

火点放射式住宅用スプリンクラーの開発

消防庁消防研究所

河関 大祐 金田 節夫
佐藤 公雄 笹原 邦夫

1. はじめに

高齢化社会を迎える中で、最近高齢者が火災により死亡する例が増加している。一般住宅用の消防用機器として現在最も普及しているものは消火器である。次には、数はあるかに少ないが簡易火災警報器(以下、簡警器)である。

高齢者世帯において火災が発生した場合、消火器を使用しての消火は期待できない。また場合によっては、簡警器等により火災の警報が発せられても避難できないことが考えられる。このため、住宅における火災を早期に検知し消火する住宅用自動消火システムの開発が強く求められている。

このような現状から、筆者らはこれまで実用的な住宅用自動消火システムを開発することを目的として研究を行ってきた。

はじめに、全面散水方式の住宅用簡易スプリンクラーを開発した。しかしこの方式は大水量のとれない住宅には適用できないため、次いで少ない水量でも効果的に消火できる火点放射式のスプリンクラーの開発に着手した。

このほど試作した火点放射式住宅用スプ

リンクラーシステムが、性能試験の結果、ほぼ実用レベルになったと判断されたので、ここに紹介する。

2. 住宅用スプリンクラーの開発

現在、一般建物に使用されている自動消火装置に、スプリンクラー消火装置がある。住宅用の自動消火装置に一般のスプリンクラー消火装置をそのまま使用することは、技術的に十分可能であり、事実設置している例もあるが、その数は少ない。しかし、住宅用の自動消火装置は、隣室等への延焼拡大を防止することを目的とした一般のスプリンクラー消火装置とは異なり、出火室での初期消火を第一目的とすべきである。また、一般住宅に広く普及させるためには、過剰の性能を要求し高価なものにしてはならない。これら、住宅用の自動消火装置に求められる条件は、

- 1) 安価であること。
 - 2) 火災を自動的にかつ早期に発見し消火できること。
 - 3) 性能の維持管理が容易であること。
 - 4) 消火剤は人体に悪影響を与えないこと。
- である。

住宅用の自動消火装置の消火剤として最

*現在日本消防設備安全センター勤務

も優れているのは、スプリンクラー消火装置で用いられている水である。一般のスプリンクラー消火装置が高価となる要因として、強力な送水ポンプと大容量の水槽を必要とすることが挙げられる。このため、住宅用の自動消火装置は送水ポンプ及び水槽を必要としない方法にすべきである。そのような装置としては、上水道と直接結んだ簡易スプリンクラーが考えられる。この上水道直結型のものは長時間の放水が可能であり、万一完全消火出来なくても長時間にわたり火災の拡大を抑制できる。またこの方式を用いると送水ポンプを必要としないため、性能の維持管理が容易であるという利点もある。

2-1 初期住宅火災を消火するのに必要な水量

最近の住宅火災統計によれば、焼死者が発生している住宅火災の第一、第二着火物として、ふとん、衣類、紙屑、繊維製品、灯油、ベニヤ板、ふすま、障子及びカーテンが上位を占めている。そのため、それらの物品及び木材クリブの火災について、各々消火実験を行い消火に必要な散水速度を求めた。

消火は、以下の方法水圧 (kg/c m²) で行った。散水は、木材クリブは5分または2分30秒経過したとき、その他の物品については火炎の高さが約50cm となったときに開始した。ふとん、灯油等床面上の着火物については、室内の適当な位置に水平に、またカーテン、ふすま等立ち上がり材に

については、壁際に垂直に設置して消火実験を行った。その結果、それらの火災を消火するのに必要な散水速度が求められた。この結果を表1に示す。

表1 消火に必要な最低散水速度

着 火 物	消火に必要な最低散水速度
木材クリブ	0.8 mm/分
布 団	0.1 mm/分
繊維製品	0.3 mm/分
紙 屑	1.5 mm/分
灯油 (畳上)	0.1 mm/分
ベニヤ板	0.1 mm/分以下
カーテン	3.0 mm/分以上
ふすま	3.0 mm/分以上

2-2 上水道を用いた場合の最大供給水量

どのような、スプリンクラーノズルを開発しようとも、水源として上水道を使用する以上、供給水量に制限がある。この供給水量の上限は、水道配管の水圧と住宅への取り入れ用の給水管の口径特に量水器の管径によって決まる。国内での水道配管の水圧は各都市、地域により異なるが、設計水圧は2kg/c m²程度とすべきであろう (図1参照)。

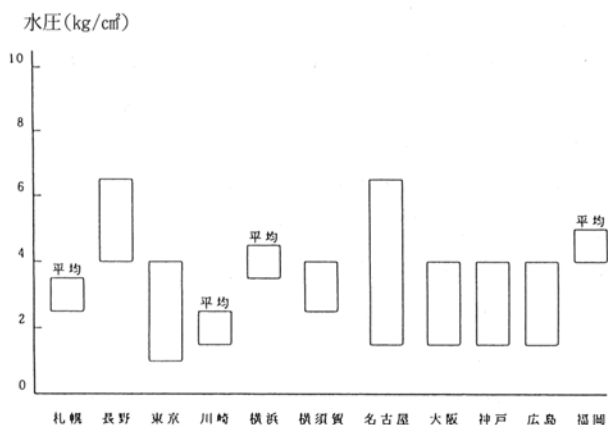


図1 全国公共上水道圧値 (水メータ出口の値)
(1998.4.22 日本水道協会調べ)

表 2 口径別給水契約数

13 mm	16 mm	20 mm	25 mm	30 mm	40 mm	55 mm以上
10,528,366	26,032	4,642,132	783,058	43,660	119,720	70,331

(昭和 60 年度水道統計)

また標準的な住宅の給水管の口径は、13mm, 20mm, 25mm である(表 2 参照)。

配水管の水圧と給水管の管径による圧力降下と流量の関係を計算により求めると、給水管の口径が 13mm の場合、配水管の水圧が 5kg/c m²以下では水量は 204/分以下となる。また、後で述べる 404/分を供給するためには口径 20mm の配管が必要となる。

2-3 全面散水方式の住宅用スプリンクラー

水道水を用いた住宅用スプリンクラーの場合、前述のように、その散水量には限界がある。その少ない水を有効に使うためには、一般のスプリンクラーノズルの様に均一に散水するのではなく、散水場所により異なる量の散水をするノズルを開発する必要がある。住宅火災の場合、壁際に置かれているもののほうが消火に水を多く必要とする。このため、8 畳間の周辺部に散水量が多くなるようなスプリンクラーノズルを試作した。

このようなノズルを用いたスプリンクラーシステムで、8 畳の初期火災を全面散水方式で消火するには 40 乏/分程度の散水量が必要であった。これだけの水量を供給できるのは 20mm 管を敷設してある住宅であり、この試作した全面散水方式のスプリンクラーシステムは、20 mm 管を敷設した住宅では充分実用化できることが分かった¹⁾。

しかし、前述のように契約者が数が一番多い 13mm 水道管を敷設した住宅では、その水

量を得ることは不可能である。

大多数の住宅で使用できる「水道を利用した住宅用スプリンクラー装置」を開発するためには、元圧が 2kg/c m²程度の都市で、13 mm の水道管を敷設してある住宅にも適用できるものを目標にしなければならない。このため、次に述べる火点放射式住宅用スプリンクラーの開発に着手した。

3. 火点放射式住宅用スプリンクラーの開発

8 畳の居室全域に散水して初期火災を消火するには、404 程度の水量を供給する必要がある。従って、これ以下の水量しか供給できない場合は、燃焼域だけに集中して散水しなければならない。

また、火災感知装置は火災を検知するのみならず、火源の方向をも検出する必要がある。更に、火災感知器にはいわゆる非火災報の問題がある。従って、設計に当たっては、調理の煙などによって、火災時以外に装置が作動し、室内が水浸しになるようなことは避けるようにしなければならない。

以上の問題に対応するため、低水圧低水量の水道配管の家庭用の火点放射式簡易自動スプリンクラーは 9 煙感知及び赤外線検知を行なう火災感知装置、火源の方位にスプリンクラーノズルを向ける消火装置及び火災とその火源方位を検知し消火装置の制御を行なう制御装置で構成した。本スプリンクラーシステムの全体構成を図 2 に示す。

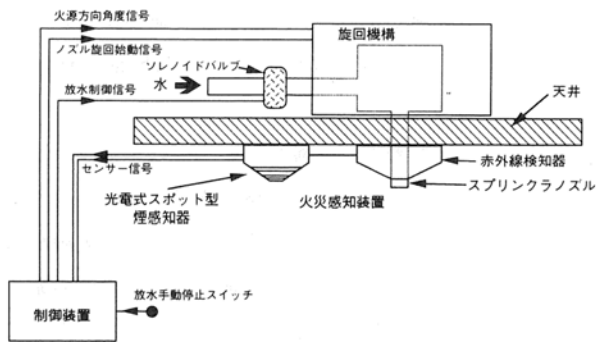


図2 火点放射式簡易自動スプリンクラー全体構成図

3-1 システム各部の構成

(1) 火災感知装置部

火災感知装置には、光電式スポット型煙感知器と赤外線検知素子をセンサーとして用いる。

これらのセンサーによる火災の検知は、非火災報による誤動作を防止するため次のようにした。すなわち、赤外線検知素子のみの場合、火災以外の原因による赤外線を検知する場合もあるので、ここではまず煙を煙感知器で検知し、さらに炎を赤外線検知素子で検知した時、火災を検知したものとした。具体的には、光電式スポット型煙感知器が10秒間作動した後、8個の赤外線検知素子のいずれかの出力が一定値以上のまま20秒間続いた場合を火災の発生とした。

赤外線検知素子の数を多くすれば、火源の位置(検知器を中心とした火災位置の方位)を細かく検知することが可能となるが、信号処理の負荷及び機器コストを考慮すると、できるだけ赤外線検知素子の数を少なくするほうが有利である。そこで、赤外線検知器の形状ならびに住宅の初期火災性状等

を検討した結果、後述のとおり、8個の検知素子により火源位置を16方位で指示し、35°程度の扇状水噴霧により消火可能であることがわかり、検知素子は8個とした。

また、くん焼火災が長く続き炎の発生が遅れる場合には、本火災感知装置では火災の検知は遅れることも予想されるが、緊急な消火が必要と考えられるのは発炎火災の場合であり、発煙を主とするくん焼火災では

非火災報が発生しやすいので、主として発炎火災用として開発したものである。

さらに、湯気などにより煙感知器が作動し、次いで暖房器具等からの熱放射を検知して誤放水する場合も可能性としては考えられる。そこで、煙感知器を強制的に作動させ、赤外線検知器による石油ストーブからの赤外線放射の検知実験を行なったところ、赤外線検知器は作動せず、誤放水は起こらなかった。

赤外線検知素子は焦電形のものを用いた。

この素子の受光窓には赤外線透過帯域4.15～4.55mm(ピーク波長4.35mm)のフィルターを取り付け、二酸化炭素の共鳴放射を選択検知するようにしている。本スプリンクラーシステムでは、この赤外線検知素子を図3のようにスプリンクラーノズルを中心として円筒状に8個配置し、火災位置が検知可能な形状にした。この赤外線検知素子を赤外線検知器に取り付けたときの視野角は、垂直方向に62°、水平方向に55°である。図4は、赤外線検知器を8畳間に取り付けたときの室内警戒エリアの例を示す。図4からわかるように、隣り合う赤外線検知素子

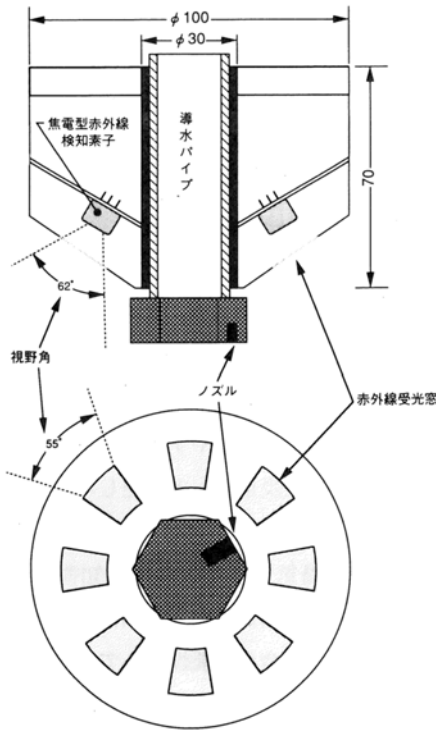


図3 赤外線検知器概要図

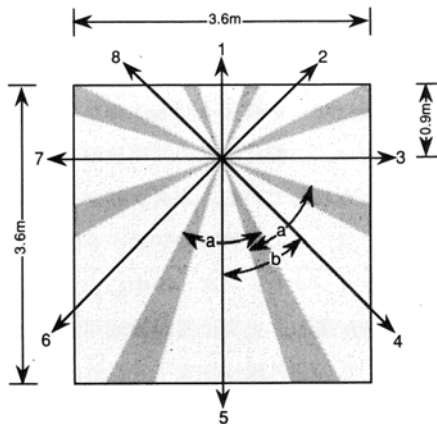


図4 赤外線検知器の視野角度および8畳間に於ける警戒領域
(赤外線検知器を部屋中央から90cmずらして設置した場合)

a = 55° : 赤外線検知素子受光角
b = 45° : 隣接する赤外線検知素子中心視野の狭角

の視野は 10° の重なり領域があり、これにより 8 個の検知素子により、火源方位を 16 方位の分解能で検知する。

すなわち、火源がこの 10° の重なり領域にあると、隣り合う 2 個の素子に同時に赤外線が検知され、2 個の素子間の方位に火源があると判定し、重なり領域以外では 1 個の素子のみで赤外線が検知され、その素子の方位に火源があると判定する。床面に油が広がり着火した場合等、面的に広がりのある火源では、3 個以上の素子が赤外線を検知する場合が起こりうるが、この場合は、その中心方位を火源位置と判断する。

(2) 消火装置部

消火装置は、火災感知器の中心からノズルを突きだした構成にした(図3参照)。これにより、火災感知器とノズルを別に配置するのに比較し、感知器からみた火災の方位とスプリンクラーからみた火災の方位は同じものになり、座標変換などの必要がなくなる。

スプリンクラーノズルは、火災検知器を中心に火災源の方位に約 35 度の扇状に散水できる構造のものを製作した。

旋回機構部は、制御部から与えられた火源方位角度信号に基づき、目標の角度にノズルを旋回させる。旋回機構部の構成は、モーター、減速ギア、シール、旋回軸、ノズル、

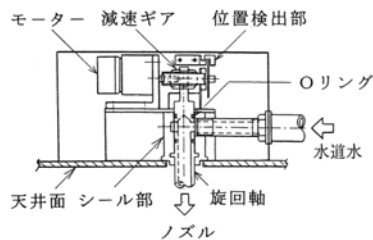


図5 ノズル旋回機構構造図

回転位置検出部からなる。旋回機構部の構造を図5に示す。旋回機構部は天井裏に取り付けるようにしたため、各構成部品は軽量で小型になるよう配慮した。

駆動源となるモーターは小型で旋回始動トルクが大きく、制御機能の優れた直流モーターを用いた。モーターの回転数を減少させトルクを増大するための減速ギアは、停止位置誤差の要因の一つであるバックラッシュがなく、かつ減速比が大きくとれるウォームとウォームホイールの組み合わせの減速機構とした。モーター軸上にウォームを、モーター軸に直交し垂直な旋回軸上端にウォームホイールを取り付けて旋回軸を駆動する。シール部は、旋回軸の上部でウォームホイールの下にあり、水平方向から取り込む水道配管からの流水の方向を垂直下向きにし、かつ旋回するためにOリングによるシールを施した。旋回軸は、パイプ状とし下端に取り付けたノズルに水道水を導く。

旋回角度を検知するため、モーター軸端にスリット幅0.5mmの円盤を取り付け、モーターの回転に伴う光源を遮る数をカウントして検出する。検出された旋回角度とノズルの設定角度とを比較し、その設定角度と

なるまでモーターを駆動させる。

ノズルは、通電後任意の位置にあっても最初は原点に戻り、角度信号を得た後、原点から設定角度まで旋回を始める。設定角度に近づくと減速し、目標とした設定角度でノズルは停止し、次の角度信号がくるまで、その角度を保持する。燃焼部分が移動し、ノズルの目標となる角度が刻々と変化しても対応できるように、次々と角度信号を取り込み、ノズルが追従するような制御方式とした。また外乱からの誤動作を防止するため、角度信号を受け取る前に始動信号が出力され、始動信号後の0.1秒以内の信号だけを角度信号として受け取るようにした。旋回機構部の性能を表3に示す。

(3) 制御装置部

制御装置は、(1)の火災感知装置部からのセンサー信号を受信処理して火災と火源方位を検知し、(2)の消火装置に火源方位角度信号を与えてスプリンクラーノズルの旋回を指示する。更に制御装置は、ソレノイドバルブを制御して放水の開始/停止を行なう。

制御装置部の構成は図6のブロックダイアグラムに示すとおり、16ビットCPUを搭

表3 ノズル旋回機構部の性能諸元

旋回範囲	水平面 0～360度
旋回速度	36度/秒 (0～360度を10秒間)
停止位置	0～360度を22.5度ピッチで16分割した位置
停止位置設定信号	4bit TTL 正論理 (H=1, L=0)
最大停止位置誤差	-1.0～+3.5度 (単独及び累積 [10回以上] 入力時)
耐圧力	5kgf/cm ²
通水路断面積	10mmφ相当
寸法	W=200mm, L=200mm, H=100mm
重量	4kg

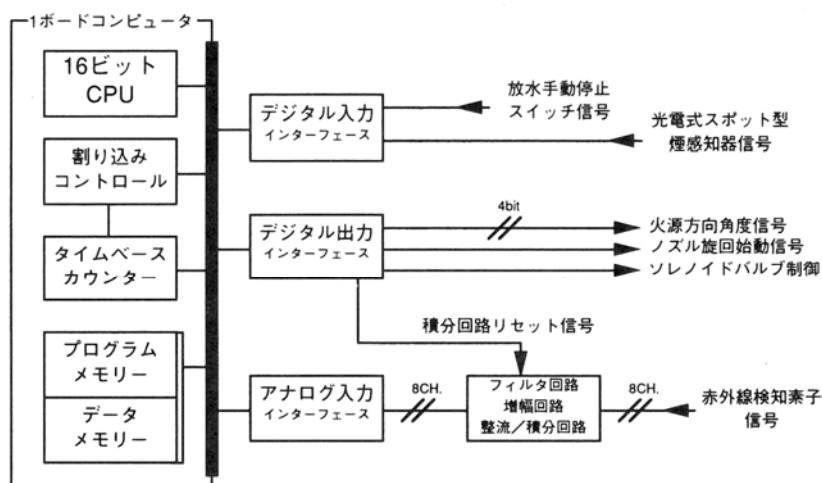


図6 制御装置部ブロックダイアグラム

載した1ポートコンピュータ、デジタル入力/出力インターフェース及びアナログ入力インターフェースから成る。アナログ入力インターフェースの前段に置かれる「フィルタ回路・増幅回路・整流/積分回路」は、焦電形赤外線検知素子の交流電圧信号を直流電圧信号に変換するためのもので、これにより CPU の処理負荷を大幅に軽減することができた。

制御装置は図7に示す動作フローに従って次のような処理を行なう。まず、光電式スポット型煙感知器と焦電形赤外線検知素子の信号を基に火災を検知し、消火装置部の旋回機構に火源方位角度信号とノズル旋回始動信号を送る。火源への放水は、ノズル旋回開始5秒後から105秒間行ない、放水停止の10秒後、焦電形赤外線検知素子による火災判断処理(B)に戻る。この処理ループにより、必要以上の放水を防止すると同時に火源位置の変化に追従することができる。

本スプリンクラーシステムの操作スイッチは、制御装置部に放水手動停止スイッチ

のみを設けることとし、操作の単純化を果たした。この放水手動停止スイッチは、最大120秒間、ソレノイドバルブを一時的に閉じるもので、特別な復旧動作なしで火災判断処理(B)に戻り、自動スプリンクラーとしての機能を停止することはない。

3-2 性能評価実験結果

試作した装置を、一般住宅の8畳間を想定した実験室に設置し消火実験を行なった。

この消火実験では、赤外線検知器を部屋中央から90cmずらしてとりつけた。また、スプリンクラーヘッドには2kg/c㎡に加圧した給水タンクから水を供給した。なお、この時のスプリンクラーヘッドでの水圧は、約0.5kg/c㎡であった。火源には3×3×30cmの木材クリブをメタノールを入れた燃焼皿の上に井桁状に積み上げ、メタノールに着火する方法を用いた。この火源を実験室内床の様々な位置に設置し消火実験を行ったところ、いずれの場所においても、メタノールに着火後約60～90秒で火災を検知し

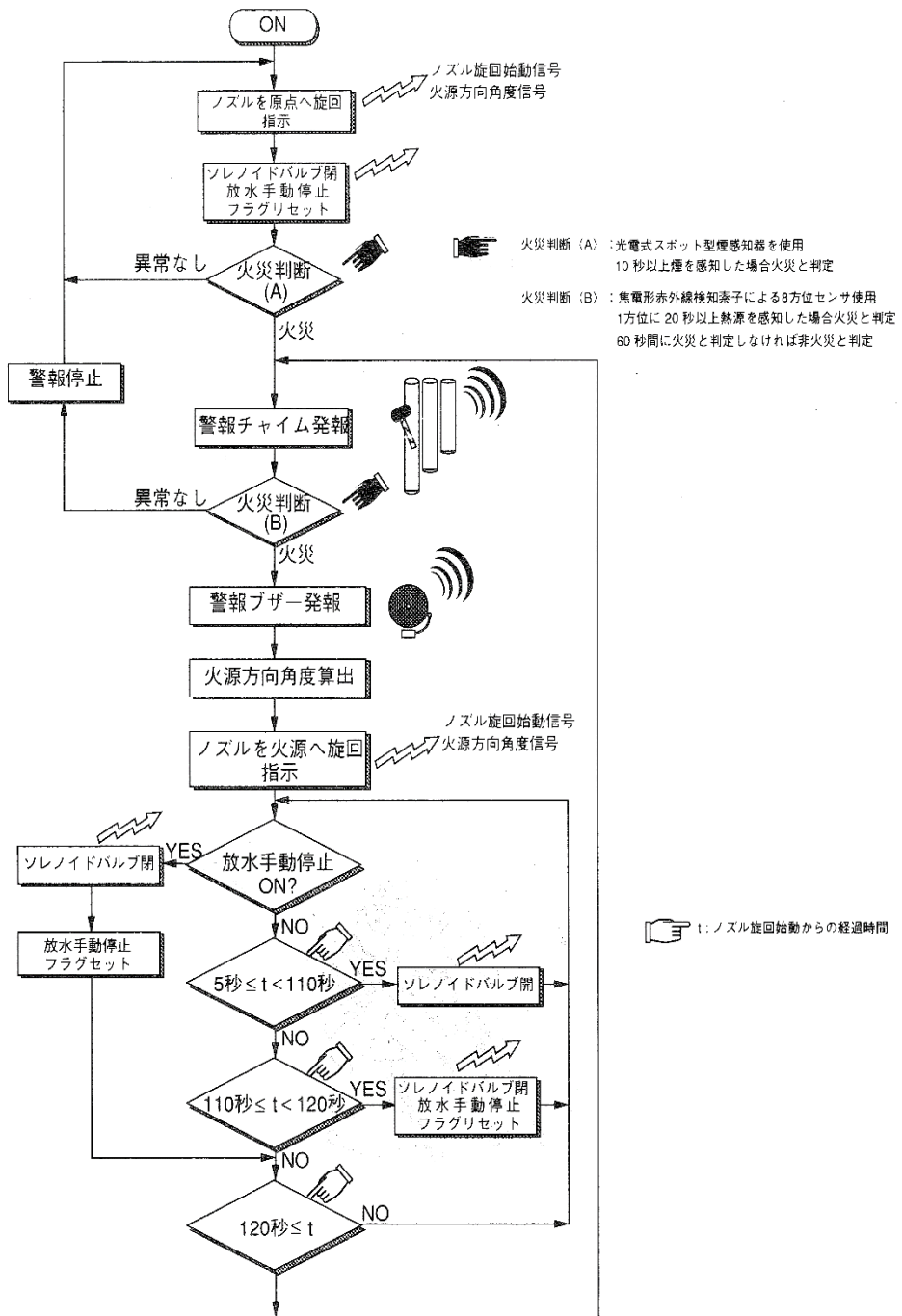


図7 制御装置動作フロー

て火源にほぼ正確に放水を開始し、最初の105秒間の放水で消火することができた。なお、これまでに試作したスプリンクラーノズルは散水時の飛沫が赤外線検知器の受光窓にかかる場合があり、赤外線受光特性に影響を及ぼす可能性があるため、現在、別のノズルの試作を進めている。

3-3 まとめ及び実用化に向けた今後の課題

煙感知器と赤外線検知器による火災感知部と旋回機構を有する消火装置部からなる火点放射式スプリンクラーシステムを試作した。ここで試作した火点放射式簡易自動スプリンクラーは、ほぼ実用的な性能を有することがわかった。

しかしながら、本装置は現時点では大きさも大きく、価格もかなりのものとなる。特に、本装置では市販の1ボードコンピュータを用いたが、専用カスタムICなどにより、ワンチップ化を図ることにより小型化かつコストダウンが可能である。また、消火装置部においても、放水機構の装置の工数を減らし一層小型のものにする必要がある。

文献

- 1) 佐藤公雄他, "住宅用簡易スプリンクラーの開発", 消研輯報第45号, P. 22, (1991)

