

京都市における木造密集市街地の防災基盤整備に関する研究

- 樹木の延焼遮断効果について -

A study on disaster mitigation maintenance of densely build-up area with wooden building in Kyoto
- About the effect of the fire spreading interception by the tree -

村橋正武¹・岩口泰徳²・井上豊宏³

Masatake Murahashi, Yasunori Iwaguchi, Toyohiro Inoue

¹立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

²中央三井信託銀行株式会社 不動産投資顧問部 (〒105-8574 東京都港区芝3-23-1)

M.Eng, The Chuo Mitsui Trust and Banking Company

³立命館大学大学院 理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Ritsumeikan University, Graduate Course of Science and Engineering

In Kyoto, the cultural heritages are surrounded by densely build-up area with wooden buildings which is dangerous from fire and fire spreading. Thus, it is important to improve the fire prevention maintenance and protect the cultural heritages from fire in Kyoto. However, the maintenance is required at small cost due to Kyoto City's severe budget. Therefore, in this study, we analyzed the effect of the fire spreading interception by the tree.

Key Words : *fire spreading interception, tree, GIS*

1. はじめに

歴史都市である京都市の木造密集市街地や、伝統的建造物群保存地区に代表されるような木造建物が輻輳する地域では、地震時の同時多発型の火災による被害が最も大きく、地震火災から貴重な財産である文化遺産や市街地を守るために、都市構造の不燃化に対する工夫が必要である。都市構造の不燃化は、建物の耐火構造化や空地の配置、道路整備、緑化等の施策によって進められる。その中でも特に緑化施策は他の不燃化策とは異なり、整備に伴った建物更新を必要としない施策である。このため建物の耐火構造化や道路の拡張等の他の不燃化策よりも短期間で、かつ低コストの整備が可能である。さらに京都市等の歴史的町並みを有する都市では、これを保全しつつ不燃化を促進させるため、建物更新に依らない不燃化策の検討も必要であり、この点からも緑化施策を推進することが望ましい。

現在京都市では早急な災害対策が求められ、さらに逼迫した財政事情により効果的な事業の対応が迫られている。これらの課題に応えるためにも、実行可能な緑化施策とその効果の把握が求められる。そこで本研究では、市街地延焼特性を踏まえた樹木の延焼遮断効果を GIS を用いて算出する手法を提案し、効果的な植樹の方策について検討する。

2. 樹木の延焼遮断効果の評価手法の提案

本研究の樹木の延焼遮断効果の評価は、國見ら¹⁾が提案した「延焼クラスターの期待焼失面積」と岩河²⁾の研究を援用して導いた「遮蔽物となる樹帯」に基づいて行う。

(1) 延焼クラスターの期待焼失面積について

延焼クラスターとは、建物の延焼限界距離を用いて市街地を塊として表現したものであり、1地点の出火によってエリア内のすべて建物が焼失してしまう範囲を表している。國見ら¹⁾は、この領域の出火確率や建物密度を考慮するため、延焼クラスター内の n 地点のうち、 x 地点が出火する確率が二項分布に従う基本出火単位を設定し、(1)式の期待焼失面積という指標を提案している。

$$E_i = \sum_{x=1}^n \frac{A_i}{n} x_n C_x q_i^x (1 - q_i)^{n-x} = A_i q_i \quad (1)$$

E_i : 延焼クラスター i の期待焼失面積、 A_i : 延焼クラスター i の面積、 q_i : 基本出火単位の出火確率

一方、延焼クラスターを形成する建物の延焼限界距離は、既往研究^{3) 4) 5)}から(2)式のように燃焼側建物の規模や構造や階数、受熱側建物の階数、風速や風向、出火からの時間といったパラメーターによって構成される。

$$d = F(a_{active}, s_{active}, f_{active}, f_{passive}, t, v, \theta) \quad (2)$$

d : 延焼限界距離(m)、 s_{active} : 燃焼側建物の構造、 $f_{passive}$: 受熱側建物の階数、 v : 風速(m/s)

a_{active} : 燃焼側建物1辺長(m)、 f_{active} : 燃焼側建物の階数、 t : 出火からの時間(min)、 θ : 風向

延焼限界距離は(2)式に示したように出火からの時間や風速等によって変化し、延焼クラスターの大きさに影響を及ぼす。本研究では、延焼遮断となる樹木位置の特定を目指しているため、ある建物の延焼限界距離の変化に伴う延焼クラスターの変化を、その建物の「延焼ポテンシャル」として定義する。なぜなら、延焼ポテンシャルを用いて延焼クラスターの変化を捉えると、図1に示すように延焼クラスター同士の結合という現象が現れ、その結合点において植樹を行うことで延焼遮断効果を有する遮蔽物が配置できると考えるためである。次に、ここで定義した延焼ポテンシャルは延焼限界距離に依存するので、延焼限界距離を構成する建物の構造、規模、階数といった建物ポリゴン属性以外のパラメーターについて考察する。出火からの時間パラメーターについては、本研究では前述の通り同時多発型の地震火災を想定して延焼クラスターの変化を捉えることとしており、時間を追った延焼クラスターの変化を捉えること自体は目的としていない。このため出火からの時間パラメーターによる変化は考慮しない。風速パラメーターについては、風速を変化させて延焼クラスターを捉えることは設定風速 v m/s に対応した焼失範囲を示すことから、パラメーターとして用いる。風向パラメーターについては、GIS上で風向を考慮した延焼限界距離を作成すると風下に大きく膨らんだ卵型になる。しかし、異方性を考慮したバッファーをGIS上で描くことが技術的に困難なので、風向は全方向の平均をとることとする。

以上より、風速パラメーターを用いた延焼限界距離の変化を延焼ポテンシャルとして捉えることとする。また出火からの時間は無限大とする。さらに燃焼側と受熱側の両側の建物は、裸木造標準建物で一辺長が10mの正方建物ですべて2階と仮定した。この仮定により延焼限界距離は、濱田⁴⁾の延焼限界距離式に基づき、(3)式で表すことができる。

$$D(v) = 0.49v + 8.50 \quad (3)$$

$D(v)$: 延焼限界距離(m)、 v : 風速(m/s)

(2) 遮蔽物となりえる樹帯

樹木のDMデータ(Digital Mapping Data)は、航空写真等から読み取ったポリゴンデータを用いる。遮蔽物となる樹帯は、十分な耐火力を有している樹帯ポリゴンを抽出したものであり、具体的には岩河²⁾によって導かれている落葉広葉樹の耐火限界値の 407°C を用いる。さらに図2に示すように、この温度に相当する濱田⁴⁾の等温度面を算出し、樹木の高さを一律7mと仮定した場合の距離を樹木の保全距離とした。この樹

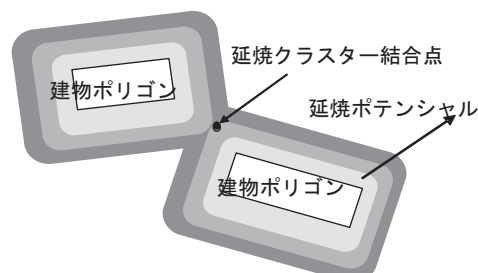


図1 延焼クラスター結合点

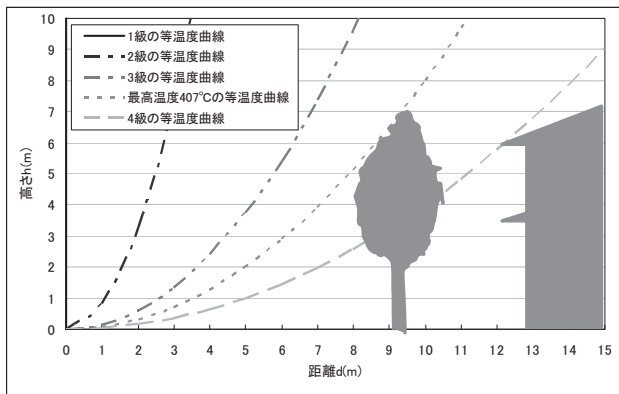


図2 等温度面

木の保全距離より燃焼建物側に位置する樹木は、火災時に形態を維持することができず焼失してしまう。反対に樹木の保全距離より外側に位置する樹木は十分な耐火力を有する。

(3) 評価の手順

樹木の延焼遮断効果の評価手順は、図3のようにまず風速 v の延焼クラスターを作成し、遮蔽物となり得る樹帯をGIS上で導き、この延焼クラスターから樹帯を空間から取り除き、延焼クラスターの期待焼失面積の減少を算出する。この期待焼失面積の減少は、火災発生時の延焼面積の減少を意味するため、期待焼失面積の減少分は、風速 v における樹木の延焼遮断効果といえる。この手順を風速0m/sから風速9m/sの延焼クラスターについて繰り返し、風速の発生確率によって加重平均することで、樹木の延焼遮断効果を算定する。風速の発生確率は京都地方気象台の2005年アメダス10分値データより1年間の風速の頻度分布を作成した。ただし、GIS上では空間的に連続な延焼クラスターを形成することができないため、風速0m/s、風速1m/s、…のように離散的な延焼クラスターを形成した。風速別の延焼クラスターを用いることで、炎の回り込みによって延焼する場合も考慮することができる。(4)式にモデル式を示す。

$$I_k = \sum_v Q(v) U_k(v) \quad (4)$$

I_k : k 地点における樹帯の延焼遮断効果、 $Q(v)$: 風速 v の発生確率

$U_k(v)$: 風速 v における k 地点の樹帯によって減少する延焼クラスターの期待焼失面積の差の平均
また $U_k(v)$ については、以下の(5)式のように設定した。

$$U_k(v) = \sum_{i=1}^m \left[\frac{E_i(v)}{\sum_{i=1}^m E_i(v)} * \{E_{united}(v) - E_i(v)\} \right] \quad (5)$$

$E_i(v)$: 風速 v における分断後の延焼クラスター i の期待焼失面積

$E_{united}(v)$: 風速 v における分断前の延焼クラスターの期待焼失面積

m : k 地点の樹帯によって影響を受ける延焼クラスターの総数

3. 既存樹木の延焼遮断効果

上述の評価手順にもとづき、研究対象地である京都市上京区及び東山区において、延焼遮断効果を有する全134樹帯を抽出した。

(1) 効果を有する既存樹木の空間分布の特徴

上京区及び東山区における延焼遮断効果を有する樹帯の分布を図4に示す。上京区では、北西部の北野天満宮周辺や大報恩寺周辺、また北東部の表千家宗家及び裏千家宗家周辺で延焼遮断効果が高い樹帯が認められた。京都御所は敷地内に建物自体が少ないため、あまり高い効果が認められなかったが、御所周辺の市街地には延焼遮断効果が認められる樹帯が多くみられた。東山区では、南禅寺、永観堂、知恩院周辺、円山公園、

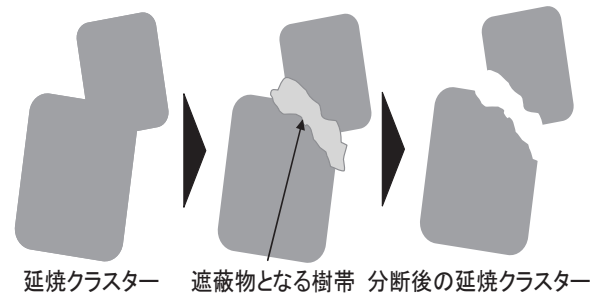


図3 延焼遮断効果の評価手法の概念

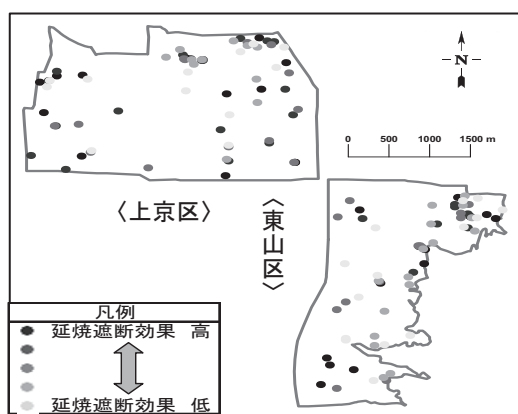


図4 延焼遮断効果を有する既存樹帯の分布
(京都市上京区及び東山区)

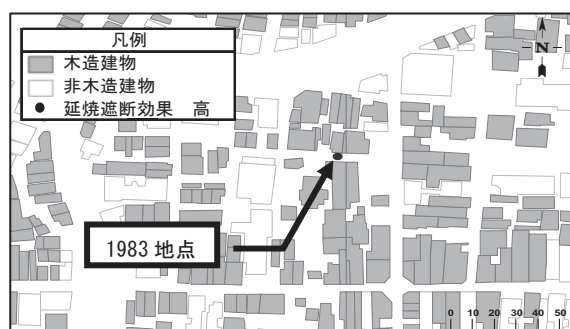


図6 既存樹木の延焼遮断効果
(上京区大將軍八神社境内)

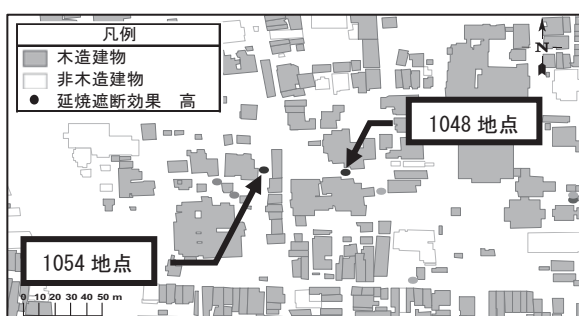


図5 既存樹木の延焼遮断効果
(上京区裏千家・表千家敷地及び宝鏡寺境内)

表1 既存樹木のU値とI値のサンプル

ID (m/s)	1054	1048	1983
U値_風速0	0.00	0.00	0.00
U値_風速1	0.00	0.00	0.00
U値_風速2	0.00	0.00	5.36
U値_風速3	4.89	19.07	5.71
U値_風速4	5.11	20.44	6.05
U値_風速5	5.34	58.65	0.00
U値_風速6	5.54	61.38	0.00
U値_風速7	5.98	113.02	0.00
U値_風速8	6.20	118.37	0.00
U値_風速9	6.43	123.71	0.00
延焼遮断効果	0.99	5.89	1.90

建仁寺周辺、三十三間堂周辺で延焼遮断効果の高い樹帯が認められた。

本研究での樹木の延焼遮断効果とは、岩河の研究によって示されている樹木そのものが持つ防火機能（耐火力、遮蔽力）ではなく、建物の間に樹帯として位置していて市街地の延焼拡大を抑制させる効果を指している。そのため、延焼遮断効果を有する樹帯であるためには、樹帯が木造建築物等の可燃建物間にあることが前提となり、平安神宮周辺のように大規模な樹帯があっても、周辺に建物が無ければ延焼遮断効果は低いと評価した。一方、木造密集市街地内の狭小な空間に存在する小規模な樹帯であっても、延焼遮断効果が認められた。

(2) 効果が高い既存樹木

既存樹帯うち、最も高い延焼遮断効果を示したのが、図5の上京区の表千家宗家と裏千家宗家の施設内にある1048地点の樹帯であった。この樹帯は、表1に示すように風速3m/s以上の延焼クラスターを分断し、5.89 m²の期待焼失面積を減少させる効果を示した。また西側の宝鏡寺境内の1054地点の樹帯も0.99 m²の延焼遮断効果を示した。図6は延焼遮断効果が2番目に高い1983の樹帯位置を示している。この樹帯は、表に示すように風速2m/sから風速4m/sまでの延焼クラスターを分断する性能を有し、その延焼遮断効果は1.90 m²である。さらにこの樹帯は大將軍八神社の境内にあり、その北側には幅員4m未満の道路しかないため、防災上重要な樹帯と考えられる。

以上より、市街地における既存樹帯の中で、防災上重要な樹帯を特定した。また、これら延焼遮断効果の高い樹帯の多くが、社寺の境内や文教施設といった歴史文化的な施設の中に存在している特徴も把握することができた。

4. 植樹による延焼遮断効果

次に、新たに植樹することによる延焼遮断効果を計測するため、植樹位置を特定した。本研究では、風速加に伴う延焼クラスター同士の結合点を植樹位置として仮定の樹帯を想定し延焼遮断効果を計測した。その

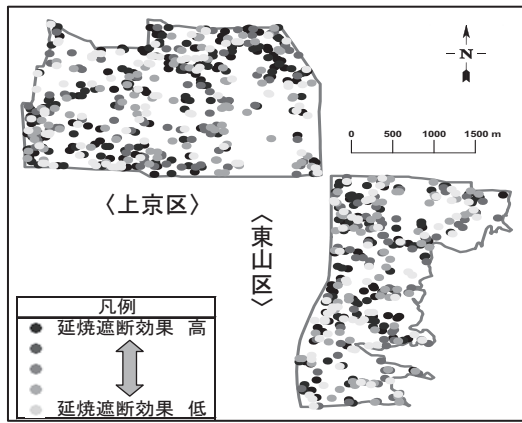


図7 延焼遮断効果を有する植樹位置の分布
(京都市上京区及び東山区)

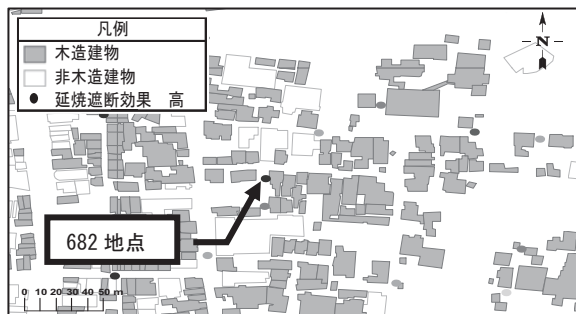


図9 植樹による延焼遮断効果
(京都市東山区石塀小路地区駐車場)

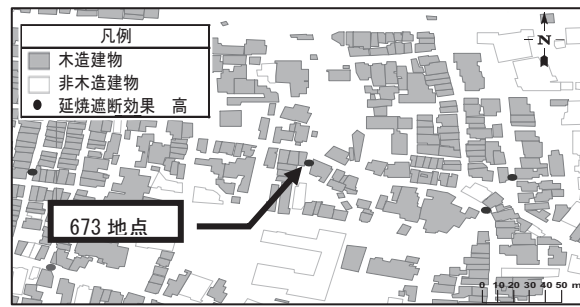


図8 植樹による延焼遮断効果
(京都市東山区産寧坂地区駐車場)

表2 樹木位置のU値とI値のサンプル

ID (m/s)	673	682
U値_風速0	0.00	0.00
U値_風速1	0.00	0.00
U値_風速2	0.00	0.00
U値_風速3	21.16	0.00
U値_風速4	27.55	8.42
U値_風速5	28.87	0.00
U値_風速6	30.22	0.00
U値_風速7	31.61	0.00
U値_風速8	36.75	0.00
U値_風速9	38.35	0.00
延焼遮断効果	4.82	0.43

結果、研究対象地において723個の植樹位置を特定した。

(1) 効果を有する植樹位置の空間分布の特徴

上京区及び東山区における延焼遮断効果を有する植樹位置の分布を図7に示す。効果的な植樹位置は風速増加に伴う延焼クラスター同士の結合点であるため、周辺に木造建築物等の可燃建物がある程度密に存在していなければならない。しかし、可燃建物があまりにも建て詰まっている木造密集市街地等では、延焼クラスターは一つの大きな延焼クラスターとなり結合点が認められず、効果的な植樹位置は特定できなかった。このことから、極端に木造建物が密集している市街地では、植樹による延焼遮断効果が期待できないことが明らかである。

上京区では、南西部の紙屋川周辺を中心に植樹による効果がみられる地点が多い。また京都御所北部の市街地でも、植樹することで延焼遮断効果がみられる地点が多い。東山区では、平安神宮西部の市街地や岡崎周辺、建仁寺周辺で延焼遮断効果がみられる地点が多い。東山山麓部は既存樹木が多いため、特に植樹による延焼遮断効果はみられない。

(2) 植樹が可能な場所と効果

延焼遮断効果を有する植樹位置の多くは道路上であった。これは現状の市街地で植樹場所として有効な非建蔽地が、地図上では道路となっていることが多いことによる。道路上に植樹をする道路緑化事業は、あくまで安全かつ快適な道路交通環境の整備が主目的であるため、防災の観点から直ちに植樹施策を検討するに至らない。そこで道路以外の用地で高い延焼遮断効果を示す場所を特定することとした。

図8に示す673地点は、産寧坂重要伝統的建造物群保存地区内にある駐車場である。表2から風速3m/s以上の延焼クラスターを分断し、4.82 m²の延焼遮断効果が期待でき、飛びぬけて高い効果を示している。また、図9に示す682地点は、石塀小路周辺の駐車場で、0.43 m²の延焼遮断効果を示している。表2からこの植樹位置は、風速4m/sの延焼クラスターを分断する性能を有するものの、風速5m/s以上の延焼クラスターについては炎の回り込みによって延焼遮断効果が計測されないことを示している。その他、駐車場をはじめ、社寺境内や住宅用地等の用地でも、植樹による延焼遮断効果が期待できる場所を示すことができた。

5. 樹木の活用による整備方策の検討

(1) 既存樹木の保存施策

延焼遮断効果が最も高い1048地点については、この樹帯を含む両宗家の敷地全体が既に文化財保護法による名勝指定を受けている。そして現状変更に対して厳しい規制がなされているため、新たな保存施策を講じる必要はない。また、1054地点の樹帯は宝鏡寺境内にあり書院、本堂等の建造物が京都市の登録文化財に指定されている。このことから、樹帯について半永久的に保存するには、登録文化財制度に連動して文化財環境保全地区制度を活用することが望まれる。

さらに、1983の樹帯は大將軍八神社の境内にあるものの、樹木を保存する策は講じられていない。対象樹木が社寺の境内にあるため、民有地にある樹木に比べ伐採等の可能性は低いが、前述のとおりこの既存樹木は延焼遮断効果が高いため、しっかりした保存を講ずべきである。そこで、建造物を京都市指定・登録文化財とした上で文化財環境保全地区制度や、京都市の保存樹制度及び保存樹林制度の活用を検討が望まれる。

(2) 新たな植樹施策

673の植樹位置は、産寧坂重要伝統的建造物群保存地区に指定されている地区内にあるため、植樹する場合は京都市伝統的建造物群保存地区条例に基づき、市長と教育委員会の許可が必要である。このように、植樹には課題があるが、防災の観点からは、単なる植樹の啓発普及に留まらず、京都市が買い取り小規模な公園等とすることが考えられる。また、682の植樹位置は、801.5 m²の広い敷地の駐車場として利用されている。料亭等が建ち並ぶ界隈で広い敷地を利用した公開緑地制度を活用し、都市公園等を整備して植樹施策を推進することが望まれる。

6. おわりに

本研究では、樹木の延焼遮断効果を延焼クラスターを用いて市街地延焼特性から計測することで、防災上重要な既存樹木や植樹位置を特定した。このように、これまで即地的な延焼シミュレーションでしか把握できなかった樹木の延焼遮断効果を、比較的入手可能なデータに基づいて広範囲な地域を対象とした評価手法を用いて示すことができた。さらに、防災上効果的な樹帯の配置と樹木の保存・植樹の方策を示した。

しかし本研究での樹木の延焼遮断効果は延焼クラスターを用いて評価しているため、延焼経路については考慮していない。また広範囲を対象とした評価手法であるため、建物階数は2階であることや樹木の高さは7mとしたこと等、入力したデータに多くの仮定を置いた。このことから樹帯が持つ延焼遮断機能の妥当性を強化するための方法論とともに、具体的な植樹の検討においては配植等についての詳細な検討が必要である。

参考文献

- 1) 國見剛士、村橋正武、塚井誠人(2006)、「歴史都市の市街地条件と延焼特性に関する研究」、土木学会第61回年次学術講演会
- 2) 岩河信文(1984)、「都市における樹木の防火機能に関する研究」、造園雑誌 vol.48.1、pp26-31
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所(2003)、「総合技術開発プロジェクト報告書 防災まちづくりにおける評価技術・対策技術の開発」
- 4) 濱田稔他(1956)、「建築学体系 21 建築防火論」、彰国社
- 5) 日本火災学会編(1997)、「火災便覧第3版」、共立出版
- 6) 都市緑化技術開発機構(2000.3.1)、「防災公園技術ハンドブック」、公害対策技術同友会
- 7) 大和田学、佐々木寧(2004)、「小規模緑地延焼遮断効果のシミュレーション手法と検証」、環境情報科学論文集 18、pp165-170
- 8) 平田富士男(2004.10.20)、「都市緑地の創造」朝倉書店
- 9) 加藤孝明、久貝壽之、小出治、南部世紀夫(2000.8)、「市街地延焼からみた市街地整備のための性能基準に関する基礎的考察(その3) —建物配置の現実化『逐次充填間引き分布』についての考察—」、日本建築学会計画系論文集、第534号、pp163-170