

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

その存在自体に価値を持ち、被災に合うことでその価値の損失につながるため施設自体を完全に有事から守らなければいけないという特性を持つ文化財施設に対し、信頼性が求められる防災設備の故障検知と診断方法に関して研究を行った。文化財施設防災設備の問題点を整理し、施設モデルにおける機器の信頼性及び設置機器によるコストの検討を行う。

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のため、実際に防災設備が配備されていない事例も存在する²⁾。

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。この考え方は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。このような背景の中、文化財施設では下記の問題が指摘されている。

①法定設置義務の欠如:

文化財施設という理由での法定基準はなく、文化財施設は法定設置基準における取り扱いから漏れている可能性がある。

②法定点検義務の欠如:

地域ぐるみの定期的な防災訓練などが開催されている例も多いが、法定点検の義務もなく、あくまで自主点検が中心となっている。

③危機意識の欠如:

基準などにより制度化されていない状況では、高水準の安全性能を絶えず維持していく意識が欠如し、そのことによる安全性能の質の低下が懸念される。

④設置後の顕著な経年劣化:

法定点検等による不具合特定、修理・交換の時機を逸することが多く、また予算の都合もあり、

耐用年数を超えて運用される場合も多い。適正な交換時期の判断が適正に実施されていない可能性も高い。また建物の更新・建替に併せた設備の一新がないため、旧来のシステムのまま、顕著な経年劣化が発生している可能性がある。

⑤ファシリティマネジメントの欠如:

現代建築では当然保管・管理している設計図書が、存在している事例は少なく、設置されている設備の設計図書の他、設置・改修・更新履歴が十分に残っている事例も少ない。このため、必要な改修・更新計画を立て、実施することが困難な状況が多い。

また安全のための適正なコストが不明なため、どこまで対策をとれば安全であるかの指針が欠如している。

⑥メンテナンス不良:

設備のメンテナンスを前提とした建築計画ではなく、また前出のようにファシリティマネジメントが十分に機能しているとは考えにくいと、定期的なメンテナンスが十分に行われていない可能性が高い。

⑦一般的な防災計画の原則との乖離:

文化財施設の建立は防災計画の概念が構築される以前であるため、現在の防災計画の基本原則、i) 区画計画、ii) 内装計画、iii) 出火防止計画、iv) 耐火計画、v) 煙制御計画、vi) 避難計画、vii) 消防設備計画、と文化財施設計画の基本構成とは大きく乖離している。しかしながら、文化財であるが故に、防災計画の基本原則に沿った改修は不可能である場合が多く、問題点を認識していながら放置せざるを得ないのが現状である。

⑧建物の保全ではなく、安全な避難に重点を置いた現行の法体系:

現行の法体系では、感知、避難・誘導、初期消火といった観点での設備の整備しており、煙が建物に拡散するのを防ぐことで避難を誘導し、またフラッシュオーバー発生により手の付けられない状態になる前に、避難を完了させることを前提としている。ここには貴重な建物自身の保全や文化財の搬出の時間確保といった観点は無い。

⑨エキスパートの不在:

文化財の保全・修復という観点での専門家や、一般的な建物の適正管理という観点での専門家の養成は図られてきているが、文化財を保護するための防災設備等の適正化、故障検知・診断を行う専門家(エキスパート)は不在である。

3. 目的

本研究では以下の事を明らかにする事を目的としている。

- ・コストと安全性の観点からシステムを評価→安全維持にかかるコストの検討
- ・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
- ・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

4. 検討概要

4.1 検討対象

- ・奥行き 9m・幅 18m に高さ 5m の空間とする
- ・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 75m^2 : $162 \div 75 = 2.66$ 個となり切り上げて最低 3 個は必要となる
- ・煙感知器の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
- ・屋内消火栓は第 1 種、2 種の有効消化範囲 15m と 25m を採用

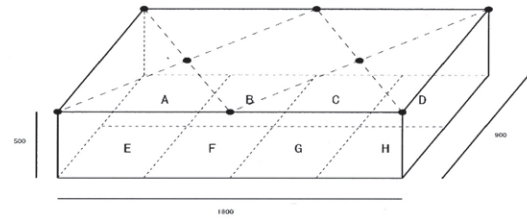


図 1 検討対象モデル

4.2 検討条件

①ハザード関数(偶発故障関数):

法定点検が行われる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対する集計データが存在しない。今回寿命を表す関数であるハザード関数(偶発故障関数)^{式(1)文(3)}を用いて機器の劣化を表現する。

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

②危険率:

機器の劣化によって施設がどの程度被災する危険があるかを表現するために、以下の式によって地点の危険率を表す。

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

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。

4.3 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 2)に示す。

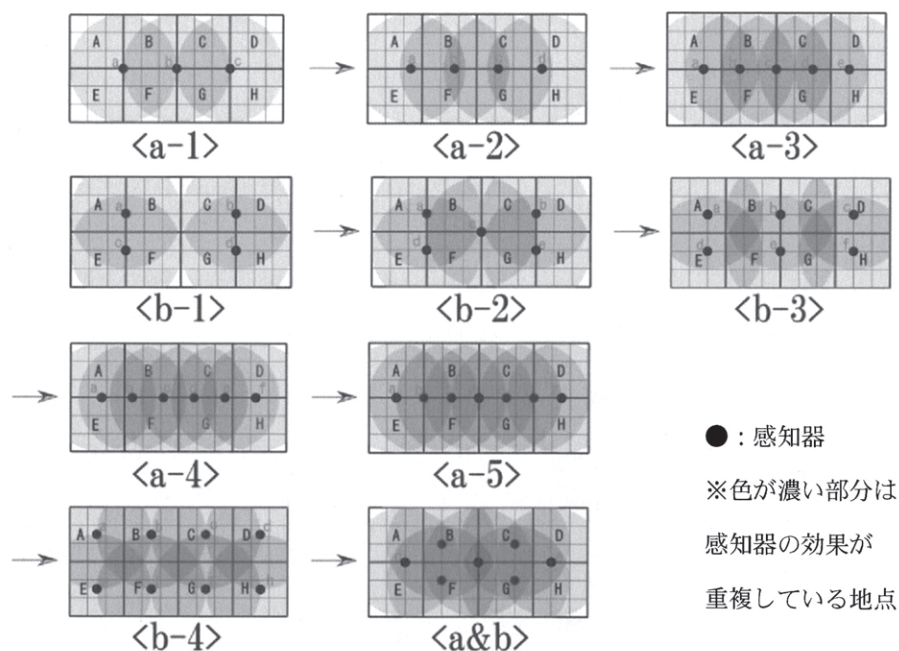


図2 煙感知器配置パターン

■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。

4.4 検討手法

- ・各設置パターンでの危険率を算出(当然設置年は全て0%)
- ・1年毎の危機の劣化を危険率によって評価。各パターンの各年の危険率を算出
- ・3個設置(a-1)から経年後に7個に増設(a-5)するケースの検討よって増設と新設の違いを考察
- ・設置された設備からコストを算出^(注2)文5)。消防法により推奨されている交換年数10年から基準危険率を算出し、基準危険率を下回る中で各年の最もコストの低いパターンを検証
- ・屋内消火栓と煙感知器での結果を比較

5. 検討結果

5.1 危険率とコスト

危険率とコストの関係を考察するために、基準危険率を超えない範囲で危険率を最も低く維持できるケース(図4)とコストが最も安くなるケース(図5)を比較する。基準危険率は消防法によって奨励される交換年数と、義務付けられる設置個数によって導かれる危険率を使用した。また設置後1、2年の故障は経年劣化によるものとは考えにくいので設置後3年目からで考察を行う。

この2ケースの費用と危険率の差を取ることで、どの程度までコストを安く抑えることが出来るか、また逆にどの程度まで危険率を低減することが出来るかを確認することが出来た。(表1)

今回の検討ケースでは平成17年以降は基準危険率を下回る事が出来ないという結果になった。

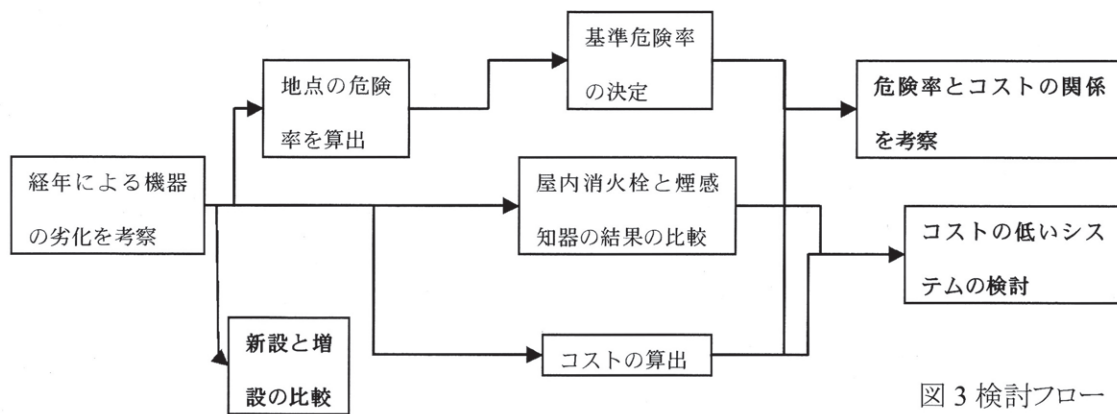


図3 検討フロー

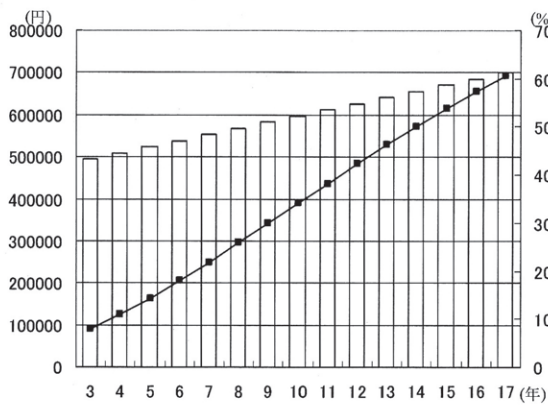


図4 危険率が最も低く抑えられるケースの危険率と費用

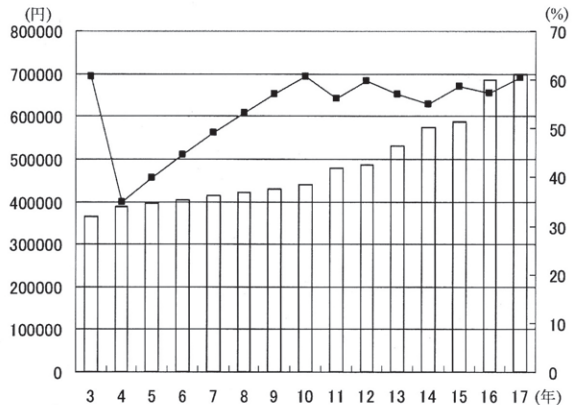


図5 コストが最も低く抑えられるケースの危険率と費用

表1 コストと危険率の削減・向上可能幅

経過年(年)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
危険率の差(%)	52.8	23.8	25.5	26.6	27.2	27.4	27.2	26.7	18.0	17.5	10.8	5.0	4.8	0	0
費用の差(千円)	129.3	121.9	127.8	133.8	139.8	145.8	151.8	157.7	134.1	138.6	110.9	80.5	82.0	0	0

5.2 改修時における新設と増設

感知器を3個設置し、5年後に3つ増やすケースと3個を新設するケースの比較を行う。この2ケースに元々6個設置と新設・増設しないケースを合わせた4ケースで検討を行う。(図6、表2)

3個を増設したケースでは危険率の値が設置開始段階よりも低くなり、伸びも緩やかになるという結果になった。また新たに3個を新設するケースでは当然1次的に危険率は減少するが、その後の増加によって元々6個設置していたケースの危険率を越えてしまった。

表2からコストの比較を行っても増設して6個に増やすケースの有効性が示された。

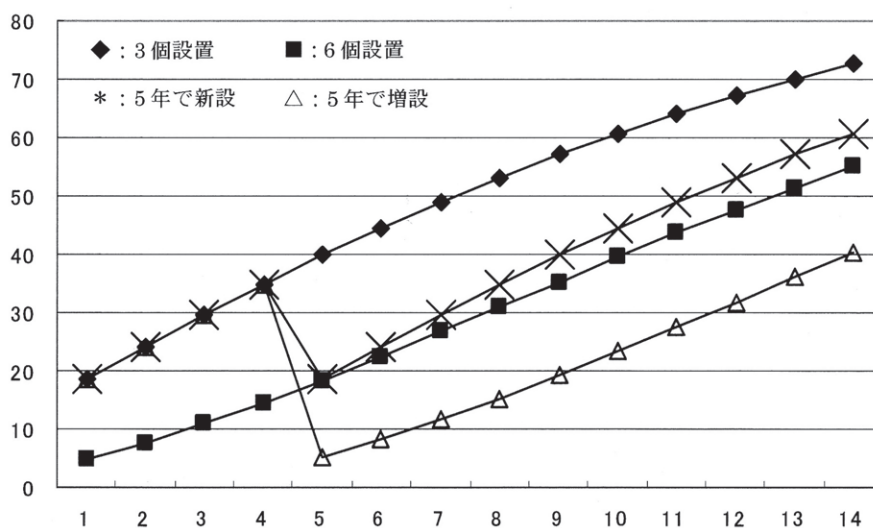


図6 増設、新設、3個設置、6個設置の危険率

表2 増設、新設、3個設置、6個設置の危険率と費用

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
更新無し _(a-1) 危険率(%)	18.5	24.1	29.6	34.8	39.8	44.6	49.1	53.3	57.2	60.8	64.2	67.3	70.2	72.8
	費用(千円)	365.7	374.3	383.0	391.7	400.4	409.0	417.7	426.4	435.0	443.7	452.4	461.0	469.7
更新無し _(a-5) 危険率(%)	4.9	7.7	11.0	14.6	18.4	22.5	26.8	31.0	35.3	39.5	43.6	47.6	51.5	55.1
	費用(千円)	404.4	417.5	430.7	443.8	457.0	470.1	483.3	496.5	509.6	522.8	535.9	549.1	562.2
5年で増設 危険率(%)	18.5	24.1	29.6	34.8	5.2	8.2	11.6	15.3	19.2	23.4	27.6	31.9	36.1	40.3
	費用(千円)	361.5	370.2	378.8	387.5	388.0	400.6	413.1	425.7	438.2	450.8	463.4	475.9	488.5
5年で交換 危険率(%)	18.5	24.1	29.6	34.8	18.5	24.1	29.6	34.8	39.8	44.6	49.1	53.3	57.2	60.8
	費用(千円)	361.5	370.2	378.8	387.5	435.6	444.2	452.9	461.6	470.2	478.9	487.6	496.3	504.9

5.3 煙感知器と屋内消化栓

屋内消火栓と感知器のコストを表3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。

表3 煙感知器と屋内消化栓の費用と危険率

経過年(年)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
屋内消化栓 危険率(%)	3.07	6.57	10.37	14.34	18.38	22.42	26.39	30.26	33.99	37.55
	費用(円)	853.9	947.2	1040.6	1133.9	1227.3	1320.6	1414.0	1507.3	1600.7
煙感知器 危険率(%)	3.44	5.51	8.04	11.00	14.34	17.97	21.84	25.87	29.98	34.13
	費用(円)	465.4	480.0	494.7	509.3	524.0	538.6	553.3	568.0	582.6

6. 三十三間堂における検討

以上の検討を実存する三十三間堂の空間ボリュームをモデルとして、メンテナンスや警戒範囲の重複の有効性について検討する。

6.1 建物概要

名称: 蓮華王院本堂

建物面積: 約 2700m² (幅: 約 125m、奥行き: 約 20m)

仕様: 和様、入母屋造り本瓦葺き、

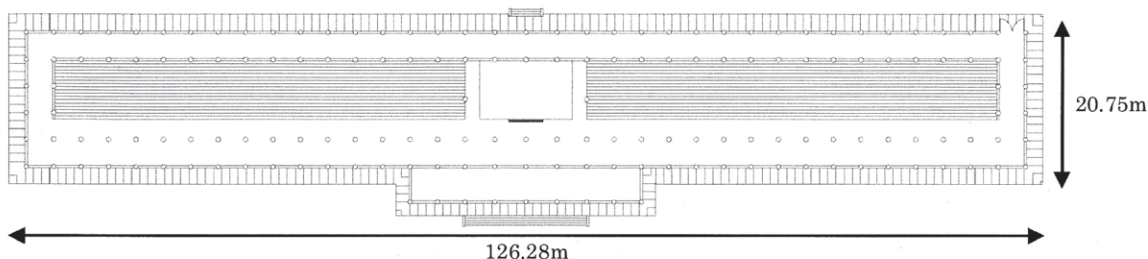


図7 三十三間堂平面図

6.2 検討ケース

Case1-1: 消防法で奨励される設置数を配置 (75 m² 毎に 1 つ設置)、メンテナンス無し

Case1-2: 消防法で奨励される設置数を配置 (75 m² 毎に 1 つ設置)、メンテナンス有り

Case2-1: 全域を網羅する様に煙感知器を配置、メンテナンス無し

Case2-2: 全域を網羅する様に煙感知器を配置、メンテナンス有り

(※設置場所は梁や桁がかかっている所としている)

また全体での危険率の他にどの地点の危険率が高まりやすくなるのかについて検討を行う。

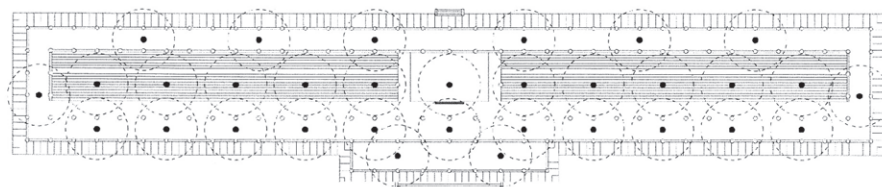


図8 Case1

・ 煙感知器
設置箇所

※上部の内壁
によって煙感知
器の感知範囲
は遮断されると
する

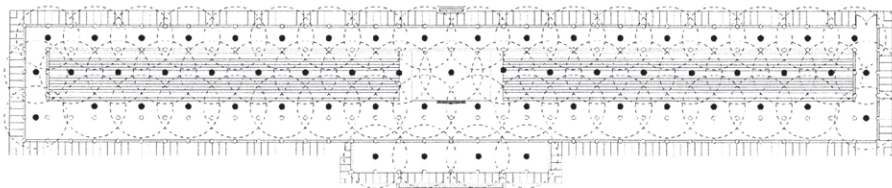


図9 Case2

6.3 結果

当然、メンテナンス有無や重複によって危険率を低める抑える事を確認する。一方で、前節までで求めた基準値 60.8%に着目すると、消防法の奨励個数の設置数ではメンテナンスを行っていても3~4年で基準値を超えてしまう結果となった。

つまり、消防法での奨励設置数では、重要文化財施設の安全を完全に守るには不十分である可能性を確認した。

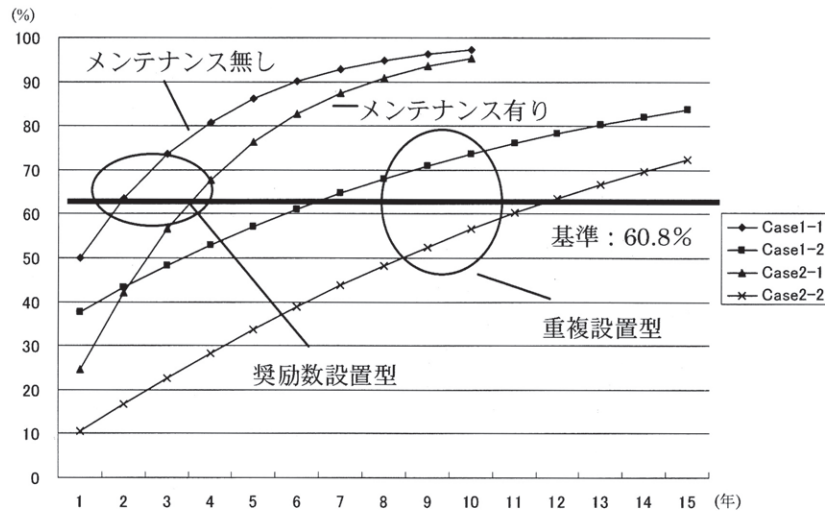


図10 三十三間堂 case の危険率

7. まとめ

今回、実際のデータが取得しづらく、劣化具合の把握が困難な文化財施設の防災設備の劣化をハザード関数を用いて表現し、考察を行った。

- ・増設による更新の有効性
- ・比較的安価な防災設備
- ・費用と危険率の可能削減量の指標

現存する建物での検討の結果、消防法で奨励されている基準では重要文化財を被災から完全に守るには不十分である可能性を確認した。

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: 故障率 $f(0) = 1 = 100\%$ (5)

1 重の部: 故障率 $f(1) = 1 - e^{-1/10} = 9.5\%$ (6)

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

<地点 B を考える>

$$\text{範囲外の部: 故障率 } f(0) = 1 = 100\% \quad (8)$$

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

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

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

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



注 2) 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:

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