開放式駐車場の性能的火災安全設計ケーススタディ

FIRE SAFETY DESIGN OF AN OPEN CAR PARK

南部晶子 — * 1 中道明子 — * 2
大松俊祐 — * 3 北後明彦 — * 4
野竹宏彰 — * 5 山口純一 — * 6
松山 賢 — * 7 富松太基 — * 8
大宮喜文 — * 9 萩原一郎 — * 10
田中哮義 — * 11 原田和典 — * 12

Akiko NAMBU — * 1 Akiko NAKAMICHI — * 2
Shunsuke DAIMATSU — * 3 Akihiko HOKUGO — * 4
Hiroaki NOTAKE — * 5 Jun'ichi YAMAGUCHI — * 6
Ken MATSUYAMA — * 7 Taiki TOMATSU — * 8
Yoshifumi OHMIYA — * 9 Ichiro HAGIWARA — * 10
Takeyoshi TANAKA — * 11 Kazunori HARADA — * 12

キーワード:

性能的火災安全設計法, 駐車場, 避難安全, 構造耐火, 消防安全, 防煙区画

Keywords:

Performance-based fire safety design, Car park, Evacuation safety, Structural fire resistance, Fire fighters safety, Smoke compartment

A case study was carried out on fire safety design of an open-type car park building. Safety checking was made on evacuation safety, fire fighters' accessibility and structural fire resistance. The design fire was assumed by a successive burning of cars in one row. The fire and smoke were confined within less than quarter of one floor area. By using this benefit, temporal refuge area (TRA) and fire fighting base (FFB) were arranged. Safety of occupants and fire fighters were assessed against fire scenario. The structural frame was constructed by unprotected steel frame, whose stability was assessed by simple plastic theory.

1. はじめに

工学的な根拠に基づく火災安全設計は、「建築物の総合防火設計法¹⁾」が端緒となり、平成8年度からの5ヵ年で行われた建設省総合プロジェクト「防・耐火性能評価技術の開発²⁾」を経て、2000年6月に公布制定された改正建築基準法においては、避難安全と構造耐火の性能評価法が条文の中に明示的に盛りこまれ、性能設計の考え方は確実に定着しつつある。筆者らは、これら一連の流れをにらみつつ、性能的アプローチから建築の火災安全設計を行うための方法を工学的に展開し、4階建てのテナントオフィスビル³⁾、超高層オフィスビル⁴⁾、複合商業施設⁵⁾についてのケーススタディを行ってきた。

本稿では、地下を鉄筋コンクリート造、地上部を無耐火被覆鉄骨造とした駐車場棟について、性能的アプローチにより火災安全設計を行った結果を報告する。本稿で行ったケーススタディは、防火技術者協会(SFPE)が主催した性能的火災安全設計の国際ワークショップ⁶⁾に応募したものをベースとしており、建築基準法等の国内法令への適合については厳密な注意を払っていない。ケーススタディの拠り所としては、本会編の2つの指針を用いた^{7,8)}。

2. 性能的火災安全設計の方法論

2. 1 目標性能

性能設計を行うにあたっては、建築物が備えるべき性能をまず

明らかにし、次にその程度(水準)を決定することになる。今回のケーススタディでは、主催者から下記の目標性能が提示された。

- (1) 安全な場所まで在館者が避難できること
- (2) 消防士が安全に消火活動できること
- (3) 焼損および煙損を出火階に限ること
- (4) 上記の(1)~(3)のために必要な構造安定性を確保すること

2. 2 設計手順

上記の目標性能は完全には独立ではない。よって、どの性能を優先的に達成するかは任意性がある。しかし、燃焼範囲と煙拡散範囲を設計上想定しておき、4つの目標性能を切り離して考えることができる。従って、下記の手順を採用した。

- (1) 火災の燃焼範囲(燃焼を受容する範囲)を決めておき、燃焼による熱影響(空間の温度上昇など)に対して十分な構造安定性と区画保持性能(周壁と床の遮熱性、開口部の遮炎性)を確保する。

- (2) 煙汚染範囲(煙汚染を受容する範囲)を決めておき、煙および放射熱が及ばない場所まで安全に避難する施設を準備する。

フラッシュオーバー(以下、F.O.)が起こらない程度に十分外気に開放された駐車場の火災は、車列内の車両が時間差を伴って逐次燃焼し、車列の端まで燃えた段階で終了する。従って、最大限燃えた場合の車列の燃焼範囲を想定し、設計上許容する煙汚染

*1 損害保険料率算出機構

*2 財団法人建築総合試験所

*3 神戸大学 大学院生(研究当時)

*4 神戸大学都市安全研究センター 助教授・学博

*5 清水建設㈱和泉研究室

*6 ㈱大林組技術研究所

*7 東京理科大学火災科学研究所 助手・工博

*8 ㈱日本設計情報技術センター 主管

*9 独立行政法人建築研究所 主任研究員・工博

*10 国土交通省国土技術政策総合研究所 工博

*11 京都大学防災研究所巨大災害研究センター 教授・工博

*12 京都大学工学研究科生活空間学専攻 助教授・工博

*1 Non-Life Insurance Rating Organization of Japan

*2 General Building Research Corporation of Japan

*3 Graduate Student, Kobe University

*4 Assoc. Prof., Research Center for Urban Safety and Security, Kobe Univ., Ph. Eng.

*5 Izumi Research Inst., Shimizu Corporation

*6 Technical Research Institute, Obayashi Corporation

*7 Research Assoc., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Tokyo University of Science, Dr. Eng.

*8 Senior Architect, Architectural Design Div., Nihon Sekkei, Inc.

*9 Researcher, Building Research Institute, Dr. Eng.

*10 National Institute for Land and Infrastructure Management, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation, Dr. Eng.

*11 Prof., Disaster Reduction System, Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ., Dr. Eng.

*12 Assoc. Prof., Dept. of Architecture and Environmental Design, Kyoto Univ., Dr. Eng.

範囲を決めておく。その結果、柱、梁、床版等の架構部材への熱入力が定まり、耐火設計用入力となる。避難安全設計に関しては煙汚染範囲以外の場所に「安全な場所」を特定し、これを避難安全のための一時避難場所(TRA)として設定する。消防活動支援のためには消防活動拠点(FFB)を安全な場所に設定する。

設計案が出来た段階において、途中で行った想定が無理なく成立することを確認めれば設計が終了する。評価は大きく、「避難安全性能評価」、「消防活動支援評価」、「耐火性能評価」の3つに分けて行った。

避難安全性評価では燃焼範囲が確定していることを前提として、避難場所が安全なものと避難場所まで逃げられることを、消防活動支援評価では消防活動拠点が安全なものと火点へのアプローチの容易さを評価した。耐火性能評価では設定した燃焼範囲に対して架構が崩壊しないことを確認した。

3. 建築計画概要

本建築物は、図1に示すように、地下2階・地上2階からなる広大な駐車場である。地上階には、外壁はほとんどなく、外気に直接面した開放式駐車場である。地下部分には、換気と採光を目的として中央に光庭を設け、両側に一方通行の斜路を配置した。駐車スペースは外周側および光庭側に、1列ずつの車列を配置した。

構造形式は、地下階は鉄筋コンクリート造、地上階は無耐火被覆鉄骨造とする。各フロアの床面積は約6400m²であり、階高は地上部分では4m、地下部分では3.5mである。

本ケーススタディは、前述のように、国際ワークショップに応募したものをベースとしており、各国共通の建築物とするため、日本における類似建築物の空間構成とは必ずしも一致しない。

図1 平面図および断面図

4 火災安全計画の概要

4. 1 設計目標

本ケーススタディにおける設計目標は、「在館者の避難安全の確保」および「消防活動の安全の確保」、上記2つに必要な「構造安定性の確保」である。

在館者の避難安全性：駐車場棟にはスタッフが常駐せず、人的な初期消火が奏功する可能性は低く、在館者への避難開始指示が遅れがちである。このような状況を考え、一時避難場所まで容易に避難できる平面計画とする。

消防活動の安全性：設定した消防隊活動拠点が安全であること、および拠点から火点へのアクセスが安全であるように計画する。
火災時の構造安定性：火災の燃焼を局限化するため、火災車両に対向する車列へ延焼が及ばず、全体火災へと進展しない計画とし、火災車両近傍の構造部材が直接的または間接的な火災および煙層による加熱に対して構造安定性を保つように計画する。

4. 2 設計概要

中央に設けられた光庭は日常の換気と採光を主目的としているが、火災安全計画においても各フロアからの排煙経路として利用する。さらに、地下階については給気を目的として四隅に給気シャフトを設け、外部から新鮮空気を供給し、燃焼および煙層を安定化させた。これにより、地下階であっても開放式駐車場と同様の火災性状となる。

前述の目標水準を満たすため、図1に示すように、各フロアを防煙垂れ壁により4分割し、最悪でも各階の半分以上には煙が及ばない設計とする。すなわち、網掛け部分の区画において火災が発生した場合、その対角線方向に位置する区画まで避難すれば安全である。それゆえ、煙が及ばない区画を一時避難場所(TRA)と消防活動拠点(FFB)として設定し、各々の区画ごとに地上に通じる階段を設けて、避難経路および消防隊アクセス経路とする。

5 安全性の評価

5. 1 評価手順

以下では、前節で示した設計案に対して、避難安全、消防活動の安全、構造安定性の3つに分けて評価を行う。ただし、燃焼範囲と煙汚染範囲の想定が正しくなければそれ以降の評価が意味をなさないため、まずは想定部分を超えて火災が拡大しないことと発生した火災がF.O.に至らないことの2点を検証する。その後、3つの項目について評価を行う。

5. 2 燃焼範囲と煙汚染範囲の検証

5. 2. 1 車両1台あたりの発熱速度

自動車の発熱速度に関する2つの既往の実験データ^{9,10)}をもとに、車両1台あたりの発熱速度をモデル化した。車両1台の燃焼を、くん焼期間(着火から火炎が立ち上がるまでの時間)、成長期間(炎が立ち上がり、発熱速度が時間の2乗に従って増加し、盛期燃焼に至るまでの時間)、定常燃焼期間(盛期燃焼が継続する期間)、減衰期間(発熱速度が時間の2乗に従って減衰し、燃え尽きるまでの時間)に分け、発熱速度曲線を設定した。ただし、現段階におい

ては、実験データの数が十分でないため、発熱速度の平均と標準偏差を求め、設計用発熱速度は平均値に標準偏差を加えた値とした。以上から、本ケーススタディで用いる車両1台あたりの設計用発熱速度曲線は図2となる。

図2 車両1台あたりの発熱速度曲線

5.2.2 車列火災の発熱速度

図1に示したように、車室は1列配置のレイアウトである。車両1台の駐車スペースは柱の位置により多少異なるが、基本ユニットは図3に示す2.5m×8mである。駐車車両は、標準クラスのセダンを想定し1.8×4.82mとすると、隣接車両との離隔間隔は概ね0.7mとなる。

出火車両から隣接車両への延焼は放射によると考え、隣接車両のドア側面への入射熱流束が 16kW/m^2 ^[註1]に達する時間を求めると7.6分となる。これを以て隣接車両への延焼時間とすると、車列火災の発熱速度は、図2で示した車両1台あたりの発熱速度曲線を7.6分間隔で重ね合わせればよい。最大の車列の駐車台数は26台（1つの防煙区画内では13台）であり、車列の中央から出火した場合には出火車両の両側へ順次延焼し、7台（出火車両と両側3台ずつ）が同時に燃え盛る状態が最大規模となる。その後も両側へ延焼していくが、出火車両から順次燃え尽きが起こり、4台一塊の同時盛期燃焼領域が左右両方向へ移動する火災性状となる。以上より、駐車場内における総発熱速度は図1となり、発熱速度の最大値は28MWとなる。

図3 駐車スペースの標準ユニット

5.3 燃焼範囲（火災区画）と煙汚染範囲（煙区画）の検証

図1に示したように、駐車場内を4つの防煙区画で分割することにより、煙汚染範囲が限定されるように設計する。この場合、車列火災が隣接区画へ拡大することは許容するが、発生する煙は各々の区画内に留めるものとする。

燃焼が1つの車列に収まり、F.O.に至らないためには、次の2つの条件が満たされる必要があると考えた。

図4 車列火災の発熱速度

- (1) 煙層からの放射が、防煙区画内の車両を一齐に着火させるようなレベルに達しないこと（煙層温度および煙層高さから判断）
- (2) 燃焼車列から対向車列への放射が、対向車列内の車両を着火させるようなレベルに達しないこと（対向車列内車両の受熱量で判断）

5.3.1 煙層温度と高さ

(1) 方針

燃焼車両が存在する区画の上部には、高温の煙層が形成される。地上階の場合、車両の燃焼により発生した煙層は窓と光庭を經由して外部へと排出される。地下階の場合、図1に示したように、給気シャフトからの給気とバランスして光庭に排出される。よって地下階においても地上階と同様に、煙の発生量と排出量との質量収支から煙層温度および高さを計算した^[1]。

(2) 判定基準

車列火災がF.O.に至る可能性の1つとして、煙層からの放射がある。もし、煙層から過大な放射熱が別の車列に入射すれば、多数の車両が同時に燃焼しF.O.に至る。着火限界熱流束を5.2.2節と同様に 16kW/m^2 とし、煙層から車両表面へ射出される熱流がこれ以下となるような煙層温度（延焼防止のための限界煙層温度）を求めると 455°C となる^[2]。

また、高温の煙層に車両が包まれば容易に多数の車両の燃焼が生じてF.O.に至る危険が生ずる。従って、煙層高さは車高1.6m以上であることが必要である。ただし、この設計では、隣接区画へ煙が漏れないことを避難安全設計と消防隊活動支援設計の前提としているので、防煙垂れ壁の下端（床面から煙層下端までの高さ、本設計では2.1m）よりも煙が降下してはならない。よって、煙層温度と煙層高さの判定基準は以下とした。

- ・ 煙層温度 < 限界煙層温度 (455°C)
- ・ 煙層高さ > 車高(1.6m)と防煙垂れ壁下端高さ(2.1m)のうち高い方

(3) 検証結果

5.2.2節で求めた最大発熱速度は28MWに対して、煙層温度と煙層高さを計算した結果、表1の値となり、地下階および地上階いずれの場合においても煙層温度の評価基準を満たすことが確認され

た。また、煙層高さは2.15m（地下階）となるので、防煙垂れ壁の下端高さを2.1mとすれば、隣接区画への煙の流出を防止できる。

表1 煙層温度と煙層高さ（防煙区画内の最大規模燃焼時）

	同時燃焼 台数	最大 発熱速度 [MW]	限界煙層温度 [°C]	煙層高さ [m]
地上階	13	28	311 (<455)	2.51
地下階	13	28	349 (<455)	2.15

5. 3. 2 対向車列への延焼危険

(1) 方針

対向車列への放射熱が最大となるのは、最初の車両の燃焼が盛期燃焼状態の間に、その両側の3台に順次延焼して7台の燃焼が同時に盛期燃焼となる場合であり、このとき対向車に対する放射面は最大となる。

放射面としては、フロントガラスから噴出した火炎からの放射と防煙区画内の上部に形成された煙層からの放射の2つを考える。

(a) フロントガラスから噴出した火炎からの放射

放射面を車両のフロントガラスから噴出する火炎とした場合、火炎高さから放射面を決定し、対向車列にある受熱車両表面との最も厳しい幾何学的条件について放射熱流を計算した。

(b) 防煙区画内の上部に形成された煙層からの放射

煙層を放射率1の仮想放射面と近似し、煙層からの放射を火炎からの放射と同様に計算する。

(2) 判定基準

前節と同様に、車両の着火限界熱流束を 16 kW/m^2 とし、下記を判定基準とした。

- ・ 燃焼車両からの放射+煙層からの放射 $<16\text{ kW/m}^2$

(3) 検証結果

放射面が最大になるのは、出火車両と両側3台の計7台が同時に盛期燃焼に至り、燃焼車列と対向車列の離隔距離が最小値(13.6m)となる場合である。放射計算を行った結果、表2の値となり、いずれの場合も着火限界熱流束 16 kW/m^2 を下回った。

表2 対向車列への放射熱流

	同時盛期 燃焼台数	最大発熱速度 [kW]	放射熱流 [kW/m ²]		
			火炎	煙層	計
地上階	7	15.7	0.13	6.86	6.99 (<16)
地下階	7	15.7	0.13	8.47	8.60 (<16)

5. 4 避難安全性能の検証

5. 4. 1 方針

TRA（一時避難場所）は出火区画に対向する区画に設けられているが、在館者は出火区画から隣接区画に到達すれば火煙からの影響を受けずに済む。従って、出火した防煙区画内の在館者が隣接区画へ出るまでの間の経路について、煙層高さおよび放射暴露量を評価する⁹⁾。

- ・ 煙層高さ $> 1.6\text{m} + \text{天井高さの}0.1\text{倍}$
- ・ 煙層からの放射熱流束の積算値 $< 250(\text{kW/m}^2) \cdot \text{s}$

図1に示した平面図より、出火区画から隣接区画までの歩行距離は40mであるから、歩行速度を 1.3m/s とすれば、歩行時間は30.7秒となる。放射暴露量の限界値より、煙層からの放射熱流束の限界は 2.85 kW/m^2 、煙層の放射率を1とすれば、煙層温度 210°C が避難できる限界となる。

5. 4. 2 検証結果

煙層温度が高くなる地下階の場合について検討を行った。煙層高さは、表1に示した結果より判定基準となる 1.95m を上回る。煙層温度に関しては、図4に示した発熱速度から計算した結果を図5に示す。煙層温度が限界値に達するのは30分後であり、十分な避難時間が確保できる。

図5 火災初期の煙層温度と高さ（地下階、火災成長率 $\alpha = 0.0085\text{ kW/s}^2$ 、最大発熱速度 $Q_{\text{max}} = 28,000\text{ kW}$ ）

5. 5 消防活動の安全性の検証

5. 5. 1 方針

消防士が出火区画に至るためのアクセス経路として、堅穴区画された階段を駐車場の四隅に設けている。それゆえ消防士は、出火区画の対角線上の区画（消防活動拠点, FFB）までは安全に進入でき、消火用ホースの展開等の準備活動を行うことができる。

従って以下では、火炎および煙層からの放射に対して消防士が消防活動拠点から火点近傍の放水場所まで到達できるかどうかを検討した。

5. 5. 2 火点へのアクセス

5.4節と同様に、消防士への熱暴露量を求め接近可能性を評価した。ただし、熱暴露量の限界値は $2,500[(\text{kW/m}^2) \cdot \text{s}]$ とする^[註2]。消防士は火点から戻る際も同じ熱暴露を受けるため、火点へアクセスするまでの熱暴露限界はその半分($1,250[(\text{kW/m}^2) \cdot \text{s}]$)となる。

表1の最大規模燃焼時の火炎と煙層の両者に対して放射熱暴露量を計算した結果を図6に示す。地上階では火点から15mまで火点に近づくことができる。放水用ホースの筒先からの放水長さが16mであることを考慮すれば、地上階では火点に直接放水することが可能である。

計算結果は省略するが、地下階では火点から21mまで接近することが可能であり、直接放水はできないが、火災拡大を抑制することは可能である。

図6 火点までのアクセス距離に応じた熱暴露量（地上階）

（ I_{flame} : 火炎からの熱放射 [kW/m^2]、 I_{smoke} : 煙層からの熱放射 [kW/m^2]

5. 6 構造安定性の検証

5. 6. 1 方針

本駐車場の地上階は無耐火被覆鉄骨造、地下階は鉄筋コンクリート造である。地下階は鉄筋コンクリートであるため、十分な構造耐力が維持されと考え、以下では無被覆鉄骨造である地上階について検討した。

5. 6. 2 検証方法

(1) 部材への熱入力

5.2.2節で述べたように、車列火災は燃焼車両から隣接車両へ7.6分間隔で順次延焼し、4台分の燃焼領域が移動する火災性状となる。従って、各部材近傍の4台の盛期燃焼を耐火設計用火源として想定する。

柱、大梁、小梁への熱入力条件は図7(a)に示すように部材が火炎と煙層に接触するか否かにより異なる。柱は、上部は煙層に包まれ、下部は火炎よりの放射熱を受ける。梁は、煙層から長時間加熱され、直近4台の燃焼による火炎からの加熱が加わる。

(2) 部材の最高温度

架構部材のうち、煙層に包まれる部分については、長時間の加熱を受けることから、鋼材温度が煙層温度と等しくなると仮定する。火炎直近の部材については、火炎からの放射または直接加熱に対する鋼材温度上昇を計算し¹³⁾、図7(b)に示すように煙層温度との和を鋼材の最高温度として求める。

(3) 部材の終局耐力

各部材の終局耐力は単純塑性理論⁷⁾に従って全塑性モーメントを計算した。ただし、温度分布が無視できる部材は、限界状態に達する温度（上限部材温度）を用いた。

柱

柱については、全体座屈および局部座屈について検討する。柱は加熱により熱変形を生じ、限界状態では、塑性ヒンジが柱の上端と下端に形成されるので上下端ピン支持として全体座屈を解析する。また、熱変形により1/50程度の水平変位に至った場合に生ずる局部座屈の程度を想定して限界温度を求める。全体座屈、局部座屈それぞれについては耐火性能検証法に従って限界温度を求

め、低い方を上限温度とする。

大梁・小梁

大梁および小梁の支持条件は両端固定支持とする。図7(c)に示すように、部材の温度上昇に伴い部材中央と両端に塑性ヒンジが形成されると限界状態に至る。部材温度が均一の場合には、両端に分配されるモーメントは等しくなるため、告示の方法¹⁴⁾に従って限界温度を計算した。材軸方向に温度分布が生じる場合には、端部と中央部の部材断面毎に全塑性モーメントを求めて、作用モーメントと比較した。

(4) 梁の熱変形に対する制限

部材耐力の検討に加え、梁の熱膨張による架構安定性を検証する。図8に示すように、梁は加熱されることにより少しずつ伸び出しが生じる。このとき、梁の伸びだしは自由膨張の40%程度とし、柱の部材角を求め、これが1/50を越えないことを確認する¹⁴⁾。

図7 各部材に対する加熱条件と計算方法

図8 梁の伸び出しにより柱に生ずる部材角

5. 6. 3 検証結果

検証を行った部材および範囲を図9に示す。各部材の検証結果は表3、4となり、いずれも評価基準を満たす。また、梁の伸びだしに伴う柱の部材角は、車列と平行方向の構面では1/55.5、直角方向の構面では1/100となり、評価基準を満たすことが確かめられた。ここで、注目したいのは、防煙垂れ壁により4つに分割したことが煙層により加熱されて膨張する梁の長さを制限し、架構安定性にも寄与している点である。もし垂れ壁が無いと、車列と平行方向の構面の柱の部材角は1/50を超えるので、架構安定性に対して慎重な検討が必要になる。

図9 検証部材および範囲

表3 部材の検証結果（温度が均一となる部材）

		部材寸法	最高温度 [°C]	限界温度 [°C]
柱	C ₁	□-300x300x12x12	368	538
大梁	G ₃	H-450x250x12x22	244	576

表4 部材の検証結果（温度が不均一となる部材）

		部材寸法	作用モーメント [kN・m]	全塑性モーメント [kN・m]
小梁	b ₃	H-450x200x9x14	19,200	63,500
大梁	G ₄	H-600x250x12x28	38,400	197,400

6. まとめ

開放式駐車場の火災安全設計のケーススタディを行い、在館者の避難安全、消防活動の安全、構造安定性の3つの性能項目について検討を行った。火災安全設計においては、(1)車両の燃焼が1つの車列に収まるような車室レイアウトを採用し、(2)発生した煙は防煙垂れ壁により各階の1/4ずつに限定した。その結果、一時避難場所と消防活動拠点を火区画と反対側の防煙区画に設定して避難経路と消防活動経路を安全かつ明快にした。構造耐火に関しては、架構フレームは無耐火被覆鋼材としたが、防煙区画により梁が高温化する範囲を限定することにより架構の熱変形を限度以内に抑えた。

注釈

- [1] 車両の構成材料のうち、外部放射により着火するおそれのある材料としてポリウレタンを考え、その着火限界熱流束を採用した。
- [2] 防護服を着用した消防士を想定し、通常の避難者の10倍を当面の値として用いている⁸⁾。

謝辞

本報告のケーススタディは、日本建築学会火災安全設計法小委員会および同会近畿支部防災計画部会において議論いただいた。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省大臣官房技術調査室監修、建築物の総合防火設計法、(財)日本建築センター、1989
- 2) 建設省総合技術開発プロジェクト防・耐火性能評価技術の開発報告書、1999年11月
- 3) 小屋かをり、大宮喜文、原田和典、田中哮義、北後明彦、萩原一郎、「性能的火災安全設計法によるテナントオフィスの防炎設計」、日本建築学会技術報告集、第5号、pp.138-141、1997
- 4) 水野雅之、松山賢、田中哮義、萩原一郎、原田和典、大宮喜文、富松太基、「性能的火災安全設計法による超高層オフィスのケーススタディ」、日本建築学会技術報告集、第8号、pp.107-112、1999年6月
- 5) 水野雅之、南部晶子、若松佳世子、松山賢、野竹宏彰、大宮喜文、小林秀雄、富松太基、原田和典、田中哮義「複合商業施設の火災安全設計のケーススタディ」、日本建築学会技術報告集、第13号、pp.91-96、2001年7月
- 6) Daimatsu, S., Hokugo, A., Nambu, A., Nakamichi, A., Notake, H., Matsuyama, K., Yamaguchi, J., Ohmiya, Y., Hagiwara, I., Harada, K., Tomatsu, T., Tanaka, T., "Fire Safety Design of a High Rise Hotel", 4th Int. Conf. on Performance - Based Codes and Fire Safety Design Methods, Case Study Report, Volume I, pp. 1-125, (Melbourne, Australia), March 2002
- 7) (社)日本建築学会編、鋼構造耐火設計指針、1999年1月
- 8) (社)日本建築学会編、建築物の火災安全設計指針、2002年7月
- 9) 山本ほか、「2層3段自走式自動車庫庫の実大火災実験」、GBRC、No.91、(財)日本建築総合試験所、1998.7
- 10) (社)日本鋼構造協会、JSSCテクニカルレポート38、開放型駐車場の火災安全、1997
- 11) 松山ほか、「性能的耐火設計—火災安全設計法を用いたケーススタディ(物販店舗への適用)その2」、日本建築学会大会学術梗概集、pp.269-272、2000
- 12) 田中哮義、建築火災安全工学入門、(財)日本建築センター、平成5年7月
- 13) 原田和典、「鋼材温度上昇の簡易算定式」、日本火災学会平成12年度春期発表会概要集、pp.360-363、2000
- 14) 国土交通省住宅局建築指導課ほか、「2001年度版 耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、平成13年3月

[2002年10月18日原稿受理 2003年2月25日採用決定]