

文化財施設防災設備の故障検知と診断手法

Fault Detection and Diagnosis Methods of the Disaster Prevention System Equipped in the Cultural Property

近本 智行

Tomoyuki CHIKAMOTO

1. 概要

文化財施設の重要性とは裏腹に、信頼性が求められる文化財施設の防災設備の故障検知と診断方法に関して研究を行う。問題点を整理し、施設モデルにおける信頼性及びコストの検証を行う。

2. はじめに

これまで文化財や文化財施設はその価値を保護するために様々な配慮がなされてきた。実際に文化財保護法等により周辺環境を含む保護や修繕、防災施設の充実や整備の補助といった事が行われている。

一方で建築基準法における特殊建築物や消防法における特定防火対象物等の建築物に対して報告義務を伴う厳しい基準が設けられている。しかし文化財施設の中には法定設置基準の対象から外れているケースがある。このような施設では設置が自主的に施されるため、実際に防災設備が配備されていない事例も存在する^{文1)}。

また、既設の基準は有事の際に建物ではなく人間の安全を優先して設定されている。この考え方が被災してしまうとその価値を大きく損失してしまう重要文化財施設に相応しいとは言い難い。

これらより本研究では文化財施設が被災しないために設備の信頼性を危険率^{注1)式2)}によって評価する事を研究目的とする。研究項目について以下表1に示す。

表1 問題点と研究項目

	問題点	研究項目
1)	文化財施設の防災設備には自主的な設置に依存している場合がある。 → 安全性という観点だけでなく、予算などの要因に大きく影響されている可能性が高い。	コストと安全性からシステムを検討 → 安全維持にかかるコストの検討
2)	点検も法定点検ではなく自主的に行われている場合がある。 → 修理・交換時期を逸する恐れがあり、機器の経年劣化が発生している可能性有り。 → 安全性の質の低下が懸念 実際に防災設備の不具合による事故例が報告 ^{文2)}	経年劣化による故障を検討 → 経年による危険率の高まりを考察。機器の重複による危険率の低減性を検討。
3)	上記問題 1)、2)は通常の規制から逸した現象 → この分野を研究し、文化財を保護するための防災設備等の故障検知・診断を行う専門家が不足	経年劣化を数値化 → 危険率によって設備の安全性を検討・評価方法を検証。

3. 検討概要

3.1 検討対象

設定したモデルに感知範囲 $r=4.5m$ の煙感知器を設置^{注2)}。

3.2 検討条件

①「はじめに」で述べたように防災設備の管理不備による経年劣化は通常起こりえない事である。そのためメンテナンスのされていない経年劣化による故障に対する集計データが存在しない。そのため故障率をハザード関数(偶発故障関数)式^(1)文3)で与えるものとする。

$$f(x) = \int e^{-\lambda x} dx \quad (\text{指数分布}) \quad (1)$$

②各地点での故障による危険率は次のようにする。

$$U(x) = 1/n \sum (s_n/s \times f(x)n) \quad \text{注1)} \quad (2)$$

③機器の平均寿命はメンテナンスされている状態で10年、されていない場合は3年とする^{文4)}。

④対象機器(自動火災報知機・屋内消火栓)は修理やメンテナンスがされていないとし、経年と共に劣化していく物とする。

⑤感知範囲が重複する部分は各々の事象が独立しているため各危険率の積を用いて危険率を表わすとする。また機器の感知範囲外の地点は故障率100%とする。

3.3 検討ケース

■煙感知器

感知器3個(a-1)、感知器4個(b-1)のケースを基本ケースとし、感知器の設置個数を増やし検討を行う。配置のパターンを以下(図1)に示す。

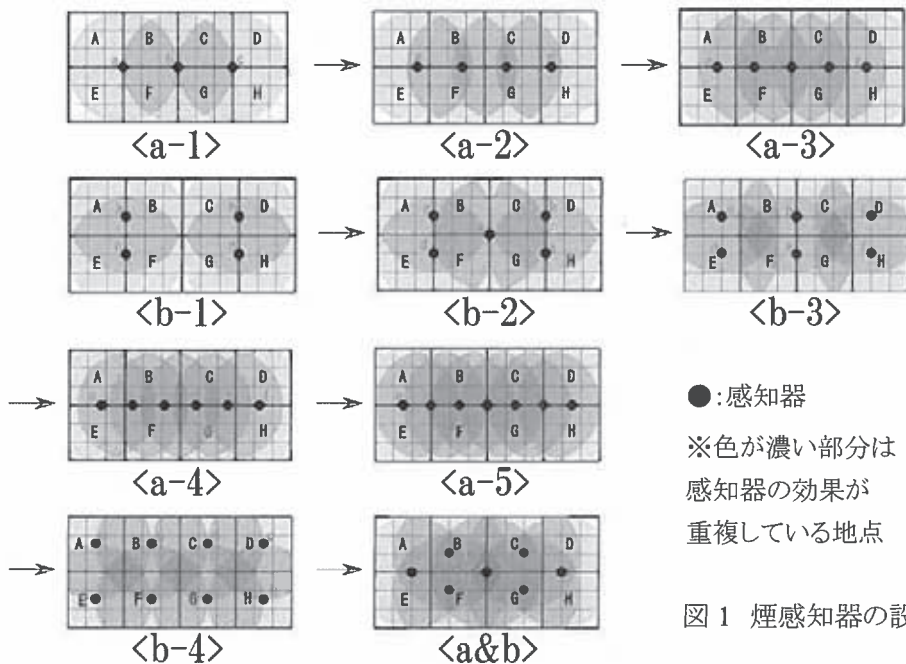


図1 煙感知器の設置パターン

■屋内消火栓

屋内消火栓は一定の範囲での出火を防げない事は価値の損失に繋がるため、効果範囲が及ばない地点が生じないように設置した。効果範囲が広いため設置数 3、および 4 の 2 ケースについて検討を行った^{注3)}。

3.4 検討手法

- ・基本ケースの危険率を基に多重化や整備された場合と比較。
- ・設置された設備からコストを算出^{注4) 文5)}。推奨されている交換年数 10 年から基準危険率を算出し、経過年ごとの最もコストの低いパターンを検証。
- ・基本ケースの設置、経年後に機器を増設する場合の危険率を考察(ex: a-1 + 増設 → a-5)。
- ・屋内消火栓と煙感知器での結果を比較。

4. 検討結果

- ①図 2 で示すようにメンテナンスの有無により危険率の増加傾向が大きく変化する。また設置数を増やしたケースでは 10 年経過時点で最大 26.7%の開きを確認。多重化やメンテナンスの有効性を確認。
- ②図 3 より a-1 のケースが最も年間当たりのコストが低い事が確認された。しかし図 4 で示すように最安コストで維持した場合、最も危険率を低く維持したケース a-5 と比較するとその差は大きい。危険率低減のための投資に対する効果を捉えることが出来た。
- ③a-1 を設置したあと 3 年から 8 年の間に増設し a-5 のパターンに変化させたケースを図 5 に示す。示す通り、増加した後の危険率は更新無しの場合よりも a-5 の場合の危険率に近づく事が分かる。つまり機器を新規交換するよりも追加で増設した場合のほうが危険率は大きく減少するという事が読み取れる。
- ④屋内消火栓と感知器のコストを表 2 に示す。示す通り感知器の設置のコストの方がかなり低く、防災設備システムの中で感知器の設置を充実させることがコストを抑えながら安全性を維持できる事を確認。

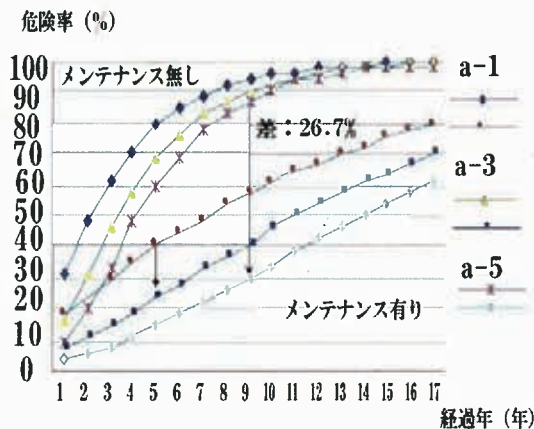


図 2 メンテナンス有無と設置数による危険率の差

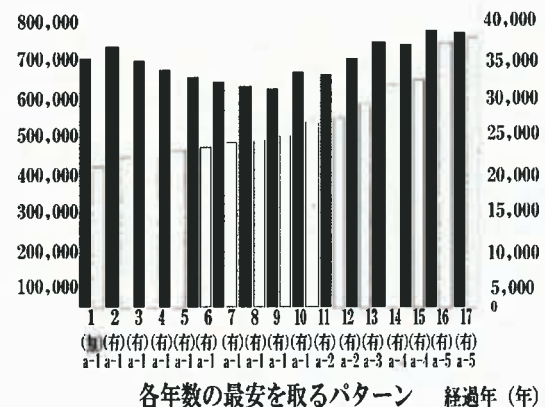


図 3 各経過年数の最安コストと年間費用 (基準値内)

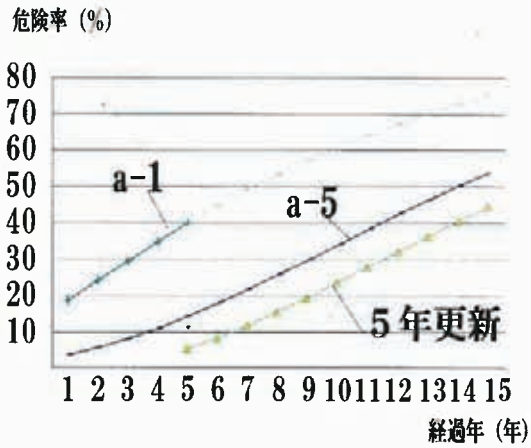


図4 増設による危険率の低減性(5年更新版)

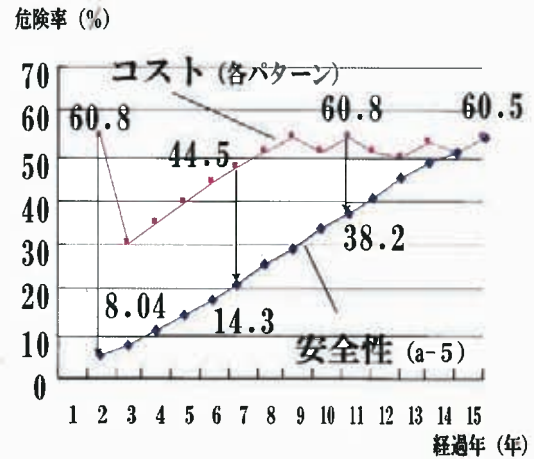


図5 コストと安全性の視点からの危険率

表2 煙感知器と屋内消火栓の費用と危険率

		経過年	1	5	10
消火栓	危険率(%)		3.07	18.38	37.55
	費用(千円)		853.9	1227.3	1694.0
感知器	危険率(%)		3.44	14.34	34.13
	費用(千円)		465.4	524.0	597.3

5. まとめ

本報では、信頼性工学の視点から機器の重複設置、保守点検、増設による更新の優位性を確認できた。また安全維持に必要なコストや、それ以上の投資に対する費用対効果を確認することが出来た。今後実際の事例を用いて検討し、再現性を検証していきたい。

注 1) 危険率の算出方法

参考ケース:1-a (機器の平均寿命 10 年、経過年 1 年パターン)

<偶発故障関数の決定>

平均 $E=1/\lambda=10$ より

$$f(x) = \int e^{-x/10} dx \quad (3)$$

$$\therefore f(x) = [-e^{-x/10}] \quad (4)$$

<地点Aを考える>

範囲外の部:

$$\text{故障率 } f(0) = 1 = 100\% \quad (5)$$

1重の部:

$$\text{故障率 } f(1) = 1 - e^{1/10} = 9.5\% \quad (6)$$

$$\therefore U(A) = 1 \times 0.215 + 0.95 \times 0.785 \quad (7)$$

<地点Bを考える>

範囲外の部:

$$\text{故障率 } f(0) = 1 = 100\% \quad (8)$$

1重の部:

$$\text{故障率 } f(1) = 1 - e^{1/10} = 9.5\% \quad (9)$$

2重の部:

$$\text{故障率 } f(2) = (1 - e^{1/10})^2 = 0.9\% \quad (10)$$

$$\therefore U(B) = 1 \times 0.043 + 0.95 \times 0.342 + 0.09 \times 0.615$$

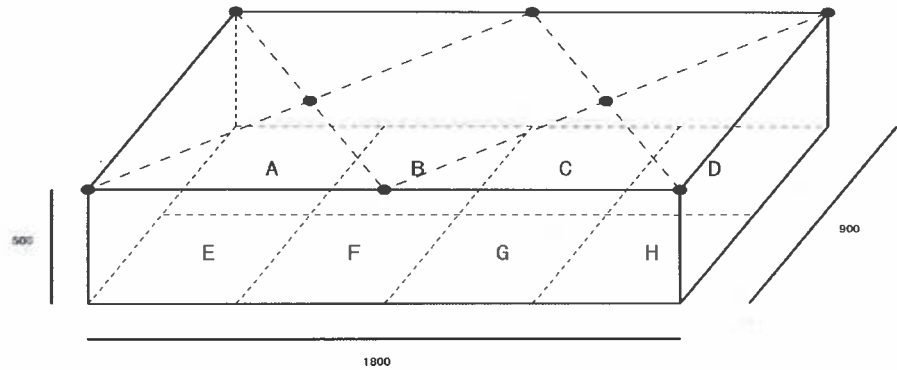
$$\therefore U(1-a) = \{U(A) + U(B)\} \times 1/2 = 18.54\% \quad (11)$$



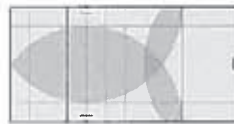
注 2) モデル概要

- ・寸法は畳の倍数、奥行き 9m・幅 18 m に高さ 5 m の空間とする(梁までの高さを 3 m とし、空気の溜まる部分に感知器を設置しなければならないため天井高さを 5 m とした。)
- ・火災の初期は小さな炎と煙で煙の方が早く感知できるため、煙感知器を設置。
- ・感知器の設置基準面積から煙感知器 2 種は 1 個あたり 75m²: 162÷75=2.66 個 となり、切り上げて最低 3 個は必要となる。

- ・感知範囲を円と仮定すると
 $\pi r^2 = 75 \div 4.88$
 \therefore 有効範囲 4.5m



注 3) 屋内消火栓の設置パターン



<3 箇所設置>



<4 箇所設置>

注 4) コスト算出方法

<使用機器>

- ・煙感知器: 光電子式スポット型 2 種・非蓄積型・受信機:P 型受信機1級・配線:ねじ無し電線管・露出配管 19mm・600V 対燃性ポリエチレン絶縁電線 1.6mm・2 号消火栓箱(弁・ホース・ノズル・ホース掛け・箱)・消火用硬質塩化ビニル外面皮膜鋼管

上記の機器の費用(材料・施工・メンテナンス)を建築コスト情報・建設物価^{文 6)}を用いて算出。諸経費代として各々の 15%を上乗せしている。またメンテナンス無しの検討でも受信機のメンテナンスは行うものとし、一律に 20 年で交換するように計算している。

<記号>

$f(x)$: 偶発故障関数(故障率) $U(x)$: 危険率 E = 平均値 λ : 1/平均値 S_n : n 地点の面積

参考文献

- 文 1) 京都府地域防災計画震災対策計画(12 章文化財災害予防計画)、2006 年 5 月
- 文 2) 文部科学省 HP URL: http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19860124001/t198601240
- 文 3) 大橋靖雄・浜田知久馬:「生存時間解析」, 出版: 東京大学出版会、出版年: 1995 年
- 文 4) 日本火災報知機工業会: 自動火災報知機設備の点検実務マニュアル平成 20 年版 発表年: 2008 年
- 文 5) 日本火災報知機工業会: 既設の自動火災報知設備の更新について、発表年: 1996 年 9 月
- 文 6) 建設物価調査会: 建築コスト情報・建設物価 2008 年冬号