

第2章 地区の防災性能の詳細評価手法

前章では、防災性能が劣る可能性の高い地区を“詳細に検討すべき地区”として抽出する手法について述べた。抽出された地区は、単に防災性能の劣る可能性の高い地区であって、実際に性能が劣るかどうかは、現実に応じた詳細なデータにより検証される必要がある。

本章では、前章による手法により抽出された地区等、町丁目程度（10～30ha）の領域に対して、

i)地区がどの程度の防災性能を有するか（危険性はどの程度か）

ii)地区をどのように改善すれば、どの程度防災性能の向上するか

を精緻に求める手法について述べる。

2.1 延焼危険性の評価手法

2.1.1 評価手法の概要

(1)目的

ここでは町丁目程度（10～30ha）の領域を対象として、個々の建築物、道路、空地、緑被地、河川等の詳細なデータに基づき、これらが市街地火災性状に与える影響を詳細に検討するための評価手法（ミクロ評価）の開発を目的としている。

上記目的を達成するため、市街地火災の延焼シミュレーションモデルの構築、モデルに基づく延焼シミュレーションプログラムの開発を行い、その上で、延焼シミュレーションプログラムを用いて市街地の防火性能を評価する手法を開発した。ここでは、延焼シミュレーションモデルおよびプログラムの計算手続きの概要およびシミュレーションを使った防火性能評価手法について報告する。

(2)ミクロ評価のフレーム

ミクロ評価の流れを図 2.1.1 に示す。以下では、流れの各項目の概要について簡単に述べる。

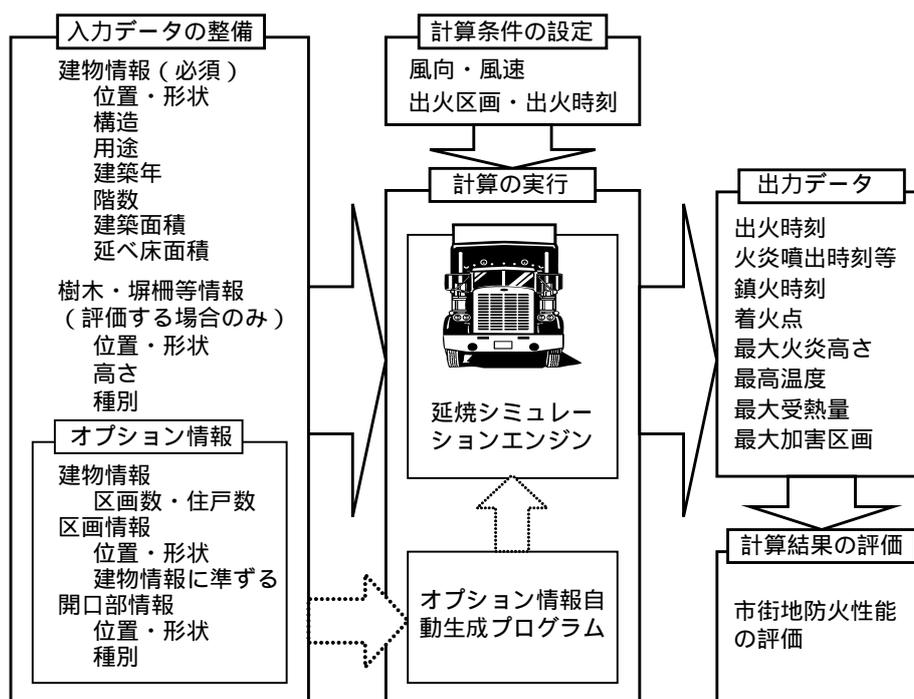


図 2.1.1 市街地防火性能のミクロ評価の流れ

(a)入力データの整備

シミュレーションを用いたミクロ評価を行うためには、「詳細なデータ」が既に存在することが前提となる。必要なデータの主なものは、図 1.2.1.1 の「入力データの整備」に示した通りである。

個々の入力データの内容の詳細については、(4)に後述する。ただし、一般的に入手が特に困難と思われる開口部情報に関するデータ(図 1.2.1.1 のオプション情報)に関しては、比較的入手しやすいデータから推測する手法について本節(4)項に述べる。

(b)計算条件の設定

シミュレーションを実行するためには、初期条件を与える必要がある。初期条件としては、基準高さ 10m における風向・風速、および、出火区画の特定とその出火時刻等である。

(c)計算の実行

シミュレーションを実行すると、与えられた入力データおよび初期条件に基づき、時刻ごとの各区画の火災性状が計算され、計算結果が出力される。シミュレーションの計算内容については、(3)に示す。出力される主なデータは図 1.2.1.1 の出力データの通りである。出力データの詳細、およびその意味については、本項(4)を参照されたい。

(d)計算結果の評価

シミュレーションを実行することにより、 の計算条件で設定した特定条件下における市街地火災の性状が明らかとなる。これにより、たとえば「出火後 3 時間後の焼失建物棟数」等を指標として定量的な評価が可能である。

また、単一の条件による計算結果だけでなく、複数の条件(様々な風向、風速、出火点)における計算結果を集計・分析することで、火災被害の平均値(期待値)等による評価も可能である。

(3)本節の構成

本節では、以下の構成に従ってシミュレーションを用いた市街地評価手法について記述している。

- (i)市街地火災の物理モデルの概要
- (ii)シミュレーションモデル
- (iii)シミュレーションモデルによる評価法
- (iv)ケーススタディ

2.1.2 市街地火災の物理モデルの概要

(1)延焼の単位と火災進行シナリオ

延焼拡大現象は建物から建物へ火災が拡大していく現象と捉えることができるが、建物内の火災は耐火壁や防火壁などのある程度防・耐火性能を有する界壁によって空間的に分離されていれば、建物内の燃焼は一様ではなく、建物単位で延焼拡大過程を考えるよりも、このように分離された空間ごとに考える方がわかりやすい。本モデルでは、「区画」という空間を定義し、個々の区画から区画への熱の授受を計算することで延焼拡大を記述する。区画とは、同時に盛期火災となり、かつ温度が一様に上昇する領域である。

例えば、内部に耐火壁等の無い戸建て住宅は、住宅一棟がそのまま区画となり、耐火建築物では、耐火性能のある壁(耐火壁等)・スラブ等により囲まれた空間が区画となる。住戸の境界ごとに耐火壁が設けられているマンションなどは、建築物中に複数の区画が存在する。

また、現実の市街地には様々な区画が存在し、防・耐火性能や火災性状がそれぞれ異なる。本モデルでは、火災性状に応じて区画を 3 つ(耐火造、防火造、裸木造)のタイプに区分し、それぞれ以下のシナリ

オに従って火災進行するものとした。

- i)耐火造：外部からの加熱に対しては開口部を通して内部の可燃物が発火する可能性があるのみである。火災や熱気流は開放またはガラスの脱落した開口部のみから噴出する。内部が燃え尽きても区画形状は保ったままである。
 - ii)防火造：外部からの加熱に対しては開口部を通して内部の可燃物が発火する。その後開口部のみから火災や熱気流が噴出するが、屋根や外壁は内部の燃焼が進むにつれて順次に崩壊し、最終的に全体が火災となり、やがて燃え落ちる。
 - iii)裸木造：外部からの加熱に対しては、露出した木部に着火する。屋根や外壁は内部の燃焼とともにすぐに燃え抜け、全体が火災となり、やがて燃え落ちる。
- ただし、防火造の内、地震により倒壊（一層以上が崩壊）した区画は、裸木造と見なす。

ここで、着火する可能性のある部位を「着火可能領域」とし、また、出火前の状態を「mode0」、開口部からのみ火災が噴出している状態を「mode1」、開口部および屋根から噴出している状態を「mode2」、区画全体が一体の火災となって燃焼している状態を「mode3」、鎮火後の状態を「mode4」と呼ぶ（図 2.1.2）。また、区画単位で見た市街地のイメージを図 2.1.3 に示す。

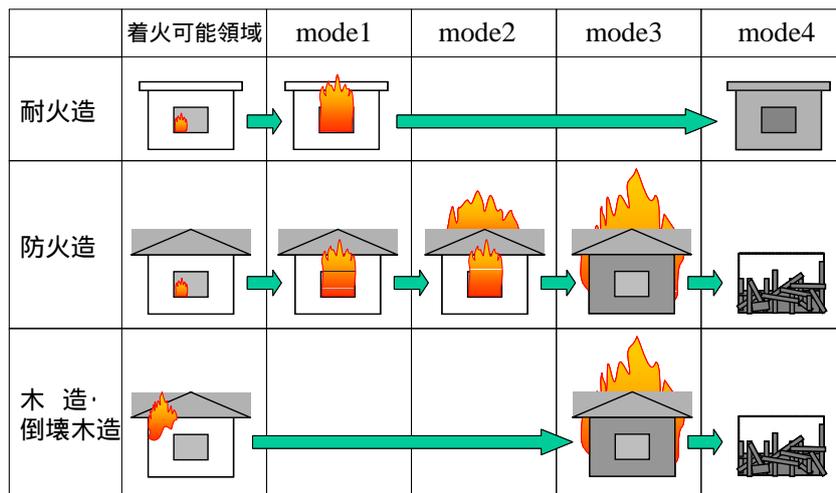


図 2.1.2 区画の構造ごとの火災進行シナリオ

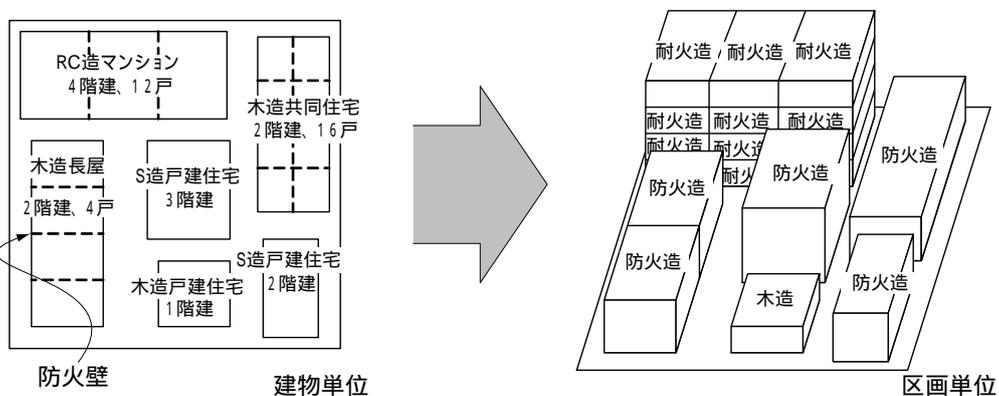


図 2.1.3 区画単位で見た市街地のイメージ

(2)市街地火災のシナリオ

市街地火災を、「出火した区画は個別に火災が進行し、やがて鎮火に至る、その間、外部に火炎・熱気流として熱を放出する、区画外部へ放出された熱は放射熱・対流熱として周囲の区画を加熱する、これにより温度が上昇しやがて着火し、その区画もまた個別に火災が進行する」という個別区画の火災が連鎖するものとしてモデル化し、図 2.1.4 に示す様に、市街地火災のシナリオを仮定した。

このシナリオは、表 2.1.1 に示すサブモデルに分解することが出来き、シミュレーションプログラムでは、これらのサブモデルを組み合わせて、全体のシミュレーションモデルを構築している。以下では、個々のサブモデルの内容について順を追って説明する。

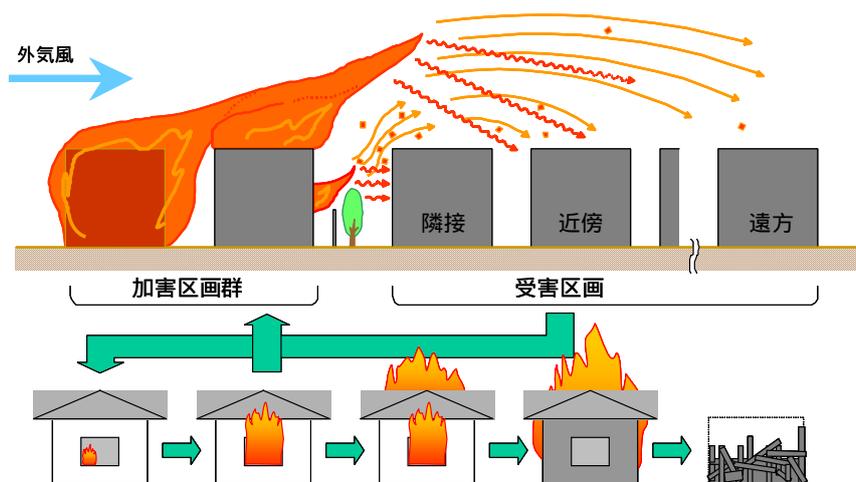


図 2.1.4 市街地火災のシナリオ

表 2.1.1 サブモデル一覧

個別区画の火災成長モデル		
a	可燃物量計算	区画を構成する躯体と、区画内部の収納物の可燃物量の計算
b	換気量計算	火災進展状況ごとの開口部、屋根、外壁を考慮した空気供給量の計算
c	発熱速度計算	換気量と可燃物量から可燃物の燃焼の激しさの計算
区画外部に対する熱源のモデル		
d	火炎形状計算	各開口部、屋根上等、建物周囲に形成される火炎形状の計算
e	火炎合流判定	燃焼建物周囲の火炎が他の火炎と合流するかどうかの判定
到達する熱源のモデル		
f	気流温度計算	周囲の気流温度の計算
g	接炎判定	近傍の火炎に接するかどうかの判定
h	放射受熱量計算	周囲の火炎がどの程度の大きさに見えるかを幾何学計算
温度上昇と出火のモデル		
i	着火判定点計算	着火可能領域の中で、最も早く着火する可能性のある位置を計算
j	温度上昇計算	気流、放射の影響による着火判定点の温度変化を計算

2.1.3 モデルを構成するサブモデル

ここでは 2.1.2 で述べた ~ のそれぞれの計算方法を示す。

なお、本項で用いる記号は以下の通りである。

q_w	: 単位木材あたりの発熱量(=16000)[kJ/kg]	B	: 開口幅[m]
W	: 可燃物重量[kg]	\dot{q}''	: 可燃物表面積あたりの発熱速度(=100)[kW/m ²]
W_b	: 固定可燃物重量[kg] (構造部材、内装材など)	T_r	: 区画内温度、火災表面温度(=1073)[K]
W_l	: 積載可燃物重量[kg] (家具などの収納可燃物)	T_∞	: 外気温度(=293)[K]
A_{floor}	: 延べ床面積[m ²]	α_g	: 火災成長率(=0.2)[kW/s ²]
A_1	: 建築面積[m ²]	Q	: 区画の発熱速度[kW]
H_c	: 天井高さ[m]	C_p	: 空気の定圧比熱(=1.0)[kJ/kg/K]
w_1	: 積載火災荷重[kg/m ²]	D	: 火源寸法[m]
$A_{f,b}$: 可燃物表面積[m ²]	Fr	: フルード数
$A_{f,l}$: 収納可燃物の表面積[m ²]	g	: 重力加速度[m/s ²]
$A_{f,c}$: 壁・床の表面積[m ²]	h	: 対流熱伝達率[kW/m ² /K]
$A_{f,s}$: 構造体の表面積[m ²]	I_c	: 対流伝熱量[kW/m ²]
N	: 階数	Q	: 燃焼発熱速度[kW]
ρ_{in}	: 区画内密度[kg/m ³]	T_0	: 周辺空気温度[K]
ρ_∞	: 外気密度[kg/m ³]	T_{max}	: 対象未燃家屋位置での空気温度の最高値[K]
g	: 重力加速度[m/s ²]	U	: 代表風速(地上10m高さ相当位置での風速)[m/s]
U_z	: 高さ z における風速[m/s]	x	: 主流方向[m]
Z_n	: 中性帯高さ[m]	z	: 鉛直方向[m]
P_w	: 風圧[Pa]		: 温度上昇値[K]
c	: 風圧係数[-]		: 風速の無次元パラメータ
m_{in}	: 流入量[kg/s]	θ	: 周辺空気密度[kg/m ³]
m_{out}	: 流出量[kg/s]	x	: 温度無次元パラメータ
α	: 流量係数(=0.7)[-]		
H_u	: 開口部上端高さ[m]		
H_l	: 開口部下端高さ[m]		

(1)可燃物量

(a)可燃物重量 W [kg]

可燃物重量は、可燃物を同じ発熱量となる木材に換算した重量で表し、この重量に単位木材あたりの発熱量 q_w [kJ/kg] を乗じることで区画の総発熱量を得ることが出来る。構造部材・内装材などの固定可燃物量と、家具などの積載可燃物量に分けて、式(1)~(4)により計算する。

$$W = W_b + W_l \quad (1)$$

固定可燃物重量は、建築物の構造が木質系の場合と不燃系の場合で大きく異なるので、それぞれの場合にわけて算定方法を示す。

固定可燃物重量

図 2.1.5 は、昭和初期から平成 8 年の実大火災実験での、木質系建物の単位床面積当りの固定可燃物量(固定火災荷重という) [kg/m²]についてまとめたものである。最上階とそれ以外の階(途中階)に分けて示す理由は、最上階の固定火災荷重には、屋根の重量が含まれることと、在来工法では、上階の床面積が下階よりも小さくなることによる。丸で囲んだ部分(昭和 13 年の東大実験)を除けば、工法(在来~2×4)や構造(裸木造~木造準耐火)によらず、最上階については約 150kg/m²、途中階については約 60kg/m²であることがわかる。このデータから、木質系建築物の固定可燃物重量[kg]は次式によって算出される。

$$W_b = 60A_{floor} + 90A_i \quad (\text{木質系建築物の場合}) \quad (2)$$

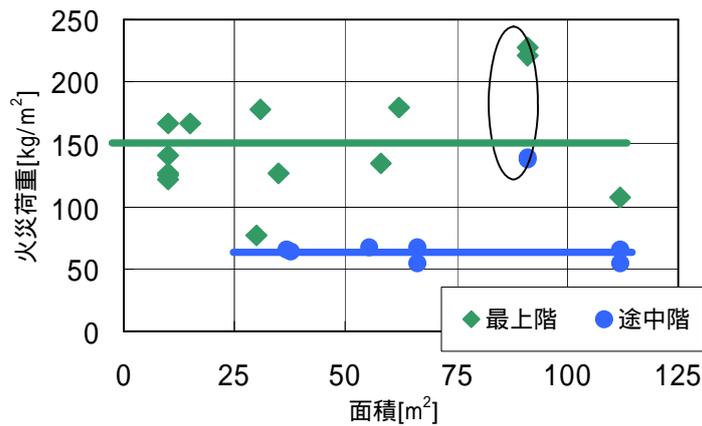


図 2.1.5 各階の床面積と火災荷重

一方、準耐火建築物・耐火建築物のような、躯体が不燃性材料で作られている防火性の高い建築物については、固定可燃物として算定するのは内装材のみとなる。よって内装面積に内装材料の単位面積当りの発熱量を乗じたものが、固定可燃物量となる。ここで、住宅を対象とした調査結果より、住宅での単位床面積当りの壁長さは 0.5m/m² であり、さらに住宅で一般的な内装仕上げ(石膏ボードにビニル壁紙をはった仕上げ=難燃材料)の単位床面積あたりの発熱速度は 1.5kg/m² であることから、不燃系建物の固定可燃物量は次式で算定される¹⁾。

$$W_b = 0.5 \times 1.5 \times H_c \times A_{floor} \quad (\text{不燃系建築物の場合}) \quad (3)$$

積載可燃物重量

単位床面積当りの収納可燃物量(積載火災荷重) [kg/m²]は、対象となる区画の用途によって異なる。用途区分は都市計画基礎調査の建物用途現況区分を基本とし、各用途区分ごとの積載火災荷重は表 2.1.2 に示すとおりである。

$$W_l = w_l \times A_{floor} \quad (4)$$

表 2.1.2 区画用途区分と積載可燃物重量

用途番号	区画用途区分	積載可燃物量[kg/m ²]
1	業務施設	22.3
2	商業施設	19.6
3	宿泊施設	10.9
4	娯楽施設	19.6
5	遊戯施設	19.6
6	商業系用途複合施設	19.6
7	住宅	27.5
8	共同住宅	27.5
9	店舗併用住宅	27.5
10	店舗併用共同住宅	27.5
11	作業所併用共同住宅	27.5
12	官公庁施設	22.3
13	文教厚生施設(A)	16.8
14	文教厚生施設(B)	16.8
15	運輸倉庫施設	64.8
16	重工業施設	35
17	軽工業施設	35
18	サービス工業施設	35
19	家内工業施設	35
20	危険物貯蔵・処理施設	実態による
21	農林漁業用施設	実態による
22	その他	実態による

可燃物表面積 $A_{f,b}$ [m²]

可燃物表面積は、可燃物が酸素と接し得る面積を表し、式(5),(6)¹⁾,(7),(8)により求める。これは単位時間当たりの発熱量（以下、発熱速度とする）の上限値を規定する。

$$A_{f,b} = A_{f,d} + A_{f,c} + A_{f,s} \quad (5)$$

$$A_{f,d} = 0.54w_i^{1/3} A_{floor} \quad (6)$$

$$A_{f,c} = N \times 2 \times A_1 + 4 \times A_1^{1/2} \times H_c \times 2 \quad (7)$$

$$A_{f,s} = 0.09(W_b/A_1)^{2/3} A_{floor} \quad (8)$$

ただし、地震等により区画が倒壊した場合、見つけの表面積が著しく減少すると考えられるので、式(5)に代えて、全可燃物量に対して収納可燃物の表面積算定式を適用し式(9)により求めることとした。

$$A_{f,b} = 0.54(W/A_1)^{1/3} A_{floor} \quad (9)$$

流入空気量

流入空気量は、上記の可燃物表面積とともに、発熱速度の上限値を規定するもう一つの因子である。区画が mode3 では、区画の燃焼部位には十分な空気が供給され、発熱速度は可燃物表面積のみに依存するが、mode1 または mode2 では、区画内部への流入空気量は開口部の条件により異なり、これが少ない場合には可燃物表面積によらず発熱速度が制限される。

i) 圧力差と中性帯高さ

図 2.1.6 は、外気風による圧力を考慮した区画内外の圧力分布を図示したものである。中性帯高さ($z = Z_n$)では、式(10)が成り立つ。

$$P_\infty + P_w - \rho_\infty g Z_n = P_m - \rho_m g Z_n \quad (10)$$

ここで、 ρ_m 、 ρ_∞ は、 $\rho_m = 353/T_i$ [kg/m³]、 $\rho_\infty = 353/T_\infty$ [kg/m³]とする。

$\Delta P = P_\infty - P_m$ とすると、中性帯高さ Z_n は式(11)として得られる。

$$Z_n = \frac{\Delta P + P_w}{(\rho_\infty - \rho_{in})g} \quad (11)$$

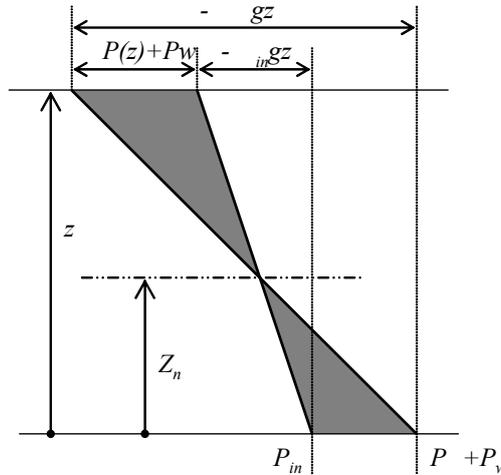


図 2.1.6 区画内外の圧力差

ここで、 P は未知であるが、式(11)および本項(b)から P に依存して各開口部の m_{in} および m_{out} を求めることができ、区画内の質量保存則 (式(12)) を満足すると仮定して P を求めることで得られる。このときの $\sum m_{in}$ が当該 mode における流入空気量である。

$$\sum m_{out} = \sum m_{in} \quad (12)$$

なお、風圧 P_w は式(13)として得られる。 U_z は、高さ z [m]における風速であり、べき数を 1/4 とするべき乗則(13)式により基準高さ 10[m]の風速 U_{10} から求める。 c は風圧係数[-]であり、同一壁面上でも位置によって異なるが、風向と壁面法線の成す角 θ を用いて、式(14)としてモデル化を行った。

$$P_w = c \frac{1}{2} \rho_\infty U_z^2 \quad (13)$$

$$U_z = U_{10} \cdot (Z/10)^{1/4} \quad (13)$$

$$c = \begin{cases} 0.8 & (-1 < \cos \theta < -0.9) \\ -\frac{1.3}{0.9} \cos \theta - 0.5 & (-0.9 \leq \cos \theta \leq 0) \\ -0.5 & (0 < \cos \theta < 1) \end{cases} \quad (14)$$

ii)個別開口部の開口流量

個別の開口部ごとに、開口部の上下端高さ、中性帯高さ等の関係から、個別開口部の流入・流出量が(15)~(18)式の通り計算出来る。

ア)壁面開口流量 ($Z_n \leq H_l$ のとき)

$$\begin{aligned} m_{out} &= \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_{in}(\rho_\infty - \rho_{in})} \left\{ (H_u - Z_n)^3 - (H_l - Z_n)^3 \right\} \\ m_{in} &= 0 \end{aligned} \quad (15)$$

イ)壁面開口流量 ($H_l < Z_n < H_u$ のとき)

$$\begin{aligned}
m_{out} &= \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_{in}(\rho_{\infty} - \rho_{in})} (H_u - Z_n)^{\frac{3}{2}} \\
m_{in} &= \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_{\infty}(\rho_{\infty} - \rho_{in})} (Z_n - H_l)^{\frac{3}{2}}
\end{aligned}
\tag{16}$$

ウ)壁面開口流量 ($H_u \leq Z_n$ のとき)

$$\begin{aligned}
m_{out} &= 0 \\
m_{in} &= \frac{2}{3} \alpha B \sqrt{2g\rho_{\infty}(\rho_{\infty} - \rho_{in})} \left\{ (Z_n - H_l)^{\frac{3}{2}} - (Z_n - H_u)^{\frac{3}{2}} \right\}
\end{aligned}
\tag{17}$$

エ)屋根開口流量 (mode2 の場合で、 $-(\Delta P + P_w) + gH_c(\rho_{\infty} - \rho_{in}) > 0$ のときのみ)

$$\begin{aligned}
m_{out} &= \alpha A_{floor} \sqrt{2\rho_{in} \{ -(\Delta P + P_w) + gH_c(\rho_{\infty} - \rho_{in}) \}} \\
m_{in} &= 0
\end{aligned}
\tag{18}$$

(3)発熱速度

(a)個別区画の火災進行シナリオ

前項までに求めた発熱速度の上限値に加えて、以下の火災進行シナリオを仮定することで、図 2.1.6 に示すとおり区画の発熱速度曲線を描くことができる。

- ・全可燃物の 40% が燃焼した時点で減衰期に入る。
- ・全可燃物の 40% が燃焼せずに燃え残る。
- ・減衰期は時間に対して線形に発熱速度が減少する。
- ・防火造区画や耐火造区画における t_{FO1} は、原則として発熱速度が mode1 の上限値に達した時点を目指す。その時点の区画内部の温度が 873[K]未満の場合は、区画内温度が 873[K]以上となった時点とする。
- ・防火造区画の場合、 t_{FO1} から屋根崩壊時間 t_1 [s] (地震被害の無い場合は $t_1 = 1200$ [s]) 経過後に mode2 へ移行し、外壁崩壊時間 t_2 [s] (地震被害の無い場合は $t_2 = 1800$ [s]) 経過後に mode3 へ移行する。ただし、mode3 移行前に減衰期に入った場合であっても、減衰期に入った時点で mode3 に移行する。
- ・外壁開口部に設けられた防火設備は t_{FO1} から防火設備崩壊時間 t_3 [s] (地震被害の無い場合は $t_3 = 1200$ [s]) 経過後に脱落する。
- ・mode の移行後は、移行時刻からの経過時間の 2 乗に比例して発熱速度が増加する (比例定数を火災成長率とする)。
- ・各 mode における発熱速度の上限値に達した時点で発熱速度は一定となる。

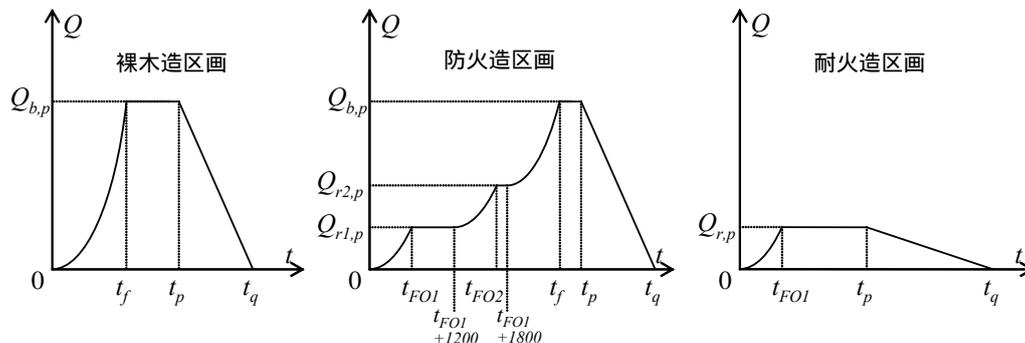


図 2.1.6 構造毎の火災進行曲線

以下では、各区画の発熱速度曲線の導出過程について述べる。

(b)パラメータの設定

防火造区画の屋根崩壊時間 t_1

防火地域または準防火地域内の防火造区画の屋根は屋外からの加熱に対して不燃性能（通常の火災による火熱に対して 20 分間燃焼しないこと、など）が要求されている。区画内部の火災に対しては必ずしも性能が担保されないが、これに準じて、地震被害の無い場合の屋根崩壊時間を以下とする。

$$t_1=1200[\text{s}]$$

地震による影響により、屋根の一部が崩壊する可能性がある。ここでは、地震被害が区画火災の進行に与える影響を崩壊時間の短縮として表現する。具体の短縮時間については、2.1.4 で後述する（以下、 t_2 、 t_3 も同様）。

防火造区画の外壁崩壊時間 t_2

防火地域または準防火地域内の防火造区画の外壁の防火性能としては、防火構造（周囲で起こる通常の火災に対して 30 分間耐火）を要求している。1)と同様に、区画内部の火災に対しては規定は存在しないが、これに準じて、地震被害の無い場合の外壁崩壊時間を以下とする。

$$t_2=1800[\text{s}]$$

防火設備崩壊時間 t_3

防火設備の防火性能としては、遮炎性能（通常の火災による火熱に対して 20 分間燃焼しないこと）又は準遮炎性能（周囲で起こる通常の火災に対して 20 分間耐火）を要求している。準遮炎性能の場合は、区画内部の火災に対しては必ずしも性能が担保されないが、これに準じて、地震被害の無い場合の防火設備崩壊時間を以下とする。

$$t_3=1200[\text{s}]$$

火災成長率

NFPA（米国防火協会）において、火源の成長速度が大きな物は「Ultra-Fast」として、以下の成長率とされている。ここでは、これを用いて以下とする。

$$\alpha_g=0.2[\text{kW/m}^2]$$

(c)防火造区画の発熱速度曲線の導出

出火後の時刻ごとの発熱速度は以下の式により求める。

$$Q = 0.2t^2 \quad 0 \leq t \leq t_{FO1} \quad (19)$$

$$Q = Q_{r1,p} \quad t_{FO1} \leq t \leq t_{FO1} + 1200 \quad (20)$$

$$Q = Q_{r1,p} + 0.2 \cdot \{t - (t_{FO1} + 1200)\}^2 \quad t_{FO1} + 1200 \leq t \leq t_{FO2} \quad (21)$$

$$Q = Q_{r2,p} \quad t_{FO2} \leq t \leq t_{FO1} + 1800 \quad (22)$$

$$Q = Q_{r2,p} + 0.2 \cdot \{t - (t_{FO1} + 1800)\}^2 \quad t_{FO1} + 1800 \leq t \leq t_f \quad (23)$$

$$Q = Q_{b,p} \quad t_f \leq t \leq t_p \quad (24)$$

$$Q = \frac{Q_{b,p}}{t_q - t_p} (t_q - t) \quad t_p \leq t \leq t_q \quad (25)$$

また、各 mode における発熱速度の上限値および、上限値に至る時刻は以下の式により得られる。

$$Q_{r1,p} = \min(3200m_{in}, \dot{q}'' A_{f,b}) \quad (26)$$

$$t_{FO1} = \sqrt{\frac{Q_{r1,p}}{0.2}} \quad (27)$$

$$Q_{r2,p} = \min(3200m_{in}, \dot{q}'' A_{f,b}) \quad (28)$$

$$t_{FO2} = (t_{FO1} + 1200) + \sqrt{\frac{Q_{r2,p} - Q_{r1,p}}{0.2}} \quad (29)$$

$$Q_{b,p} = \dot{q}'' \cdot A_{f,b} \quad (30)$$

$$t_f = (t_{FO1} + 1800) + \sqrt{\frac{Q_{b,p} - Q_{r2,p}}{0.2}} \quad (31)$$

t_p 、 t_q は、それぞれ式(32),(33)を満たす t_q 、 t_q となる。

$$\int_0^{t_p} Q dt = 0.4q_w W \quad (32)$$

$$\int_0^{t_q} Q dt = 0.6q_w W \quad (33)$$

(4)区画内火災温度

区画内の燃焼により区画内の温度は徐々に上昇し、その温度が 873[K]となった時点で、火炎の噴出が開始するとする。

定常状態を仮定し、区画内のエネルギー収支を考えれば、以下の関係が成り立つ。

$$\dot{Q} = \dot{m}_{in} c_p (T - T_0) + \dot{Q}_L$$

ここで、 $\dot{Q}_L = h_k A_T (T - T_0)$ 、 $h_k = (k\rho c/t)^{1/2}$

この関係を発熱速度が変化している場合にも適用し、 t_s を、「当該時刻における発熱速度が定常的に存在した場合に、区画内温度が当該時刻における温度に達するまでに要する時間」とし、以下の式により区画内温度を仮定する。

$$\Delta T(t) = \dot{Q}(t) / \left\{ c_p \dot{m}_{in} + \left(\frac{k\rho c}{t_s + \Delta t} \right)^{1/2} A_T \right\}$$

$$t_s = k\rho c \left\{ A_T / \frac{\dot{Q}(t)}{\Delta T(t - \Delta t)} - c_p \dot{m}_{in} \right\}^2$$

$$T(t) = T_0 + \Delta T(t)$$

(5)火災形状モデル

(a)火災形状の考え方

火災は mode1 の区画内温度が 873[K]以上となったとき以降、および mode2、mode3 のときに区画外部へ噴出する。火災形状は火炎軸により代表させ、その方向と長さにより表す。

i)mode1 の場合の火災形状の考え方

mode1 の場合は個々の開口部から燃焼ガスが噴出し火炎を形成する。各開口部からの噴出火炎の発熱速度 Q_{op} [kW]は式(34)により求める。

$$Q_{op} = Q \frac{m_{out}}{\sum m_{out}} \quad (34)$$

火炎軸の基点は開口部の下端と中性帯高さのいずれか高い方の水平方向中央とする。

なお、火炎軸の方向は火炎基点から先端に向かう単位ベクトル、火炎軸の長さは基点から先端までの距離として表す。

ii) mode2、mode3 の場合の火炎形状の考え方

mode2 または mode3 の場合、個々の開口噴出火炎の形状は求めず、一つのまとまった火炎を形成するものとし、火炎軸の基点は区画重心（高さ $H_c/2$ ）とする。

なお、火炎軸の方向、および火炎軸の長さは mode1 の場合と同様である。

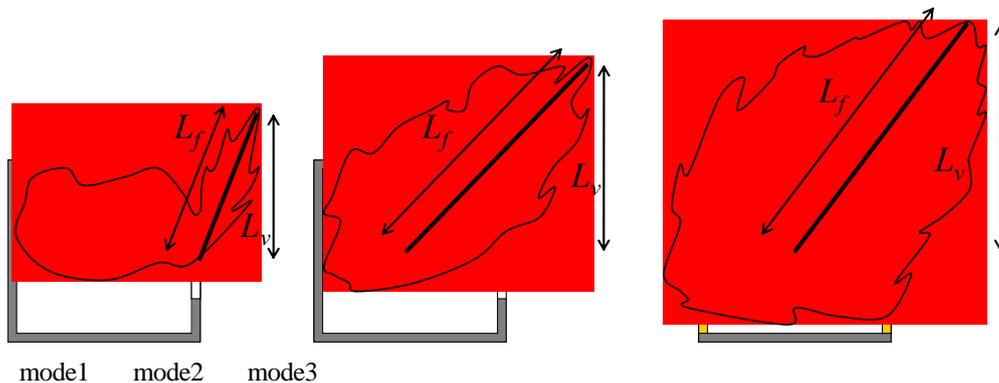


図 2.1.7 mode ごとの火炎形状

(b) 火炎軸の方向

火炎軸は、図 2.1.8 の通り座標軸をとり、水平方向の向きを α 、水平面からの立ち上がり角度を ϕ とすると、式(35)により表すことができる。

$$(f_x, f_y, f_z) = (\cos \alpha \cdot \cos \phi, \sin \alpha \cdot \cos \phi, \sin \phi) \quad (35)$$

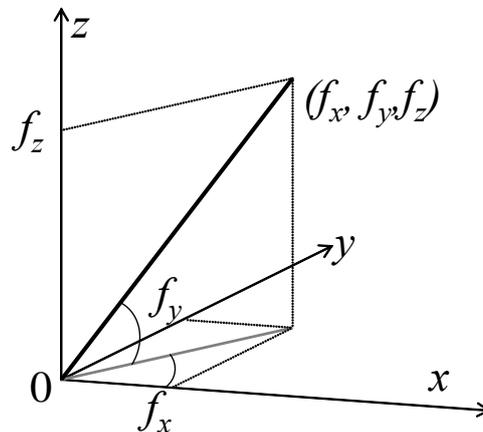


図 2.1.8 火炎の方向ベクトル

本モデルでは、 α は風向と同一方向をとることとし、 ϕ は火災実験の結果からモデル化を行い、式(36)²⁾、(37)、(38)を得た。

$$\begin{cases} \sin \phi = 1 & F_r^2 / Q_f^{*2/3} \leq 0.98^5 \\ \sin \phi = 0.98 (F_r^2 / Q_f^{*2/3})^{-1/5} & 0.98^5 < F_r^2 / Q_f^{*2/3} \leq 20 \\ \sin \phi = 2.6 (F_r^2 / Q_f^{*2/3})^{-2/3} & 20 < F_r^2 / Q_f^{*2/3} \end{cases} \quad (36)$$

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{gD}} \quad (37)$$

$$Q_f^* = Q / \rho_\infty C_p T_\infty g^{1/2} D^{5/2} \quad (38)$$

ここで、 D は火源の代表長さ[m]であり、式(39)、(40)により求める。

$$D = 2 \times r_f \quad (39)$$

$$r_f = \begin{cases} \sqrt{A_1/\pi} & \text{mode3又はmode2のとき} \\ \sqrt{A_{op}/\pi} & \text{mode1のとき} \end{cases} \quad (40)$$

A_{op} : 開口部面積[m²]

(c)火炎軸の長さ

火炎軸長さは風による影響を無視しうるが示されている²⁾。

また、mode1 に対応する開口部での無風時の火炎長さとして、式(41)が示されている。

$$L_{f,c} = 30r_f \exp\left\{-132\left(\frac{r_f^5}{Q_{op}^2}\right)^{1/3}\right\} + L_{op} \quad (41)$$

L_{op} : 開口部上端から火炎軸基点までの距離[m]

mode2,3 に対しては、無風時の自由空間中の火炎高さについて式(42)が提案されている³⁾。これは区画底部を基点に取った式であるため、本モデルでは、区画高さの 1/2 を減じて、式(43)とした。また、式(42)では、 $Q_f^* < 0.3$ の範囲は定義されていないが、本モデルでは便宜的に適用範囲を拡張して用いることとした。

$$L_f = 3.3Q_f^{*n} D \quad \begin{cases} n = 2/3 & 0.3 \leq Q_f^* < 1.0 \\ n = 2/5 & 1.0 \leq Q_f^* \end{cases} \quad (42)$$

$$L_{f,c} = 3.3Q_f^{*n} D - 0.5H_c \quad \begin{cases} n = 2/3 & Q_f^* < 1.0 \\ n = 2/5 & 1.0 \leq Q_f^* \end{cases} \quad (43)$$

以上により、火炎先端位置が求まるが、区画が mode1 の場合で、火炎軸の方向が噴出面の内側へ向くときは、当該火炎の噴出面を含む平面上に火炎先端を投影し、火炎軸の方向、長さを修正する。

また、火炎軸が他の壁面や他の区画、扉柵等に交わる場合には、その交点を火炎先端とし長さを修正する。

(6)火炎合流

合流の影響評価

火炎合流による影響は、火炎合流により火炎の長さが増大する影響を考慮する。ただし、個別の火炎の形状が変化するのはではなく、増大した分の火炎を表す火炎を別途仮想的に発生させる。火炎の長さが増大することで、近傍では受熱面からみた形態係数が大きくなり、また、より遠方へ火熱が到達することとなる。

合流判定

2つの火炎区画間の合流判定は、既往研究と火災実験結果をふまえ、式(44)に示す火炎長さ L_f [m]と火炎区画の間隔 S [m]からなる無次元距離 g によって判定する。

$$g = S/L_f \quad (44)$$

ここで、 $g < 0.14$ の場合、合流するものとする。

なお、式(44)の火災区画の間隔 S 及び火炎長さ L_f は、図 2.1.9 のように、両区画の面積及び発熱速度が均一と考えて算出する。すなわち、火炎長さ L_f は両区画の平均発熱速度に基づく火炎長さとし、火災区画の間隔 S は両区画を、それぞれの重心を中心とする両区画の平均面積と等しい半径 r [m] の円に置き換えたときの 2 つの円の間隔とする。

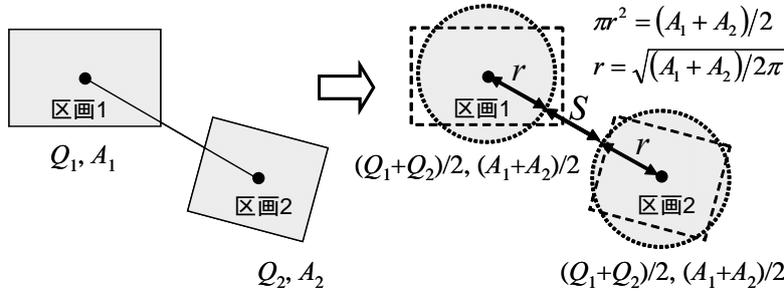


図 2.1.9 合流判定における火災区画の間隔

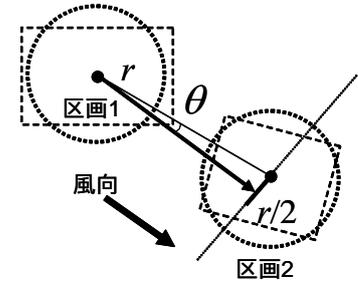


図 2.1.10 風向による合流条件

さらに有風下では、風向との関係も考慮する。これは、図 2.1.9 をふまえ、図 2.1.10 のように風下側の火災区画（区画 2）の重心からの円の半径の半分以上に、風上側火災区画の重心から風向に平行な垂線の足が入ることも合流の条件とした。すなわち、両区画の重心を結ぶ直線と風向のなす角を θ として、式(45)の条件を満たすこととした。

$$(2r + S)\sin \theta \leq r/2 \quad (45)$$

r : 2 つの火災区画の平均面積と同じ面積の円の半径[m]

(7)接炎

受熱側区画の出火は次に記述する(h)放射や、(i)熱気流による伝熱により評価される。しかしながら、後述するように、計算上容易となるように、放射源の位置を離散的に扱っているため、条件によっては正しく計算されないことが発生する。接炎は火炎が着火可能領域に接触することで発生することとし、接炎発生から 300[s]後に接炎を受けた区画が出火するものとした。

本モデルでは、火炎を火炎軸を中心とした式(40)に示す半径 r_f の円筒形状と見なし、その円筒領域と着火可能領域との相対関係から幾何学計算することにより接触するかどうかを判定する。

(8)放射

単一の火炎からの距離 d [m]における放射受熱流束 I [kW/m²]は簡易的には次式で計算出来ることが示されている⁴⁾。しかしながら同時に、火源径を r として、 $d < 4r$ の範囲では火炎高さ・形状を考慮した綿密な計算が必要とされている。

$$I = \frac{\chi Q}{4\pi d^2} \cos \theta \quad (46)$$

χ : 発熱量に対する放射により失われる熱量の割合(=1/3)

本モデルでは火炎軸を複数に分割しそれぞれの分割点に仮想火源を配置することで火炎形状を考慮することとした(式(47))。

ここで、 i は個々の仮想火源を識別する番号、 Q_i 、 d_i 、 θ_i はそれぞれ、 i 番目の仮想火源についての、発熱速度[kW]、受熱点からの距離[m]、受熱面との成す角[rad]である。

$$I = \sum_i \frac{\chi Q_i}{4\pi d_i^2} \cos \theta_i \quad (47)$$

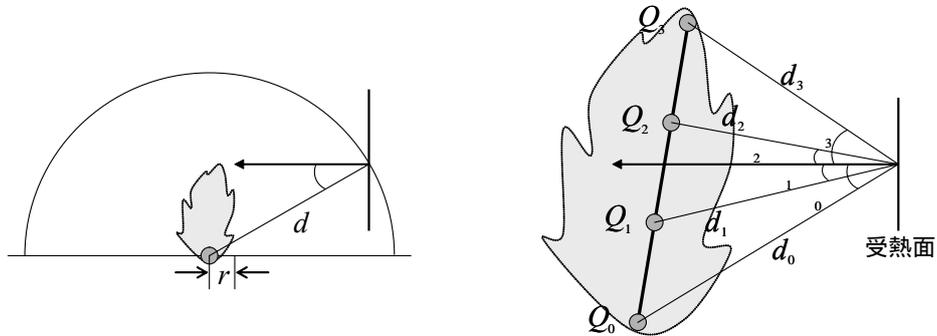


図 2.1.11 放射熱流束の計算方法

(a) Q_i の計算方法

火炎の軸上温度分布は式(48)により近似できる⁴⁾。

$$T_f(z) = \begin{cases} 800 + 273 & (0 < z < 0.08Q^{2/5}) \\ \frac{64Q^{2/5}}{z} + 273 & (0.08Q^{2/5} \leq z \leq 0.2Q^{2/5}) \end{cases} \quad (48)$$

z : 火炎軸上点の軸下端からの距離[m]

上式から火炎軸長さ L [m]を用いて $L=0.2Q^{2/5}$ とすると式(47)を得る。

$$T_f(z) = \begin{cases} 800 + 273 & (0 < z < 0.4L_w) \\ \frac{64}{0.2} \cdot \frac{L_w}{z} + 273 & (0.4L_w \leq z \leq L_w) \end{cases} \quad (49)$$

分割した仮想火源の火炎温度は、仮想火源位置に対応する z から求めることができる。仮想火源個別の発熱速度 Q_i は、放射能が絶対温度の 4 乗に比例することから、火炎全体の発熱速度 Q を、火炎温度の 4 乗に応じて比例配分することにより得る。

$$Q_i = \frac{\{T_f(z_i)\}^4}{\sum_j \{T_f(z_j)\}^4} Q \quad (50)$$

i, j : 分割した仮想火源を識別するサフィックス

(b) 火炎の可視判定による補正

区画・塀柵等による遮蔽

受熱点から火炎を見たとき、他の区画あるいは塀柵等により一部が隠されることが起こりえる。本モデルでは、分割した仮想火源のそれぞれが受熱点から見通せるかどうかを幾何学計算により判定し、見通せない(つまり、受熱点と仮想火源を結ぶ線分が他の壁面・塀柵等に交わる)仮想火源は $Q_i = 0$ とする。

火炎による遮蔽

複数の火炎が存在するとき、遠方の火炎が近傍の火炎により隠されることがある。遠方の火炎が見える割合を γ として求め、各火炎からの最終的な放射受熱流束 I_r を式(51)により求めることとする。

$$I_r = \gamma I \tag{51}$$

を求めるためにまず、後述する(c)火炎球へのモデル化の方法により、受熱点での受熱流束が火炎と同じになるような、表面温度 $T_r = 1073[\text{K}]$ の球状黒体 (以下、火炎球) に置き換えることとする。これを、受熱点を中心とする単位半球面上に投影すると、半径はそれぞれ、 $R_1' = R_1/d_{g1}$ 、 $R_2' = R_2/d_{g2}$ の円となり、2円の重なり面積 C を求めることが出来る。これにより式(52)により γ を得る。

$$\gamma = (R_2'^2 - C) / R_2'^2 \tag{52}$$

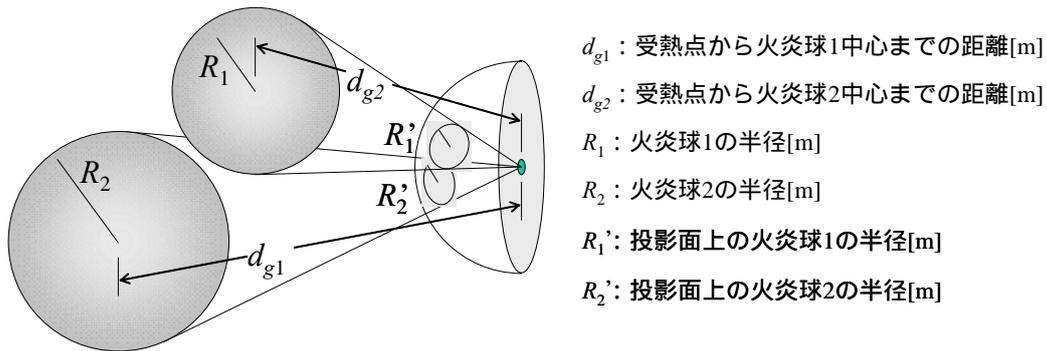


図 2.1.12 複数火炎の重なり計算方法

本モデルでは、重なり部分の形状を、2円の交点間距離を長軸に、2円の中心軸上の重なり部分の幅を短軸にとった楕円形に近似して面積 C を求めることとした (ただし、 a が2円のうち小さい方の円の直径より短い場合は、その直径とする)。2円が2交点を持たない時は、 $C = 0$ (2円が完全に離れているか、外側で接する時) 又は、 $C = (\text{小さい方の円の面積})$ (大円に小円が完全に含まれる時) とする。

長軸を a 、短軸を b 、2円の中心間距離を d と置くと、

$$C = ab/4 \tag{53}$$

$$a = 2 \sqrt{R_2'^2 - \left(\frac{d^2 + R_2'^2 - R_1'^2}{2d} \right)^2} \quad (R_1' > R_2' \text{ のとき}) \tag{54}$$

$$b = R_1' + R_2' - d \tag{55}$$

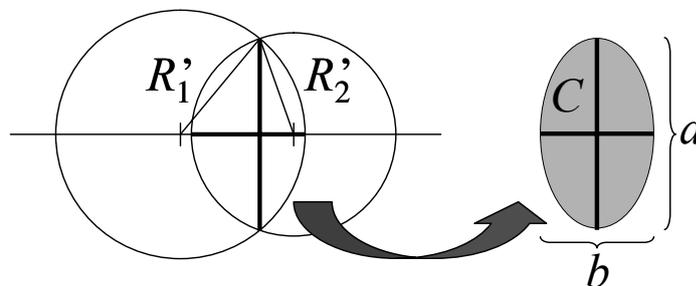


図 2.1.13 重なり部分の面積の求め方

複数の火炎により遮蔽される場合には、個々の火炎が重なる部分の面積 C_n を上記の方法により個別に求

め、それを合計する。

$$\gamma = \left(\pi R_2^2 - \sum_n C_n \right) / \pi R_2^2 \quad (56)$$

(c) 火炎球へのモデル化

火炎球の中心位置は、各仮想火源に式(47)で得られる受熱点への入射熱流束の重みを持たせたときの重心とする（ただし、各仮想火源を正面に見るものとして、 $i=0$ とする）。よって、重心位置は、式(57)を満足する z_g 、すなわち式(58)により得られる。

$$\sum_i \{ (z_g - z_i) \cdot Q_i / d_i^2 \} = 0 \quad (57)$$

$$z_g = \sum_i \left(z_i \frac{Q_i}{d_i^2} \right) / \sum_i \left(\frac{Q_i}{d_i^2} \right) \quad (58)$$

上式より求めた火炎球中心と受熱点との距離を d_g とすると、火炎球の半径を R としたときの受熱点から見た火炎球の形態係数 F は、式(59)となり、火炎球からの受熱流束は式(60)として与えられ、これらを変形して式(61)となる。

$$F = (R / d_g)^2 \quad (59)$$

$$I = \varepsilon \sigma F T_r^4 \quad (60)$$

$$R = \sqrt{I d_g^2 / \varepsilon \sigma T_r^4} \quad (61)$$

：火炎の輻射率[-]、 σ ：ステファンボルツマン定数[kW/m²K⁴]

(9) 樹木への接炎モデル

放射の計算において、既に述べたが、塀柵・樹木により、火炎の一部が隠れる時には放射熱の影響が小さくなる。樹木に接炎が発生すると、直ちに燃え尽き、遮蔽効果が無くなることとした。接炎の判定は、区画への接炎と同一の方法による。

(10) 熱気流

受熱点での熱気流による受熱流束 I_c は、式(61)を用いて、下式で表される。

$$I_c = h \times \Delta T_c \quad (62)$$

h ：対流熱伝達率[kW/m²K]

受熱点における温度上昇 T_c の算出方法は以下の通りである。

(a) 予熱に寄与する区画の種類

ある未燃区画（図 2.1.14 黒）が周辺の火災（図 2.1.14 グレー）からの熱気流に曝されているとする。図 2.1.15 の一点鎖線は、対象未燃区画の中心を通り、かつ、風向に沿うラインである。対象未燃区画の位置を O とし、一点鎖線を基準線として、これを時計方向に 15° 回転したものを線分 OA 、反時計方向に 15° 回転したものを線分 OB とする（図 2.1.16）。対象未燃区画に対して、熱的影響を及ぼし得る火災の候補として、線分 OA と線分 OB に挟まれる領域内の火災を考えるものとする。これに当てはまる火災を斜線で

示す(図 2.1.16)。対象未燃区画は、近傍の火災家屋および遠方の火災区画群から熱的影響を受けるものとする。ここで、火災区画とは、熱的影響を及ぼし得る火災の候補(図 2.1.16 斜線)の内、風上側に 10m ~ 40mの領域内にあるものの中で、対象未燃区画に最も近いものを指す(図 2.1.17)。火災区画群とは、対象未燃区画から、風上側に 40m ~ 80mの領域内にある火災の候補すべてを指す(図 2.1.18)。ただし、都合上、これらの火災を仮想単独火源とみなすが、この仮想的な一つの火災を、引き続き、火災区画群と称することにする。

上述した 10mは火災区画の代表長さスケールである。40mは火災区画群の代表長さスケールである。対象未燃区画から代表長さスケール分だけ離れた領域において、火災区画の決定および火災区画群の決定を行っているが、この理由を以下に記す。

現在構築中の延焼シミュレーションモデルでは、対象未燃区画に対して、輻射伝熱を及ぼす火災として、半径 40m の円内に含まれるすべての火災を考慮している。言うまでもなく、この領域内に含まれる火災を一つの仮想的な火災とみなした場合、ここからも熱気流が発生し、対象未燃区画に対して、対流伝熱が及ぶ。この熱気流による風下側の空間温度上昇を予測するために、(63)式を用いると、過剰に安全側の予測となってしまう。すなわち、(63)式の予測式の構築は火災風洞実験結果に基づいて行われているが、火災近傍の温度計測では、火災からの放射寄与分を無視できないためである。火災に近い領域では、輻射伝熱モデルに加えて、(63)式を用いた場合、放射分を二重に評価する結果となる。以上より、空間温度上昇予測式を適用する際は、火災区画と対象未燃区画との間に、あるいは、火災区画群と対象未燃区画との間に、代表長さスケール分の間隔を取るものとする。ここで言う代表長さスケールは仮値として、火災区画の場合は 10m、火災区画群の場合は 40mとする。

(b)有風下における熱気流の空間温度分布予測式

火災区画群から発生する熱気流による、対象未燃区画位置での空間温度上昇を(63)式で予測する。(63)式に含まれる無次元パラメータを(64)式に示す。(63)式中の定数値を(65)式に示す。

$$\Delta T_c(x, z) = \Lambda^{-s} Fr^{-t} \left[1.7 \exp \left\{ -1.5^2 \left(\frac{z}{x} \Lambda^k Fr^n - 0.37 \right)^2 \right\} + 0.05 \right] \times \left(\frac{Q_c^2 T_\infty}{C_p^2 \rho_\infty^2 g} \right)^{1/3} D^{-1/3} x^{-4/3} \quad (63)$$

$$\Lambda = \frac{U D_c^{1/3}}{\left\{ Q_c g / (C_p \rho_\infty T_\infty) \right\}^{1/3}} \quad (64)$$

$$s=0.5, t=0.8833, k=9/8, n=-0.0975 \quad (65)$$

x : 火源から受熱点までの水平距離[m]、 z : 火源から受熱点までの鉛直距離[m]、 Q_c : 火源の発熱速度[kW]、 D_c : 火源の代表径[m]

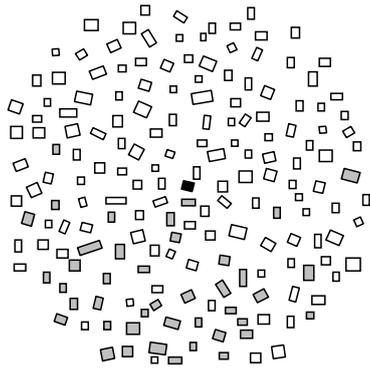
上式は一見複雑に記述されているが、支配パラメータは、火源出力、火源長さスケール、風速の3つに過ぎない。火災区画群の火源出力については、領域 CDEF (図 1.2.1.18)に含まれる各火災出力の総和とする。火源長さスケールは、ここでは先ほどと異なり、領域 CDEF の面積と等しい円を考え、その半径を用いることにする。その妥当性については、参考文献を参照のこと。

火災区画から発生する熱気流による、対象未燃区画位置での空間温度上昇についても上式で予測する。火源長さスケールは、火災区画群の場合と同様に、火災区画の面積と等しい円を考え、その半径を用いる

ことにする。

(63)式は、火災の中心軸上鉛直断面内における風下側空間温度上昇を予測するものである。火災区画あるいは火災区画群は、一点鎖線上に位置するとは限らないが、ここでは、一点鎖線上にあるものと仮定する。その場合、対象未燃区画位置での空間温度上昇を実際よりもやや安全側で予測することになる。たとえば、図 2.1.17 の火災区画は、対象未燃区画から見て、風下側に 30° に限定された範囲内に収まるので、一点鎖線上からのずれは限定されており、一点鎖線上に置いたとしても、安全側の程度は過剰過ぎることではないものと考えられる。火災区画群についても同様である。

熱気流は、対象未燃区画に衝突すると、本来は乱される結果となるが、ここでは、簡易に進められるように、対象未燃区画が存在しないものと考え、本来存在する部分で、火災区画からの熱気流による空間温度上昇と、火災区画群からの熱気流による空間温度上昇を考え、最も高温になる値を採用する。



風向 ↑ 図 2.1.14

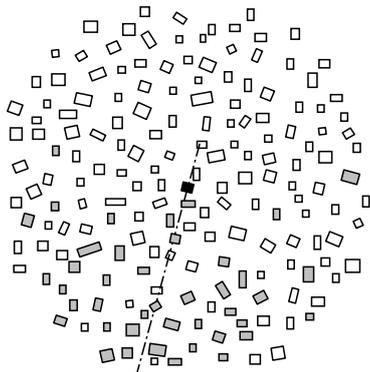


図 2.1.15

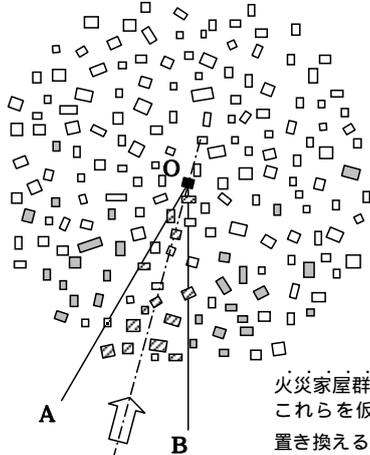


図 2.1.16

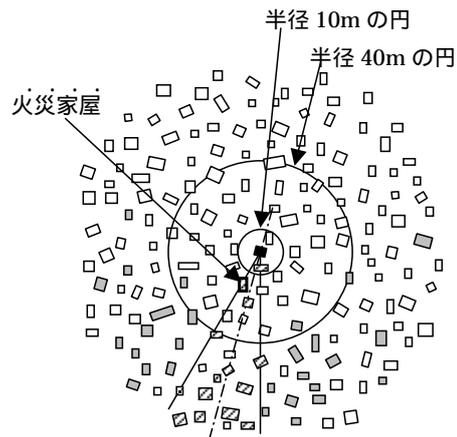


図 2.1.17

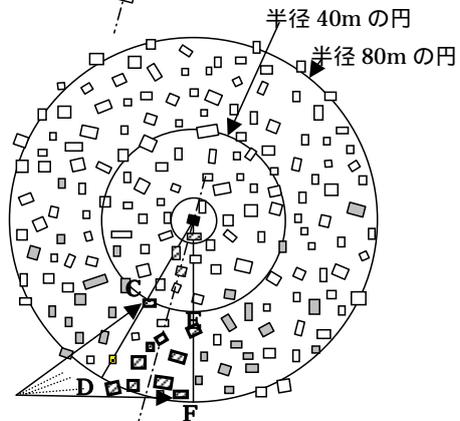


図 2.1.18

火災家屋群
これらを仮想的に1つの火災に
置き換える。置換後も、火災家屋
群と称することにする。

(11) 温度上昇と着火判定モデル

(a) 着火温度 T_{ig}

着火は、着火可能領域に存在する可燃物が熱せられ、着火温度に達した時点で発生する。本モデルでは、木材の着火温度を $320[]$ すなわち、 $593[K]$ とし、着火の判定を式(64)により行う。

$$T_s > 593$$

(66)

(b)温度上昇

ある時刻 t における、放射および熱気流による着火判定点への入射熱流束 $I(t)$ は、それぞれの合計として得られ次式で表される。

$$I(t) = \sum I_r(t) + I_c(t) \quad (67)$$

$I_r(t)$: 時刻 t における全ての火災からの放射受熱流束の合計[kW/m²]、 $I_c(t)$: 時刻 t における熱気流による対流受熱流束[kW/m²]

一定の入射熱流束 I を定常的に受けたときのある受熱点の温度応答は、式(68)で近似的に与えられる⁵⁾。

$$1 / \sqrt{\frac{h^2}{k\rho c} t} = 1.18 \{ \varepsilon I / h(T_s(t) - T_0) - 1 \} \quad (68)$$

ただし、 k : 受熱点の熱慣性[kW²s/m⁴K²]、 T_0 : 受熱点の初期温度(本モデルでは外気温度と同一で $T_0 = T_a$ とした)である。

入射熱流束が時刻により変動する場合、式(68)はそのまま使えないが、 $I(t)$ の入射熱流束を受けて、表面温度が $T(t - t_s)$ まで上昇するのに要する時間として、式(69)に示す等価受熱時間 t_s [s]を導入し、式(68)を変形することで、近似的に式(70),(71)により入射熱流束の変化に対応した温度応答と表面温度を求める式とした。

$$t_s = \frac{k\rho c}{\left\{ 1.18 \cdot \left(\frac{I(t)}{\Delta T(t - \Delta t)} - h \right) \right\}^2} \quad (69)$$

$$\Delta T(t) = \frac{1.18 I(t)}{\sqrt{\frac{k\rho c}{t_s + \Delta t} + 1.18 h}} \quad (70)$$

$$T_s(t) = T_0 + \Delta T(t) \quad (71)$$

(12)着火判定点

以上により、任意の地点における温度上昇と着火時刻が得られることになり、受熱側の区画は、周囲の時々刻々変化する受熱状況に応じた温度上昇も計算可能であるが、計算上は実用的ではない。本モデルでは、着火可能領域内で最も早く着火する可能性のある点を着火判定点として設定し、温度上昇を計算する。

周囲に火源が複数ある場合、着火判定点を正確に求めることは難しいが、一つの火源のみに注目してその火源から最も近い点を求めることでほとんどの場合よい精度が得られる。

図 2.1.19 に示すように周囲の区画の各 mode、各火災に対して、上記の方法で着火判定点を設置することで、周囲のどの区画が火災となってもある程度の精度で温度上昇の予測が可能となる。

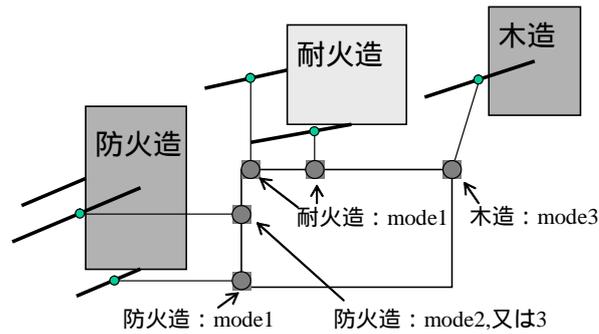


図 2.1.19 着火判定点位置の求め方

2.1.4 シミュレーションによる評価方法

これまで述べたモデルに基づき、図 2.1.20 の計算フローに示す計算手続きによるシミュレーションプログラムを作成した。

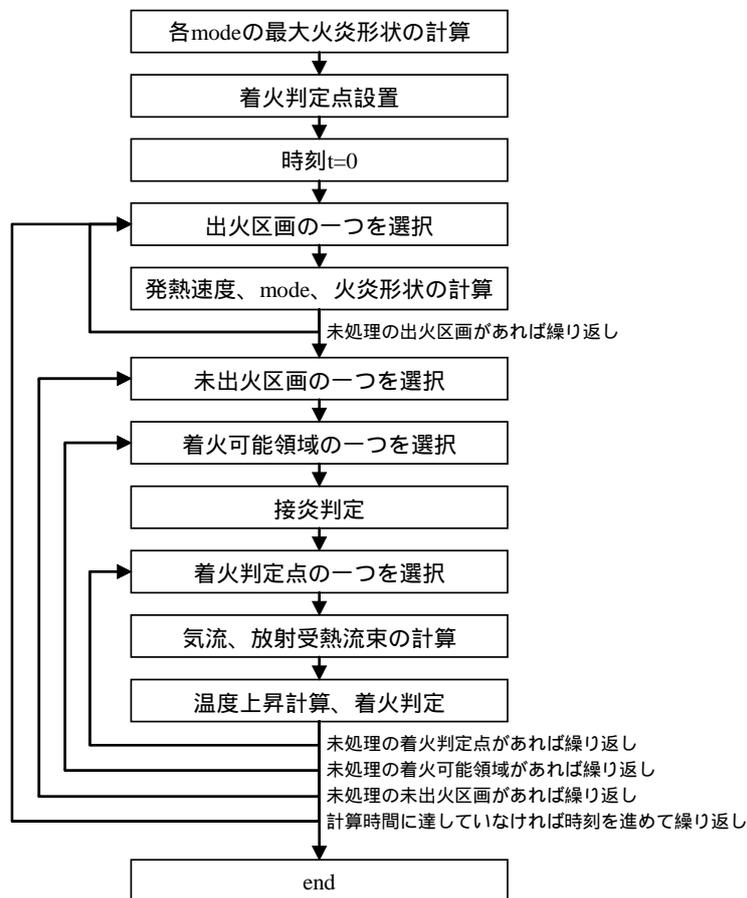


図 2.1.20 シミュレーションプログラムの計算フロー

プログラムでは、市街地の状態を示す入力データに対して、シミュレーション条件データを設定し、実行することで、計算結果を出力するプログラムとなっている。以下では、(1)に入力データ、(2)にシミュレーション条件データ、(3)に出力データを示す。

(1)入力データ

ここでは、シミュレーションを実行するために必要となる入力データの概要を示すとともに、これらの入力データのシミュレーションプログラムの中での取り扱いと、計算結果に与える影響について解説する。入力データには区画の形状や開口部の位置など、座標に関わる情報があるが、ここでは座標系を次の通り定義する。

座標系：原点を任意の点に置き、 x 、 y 、 z の各座標軸は、東向きを x 軸の正方向、北向きを y 軸の正方向、鉛直上向きを z 軸の正方向とし、単位を[m]とする。

(a)区画データ

区画形状 形式：区画平面の外周の頂点数と各頂点の x 、 y 座標[m]のリスト

航空写真から作成した地図データは、一般的には屋根伏せ形状である。プログラム上、開口部は区画平面の外周上に配置されるため、屋根が壁面から張り出している場合には、開口部の位置が実際よりも外側に配置されることとなる。その結果、着火可能領域が開口部である区画については、着火可能領域が外側へ広がることとなり、さらに、火炎が開口部から噴出する場合には、より遠くへ熱を放出することとなる。計画的にはやや安全側の（延焼し易い）予測となる。

画下端高さ 形式：区画下端の z 座標[m]

区画の上限方向の位置。

区画階高 形式：区画内の1層あたりの高さ[m]

区画の高さ。

区画階数 形式：区画内の層数

区画内に存在する層数。例えば、2階建ての単一の区画がある場合は、階数は「2」となる。1階と2階がそれぞれ別の区画と見なされるような場合には、それぞれの区画の階数は共に「1」となる。

区画構造 形式：区画の構造種別

構造種別は、耐火造、防火造、裸木造の3通りである。構造種別による火災性状の違いについては、前項の通りであるが、具体的には、着火可能領域の違いや、火災進行シナリオが異なる。

表 2.1.3 区画の構造種別

構造種別	種別の定義
耐火造区画	建築基準法上の耐火建築物または施行令107条の2に規定される準耐火建築物の、一部を構成する区画
防火造区画	耐火造区画以外の区画で、準耐火建築物または建築基準法62条で準防火地域内に建てることのできる木造建築物等、の一部を構成する区画
裸木造区画	上記2種以外の区画

区画用途 形式：区画の用途種別

用途種別は、都市計画基礎調査の建物用途現況の区分とする。用途種別により積載可燃物量が決定する。可燃物量が多い用途では、発熱速度が大きくなるが、開口部が小さく流入空気量により発熱速度が制限される場合には、火災継続時間が大きくなる。

表 2.1.4 区画の用途種別

用途種別	例
業務施設	事務所、銀行
商業施設	百貨店、小売店（専門店）、卸売り店、食堂、喫茶店、スナック、結婚式場
宿泊施設	ホテル、旅館、モーテル、民宿
娯楽施設	劇場、映画館、料理店、キャバレー、クラブ、バー、特殊浴場（サウナ等）、飲み屋
遊戯施設	ボーリング場、スケート場、マージャン屋、ぱちんこ屋、射てき場、ゲームセンター、玉つき場
商業系用途複合施設	商業系用途（上の 1～5）の複合施設で、主たる用途の床面積が、全床面積の 3/4 に満たないもの。
住宅	専用住宅（住宅に付属する物置、車庫を含む）
共同住宅	アパート、マンション、
店舗併用住宅	住宅（上の 7）と商業施設（上の 1～6）の併用
店舗併用共同住宅	共同住宅（上の 8）と商業施設（上の 1～6）の併用
作業所併用共同住宅	住宅施設（上の 7～8）と商業系用途（下の 15～19）の併用
官公庁施設	県市町庁舎、裁判所、税務署、郵便局、電話局、警察署、消防署、駐在所
文教厚生施設(A)	大学、高等専門学校、各種学校、病院、公会堂、体育館、競技場、研究所
文教厚生施設(B)	小・中・高等学校、老人ホーム、保育所、診療所、公衆浴場、神社、寺、教会、図書館、博物館
運輸倉庫施設	
重工業施設	アスファルト精製、金属の溶融又は精錬、火薬類、塗料、合成樹脂、肥料、セメント、鉄釘の製造、石灰ガス、圧縮ガス、マッチ、セルロイド、ゴム製品の製造、製革、パルプの製造、動力つちを使用する金属の製造
軽工業施設	原動機を使用する 150m ² をこえる工場、ぼろ、わたの選別再製、岩石の粉碎、瓦れんが、れん炭、せっけん、生コン、陶磁器、絵具の製造、塗料の加熱乾燥、吹付、引火性溶剤を用いるドライクリーニング
サービス工業施設	原動機を使用する 50m ² をこえる工場、印刷、木材、石材の引割、機械燃糸、魚肉の練製品、セメント製品の製造、めっき、合成樹脂の射出形成
家内工業施設	原動機を使用する 50m ² 未満の工場、原動機を使用しない工場
危険物貯蔵・処理施設	消防法による設置許可の必要なもの、ガソリンスタンド
農林漁業用施設	農業用納屋、畜舎、温室、舟小屋、農林漁業用作業場
その他	処理場、浄水場、火葬場、発電所、変電所、防衛施設

隣接区画 ID 形式：同一建物内の隣接区画の ID

一つの建物内に複数の区画が存在する場合の、同一層内の隣接する区画の ID

この、および次の は同一建物内の隣接区画に関する情報である。一つの建物の一つの層に、複数の区画がある場合、区画外部への火炎噴出だけではなく、区画隔壁を通じて建物内の隣接する区画に延焼する可能性がある。隔壁の種別に応じた耐火時間を超えて当該区画が燃焼を続けた場合に、隣接区画が出火するものとした。

隣接区画隔壁種別 形式：隣接区画との隔壁の種別

当該区画が t_f または t_{FOI} に達してから隣接区画が出火するまでの所要時間

表 2.1.5 隔壁種別

隔壁種別	定義
耐火壁	60 分間建物内延焼を遅延させることの期待できる隔壁
防火壁	20 分間建物内延焼を遅延させることの期待できる隔壁
一般壁	建物内延焼を遅延させることの期待出来ない隔壁

ただし、上表の時間は、地震被害のない状態の場合の物であって、地震被害を考慮すると のとおり、遅延時間は被害に応じて小さくなる。

区画開口部形状 形式：開口部左下および右上の x、y、z 座標[m]

開口部を区画外側から見たときの、左下および右上の 2 点の座標値で表される。2 点を対角線とする長方形の開口部を想定する。

この 、および は、区画に所属する個別の開口部に関する情報である。開口部は、防火造区画、および耐火造区画の火災性状に大きく影響を及ぼす。受害時に着火可能領域となり、加害時には火炎の噴出元となる。

区画開口部種別 形式：開口部の種別

普通ガラスは、受熱時にはすぐに破損・脱落すると見なし、シミュレーション上では考慮しない。防火戸は加害時には、20 分間脱落せず、火炎噴出を抑える効果があるものとした。受熱時に関しては、防火戸の内、防火ガラスは、受熱時に受熱流束を半減する効果があり、防火戸（ガラス以外）は、熱流を透過しないものと見なし、受熱面とはならない。

本モデルでは、開口部の開放率は 5%としている。防火造、耐火造区画の model 時の防火ガラス、防火戸（ガラス以外）が脱落する前の状態では、有効な開口部は、普通ガラスの開口部全てと、防火ガラス・防火戸（ガラス以外）の 5%分とする。

表 2.1.6 開口部種別

開口部種別	定義
普通ガラス	防火戸以外のガラス窓
防火ガラス	輻射熱を透過する防火戸
防火戸（ガラス以外）	輻射熱を透過しない防火戸

区画地震被害 形式：区画の地震被害種別

これまで地震による影響の無い健全な状態のデータについて見てきたが、地震後の延焼状況を把握するためには、個々の区画の地震による変化を記述しておく必要がある。地震被害の種別は以下の通りである。

表 2.1.7 地震被害種別

地震被害種別	定義
無被害	地震の影響の全くない状態
一部損壊	何らかの被害があるものの内、「半壊」、「全壊」、「倒壊」以外のもの
半壊	床面積の 20% 以上又は、時価の 20% 以上に達する被害のあるものうち、「倒壊」、「全壊」以外のもの
全壊	床面積の 70% 以上又は、時価の 50% 以上に達する被害のあるものうち、「倒壊」以外のもの
倒壊	地震により一層以上の崩壊が発生した状態

地震被害ごとの個々の区画の変化については、確定的に推定することは困難であるが、東京消防庁^⑥では、阪神・淡路大震災後の事業所に対するアンケート等を通して、開口部の破損状況、外壁の崩落状況、防火区画や防火戸の損傷状況と震度の関係について評価している。

本モデルでは、東京消防庁のデータに基づき、地震被害による個々の区画の変化を求めることとした。

なお、東京消防庁のアンケート調査では、大半が鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建物を対象としているが、耐火造区画だけでなく、防火造区画にも適用する。また、東京消防庁では、建物の建築年に応じて被害程度が異なる値をとることとなっているが、ここでは、昭和47年～56年の値を代表させて用いる。

全壊に対する値は、東京消防庁の全壊の値をそのまま適用し、半壊及び一部損壊に対する値は、東京消防庁の値の「半壊以下の場合」の震度7の値を用いることとした。

これは、震度7では無被害である建物は少ないため、半壊以下の建物が半壊と一部損壊の建物をほぼ見ると見られるからである。

構造種別ごとの地震被害による火災性状への影響は以下の通り。

表 2.1.8 構造別の地震被害が火災性状へ及ぼす影響

構造種別	地震被害種別	開口部の被害	壁面等の被害	隔壁の被害
裸木造	一部損壊			延焼遅延時間 83%
	半壊			延焼遅延時間 83%
	全壊			延焼遅延時間 52%
	倒壊		倒壊木造となる	延焼遅延時間 0%
防火造	一部損壊	開口部脱落率 13%	屋根・壁耐火時間 89%	延焼遅延時間 83%
	半壊	開口部脱落率 13%	屋根・壁耐火時間 89%	延焼遅延時間 83%
	全壊	開口部脱落率 45%	屋根・壁耐火時間 56%	延焼遅延時間 52%
	倒壊		倒壊木造となる	延焼遅延時間 0%
耐火造	一部損壊	開口部脱落率 13%		延焼遅延時間 83%
	半壊	開口部脱落率 13%		延焼遅延時間 83%
	全壊	開口部脱落率 45%		延焼遅延時間 52%
	倒壊	開口部脱落率 100%		延焼遅延時間 0%

(b)樹木・塀柵データ

樹木・塀柵形状 形式：樹木や塀柵平面の各頂点の x、y 座標[m]

樹木・塀柵形状は、閉じた多角形の各頂点座標のリストで表される。

薄い板状の塀柵であっても、例えば、幅が0に近く細長い長方形とするなど、閉じた多角形として記述する必要がある。塀柵は、輻射熱の遮蔽物として機能する。

樹木・塀柵下端高さ 形式：樹木・塀柵下端の z 座標[m]

座標系原点から、樹木・塀柵下端までの高さの差。

樹木・塀柵高さ 形式：樹木・塀柵下端から樹木・塀柵上端までの高さ[m]

樹木・塀柵下端から樹木・塀柵上端までの高さ。上端と下端の間のみ遮蔽物として機能する。

樹木・塀柵種別 形式：樹木・塀柵の不燃・可燃の区分

可燃の樹木・塀柵は接炎すると遮蔽物としての機能を失い全ての輻射熱を透過する。

表 2.1.9 樹木・塀柵種別

樹木・塀柵種別	例
不燃	ブロック塀、コンクリート塀、金網フェンス
可燃	生け垣、樹木

樹木・塀柵透過率 形式：輻射熱を透過する割合
輻射熱を反対側へ透過する割合。

(c)開口部データの推定

シミュレーションを実行する際には、上記(a)のような、詳細な区画データが必要となるが、特に開口部に関するデータは、一般には整備されておらず、新規に整備するためには多大な労力が必要となる。極めて詳細な評価を行うためには、詳細な開口部データを整備することが望ましいが、開口部データを標準的な開口率等から推定できれば、シミュレーションを実施するための労力は少なく、かつ、ある程度の精度を保った評価を行うことが可能となる。

ここでは、名古屋市那古野地区および京都市西陣地区の調査結果に基づき、開口部データの推定に資する情報を示す。

名古屋市那古野地区の調査

対象地区は、名古屋市内の那古野一丁目の一部である。この地区の特徴は一つの世帯が住む家屋が他の家屋の壁面と接触（壁面を共有）して連続するいわゆる長屋形状が多数を占めることである。

i) 調査方法

まず、予備調査としてアンケート調査を行った後、実地調査を行うこととした。

・アンケート調査

家屋の構造、用途、面積、高さ等、および開口部の位置、間取り等に関して、アンケートを行った。郵送配布、郵送回収とし、郵送により回収できなかった物については、実地調査時に直接回収した。

なお、マンションや、アパート等の共同住宅の場合は、この住戸使用者（住民）ではなく、建物全体の所有者あるいは管理者を対象に調査することが適切と判断し、アンケート調査の対象としていない。

・実地調査

アンケート調査回収後、アンケート調査記載内容の確認、外観写真撮影等を行った。

ii) 建物ごとの整理

上記の調査により、地区内の 339 棟（概数）のうち、282 棟の建築物について、壁面の開口部の状況に関する情報を整理した。

図 2.1.21 は、構造、方位別の開口部率を示したものである。

調査集計結果を基にすると、建築構造・使用用途・隣接状況の組み合わせで、表 2.1.10 に示すように開口部率の平均値が整理できる。以下のような傾向がある程度分かる。

- ・隣接状況全体では、建築構造・使用用途全体では、東・南・北・西の順番に 0.35～0.24 の範囲で値が小さくなる。木造での住宅系の場合がこれとほぼ同様な傾向で、鉄骨・鉄筋コンクリートの場合が低め（50～70%減；南は同程度）となる。また、店舗系は住宅系に比べ高めとなる。

- ・隣接状況が道路の場合の道路幅員毎には、サンプルの整っている 2～4m、4～6m、6～8m（ただし東の

場合のみ)の範囲では、明確ではないが幅員が広くなれば開口部率の平均値が高くなる傾向が確認できる。
(注)空地の場合で値が小さいのは、空地の多くが長屋の一部を撤去した後にできたものであり、残った長屋の壁面には僅かな開口しか設けられないことが理由である。長屋以外で隣接して建物が建つ場合でも隣棟間隔が僅かであり、南を除いて開口部率は小さく0.1以下である。

なお、図2.1.21、表2.1.10中の「0接触」は、隣の家屋が接触していて、開口部を設けられる状況に無いことを示している。

iii) 道路ごとの整理

図2.1.22のように分けた道路(通り)区分の単位で、道路に面する家屋壁面の開口部率を整理した(表2.1.11)。東西道路(家屋が南面・北面)の場合の開口部率は、南面全体と北面全体共に平均0.36(標準偏差0.16)で同様である。ただし、開口部率が大きいY1軸(;アーケード付きの商店街道路)に属する道路は北面のみが調査対象であるので、これらを除くと北面全体は0.32となり1割程度小さくなる。連なる道路区分をまとめた場合を方位毎に比較すると、Y7軸を除いて南が北に比べ0.1~0.2程度大きく、また方位をまとめて集計すると道路毎にはY12軸(0.40)を除いて0.35程度で差がない結果となった。

南北道路(家屋が東面・西面)の場合の開口部率は、東面全体平均0.43(標準偏差0.16)、西面全体0.39(標準偏差0.18)で南面・北面に比べそれぞれ2割・1割程度大きくなる。連なる道路区分をまとめた場合を方位毎に比較すると、Y7及びY8軸を除いて東面・西面には差がない結果となった。また方位をまとめて集計すると、道路毎に差が大きく、最大がY5軸(地区中央を通る商店街道路)に属する道路の平均0.46(東面0.47,西面0.44)となった。

50m
幅
道路



図 2.1.21 那古野地区調査範囲と構造方位別開口率

表 2.1.10 那古野地区の構造・用途別開口率
(数値サンプル以外は、0 接触と不明を含む)

建物 構造 大分類	使用 用途 大分類	隣接状況(中区分) * ・<*は道路の場合の幅員の区分																全体								
		2.0 ・ < 4.0				4.0 ・ < 6.0				6.0 ・ < 8.0				8.0 ・				空地			建物が建つ敷地			不明		
		サ ン プ ル 数	数 値 サ ン プ ル 数	平 均	標 準 偏 差	サ ン プ ル 数	数 値 サ ン プ ル 数	平 均	標 準 偏 差	サ ン プ ル 数	数 値 サ ン プ ル 数	平 均	標 準 偏 差	サ ン プ ル 数	数 値 サ ン プ ル 数	平 均	標 準 偏 差	サ ン プ ル 数	数 値 サ ン プ ル 数	平 均	標 準 偏 差	サ ン プ ル 数	数 値 サ ン プ ル 数	平 均	標 準 偏 差	

開口部率；方位；北

木造・ 木造 混合	住宅系	22	17	0.36	0.19	25	22	0.31	0.17					10	10	0.44	0.08	12	10	0.09	0.14	110	7	0.07	0.08	1	180	66	0.29	0.20
	店舗系	6	6	0.34	0.10									6	6	0.46	0.06	1	1	0.12	0.00	16	4	0.11	0.08		29	17	0.32	0.16
	工場系																					1	0				1	0		
	その他	1	1	0.39	0.00																	8	0				9	1	0.39	0.00
	不明																					1	0				1	0		
鉄骨及鉄 筋コンク リート造	住宅系	1	1	0.24	0.00	7	6	0.23	0.06					3	2	0.48	0.08	2	1	0.04	0.00	22	5	0.06	0.06	1	36	15	0.19	0.15
	店舗系					1	1	0.33	0.00					2	1	0.36	0.00					3	0				6	2	0.35	0.02
	工場系																					1	0				1	0		
	その他	2	2	0.30	0.00	1	0															1	1	0.00	0.00		4	3	0.20	0.14
	不明																													
不明	住宅系					2	0															1	0			1	4	0		
	店舗系					1	1	0.15	0.00					3	3	0.56	0.11										4	4	0.46	0.20
	工場系																													
	その他																													
	不明	1	0																			4	0				2	7	0	
総計		33	27	0.35	0.16	37	30	0.29	0.15					24	22	0.46	0.09	15	12	0.09	0.13	168	17	0.08	0.08	5	282	108	0.28	0.19

開口部率；方位；東

木造・木 造混合	住宅系	4	3	0.41	0.04	43	40	0.42	0.15	13	12	0.57	0.12	1	1	0.62	0.00	11	6	0.06	0.12	102	11	0.05	0.12	6	180	73	0.36	0.22	
	店舗系	1	0			3	3	0.30	0.02	2	2	0.63	0.12									23	2	0.22	0.16		29	7	0.37	0.20	
	工場系					1	1	0.44	0.00																		1	1	0.44	0.00	
	その他					3	2	0.54	0.01					1	0								5	0			9	2	0.54	0.01	
	不明																										1	1	0		
鉄骨造及 鉄筋コン クリート 造	住宅系	1	1	0.37	0.00	8	8	0.39	0.14	5	4	0.35	0.11					3	1	0.13	0.00	19	6	0.07	0.07		36	20	0.27	0.18	
	店舗系					1	1	0.56	0.00									1	0			3	0			1	6	1	0.56	0.00	
	工場系																					1	0				1	0			
	その他																					4	0				4	0			
	不明																														
不明	住宅系					1	1	0.43	0.00	1	1	0.69	0.00									2	0			2	4	0			
	店舗系																					2	0				4	2	0.56	0.13	
	工場系																														
	その他					1	1	0.37	0.00	1	0												4	0			1	7	1	0.37	0.00
	不明	6	4	0.40	0.04	61	57	0.41	0.14	22	19	0.53	0.15	2	1	0.62	0.00	16	7	0.07	0.11	164	19	0.07	0.12	11	282	107	0.35	0.22	

開口部率；方位；南

木造・木 造混合	住宅系	19	15	0.30	0.16	36	29	0.43	0.15	1	0							8	6	0.06	0.04	113	6	0.21	0.12	3	180	56	0.33	0.19	
	店舗系	6	6	0.24	0.08	1	1	0.15	0.00														22	6	0.25	0.12		29	13	0.24	0.10
	工場系																						1	0				1	0		
	その他					2	1	0.55	0.00														7	0				9	1	0.55	0.00
	不明	1	0																								1	0			
鉄骨造及 鉄筋コン クリート 造	住宅系	4	3	0.26	0.08	13	13	0.44	0.16									4	3	0.20	0.21	15	4	0.27	0.14		36	23	0.35	0.18	
	店舗系					1	0															5	0				6	0			
	工場系					1	1	0.34	0.00																		1	1	0.34	0.00	
	その他																					4	0				4	0			
	不明																														
不明	住宅系																	1	0			3	0				4	0			
	店舗系																					4	0				4	0			
	工場系																														
	その他					2	0																2	1	0.00	0.00	1	7	1	0.00	0.00
	不明	30	24	0.28	0.14	56	45	0.42	0.16	1	0							15	9	0.10	0.14	176	17	0.23	0.13	4	282	95	0.32	0.18	

開口部率；方位；西

木造・木 造混合	住宅系	7	7	0.24	0.19	31	24	0.40	0.18					1	1	0.29	0.00	17	9	0.01	0.03	116	13	0.13	0.19	8	180	54	0.25	0.23	
	店舗系	3	3	0.19	0.10	5	5	0.40	0.12														20	0			1	29	8	0.32	0.15
	工場系																						1	0				1	0		
	その他					4	3	0.53	0.11														5	1	0.00	0.00		9	4	0.40	0.25
	不明														1	1	0.00	0.00									1	1	0.00	0.00	
鉄骨造及 鉄筋コン クリート 造	住宅系					5	4	0.36	0.13									5	4	0.00	0.00	26	9	0.05	0.05		36	17	0.11	0.16	
	店舗系					1	1	0.37	0.00					1	1	0.39	0.00	1	1	0.12	0.00	2	0			1	6	3	0.29	0.12	
	工場系																										1	0			
	その他					3	3	0.39	0.01														1	0			4	3	0.39	0.01	
	不明																														
不明	住宅系					1	0																								

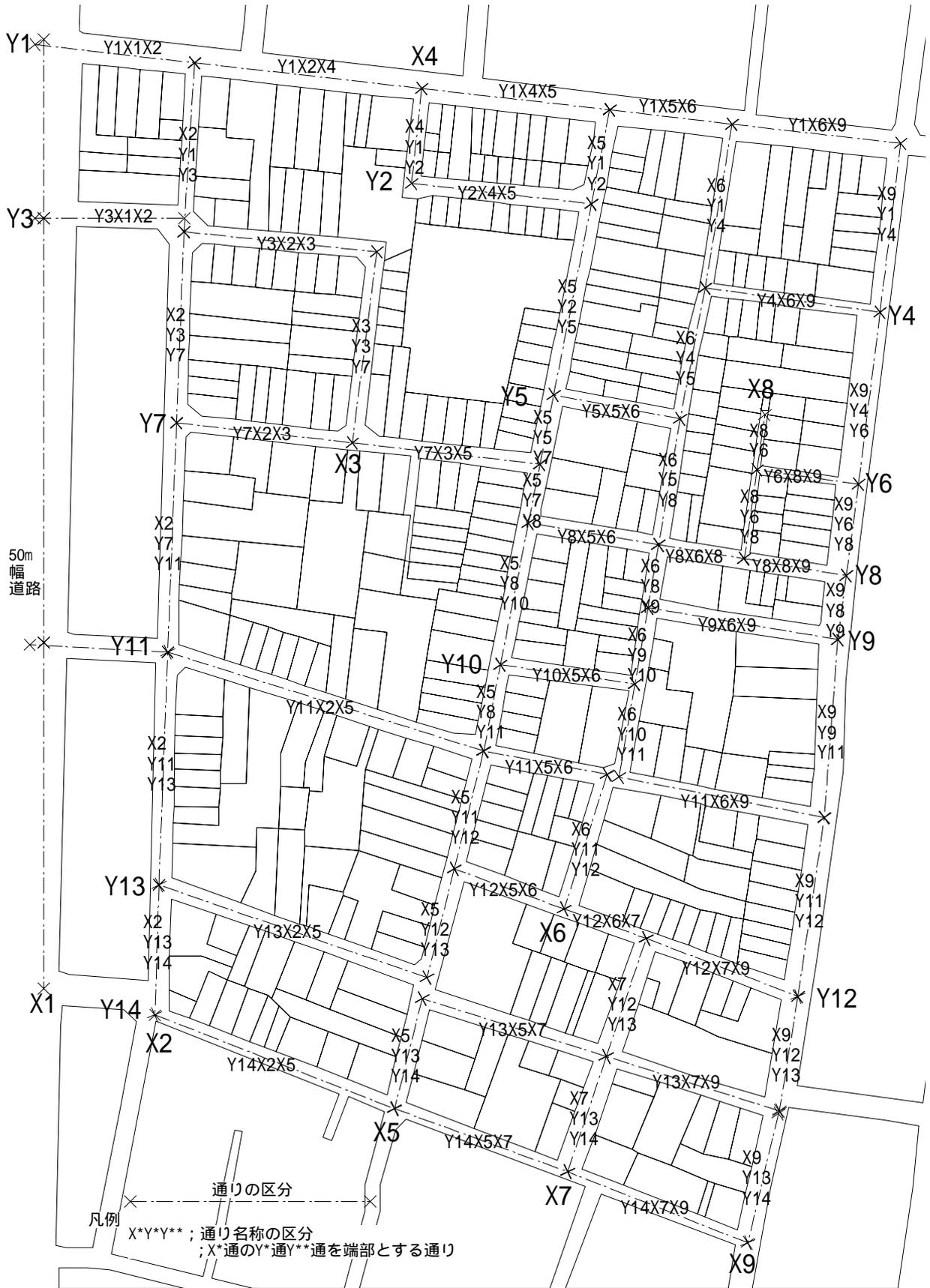


図 2.1.22 那古野地区の道路区分

表 2.1.11 道路ごとの開口率(その1:東西道路)

道路区分 名称	幅員 ;0.5m刻 み で表示	壁面が 面する 方位	道路区分ごとの開口部率					連なる道路まとめて			
			方位ごと			二方位まとめて		方位ごと		二方位まとめて	
			数値サ ンプル 数	平均	標準偏差	平均	標準偏差	方位	平均 標準偏差	平均	標準偏差
東西道路											
Y1X1X2	8.0	北	4	0.54	0.12	-	-	北	0.46	-	-
Y1X2X4	8.0	北	6	0.48	0.08	-	-				
Y1X4X5	8.0	北	8	0.45	0.07	-	-				
Y1X5X6	8.0	北	未	未	未	未	未				
Y1X6X9	8.0	北	4	0.38	0.06	-	-	0.09			
Y3X1X2	6.0~7.0	北	無	無	無	無	無	-	-	-	
Y3X2X3	4.0	南	5	0.33	0.13	0.32	0.11	-	-	-	
Y3X2X3		北	7	0.32	0.11			-	-	-	
Y2X4X5	3.5	南	8	0.28	0.10	0.32	0.11	-	-	-	
Y2X4X5		北	7	0.36	0.11			-	-	-	
Y4X6X9	2.5	南	3	0.47	0.06	0.52	0.18	-	-	-	
Y4X6X9		北	4	0.56	0.23			-	-	-	
Y7X2X3	4.0	南	7	0.34	0.06	0.35	0.06	南	0.37	0.36	0.10
Y7X2X3		北	3	0.37	0.04				0.10		
Y7X3X5	3.5~4.0	南	5	0.42	0.13	0.38	0.13	北	0.35		
Y7X3X5		北	4	0.33	0.13				0.10		
Y5X5X6	3.0~3.5	南	未	未	未	未	未	-	-	-	
Y5X5X6		北	2	0.16	0.18	-	-	-	-		
Y6X8X9	2.5	南	2	0.17	0.05	0.17	0.05	-	-	-	
Y6X8X9		北	0	-	-			-	-	-	
Y8X5X6	4.0~4.5	南	3	0.34	0.09	0.25	0.14	南	0.41	0.35	0.22
Y8X5X6		北	2	0.13	0.12				0.23		
Y8X6X8	4.0~4.5	南	3	0.61	0.05	0.61	0.05	北	0.21		
Y8X6X8		北	0	-	-				0.17		
Y8X8X9	3.0~4.0	南	1	0.03	-	0.20	0.24	北	-		
Y8X8X9		北	1	0.37	-				-		
Y9X6X9	3.5	南	1	0.22	-	0.22	-	-	-	-	
Y9X6X9		北	0	-	-			-	-	-	
Y10X5X6	3.0~4.0	南	1	0.07	-	0.13	0.13	-	-	-	
Y10X5X6		北	2	0.17	0.16			-	-	-	
Y11X2X5	4.0~5.0	南	8	0.30	0.15	0.28	0.14	南	0.38	0.33	0.17
Y11X2X5		北	4	0.23	0.12				0.19		
Y11X5X6	4.5	南	1	0.38	-	0.38	0.14	北	0.27		
Y11X5X6		北	2	0.38	0.19				0.13		
Y11X6X9	3.0~4.0	南	3	0.58	0.17	0.40	0.21	北	-		
Y11X6X9		北	4	0.26	0.10				-		
Y12X5X6	4.0~4.5	南	1	0.49	-	0.45	0.06	南	0.49	0.40	0.16
Y12X5X6		北	1	0.41	-				-		
Y12X6X7	4.0~4.5	南	0	-	-	0.25	0.14	北	-		
Y12X6X7		北	3	0.25	0.14				0.38		
Y12X7X9	4.0~5.0	南	0	-	-	0.51	0.14	北	0.17		
Y12X7X9		北	3	0.51	0.14				-		
Y13X2X5	3.5~4.0	南	1	0.25	-	0.28	0.03	南	0.49	0.35	0.18
Y13X2X5		北	2	0.30	0.00				0.18		
Y13X5X7	4.5~5.0	南	4	0.55	0.14	0.40	0.23	北	0.27		
Y13X5X7		北	3	0.20	0.16				0.14		
Y13X7X9	4.5~5.0	南	0	-	-	0.30	0.16	北	-		
Y13X7X9		北	5	0.30	0.16				-		
Y14X2X5	4.5~5.0	南	7	0.37	0.18	-	-	南	0.37	-	-
Y14X5X7	4.0~4.5	南	1	0.33	-	-	-		0.16	-	-
Y14X7X9	4.5~5.0	南	1	0.41	-	-	-		-	-	-
南面前体										0.36	0.16
北面全体										0.36	0.16
北面全体(Y1軸除外)										0.32	0.16
南面・北面全体										0.36	0.16

表 2.1.11 道路ごとの開口率(その2：南北道路)

道路区分 名称	幅員 ;0.5m刻 み で表示	壁面が 面する 方位	道路区分ごとの開口部率					連なる道路まとめて			
			方位ごと			二方位まとめて		方位ごと		二方位まとめて	
			数値サ ンプル 数	平均	標準偏差	平均	標準偏差	方位	平均 標準偏差	平均	標準偏差
南北道路											
X2Y1Y3	4.0	東	5	0.39	0.10	0.39	0.09	東	0.39	0.39	0.12
X2Y1Y3		西	1	0.41	-				0.10		
X2Y3Y7	4.0	西	6	0.39	0.14	-	-	西	0.38	0.39	0.12
X2Y7Y11	5.5~6.0	西	1	0.17	-	-	0.13				
X2Y11Y13	5.5	西	3	0.45	0.07	-	-	西	0.13	0.39	0.12
X2Y13Y14	5.5~6.0	西	0	-	-	-	-				
X3Y3Y7	4.0	東	2	0.27	0.21	0.32	0.16	-	-	-	-
X3Y3Y7		西	3	0.35	0.15						
X4Y1Y2	2.5	東	2	0.27	0.16	0.27	0.16	-	-	-	-
X4Y1Y2		西	0	-	-						
X5Y1Y2	4.0	東	2	0.44	0.01	0.44	0.01	東	0.47	0.46	0.15
X5Y1Y2		西	未	未	未						
X5Y2Y5	4.0	東	3	0.48	0.04	0.48	0.04	東	0.14	0.46	0.15
X5Y2Y5		西	未	未	未						
X5Y5Y7	4.0	東	3	0.45	0.16	0.48	0.15	東	0.14	0.46	0.15
X5Y5Y7		西	2	0.52	0.17						
X5Y7Y8	4.5~5.0	東	3	0.53	0.19	0.54	0.14	東	0.14	0.46	0.15
X5Y7Y8		西	2	0.56	0.12						
X5Y8Y10	5.0~5.5	東	7	0.57	0.13	0.48	0.17	東	0.44	0.46	0.15
X5Y8Y10		西	4	0.32	0.10						
X5Y8Y11	5.0	東	3	0.48	0.26	0.36	0.21	東	0.44	0.46	0.15
X5Y8Y11		西	3	0.24	0.04						
X5Y11Y12	4.0~5.0	東	4	0.43	0.10	0.47	0.08	西	0.15	0.46	0.15
X5Y11Y12		西	5	0.50	0.05						
X5Y12Y13	4.5~5.0	東	3	0.42	0.13	0.42	0.13	東	0.15	0.46	0.15
X5Y12Y13		西	無	無	無						
X5Y13Y14	5.0~5.5	東	2	0.29	0.13	0.44	0.20	東	0.15	0.46	0.15
X5Y13Y14		西	2	0.59	0.11						
X6Y1Y4	2.0~2.5	東	未	未	未	0.07	0.03	東	0.32	0.34	0.18
X6Y1Y4		西	2	0.07	0.03						
X6Y4Y5	2.0~3.0	東	未	未	未	0.34	0.26	東	0.08	0.34	0.18
X6Y4Y5		西	4	0.34	0.26						
X6Y5Y8	4.0~4.5	東	3	0.24	0.08	0.40	0.20	東	0.08	0.34	0.18
X6Y5Y8		西	3	0.55	0.13						
X6Y8Y9	4.5~5.0	東	2	0.41	0.04	0.41	0.04	東	0.35	0.34	0.18
X6Y8Y9		西	0	-	-						
X6Y9Y10	3.5~5.0	東	4	0.36	0.06	0.36	0.06	西	0.24	0.34	0.18
X6Y9Y10		西	0	-	-						
X6Y10Y11	3.5~4.0	東	無	無	無	0.00	-	西	0.24	0.34	0.18
X6Y10Y11		西	1	0.00	-						
X6Y11Y12	4.0	東	2	0.28	0.01	0.40	0.12	東	0.25	0.23	0.08
X6Y11Y12		西	3	0.48	0.09						
X7Y12Y13	4.0~5.0	東	2	0.21	0.03	0.21	0.03	東	0.08	0.23	0.08
X7Y12Y13		西	0	-	-						
X7Y13Y14	5.0~5.5	東	2	0.29	0.10	0.25	0.11	西	0.16	0.23	0.08
X7Y13Y14		西	1	0.16	-						
X8Y6	2.5~3.0	東	3	0.41	0.05	0.39	0.05	東	0.04	0.41	0.08
X8Y6		西	1	0.34	-						
X8Y6Y8	2.5	東	2	0.37	0.00	0.43	0.11	西	0.45	0.41	0.08
X8Y6Y8		西	1	0.56	-						
X9Y1Y4	4.5	東	5	0.41	0.20	-	-	東	0.50	-	-
X9Y4Y6	7.0~7.5	東	5	0.42	0.03	-	-				
X9Y6Y8	6.5~7.0	東	4	0.62	0.09	-	-	東	0.17	-	-
X9Y8Y9	7.0	東	1	0.33	-	-	-				
X9Y9Y11	6.0~7.5	東	3	0.68	0.10	-	-	東	0.17	-	-
X9Y11Y12	6.5~8.0	東	5	0.56	0.15	-	-				
X9Y12Y13	6.5~8.0	東	0	-	-	-	-	東	0.17	-	-
X9Y13Y14	6.0~7.5	東	3	0.45	0.27	-	-				
東面前体									0.43	0.16	
西面全体									0.39	0.18	
東面・西面全体									0.42	0.17	
南面・北面・東面・西面全体									0.39	0.16	

京都市西陣地区の調査

調査対象として、図 2.1.23 に示す京都市西陣地区(対象 206 家屋)で実地調査を実施した。西陣地区は、

京都市における典型的な木造密集市街地であり、伝統的な町家の敷地割に多くの町家が残るが、一方でマンションや木造3階建て住宅が最近建てられつつある。

i) 調査方法

この地区における調査方法等は名古屋市那古野地区とほぼ同じで、今回はマンション以外の家屋を対象とし、事前にアンケートを配布回収した上で、調査員が現地に赴き、開口状況等の調査を行った。なお、今回の調査では、敷地奥の土蔵などの付属建物について十分に調査が行われていない点に留意する必要がある。

ii) 調査結果の概要

ア) 調査対象数

調査対象とした206家屋のうち、アンケート回収数は75、実地調査で開口状況等の調査を行った家屋数は113であった。開口状況が把握できた壁面数は合計で363、そのうち、道路側の壁面130、道路と反対側の背割線に面する壁面66、間口に直行する側の敷地境界線に面する壁面155、その他の駐車場などに面する壁面12であった。

イ) 調査対象の建築物の用途

調査対象の家屋のうち、専用住宅は41(54.7%)と最も多く、店舗併用住宅12(16.0%)工場併用住宅11(14.7%)を加えると住宅系で85.4%となる。残りは店舗7(9.3%)工場4(5.3%)であった。

ウ) 調査対象の建築物の敷地面積・建築面積など

敷地面積(103敷地)の平均値は105㎡(標準偏差75)、最小値16、最大値429㎡であった。また、建築面積(105建築物)の平均値は84㎡(標準偏差65)、最小値16㎡、最大値429㎡であった。敷地内の平均建蔽率は約82%になる。

iii) 建築物の構造・建築年代

調査対象の家屋のうち、木造は57(83.8%)と大半を占める。そのうち、外壁の種類別に見ると、木造外壁板張り20(29.4%)、木造外壁モルタル塗り18(26.5%)、木造外壁トタン張り12(17.6%)、木造外壁耐火ボード張り7(10.3%)であった。また、鉄骨造6(8.8%)、RC造2(2.9%)、土蔵2(2.9%)、ブロック造1(1.5%)であった。なお、以上の集計では、少数ではあるが種類をまたがった構造の場合があったが、防火的に弱い側に分類した。

建築年代が判明したものは、58棟であるが、そのうち、戦前(1945年以前)のものが26(44.8%)、1946年~1985年のものが22(37.9%)、1986以降は10(17.3%)であった。戦前の建築物は、上記の木造外壁板張り20(29.4%)、木造外壁トタン張り12(17.6%)にほぼ対応していると考えられる。

iv) 隣棟間隔

隣棟間隔を測定した壁面数は94である。そのうち、

道路側の壁面22での隣棟間隔は	平均7.2m(標準偏差3.6)
道路と反対側の背割線に面する壁面27での隣棟間隔は	平均4.0m(標準偏差5.7)
間口の横側の敷地境界線に面する壁面41での隣棟間隔は	平均0.2m(標準偏差0.8)
(このうち、隣棟間隔が0mの、隣棟に完全に接している壁面は33(80.5%)であった。)	
その他の駐車場などに面する壁面4での隣棟間隔は	平均5.8m(標準偏差3.1)

であった。

v) 開口部の状況

開口部を計測した壁面の数と開口部の有無を、壁面の位置・階別に集計した結果を表 2.1.12 に示す。開口横側には約 80%の壁面で開口部がないのが特徴的である。これは隣等間隔が 0m の場合に相当する。また、背割側は道路側よりもやや開口部のないものが多い。これは奥行きが小さく、敷地面積の小さな建築物の場合、背割側の開口部の無い場合がみられることによる。

表 2.1.12 壁面の位置・階別にみた開口部の有無別壁面数（割合）

		道路側	背割側	横側	その他
3 階	開口あり	23(92.0%)	8(66.7%)	9(25.0%)	2(100.0%)
	開口なし	2(8.0%)	4(33.3%)	27(75.0%)	0(0.0%)
	計	25	12	36	2
2 階	開口あり	109(98.2%)	38(76.0%)	28(20.1%)	8(64.5%)
	開口なし	2(1.8%)	12(24.0%)	111(79.9%)	5(38.5%)
	計	111	50	139	13
1 階	開口あり	119(97.5%)	51(78.5%)	20(12.9%)	9(69.2%)
	開口なし	3(2.5%)	14(21.5%)	135(87.1%)	4(30.8%)
	計	122	65	155	13

表 2.1.13 には、普通ガラスの開口部と網入りガラスなどの防火戸の入った開口部別に見た開口部の面積を壁面の位置・階別に示す。また、表 2.1.14 には同様に、普通ガラスの開口部と網入りガラスなどの防火戸の入った開口部別に見た開口率を壁面の位置・階別に示す。

表 2.1.13 壁面の位置・開口部の種類・階別にみた開口部の平均面積（標準偏差） 単位は m^2

		道路側	背割側	横側	その他
3 階	普通ガラス	2.89(2.36)	1.42(1.66)	0.38(0.87)	4.00(0.00)
	防火戸	0.92(2.86)	0.92(2.39)	0.55(1.72)	0.00(0.00)
	計	3.81	2.34	0.93	4.00
2 階	普通ガラス	3.75(2.62)	2.47(2.26)	0.44(2.36)	2.15(2.86)
	防火戸	0.52(1.84)	0.33(1.29)	0.26(2.86)	0.31(1.11)
	計	4.27	2.80	0.70	2.46
1 階	普通ガラス	2.89(2.36)	2.89(2.36)	2.89(2.36)	2.89(2.36)
	防火戸	0.92(2.86)	0.92(2.86)	0.92(2.86)	0.92(2.86)
	計	3.81	3.81	3.81	3.81

表 2.1.14 壁面の位置・開口部の種類・階別にみた開口部の平均開口率（標準偏差） 単位は%

		道路側	背割側	横側	その他
3 階	普通ガラス	18.3(13.5)	11.5(13.2)	1.4(3.3)	15.1(0.0)
	防火戸	4.4(14.7)	6.1(19.2)	1.1(3.9)	0.0(0.0)
	計	22.7	17.6	2.5	15.1
2 階	普通ガラス	23.0(14.5)	16.6(15.4)	1.6(5.3)	10.5(15.1)
	防火戸	2.4(8.4)	2.1(9.8)	0.4(2.0)	1.3(4.9)
	計	25.4	18.7	2.0	11.8
1 階	普通ガラス	34.5(21.3)	29.0(24.5)	1.6(7.3)	11.2(16.8)
	防火戸	4.4(11.8)	0.8(4.5)	0.2(1.6)	0.9(3.1)
	計	38.9	29.8	1.8	12.1

(省略)

图 2.1.23 京都市西陣地区

(2)シミュレーション条件データ

(a)計算終了時間[min]

シミュレーション開始から、何分後までの計算をするかを設定する。

(b)風向[deg]

風向は、西風（西から東へ吹く風）を 0、南風を 90、東風を 180、北風を 270 として設定する。

(c)風速[m/s]

風速は高さ 10m での風速として設定する。

(d)出火区画 ID

最初に出火する出火区画 ID。

(e)出火時刻[s]

上記出火区画が出火する時刻。複数区画からの火災の同時発生や時間差の発生を考慮できるように、出火区画 ID と出火時刻を対にしたリスト形式で設定する。

(3)出力データ

出力データは区画に関する情報であり、各区画がどのような状態にあるかをシミュレーションプログラムの計算時間ステップ毎に出力する。

区画の状態を示すデータは以下の通りである。

(a)mode 区画の mode

(b)減衰期フラグ 区画が減衰期かどうかのフラグ

区画が減衰期にあれば 1、減衰期以外では 0

(c)総発熱速度 [kW]

当該時刻での、当該区画の火災の激しさを表す。

mode0 または mode4 の区画は 0 となる。

(d)火炎形状 火炎基点および先端点の x、y、z 座標値[m]

当該区画から噴出している個別の火炎の基点、先端点の位置。火炎軸の方向と長さを表す。

(e)火炎発熱速度 [kW]

当該区画から噴出している個別の火炎の発熱速度。個別火炎それぞれの燃焼の激しさを表す。

(f)着火判定点温度 []

当該区画に所属する個別の着火判定点の表面温度。当該着火判定点に蓄積されている熱量を表す。この値が 320 になった時点で当該区画は出火する。

(g)着火判定点受熱流束 [kW/m²]

当該区画に所属する個別の着火判定点が受けている熱流束。受熱の激しさを表す。この値により、当該着火判定点の表面温度上昇の時間勾配が得られる。

(h)着火判定点加害区画 ID

当該区画に所属する個別の着火判定点に対して最も大きな熱的影響を及ぼしている区画の区画 ID。

当該区画が出火した時刻において、出火した着火判定点に対して最も大きな熱的影響を及ぼした区画を特定することにより、当該区画が主としてどの区画から延焼したのかが明らかとなる（複数の加害区画の

影響により延焼する場合があるため必ずしも延焼下方向を一意に示す物ではない)。

(4)出力データの加工と市街地防火性能の評価指標

(a)単一の計算結果による評価指標

出力データを加工することにより、表 2.1.15 のような市街地の延焼性状の特徴を示す様々な評価指標を得ることができる。

表 2.1.15 防火性能評価指標の一覧

<ul style="list-style-type: none">・市街地の評価指標<ul style="list-style-type: none">焼失建築面積・棟数時間 - 焼失建築面積・棟数曲線時間 - 延焼危険建築面積・棟数曲線 (上記3指標に関しては、面積・棟数そのものだけでなく、市街地の全棟数・全面積に対する割合をとって、面積割合・棟数割合としての指標化も可能。)時間 - 延焼領域周長曲線風下側延焼速度・個別区画の評価指標<ul style="list-style-type: none">着火有無着火時刻鎮火時刻着火箇所強い熱流束を受け始めた時刻直接加害棟数・面積(自らが直接延焼元となって延焼した棟数・面積)間接加害棟数・面積(間接的に延焼元となったものも含めて、自らを經由して延焼した棟数・面積)延焼時間(自らを經由した際の隣棟着火の遅れ時間)自出火時焼失建築面積・棟数(面積割合・棟数割合)(自ら出火した際の焼失面積割合)自出火時風下側延焼速度(自ら出火した際の出火後一定時間後での風下側延焼速度)・その他、個別の対象に対する評価指標<ul style="list-style-type: none">特定の道路や延焼遅延帯による延焼遅延効果の評価当該道路・延焼遅延帯を突破して片側から他方へ延焼する際に要した時間

上記のように得られた指標は、単一回のシミュレーション結果によるものであるが、これは、シミュレーション条件として設定した単なる一つの条件による結果にすぎない。本来は、設定したシミュレーション条件の発生確率を把握すること、さらには平均的にはどのような被害を受けるのか(被害の期待値はどの程度か)あるいは最悪の場合にどのような事態になるのか等について検討したうえで評価する必要がある。被害状況の期待値および最大値による評価指標は次の通り求めることができる。

(b)期待値による評価指標

期待値を求めるためには、シミュレーション条件に設定する状況の発生確率を求める必要がある。

風向・風速に関しては、例えば、風向を東西南北の4方向、風速を3,6,9m/sの3段階とする等、いくつかのパターンを想定し、各風向・風速組み合わせパターン毎に、過去の気象データから出現率を求める方法等が考えられる。

また、出火区画に関しては、例えば東京消防庁⁷⁾による検討など出火率の検討は各方面で進められているが、それらを参考に、建物ごとに出火率を求め、必要に応じて建物の出火率を区画へ割り当てることで

得られる。

評価指標の期待値は、以下の手順により得ることができる。

風向・風速組み合わせパターンの出現率に、出火区画として設定する出火区画の出火率を掛け合わせることで、設定するシミュレーション条件全体としての出現率を得る。

このシミュレーション条件のもとでシミュレーションを実行した結果得られる評価指標を、条件全体としての出現率と掛け合わせる。

発生しうるすべてのシミュレーション条件について、上記、 を実行し、その結果の総和を得る。

(c)最大値による評価指標（市街地内で）

最大値による評価指標は、全てのケースの計算を終えた後、焼失建築面積（あるいは棟数）が最大となったケースに関する計算結果のみを用いて評価指標とすればよい。評価指標は単一のシミュレーション結果から導かれるため、(a)と同様である。

(5)評価手法

(4)までに、評価指標について述べたが、実際の評価の場面では、市街地防災施策の実施前と実施後の比較、あるいは、複数の地区間の防災性能の比較などを行い、防災施策の効果の大小の判断や、防災性能に関する地区ごとの差異を求めることが必要となる。

シミュレーションを実行することで計算される各指標は、シミュレーション条件データとして設定される「計算時間」により大きく異なる結果となる。例えば、「焼失棟数」などは、時間に応じて火災が拡大することを考えれば、どの時点の焼失棟数をもって評価指標とするかにより、結果が異なることとなる。

計算時間を設定せず、燃え尽きるまで計算する方法も考えられるが、完全に延焼遮断が出来ないような市街地では、いくら延焼を遅延させる対策を講じても結局は燃えてしまい、評価結果は変化しないため評価できない。

密集市街地では、延焼を完全に遮断するような対策を講じることは困難であり、延焼遮断を目的とした対策だけでなく、延焼を遅延させる地区施設等の整備、あるいは、建物の難燃化（場合によっては不燃化）などの対策も進める必要がある。現実的には、延焼が遅延すれば、それだけ消火活動のための時間的余裕ができ、放置すると延焼拡大が進む場合であっても消防活動の効果により延焼を遮断出来る可能性が高くなることが期待できる。延焼遅延効果を評価する方法としては、以下(a)、(b)に示す方法が考えられる。

(a)時間曲線を用いる評価

ここでは、評価指標の中の「時間 - 焼失建築面積曲線」を例として取り上げる。

例えば施策の実施前後のそれぞれの市街地データといった、複数の市街地データに対して時間 - 焼失建築面積曲線を描き、それらを重ねた結果できる差の部分の面積により比較する。

(b)適当な計算時間を設定する評価

「延焼防止に必要な消防能力が整うまでの時間」を定義できれば、この時間までに発生する被害に関する評価指標を用いて、合理的に防火性能を評価することが可能となる。

しかしながら、「延焼防止に必要な消防能力が整うまでの時間」を定義するためには、当該評価地域だけでなく、その周辺市区町村や都府県の状況に関して非常に多くの仮定が必要となり（定義するための方法についての考え方については本項 に示す）必ずしも合理的な定義は容易ではない。

ここでは、阪神・淡路大震災の際に発生した火災の焼け止まり時間の分析に基づき、計算時間の設定に参考となる時間を求める。ここで求められる値は阪神・淡路大震災という特定の地震、気象、出火件数、消防能力、市街地状況等といった条件の上で発生した現象を見たものに過ぎないが、参考として阪神・淡路大震災時にどのような状況であったかを見ることは意味のあることである。

阪神・淡路大震災時の神戸市の状況

i) 対象火災

ここは、地震直後の同時多発火災が、概ねどの程度の時間で焼け止まるかを求めるため、兵庫県神戸市、尼崎市、西宮市、芦屋市内で1995年1月17日中に発生した火災のうち、全焼棟数が2棟以上の火災を対象とした。火災報告によれば、上記条件に合致する火災は、68件であった。

ii) 焼け止まり時間の推定

焼け止まり時間の推定方法として、火災報告による出火時刻と鎮圧時刻の差から求めることが考えられるが、鎮圧時刻は、延焼動態図を求めた既往の報告による焼け止まり時刻よりも大きく遅れている傾向にあり、鎮圧時刻をそのまま焼け止まり時刻として取り扱うことは困難である。

ここでは、全焼棟数から焼け止まり時間を推定することとした。

延焼動態図が明らかにされている火災のうち、一つと見なすことの出来る延焼領域に複数の出火点が見られている火災や、飛び火により延焼したことが示されている火災を除くと、6件の火災が報告されており、表2.1.16の通り出火から焼け止まりに要した時間を得た。ここで、延焼速度および一棟あたりの敷地面積をいって意図仮定すると、全焼棟数と、焼け止まり時間の2乗が比例関係にあることが予見できる。上記6件の火災について、全焼棟数の平方根と焼け止まり時間を見たものが図2.1.24であり、直線回帰すると、次式になる。

表 2.1.16 延焼動態図の読みとりを行った火災データ

全焼 (棟)	全焼棟数から推定した 焼け止まり時間[hour]	延焼動態図から読み取った 焼け止まり時間[hour]	(参考)出火から鎮圧に要した 時間[hour]
85	3.07	3.00	20
170	4.35	3.67	9.67
146	4.03	7.67	23.17
991	10.49	11.30	18.22
1311	12.07	10.00	29.33
385	6.54	5.00	11

$$(\text{全焼棟数})^{0.5} = 2.9469 \times (\text{焼け止まり時間}) \quad (72)$$

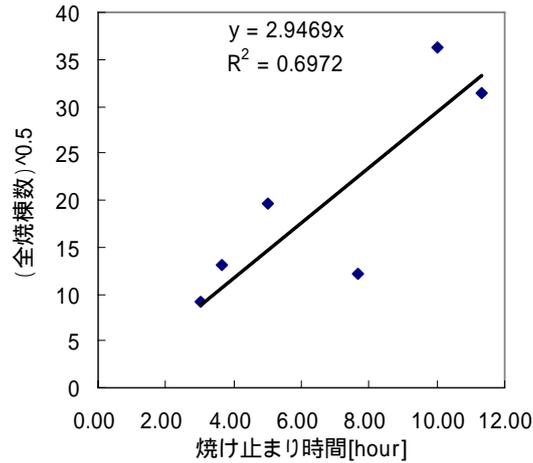


図 2.1.24 全焼棟数と焼け止まり時間の関係

対象火災の全 68 件に関して、上式から焼け止まり時間を求め、1 時間単位で割合を求めたものが図 2.1.25 である。なお、68 件の火災における平均全焼棟数は 101 棟であり、これから求められる焼け止まり時間は約 3.42 時間となった。この結果、シミュレーションの設定条件としての計算時間は、3~4 時間とすれば、阪神・淡路大震災のような条件下での平均的な被害状況を計算することが可能であると言える。

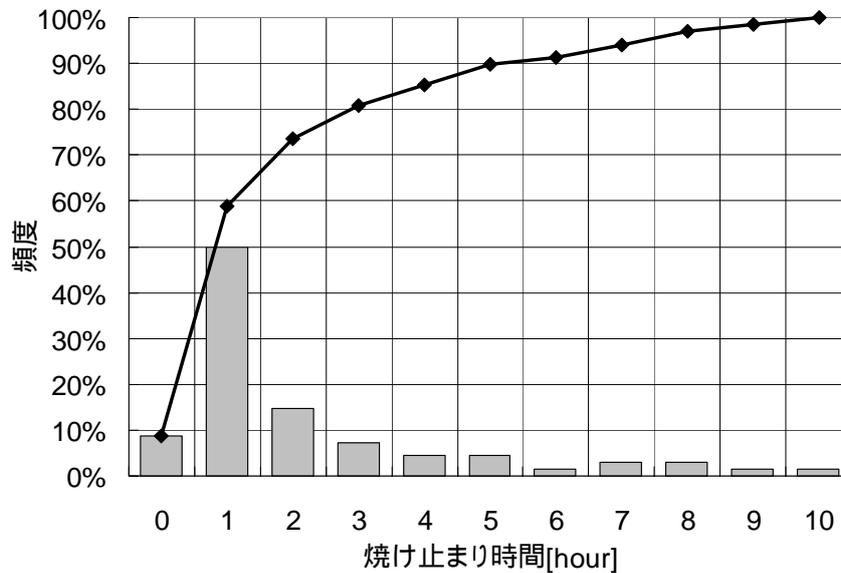


図 2.1.25 焼け止まり時間の推定値の確率分布

延焼防止に必要な消防能力が整う時間

- i) 炎上火災発生から鎮圧に至るシナリオ
- ・ 放任火災発生シナリオ

阪神・淡路大震災時の火災被害状況をマクロ的に見ると、消防署所の管轄エリアでの出火件数と比べて、地震直後の初動時出動可能なポンプ車等の台数の不足している件数分が広域延焼火災 (1000m² 以上) に至

っていることが示されている⁸⁾。

このことから、管轄エリア内の出火件数の見積もりと、ポンプ車等台数から、出火1件あたりのポンプ車等が対応できない割合が得られる。一方、ポンプ車等が対応出来た火災であっても、消防水利が確保出来ていなければ消火出来ないため、水利から消防ホースが届くかどうか、水利が利用可能かどうかにより放任火災となる場合がある。

・消防能力が整う時間に関するシナリオ

放任火災となった場合、消防力が働かないため、延焼拡大が進むこととなるが、マクロ的には火災は円形や卵形に拡大し、時間に比例して火面周長が長くなる。これに対して、消防能力は、初期の段階においては、保有しているポンプ車等の台数のみであるが、次第に応援の消防隊が、消防力に余裕のある周辺の消防署所、周辺の消防本部、さらに周辺からと、集結し、トータルの消防力による放水可能な火面長が、その時点の火面周長を上回った時点で全ての火災の延焼が阻止される。

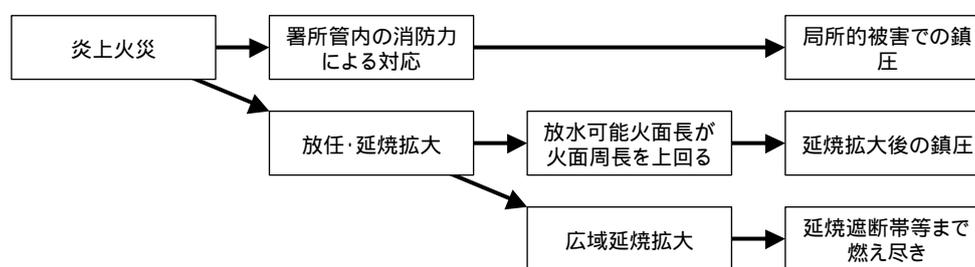


図 2.1.26 炎上火災発生から鎮圧に至るシナリオ

ii) シナリオに基づく延焼シミュレーションを用いた防火性能評価に必要な情報

上記のシナリオに沿って、評価を行う際に必要なパラメータは、評価地区を管轄する消防署所管内を「管内」、地震火災発生範囲内を「災害範囲内」として、以下の情報が必要となると考えられる。

- ・管内の公設消防および消防団の保有する消防ポンプ車等台数
- ・管内の炎上出火件数
- ・災害範囲内の公設消防および消防団の保有する合計消防ポンプ車等台数
- ・災害範囲内の合計炎上出火件数
- ・炎上出火一件あたり（消防活動が無しとした場合の）時間別火面周長
- ・災害範囲内への応援消防隊の時間別累積ポンプ車等台数
- ・評価地区内の消防水利カバー率
- ・ポンプ車等1台あたり担当火面長
- ・ホース一口あたりの担当する火面を消火するために要する放水時間、放水量

上記の中で、「災害範囲内への応援消防隊の時間別累積ポンプ車等台数」は、地震被害をどのように想定する（被害の規模・範囲）か、周辺地域との連携はどのようにとるか、応援等の道路移動時間等により大きくかわってくる。幹線系道路ネットワークの評価は、本総プロ課題Ⅰ-2・3（幹線系道路）において、モデル化されており、その活用が可能である。その他の項目については、現有の消防力や被害想定に応じた形で適切に求められることが必要となる。

また、消防水利カバー率、個別消防水利との距離、および水利の利用可能率は、2.2において、モデル化されている。

2.1.5 ケーススタディ

ここでは、市街地のサンプルデータを用いて、実際にシミュレーションプログラムを用いた市街地防火性能評価のケーススタディを行う。

作成したプログラムを用いてケーススタディを行った。計算結果の一例を図 2.1.27～図 2.1.33 に示す。計算条件は東風（図の右から左への風）10[m/s]、出火後 60 分ごとの火災の状況である。

図中の赤で示した線分と円はそれぞれ火炎軸と火炎球を表している。区画の色は mode を表しており、mode0 から mode4 の順に、グレー、黄、橙、赤、茶の各色で示している。



図 2.1.27 出火後 60 分



図 2.1.28 出火後 120 分



図 2.1.29 出火後 180 分



図 2.1.30 出火後 240 分

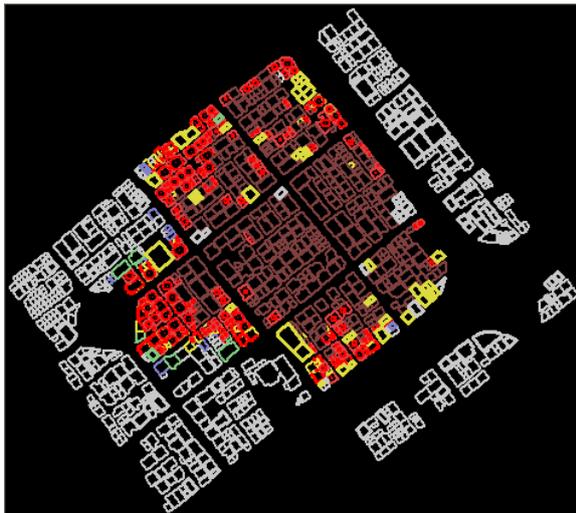


図 2.1.31 出火後 300 分

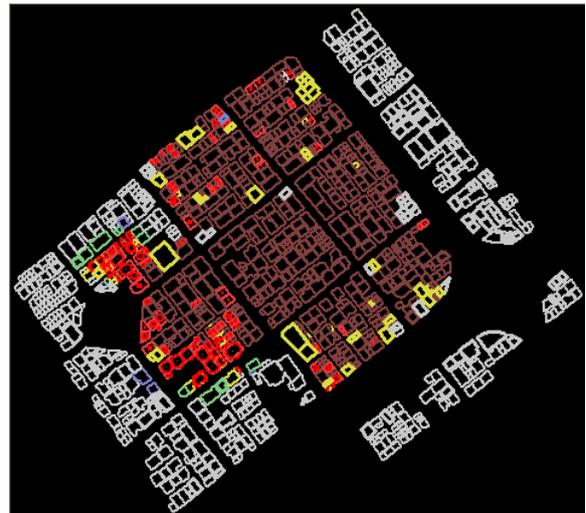


図 2.1.32 出火後 360 分

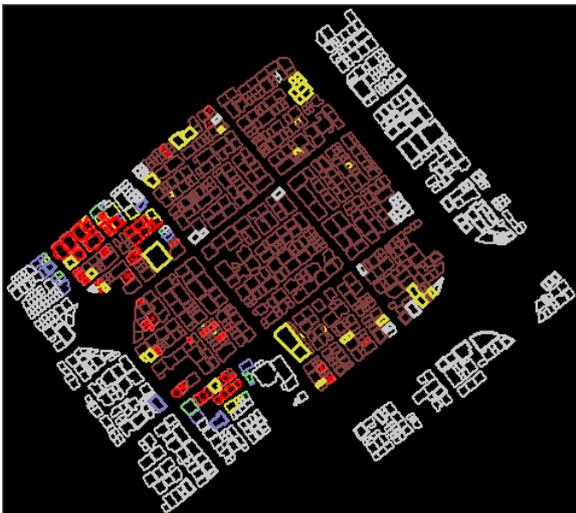


図 2.1.33 出火後 420 分

2.1.6 まとめと課題

火災現象を物理的に記述した市街地火災のシミュレーションモデルを構築した。さらに、このモデルに基づいたシミュレーションプログラムを作成した。

本研究では、個別の物理モデルを組み上げて市街地火災を記述しており、本モデルにより、個別建物の建て替え、ポケットパークの整備、樹木・塀柵等の設置、あるいは隣棟間の開口部相対位置の調整など、小規模な対策の効果を評価することが可能となる。

一方、市街地火災の性状を大きく左右するもののモデル化出来ていない現象としては、

- ・火災建物周辺のミクロな風環境による火災性状の変化
- ・飛び火による跳躍延焼

などがあり、また、個々の物理モデルの精度については課題も残されており、今後、信頼性を高めて行く必要がある。

【参考文献】

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課他：2001年版耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説、井上書院、2001.3
- 2) 大宮喜文，林吉彦，岩見達也：有風下における建物周囲に形成される火炎性状-立方体模型を用いた実験に基づく火炎性状モデル、第17回風工学シンポジウム論文集，pp.179～184，2002.12
- 3) 長谷見雄二他：屋根が崩壊した建築物から噴出する火炎性状、日本建築学会関東支部研究報告集、pp.293～296、1988
- 4) 田中哮義：建築火災安全工学入門、日本建築センター、1993.7
- 5) 長谷見雄二：放射熱を基準とする建築間火災拡大予測評価手法、災害の研究18、pp.169～186、1987.3
- 6) 東京消防庁：地震発生時における人命危険要因の解明と対策（火災予防審議会答申）、1999
- 7) 東京消防庁：直下の地震を踏まえた新たな出火要因及び延焼性状の解明と対策（火災予防審議会答申）、1997.3
- 8) 関沢愛：阪神・淡路大震災時における同時多発火災に対する消防活動について、災害の研究28、pp.192～203、1997.3
- 9) 日本火災学会：1995年兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書、1996.11