少量を15%まで熱分解させたものを供試体とした。なお、杉材は水に浮くため、杉材の底面に重りを付け、完全に液中に没するようにした。

#### 4. 実験結果及び考案

##### (1) 燃焼実験

燃料としたゴム及び木材は、点火に用いたメタノールによる予備燃焼時間を変化させて燃焼性状を見た。図3は、予備燃焼時間を1分30秒(ゴム)、1分(木材)とした場合の、受熱輻射量の変化を示す。

ゴムは、点火後3分まで徐々に輻射量を増加し、1分間ほぼ定常燃焼をした後、輻射量が減少し11分43秒で自然鎮火した。

木材は、点火後1分で輻射量が安定し、約5分まで定常状態となり、9分19秒で鎮火した。

これらの燃焼実験による輻射量の変化や井桁状に組んだ被燃焼物の状況から、消火実験における予備燃焼時間及び消火開始時間の設定を行った。ゴムは、予備燃焼時間を1分30秒とし、その後1分間自己燃焼させて、消火は、点火より2分30秒後に開始することとした。また、木

材については、予備燃焼時間を1分とし、その後2分間自己燃焼させて、消火を点火より3分後に開始することとした。

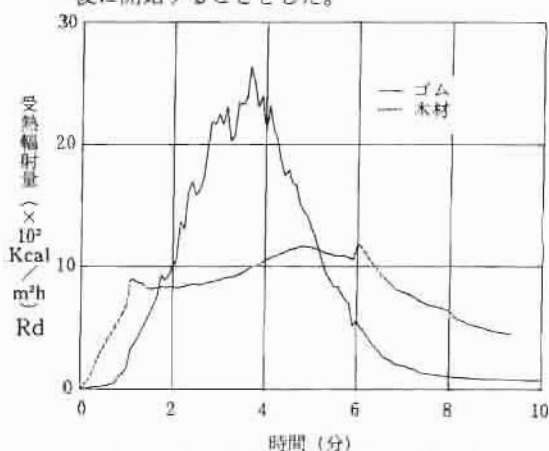


図3 燃焼実験における輻射量の変化

##### (2) 消火実験

###### ア 消火時間の比較

消火時間は、消火開始から有炎現象終了までの時間とし、何回か繰り返し行った実験の平均消火時間を表1に示した。また、消火開始後からの、展着剤+CMC及び水による消火状況を写真に示した。消火時間の長短が、即消火用添加剤の消火効果の差を表わすと言えないことは、第一報でも述べたが、一つの

写真 消火実験 (ゴム)

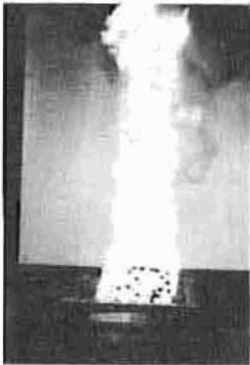







水	展着剤 + C M C
	
<p>消火開始 直 前</p>	<p>消火開始 直 前</p>
	
<p>消火開始後 15秒</p>	<p>消火開始後 15秒</p>
	
<p>消火開始後 45秒</p>	<p>消火開始後 30秒</p>
	
<p>消火開始後 1分30秒</p>	<p>消火開始後 45秒</p>

表1 消火時間の比較

消火水	燃 料	ゴ ム	木 材
水		2'09"	54"
ファイヤー・アウト		43"	1'36"
展 着 剤		1'09"	1'38"
水 + C M C		1'58"	34"
展着剤 + CMC		42"	1'00"

判断材料となり得る。

ゴムの場合、展着剤+CMC及びファイヤー・アウトは、水のみによる消火よりも1/3の時間で消火できたが、水+CMCは、水のみの消火と大差ない時間となった。一方、木材の場合は、水+CMCが唯一水よりも短時間で消火できるのみで、ゴムでは消火時間が短かった展着剤+CMC及びファイヤー・アウトとも、水より消火に時間を要した。

イ 受熱輻射量の変化

受熱輻射量(Rd)を消火開始からの時間(T)の関数として、回帰分析を行うと、次の関係が認められる。

$$Rd = a(T-b) \quad (1)$$

aは輻射量の減衰に係る定数、bは消火開始時の輻射量に係る定数である。ただし、 $0 < a < 1$ 、 $b > 0$ の範囲となる。

(1)式は、

$$\log Rd = (T-b) \cdot \log a \quad (2)$$

となるから、T対logRdの関係は、log aの傾きをもった直線で表わされる。ゴムについてのT対log Rdの関係を図4に、木材についての関係を図5に示す。

ゴムでは $T < 15$ 、また木材では $T < 5$ の範囲で(2)式で表わされない。しかし、各消火水の受熱輻射量とも差は見られず、集中する傾向にあることから、この範囲では、どれも消火機構が同じであると考えられる。すなわち、消火開始時の水噴霧による火炎の冷却、また燃料上層部へ直接水が放射されることによる輻射量の減衰であると思われる。各消火用添加剤の効果は、これ以降のTの範囲で、井桁状の燃料の直接水がかからない注水の死角、またかかりにくい部分への消火水の作用とし

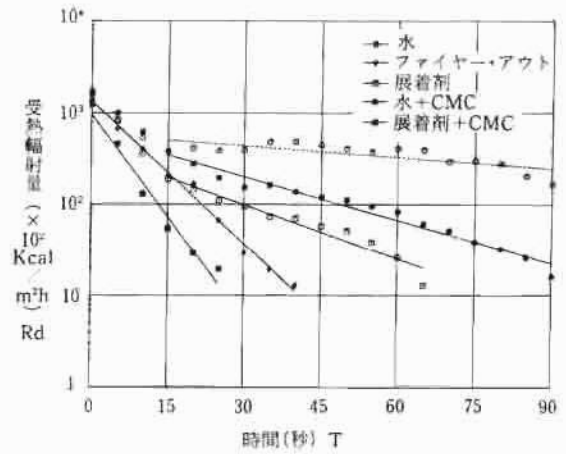


図4 消火開始後の輻射量の変化(ゴム)

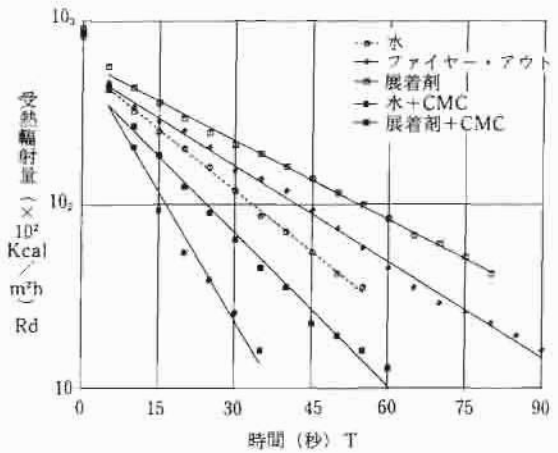


図5 消火開始後の輻射量の変化(木材)

て現われていると考えられる。

(2)式のlog aの値は、受熱輻射量の減衰速度とみなされるから、log aが大なる値をもつ消火用添加剤ほど、消火効果が大きい。表2に、ゴム及び木材のlog a値及び水を1としたときの|log a|比を示す。

ゴムの消火の場合、展着剤+CMC及びファイヤー・アウトは、水のみによる消火と比較して10倍以上の減衰速度を持ち、展着剤、水+CMCの順となっている。一方、木材の消火の場合、水よりも大きい減衰速度を持ったのは、水+CMC、展着剤+CMCのみで、ゴムでは減衰速度が非常に大きかったファイヤー・アウトは、水よりもかなり低い値とな

表2 輻射量の減衰速度

燃料	ゴ ム		木 材	
	減衰速度・log a	log a 比	減衰速度・log a	log a 比
消火水				
水	$-0.42 \times 10^{-2}$	1	$-2.2 \times 10^{-2}$	1
ファイヤー・アウト	$-5.2 \times 10^{-2}$	13	$-1.7 \times 10^{-2}$	0.78
展着剤	$-2.0 \times 10^{-2}$	4.8	$-1.4 \times 10^{-2}$	0.65
水 + CMC	$-1.6 \times 10^{-2}$	3.8	$-4.7 \times 10^{-2}$	2.1
展着剤 + CMC	$-7.5 \times 10^{-2}$	18	$-2.8 \times 10^{-2}$	1.3

った。全体に減衰速度は、各消火用添加剤によって、ゴムの消火の方が値にばらつきが大きく、消火効果の大小が明らかに別れるが、木材の消火は、ゴムほど値に差はなく消火用添加剤を加えることによって効果を減じるものも見られた。

ウ 付着浸透性

消火時の減衰速度に各消火用添加剤で差が見られるのは、注水の死角へいかに浸透し、冷却するかの違いによる。そこで、ゴム及び木材の吸水量を、各消火用添加剤ごとに測定した。図6には、重量減少量2%におけるゴ

ムの場合、展着剤+CMCの吸水量が大きく、付着浸透性が優れていることがわかった。また、ファイヤー・アウト、展着剤も良好な吸水量を示した。増粘剤・CMCを添加

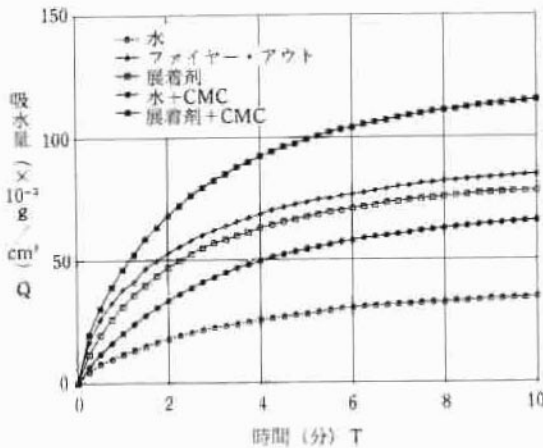


図6 吸水量 (ゴム—重量減少量2%)

ムの吸水量の変化を、図7、8には、重量減少量0%及び15%における木材の吸水量を示す。なお、ゴムの重量減少量0%の場合の吸水は、各消火用添加剤とも認められなかった。

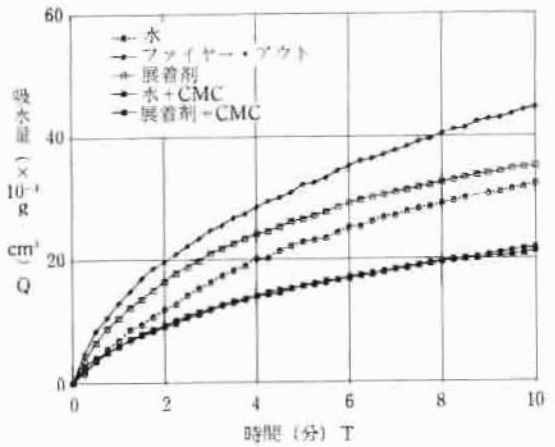


図7 吸水量 (木材—重量減少量0%)

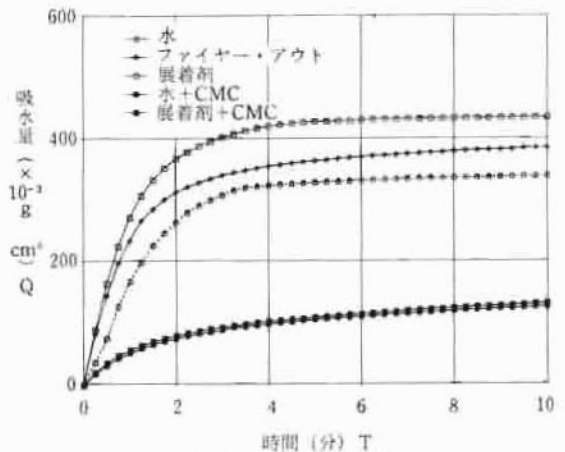


図8 吸水量 (木材—重量減少量15%)

した効果は、水+CMCが水と比較して、吸水量が他の消火用添加剤ほど大きくないことから、ゴムへの付着浸透性は、界面活性剤の効果が大きく、CMCは、付着への補完機能として効果を表わしていると考えられる。

木材における吸水特性は、重量減少量によって大きく異なる。重量減少量15%の場合は、0%と比較して約10倍の吸水量をもち、また2~3分で、吸水曲線が飽和する傾向を示すようになる。これには、炭化により木材組織内部に占める空間容積が増大し、水分を吸収しやすくなること、また、電気炉で300°Cまで加熱したものを、消火水に浸漬したことから、木材内の気体が膨張していたものが、急激に冷却され、気体の収縮による吸引作用が働くことが上げられる。またゴムとの大きな違いは、増粘剤を添加した消火水は、吸水量が水よりも悪いことである。木材への付着浸透は、木材組織を通過して行われるもので、粘度が増加すると組織への浸透を阻害されるが、ゴムの場合は、燃焼により生じた割れ目部分へ付着浸透し、粘度の増加が正の効果を示すと思われる。

図6~8の吸水量曲線から、吸水量(Q)と時間(T)には、次のような関係が認められる。

$$Q = T / (C + eT) \quad (3)$$

Cは吸水速度係数、eは吸収された消火水の飽和に係る定数である。

(3)式は、

$$dQ/dT = C / (C + eT)^2 \quad (4)$$

と表わされるから、(4)式は、時間Tにおける吸水速度となる。またT=0のdQ/dT=1/C

は、ゴム又は木材と消火水との界面における初期吸水速度として与えられる。初期吸水速度は、非イオン系界面活性剤が表面張力を低下させ、固体表面に展開して注水がかかりにくい部分へ回り込みを良くすることから、界面における湿潤性を考える上で一つの指標となる。一方吸水量は、界面活性剤の固体内部への浸透性の優劣に関係しており、吸水量が大きいことは再燃防止に対して効果が優れていることを示している。表3に、T=0における初期吸水速度1/Cと、水を1とした場合の比を示す。

ゴム及び木材は、重量減少が進むと初期吸水速度が飛躍的に大きくなることからわかる。吸水量と初期吸水速度は、一般的に比例関係にあるが、木材の重量減少量0%における水+CMC、展着剤+CMCでは、この関係からはずれている。この原因として、生木である木材表面は毛羽立っていて、CMCにより粘度が増加した消火水は表面への付着効果が大きく表われるためであろう。しかし、時間経過に伴って消火水が内部へ浸透する時点では、高粘度のため吸水量は落ちてくると考えられる。

#### エ 付着浸透性と消火効果

付着浸透性と消火効果の指標として、初期吸水速度と受熱輻射量の減衰速度の相関関係をみた。消火実験におけるゴムと木材の重量減少量、いわゆる炭化程度は、燃料下部から燃焼させるため、桁各部により炭化程度が異なり、単一の重量減少量で実験した付着浸透性試験とは、単純に比較できないが、一応

表3 初期吸水速度

燃 料	ゴ ム		木 材			
	重量減少量・2%		重量減少量・0%		重量減少量・15%	
	1/C	比	1/C	比	1/C	比
消火水						
水	$3.37 \times 10^{-4}$	1	$1.31 \times 10^{-4}$	1	$28.6 \times 10^{-4}$	1
ファイヤー・アウト	$12.7 \times 10^{-4}$	3.8	$3.33 \times 10^{-4}$	2.5	$72.2 \times 10^{-4}$	2.5
展 着 剤	$8.62 \times 10^{-4}$	2.6	$2.56 \times 10^{-4}$	1.9	$77.2 \times 10^{-4}$	2.7
水 + C M C	$4.67 \times 10^{-4}$	1.4	$1.82 \times 10^{-4}$	1.4	$14.8 \times 10^{-4}$	0.5
展着剤+CMC	$14.4 \times 10^{-4}$	4.3	$1.38 \times 10^{-4}$	1.1	$17.6 \times 10^{-4}$	0.6

の目安にはなると考えられる。結果を図9、10に示す。ゴムでは正の相関、木材では負の相関関係が認められる。

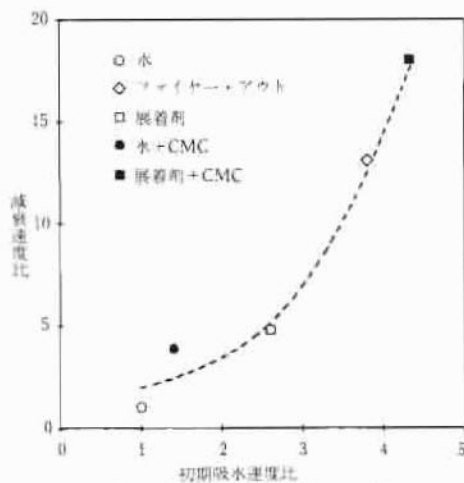


図9 初期吸水速度と減衰速度の関係（ゴム）

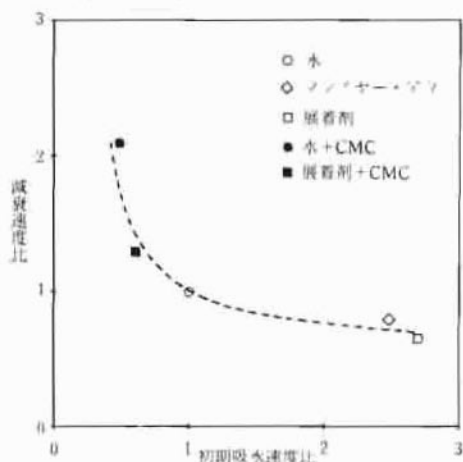


図10 初期吸水速度と減衰速度の関係（木材）

ゴムの消火は、ゴム自体が、消火水の付着浸透性が弱く、非イオン系界面活性剤による効果が大きく表われ、増粘剤による付着力の向上が消火効果の増大に寄与している。

木材の消火の場合は、界面活性剤が負の効果として働いてしまい、付着浸透性が小さいほど、消火効果が大きいという結果になった。これは、付着浸透性試験と消火実験の設定条件による影響が大であると思われる。すなわち、付着浸透性試験は、消火水に木材を浸して行い、消火水が木材全面を覆い、付着浸透を阻害するものはなかった。しかし、消火実

験においては、木材を井桁状に組み、消火水を木材上部から注水するため、付着浸透性が良い消火水は井桁上部の木材に吸収されてしまい、燃焼している下部へのむだ水が少なくなり、消火に手間がかかることになる。

一方増粘剤を添加した消火水は、付着浸透が抑制されてむだ水が多く、井桁下部へ消火水が良く行き渡る。また粘度が大きく、井桁に保持される時間も増すことから、消火時間は短くなり消火効果が大きくなると考えられる。

木材が平面的に燃焼している火災や消火水が上部のみでなく、いろいろな角度から行なわれる火災では、付着浸透性が良い消火水が消火効果が大きくなることは当然考えられるが、現実には木材火災は、木材が積層した状態のものが多く、また消火も燃焼物体上部から行われることが多いことから、今回の実験は、消火用添加剤を用いた木材の消火について一般的な傾向を示していると考えられる。

木材火災で非イオン系界面活性剤を活用することが考えられるのは、その付着浸透性が良いことから、再燃防止を考慮に入れる火災についてであろう。

## 5. まとめ

消火実験、付着浸透性試験を通じて、次のことが言える。

- (1) ゴムのように水の浸透性が悪い燃焼物に対しては、展着剤やファイヤー・アウトなど、非イオン系界面活性剤を添加した消火水は、迅速に消火を行なえる。さらに、消火水の粘性を増加させれば、付着性が向上し消火に有効であることがわかった。
- (2) 木材のように本来水が浸透し易い燃焼物では、非イオン系界面活性剤がより付着浸透性を高めるが、消火時間や受熱放射量の面では水による消火よりも効果が見い出せなかった。反面、付着浸透性が向上することは、再燃を防止する効果が顕著となることであり、再燃火災が起こり易い製紙工場のロール紙火災、製縮工場の火災、また製材工場の火災などの消火活動に有効であると考えられる。
- (3) 付着浸透性が良いことは、むだ水が少なくな



ることを意味するので、耐火造共同住宅などの火災時、使用法によっては水損防止に役立つ消火用添加剤であるとも考えられる。

(4) 経費的にみた場合では、従来から用いられて

いる泡消火薬剤と比べても、0.2%程度の低濃度で使用でき、また展着剤+CMCは薬剤が廉価であり、経済的な消火用添加剤であると言える。