

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20760406
 研究課題名 (和文) 町並み保全に配慮した歴史的建築物群の火災安全計画に関する研究
 研究課題名 (英文) Fire Safety Design for a Group of Traditional Wooden Houses in Harmonization with its Historical Cityscape

研究代表者
 樋本 圭佑 (HIMOTO KEISUKE)
 京都大学・次世代開拓研究ユニット・助教
 研究者番号：90436527

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、隣接敷地との境界に位置する戸境壁に防火補強を施すことで、歴史的町並みの改変を伴わない市街地防火性能の向上策について検討を加えた。また、これまでに開発した市街地火災延焼予測モデルの機能を拡張させると同時に、操作インターフェースを整備することで、従来のような建物そのものの建て替えや道路拡幅といった大規模な防火対策だけでなく、戸境壁の補強のような建物部材レベルの防火対策の有効性を評価することを可能とした。

研究成果の概要 (英文)：

Enhancement of fire safety performance and conservation of historical cityscape of a group of traditional wooden houses was simultaneously sought by reinforcing exterior walls at the boundary of two building sites among the “machiya”-type city block called “kozakai”. In order to verify effectiveness of the fire safety measure such as sectional replacement of building component instead of refurbishment of entire building, urban fire spread model formerly proposed by the authors was refined and its user-interface was developed by integrating the model with GIS (Geographical Information System).

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：都市防災計画

科研費の分科・細目：都市計画・建築計画

キーワード：歴史的町並み, 町並み保全, 防災計画, 火災安全計画

1. 研究開始当初の背景

伝統的建築物は木部をファサードに露出させることを意匠上の特長としている反面、このことが火災による延焼の危険性を助長

するというジレンマを抱えている。伝統的建築物が集積する歴史的市街地を火災被害から守るため、何らかの対策は講じるべきであるが、このために伝統的景観に手を加え、町

並みの文化的価値を損なうことは可能な限り避けるべきである。このため、狭隘な道路の拡幅や、老朽化した建物の建て替え、さらには大規模な区画整理など、一般の密集市街地に講じられる対策を、歴史的市街地にそのまま適用することはできない。そこで、重要伝統的建造物群保存地区に代表される歴史的市街地などでは、例えば地域住民による消火活動体制を整備することによって、建築基準法防火規定の適用緩和を受けてきた経緯がある。しかし、こうしたソフト対策は、地震に伴う混乱や消火設備の損傷によっては所定の機能を十分に発揮できないことが予想されることから、より不確実性の小さい建築的・都市計画的なハード対策を併せて講じることが必須と考えられる。こうしたハード対策の必要性は従来から指摘されてきたが、上記のような歴史的市街地特有の理由から、これまで伝統的町並みに適した対策は見いだせずにいた。

2. 研究の目的

本研究では、隣接敷地との境界にある戸境壁と、建物内部の間仕切り壁の防火補強を行うことで、伝統的建築物の火災でよく問題となる「壁の燃え抜け」を防ぐことを考える。これにより、隣接する建物への延焼危険性を低減するとともに、意匠上の改変を伴わない、歴史的景観に配慮した火災安全計画手法を整備することを目的としている。

こうした手法は、建築物の部材スケールの対策であり、その効果を積み重ねることで市街地スケールの火災抑止を実現することを目論んでいる。しかし、これまでの市街地防火性能評価ツールでは、隣棟間隔や建蔽率といった市街地の巨視的な指標に基づいて構築されてきた。このため、今回対象とするような部材スケールの対策の有効性を評価することはできず、新しい火災安全計画手法の開発の障害となってきた。こうした中、我々の研究グループでは、市街地火災性状の予測が可能で新しい計算モデルの開発を行ってきた。このモデルの特長は、現象の物理的知

見に基づいて定式化された点にあり、各種防火対策の有効性を、定量的かつ合理的に評価可能となっている。本研究では、新しく開発された物理的火災延焼モデルを改良することで、ここで提案する計画手法の有効性を合理的に評価可能なツールへと発展させる。これにより、「防火補強による手法の整備」と「対策評価ツールの開発」を相乗的に展開し、伝統的景観と火災安全の調和した歴史的市街地の実現に資することを目的としている。

3. 研究の方法

(1) 地震火災延焼モデルの開発

防火対策の有効性を評価するため、地震動による建物構造被害とその後に発生する火災性状との関係に着目した、地震火災延焼性状予測モデルを開発した。図1は新しい延焼モデルの概念図である。ここでは、地震火災を複数の建物火災の集合と捉え、他の建物火災の熱的な影響下における個々の建物の火災性状を予測することで、市街地全体の火災延焼性状の予測を行う。

地震火災の特徴は、地震動によって構造的被害を受けた建物が多数混在する市街地で火災が発生し、個々の建物の火災性状がそれぞれの構造的損傷状況の影響を受ける点にある。なかでも、内部空間が押し潰された建物の火災性状は、熱源が区画化されていないために、内部空間が保持された建物のそれとは大きく異なる。ここでは、こうした火災性状に対する影響の大きさを踏まえ、建物損傷状況と、それに対応する燃焼モードを以下に示す2種類に分類し、それぞれに個別の計算手続きを用意するものとした。

(I) 非倒壊建物：区画火災の集合

(II) 倒壊建物：クリブ火災

まず、内部空間が保持された非倒壊建物については、一層ゾーンモデルの考え方に基いて火災性状を計算する。一層ゾーンモデルでは、建物を構成する各部屋（区画）の占有空間を検査体積とみなし、検査体積ごとに定式化される支配方程式を時系列に解くことで火災性状を予測する。ただし、火災の規模

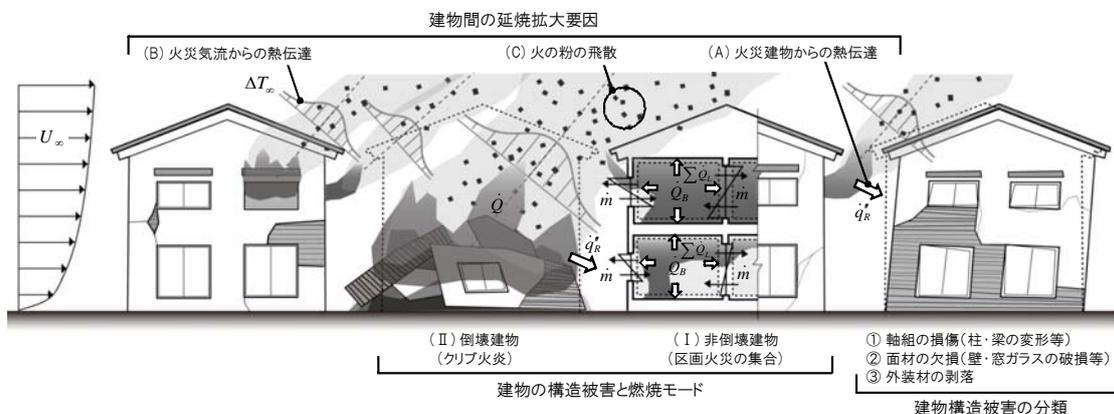


図1 地震火災の延焼性状予測モデル

を左右する発熱速度の大きさについては、可燃性ガスの生成速度と開口部からの空気の流入速度との関係から評価する。

一方、内部空間が保持されていない倒壊建物については、検査体積となりうる空間が残されていないので、一層ゾーンモデルを利用した火災性状の計算は行えない。倒壊建物の場合には、内部に収納されていた可燃物や構造材が屋外に露出していることが多く、むしろ建物全体を多孔質状の木質系可燃物とみなして、これが外気に曝される中で燃焼すると仮定する方が実態を表しているものと考えられる。ここでは、既往の木材クリブを利用した燃焼実験の結果を踏まえ、自由空間における火災モデルをもとに個々の建物の火災性状を定式化する。

(2) 町家模型実験による延焼危険性評価

延焼モデルを防災まちづくりの現場で利用するにあたっては、事前にその妥当性を検証しておく必要がある。こうした場合、過去に発生した市街地火災の観察記録と、延焼モデルによる計算結果が比較されることが多い。ただし、焼失した市街地領域での、建物の形状や構造種別、さらには開口形状といった各種条件を把握することが難しく、比較にも制約がある。また、市街地火災のような大規模な現象を、実大火災実験で再現することは容易ではない。

そこで、1/15 スケールの町家型街区の模型を作製し、そのうちの一つの町家から発生した火災に隣接する町家へどの程度の延焼危険性が生じるのか、実験的に明らかにし、その結果を延焼モデルの有効性を検証する



図2 町家模型実験の状況

ためのデータとして利用することとした。図2は実験の状況を撮影したものである。模型は通りに面した片側3棟、計6棟のファサードを再現してあり、そのうちの1棟から火災が発生したことを想定している。燃料にはエタノールを使用し、火災室内で300~1000mlを燃焼させた。その間、火災室内の温度や、軒下温度、隣接する建物壁面へ入射する熱流束の計測を行った。また、想定火災室(1階、2階)や、火炎噴出面(1階開口、2階開口、屋根面)、道路幅(2.7m, 4m, 6m相当)を変更することで、これらの条件が延焼危険性に及ぼす影響を調べた。

(3) 防災性能評価システムの開発

地震火災延焼モデルを利用して防火対策の効果を検証するには、対象となる市街地の膨大な容量のデータを効率的に管理することが不可欠となる。同様の目的の下、GIS (Geographical Information System) を利用した防災性能評価システムの開発例がある。本研究でも、GISを利用した防災性能評価システムの開発を行う。ただし、従来の防災性能評価システムでは、再開発によるオープンスペースの確保や、主要道路沿いの不燃化など、比較的大きな空間スケールの対策を評価対象としてきた。本研究では、戸境壁や間仕切り壁の防火補強という、より小さな空間スケールの対策を導入することを目的としている。

一般に、GIS上では、地震火災延焼計算で必要となる建物情報を形状ポリゴンごとに管理している。このため、下位要素である壁の属性については建物ごとに一義的に扱われることが多かった。そこで本研究では、必要に応じて建物ポリゴンを壁要素に分割し、個々の壁の属性の設定を変更することで、ここで企図する壁の防火補強の効果を評価できるようにした。

戸境壁や間仕切り壁の防火補強と同様、地域消防力の整備も、歴史的町並みとの調和が可能な有力な防火対策の一つとして挙げられる。ここでは、消防水利の位置・利用可能水量や、放水設備の位置・放水可能範囲・放水能力といった情報を、GIS上で管理しておき、地震火災延焼モデルから参照することにより、火災拡大の時間変化に合わせた消火活動の対応を評価できるようにした。

4. 研究成果

市街地火災の発生の契機に着目すると、延焼モデルの予測対象は、強風時の市街地火災と地震時の市街地火災(地震火災)、もしくはその混合型の市街地火災に分類することができる。強風時には、風に吹き曝されることによって個々の火災建物が激しく燃焼すると同時に、飛び火によって既に燃焼して

いる領域から離れた場所に非連続的な延焼が引き起こされる。一方、地震時には、同時に複数の場所での出火が発生し、そのうちのいくつかは、地震動により損傷した建物が多数混在する市街地の中を燃え広がる。強風時と地震時の市街地火災を比較すると、同じ市街地火災とは言え、それぞれに特徴的な様相が存在する。しかし、これまでに開発されてきた延焼モデルの多くでは、例えば市街地風による火炎や火災気流の傾斜などの、強風時に顕著となる現象の定式化が重視されてきた。一方、地震動による建物構造被害については、市街地火災の延焼性状に大きな影響を及ぼすにもかかわらず、従来の延焼モデルでは十分に考慮されてこなかった。こうした点で本研究の新規性は高いものと考えられる。

また、延焼モデルとGISを統合させた防災性能評価システムでは、建物の部材レベルの対策の有効性を評価できるようになっている。これに対し、従来の防災性能評価システムでは、再開発に伴うオープンスペースの確保や、主要道路沿いの建物不燃化など、比較的規模の大きな都市計画レベルの対策の評価が行えるものであった。新しい防災性能評価システムのこうした機能は、歴史的市街地のように伝統的様式の保全という制約がある中で防災対策を講じていく必要がある場合に特に有用と考えられる。

(1) 地震火災延焼モデルの開発

兵庫県南部地震では、神戸市を中心に広い範囲で火災延焼による被害が発生した。地震発生から10日の間に、神戸市で発生した建物火災の件数は157件、そのうち焼損延床面積が10,000m²を超える大規模な延焼火災は11件となっている。ここではこのうち、長田区の高橋病院周辺で発生した火災の延焼シミュレーションを行い、調査記録をもとに作成された延焼動態図と計算結果を比較した。

聞き取り調査などをもとに作成された当時の延焼動態図に一部加筆したものを図3に、計算結果をもとに作成した延焼動態図を図4にそれぞれ示す。両者を比較すると、計算による焼失範囲が、当時の焼失範囲よりも大きく算出されており、火災による被害が過大に評価される結果となった。中でも最も大きな違いは、大国公園の西側の街区に延焼が及ぶと計算された点にある。こうした違いは、計算で使用する市街地データの精度の不足のほかに、本モデルにおいて消火活動による延焼抑止効果を考慮できていないことが大きな原因になっているものと考えられる。当時の消火活動状況の報告によると、消防隊による消火活動が開始されたのは、14時から16時にかけてと見られ、それ以降の延焼性状には消火活動の影響が反映されている可能性がある。すなわち、大国公園の北側を經由し

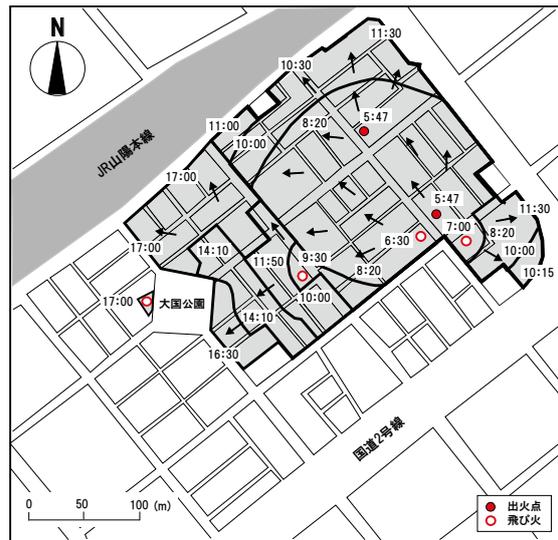


図3 高橋病院周辺火災の延焼動態図(調査)

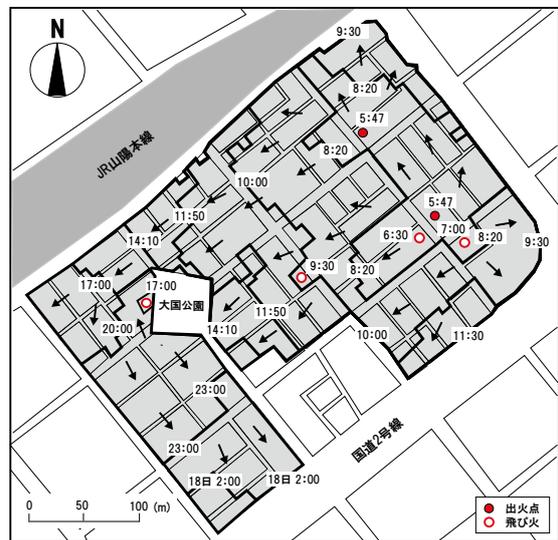


図4 高橋病院周辺火災の延焼動態図(計算)

た延焼の発生は、消火活動が開始されて以降の17時となっていることから、ここから西側の街区への延焼が起こらなかった理由は、消火活動によって火災そのものが消し止められた可能性がある。

(2) 町家模型実験による延焼危険性評価

町家模型を利用した燃焼実験により、主要な火災拡大要因である、(i)開口噴出火炎からの輻射熱伝達と、(ii)軒下の火炎伝播について、火災町家から隣接する町家への加害性を調べる事が出来た。まず、(i)開口噴出火炎については、噴出火炎の代表点を熱源とみなした計算モデルによる結果と比較したところ、計算値が過小に評価される結果が得られた。ただし、ここでの結果は、火炎の大きさと、輻射代表点-測定点間の距離の、スケール比に依存するものと考えられる。一方、

(ii) 軒下の火炎伝播については、定式化の例がないため、既存の水平天井下の煙伝播モデルによる計算結果との比較を行った。同モデルによる計算結果は、実験結果に比べると温度減衰を過大に評価する結果が得られた。これは、実験結果の場合には、軒下の片側が壁となり空気の流入が制限され、温度減衰が抑えられたためと考えられる。

本実験結果の分析、ならびに実験結果を利用した計算モデルの検証については、今後も検討を継続する予定である。

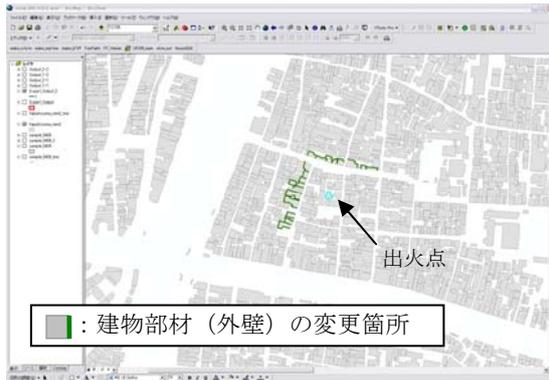
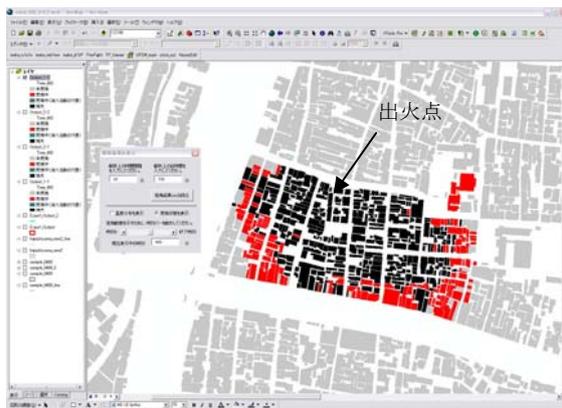
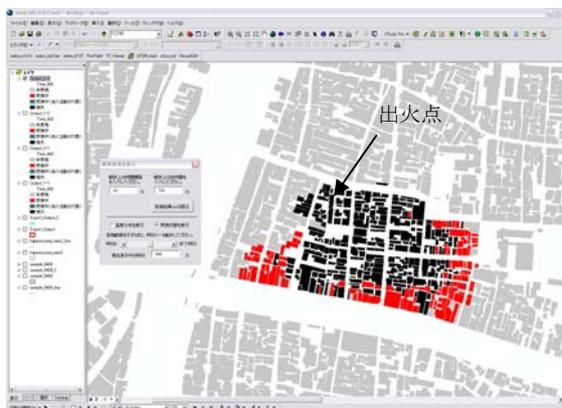


図5 防火補強を施した外壁



(a) 外壁の防火補強なし



(b) 外壁の防火補強あり

図6 出火から400分後の延焼状況の比較

(3) 防災性能評価システムの開発

開発した防災性能評価システムを利用し、歴史的市街地の代表である、京都市東山区の市街地を対象とした防火対策の有効性評価に関するケーススタディを行った。東山区は延焼火災の危険性が高い密集市街地でもあり、歴史的環境と調和した防火対策が必要とされている。ここでは、出火点を1か所設定し、そこからの燃え広がりが、対策の有無に

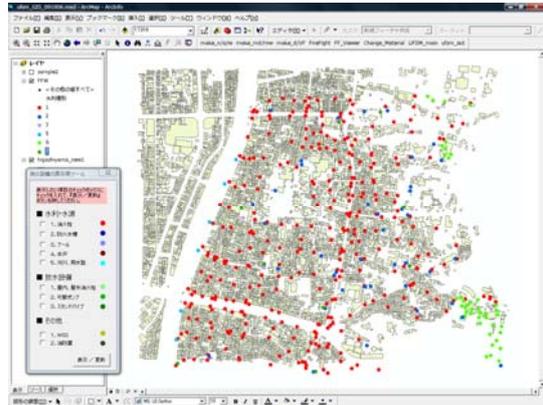
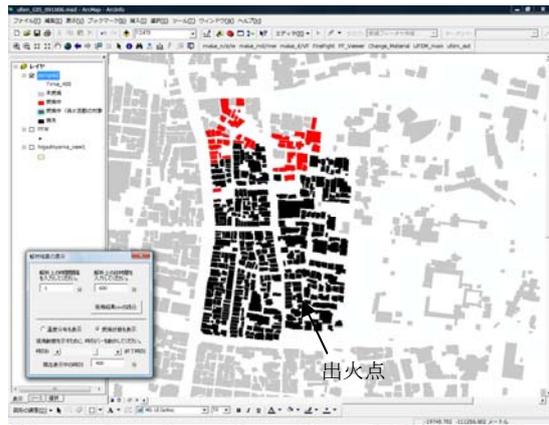
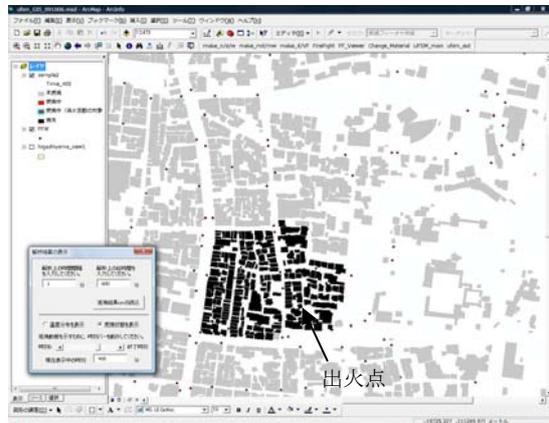


図7 消防水利および消火設備の配置状況



(a) 消火活動なし



(b) 消火活動あり

図8 出火から400分後の延焼状況の比較

よってどのように変化するのかを調べることとした。ただし、単純化のため、本検討では無風を想定した計算を行った。

① 外壁防火補強の有効性

図5は、外壁の防火補強の効果を調べるために設定した市街地データの状況を表している。出火点の北側および西側に線状に戸境壁の防火補強が施された建物が並び、防火帯が形成される状況を想定した。出火から400分後の火災の延焼状況を、対策の有無により比較した結果を図6に示す。対策が講じられなかった場合、出火点から西側への延焼は食い止められたが、防火帯から外れた部分から回り込むように延焼が発生した。このように、今回の検討条件では効果は限定的であったが、延焼速度の遅延効果は確認できた。防火補強の実施範囲や、消火活動など他の対策との組み合わせにより、延焼遮断効果を強化することも可能になるものと考えられる。

② 消火活動の有効性

図7は、地域住民による消火活動の延焼阻止効果を調べるために設定した市街地データの状況を示している。消火栓、貯水槽などの水利や、消防可搬ポンプなどの消火設備の配置や利用可能条件などが建物ポリゴン情報と併せて管理されている。出火点から400分後の火災延焼状況を、消火活動の有無により比較した結果を図8に示す。消火活動が行われることにより、出火点の北側への延焼が食い止められている。延焼が阻止されたのは比較的幅員の広い道路においてであり、火災建物から未着火建物へ伝達される熱流束が低減される中で、消火活動がより効果的に作用したものと考えられる。防災性能評価システムのこうした機能を活用することにより、地域住民を主体とした消火活動体制を整備するにあたっての動機付けを行うことも可能になるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計24件)

- ① 樋本圭佑・向坊恭介・秋元康男・黒田良・北後明彦・田中哮義：地震動による建物構造被害と火災加熱による損傷の進行を考慮した地震火災延焼性状予測モデル，日本建築学会環境系論文集（査読有）（2010.7）
- ② 横山昇平・樋本圭佑・田中哮義：GISを用いた市街地火災延焼リスク評価システムの入出力データ管理手法に関する検討，歴史都市防災論文集（査読有），Vol.3，pp.211-216（2009.6）
- ③ 樋本圭佑・西田幸夫・諸隈貴寛・芝真里子・秋元康男・北後明彦・関沢愛・田中

哮義：地域防災力評価のための消防用可搬ポンプを利用した消火活動実験，日本建築学会計画系論文集（査読有），No.634，pp.2665-2672（2008.12）

- ④ 樋本圭佑・秋元康男・北後明彦・田中哮義：伝統的木造密集市街地の延焼火災リスク評価に関する基礎的検討，歴史都市防災論文集（査読有），Vol.2，pp.7-14（2008.10）

[学会発表] (計3件)

- ① Himoto K, Akimoto Y, Hokugo A, Tanaka T, Risk and Behavior of Fire Spread in A Densely-built Urban Area, Fire Safety Science, カールスルーエ（2008.9.22）

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

樋本 圭佑 (HIMOTO KEISUKE)
京都大学次世代開拓研究ユニット・助教
研究者番号：90436527

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし