

# 市街地火災における火の粉の発生量の実験的解明と 延焼シミュレーション技術への反映

建築研究所 上席研究員 林吉彦 国土技術政策総合研究所 上席研究員 岩見達也

## 概要：

建築研究所と国土技術政策総合研究所は火災実験結果や経験的知見を基に延焼シミュレーションプログラムを共同開発した。延焼シミュレーションプログラムをパソコンで動かすと市街地火災が時々刻々と広がる様子を予測することができる。延焼シミュレーションプログラムは年間平均風速に相当する 3～4m/s の設定条件下で精度の良い予測結果を示すが、強風の設定では延焼速度が実際よりも遅くなる。強風に乗って遠方に飛散する火の粉による飛火を考慮していないためである。

本研究では、建築研究所の火災風洞で木材クリブを燃焼させ、有風下における火の粉の発生量を計測した。火の粉の飛散範囲、落下時着火の可能性については既往の研究を参照し、発生から飛散、着火に至る一連のモデルを再構築した。以上のモデルを組み込むことで延焼シミュレーションプログラムを改良した。延焼速度について過去の市街地火災と比較、検証した後、延焼シミュレーションプログラムを実市街地に適用した。本研究において延焼シミュレーションプログラムに火の粉による飛火の影響を加味したことで、木造密集地の火災性状予測と防火対策の事前評価の安全側の実施が可能になった。

キーワード：火の粉、火災風洞、延焼シミュレーションプログラム、

## 1. はじめに

延焼シミュレーションプログラム<sup>1)</sup>は、市街地火災が時々刻々と広がる様子をパソコンで比較的容易に予測することができる。住民の防災意識を高め、火災に強いまちづくりを実現するうえで有力なツールである(図1)。



■ 05:47 (出火) ■ 05:48～06:10  
■ 06:11～07:30 ■ 07:31～08:30  
■ 08:31～10:30 ■ 10:31～12:40

図1 延焼シミュレーション(左図は実態調査結果)

ただし、現バージョンにおいては、火の粉による飛火の影響が考慮されていない。たとえば、関東大震災では、合計153箇所から出火したが、その内の63箇所は飛火によるものであった<sup>2)</sup>。強風下において大量の火の粉が飛散する状況を想定したシミュレーションを可能にするため、延焼シミュレーションプログラムに火の粉による飛火を組み込むことが必要である。

本研究では、有風下における火の粉の発生量を計測した。火の粉の飛散範囲、落下時着火の可能性については既往の研究を参照し、発生から飛散、着火に至る一連のモデルを再構築し、延焼シミュレーションプログラムに組み込んだ。

## 2. 火の粉の発生量解明のための実験

建築研究所火災風洞(図2)で実験を行った。赤松で組んだ木材クリブを燃焼させて火の粉を発生させ、風に乗せて移流させた。CCDカメラで火の粉飛散の様子を撮影し、映像記録を基に火の粉の発生量を把握した。風下の3ヶ所に水を張ったパンを置き、パン内に堆積した火の粉の個数と質量を計測した(図3)。



図2 火災風洞 (下段は透視図)

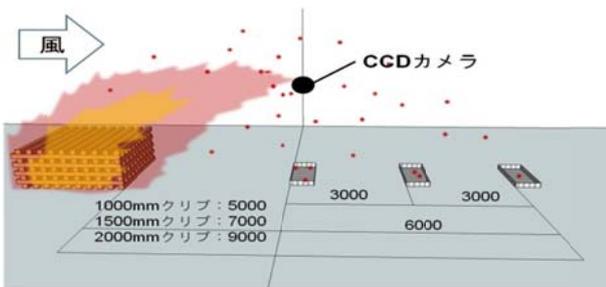


図3 実験概要

クリブの質量変化をロードセルで計測した。クリブ寸法は3種類、それぞれ3段階の風速で実施した。実験条件を表1に示す。木材含水率は7.6～9.2%、温度はケース1～9では21～32℃、ケース10～16では9～12℃、湿度はケース1～9では48～72%、ケース10～16では50～72%であった。

クリブ点火を実験開始時間とし、30秒毎に火の粉の発生速度を求めた。具体的には、1秒間30コマそれぞれに写る火の粉の数を合算した。定時のカウント以外に、木材クリブの崩壊時には3秒間90コマの火の粉を合算し、火の粉の発生速度を求めた。

燃焼する木材クリブの下方にはロードセルを設置し、燃焼に伴う質量減少を記録した。その際、赤松の燃焼熱17.7kJ/gを用いて燃焼中の発熱速度を算出した。

発熱速度(図4(2)、図5(2))は、急激に立ち上がり、ピークが持続した後、なだらかに減衰を続ける。立ち上がりは風速の増加につれて急である。ピーク持続時間は風速の違いが見られない。減衰は風速値が大きいほど早い。火の粉の発生速度(図4(1)、図5(1))は、発熱速度の変化に対応する形で変化するが、立ち上がりはやや先

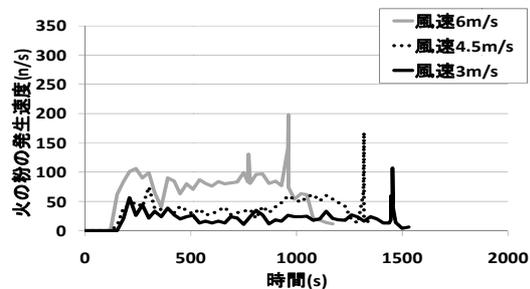
行し、ピーク継続は長く、その期間は発熱速度の減衰期にも及んでいる。風速値が大きいと発生量も多い。発熱速度の減衰期に部分崩壊を起こし、火の粉の発生は瞬間的に増加する。その時期は風速値が大きいほど早く、絶対量も多い。

パンには最大で529個の火の粉が堆積した。全ケースの総数は2095個である。これらを質量ごとにカウントしたものを図6に示す。0.005～0.01gの質量の火の粉の発生が最も多い。

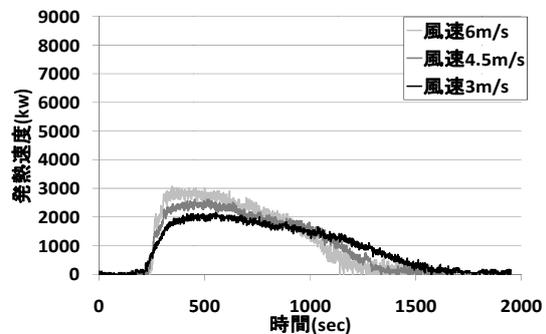
各ケースの火の粉の平均質量は表2に示す通り。同表の総発生個数は図4(1)、図5の(1)を積分して求めた。以上より火の粉の総質量を見積もり、クリブの質量に占める割合を同表に示す。

表1 実験ケース

実験 case	クリブ寸法	質量	風速
1	1000*1000*450	110	3
2		113	
3		113	
4		113	4.5
5		114	
6		113	
7		114	6
8		112	
9		113	
10	1500*1500*450	238	4
11		242	
12		243	5.5
13		256	
14		253	7
15		253	
16	2000*2000*450	435	6.5

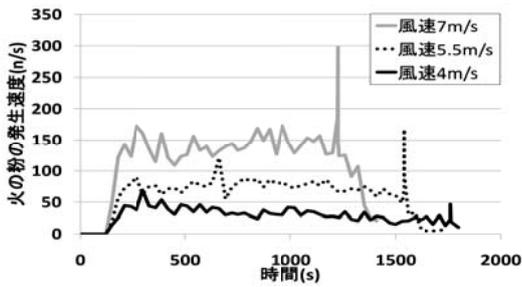


(1) 火の粉の発生速度

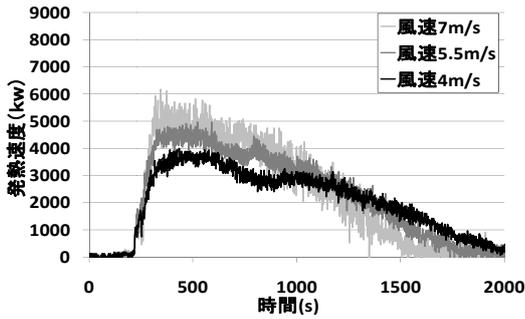


(2) 木材クリブの発熱速度

図4 実験結果 (外寸1000×1000×450mmクリブ)



(1) 火の粉の発生速度



(2) 木材クリブの発熱速度

図5 実験結果 (外寸 1500×1500×450mm クリブ)

火の粉の密度を計測していないが、仮に 0.5 としても、火の粉に変化する木材の質量は多くのケースで元々の木材クリブの 1%以下である。多いもので数%である。

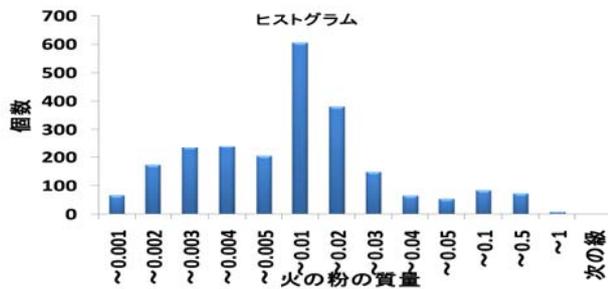


図6 火の粉の発生個数

表2 クリブ質量に対する火の粉総質量の割合

実験 case	採取火の粉平均質量(g)	火の粉総発生個数	火の粉総質量の割合(%)
1	0.0045	29610	0.12
2	0.0043	48030	0.19
3	0.0027	30030	0.07
4	0.0066	47340	0.28
5	0.0047	46590	0.20
6	0.0027	46710	0.11
8	0.0171	103410	1.63
9	0.0173	51353	0.81
10	0.0039	36360	0.06
11	0.0059	51900	0.13
12	0.0062	84330	0.22
13	0.0071	103440	0.29
14	0.0271	148710	1.64
15	0.0314	126300	1.61
16	0.0024	180510	0.10

倒壊までの火の粉発生速度を既往の研究に倣い<sup>3)</sup>、次式で表現する。

$$\frac{N-N'}{N'} = cX_1^n X_2^m \quad (1)$$

$$X_1 = \dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{1116L^2H^{0.5}}, X_2 = Fr = \frac{U^2}{gL} \quad (2)$$

実験データを基に回帰解析により定数  $c$ 、 $n$ 、 $m$ 、未知数  $N'$  を算出すると、次式が得られる (図7)。

$$N = 2.79\dot{Q}^{*-0.93}Fr^{0.9} + 0.547 \quad (3)$$

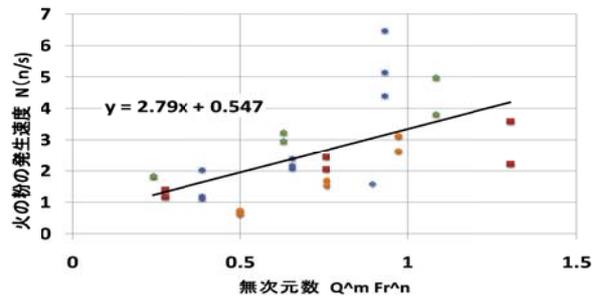


図7 火の粉発生速度と無次元数との関係

### 3. 延焼シミュレーションプログラムへの反映

前述の実験結果に基づいて火の粉の発生速度をモデル化した<sup>4)</sup>。火の粉の飛散範囲、落下時着火の可能性については既往の研究<sup>5)6)</sup>を参照し、発生から飛散、着火に至る一連のモデルを再構築した。以上のモデルを用いて延焼シミュレーションプログラムを改良した。飛火を再現する様子を図8に示す。風速をパラメータにして延焼シミュレーションを行い、過去の市街地火災と比較した(図9)。

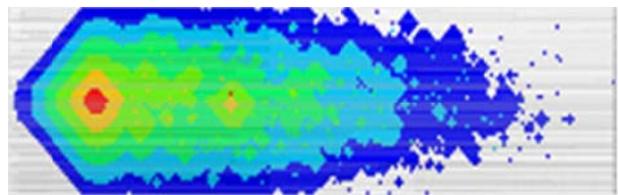


図8 火の粉による飛火の再現風速 (15m/s、30分毎に着色)

延焼シミュレーションプログラムを重点密集市街地の横浜市保土ヶ谷区峰岡町二丁目に適用した。風速は 6m/s、風向は南西、火の粉飛散角度は 30° にて計算を行った。火の粉により飛火を起こす結果を示した (図10)。

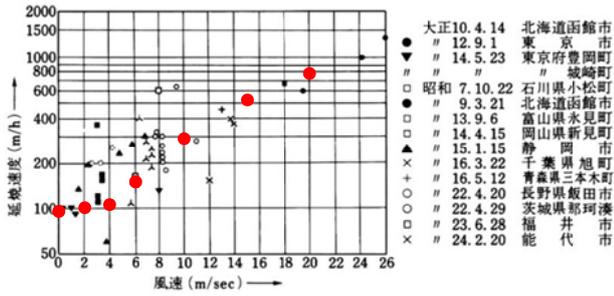


図9 風速と延焼速度 (●: 計算結果)



図10 実市街地への適用 (上: 31分後、下: 60分後)

#### 4. まとめ

木材クリブを燃焼させ、火の粉の発生量を実験で明らかにし、火の粉の発生速度を定式化した。その結果を延焼シミュレーションプログラムに組み込み、火の粉による飛火を考慮したプログラムを構築した。今後、防災対策の事前評価ツールとして積極的に活用していく。

記号

$N$ : 火の粉発生速度 (単位面積あたり、個/(m<sup>2</sup>s))  $N'$ : 火の粉発生速度 (無風下の推定値、他の係数同様に回帰解析で決定)  $\dot{Q}$ : 発熱速度 (kW)  $\dot{Q}^*$ : 無次元発熱速度  $L$ : クリブ高さ (m)  $H$ : クリブ長さ (m)  $Fr$ : フルート数  $U$ : 流入風速 (m/s)  $g$ : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

参考文献

- 1) 岩見達也他、市街地の延焼危険性評価手法の開発、建築研究報告書、2006年
- 2) 堀内三郎、建築防火、朝倉書店、1972年
- 3) B. J. McCaffrey et al., Estimating Room Temperatures and Likelihood of Flashover using Fire Test Data Correlations, Fire Technology, 1981
- 4) 岩見達也他、飛火を反映した市街地火災シミュレーションの構築 (その2)、飛火現象のモデル化とシミュレーションの構築、日本建築学会大会学術講演梗概集、平成23年度
- 5) 林吉彦他、市街地火災を想定した火の粉飛散と屋根部着火に関する実験的研究 (その1)、火の粉発生装置を用いた火の粉の飛散性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、平成21年度
- 6) 永野紳一郎他、火の粉の浮力効果のモデル化に関する実験的研究、日本火災学会研究発表会概要集、平成23年度