

# 伝統的建造物の火災リスクを低減 自動火災検知放水システム「慈雨」を文化財へ導入

重 盛 洸

近年、木材を使用した伝統的な重要建築物の火災事例が散見されている。また重要文化財指定建造物の火災原因のうち多くが建物外周部での放火であると報告されている。清水建設(株)では、屋外の火災要因を早期に検知し、外壁面に対して自動的に放水を行う自動火災検知放水システム「慈雨」を開発した。本報では、そのシステムを構成する画像型火災検知システムと壁面自動放水システムの概要および性能検証結果について説明する。さらに、本システムをAR(拡張現実)化した「温故創新の森 NOVARE」における取組み事例について紹介する。

キーワード：建設業, 総合工事業, 伝統的建造物, 重要文化財, 防火, 火災検知, 自動放水, 延焼拡大抑制

## 1. はじめに

近年、海外ではノートルダム大聖堂、国内では首里城など、木材を使用した伝統的な重要建築物の火災事例が散見されている。これらを契機に、文化庁が中心になり、国宝・重要文化財(建造物)の防火対策ガイドラインや世界遺産・国宝等における防火対策5か年計画が2019年に策定された。この計画に基づき、2024年までの5年間で関連建造物の防火対策を強化している。

これまでの防災システムの多くは、物体の燃焼時に発生する炎からの放射エネルギーと光のちらつきを炎センサで検知し、放水銃などの消火装置を作動させていた。しかし、こうしたシステムでは、炎の大きさが一定程度大きくなるとセンサが反応しないため、火災発生を早期に発見できないことが課題になっていた。また、消火時には、敷地内の消火装置を一斉に稼働させる仕組みになっているため、一度に大量の水を消費してしまい鎮火しないうちに消火用水が不足するリスク、さらには一点に集中して着水する放水銃の水圧による建物の損壊リスクの低減が課題となっていた。

そこで当社は、監視カメラ画像をAI処理して検知精度を向上させ、建物の屋外火災を早期に発見し自動的に放水する新たなシステム「慈雨」を開発した。このシステムはカメラ画像から得られる炎や煙の視覚的情報をAIによる自動判別機能により分析することで、わずかな炎であっても検知可能であり、放水によ

る火災進展抑制により火災被害を最小限に留めることができる。また、出火部位に限定して消火装置を稼働させることで、限られた消火用水で効果的に消火することができる。さらには、扇形の形状をした放水ノズルから、屋根部や軒下壁面に向けて扇状かつ水平に放水することで、一点集中ではなく広い範囲に着水するため出火部位への確実な着水ならびに、水圧による建物の損壊防止が可能となる。

本システムを江東区潮見に建設した自社施設「温故創新の森 NOVARE」内に再築した旧渋沢邸を対象に導入した(写真-1)。

旧渋沢邸では、死角ができないよう、邸宅を囲むように監視カメラを12台、扇形の放水ノズルを60台設置した。庭内に設ける観賞用の池の直下に150m<sup>3</sup>ほどの消火水槽を埋設して水源を確保する計画としている。



写真-1 江東区潮見へ再構築後の旧渋沢邸外観

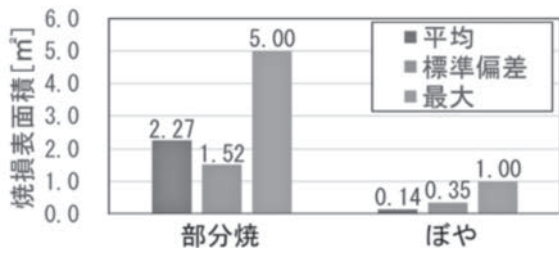
## 2. 想定される火災

本システムは木質材料などの燃えやすい外壁面を対象としており、出火要因は放火など、着火から比較的短時間で有炎燃焼する状況を想定している。火災状況をより具体的に想定するため、総務省消防庁の火災統計データ（1995～2015年）を用いて分析を行った。その結果、木造の神殿等の外周部の放火火災における焼損表面積で最大となるものは約5m<sup>2</sup>程度となり（図一1）、本システムにおいて想定する火源モデルはこの結果を元に設定をするものとした。

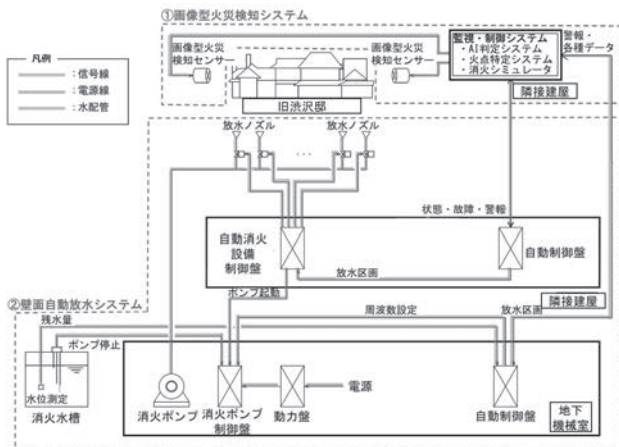
## 3. 本システムの構成

本システムのシステム全体概要を図一2に、システムフローを図一3に示す。システムは、火災検知機能を有する画像型火災検知システムの部分と、初期拡大抑制機能を有する壁面自動放水システムの部分に大別される。

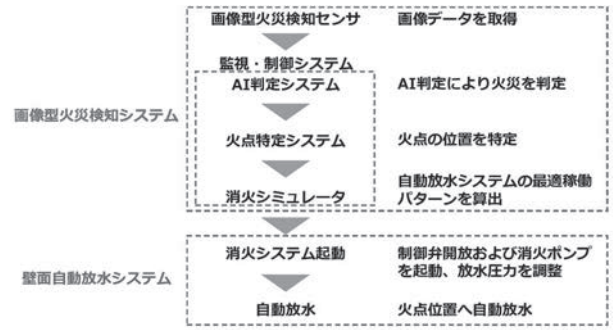
画像型火災検知システムは画像型火災検知センサ（ネットワークカメラ）と、監視・制御システムから構成される。さらに監視・制御システムはAI判定システム、火点特定システム、消火シミュレータの3つのシステムから構成される。画像型火災検知システムでは取得された画像データを基に火災の判定および火



図一1 外周部の放火火災における焼損表面積集計



図一2 システム全体概要



図一3 システムフロー

点の位置の特定を行い、最適な放水パターンを算出するとともに、壁面自動放水システムを起動する。

壁面自動放水システムでは入力された放水パターンに応じた放水を実施するため、各放水ノズルに設置された制御弁の開放、消火ポンプの起動および放水圧力の調整を行うことで、火点位置へ自動的に放水を実施し、火災の拡大を抑制することができる。

## 4. 画像型火災検知システム

### (1) システム概要

画像型火災検知センサとして用いるネットワークカメラ（写真一2）は一般的に監視カメラとしても用いられている汎用品であり、遠隔操作でカメラの首振りや拡大・縮小を制御する機能を有している。本計画においては、建物の3Dモデルを用いて画像型火災検知センサの配置検証（図一4）を行っており、各警戒範囲をあらかじめ確認をした上で各センサの設置位置を決定している。

監視・制御システムのうちAI判定システムでは、画像型火災検知センサからの画像データより火災判定を行う。火災検出処理には深層学習（ディープラーニング）を用いた画像内での物体検出の手法を用いている。図一5に示すように、AIの深層学習においては、教師データとして約2,000枚の画像データ内から炎、



写真一2 ネットワークカメラの設置状況

煙および背景の3つの画像的特徴を学習させており、画像型火災検知センサにおいてリアルタイムで撮影された画像データから、即時に3つ（炎、煙およびそれらを除く背景）の画像部分を検出し、火災確度（火災の可能性）を評価することが可能である。画像データにおいて炎か煙の可能性が検出（火災確度30%程度）された場合、画像型火災検知センサが特定部を自動で段階的に拡大撮影し、改めて火災確度を評価（火災確度80%以上で火災判定）することにより、約30mの遠方からの火災検出を実現している。

火点特定システムでは、火災検出した画像型火災検



図-4 3Dモデルによる画像型火災検知センサの配置検証

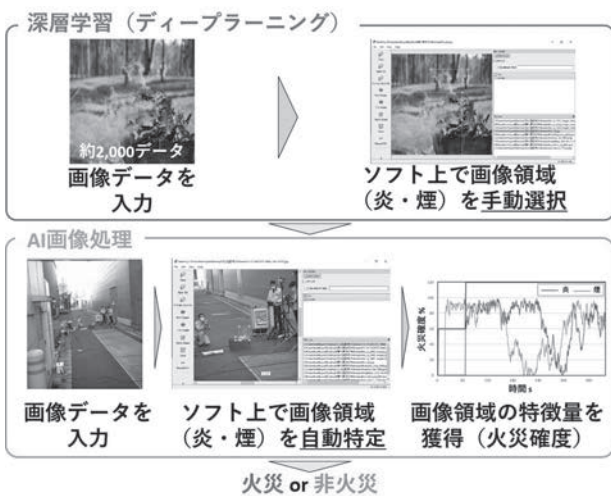


図-5 深層学習とAI画像処理

知センサの位置、検知範囲およびAI判定システムからの情報より、火災検出された火点の位置を特定する。次に、座標化された建物周囲のマップデータ上において、火災確度（火災の可能性）をマップ化する。

消火シミュレータでは、あらかじめ登録されたどの放水パターンで起動するかをシミュレーションする。その後、特定した火点範囲へと放水するため、壁面自動放水システムを起動する。

(2) 火災検出処理試験

屋外環境における画像型火災検知センサによるAI判定システムの性能把握を目的として、火災検出処理試験を実施した。

火源には同じ条件下による再現性を考慮し、ホワイトガソリンを使用した。火災検出処理試験の火源の状況を写真-3に示す。火源からの水平距離15m、画像型火災検知センサの設置高さは2mとした。火源へ点火した時点を0秒とし、火災確度の時間による変化を検証した。

夜間（照度0.1lx程度）の環境における火災確度の推移グラフを図-6に、実験時の様子を写真-4に示す。点火直後に76%を示し、その後20秒後までの間に80%を超える値を示していることがわかる。また、点火後20秒後までの間の最大値は87%、最小値は59%であることが確認された。日中の実験結果においても同様の傾向となり、火災確度の値に大きな違いはない。また画像型火災検知センサとしては上記に



(a) 実験火源の状況



(b) 実験火源の熱画像

写真-3 火災検出処理試験の火源状況

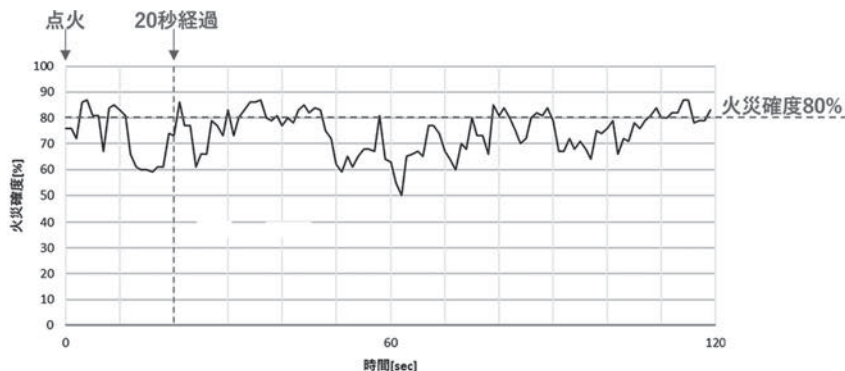


図-6 火災検出処理試験における火災確度の推移



(a) 検出結果画像全景 (b) 火源位置拡大  
写真—4 火災検出処理試験における検出画像

加え、現地での最大設置距離である 30 m 遠方からの拡大撮影画像による火災検出や、火源発生からの検出時間について評価を行い、検出性能の妥当性について確認をしている。

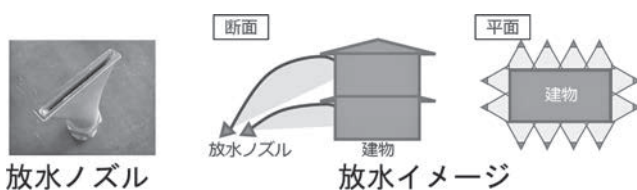
## 5. 壁面自動放水システム

### (1) システム概要

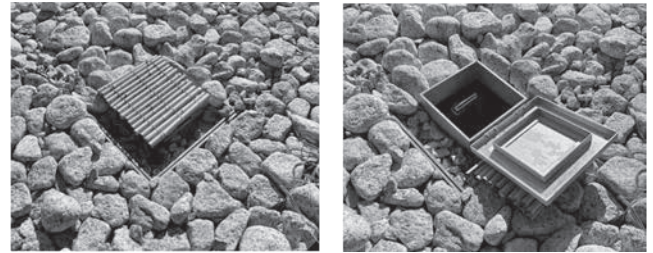
本システムは画像型火災検知システムからの信号を元に消火ポンプ等の自動放水システムを起動し、特定された火点近傍の放水ノズルから放水を行う。

放水銃等の高い放水圧力が必要な消火設備を使用する場合、遠方への放水が可能ではあるが、着水時に被放水側へ与える圧力（以降、着水側圧力）が大きくなるため、文化財等の壊れやすい外壁材量を持つ建築物の場合、外壁面を損傷してしまう恐れがある。本システムではあらかじめ放水試験を実施することにより、放水特性を詳細に把握することで、建物形状に適した放水圧力・ノズル配置を計画することを可能としている。図—7 に示す通り、本システムに使用する放水ノズルは扇状の形状をしており、高所の壁面に対して幅広く放水することが可能である。消火ポンプにはインバータを設置し、起動した放水ノズルの数に合わせて放水圧力を制御することにより、複数の放水ノズルから放水した場合においても、着水側圧力の抑制を可能としている。現地での放水ノズルの設置状況を写真—5 に示す。通常時にはフタが閉じている状況であるが、放水ノズルからの放水圧によりフタが自動的に開放され、壁面への放水が行われる。

壁面自動放水システムに対し、木質の外壁を対象に、構成要素の扇形ノズルの放水特性を把握する放水



図—7 放水ノズルと放水イメージ



(a) 通常時 (b) 放水時（フタ開放時）  
写真—5 放水ノズルの設置状況

実験、ノズルを用いた燃焼拡大抑制を確認する火災実験を行っている。

放水性能の検証実験においては、高所壁面に対しても有効な放水性能を確保できることを確認した（写真—6）。また、放水実験は屋内の無風環境下で実施をしたが、実際に放水をする外部環境下においては風による放水形状の乱れが想定される。そこで、風環境下における放水シミュレーションを実施し、敷地周辺の風速値が設定値よりも大きい場合には、隣接する放水ノズルも同時放水する制御を導入している（図—8）。

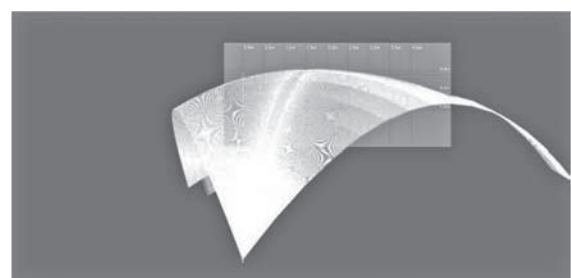
### (2) 火災進展抑制性能試験

火災に対する扇形ノズルによる放水の有効性の把握を目的として、火災進展抑制性能試験を実施した。

試験体はシステムの設置対象である旧渋沢邸の代表的な軒部分をモックアップとして再現し、はめ板は木



写真—6 高所壁面への放水性能の検証実験



図—8 風環境下における放水シミュレーション  
（左から右方向へ 風速 2 m/s 環境下）

製雨戸が閉じた状態を想定した。外壁材は含水率9～12%の檜材とし、板厚12mmのもので構築した。

火源には外周部の放火火災に伴う部分焼での最大焼損表面積を考慮し、壁体下部から壁伝いに上方に火炎拡大して軒裏沿いに展炎する状態を想定した。燃焼は鋼製容器の底部に水を敷き、同じ深さで燃料のヘプタンを加え、点火して行った。燃焼時間は放水無しで10分間継続可能な設定とした。

代表的な実験ケースにおける放水前後の様子を写真一七に、熱画像を写真一八に示す。燃焼および炭化範囲をみると、放水後の壁面燃焼は抑制されており、熱画像も低温を示していることが確認できる。またモックアップに設置した熱電対により計測した加熱面温度の結果や、試験後の試験体において評価した厚さ方向の炭化深さの計測結果からも、放水による温度低下や非加熱側への燃焼拡大の抑制を確認している。

以上の結果から、扇形ノズルの放水による火災進展抑制性能を確認した。



(a) 放水前 (b) 放水後  
写真一七 火災進展抑制性能試験の様子



(a) 放水前 (b) 放水後  
写真一八 火災進展抑制性能試験の熱画像



写真一九 壁面放水のAR化

## 6. 壁面放水のAR化

文化財建造物への実際の放水は、建物自体の水損リスク回避の観点から、頻繁に行うことはできない。一方で、文化財保護に対する取組みや放水の有効性を理解し、今後の更なる防火性能の向上に貢献するためには、放水の様子を現地で見ても、体感することが有効であると考えられる。

そこで「温故創新の森 NOVARE」ではAR(拡張現実)技術を活用し、実際の建物を背景として、タブレット上で放水の様子と重ね合わせることで、現地で建物への放水を見ることができるよう仕組みを導入している。専用アプリをインストールしたタブレットを用いて現地で位置合わせをすることで、建物への放水を映像と音で体感することができる(写真一九)。

## 7. おわりに

画像型火災検知システムと壁面自動放水システムを連携した自動火災検知放水システム「慈雨」を構築した。当社は今後、本システムを積極的に活用していくことで、文化的価値の高い伝統建築をはじめとした木造建築物の維持・保全に寄与していく考えである。

またデジタルゼネコンとして、AIやIoTを活用した技術革新に挑戦し、様々なパートナー企業と協業しながら、豊かな社会の実現に向けた取組みを続ける所存である。

## 謝辞

本システムの構築および実験にご協力頂きました能美防災(株)に、ここに記して感謝の意を表します。

JCMA

## 《参考文献》

防災行政研究会編:火災報告取扱要領ハンドブック 11訂版,東京法令出版,2007年5月

## 【筆者紹介】

重盛 洸(しげもり こう)

清水建設(株)

建築総本部 設計本部 プロジェクト設計部3部

兼 設備設計部2部

設備設計担当

