

水損防止型スプリンクラーの研究開発 (第2報)

渡辺 久夫*, 下重美佐男*, 高井 啓安*

概 要

平成9年度から、自動で放水と停止を繰り返し行えるスプリンクラー消火設備の研究開発を進めてきた。これは、スプリンクラー消火設備から放水された消火水が、放水停止操作の遅れにより、火災室をはじめ下階の収容物に及ぼす被害を軽減することを目的としている。

本研究では、形状記憶合金を温度センサーに使用し、既存のスプリンクラーヘッドと組み合わせて使用するスプリンクラー消火設備の制御装置を製作した。

この装置を、木材(杉クリブ)を燃焼材として作動実験を行った結果、スプリンクラー消火設備からの放水を自動制御できることが確認できた。

1 はじめに

既存のスプリンクラー設備には、自動で放水を開始するものが一般的に使用されているが、火災を消火抑制した後自動で放水を停止するものは現れていない。そのため、火災をばやで消し止めても、人的停止措置を行うまで放水が継続され、その消火水による水損被害が拡大することが考えられる。

そこで当研究室では、火災室の温度変化を捉えて、スプリンクラーヘッド(以下「ヘッド」という)からの放水を自動停止し、再燃した場合でも繰り返し放水することができるスプリンクラー制御装置の開発を行ってきた。

前報では、室内温度変化を捉えるための温度センサーに形状記憶合金を使用した装置を試作し、その概要と併せて木材(杉クリブ)を燃焼材に使用して行った作動実験の結果について報告した。

本報では、これまでの研究結果及び試作機による作動実験の結果をもとに製作した改良機の概要と、この装置を使用した作動実験の結果について報告する。

2 装置の概要

本装置は、閉鎖型ヘッドを下部に取り付け、既存ヘッドを取り付ける室内天井部分に取り付けて、ヘッドからの放水を制御するものである。そのため、既存の設備にも取り付け使用することが可能である。

下部に取り付けた既存ヘッドの直前で弁を開閉し、消火水を制御する。

弁を開閉する手段として、既存ヘッドが作動するのと同様に、火災室内の温度変化を捉えて行う。この時の温度を捉える温度センサー及び弁を作動するアクチュエーターとして形状記憶合金を使用している。

改良機は、前報で報告した試作機をもとに、試作機での作動実験から得られた装置の問題点を検討し製作したものである。詳細については前報に記載しているので本報では省略する。

(1) 制御装置の機能

ア 放水開始方法

閉鎖型ヘッドを使用したスプリンクラー設備では、常時ヘッド部分まで消火水が加圧されている。この加圧水を本装置の弁の部分で一時的に停止し、室内天井部分(装置取り付け部分)の雰囲気温度(以下「雰囲気温度」という)が約70℃を超えると、温度センサーである形状記憶合金線が収縮して弁を作動させ、下部に取り付けたヘッド部分へ通水する。その後温度上昇によりヘッドが作動して放水される。

イ 放水停止方法

放水により火災が消火抑制されると、火災室内の雰囲気温度が出火前の室内温度付近まで降下する。この時の温度が約40℃以下まで降下すると、前記アで収縮した形

*第三研究室

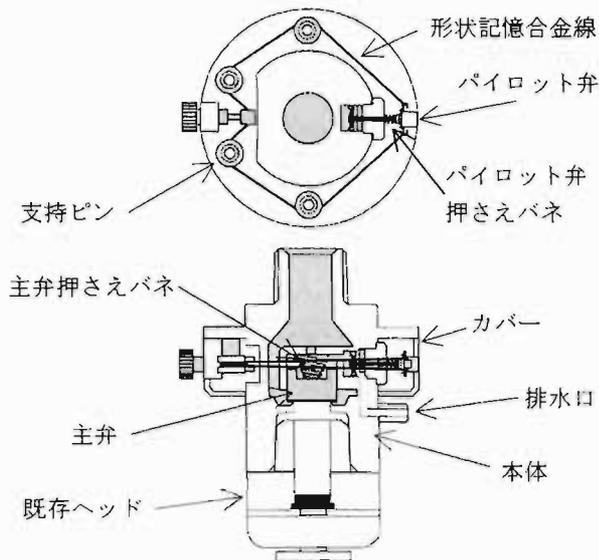


図1 改良機の内部構造（平常時）

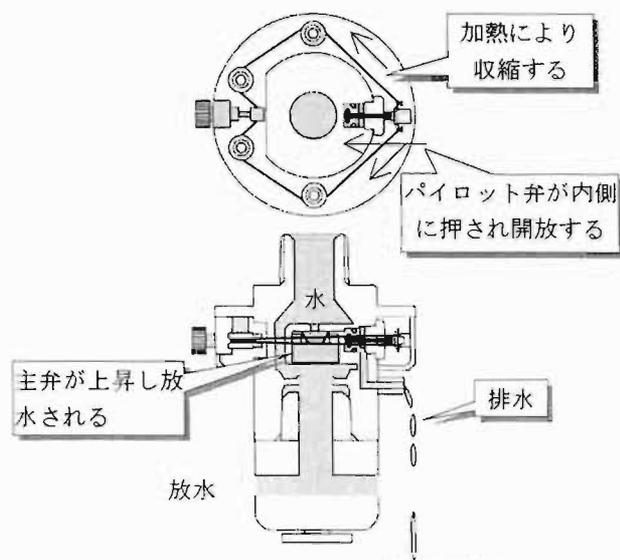


図2 改良機の内部構造（放水時）

形状記憶合金線の収縮力がなくなり、パイロット弁が元の状態に戻るにより主弁が閉鎖する。

ウ 繰り返しの作動

この装置は、人的に消火を確認して放水を停止しているのではなく、室内温度降下により自動で停止している。そのため、必ずしも放水停止時に完全消火されとは限らない。そこで、再燃焼した場合に再び放水する必要がある。

本装置は、出火時の放水で既にヘッドが作動しているため、装置の設定温度まで雰囲気温度が上昇することにより、再び前記ア及びイの動作を繰り返し行い火災の拡大を抑制する。

エ 誤放水の防止

閉鎖型ヘッドを使用している場合、ヘッドの感熱部分が熱疲労や強い外力を受けると、感熱体が分解して誤放水されることがある。

本装置でも下部に閉鎖型ヘッドを使用しているが、感熱体が分解開放しても温度上昇を伴わない場合は、形状記憶合金線が形状回復動作をしないため、制御装置の部分で止水されたままとなり放水されない。また、逆のパターンとして、形状記憶合金線が形状回復するような瞬間的な温度上昇があった場合でも下部のヘッドが作動しない限り放水はされない。

(2) 試作機での問題点

試作機で行った作動実験では、以下の事項について問題点が判明し改良が必要となった。

- ア 放水停止設定温度より若干高い温度で停止する
- イ 火点が真下の場合でも未消火で停止する
- ウ 繰り返し作動した時の各作動温度が上昇する
- エ 放水量が少ない(放水圧力0.098MPa時最低50ℓ/min)

(3) 試作機からの改良事項

ア 本体カバーの変更

試作機では、本体カバーの形状記憶合金線部分及びその下側に室内温度を捉えやすくするため通気口を設けていた。(写真1参照)



写真1 試作機の外観

しかし、作動実験では放水した消火水が下側の通気口から進入し、温度センサーである形状記憶合金線に付着して、放水停止時及び繰り返し作動時の各作動温度が設定温度より高温側にずれていた。そのため、改良機ではできるだけ消火水の影響を無くすため、下側の通気口を無くし消火水の侵入を少なくした。(写真2参照)

イ パイロット弁の変更

パイロット弁の部分には、平常時水圧が加わっており、その水圧でパイロット弁が閉じると共に形状記憶合金線を伸びる方向（外側）へ押し出している。(図1参照)

火災が発生し、制御装置が作動（弁が開放）する時、パイロット弁は形状記憶合金線の形状回復力により水圧に逆らう方向（内側）へ押し込まれる。(図2参照)

形状記憶合金線の形状回復動作を素早く主弁に伝えるには、パイロット弁の動作を俊敏にする必要がある。そのためには、パイロット弁に加わる水圧を少なくしなければならない。

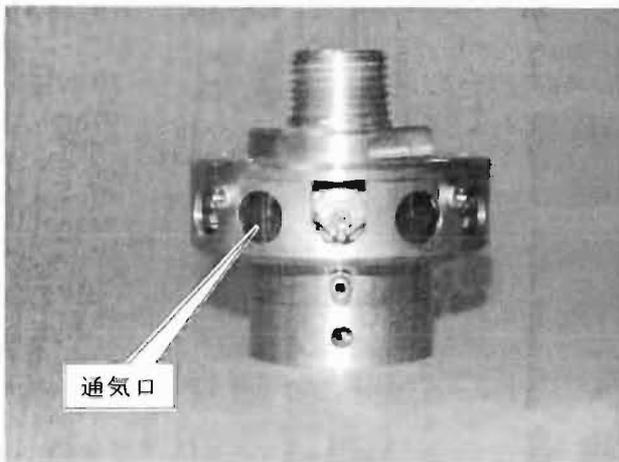


写真2 改良機の外観

パイロット弁に加わる水圧を少なくすると、水圧に逆らう動作は俊敏になり、逆に水圧でパイロット弁が押し戻される場合（放水停止時）は鈍くなる。これにより、室内温度が40℃以下になっても、ある程度放水を継続して再燃焼を防止する。改良機では直径で1mm小さくした。

ウ 主弁の変更

試作機では、主弁及び放水口の径が小さいため有効な放水量を得ることができなかった。改良機では、径で1mm、ストロークで2mm拡大した。

(4) 改良機の外観及び寸法

ア 外観

改良機の外観は写真2のとおりであり、改良機に既存のヘッドを取り付け、実際に天井部分に取り付けた状況は写真3である。



写真3 天井に取付けた状況

イ 寸法

改良機全体の寸法は図3のとおりであり、取り付けるヘッドの大きさにより高さは変化する。

(5) 改良機の材質等

改良機に使用した主要部品の材質は、表1に示すとおり

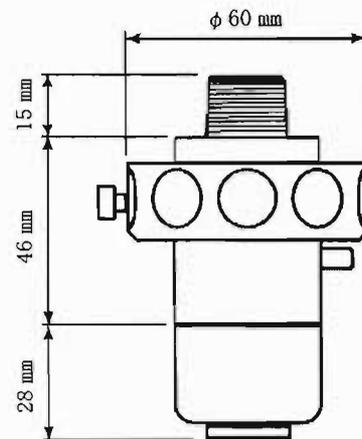


図3 改良機の外形寸法

りである。また、主要部品の寸法を表2に示す。

表1 主要部品の材質

部 品 名	材 質
本体及びカバー	黄銅
主 弁	黄銅及びネオプレンゴムシート
パイロット弁	黄銅及びシリコン性Oリング
温度センサー	チタン・ニッケル合金
アクチュエーター	チタン・ニッケル合金（温度センサーと兼用）及びステンレス性コイルバネ
各押さえバネ	ステンレス
形状記憶合金線支持ピン	ステンレス

表2 主要部品の寸法

部 品 名	寸 法
形状記憶合金線	φ0.25mm、長さ300mm
主 弁	φ14.0mm、高さ9.0mm
パイロット弁	φ2.5mm、ストローク2.0mm
放 水 口	φ10.0mm
排 水 口	φ2.4mm

3 改良機による作動実験

(1) 実験目的

試作機では、火災室内の温度変化を捉えて自動で放水を制御できることが確認できた。また、再燃焼時でも繰り返し動作できることが確認できた。

本実験では、改良機を規定放水量で使用した場合の制御状況の検証を目的に実施した。

(2) 実験場所

東京消防庁消防科学研究所 1階総合実験室

(3) 使用資器材

- ア 実験用模擬ハウス (W3.6m×D3.6m×H2.1m)
- イ 燃焼材 (杉クリブ W35mm×H40mm×L900mm)
 - 6段積 ----- 52本
- ウ 助燃剤 (n-ヘプタン) ----- 30ml
- エ クリブ用架台 (W900×D900×H250) ----- 1台
- オ 助燃材用火皿 (φ120mm×H110mm) ----- 1皿
- カ 熱電対 (K) ----- 6本
- キ データロガー (TEAC DL9060) ----- 1台
- ク パーソナルコンピューター (NEC PC9801N) ----- 1台

(4) 実験方法等

ア 測定条件

(ア) 模擬ハウスの設定条件

実験に使用した模擬ハウスの寸法等は図4に示すとおりである。できるだけ蓄熱を避けるため、四面の壁のうち二面に1.36㎡と2.98㎡の開口部を設定した。

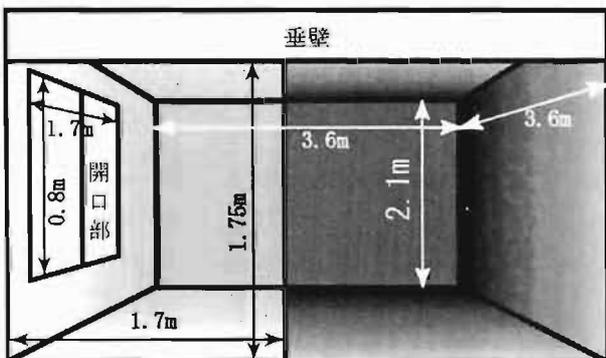


図4 模擬ハウスの立面図

(イ) 制御装置及び熱電対の設置位置

① 制御装置

模擬ハウスのほぼ中央天井部分に、既存ヘッド付制御装置を設置した。(図5参照)

② 熱電対設置位置

熱電対は、制御装置近傍に4点と燃焼材をヘッド真下から遠ざけた場合の火点真上に1点。また、ハウスの外に1点設定した。(図5参照)

(ウ) 燃焼材 (以下「クリブ」という) の設定位置等

使用したクリブは、含水率平均 8.5%とし下記の位置に井桁状に設定した。(図6参照)

また、クリブの積み方は、下から9本、9本、8本、8本、9本、9本の6段とした。

① 実験1

ヘッドの真下

② 実験2

火災模型の全体が、ヘッドの真下から使用ヘッドの有

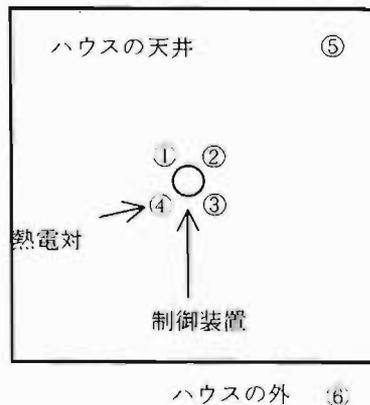


図5 制御装置等設定位置

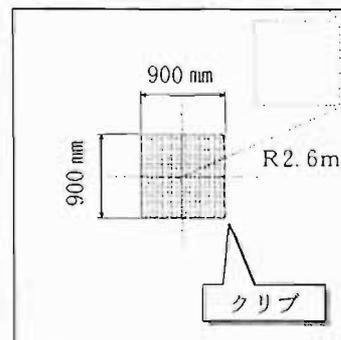


図6 クリブ設定位置

効散水半径 2.6m内に入る最大離れた位置

(エ) 制御装置の作動確認条件

制御装置は、下部にヘッドを取り付けているため制御装置が作動しても放水されない。そこで、開放したヘッドを取り付けて作動確認をした結果、水抜きパイプから水が出るのと同時に放水開始された。このことから、本実験では、水抜きパイプからの排水開始を目視により確認した時点を制御装置の作動と判断した。

イ 測定項目

- (ア) クリブをヘッド真下で燃焼させた場合の、制御装置及びヘッドの作動温度と作動時間及び消火状況
- (イ) クリブを前記ア(ウ)②の位置に設定した場合の、制御装置及びヘッドの作動温度と作動時間
- (ウ) 再燃焼時の各作動温度

4 実験結果及び考察

(1) 測定結果

ア 各作動温度の4点平均と経過時間の平均は表2のとおりである。

イ 測定結果をグラフ化したものが図7、8である。

ウ 表2のデータをグラフ化したものが図9～11である。

エ 実験時の状況は写真4～8である。

表2 実験別各作動温度と時間

	実験1		実験2		平均
	温度(°C)	時間(秒)	温度(°C)	時間(秒)	
点火前	21.8	0	22.6	0	22.2
装置作動	71.5	118	70.2	255	70.6
ヘッド作動	112.4	135	116.5	287	114.5
放水停止	25.7	211	33.3	555	29.5
2回目放水			70.7	600	
2回目停止			37.4	852	
3回目放水			70.0	923	
3回目停止			54.3	985	

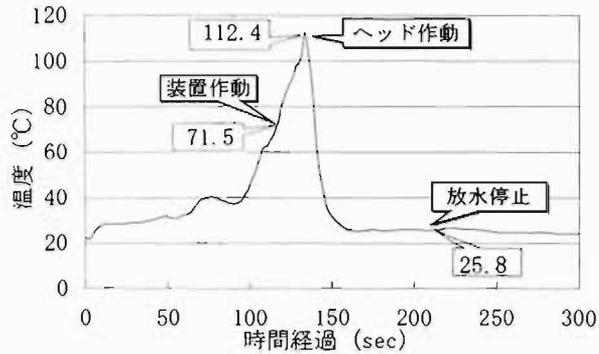


図7 実験1の温度変化

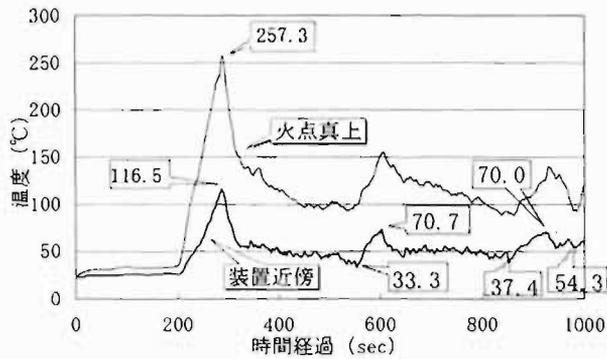


図8 実験2の温度変化

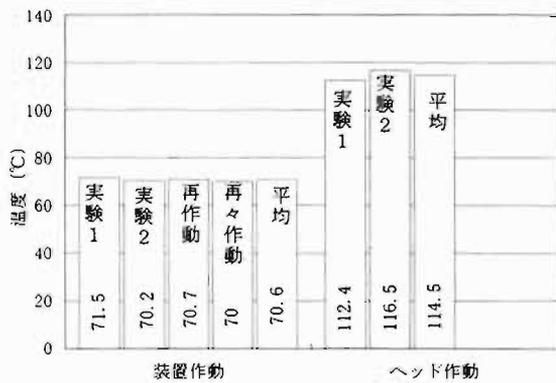


図9 装置とヘッドの作動温度

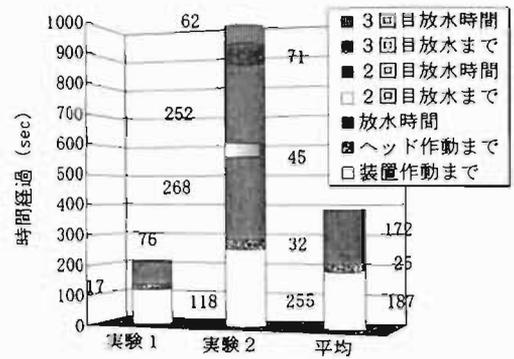


図10 各作動までの時間と継続時間

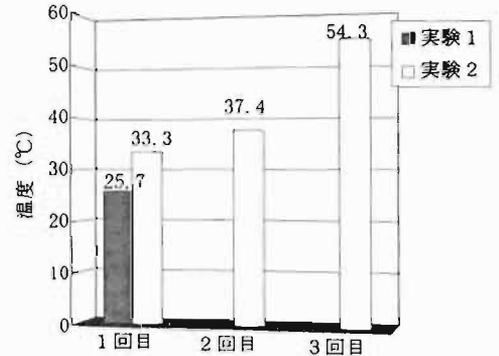


図11 実験別停止温度

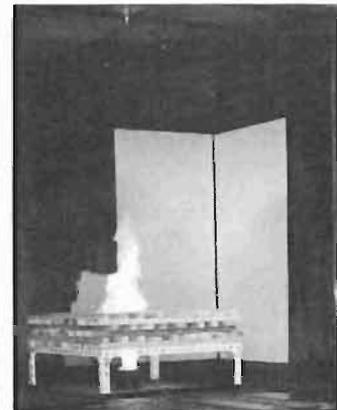


写真4 実験1放水前の状況



写真5 実験1の放水停止状況



写真6 実験2の放水前の状況



写真7 実験2の放水状況



写真8 再燃焼時の放水停止状況

(2) 本実験からの判明事項

ア 制御装置の作動温度は、設定温度の約70℃に対して実験1及び実験2の平均温度が70.6℃であった。これは、ヘッドの作動平均温度114.5℃より43.9℃低い温度である。また、制御装置が作動してからヘッドが作動するのに要した時間は平均25秒であった。

これらのことから、本制御装置は火点の位置に関係なく、ヘッドの作動より十分早く作動することが判明した。

イ 放水停止時の温度は、実験1の場合形状記憶合金の設定温度約40℃に対して25.7℃であった。また、この時

の40℃から放水停止までにかかった時間は66秒であった。放水開始から40℃まで低下するのに要した時間は17秒であり、その後66秒間放水を継続することにより、再燃焼を防止することができた。

ウ 再燃焼した場合（実験2）の放水開始温度は、1回目の再放水温度が70.7℃、2回目が70.0℃であり、ほぼ設定温度で作動した。このことから、再燃焼した場合でも出火時の放水開始温度より十分低い温度で放水されるため、火炎が拡大する前に再放水が行われた。

エ 再燃焼時の放水停止温度は、平均45.9℃であった。燃焼と放水を繰り返し行った場合、火災室内の最低温度が出火前の温度より高くなり、設定温度の約40℃付近を推移する。また、制御装置の放水停止動作が、雰囲気温度約40℃を経過後徐々に放水量を減らして停止する機構であるため、完全消炎しない場合は放水停止時に室内温度が若干上昇した時点で放水停止する。

オ 再燃焼時の各作動温度は、試作機と同様に放水された消火水が、通気口から侵入して形状記憶合金線に付着し、形状記憶合金線を冷やすことにより、適切な雰囲気温度を捉えられなかった。

しかし、改良機では通気口を少なくしたことや、設定温度の約40℃から徐々に放水を停止する機構に改良したため、放水と停止温度が消火水の影響を受けるまでに約10分間放水を行った。また、その後も繰り返し放水を行い、火炎の拡大を抑制した。

5 まとめ

- (1) 形状記憶合金線を温度センサーに使用することにより、電気をいわず火災室内の温度変化を捉えられることが確認できた。
- (2) 再燃焼時でも繰り返し放水を行い、火炎の拡大を抑制できることが確認できた。
- (3) 本制御装置を使用して、ヘッドからの放水を制御し、放水と停止を繰り返し行えることが確認できた。
- (4) 本制御装置を取付けることにより、ヘッドの誤作動時の誤放水による水損被害を防止できると共に、火災発生時においても放水と停止を繰り返し行い、トータルの消火水による水損被害を少しでも軽減できると考えられる。

6 その他

本研究開発は、東京消防庁消防科学研究所第三研究室とトキ・コーポレーション株式会社との共同研究である。

[参考文献]

- 1) 東京消防庁消防科学研究所報35号、P.91-97 (1998)
- 2) 日本火災学会研究発表会概要集、P.62-65 (1998.5)
- 3) 根岸 朗、形状記憶合金のおはなし、日本規格協会 (1995)

STUDY AND DEVELOPEMENT OF THE SPRINKLER SYSTEM WHICH MINIMIZES WETER DAMAGE (Series 2)

Hisao WATANABE*, Misao SHIMOJU*, Hiroyasu TAKAI*

Abstract

Since 1997 we have developed the sprinkler systems which turn on and off automatically. This aims at minimizing the water damage caused by the sprayed water before the operation is stopped manually.

The new type adopts a shape memory alloy as a heat sensor in the control unit, and this control unit is attached to the existing sprinkler head.

As a result of testing its operation by burning wood (a cedar crib), we confirmed that the Spray from the sprinkler system was automatically stopped.

*Third Laboratory