

## 第2章 かしこい技術のニーズ・シーズ及び建築物への適用性

### 2.1 ヒアリング、アンケート調査結果

#### 2.1.1 (社) 建築業協会へのニーズ調査結果

(社) 建築業協会に、かしこい技術に関するニーズ調査を実施した。その結果をまとめると、表 2.1 となる。

表 2.1 かしこい技術に関するアンケート結果(その1)

番号	アイデア名と概要	提案者	関連分野	備考
1	・ <u>セミアクティブ免震構法</u> セミアクティブ制御による免震建築物の地震応答の低減	大本組 小野 嗣修	構造 免震 制御	
2	・ <u>汚染物質等の自動監視・制御システムによる室内環境の向上</u> 湿気、ガスを感知、排出する壁紙 CO などの有毒ガスを検知する塗料が塗布された壁・天井材 避難誘導を指示する音声センサーを組み込んだ壁・天井材	五洋建設 坪崎 裕幸	環境 防火 内装材	
3	・繊維補強セメント系材料の性能評価 同材料の性能評価の方法の明確化と基準法 37 条への対応	東急建設 白都 滋	材料 構造	
4	・可変形状トラス VGT を利用した可動型構造物 複雑な動きを可能にする要素技術の 1 つに「可変形状トラス VGT(Variable Geometry Truss)」がある。宇宙構造物用に開発されたものである。この技術を発展させ、制御等を付加することにより、自在に稼働できる構造体が可能となる。	大林組 井上文宏	構造 制御 可動構造	
5	・電子タグを利用した車椅子自動誘導システム お年寄り等にハートフルな住宅を提供する。タグと ITS 技術の融合による室内空間の創成、電子標識	大林組 浜田耕史	室内環境 弱者対応	
6	・地震モニタリングシステム 地盤の揺れを感知し、建物の制振の起動、警報発令や避難路確保に寄与する。	フジタ 中村 佳也	地震 防災・減災	
7	・部材の健全性モニタリングシステム 部材、空間の状態をモニタリングし、異常の監視を行う。超音波探査等の劣化等の診断を行う。	フジタ 中村 佳也	材料・部材 環境 損傷検知	

表 2.1 かしこい技術に関するアンケート結果(その2)

番号	アイデア名と概要	提案者	関連分野	備考
8	・火災時の避難安全性の確保「火災フェイズ管理型防災システム」 火災進展モニタリングによる対策の総合化 早期避難 最適制御による被害拡大防止	清水建設 掛川	防火 避難 安全	
9	・火災時の延焼拡大防止「ドレンチャー水幕型防火区画システム」 水幕により、炎、煙の遮断、設計の自由度の拡大	清水建設 広田	防火 延焼防止	
10	・無耐火被覆柱 部材個々の耐火性能評価から、架構全体における耐火性能の評価	清水建設 広田	防火 構造	
11	・自動日射遮蔽装置 太陽の動きに合わせた遮蔽装置。	大林組 都市・居住 環境研究室	環境 日射	
12	・自動吹き出し調整口 冷暖房時で、自動的に吹き出し口が変化する。	大林組 都市・居住 環境研究室	室内環境 空調	
13	・行動認識と異常時監視システム 数多くのセンサーにより、居住者の行動パターンを認識したデータベースをもとに、異常時を認識できるシステムを構築する。	大林組 都市・居住 環境研究室	室内環境 防犯 一人住まい対策	
14	・トリプルスケルトン構造システム 剛強な第一スケルトン(コア部分、免震)、主要構造体を構成する第二スケルトン(梁、柱)および軽量鉄骨や木質構造の第三スケルトンで構成される。高耐震性、高耐久性、可変空間、簡易解体等が可能	清水建設 真瀬伸治	構造 長寿命 可変空間	
15	・アクティブ制振 制御アルゴリズムの改良による制御の高精度化	大成建設 欄木龍大	構造 地震 制御	
16	・複合制振ダンパー 弾塑性ダンパーと粘弾性ダンパーの複合による微少振動から大地震まで効率的に応答を低減できる制振ダンパー	大成建設 欄木龍大	構造 地震 制振部材	

## 2.2 建築基準法等におけるかしこい関連技術の技術評価事例に関する調査

### 2.2.1 調査の背景および目的

「かしこい」関連技術の性能評価方法の検討及び建築基準体系の検討の参考とするため、過去の建築基準法第38条に基づく認定案件を中心に、「かしこい」関連技術の技術評価事例を収集し、その特徴、信頼性等の評価及びフェールセーフの考え方等を整理・分析する。

### 2.2.2 調査内容と研究成果

調査は、建築基準法第38条に基づく大臣認定の事前の性能評価（評定）を行っていた（財）日本建築センターの協力を得て、過去の同センターの評定案件、及びインターネット等により入手した情報について整理・分析を行った。以下にその結果の概要を示す。

#### (1) センサー・制御系技術

##### 1) センサー・制御系技術とは

目的に応じた情報をセンサー等により感知・計測し、その情報をもとにコンピュータ等で計算されたある制御則に応じて、外部エネルギーを与え装置を駆動する技術である。

構造系、防火系、その他に分類して、個々の技術に関する特色について整理した。

##### ○構造系

主な目的は、地震時応答の低減、風応答の低減、荷重制御(融雪等)である。

機構としては下記のもの等が上げられる。

①付加質量機構：構造物に付加した可動質量の振動運動を利用して構造物の振動エネルギーを吸収し振動応答(地震時または風応答時)を低減するもの。

・アクティブマスダンパー：付加質量の振動を、アクチュエーターやサーボモーターで強制的に振動させるもの。

・セミアクティブマスダンパー：付加質量について振動加振，剛性制御，減衰制御等するもの。

②エネルギー吸収機構：エネルギー吸収部材・装置において、建物の振動によるエネルギーを吸収するもの。ダンパー。

・セミアクティブオイルダンパー：減衰調整弁の開閉により、減衰力を制御するもの。

③荷重制御機構：長期荷重に対する構造体の安全性を確保するもの。

・空気膜屋根保持機構：空気膜屋根を、建物室内の加圧により長期的に保持するもの。

・融雪装置：屋根面の積雪を、温度,振動により除去し荷重を低減するもの。

##### ○防災系

主な目的は、火災時の消火、防火区画の形成、早期の避難誘導である。

機構としては下記のもの等が上げられる。

①放水砲による消火システム：自動感知システムにより火災発見後、放水砲によ

り効果的に消火するもの。

②ドレンチャー設備：水幕により炎を遮るもの。

③火災フェイズ管理型防災システム：自動火災報知設備により火災に伴う室内温度上昇をリアルタイムで監視し火災の進展を予測して避難誘導するもの。

○その他

主な目的としては、室内温度の均一化、日照の確保である。

機構としては下記のようなもの等が上げられる。

①冷暖房環境改善型天井ファン：天井ファンにより直線的な風向で室内を均一に動く流れを作り出すもの。

②回転住宅：家屋を平面的に回転させることにより日照等を確保するもの。

## 2) センサー制御系技術一覧シート

センサー制御系技術を日本建築センターにおいて評価した案件からのリストアップ及びインターネットの検索等から情報収集し、センサー制御系技術を、機構、対象事象、制御概要等によって整理し一覧表を作成した。その一覧表を表 2.2 に示す。

## 3) センサー制御系技術の事例概要

センサー制御系技術一覧に記載されている事例の中から概要を記した個別シート例を表 2.5 に示す。

## 4) 評価に際しての信頼性、フェールセーフ等について

○センサー・制御系の信頼性の判断基準に関しては以下の分類となる。

① 装置の信頼性判断基準の主な項目

- ・装置製作時における品質管理，実験による動作確認、出荷時品質管理
- ・施工時における品質管理（精度管理等）
- ・建物設置直後における装置の性能確認
- ・維持管理における品質管理

② 制御システムの信頼性判断基準の主な項目

- ・故障確率等の理論的な確認
- ・製作時、出荷時品質管理
- ・建物設置直後におけるシステムの性能確認
- ・確実な維持管理システム・体制の構築

○また、フェールセーフに関しては、以下の場合分けとなる。

①想定外外力が入力した場合

- ・製品誤差、経年変化等による安全率を考慮した設計（周辺取付部材も含む）
- ・ストッパー設置,非常停止機能付加等の考慮

②システムが誤作動した場合

- ・ストッパー設置,非常停止機能付加等の考慮

③供給がストップした場合

- ・装置のパッシブ性能を確保

○具体的な信頼性の判断基準，フェールセーフの考え方を以下に示す。

<地震・風等のセンサー・制御系技術に於ける信頼性の判断基準>

- ・実験による動作確認。システム確認。管理体制確認。
- ・実大加力実験により減衰特性、剛性を確認。
- ・固定時、可動時における地震応答解析。風洞実験。火災安全、避難安全検討。  
可動時の安全確認は目視、電氣的インターロック。

#### <地震・風等のセンサー・制御系技術に於けるフェールセーフの考え方>

##### \* 想定外外力に対する考え方

- ・非常停止し装置自体の安全性を確保。取付部の強度確保。
- ・製品誤差、経年劣化なども考慮し、適切な安全率を確保。

##### \* 誤作動に対する考え方

- ・加振検知機構を設置し、異常時にはロック。
- ・センサーや CPU に異常が発見された場合、機械的にパッシブダンパに切り替わる油圧回路を内蔵している。

##### \* 断電等（供給ストップ）に対する考え方

- ・コントローラの電源供給が絶たれた場合、機械的にパッシブダンパに切り替わる機能を有している。
- ・パッシブダンパと同等性能確保。

#### <火災等のセンサー・制御系技術に於ける信頼性の判断基準>

- ・試験により受熱速度の到達率を求め、その数値をもとに遮炎性を検証。
- ・試験により遮煙性能を有していることを確認。
- ・消防法の基準による。

#### <火災等のセンサー・制御系技術に於けるフェールセーフの考え方>

##### \* 想定外外力に対する考え方

- ・消火に失敗した場合は防火区画により延焼を押さえるよう計画する。
- ・1階以外の全ての階に設置する。

##### \* 誤作動に対する考え方

- ・自火報の火災検知の他に感熱開放継手の火災検知のダブルアクションにより起動として不時放水を防止。
- ・フェイス<sup>®</sup>進展警報の発報、複数個の煙感知器及び熱感知器の作動、発信機の作動のいずれかにより火災を確定している。

##### \* 断電等（供給ストップ）に対する考え方

- ・非常用電源の設置、自家発電設備の自主設置。

## (2) パッシブ機構系技術

### 1) パッシブ機構系技術とは

外部からのエネルギー供給を必要としない制御による技術。外部の状況変化に応じて、事前に設定した物理現象、化学現象を利用して制御する技術である。

構造系、防火系に分類して、個々の技術に関する特色について整理した。

#### ○構造系

主な目的は、地震時応答の低減、風応答の低減である。

機構および主な例としては、下記のようなもの等が上げられる

- ①付加質量機構：構造物に付加した可動質量の振動運動を利用して構造物の振動エネルギーを吸収し振動応答（地震時または風応答時）を低減するもの。
  - ・チューンドマスダンパー：付加質量の振動により建物振動を低減させるもの。
- ②エネルギー吸収機構：エネルギー吸収部材・装置において、建物の振動によるエネルギーを吸収するもの。ダンパー。
  - ・オイルダンパー：粘性体（オイル）の変形により入力した振動エネルギーを熱エネルギーに変換し応答低減を計るもの。
  - ・鋼材ダンパー：金属系材料の塑性変形エネルギー吸収に期待するもの。
- ③免震機構：支承材（鉛直力を保持しながら水平方向に大きく変形できる材料）により、建物を長周期化し地震時応答を低減するもの。

#### ○防災系

主な目的は、耐火被覆、遮炎性能、延焼防止、散水による初期消火非常時の照明である。

機構及び主な例としては、下記のようなもの等が上げられる。

- ① 耐火塗料等：火災の熱により発泡材が発泡して断熱層を形成するもの。
- ② 防火見切縁、防火ダンパー：火災の熱により発泡材、温度ヒューズ等が発泡、溶断してダンパ等が閉鎖して延焼を防止するもの。
- ③ 湿式スプリンクラー：火災の熱により散水弁の係止部が溶断して散水弁を開放するもの。

## 2) パッシブ機構系技術一覧シート

パッシブ機構系技術を日本建築センターにおいて評価した案件からのリストアップ及びインターネットの検索等から情報収集し、パッシブ機構系技術を、機構、対象事象、技術概要、フェールセーフの考え方等によって整理し一覧表を作成した。その一覧表を表 2.3 に示す。

## 3) パッシブ機構系技術の事例概要

パッシブ機構系技術一覧に記載されている事例の中から概要を記した個別シート例を表 2.6 に示す。

## 4) 評価に際しての信頼性、フェールセーフ等について

○パッシブ系の信頼性の判断基準に関しては以下の分類となる。

装置の信頼性判断基準の主な項目

- ・装置製作時における品質管理、実験による性能確認、出荷時品質管理
- ・施工時における品質管理（精度管理等）
- ・建物設置直後における装置の品質管理
- ・維持管理における品質管理

○また、フェールセーフに関しては、以下の場合分けとなる。

想定外外力が入力した場合

- ・製品誤差、経年変化等による安全率を考慮した設計（周辺取付部材も含む）

○具体的な信頼性の判断基準，フェールセーフの考え方を以下に示す。

- ＜地震・風等のパッシブ機構系技術に於けるフェールセーフの考え方＞
  - ・製品誤差、経年劣化なども考慮し、適切な安全率を確保。

- ・免震層クリアランス及び EXP.J 部設計に関して安全率の確保。
- ・想定外変形を制御するロック機能を有するものもある。
- ・変形能力が大きいので、別の部材の不具合時のバックアップ材として利用できる。

＜火災等のパッシブ機構系技術に於けるフェールセーフの考え方＞

- ・想定した以上の火源が周りにないよう設計する。
- ・他の部分で区画できるように設計する。
- ・経年変化による劣化の確認を指示。
- ・想定する風圧の2倍以上の安全率を持った閉鎖力を持っていること。
- ・保護体を取り付けた状態での温度ヒューズの性能を確保していること。

### (3) その他新機能系技術

#### 1) その他新機能系技術とは

経年変化や室内環境、火災等に対する新技術を材料系、構造系に分類して、個々の技術に関する特色について整理した。

経年変化に対する新機能系技術としては、以下のものが上げられる。

- ・自動修復金属
- ・光触媒効果を有する多機能タイル（抗菌,防汚,防臭）
- ・高耐久低汚染塗料
- ・防錆（エポキシ）鉄筋
- ・炭素繊維シート

室内環境に対する新機能系技術としては、以下のものが上げられる。

- ・調湿建材
- ・ホルム吸着建材

火災に対する新機能系技術としては、以下のものが上げられる。

- ・耐火鋼等

#### 2) その他新機能系技術一覧シート

その他新機能系技術を日本建築センターにおいて評価した案件からのリストアップ及びインターネットの検索等から情報収集し、新機能系技術を、機構、対象事象、技術概要、フェールセーフの考え方等によって整理し一覧表を作成した。

その一覧表を表 2.4 に示す。

#### 3) その他新機能系技術の事例概要

その他新機能系技術一覧に記載されている事例の中から概要を記した個別シート例を表 2.7 に示す。

#### 4) 評価に際してのフェールセーフ等について

○新機能系技術に於けるフェールセーフの考え方

想定外外力に対する考え方としては、新機能系技術単体ではフェールセーフは行えないため新機能系技術を用いた設計によってフェールセーフを行うこととなる。

表2.2

技術名称	分類	機構	対応事象	目的	構成材料	センサー	感知対象	制御	制御対象	技術の概要・特徴
<b>構造系</b>										
アクティブマスダンパー	構造	付加質量機構	風(地震)	応答低減	付加質量 パネ ダンパー コントローラー	●	建築物の応答速度	●	アクチュエーター(付加質量に取り付いている)	外部からのエネルギー供給により、主に屋上に設置された付加可動質量にとりつくアクチュエータを制御期に基づき駆動させ、構造物を制御力を与える。
セミアクティブマスダンパー(減衰制御型)	構造	付加質量機構	風(地震)	応答低減	付加質量 パネ ダンパー コントローラー	●	建築物の応答	●	減衰装置調整弁	外部からのエネルギー供給がアクティブ装置と比較して極めて少ない。主に装置の減衰力を制御する。
セミアクティブマスダンパー(剛性制御型)	構造	付加質量機構	風(地震)	応答低減	付加質量 パネ ダンパー コントローラー	●	建築物の応答変位	●	可変剛性装置	可変剛性装置を用いて、マスダンパーの周期を制御する
セミアクティブ可変剛性装置	構造	可変剛性機構	地震	応答低減		●	建築物の応答	●	可変剛性装置	可変剛性装置を用いて、構造物の周期を制御する
セミアクティブオイルダンパー(セミアクティブ粘性体ダンパー)	構造	エネルギー吸収機構	地震(風)	応答低減	充填材(オイルまたは粘性体) 金属性パルサー・ピストン	●	建築物の応答加速度	●	減衰装置調整弁	減衰装置の調整弁を閉鎖制御することにより、減衰力を調整する。
MRダンパー	構造	エネルギー吸収機構	地震	応答低減	充填材(磁気粘性流体) 金属性パルサー・ピストン	●	建築物の応答変位	●	印加電流量	ダンパー内の磁気粘性流体に印加電流を与え、磁場の影響によりみかけの粘度を変化させ、減衰力を調整する。
圧電・磁歪素子部材	構造	伸縮機構	地震	応答低減	圧電・磁歪素子	●	建築物の応答速度変位	●	印加電流量	圧電素子に印加電流を与える、または磁歪素子に磁力を与えることで、歪み・応力を生じさせる効果を利用し、体積を変化させて摩擦制御等に利用する。
免震装置(風揺れ防止、ロック)	構造	免震装置ロック機構	地震	応答低減(変形することによる)	ロック機構	●	建築物の応答	●	ロック機能(解除)	風による揺れに対してはロック機能が作用し、地震による震度4以上の揺れ(30~70gal以上)に対してはロック機能が外れる。地震終了後は手動スイッチまたはタイマーによりロック機構が高ひく。
			風	変形抑制	ロック機構	●	風速	●	ロック機能	風速計による情報により、ダンパーのロック機能が働く。
空気緩構造 屋根保持技術	構造	加圧システム機構	常時・風	屋根根の保持		●	誤変位 風向風速	●	加圧システム	強風等の気象条件の変化、内圧の状況に応じ、加圧システムにより室内気圧を高める。
空気緩構造 屋根の融雪技術	構造	温風送風除雪機構	積雪	融雪		●	降雪量 誤変位	●	融雪システム	屋根面の積雪量に応じ、融雪システムにより二十膜内に温風を吹き込み融雪を行う。
開閉式ドームの屋根開閉時の安全性確保	構造	開閉屋根機構	その他(開閉時)	屋根の開閉		●	外部気象 位置認識 走行状況	●	屋根走行システム	監視室内制御装置により、各種条件を確認しながら、自動または手動で屋根走行を制御する。また固定時の屋根はロックピンを挿入し固定する。
ドーム 屋根の融雪技術	構造	屋根融雪機構	積雪	融雪		—	—	●	起振機(屋根裏に設置)	積雪時に起振機により強制的に屋根に振動を与え、屋根上の雪を落とし積雪加重を削減する。
海洋建築物	構造	建築物波動制御機構	常時・風			●	波力			
可動上屋	構造	可動屋根機構	常時・風			●	風速	●	屋根走行システム	車輪付の上屋がレール上を動き、開閉する。雨天時、強風時は閉める。
可動(席)構造	構造	可動席機構	地震							建築物内部の建築ブロックが可動し、空間構成を変化させる。建築ブロックは駆動台車がついており、レール上を動き、ロックピンで固定する。駆動台車に機械用鋼材、大屋根の鉄鋼を溶接、間柱に極低降伏点鋼材、大屋根支保部に高減衰積層ゴムを用いている。
<b>防災系</b>										
空気緩構造	防災	消火設備	火災	火災時の消火	放水砲、放水砲現地操作盤、電動弁、圧力センサー、赤外線火災検出器、中継器、ITVカメラ、ポンプ、ポンプ起動盤、中央操作器	●	熱	●	放水砲	大空間において、自動感知システムにより火災発見後、放水砲により効果的な消火を行う。
ドレンチャー設備	防災	遮炎機構	火災	防火区画	ドレンチャーヘッド、ドレンチャー制御盤、急熱感知センサー、充水予備動式流水検知装置、火災報知装置	●	熱	●	放水設備	水幕により炎を遮る設備。防火区画検証により、2列のドレンチャー設備及びその間の空間(ELVホール)によって遮炎性能を有していることを確認し、特定防火設備とみなしている。
ELV遮煙扉	防災	遮炎・遮煙機	火災	防火区画	防火防煙扉、火災報知設備、EV制御盤	●	煙、熱	●	扉の閉鎖	遮炎性能に加えて遮煙性能も有するEV扉
火災フェイズ管理型防災システム	避難	避難誘導システム、防災設備の連動制御	火災	避難誘導の早期化及び防災設備(非常放送、防火戸等)の連動	避難誘導の自動化、自動火災報知設備、火災進展予測装置	●	煙	●	防災設備(非常放送、防火戸等)	感知基や梁床機などの自動火災報知設備により、火災に伴う室内温度上昇をリアルタイムで監視し、火災進展装置で火災の拡大状況を推定、予測結果に基づき非常放送設備、防火設備を連動制御する。
<b>その他</b>										
冷暖房環境改善型天井ファン	設備	天井吸排気機構	冷暖房	室内温度の均一化	天井ファン	—	—	●	送風装置	天井ファンにより拡散しない直線的な風向きで「強制対流」を発生させ、室内を均一に動く空気の流れを作りだし、快適な環境とする。
回転住宅	その他(環境)	建物基礎部回転機構	日射、景観	日照の確保		—	—	●	家屋基礎部分回転装置	リモコン装置により家屋を平面的に回転させることにより、日照・景観を得る

表2.2(つづき)

システム概要	適用建築物名称	評定・評価番号	施工条件	維持管理	法的 位置づけ	備考
自動制御	別紙参照			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認(機械系,制御系) 臨時点検(震度5以上):動作確認	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	
自動制御	別紙参照			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認(機械系,制御系) 臨時点検(震度5以上):動作確認	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	
自動制御	鹿島			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認(機械系,制御系) 臨時点検(震度5以上):動作確認	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	
自動制御(建物応答センサの情報を基に可変剛性装置をコンピュータが制御)	別紙参照				構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	鹿島AVS
ダンパ内蔵の圧力センサ、変位センサの情報を基にコントローラ内蔵のCPUが計算を行い減衰力を制御する。	日本テレビ放送網株式会社	HR0005		外観検査,機械系構成部品の異常有無,制御系の動作確認。 通常点検(年1回モニターランプの目視点検) 定期点検(10年毎,ロード部損傷,制御系動作確認,コントローラの電源ユニット交換,センサ電圧確認,リレー動作確認)	構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	鹿島HIDAX(大きな減衰力) 鹿島AVD(最適な減衰力) トキコ免震用
自動制御(建物応答変位センサの情報を基に印加電流量をコンピュータが制御)	都市基盤整備公社 住吉宿舎・東棟				構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	日米スマート
自動制御(建物応答変位センサの情報を基に印加電流量をコンピュータが制御)					構築要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定ルート。(付加的とする場合は不要)	日米スマート
自動	ダイワハウス免震住宅,セキスイハウス免震住宅				告示の範囲なので,ロック機能に関しては大臣認定を必要としない。	
自動	ダイワハウス免震住宅,セキスイハウス免震住宅				告示の範囲なので,ロック機能に関しては大臣認定を必要としない。	
自動制御	東京ドーム			中央監視室で24時間総合監視	個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
自動制御	東京ドーム			中央監視室で24時間総合監視	個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
自動または手動で屋根走行速度、停止位置、ロックピン操作の制御を行う	福岡ドーム				個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
手動	つがる克雪ドーム					
手動	プール上屋					
手動	埼玉スーパーアリーナ	BCJ-特23-さいたまアリーナ		マニュアルにより行う。		
自動	東京ドーム	-		中央監視室で24時間総合監視	基準法の範囲 消防法	
自動	江東区越中島計画	基評BS0151-12		消防法令のスリッパ-設備に対する点検項目を適用,年1回の総合点検及び半年毎の外観及び機能点検を行う	基準法の範囲 消防法	
自動	-	-		定期検査により0.5~1年毎に外観及び機能等の点検を行う	基準法の範囲	
自動	江東区越中島計画(清水建設技術研究所新館)	BCJ基評BS0151-12		建物管理センターより監視 自動火災報知設備は消防法による	消防法	
自動					基準法の範囲	エコシルフィー
手動	河西建設社長宅				基準法の範囲	

表2.3

技術名称	分類	機構	対応事象	目的	構成材料	技術の概要・特徴
<b>構造系</b>						
低降伏点鋼制振部材	構造	エネルギー吸収機構	地震	応答低減	低降伏点鋼または極低降伏点鋼(LY100,120)	降伏点の低い鋼材を利用した、塑性変形能力に優れた履歴減衰型のエネルギー吸収部材。各種形状(ブレース型、壁型、間柱型等)がある。
オイルダンパー・粘性体ダンパー	構造	エネルギー吸収機構	地震・風	応答低減	充填材(オイルまたは粘性体)金属性シリンダー・ピストン	粘度の高い流体を利用した粘性減衰型のエネルギー吸収機構。各種形状(ブレース、壁、間柱型等)がある。
バッシブ制振装置(マスダンパー)	構造	付加質量機構	風	応答低減	付加質量パネダンパー	主に屋上に設置された付加可動質量の振動を、構造物の振動と共振させ、構造物の振動エネルギーを可動質量の運動エネルギーに変換し、これをダンパーにより吸収する。
免震構造	構造	免震機構	地震	応答低減	支承材(積層ゴム等)復元材(積層ゴム等)減衰材(ダンパー等)	軸力支持しながら水平方向に変形しやすい支承材により建物を長周期化し地震時入力を低減する。また、大きな変形を利用して減衰材により大きな減衰効果を得る。
形状記憶合金部材	構造	部材バックアップ機構	地震長期	建築部材のバックアップ、残留変形の低減	Ti-Ni合金により各種部材の形状	超弾性を利用して建築物のバックアップ部材として活用する、または残留変形の低減に利用する。形状は引張筋か、接合部ボルト、コンクリート系部材の主筋等がある。
<b>防災系</b>						
耐火塗料	防災	耐火被覆	火災	耐火被覆の形成	耐火塗料	火災により発生する熱により塗膜が発泡して断熱層を形成し火災の熱から鉄骨を守る塗料
加熱発泡材	防災	遮炎・遮煙	火災	隙間からの火災、煙を遮る	加熱発泡材	火災により発生する熱により発泡して層を形成し火災の炎等を遮る材料。グラファイト系のものが多く、断熱プラスチックサッシの枠内へ充填する場合や木製防火戸の扉小口部分などへの使用用途がある。
防火見切縁	防災	延焼防止装置	火災	屋裏等への延焼を防止	換気金物発泡材	軒裏へ設ける換気金物で発泡材を組み込んだもの。外部火災による小屋裏等への延焼を防止するための材料
外壁用防火ダンパー	防災	延焼防止装置	火災	外からの火災の延焼を防止	温度ヒューズ、ダンパー、ケーシング、保護体	屋外の火災の熱により温度ヒューズが溶融してダンパーが閉鎖し火災の延焼を防止する装置
湿式タイプスプリンクラー	防災	散水による初期消火	火災	散水による火災の初期消火	スプリンクラーヘッド、配管、警報装置、制御盤、電動弁、加圧送水装置	火災の熱によりスプリンクラーヘッドの栓をしている火溶片係止金具が溶融し散水弁が
非常用照明装置	防災	照明装置	火災	火災による停電時の照明装置	バッテリー電球回路装置金属ケース	停電により通常時の通電が切れると内蔵型蓄電池により点灯する照明設備
免震積層ゴム用耐火被覆システム	防災	耐火被覆	火災	耐火被覆	発泡材(ポリイソブチレンゴム)セラミックファイバーブランケット	火災時に発泡材(ポリイソブチレンゴム)が発泡(膨張)し断熱層を形成することにより免震積層ゴムを火災から守るというもの。発泡材はゴムからできているため弾性を有し、積層ゴムの変形に損傷なく追従することができる。(免震積層ゴムの耐火被覆にはセラミックファイバーブランケットを併用している。)

表2.3(つづき)

適用建築物名称	評定・評価番号	施工条件	維持管理	法的 位置づけ	備考
別紙参照	高層評定(旧法) 大臣認定(超高層)	精度管理は 通常の鉄骨 と同様	外観検査(外部損傷・錆など)、残留変形等。	指定建築材料として認定取得すれば通常の構造材料として使用可能。	
			外観検査(外部損傷・錆など)、残留変形、油漏れ等。	構造要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定が必要。(付加的とする場合は不要)	
別紙参照			例) 通常点検(1年ごと):外観検査 定期点検(10年ごと):動作確認 臨時点検(震度5以上):動作確認	構造要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定が必要。(付加的とする場合は不要)	
別紙参照	免震評定(旧法) 大臣認定、確認 申請	水平精度 1/500	例) 通常点検(半年ごと):外観検査 定期点検(5年、10年以上10年ごと):計測検査 臨時点検(震度5以上):外観検査、計測検査	告示による。計算方法が時刻歴応答解析による場合は大臣認定が必要となる。	・ダイワハウス免震住宅:想定外変形ロック機能(減衰装置および支承材にストッパー取付)
				構造要素とする場合は個別プロジェクトの大臣認定が必要。(付加的とする場合は不要)	日米スマート
東京国際空港 (羽田)東旅客 ターミナルビル	基評BS0061A			大臣認定が必要	
—	基評FS0003			大臣認定が必要	
—	防災772			大臣認定が必要	
—	評定BE0004	上下左右を 間違えない こと	年に1度に定期点検	大臣認定は必要なし。ただし、ダンパー及びケーシングの鋼板厚が1.5mm以上必要	
—	—	消防法施行 規則13条 の2	消防法による	消防法による	
—	基型BE0001	想定した間 隔以内に設 置	JIL規格による	基準法の仕様規定による	
(仮称)西新宿K Sビル	BCJ基評- BS0253-01		通常点検(原則半年毎)及び定期点検(竣工1年後、2年後、5年後、10年後、以降10年毎、60年後以降は5年毎)に加えて災害直後等の臨時点検を行う。	大臣認定必要	

表2.4

技術名称	分類	機構	種別	対応事象	目的	構成材料	技術の概要・特徴
------	----	----	----	------	----	------	----------

材料系

自動修復金属	建築材料	金属防錆機構		屋外露出による経年変化	防錆		
多機能タイル(抗菌、防汚、防臭)	建築材料	壁面抗菌他機構	内外装タイル	屋外露出による経年変化	汚染低減	光触媒機能層(酸化チタン+親水性物質他)	光触媒をコーティングした外壁用タイル。光があたると光触媒作用(分解効果、親水性)を発揮することによる、抗菌、汚れ防止効果を期待する。
高耐久低汚染塗料	建築材料	壁面高耐久性機構	塗装剤	屋外露出による経年変化	汚染低減	シリコン系樹脂塗料、無機系表面改質剤	
調湿建材	建築材料	室内調湿機構	ボード、タイル、塗材	室内の湿気対策	湿度調整		自身が無数の細孔を持ち、この細孔の中と外が同じ状態へ近づこうとする働きにより調湿能力(吸湿、放湿)を発揮する建材。
ホルム吸着建材	建築材料	ホルム吸着機構		ホルムの拡散	ホルムの吸着		

構造系

防錆(エポキシ)鉄筋	構造材料	防錆機構	塗料	鉄筋の錆	防錆	無機系:亜硝酸塩、クロム酸塩、けい酸塩、りん酸塩 有機系:有機りん酸塩、アミン類、アルキルフェノール類、メルカプタン類	鉄筋表面にエポキシ樹脂をコーティングし水と酸素と塩類を遮断した防錆鉄筋。付着強度を低下させない。
耐塩鉄筋	構造材料						
炭素繊維シート	構造材料	補修・補強工法	シート	コンクリートのひび割れ	補修・補強	炭素繊維シート(エポキシ樹脂含浸、硬化)	炭素繊維シート(炭素繊維ストランドを一方に並べてシート状にしたもの)にエポキシ樹脂などを含浸、硬化させて鉄筋コンクリート等の補強に用いる。弾性率は鋼材と同等、引張強度は10倍にも達する。
高靱性セメント系複合材料	構造材料	変形追従、損傷自己修復、エネルギー吸収機構	セメント系材料	長期・地震時変形	高引張靱性、自己損傷低減	セメント、細骨材、水、混和剤、各種補強繊維	セメントに補強用繊維を混入し、高い引張靱性と微小ひびわれの分散による自己損傷低減性をもつセメント複合材料。利用形態として、エネルギー吸収デバイス、鉄骨と組み合わせた柱材等がある。
耐火鋼	構造材料		鋼材	火災	耐火被覆の軽減		常温での性能がJIS規格により保証された鋼材で、かつ、耐火性に優れている(600°Cにおける0.2%耐力が常温規格値の2/3を保証)。

表2.4(つづき)

適用建築物名称	評定・評価番号	施工条件	維持管理	法的 位置づけ	備考
				大臣認定等必要としない。	
	審査証明取得 (TOTO)			大臣認定等必要としない。	ハイドロテクトタイル(TOTO製)
				大臣認定等必要としない。	汚れに強い打放しコンクリート:無機系表面改質剤(リキッドセメント)塗布
				大臣認定等必要としない。	
	JIS G 3112		防錆効果は約3~36ヶ月間(環境,製品による)。他の油や溶剤を混合しないで原液のまま使用する。	指定建築材料とするかは主事判断による。指定建築材料以外の扱いでは個別プロジェクトの大臣認定ルート。	建材試験センター等で付着強度試験 海洋建築物の延命にも使用される
				指定建築材料とするかは主事判断による。指定建築材料以外の扱いでは個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
				現在JISはない。個別プロジェクトの大臣認定ルート。	
				コンクリートの場合は	日米スマート
(仮称)ダイヤモンドシティ・キリン 広島ショッピングセンター(駐車場部分)	BCJ基評- BS0171-01		仮定した設計条件が保持されるよう、維持管理計画書を作成し、これに基づいて十分な維持管理がなされるように計画する。	個別プロジェクトの大臣認定ルート	

表 2.5 【センサー・制御系 分類：構造 機構：エネルギー吸収機構】

## セミアクティブオイルダンパー

【目的】 地震時・強風時の応答低減

【技術概要】

減衰装置の内圧や変位に応じて減衰装置調整弁の開閉を制御することにより、最適な減衰力を与える減衰特性可変型ダンパー。

【システム概要】

減衰装置はシリンダ、ピストン、ロッド、制御弁(電磁切替弁)、リリーフ弁、アキュムレータなどにより構成され、装置ごとに付属したコントローラからの電流供給により、制御弁の状態を全開または全閉の2段階に切り替えることができる。制御弁切替え指令は、ダンパー内蔵の圧力センサー及び変位センサーの情報を基に、コントローラ内蔵のCPUが計算を行う。

【構成材料】

- ・オイルダンパー (エネルギー吸収部材)
  - 1)シリンダー(ダクタイル鋳鉄)
  - 2)ピストン (クロームモリブデン鋼)
  - 3)ロッド (クロームモリブデン鋼)
  - 4)作動油 (ポリアルファオレフィン:合成油)

※原理

オリフィスや調整弁をオイルが通過する際の油圧抵抗を利用したエネルギー吸収部材。

- ・コントローラ
- ・ダンパー内圧力センサー
- ・ダンパー変位センサー

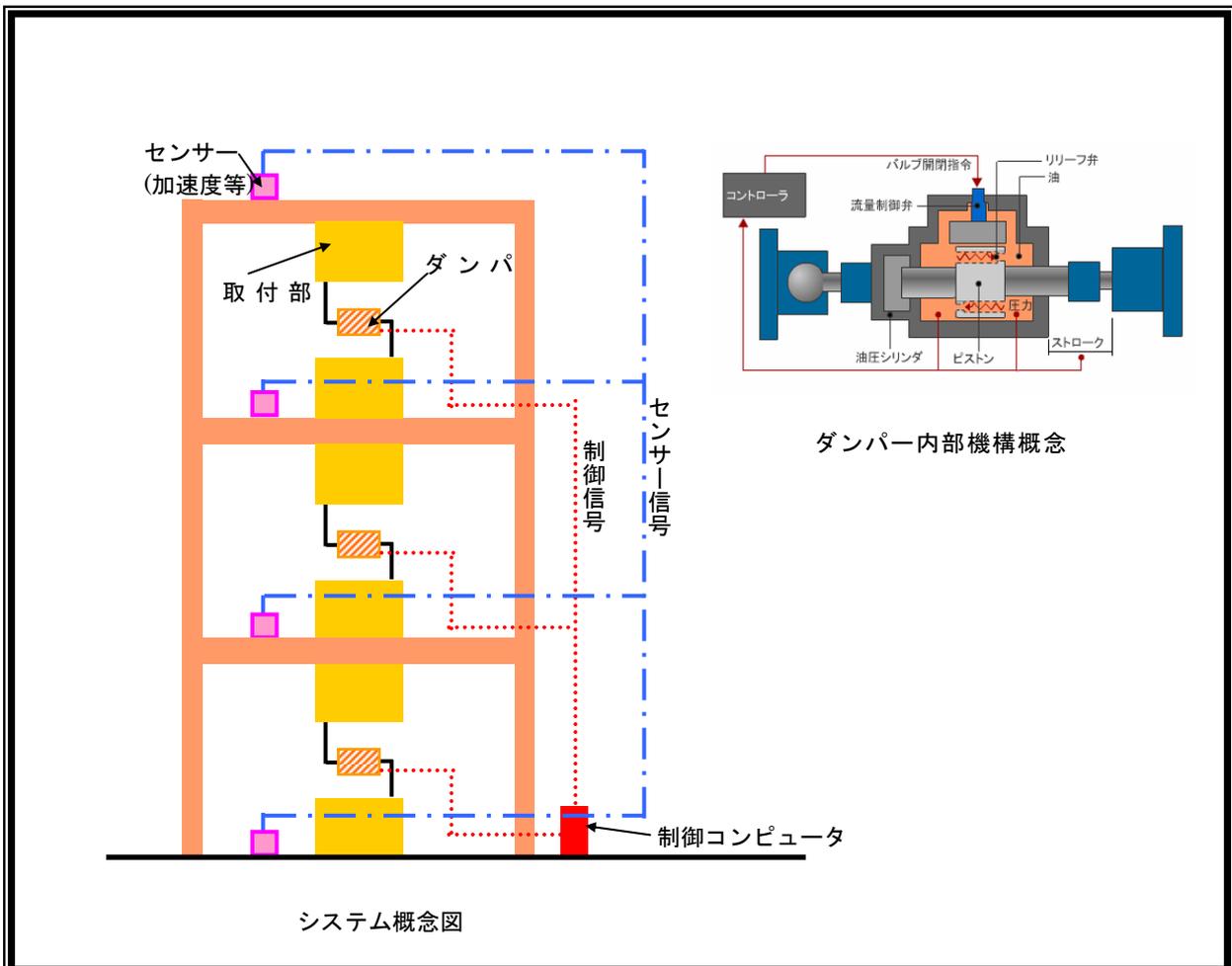
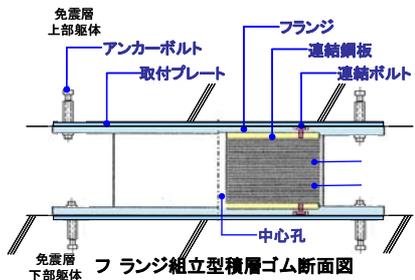


表 2.6 【パッシブ系 分類：構造 機構：免震構造】

<b>免震構造</b>	
<p><b>【目的】</b> 地震時の応答低減</p> <p><b>【技術概要】</b>                      支承材,減衰材,復元材から構成される免震層を有する建築物。建物周期を長周期化して地震時応答を低減することを目的とする。</p> <p><b>【機構】</b>                      軸力を支持しながら水平方向に変形しやすい支承材により建物を長周期化し地震時入力を低減する。また、大きな変形を利用して減衰材により大きな減衰効果を得る。</p>	<p><b>【信頼性の判断基準・根拠】</b>                      実物大,縮小モデル性能確認試験。各種依存性確認試験等。</p> <p><b>【フェールセーフ機能の考え方】</b>                      (想定外力に対して)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・免震層クリアランス及び EXP.J 部設計に関して安全率の確保。</li> <li>・製品誤差,経年劣化なども考慮した設計で適切な安全率を確保。</li> <li>・想定外変形を制御するロック機能を有するものもある。</li> </ul> <p><b>【維持管理】</b>                      通常点検(半年ごと)：外観検査                      定期点検 (5年,10年以上10年ごと)：計測検査                      臨時点検(震度5以上)：外観検査,計測検査</p>
<p><b>【構成材料】</b>                      支承材,復元材：(例)天然ゴム系積層ゴム</p>  <p style="text-align: center;">フランジ組立型積層ゴム断面図</p> <p>減衰材：(例)オイルダンパー</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) シリンダー (ダクタイル鋳鉄等)</li> <li>2) ピストン (クロームモリブデン鋼等)</li> <li>3) ロッド (クロームモリブデン鋼等)</li> <li>4) 作動油 (ポリアルファオレフィン:合成油)</li> </ol>	<p>◆製品名</p> <p>支承材：天然ゴム系積層ゴム,鉛プラグ入積層ゴム,高減衰積層ゴム,弾性滑り支承 等 各社製品</p> <p>減衰材：                      (鋼材系)鋼棒ダンパー,鉛ダンパー                      (粘性系)オイルダンパー,粘性体ダンパー 等 各社製品</p> <p>※いずれも指定建築材料認定を必要とする。</p>
<p>◆実績建物名                      免震評定(旧法) 800件程度                      大臣認定,確認申請</p>	

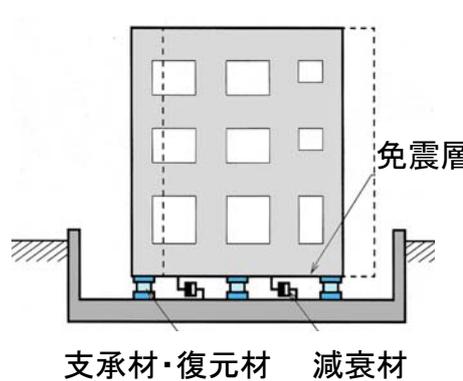
 <p style="text-align: center;">免震構造の概念図</p>	 <p style="text-align: center;">減衰材の例</p>
---	---

表 2.7 【素材系 分類：建築材料 機構：壁面抗菌・防汚・防臭機構】

<b>光触媒効果を有する多機能タイル(抗菌・防汚・防臭)</b>	
<p><b>【目的】</b> 壁の抗菌,防汚,防臭</p> <p><b>【技術概要】</b> 光触媒をコーティングした内壁用・外壁用タイル。光があたると光触媒作用(分解効果,親水性)を発揮することによる、抗菌、防汚,防臭効果を期待する。</p> <p><b>【機構】</b> 壁タイル材の表面に光触媒機能層(酸化チタン+親水性物質他)を設ける。光触媒である酸化チタンに光が当たると同時に生じる以下の2つの反応を活用する。</p> <p>①分解力をもつ活性酸素を発生 →抗菌効果：細菌・雑菌をなくす。 防汚効果：汚れの付着力を弱める。 防臭効果：臭いを減らす。</p> <p>②親水性のよい親水基を生じる →防汚効果：汚れが流水で落とせる。 タイル面に付いた水分が速く乾く また、外壁タイルにおいては、活性酸素の働きにより、大気中の有害汚染物質(NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>)を分解する働きもある。</p>	<p><b>【維持管理】</b> (耐久性について) タイル(内装用・外装用)の耐久性は、通常タイルと同じ。JISの測定規格に基づく耐薬品性・耐候性・耐摩耗性の試験においても「変化なし」の結果が得られている。また光触媒効機能層は消費せず効果は半永久的である。</p> <p><b>【構成材料】</b> 通常タイル(素地,釉薬)に光触媒機能層(酸化チタン+蓄水基)を焼き付ける。内装タイルには光触媒機能層に含まれた銅のサポートにより、少ない光量でも十分な分解力を発揮することができる。</p> <p><b>【用途】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・内壁用タイル</li> <li>・外壁用タイル</li> </ul> <p><b>【参考：その他の光触媒効果を利用した技術】</b> 光触媒効果：利用技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・防曇機能：防曇内視鏡,ドアミラー</li> <li>・抗菌機能：浮遊菌除去装置</li> <li>・空気浄化機能：フィルター、道路舗装材、農産物鮮度保持装置</li> <li>・水質・土壌浄化機能：排水処理への利用、土壌地下水浄化システム、残留農薬軽減化</li> </ul>

## 2.3 かしこい建築・住まいの実現のための信頼性技術に関する調査

### 2.3.1 建築基準法における防火規定および消防法の規定に見られる安全性・フェールセーフの考え方

建築基準法における防火規定および関連する消防法の規定に見られる安全性・フェールセーフの考え方について、表 2.8 にまとめた。整理した内容・項目は以下のようなものである。条文の番号で示されている規定は建築基準法の内容、「令」で示されている規定は建築基準法施行令、消防法関連の規定については、「消防令」として示した。

- 1)出火防止に係る内容
  - a)内装材の不燃
- 2)初期拡大防止
  - a)消火設備
- 3)延焼防止
  - a)防火壁
  - b)防火区画
  - c)界壁
- 4)避難安全
  - a) 消火設備等
  - b)避難施設
  - c)排煙設備
  - d)照明装置
  - e)通路確保
  - f)火災感知警報設備
  - g)避難器具
- 5)消防活動支援
- 6)倒壊防止
  - a)耐火建築物
  - b)準耐火建築物
- 7)都市火災防止
  - a)屋根不燃
  - b) 木造建築物の外壁の防火性能
  - c)防火地域
  - d)準防火地域

表 2.8 建築基準法における防火規定および関連する消防法の規定と内容

火災フェーズ	項目	防火規定
出火防止	内装不燃	<p><u>第 35 条の 2</u> 特殊建築物、階数が 3 以上である建築物、政令①で定める窓その他の開口部を有しない居室を有する建築物、延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>をこえる建築物又は建築物の調理室、浴室その他の室でかまど、こんろその他火を使用する設備若しくは器具を設けたものは、政令②で定めるものを除き、政令③で定める技術的基準に従って、その壁及び天井（天井のない場合においては、屋根）の室内に面する部分の仕上げを防火上支障がないようにしなければならない。</p> <p><u>令第 128 条の 4</u></p> <p>第 1 項 一定規模以上の特殊建築物</p> <p>第 2 項 階数が 3 以上で、延べ面積が 500 m<sup>2</sup>を超えるもの。</p> <p>第 3 項 階数が 2 で延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>を超えるもの又は階数が 1 で延べ面積が 3,000 m<sup>2</sup>を超えるもの。</p> <p>第 4 項 階数が 2 以上の住宅の用途に供する建築物の最上階以外の階</p> <p>住宅の用途に供する建築物以外の建築物に存する調理室、浴室、乾燥室、ボイラー室、作業室その他の室でかまど、こんろ、ストーブ、炉、ボイラー、内燃機関その他火を使用する設備又は器具を設けたもの</p> <p><u>令第 129 条</u></p> <p>第 1 項 居室の壁及び天井の室内に面する部分の仕上げを第一号に掲げる仕上げ（難燃材料）</p> <p>当該各用途に供する居室から地上に通ずる主たる廊下、階段その他の通路の壁及び天井の室内に面する部分の仕上げを第二号に掲げる仕上げ（準不燃材料）</p> <p>○階避難安全性能、全館避難安全性能を有するものであることが確かめられたものは適用除外。</p>
初期拡大防止	消火設備	<p><u>消防令第 7 条</u> 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>2 前項の消火設備は、水その他消火剤を使用して消火を行う機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <p>一 消火器及び次に掲げる簡易消火用具</p> <p>二 屋内消火栓設備</p> <p>三 スプリンクラー設備</p> <p>四 水噴霧消火設備</p> <p>五 泡消火設備</p>

		<p>六 不活性ガス消火設備</p> <p>七 ハロゲン化物消火設備</p> <p>八 粉末消火設備</p> <p>九 屋外消火栓設備</p> <p>十 動力消防ポンプ設備</p>
延焼防止	防火壁	<p><u>第 26 条</u> 延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>を超える建築物は、防火上有効な構造の防火壁によって有効に区画し、かつ、各区画の床面積の合計をそれぞれ 1,000 m<sup>2</sup>以内としなければならない。</p>
	防火区画	<p><u>令第 112 条</u> 主要構造部を耐火構造とした建築物又は法第 2 条第九号の三イ若しくはロのいずれかに該当する建築物で、延べ面積が 1,500 m<sup>2</sup>を超えるものは、床面積の合計 1,500 m<sup>2</sup>以内ごとに第 115 条の 2 の 2 第 1 項第一号に掲げる基準に適合する準耐火構造の床若しくは壁又は特定防火設備で区画しなければならない。</p>
	界壁	<p><u>令 114 条</u> 長屋又は共同住宅の各戸の界壁は、準耐火構造とし、小屋裏又は天井裏に達せしめなければならない。</p> <p>2 学校、病院、診療所、児童福祉施設等、ホテル、旅館、下宿、寄宿舎又はマーケットの用途に供する建築物の当該用途に供する部分については、その防火上主要な間仕切壁を準耐火構造とし、小屋裏又は天井裏に達せしめなければならない。</p> <p>3 建築面積が 300 m<sup>2</sup>を超える建築物の小屋組が木造である場合においては、けた行間隔 12m 以内ごとに小屋裏に準耐火構造の隔壁を設けなければならない。</p>
避難安全	消火設備等	<p><u>第 35 条</u> 特殊建築物、階数が 3 以上である建築物、政令で定める窓その他の開口部を有しない居室を有する建築物又は延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>をこえる建築物については、廊下、階段、出入口その他の避難施設、消火栓、スプリンクラー、貯水槽その他の消火設備、排煙設備、非常用の照明装置及び進入口並びに敷地内の避難上及び消火上必要な通路は、政令で定める技術的基準に従って、避難上及び消火上支障がないようにしなければならない。</p>
	避難施設	<p><u>令第 117 条～第 126 条</u> 「5 章、2 節 廊下、避難階段及び出入口」</p> <p><u>令第 118 条</u> 劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂又は集会場における客席からの出口の戸は、内開きとしてはならない。</p> <p><u>令第 119 条</u> 廊下の幅は、それぞれ次の表に掲げる数値以上としなければならない。</p> <p><u>令第 120 条</u> 建築物の避難階以外の階（地下街におけるもの</p>

を除く。次条第 1 項において同じ。) においては、避難階又は地上に通ずる直通階段(傾斜路を含む。以下同じ。)を居室の各部分からその 1 に至る歩行距離が次の表の数値以下となるように設けなければならない。

令第 121 条 建築物の避難階以外の階が次の各号のいずれかに該当する場合においては、その階から避難階又は地上に通ずる 2 以上の直通階段を設けなければならない。

令第 121 条の 2 前 2 条の規定による直通階段で屋外に設けるものは、木造(準耐火構造のうち有効な防腐措置を講じたものを除く。)としてはならない。

令第 122 条 建築物の 5 階以上の階又は地下 2 階以下の階に通ずる直通階段は次条の規定による避難階段又は特別避難階段とし、建築物の 15 階以上の階又は地下 3 階以下の階に通ずる直通階段は同条第 3 項の規定による特別避難階段としなければならない。

2 3 階以上の階を物品販売業を営む店舗の用途に供する建築物にあつては、各階の売場及び屋上広場に通ずる 2 以上の直通階段を設け、これを次条の規定による避難階段又は特別避難階段としなければならない。

3 前項の直通階段で、5 階以上の売場に通ずるものはその一以上を、15 階以上の売場に通ずるものはそのすべてを次条第 3 項の規定による特別避難階段としなければならない。

令第 123 条 (避難階段及び特別避難階段の構造)

令第 124 条 物品販売業を営む店舗の用途に供する建築物における避難階段、特別避難階段及びこれらに通ずる出入口の幅は、次の各号に定めるところによらなければならない。

一 各階における避難階段及び特別避難階段の幅の合計は、その直上階以上の階(地階にあつては、当該階以下の階)のうち床面積が最大の階における床面積 100 m<sup>2</sup>につき 60 cm の割合で計算した数値以上とすること。

二 各階における避難階段及び特別避難階段に通ずる出入口の幅の合計は、各階ごとにその階の床面積 100 m<sup>2</sup>につき、地上階にあつては 27 cm、地階にあつては 36 cm の割合で計算した数値以上とすること。

令第 125 条 避難階においては、階段から屋外への出口の一に至る歩行距離は第 120 条に規定する数値以下と、居室(避難上有効な開口部を有するものを除く。)の各部分から屋外への出口の一に至る歩行距離は同条に規定する数値の 2 倍以下としなければならない。

	<p>2 劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂又は集会場の客用に供する屋外への出口の戸は、内開きとしてはならない。</p> <p>3 物品販売業を営む店舗の避難階に設ける屋外への出口の幅の合計は、床面積が最大の階における床面積 100 m<sup>2</sup>につき 60 cmの割合で計算した数値以上としなければならない。</p> <p>令第 125 条の 2 次の各号に掲げる出口に設ける戸の施錠装置は、当該建築物が法令の規定により人を拘禁する目的に供せられるものである場合を除き、屋内からかぎを用いることなく解錠できるものとし、かつ、当該戸の近くの見やすい場所にその解錠方法を表示しなければならない。</p>
排煙設備	<p><u>令第 126 条の 2、第 126 条の 3</u> 「5 章、3 節 排煙設備」</p> <p><u>令第 126 条の 2</u> 特殊建築物で延べ面積が 500 m<sup>2</sup>を超えるもの、階数が 3 以上で延べ面積が 500 m<sup>2</sup>を超える建築物、第 116 条の 2 第 1 項第二号に該当する窓その他の開口部を有しない居室又は延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>を超える建築物の居室で、その床面積が 200 m<sup>2</sup>を超えるものには、排煙設備を設けなければならない。</p> <p><u>令第 126 条の 3</u> (排煙設備の構造)</p>
照明装置	<p><u>令第 126 条の 4、第 126 条の 5</u> 「5 章、4 節 非常用の照明装置」</p> <p><u>令第 126 条の 4</u> 特殊建築物の居室、階数が 3 以上で延べ面積が 500 m<sup>2</sup>を超える建築物の居室、第 116 条の 2 第 1 項第一号に該当する窓その他の開口部を有しない居室又は延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>を超える建築物の居室及びこれらの居室から地上に通ずる廊下、階段その他の通路並びにこれらに類する建築物の部分で照明装置の設置を通常要する部分には、非常用の照明装置を設けなければならない。</p> <p><u>令第 126 条の 5</u> (非常用の照明装置の構造)</p>
通路確保	<p><u>令第 127 条～第 128 条の 3</u> 「5 章、6 節 敷地内の避難上及び消化上必要な通路等」</p>
火災感知警報設備	<p><u>消防令第 7 条</u> 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>3 第 1 項の警報設備は、火災の発生を報知する機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <p>一 自動火災報知設備</p> <p>一の二 ガス漏れ火災警報設備</p> <p>二 漏電火災警報器</p> <p>三 消防機関へ通報する火災報知設備</p> <p>四 警鐘、携帯用拡声器、手動式サイレンその他の非常警報器具及び次に掲げる非常警報設備</p>
避難器具	<p><u>消防令第 7 条</u> 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供</p>

	<p>する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>4 第1項の避難設備は、火災が発生した場合において避難するために用いる機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <p>一 すべり台、避難はしご、救助袋、緩降機、避難橋その他の避難器具</p> <p>二 誘導灯及び誘導標識</p>
--	--

<p>消防活動支援</p>		<p><u>法第 35 条</u> 特殊建築物、階数が 3 以上である建築物、政令で定める窓その他の開口部を有しない居室を有する建築物又は延べ面積が 1,000 ㎡をこえる建築物については、廊下、階段、出入口その他の避難施設、消火栓、スプリンクラー、貯水槽その他の消火設備、排煙設備、非常用の照明装置及び進入口並びに敷地内の避難上及び消火上必要な通路は、政令で定める技術的基準に従って、避難上及び消火上支障がないようにしなければならない。</p>
		<p>消火設備 ⇒ <u>消防法施行令 第 7 条</u> 「消防用設備等の種類」  <u>消防法第 17 条</u> 学校、病院、工場、事業場、興行場、百貨店、旅館、飲食店、地下街、複合用途防火対象物その他の防火対象物で政令で定めるものの関係者は、政令で定める技術上の基準に従って、政令で定める消防の用に供する設備、消防用水及び消火活動上必要な施設（以下「消防用設備等」という。）を設置し、及び維持しなければならない。</p> <p><u>消防令第 7 条</u> 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防の用に供する設備は、消火設備、警報設備及び避難設備とする。</p> <p>6 前項の消火設備は、水その他消火剤を使用して消火を行う機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>一 消火器及び次に掲げる簡易消火用具</li> <li>二 屋内消火栓設備</li> <li>三 スプリンクラー設備</li> <li>四 水噴霧消火設備</li> <li>五 泡消火設備</li> <li>六 不活性ガス消火設備</li> <li>七 ハロゲン化物消火設備</li> <li>八 粉末消火設備</li> <li>九 屋外消火栓設備</li> <li>十 動力消防ポンプ設備</li> </ol> <p>6 第 1 項の警報設備は、火災の発生を報知する機械器具又は設備であって、次に掲げるものとする。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>一 自動火災報知設備</li> <li>一之二 ガス漏れ火災警報設備</li> <li>二 漏電火災警報器</li> <li>三 消防機関へ通報する火災報知設備</li> <li>四 警鐘、携帯用拡声器、手動式サイレンその他の非常警報</li> </ol>

	<p>器具及び次に掲げる非常警報設備</p> <p>6 法第 17 条第 1 項の政令で定める消防用水は、防火水槽又はこれに代わる貯水池その他の用水とする。</p> <p>6 法第 17 条第 1 項の政令で定める消火活動上必要な施設は、排煙設備、連結散水設備、連結送水管、非常コンセント設備及び無線通信補助設備とする。</p>
	<p>排煙設備 ⇒ <u>令第 126 条の 2、第 126 条の 3</u> 「5 章、3 節 排煙設備」</p>
	<p>進入口 ⇒ <u>令第 126 条の 6、第 126 条の 7</u> 「5 章、5 節 非常用の進入口」</p> <p><u>令第 126 条の 6</u> 建築物の高さ 31m 以下の部分にある 3 階以上の階には、非常用の進入口を設けなければならない。ただし、次の各号のいずれかに該当する場合には、この限りでない。</p> <p><u>令第 126 条の 7</u> (非常用の進入口の構造)</p>
	<p>必要な通路 ⇒ <u>令第 127 条～第 128 条の 3</u> 「5 章、6 節 敷地内の避難上及び消化上必要な通路等」</p> <p><u>令第 128 条</u> 敷地内には、第 123 条第 2 項の屋外に設ける避難階段及び第 125 条第 1 項の出口から道又は公園、広場その他の空地に通ずる幅員が 1.5m 以上の通路を設けなければならない。</p> <p><u>令第 128 条の 2</u> 主要構造部の全部が木造の建築物でその延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>を超える場合又は主要構造部の一部が木造の建築物でその延べ面積が 1,000 m<sup>2</sup>を超える場合においては、その周囲(道に接する部分を除く。)に幅員が 3m 以上の通路を設けなければならない。ただし、延べ面積が 3,000 m<sup>2</sup>以下の場合における隣地境界線に接する部分の通路は、その幅員を 1.5m 以上とすることができる。</p>

倒壊防止	耐火建築物	<p><u>第 27 条</u> 次の各号の一に該当する特殊建築物は、耐火建築物としなければならない。</p> <p>2 次の各号の一に該当する特殊建築物は、耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。</p> <p><u>令第 107 条</u> (耐火性能に関する技術的基準)</p> <p>一 次の表に掲げる建築物の部分にあつては、当該部分に通常の火災による火熱がそれぞれ次の表に掲げる時間加えられた場合に、構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 壁及び床にあつては、これらに通常の火災による火熱が 1 時間 (非耐力壁である外壁の延焼のおそれのある部分以外の部分にあつては、30 分間) 加えられた場合に、当該加熱面以外の面 (屋内に面するものに限る。) 温度が当該面に接する可燃物が燃焼するおそれのある温度として国土交通大臣が定める温度 (以下「可燃物燃焼温度」という。) 以上に上昇しないものであること。</p> <p>三 外壁及び屋根にあつては、これらに屋内において発生する通常の火災による火熱が 1 時間 (非耐力壁である外壁の延焼のおそれのある部分以外の部分及び屋根にあつては、30 分間) 加えられた場合に、屋外に火災を出す原因となるき裂その他の損傷を生じないものであること。</p> <p><u>令第 108 条の 3</u> (耐火建築物の主要構造部に関する技術的基準)</p> <p>一 主要構造部が、次のイ及びロ (外壁以外の主要構造部にあつては、イ) に掲げる基準に適合するものであることについて耐火性能検証法により確かめられたものであること。</p> <p>イ 主要構造部ごとに当該建築物の屋内において発生が予測される火災による火熱が加えられた場合に、当該主要構造部が次に掲げる要件を満たしていること。</p> <p>ロ 外壁が、当該建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が 1 時間 (延焼のおそれのある部分以外の部分にあつては、30 分間) 加えられた場合に、次に掲げる要件を満たしていること。</p>
	準耐火建築物	<p><u>第 27 条</u></p> <p>2 次の各号の一に該当する特殊建築物は、耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。</p>

	<p><u>令第 107 条の 2</u>（準耐火性能に関する技術的基準）</p> <p>一 次の表に掲げる建築物の部分にあっては、当該部分に通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後それぞれ次の表に掲げる時間構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 壁、床及び軒裏にあっては、これらに通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 45 分間当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないものであること。</p> <p>三 外壁及び屋根にあっては、これらに屋内において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 45 分間屋外に火災を出す原因となるき裂その他の損傷を生じないものであること。</p>
--	---

都市火災防止	屋根不燃	<p><u>法 22 条</u></p> <p>防火地域及び準防火地域以外の市街地について指定する区域内にある建築物の屋根の構造は、通常の火災を想定した火の粉による建築物の火災の発生を防止するために屋根に必要とされる性能に関して建築物の構造及び用途の区分に応じて政令で定める技術的基準に適合するもの</p> <p><u>令 109 条の 5</u>（技術的基準）</p> <p>一 屋根が、通常の火災による火の粉により、防火上有害な発炎をしないものであること。</p> <p>二 屋根が、通常の火災による火の粉により、屋内に達する防火有害な熔融、き裂その他の損傷を生じないものであること。</p> <p><u>法 63 条</u></p> <p>防火地域又は準防火地域内の建築物の屋根の構造は、市街地における火災を想定した火の粉による建築物の火災の発生を防止するために屋根に必要とされる性能に関して建築物の構造及び用途の区分に応じて政令で定める技術的基準に適合するもの</p> <p><u>令 136 条の 2 の 2</u>（技術的基準）</p> <p>一 屋根が、市街地における通常の火災による火の粉により、防火上有害な発炎をしないものであること。</p> <p>二 屋根が、市街地における通常の火災による火の粉により、屋内に達する防火上有害な熔融、き裂その他の損傷を生じないものであること。</p>
--------	------	--

<p>木造建築物の外壁の防火性能</p>	<p><u>法 23 条</u>  「木造建築物等」は、その外壁で延焼のおそれのある部分の構造を、準防火性能（建築物の周囲において発生する通常の火災による延焼の抑制に一定の効果を発揮するために外壁に必要とされる性能をいう。）に関して政令で定める技術的基準に適合する土塗壁その他の構造</p> <p><u>令 109 条の 6</u>（技術的基準）</p> <p>一 耐力壁である外壁にあつては、これに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 20 分間構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 外壁にあつては、これに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 20 分間当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないものであること。</p> <p><u>法第 24 条</u> 第 22 条第 1 項の市街地の区域内にある木造建築物等である特殊建築物で、次の各号の一に該当するものは、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造としなければならない。</p> <p><u>法第 25 条</u> 延べ面積（同一敷地内に 2 以上の木造建築物等がある場合においては、その延べ面積の合計）が 1,000 m<sup>2</sup> を超える木造建築物等は、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造とし、その屋根の構造を第 22 条第 1 項に規定する構造としなければならない。</p> <p><u>法 62 条第 2 項</u> 準防火地域内にある木造建築物等は、その外壁及び軒裏で延焼のおそれのある部分を防火構造とし、これに附属する高さ 2m を超える門又は塀で当該門又は塀が建築物の 1 階であるとした場合に延焼のおそれのある部分に該当する部分を不燃材料で造り、又はおおわなければならない。</p> <p><u>令第 108 条</u>（防火性能に関する技術的基準）</p> <p>一 耐力壁である外壁にあつては、これに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開始後 30 分間構造耐力上支障のある変形、熔融、破壊その他の損傷を生じないものであること。</p> <p>二 外壁及び軒裏にあつては、これらに建築物の周囲において発生する通常の火災による火熱が加えられた場合に、加熱開</p>
----------------------	---

	始後 30 分間当該加熱面以外の面（屋内に面するものに限る。）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しないものであること。
防火地域	法第 61 条 防火地域内においては、階数が 3 以上であり、又は延べ面積が 100 m <sup>2</sup> を超える建築物は耐火建築物とし、その他の建築物は耐火建築物又は準耐火建築物としなければならない。ただし、次の各号の一に該当するものは、この限りでない。
準防火地域	法第 62 条 準防火地域内においては、地階を除く階数が 4 以上である建築物 又は延べ面積が 1,500 m <sup>2</sup> を超える建築物は耐火建築物とし、延べ面積が 500 m <sup>2</sup> を超え 1,500 m <sup>2</sup> 以下の建築物は耐火建築物又は準耐火建築物とし、地階を除く階数が 3 である建築物は耐火建築物、準耐火建築物又は外壁の開口部の構造及び面積、主要構造部の防火の措置その他の事項について防火上必要な政令で定める技術的基準に適合する建築物としなければならない。

## 2.3.2 建築設備関係の定期検査の内容

### 1) はじめに

建築設備に関連する法定の定期検査は、建築基準法、消防法、建築物における衛生的環境の確保に関する法律（通称ビル管法）、電気事業法、浄化槽法等に基づくものがあり、その内容・水準も千差万別であるが、ここでは、建築基準法令における建築設備に関する定期検査報告制度について述べる。

### 2) 建築基準法令における建築設備の定期検査報告

#### a) 建築基準法における建築設備

建築基準法（以下「基法」という。）とは、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定め、国民の生命、財産及び健康の保護を図ることを目的とした法律であり、昭和 25 年より施行されているが、同法第 2 条第 1 号においては、建築物を定義しており、建築物とは、「土地に定着する工作物のうち、屋根及び柱若しくは壁を有するもの、これに付属する門若しくはへい、観覧のための工作物又は地下若しくは高架の工作物内に設ける事務所、店舗、興行場、倉庫その他これらに類する施設（鉄道及び軌道の線路敷地内の運転保安に関する施設並びに跨線橋、プラットホームの上屋、貯水槽その他これらに類する施設を除く。）をいい建築設備を含むものとする。」とされている。

ここでは建築物は建築設備を包含するものとされており、建築物を構成する諸々の部分の一つとして建築設備を位置付けている。

また、基法第 2 条第 3 号において、建築基準法でいう建築設備について定義されており、「建築物に設ける電気、ガス、給水、排水、換気、暖房、冷房、消火、排煙若しくは汚物処理の設備又は煙突、昇降機若しくは避雷針をいう。」としている。

なお、基法における最低基準は、「かく造らなければならない」ことを規定しているのではなく、「かくあらねばならない」ことを規定した状態規定である、とされており、適切に造られた建築物であっても、この基準に適合しているよう適切に維持保全することを要求しており、基法第8条においては、次のとおり規定している。

(建築基準法第8条：維持保全)

第8条 建築物の所有者、管理者又は占有者は、その建築物の敷地、構造及び建築設備を常時適法な状態に維持するよう努めなくてはならない。

2 第12条第1項に規定する建築物の所有者又は管理者は、その建築物の敷地、構造、建築設備を常時適法な状態に維持するため、必要に応じ、その建築物の維持保全に関する準則又は計画を作成し、その他適切な措置を講じなくてはならない。この場合において、国土交通大臣は、当該準則又は計画の作成に関し必要な指針を定めることができる。

b) 定期検査報告制度と建築設備

維持保全を適切に実施すべき者は、建築物の所有者又は管理者であるが、一般に建築物の所有者又は管理者が維持保全の専門家ではないことが多く、専門技術者の助力が必要となり、また、公共性の高い建築物及び第三者に危害を及ぼす可能性の高い建築物の安全確保については、行政が関与せざるを得なくなるため、維持保全が適切に行われていることを社会的にチェックすることができるよう、基法第12条においては、定期検査制度について規定している。

この定期検査制度においては、建築物の所有者又は管理者は、次のとおり、建築物及び建築設備について、定期にその状況等について、一定資格を有する技術者（特殊建築物等調査資格者、昇降機検査資格者、建築設備検査資格者、1級及び2級建築士）に調査あるいは検査させ、特定行政庁あて報告することを義務付けている。

(対象となる建築物及び建築設備)

- ① 基法別表第1 (い) 欄に掲げる用途に供する特殊建築物でその用途に供する面積が100㎡を超えるもの及び事務所等の建築物で階数が5以上、延べ面積が1000㎡を超える建築物で特定行政庁が指定するもの（基法第12条第1項）
- ② 昇降機（エレベーター、エスカレーター、電動ダムウェーター）で特定行政庁の指定するもの（基法第12条第2項）
- ③ a)により指定される特殊建築物に設けられる建築設備で特定行政庁の指定するもの（基法第12条第2項）

c) 建築設備に関する定期検査の内容

建築基準法においては、建築物の敷地、構造、設備について最低の基準を定めており、防災設備、給排水衛生設備、換気設備、空気調和設備等の設置及び構造についても具体的に規定している。

具体的には、尿尿浄化槽については、その設置の義務付けを行うとともに、詳細な構造規定が建設省告示により定めており、給水設備及び排水設備については、維持管理に必要な要件を踏まえて、詳細な構造規定がおかれ、換気設備についても、その設置の義務付けを行うとともに、必

要換気量及び構造について政令及び告示によって定めている。

### 2.3.3 建築分野に信頼性を取り入れるための考えと手法

#### 1) 不確定性の考え方<sup>1)</sup>

建築物の性能には様々な不確定性が存在し、定量化することは決して容易ではない。不確定性といってもいろいろな種類が存在するが、それらの分類として、以下が一般的である<sup>2) 3) 4)</sup>。

- a. 物理的不確定性
- b. 統計的不確定性
- c. モデル化誤差

物理的不確定性では、構造物あるいは構造部材が荷重を受けて破損するかどうかは、荷重の大きさと材料強度の特性に依存しており、荷重・材料強度・寸法等の物理量の実際の変動性に注意を払わなければならない。しかし、物理量の変動性は、多数のデータを測定・試験して始めて定量化できるものであるにも係わらず、データ数には現実的にも経済的にも制限があるため、データ数に伴う不確定性は残る。この現実的な制限が次の統計的不確定性の原因となる。

統計的不確定性では、ある物質の変動を表すような確率モデルを作るためにデータを集め、適切な確率分布を選び、次にそのパラメータ（平均値や分散等）を推定する。これらのパラメータを推定するためには、標本数がある程度必要になる。従って、収集したデータに対して、パラメータ自身も確率変数と考えられ、その不確定性は一般に標本数とそれまでの情報によって決まる。この不確定性を統計的不確定性と呼ぶが、これは物理量の変動制とは違って情報量の不足に起因する不確定性である。

c)のモデル化誤差については、一般に構造・材料力学において、力学モデルあるいはモデルの前提条件を仮定する。対象としている問題が力学的に解明された上でモデル化がおこなわれることもあり、経験的な場合も少なくない。また、構造物の挙動が高精度で予測できるモデルであっても、工学の分野では簡略化を行って比較的取り扱いやすいモデルを用いる場合も多い。こうしたモデルに係わる不確定性をモデル化誤差と呼んでいる。

これらの不確定性を工学に直接的に取り込むには、その道具としての「確率論」が必要である。

#### 2) 信頼性指標

##### 2-1) 限界状態関数

建築物の性能（安全性、使用性、等々）を表すのに、二つの相反する状態（例えば、安全と非安全（破壊）状態とか、機能している状態とそうでない状態）を考える。ここで、性能の良し悪しを判断するために、性能を複数の物理量を含む数式で表すと都合が良く、限界状態関数（あるいは性能関数）と呼ばれる。一例として、部材強度  $R$  をもつ構造部材に荷重  $S$  が作用する場合の限界状態関数を下式で示される<sup>4)</sup>。

$$G = R - S \quad (2.1)$$

ここに、 $G > 0$  :安全状態、 $G = 0$  :限界状態、 $G < 0$  :破壊状態とする。

式(2.1)で表された限界状態関数  $G$  を用いて、部材の安全性を判定するのであるが、部材強度も荷重も不確定であるから共にばらつき、確率変数とすると、 $G$  も確率変数となり、 $G < 0$  となる確率を定義することができる。この確率のことを破壊確率と呼ぶ。当然ながら、破壊確率が小さければ破壊に至るまでの余裕が大きいことを意味する。破壊確率  $p_f$  は  $R$  および  $S$  の確率密度関数

が既知であれば、次式により定義される。

$$p_f \equiv \iint_{R-S<0} f_R(r)f_S(s)drds \quad (2.2)$$

ここに、 $R$  と  $S$  は相関性が無いものと仮定しており、 $f_R(r)$ 、 $f_S(s)$ は各々 $R$  と  $S$  の確率密度関数である。また  $G$  の確率密度関数 $f_G(g)$ が求められれば、破壊確率  $p_f$ は次式で表される。

$$p_f = \int_{-\infty}^0 f_G(g)dg = F_G(0) \quad (2.3)$$

ここに、 $F_G(g)$ は  $G$  の累積分布関数である。

## 2-2) 信頼性指標の定義

破壊確率の代わりに限界状態関数の平均値 $\mu_G$  と標準偏差 $\sigma_G$ により定義される指標で余裕を定義することもできる。この余裕を信頼性指標と呼び、 $\beta_{FO}$ あるいは単に $\beta$ で表す。

$$\beta_{FO} \equiv \frac{\mu_G}{\sigma_G} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (2.4)$$

上式で定義された余裕 $\beta_{FO}$ を確率変数  $R$  と  $S$  の平均値と標準偏差のみを用いていることから、二次モーメント信頼性指標と呼ぶ。

ここで、破壊確率と二次モーメント信頼性指標との関係を考えてみよう。もし、式(2.1)で  $R$  も  $S$  も互いに独立な正規確率変数とすると、 $G$  も正規確率変数となることから、 $\beta_{FO}$  と  $p_f$ が次式のように対応付けられる。

$$p_f = \Phi(-\beta_{FO}), \quad \beta_{FO} = -\Phi^{-1}(p_f) \quad (2.5)$$

ここに、 $\Phi^{-1}()$ は標準累積分布関数の逆関数である。

## 2-3) 信頼性指標の算定方法

限界状態関数  $G$  の平均値と標準偏差が求められれば、これらより二次モーメント信頼性指標 $\beta_{FO}$ を評価することができる。もし、限界状態関数の確率分布形に関する情報が得られる場合には、次式を利用して破壊確率を信頼性指標に変換することができる。

$$\beta_{III} \equiv -\Phi^{-1}(p_f) \quad (2.6)$$

この信頼性指標を、 $\beta_{FO}$ と区別するためにレベル III 信頼性指標 $\beta_{III}$ と呼び、確率分布形の情報を含んでいるため、 $\beta_{FO}$ とは必ずしも等しくはならないが、大抵の場合、 $\beta_{FO}$ で十分である。

## 3) 構造設計法

### 3-1) 許容応力度設計<sup>5)6)</sup>

建築・土木構造物や機械部品、設備など構造システムの設計には昔から許容応力度設計 (Allowable Stress Design) がよく用いられてきた。これは、定められた荷重 (あるいは負荷) 条件の下で、対象とするシステムが線形弾性的に挙動する前提で求められたシステムの部位の応力度 (正確には、最大主応力度) が当該部位の別途定められる材料の許容応力度を超えないように部位の断面性能を調整して最終的にシステム全体の設計を行う方法である。外荷重と対象部位の発生応力度は線形関係が仮定されていることから極めて実用的な設計方法である。

複数の異なる種類の荷重が作用した場合には、それぞれの個々の荷重から生じる応力どの線形重ね合わせが成立し、容易に応力度の組合せが可能である。これも許容応力度設計の利点の一つ

である。許容応力度設計を用いて、部位の設計式は一般に以下の形式となる。

$$f \geq \sum_i S_i \quad (2.7)$$

ここに、対象材料の許容応力度を  $f$ 、ある荷重  $i$  から生じる発生応力度を  $S_i$  としている。

建築・土木構造物では、発生応力度が許容応力度を超えてもただちに部位の破壊が生じることはない。これは主に以下の二つの理由による。

- a) 構造システム全体のうち、ある部位が許容応力度を超えても、他の部位が健全であればシステム全体の性能低下につながらないこと、
- b) 許容応力度の設定に余裕を見込んでいること。

これらについて以下に許容応力度設計の特徴と、その限界および課題について整理する。

まず、はじめに上記 a) の点に関して課題を示す。許容応力度設計においては、個々の部位が許容応力度以内であることが確認できたとしても、システム全体の挙動については十分検討したことになっていない。個々の部位の性能が他の部位との相互関連性を考慮せずに独立にチェックされることから、全体システムの性能を把握することは困難である。ガラスのような脆性的な材料で構成されたシステムであれば、どこかの箇所の応力度が所定の応力度を超えれば、全体破壊に達するものもあるが、一般には、ある一点の応力度が大きくなっても、この部分にのみ塑性化が集中し、周辺の部位に応力が再伝達される、いわゆる、塑性化による応力の再配分が生じ、システム全体としては破壊することは少ない。これが線形弾性解析から得られる部位の応力度の確認に基づく許容応力度設計の適用限界である。

次に、対象とする材料ごとに、一定の余裕を見込んで許容応力度が設定されていることである。具体的には、同じ材料であっても、許容応力度は異なる。すなわち、許容応力度は、材料の引張強さ（あるいは圧縮強さ）あるいは、降伏点を基準強度  $R_n$  と考え、それらを安全率 (Safety factor)  $\nu$  で除したものを許容応力度  $f$  としていることが一般的である。式で記述すると、

$$f = \frac{R_n}{\nu} \quad (2.8)$$

である。

基準強度は、鉄鋼系材料であれば引張力に対するものを、コンクリートなどの場合には圧縮力について、材料ごとに定められている。また、安全率  $\nu$  は一般に 1 以上であり、対象とする応力度の種類（引張応力、圧縮応力、せん断応力）によって、経験的に定められている。建築構造物の許容応力度設計においては、さらに、対象とする荷重が長期間作用する場合（長期荷重）と、地震や強風のように極めて短時間しか作用しない場合（短期荷重）に分けて、材料毎に、長期材料安全率、短期材料安全率が設定されていることもある。もちろん、長期安全率の方が短期安全率よりも大きくすることが一般的である。

安全率をどのような考え方や根拠を用いて定めるかは極めて難しい問題である。なぜなら、余裕を与える役割を果たす安全率の大きさの設定は、結局のところ、対象としているシステムにどの程度の余裕を付与すべきかという問題に等価であるからに他ならない。当然、システムの余裕は十分あるに越したことはないが、システムの経済性を無視はできない。すなわち、余裕の設定はシステムの性能の程度と経済性の適切なバランスに基づくことになる。システムの性能と経済性を定量化することは容易でなく、今日までの過去の経験、失敗・成功事例、コスト評価などの積み重ねによって、現在使用されている安全率になったのである。言い換えれば、経験の産物と

しての安全率ということになる。

最後に、許容応力度設計の根幹をなす安全率に関する問題点を指摘する。この問題点の克服を試みたものが、次節で紹介する限界状態設計である。

安全率の一番の問題点は、その本質的にある。そもそも、「安全率の導入はなぜ必要なのか？」という根本的な問いに端を発する。なぜ、このような余裕を設計で見込む必要があるかということである。これには、設計時点で予想しない荷重が生じる可能性があるからとか、部材制作上の誤差、使用環境の変化など、不確定な要因が必ず存在するからであり、設計では適度な余裕を意図的に与える必要があるという、いろいろな理由が挙げられるであろう。「安全率」の導入は、設計で対象とする環境やシステムの挙動が不確定であるからであるが、これらの不確定さが本当のところはどれくらいなのかを、ある程度定量化できるのであれば、安全率設定の根拠付けも明快になる。勿論、過去より長年使用してきた安全率の重みは大きく、容易に合理化できるとは考えてはいないが、どのような不確定要因に対して、どの程度、余裕を付与しなければならないか、分析する必要があるだろう。こうすることにより、安全率の合理化にもつながるものと期待できる。

### 3-2) 限界状態設計法<sup>5)6)7)</sup>

構造システムに付与する構造性能は多様であり、例えば、構造安全性や機能性などが挙げられ、これらを性能という言葉でなく「限界状態(limit state)」と呼ぶ。限界状態は、ISO2394<sup>8)</sup>によると、限界状態を超えると構造システムに対して設計で意図しない状態になったものと定義される。例えば、システムが崩壊しないことを考えた場合には、崩壊に関わる限界状態が定義できる。システムの機能性が満たされていない限界状態も定義できる。このように、限界状態とは必ずしもシステムあるいは部位が破壊する状態ばかりを扱うのではなく、設計で対象とする如何なる状態も限界状態と呼ぶことが出来る。設計でどのような限界状態を想定するかは、設計者や使用者などと協議の上決める必要があるが、建築構造物については、標準的な限界状態は表 2.9 のように分類されている。安全性に関するもの、使用性に関するものがあり、それぞれ、終局限界状態、使用限界状態と呼ぶ。前者の例として、地震時の建物層崩壊、耐震部材の破壊、積雪による屋根の崩壊、等が挙げられ、後者の例として、建物使用中の梁、床板の有害なたわみ、建物の不同沈下、人間の快適性、等々が挙げられる。

表 2.9 建築構造物の限界状態の分類<sup>8)</sup>

限界状態		物理状態	具体例
終局 (安全性)		構造物あるいは部分の崩壊	傾斜、滑り、破壊、進行性破壊、限界変形を越えた状態、安定性の欠如、腐食、疲労、劣化など
使用性	損傷		過度な亀裂や変形、永久塑性変形
	機能維持	通常時の使用性の喪失	過度な変形や振動、局所損傷など

限界状態設計法では、性能の程度は「限界状態を超える確率」で表すことが基本である。確率で表すことにはある程度の慣れが必要であるが、建物に作用する荷重の最大値も、使用する材料強さもばらつくことから、確率量で性能の水準を表現することが国際的な趨勢となっている。「限界状態を超える状態」とは、例えば、構造システムが崩壊するという限界状態を考えた場合に、崩壊する状態になる確率、崩壊確率あるいは破壊確率をもって、システムの崩壊に関する性能の

良し悪しを判断しようとするものである。すなわち、この確率は性能の水準を表す定量的な指標となり、崩壊確率が小さいものほど、崩壊に対する性能水準が高いということになる。

このように、限界状態設計法では、性能の種類を限界状態で、性能水準を確率量で表した極めて実用的で国際的に最も利用されている設計法である。別の言葉で言うなら、限界状態設計法の特徴は確率論に基づき性能の明確化と定量化を実現させたものである。

実設計で、確率の計算を行うのは煩雑である。従って、設計法の実用性を考えるにはできるだけ簡単な設計式が望ましい。そこで1980年代に確率の考え方に基づいているが実用的な設計法として「荷重・耐力係数設計法(LRFD: Load and Resistance Factor Design)<sup>9) 10)</sup>」が開発された。荷重・耐力係数設計法は、米国では一般的な名称であり、欧州では部分安全係数法(Partial Safety Factor Design)とも呼ばれている。

部材の破壊あるいは不具合状態を表現するための最も単純化した荷重・耐力モデルは、荷重側を  $S$ 、部材耐力側を  $R$  として記述することができる<sup>11)</sup>。

$$G = R - \sum_{i=1}^n S_i \quad (2.9)$$

ここに、 $R$  は設計しようとする部材耐力を、 $S_i$  は部材に作用する複数の異なる荷重より生じる発生応力を表している。

いま、信頼性指標を用いて部材設計する場合に、以下の設計式を用いる。

$$\beta \geq \beta_T, \quad \beta = \frac{\mu_G}{\sigma_G} \quad (2.10)$$

ここに、 $\beta_T$  は部材の破壊状態に至らない余裕を表すために導入した目標信頼性指標である。 $\mu_G$  と

$\sigma_G$  は式(2.9)の  $G$  の平均値および標準偏差であり、部材耐力、各荷重から生じる発生応力の平均

値  $\mu_R$ 、 $\mu_{S_i}$  と標準偏差  $\sigma_R$ 、 $\sigma_{S_i}$  を用いて以下のように評価できる。

$$\mu_G = \mu_R - \sum \mu_{S_i}, \quad \sigma_G = \sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2} \quad (2.11)$$

上式を部材設計式に代入して式の変形を行なうと、部材耐力関連の項と発生応力に関する項に分離し整理することができる。

$$\mu_R - \sum \mu_{S_i} \geq \beta_T \sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2} \quad (2.12)$$

$$\mu_R - \alpha_R \beta_T \sigma_R \geq \sum (\mu_{S_i} + \alpha_{S_i} \beta_T \sigma_{S_i}) \quad (2.13)$$

式中の  $\alpha_R$  や  $\alpha_{S_i}$  は平方根を開く時に用いる分離係数であり、次式に示すように、標準偏差の関数

となっている。

$$\alpha_R = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2}}, \quad \alpha_{S_i} = \frac{\sigma_{S_i}}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sum \sigma_{S_i}^2}} \quad (2.14)$$

上式より、式(2.10)の信頼性指標に関する設計式を容易に部材耐力と発生応力の統計特性を用いて書き換えることができ、式(2.13)を設計に用いることができる。

#### 4) リスク評価

##### 4-1) リスク評価の考え方<sup>12)</sup>

自然災害を扱う防災分野のみならず工学全般に渡って、また、医療分野や金融業界においても、将来の十分な確度で予測できない事象から被る被害や損害などの可能性を総称して「リスク」と言い、最近良く使われるようになって来た。「リスク」とは、日本語では「危険度」と訳すことが多い。

リスクの定義は、文献<sup>13)</sup>によると、

- a) 利得・損失を生じる確率〔損失に限られる場合もある〕
- b) 事故・災害(Hazard)・危難(Peril)といった個人の生命や健康に対して危害を生じる発生源の事象
- c) 損失の大きさとそれが生じる確率との積

の定義がある。工学の分野では、リスクは、c)の定義で用いられることが多く、下式で表される。

$$R = P \times C \quad (2.15)$$

ここに、 $R$ ：リスク、 $P$ ：想定する事象の発生確率、 $C$ ：想定する事象が発生したことによる影響である。

上式より、リスクとは事象の発生確率と事象の発生により生じる損害や被害の積として定義され、リスクの単位は  $C$  の単位と同じものである。 $C$  としては、被害費用や死者総数などが考えられる。例えば、建物が供用期間中に地震によって倒壊する確率と倒壊したことによる被害費用より、供用期間中の建物の地震による倒壊リスクが計算される。また、旅客機の1フライト当たりの墜落確率と墜落による死者数より、1フライト当たりの墜落による死亡リスクが評価できる。

従って、 $P$  が極小で  $C$  が小さい事象はリスクの大きさから見て社会的関心事とはならない。しかし、大地震による被害を考えてみると、大地震の発生確率は極めて小さいものの、一度起きれば大規模な被害を招くことから、低頻度巨大災害の典型例として、何らかの社会的な方策を講じなくてはならないものもあることに注意すべきである。また反対に、交通事故のように、 $P$  が大きくても（日常多発している事象）、社会的関心事とならないものも少なくない。最近の新聞紙上をにぎわしている犯罪記事のように、 $P$  が小さいながらも社会全体に与えるインパクト  $C$  が大きいものほど大きな記事となり得る。

リスクの定義式を見れば明らかなように、リスクを軽減する方法はふたつしかない。ひとつは事象の発生確率  $P$  をできるだけ小さくすることであり、もうひとつは事象が生じた後の被害  $C$  を小さくすることである。一般建物を例にとってみれば、前者はより安全な建物を設計・建設することにつながり、後者は建物が倒壊しても死者・負傷者数を低減できるような緊急救援対策の充実、危険な所には人を住まわせないといった規制を講じること、万が一、建物被害が発生しても被害を軽減するために損害保険に加入することなどにつながる。従って、リスクを軽減するには、「事前の予防」と「事後の対応」の両方が必須である。

##### 4-2) システムのリスク原因の例<sup>14)</sup>

ここでは、複数の部材からなる構造体を「系（システム）」と呼び、特定のシステムのリスク原因を挙げる。ここでは、構造物と航空機について例を示す。

###### a) 構造物

ビル、橋梁などの構造物は、梁、柱、結合部、床、壁などは接合されて構造システムを形成している。これらの構造システム事故は、以下のいずれかと定義される。

- 1) 構造的崩壊（孤立した構造部材、又は構造システムのすべてか一部に対する）
- 2) 機能喪失または使用不能（たとえば、構造物が設計された機能に対して使用できないような、過度の動きやたわみ、または振動）

負荷が構造要素またはシステムの構造抵抗（または容量）を越えたときに、構造崩壊が起こると考えられる。したがって、高負荷または低抵抗の場合に構造崩壊の発生する。一般に荷重は、死荷重、活荷重、雪、風および地震の成分のいくつかを含んでいる。高い死荷重と活荷重は、一般にユーザーに影響されるものである。たとえば、過負荷、または重い車両、列車または船と橋梁構造との衝突などが該当する。一方、強風、洪水、雪および地震荷重は自然現象として生じ、ユーザーの管理外である。システムのリスクは構造抵抗の低いことによっても上昇する。

表 2.10 構造事故の主要原因<sup>14)</sup>

主要原因	頻度[%]
不適切な荷重挙動	45.2
不適切な結合要素	47.0
建設精度の信頼性	1.8
設計計算のエラー	2.5
不明瞭な契約情報	23.5
使用説明書に従わない違反	21.8
計画システムの複雑さ	1.2
粗悪な建設行程	54.3
予測できないイベント	7.1

低い構造抵抗または高荷重（あるいは両者の組合せ）の原因は、(1) 自然と (2) 人的すなわちヒューマンエラーに分類される。入手可能な統計データによると、ヒューマンエラーは構造事故の75%にも上る原因である。しかし、地震や嵐などの極端な自然現象に曝される地域では、事故の25%よりもかなり多くが過負荷に起因している。

表 2.10 は、1975～86年の期間における合衆国の604事例の研究から得られた構造事故の主要原因（10件）を示す。質の低いな施工方法が構造事故の主要原因であることを示している。約7%の構造事故は「予見不可能な事例」であるに注意が必要である。

#### b) 航空機

航空機事故は、以下に示す航空機システムの危険行為(複数)の結果として発生すると考えられている。

- i) 地面、水、建築物または他の航空機との衝突
- ii) 火災（または煙）
- iii) 構造健全性の喪失（たとえば、荷物室ドアの喪失、エンジン落下）

1969～76年の間のジェット旅客機に対して、航空機事故の発生に含まれるであろう原因は、大雑把に次のように分類される。

- i) 単一または複数の材料／装置の故障
- ii) ヒューマンエラー

iii) 天候または環境条件（たとえば、氷、雪、エンジンに鳥を吸い込むこと）  
 多くの研究は、ほとんどすべての航空機事故がヒューマンエラーを原因となっている。

- i) 設計および製造スタッフ
- ii) 維持管理スタッフ
- iii) パイロットや他のフライト乗務員
- iv) 客室乗務員、地上職員および乗客
- v) 航空交通管制官

表 2.11 に、ジェット旅客機事故を導くイベント原因をまとめた。ほとんどの事故が操作イベント、すなわち、離陸と着陸のときに発生していることを示しており、航空機がフライト乗務員に掌握されていると考えられる。

表 2.11 ジェット旅客機事故を導くイベント<sup>14)</sup>

イベント	頻度[%]	
	致命的な事故	すべての事故
主として耐空性		
骨組み構造の破損	1.6	7.1
火災（客室、トイレなど）	3.2	2.4
火災（着陸装置の故障）	1.6	6.8
火災（エンジン故障）	7.9	19.6
着陸装置の故障	0.0	4.4
飛行制御システムの故障	11.1	4.7
主として操作		
高地との衝突	22.2	4.7
滑走留の手前に着陸	36.6	15.1
滑走路を越えて着陸	6.3	9.5
滑走路をそれる	0.0	7.8
激しい着陸	0.0	5.4
天候	9.5	6.1
鳥の衝突	0.0	6.4

#### 本節の参考文献

- 1) 高田毅士：信頼性工学、建築と工学、ヴィジュアル版建築入門 9、彰国社、2003
- 2) Ang and Tang、土木・建築のための確率・統計の基礎、伊藤学他訳、丸善、1977
- 3) 星谷勝、石井清、構造物の信頼性設計法、鹿島出版会、1986
- 4) クリステンセン、ベイカー、構造信頼性-理論と応用、室津監訳、シュプリンガー・フェアラーク東京、1986
- 5) 高田毅士：不確定性と設計技術、
- 6) 構造工学ハンドブック、構造設計の基本、丸善
- 7) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説、1993

- 8) ISO : ISO2394 – General Principle on Reliability for Structures, 1996
- 9) B. Ellingwood, J. G. MacGregor, T. V. Galambos and C.A. Cornell, Probability Based Load Criteria: Load Factors and Load Combinations, J. of ST, ASCE, Vol. 108, No. ST5, 1982, pp. 978 – 997
- 10) 日本建築学会、建築物の限界状態設計指針、2002
- 11) 高田毅士、高橋徹、技術ノート・確率信頼性の基礎と信頼性指標を用いた設計/4 荷重・耐力係数設計法、建築雑誌, Vol. 114, No.1442, 1999.8, pp. 100-10311)
- 12) 高田毅士：建築・土木におけるリスク評価の現状とねらい、日本建築学会
- 13) 建設省建築研究所、「新建築構造体系の開発」、建設省総合技術開発プロジェクト、1998
- 14) 酒井信介監訳：技術分野におけるリスクアセスメント、森北出版、2003

### 2.3.4 建築物の品質を確保するための設計・施工監理と維持管理

#### 1) はじめに

「かしこい技術」を建築に適用し、建築物の安全等の確保に必要な状態あるいは作用への抵抗性を各種デバイスのはたらきによって確保するという方法が、建築基準法令の目的・要求に適合したものと位置づけるためには、こうした「はたらき」が建築物の供用期間全般にわたり確実に稼動することを信頼できるようにするための仕組み・根拠が不可欠である。

本検討は、上記のような技術・仕組みの確立のための開発研究の一環として、『かしこい建築・住まいの実現のための信頼性技術に関する調査業務』のうち『長期間での建築物の安全性・耐久性確保のための手法の調査』の一部をなすものとして実施した。ここでは以下の観点を中心として検討を行った。

- ① 「かしこい技術」の適用により建築物の所要性能を確保する、という企画・設計上の「意図」及びその課題の「解決策 Solutions」が妥当なものだとして、工事結果がそれらに適合したものであると信頼しうるための条件はなにか？
- ② 工事結果が、「かしこい技術」に関する企画・設計上の「意図」及び「解決策 Solutions」に適合しているといえる（保証しうる）ものだとして、使用段階でかしこい技術のはたらきが確実に（必要なときに）稼動すると信頼するための条件は何か？

なお、今回の検討は、上記の条件を明確化するための第一段階のものであり、いろいろな考え方・方法論の収集と、それぞれについて“必要な信頼性を確保しうるもの”となりうるフィージビリティ及び実現のための論点整理に重点を置いたものである。

#### 2) 検討課題の明確化

本検討の対象となる課題は、端的に言えば『システムが期待通りに稼動するものとするための、システムの製造・運転/維持管理 (O&M) の方法』を明確化することである。これはいわゆる「信頼性工学」あるいは「品質保証」の問題に他ならない。

信頼性とは、システム等が、規定される期間中、所要の機能を「故障」なく遂行できる確立である。従って信頼性工学は、「故障理論」にそのベースをおいているといってもよいだろう。また広い意味での信頼性とは、「故障の起きにくさ」と「故障の修復しやすさ」の両側面を含んでいる。経済上の理由を中心としてシステムの信頼性を捉える場合は、こうした二面性を捉えることが重要であるが、今回の検討のように人命への危害を含む安全性を対象とするシステムの場合には、

「故障が起きても（損害が最小限となるよう）回復できればよい」という立場はとりにくい。となれば、ここで検討すべき内容は、建築基準・規制という社会システムとして、「かしこい」システムの故障による影響の程度、すなわち故障によって人命への危害等が生じる「リスク」が許容範囲に納まるような「故障の起きにくさ」を実現するための条件の明確化ということになる。

建築基準・規制システムが許容しうる「リスク」のレベルとは、どのようなものであるかについては、社会の期待と経済的負担の限界性その他の多重的な検討が必要であり、それ自体は他の機会に譲るものとする。

とすれば、ここでの検討の中心となるべきことは、「かしこい」システムにおけるありうる「故障」の特性を把握し、その故障を未然に防ぐための対策、およびその信頼性を社会に向けてアピールすることすなわち信頼性の保証（確からしくすること＝Assurance）のための手段として、何がなされるべきかを明確にすることにあると考える。

### 3) 「かしこい」システムにおける故障モードとその要因

「かしこい」システムの故障モードとは、システムがどのように建築物の性能確保に関係しているかの観点に立ち、どのような不具合が発生した場合に、建築物の安全等の性能確保に直接影響が及ぶか？を把握することである。

#### 3-1) 故障モードの観点からの「かしこい」システムの類型

この場合、想定するシステムに関して、以下のような類型分類を想定することが有効である。

##### I. センサ系

I-1 地震動、強風等、建築物に外部から作用する要素の感知（と他のシステムへの情報等の発信）

I-2 温度等、建築物内外の空間や構成要素近傍で生じている状態急変の感知（同上）

##### II. モニタ系

II-1 作用に対応した空間・構成要素の「状態」（温度、荷重状態、変形、振動、物質濃度等）の継続的監視

II-2 構成要素の物的特性に生ずる経時的な状態・特性変化（ひび割れ、クリープ、腐朽、強度の低下、等々）の監視

II-3 継続または断続的に運転される機器類の「稼動状態」の継続的監視

##### III. 制御系

III-1 有事に、作用を打ち消す／軽減するようにはたらくもの（アクチュエータ？スプリングシステムも一種？）

III-2 有事に、作用に対する抵抗力を増強させるようにはたらくもの（可変ダンパー類？防火シャッターも一種？）

III-3 空間や構成要素に生じた状態・特性変化を正常な状態・特性に復旧・修復させるようにはたらくもの（緊急冷却装置の類？排煙設備システムも一種？）

実際の「かしこい」システムは、上記のいろいろなシステム要素が組み合わせられて出来上がっているものが多いと考えられる。

#### 3-2) 不具合のパターン

かしこいシステムに生ずる不具合とは、システムが想定・期待通りはたらきをしないことによって、建築物の所要の性能（安全等に関係する状態の確保能力）が得られなくなることである。この不具合のパターンは、システムの特성에対応して、次のようなものがありうる；

- (1) 作用、状態の変化等を感知または監視できない（センサ・モニタ系）
- (2) 作用、状態の変化等の感知または監視が、正確に行われない（センサ・モニタ系）
- (3) 必要なときに制御装置等が稼動しない（制御系）
- (4) 制御装置のはたらきが不十分で、所要の性能・状態が確保できない（制御系）
- (5) 制御装置等の誤作動（各系）

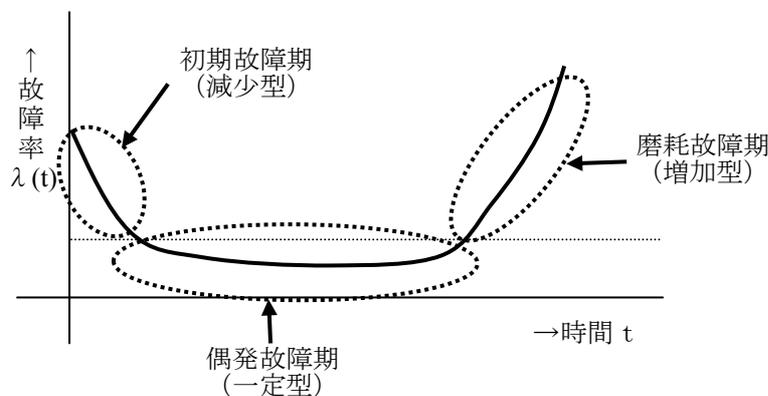
### 3-3) 不具合の要因

システムの不具合の要因として考慮すべき必要がある要素には次のようなものがあると考えられる。

- (a) 各システム要素（センサ、制御装置等）が期待通り稼動するためのロジスティックスの不具合（電源、水圧、等）
- (b) 各システム要素自体の故障（不作動、機能不全）
- (c) 各システム要素の設定機能レベルの不足（過大な外部作用、設計のミス？）
- (d) 各システム要素の作動に対する障害（センサの隠蔽、可動部分への障害物の放置等）

### 4) 「かしこい」システムの信頼性に関する必要条件

一方、一般論としていえば、システムの故障の発生傾向を時系列的に見ると、次のような曲線（故障曲線）で説明できるといわれている。



「初期故障期」は、システムの中に潜在している設計ミス、製造過程での欠陥等いろいろな弱点が使用の初期段階で出てくるもの。対策としては、使用に先立った試運転その他のスクリーニングで欠陥を見出し、その欠陥を追い出すデバギングにより安定化を図る。

「偶発故障期」は、デバギングにより取り除けなかった故障要因が重なり合い、ほぼ一定の故障率を示す時期。規定の故障率より低い時期の長さが「耐用寿命」である。

「磨耗故障期」は、システム要素の耐久性の問題その他で、時間とともに故障率が增大する。通常は、予防保全や事後保全によって上昇する故障率を切り下げる必要がある。

このようなモデルに照らしてみた場合、「かしこい」システムに求められる信頼性のレベルは、

次のような形で理解することが出来る。

- ① 偶発故障期の故障率自体を、その故障によって影響される安全リスクのレベルが社会的許容範囲以下となるように低減する必要がある。
- ② さらにこの故障が無いとみなされる時期の長さすなわち耐用寿命を、少なくとも建築物本体の耐用寿命に見合うほどに確保する必要がある。

上記のうち①は完璧に「無故障」のシステムとすることは現実には不可能であり、前述したように、システムの故障が、実質的に建築物の安全性が確保されずにユーザー等に課されることになる「リスク」が許容水準以下になるように制御されるようにすることで、信頼に足ると“みなす”…という判断の仕組みを導入せざるを得ない。そのため、例えば；

- ・ 引渡し段階、試用の初期段階での初期故障の発生予防又はスクリーニング・デバギングの実行（狭義の“コミッショニング”）
- ・ それぞれのシステム要素（例えばセンサ）について、故障率が許容確率以下の期間を予測し、それより短い間隔で点検・交換等を行う（予防保全）
- ・ システムが制御しようとしている作業や状態の変化などの頻度、速度等に応じて、一定の故障期間が許容されている場合には、故障の発見と故障の修理に要する期間がそれ以下となるような故障の早期発見と迅速修理の仕組みを適用する（事後保全と故障発見システム）
- ・ システムの稼動に必要な情報ルートを二重以上にし、一ルートに故障が起きた場合でも他のルートが稼動することで必要な信頼性を確保できるように設定（フェイルセーフ）

等の方策または方策の組み合わせを適用することが必要である。

これらを「システム設計の課題」と位置づけることとする。その課題は、ここの具体的システムとそれによって制御される建築物の安全性その他の要求性能の重篤さに応じて、必要な信頼性の「システム設計」がなされる必要があるが、その方法は、個々の技術開発ないし研究の実証などが必要であろう。この課題の解決の機会を、個々の研究開発に譲ることとする。ごく一般的に“故障フリー”のシステムとするための設計において考慮すべき要素の例としては、次のようなものがある；

- ・ システム要素（センサ等のデバイス）各々の稼動性能、耐久性能についての信用しうるレベル（設計値；供給側の品質管理等に影響を受ける）
- ・ 各要素の推定故障確率等も考慮に入れた、システム全体の確率論的信頼性評価（FTA 等の適用？）
- ・ システムに組み込んだフェイルセーフや、故障発生予測・覚知のためのモニタリングシステム等
- ・ 設計、工事、維持管理の各段階に組み込んだ「プロセス管理」の信頼性

一方、そうして開発・確立された「システム設計」が間違いなく行われるようにするために設計プロセスが必要な信頼性を持って遂行され、さらに設計されたシステム・システム要素の計画された耐用期間の確保（耐久性の作りこみ）、初期故障のスクリーニング・デバギング、点検・交換・修理の仕組み等が確実に行われるよう、設計プロセス、施工・工事監理プロセス、使用・維持管理プロセス等のプロジェクトの各段階において、所要の信頼性を作りこむための「プロセス設計」が確実になされ、それに基づいて信頼あるプロセス遂行・管理が行われなければならない。

## 5) 各段階における信頼性の作り込み

### 5-1) わが国の建築生産システム上の課題・問題点

「かしこい」システムの信頼性の確保方策は、企画・設計から、工事・工事の監理、引渡し、使用段階の運転・維持管理の建築プロセスの全体にわたって整合したものでなければならない。

しかしながら、わが国の建築生産、建築プロジェクトの慣行的なシステムでは、先行するプロジェクトの段階（例えば企画・設計段階）において、後続プロセス（例えば工事プロセス）の「プロセス計画」を詳細に策定し、後続プロセスに伝達する…というやり方はあまり一般的ではない。例えば、後続プロセスを受け持つことになった業務主体（ゼネコン、FM 等）において、先行プロセスのアウトプット（設計図書）に込められたいろいろな意図や仮定などを“推定”し、それとの整合性を意識しながら、独立した当該プロセス（工事・工事管理）のプロセス計画を行う場合が多い。同時期に並行して行われる工事監理プロセスのプロセス計画も独自に作られ、両者間の整合性が計られるような確立した仕組みはまだ無い。

近年、ISO9000 系に基づく品質マネジメントシステムを建築系企業が導入するようになり、例えばゼネコン（工事請負を担当）が、「顧客の意図の確認」という規格要件に対して、設計図書の内容、意図等を業務着手前に情報入手するようになってきているが、プロジェクト全体の情報の流れ、整合性を責任を持ってみている者を配置しているケースはそれほど多くはない。

システム設計の個別性が極めて高いことが予想される「かしこい」システムの設計と作りこみにおいて、この各段階毎のプロセス管理の、プロジェクト全体にわたる整合性についての信頼性が確かでないということは、致命的な問題になりかねない。

### 5-2) 建築プロセス全体にわたった整合性の確保

上述の問題点に対する基本的な考え方としては；

- ① 企画・設計段階では、「システム設計」ならびに設計プロセス自体を含む「プロセス設計」が行われ、その妥当性を確認された後、設計プロセスならびに工事その他の後続プロセスに伝達・インプットされる。
- ② 各プロセスに伝達された「プロセス設計」の内容に基づき、より具体的なプロセス計画が立てられ遂行される。プロセス計画に含まれる、プロセス設計に従ったプロセス運営を確実にする管理手段（たとえば中間段階でのレビューの実施）も、このプロセス計画に含まれる。
- ③ 各プロセスの完了段階では、当該プロセス計画に反映されたプロセス要件（管理手段等）が満足され、アウトプットが全体プロセスの流れの中で整合する妥当なものとなっていることの評価・確認（妥当性の確認 Validations）がなされ、次のプロセスに伝達される
- ④ 各プロセスの遂行過程においては、先行するプロセスで決められたシステム内容、プロセス内容に影響の及ぶ設計の具体化又は前提の見直し・変更が行われる場合がある。こうした場合「変更管理」の原則に基づき、必要な前プロセス段階までさかのぼって、全体の整合性が崩れていないことの評価・確認が必要
- ⑤ 設計段階で作られた後プロセスの「プロセス設計」は、例えば工事段階で生じた部分的変更などにより、維持管理段階のプロセス設計内容にも、変更が加えられるようなこともある。この場合も上記に準じた整合性の評価・確認が必要

というプロセス管理を計画し適用することが必要となるであろう。

このような過程は、たとえば企画から製造、出荷、アフターメンテ等を一貫して担う製造企業

における『品質マネジメントシステム』では、むしろ一般的なものである。しかし、設計と工事との間で、入札・施工業者選定が行われたり、建築主に工事成果物が引き渡された後は、設計や工事プロセスを担当した者が継続したかかわりを持つことが一般的には少ない、建築物のライフサイクル過程においては、特別のマネジメント上の配慮や仕組みの投入が必要である。

こうした観点から先行して技術・手法の開発、検討等が進んでいる分野の情報を収集した。

空調システム（HVAC）は、その機能の高度化の速度も大きく、ここで検討対象としている「かしこい」システムとある程度類似した特性を有している。

この HVAC の分野では、“Commissioning” という手法概念が従前から導入され、その仕組み開発のための取り組みが続けられてきている。

これに関して、これまで収集してきていた資料の主要部分を、付録資料 B に示す。

更なる情報の入手可能先は、国際エネルギー機構（IEA：International Energy Agency）の建築及びコミュニティにおけるエネルギー保全システムプログラム（ECBCS）の中に設けられている Annex 40：Commissioning of Building HVAC Systems for Improving Energy Performance (<http://www.commissioning-hvac.org>) 参照

さらにこの Commissioning の考え方は、HVAC のみならず、すべての建築要素を対象として、類似の稼動信頼性のためのプロセス管理を行う仕組みに発展されようとしている。

現在先駆的な活動を行っている組織は、米国連邦政府の後援で活動している全国建築科学機構（NIBS：National Institute of Building Sciences）の TOTAL BUILDING COMMISSIONING プログラム (<http://sustainable.state.fl.us/>) と、米建築コミッショニング協会（BCA：Building Commissioning Association。URL：<http://www.bcx.org/>）であり、ぜひ参照されたい。

## 2.4 かしこい技術等の諸外国における取扱いに関する調査

### 2.4.1 調査の背景および目的

「かしこい」関連技術の性能評価方法の検討及び建築基準体系の検討の参考とするため、海外（主要国）での建築法令に関連する新技術・新材料の認証制度について、関係情報を収集・整理し、国内制度との比較分析を行うとともに、具体的な認証事例の情報も収集し、その評価における考え方等を整理・分析する。

### 2.4.2 調査内容と成果

各国の主要関連制度の基本的情報の把握や一部制度についての詳細調査、実際に認証（個別物件の評価、許可等）の経験を有する機関を把握するための調査を行った。

調査は、建築技術に関する技術評価を行っている機関を会員とする WFTAO（World Federation of Technical Assessment Organisations）のメンバーである（財）日本建築センターの協力を得て、以下のとおり行った。

#### （1）調査対象

##### ①認証制度の基本的情報について：

アメリカ、フランス、イギリス、オーストラリア等

##### ②制度の詳細と事例について：

フランス (CSTB)、イギリス (BBA) 及びアメリカ (ICCES) の認証制度

③個別建築物の評価・許可事例について：

イギリス、オーストラリア、アメリカ、カナダ、NZ、ノルウェーの建築基準当局又は民間主事、評価機関等の関係者

(2) 調査項目と方法

①認証制度の基本的情報

アメリカ、フランス、イギリス、オーストラリア等について既往調査・文献を整理する。

②制度の詳細と事例

既往の調査、文献情報の他、各国の関連評価機関等のウェブサイトから該当部分を抽出・整理する

③個別建築物の評価・認証・許可事例

各国の関係者に、電子メールにより、「かしこい」技術に関する評価・認証・許可事例の有無、評価・認証・許可等の方法（手続き、プロセス等）、または、それらに関するコンタクトポイント等の情報提供を要請する内容の調査票を送り、具体的事例に関する基礎的な情報収集を行う。

(3) 調査結果

①アメリカの認証制度について

建築コードへの適合性の判断をサポートするものとして、規格や代替材料等に関する評価業務、建築製品の製造者等からの申請に基づく評価レポートの発行、建築主事からの依頼に基づく技術評価相談サービス業務を実施している ICC-ES(International Code Council Evaluation Service)について、その業務内容等の調査を行った。

②フランスの認証制度について

CSTB (フランス建築科学技術センター) が規格の存在しない新製品・新技術を対象として行う技術評価制度であるアビテクニク、製品等がそれに適合していることを証明する制度である CSTBat 認証、及び個別の建築計画に利用される新技術の技術評価を行う制度である ATEEx という3つの評価制度について、その業務内容等の調査を行った。

③イギリスの認証制度について

BBA(British Board of Agreement)が実施する、新技術・新材料についての建築法令への適合性の立証手段の一つであるアグレマン認証について、その業務内容等の調査を行った。

④オーストラリアの認証制度について

BCA(Building Code of Australia)において適合性の証明方法の一つとして認められている試験機関及び製品認証機関の証明の事例について、その業務内容等の調査を行った。

⑤個別建築物の評価・認証・許可事例について

8カ国20機関の22名に対し、かしこい建築技術の信頼性の評価方法等、及びその事例に関する情報の提供を求めるアンケート調査を行った。その結果、7名から回答があり、いくつかの評価実施機関等とそのコンタクトポイントに関する情報が得られた。