

平成21年3月31日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18360272

研究課題名（和文） 建築物の性能的火災安全設計のための設計火災性状の把握

研究課題名（英文） Development of Knowledge basis of design fire source for performance-based fire safety design of buildings

研究代表者 原田 和典 (HARADA KAZUNORI)

京都大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：90198911

研究成果の概要：建築物の性能的火災安全設計においては、想定火災に対して在館者の避難安全や構造躯体の耐火性を確保することが行われる。そのため、多様な建築空間における可燃物の実態を踏まえ、その燃焼性状を正しく想定することが安全確保のために必須である。本研究では、1) 主要な用途における可燃物量の変動の定量化と代表的な可燃物の燃焼性状の集約、2) ウレタン系可燃物の実大燃焼実験、3) 燃焼実験データの外挿法、4) 可燃物の燃え拡がり過程の計算方法整備にむけた実験の4項目について研究を行い、設計用火源の整備に資する知見を得た。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	8,200,000	2,460,000	10,660,000
2007年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2008年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
年度			
年度			
総計	14,900,000	4,470,000	19,370,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学（建築環境・設備）

キーワード：火災，設計火源，燃焼実験，類型化，可燃物密度，局所可燃物

1. 研究開始当初の背景

2000年6月に改正された建築基準法にみられるように、建築物の火災安全は性能設計時代となった。すなわち、避難安全検証法と耐火性能検証法の2つの検証法が建設省（現：国交省）告示として制定され、建物内で想定される火災の状態を予測した上で「安全に逃げられる」と「構造体が崩壊しない」ことを確かめる方式が採用され、性能設計の枠組みが示された。性能の土俵で安全性を論ずることが法令の枠組み上は可能になった。

建築物の性能的火災安全設計を行うためには、「設計火源（設計用入力火災）」を設定することから始まる。しかし、しかし、建築物内の可燃物の燃焼を工学的に捉える方法論が未整備であった。

2. 研究の目的

建築物内の可燃物の燃焼は、種々の要因により大きなばらつきがあって、国土交通省告示で与えられるような一義的なものではない。可燃物の燃焼は、おおむね下記のような2段階を踏まえて考察されるべきである。

1) どのような可燃物を建築設計上考慮すべきか(用途区分別の特性的可燃物配置): 建築空間内に存在する可燃物の種類と量(密度)は、建物用途および室用途に依存すると考えられる。また、燃焼性状を考えると、空間内を平均した密度だけではなく、形状(代表寸法、特に高さ)と、可燃物間の配置、壁面や柱等の建築要素との位置関係に依存する。従って、性能設計のための火源としては、(建物用途)×(室用途)の組み合わせと、建築設計(平面計画等)の文脈に応じて、典型的な可燃物の配置パターンを想定しなければならない。

2) 可燃物の燃焼性状を工学的にモデル化する。: 上記1で抽出された典型的パターンの可燃物配置に対して、燃焼パターンを求める標準的計算手法とその裏付けとなる実験データが必要である。これは、可燃物単体の燃焼実験データベースとその外挿法、火炎形状予測法、複数可燃物間の燃え広がり予測法の3つから成る。一例として、ソファの燃焼実験データを文献に基づいてまとめた結果を次図に示す。このような形で代表的な可燃物毎に特性値を定めた上で、上図のようなレイアウトに応じた延焼予測シミュレーションを行う方法を構築する。

3. 研究の方法

(1) 可燃物量の特性化

これまでに行われた可燃物調査で、調査原本に近いレベルまで遡って分析可能なものが7件程度存在する。しかし、これらの多くは火災荷重(床面積当たりの可燃物重量)としてのみ整理されており、初期および中期の火災性状予測のためには再整理する必要がある。分析対象は、オフィスビル、物販店舗、学校等とし、可燃物配置を壁面、出入り口、柱(柱型)との相対的な位置関係で整理し、用途別の典型的可燃物配置パターンを抽出する。

(2) 代表的可燃物の燃焼実験および実験結果の類型化

各種可燃物の燃焼実験に関する既往の文献収集結果(発熱速度データベース)を分析し、椅子・ソファなどの家具類、家電品、クリスマスツリー、乗用車などの可燃物の代表的な燃焼パターンを類型化する。

また、ソファについては建築空間において最も激しく燃焼すると考えられるので、実大燃焼実験を行って、発熱速度、火炎形状などの基礎的データを収録し、モデル化する。

(3) 燃焼実験データの外挿法

実在物品の燃焼性状を把握するためには、実物を燃焼させる実験が直接的であるが、実験装置の制約もあり、実物大の可燃物をそのまま実験に供することができないことも多

い。例えば、実物の半分だけを切り取って実験に供したり、サイズを縮小させたりして行わざるを得ない。このような場合には、測定データから実物大の燃焼性状を何等かの方法で推定しなければならない。

実験データを外挿する論拠を導くため、寸法(幅、奥行き、高さ)が異なるウレタンブロックの単独および複数同時燃焼実験を、自由空間にて行い発熱速度を測定した。実験時の観察に基づき、寸法による燃焼性状の変化を表す物理モデルを作成し、その精度を検証した。

(4) 可燃物の燃え広がり過程の予測法に向けた実験

実在の建築空間に単一の可燃物しかないことは希であり、殆どの空間では複数の可燃物が存在している。個々の可燃物の燃焼性状から、室内における複数可燃物間の燃え広がり過程を予測することができれば、火災安全設計上の利便が大きい。

しかし、実物の燃焼実験は、安全上の理由から自由空間(天井が高く容積の大きい実験室)で行われることが多い。同じ可燃物であっても有限の容積の室で同じ燃焼性状となるとは限らない。

そのため、ルームコーナー試験装置(2.4×3.6×2.4mの小部屋)内にウレタンブロックを設置し、燃焼性状を調べた。

4. 研究成果

(1) 可燃物量の特性化

火災安全設計用の火災荷重(可燃物量)については、過去にいくつかの調査が行われ、可燃物密度としてデータが示されている。しかし、現状において標準的な調査方法を明文化したものがなく、調査方法や調査項目、また、可燃物の発熱量の集計方法も調査実施者毎に適宜定義してきた。そのため、調査結果として提示されている可燃物密度の数値には互換性がなく、データの比較と集積を阻んできた。

そこで、本研究では、既往の可燃物調査文献を分析し、調査方法の違いにより得られる値の差異を定量化した。発熱量の集計における各要因について影響度を調べた。材料別の単位重量あたりの発熱量の設定方法に関しては、可燃物の材料を細分類して材質ごとに発熱量を与えた場合と、材料を木質系と高分子系2つに大分類した場合は、2割程度の差が生じた。一方、収納形態による燃焼率の扱いについては、用途によりその影響度が異なる。会議室などで可燃物が少ない空間では不燃家具内に収納される可燃物も少なく、収納形態による影響は比較的小さい。一方、事務室などでスチール製家具に書類等の多くの可燃物を収納している用途では、収納係数

(収納家具により燃焼率を低減するための係数)を用いた場合と、全てが完全燃焼すると考えた場合とでは、得られる可燃物密度の値が2倍ほど異なるという結果が出た。

分析に用いたデータから、収納係数の扱いを補正するための換算式を導き、既存の可燃物調査のうち収納係数を使っていないデータを補正した。結果の例を図1に示す。他にも宿泊施設の客室、共同住宅の住戸について収納可燃物発熱量密度の変動を確率密度関数として示した。

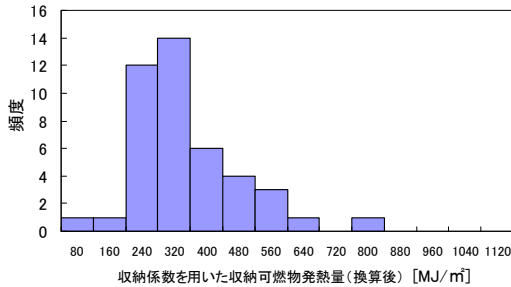


図1 事務室の収納可燃物密度のヒストグラム(収納係数を考慮、平均値 314 MJ/m³、標準偏差 151MJ/m³)

(2-1) 代表的可燃物の燃焼実験および実験結果の類型化

初期成長から局所火災あるいは盛期火災へ成長する過程における可燃物の燃焼性状は必ずしも定量的に捉えられていない。そこで、本研究では、自由空間で行われた既往の実物燃焼実験データを分析し、発熱速度の時刻歴を特性化した。このとき、設計時に利用できる情報の質を考慮し、a) 物品名称から推定する方法、b) 物品名称と寸法から推定する方法、c) 可燃物の材質(木質/プラスチック)と寸法から推定する方法の3つを提案した。

(2-1-a) 物品名称から推定する方法

このカテゴリーの可燃物として、1人用プラスチック系椅子(クッションあり)、1人用硬質プラスチック系椅子、1人用木質系椅子、1人用ソファ、2~3人用ソファについて、発熱速度の時刻歴を整理した。このうち、1人用ソファの結果を図2に示す。

(2-1-b) 物品名称と寸法から推定する方法

クリスマスツリーやマットレスのように、物品名称がわかっても可燃物の寸法を想定することが困難な物品もある。そのような可燃物に対しては、可燃物寸法に応じた発熱速度時刻歴の推定が必要である。例として乾燥状態のクリスマスツリーを例として、可燃物寸法に基づく発熱速度時刻歴の推定方法を示した。可燃物を外径寸法(直径と高さ)、重量、および材質で表し、これらを説明変数として火災成長率、最大発熱速度、定常燃焼の継続時間および火災減衰率を相関させた

回帰式を作成した。

(2-1-c) 可燃物の材質(木質/プラスチック)と寸法から推定する方法

一般的な建築設計の場面では、物品名を特定できないことが多い。そこで、可燃物の外形寸法と材質(木質系もしくはプラスチック系)の情報のみから、図3の方法により発熱速度の時刻歴を概算する方法を作成した。対象とした実験データは、木質系可燃物が46件、プラスチック系可燃物が117件である。推定結果を元データと比較したところ、予測誤差は概ね2倍程度であった。

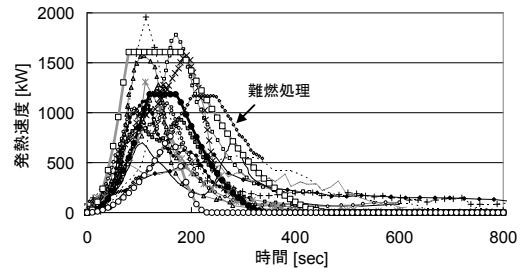


図2 1人用ソファの発熱速度時刻歴の整理結果(平均±標準偏差をモデル化)

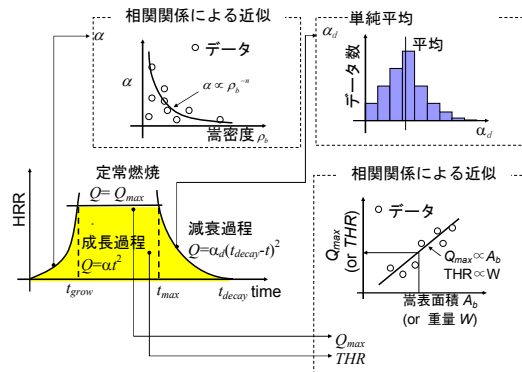


図3 発熱速度時刻歴の推定方法

(2-2) ソファの実物燃焼実験

大型クッション家具は初期火災拡大に及ぼす影響が大きいため、3人がけソファの実物燃焼実験を行ない、発熱速度を測定した。結果の一例を図4に示す。

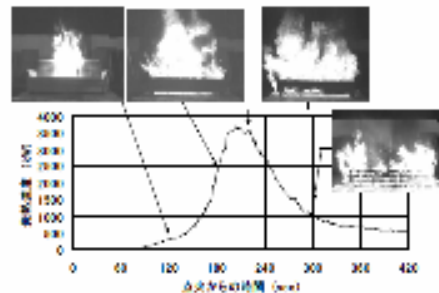


図4 ソファの実大燃焼実験結果の例

(3-1) 寸法・形状が異なる可燃物の燃焼実験 発熱速度と可燃物の寸法・形状との定量的

関係を導くため、ウレタンブロック(ウレタンフォームを直方体にカットしたもの)を用いて発熱速度等を測定した。試験体は、500×500×500mmおよび500×500×300mmを単位とし、これらを組み合わせて幅、奥行き、高さを種々の値に設定した。図5に実験の概要を示す。

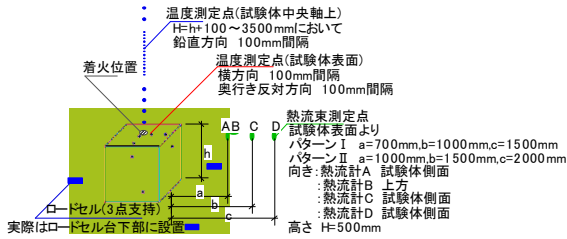


図5 実験の概要

a) 試験体高さで発熱速度の関係

高さが異なる試験体の発熱速度を比較して図6に示す。着火直後の経過は同一であるが、高いものは側面における溶融物の滴下が発生しやすくなるので、最大発熱速度が大きくなる。

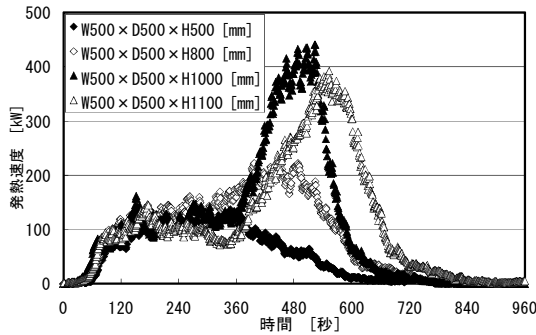


図6 高さの異なるウレタンブロックの発熱速度

b) 上面の水平火炎伝播速度

図7に水平火炎伝播速度と時間の関係を示す。着火直後の火炎伝播速度はほぼ一定で、3~4mm/sであるが、時間が経つに従って火炎伝播速度は上昇する。

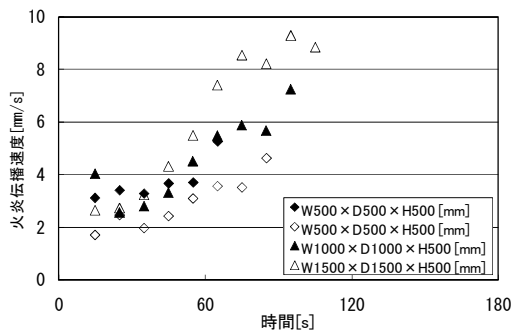


図7 水平火炎伝播速度の時間変化

c) 燃焼面積あたりの発熱速度

上面の燃焼面積と発熱速度の関係を図8に示す。燃焼面積の増加に伴って、発熱速度は大きくなるが、その勾配(単位面積当たりの発熱速度)は燃焼面積が0.5m²あたりから急増する。

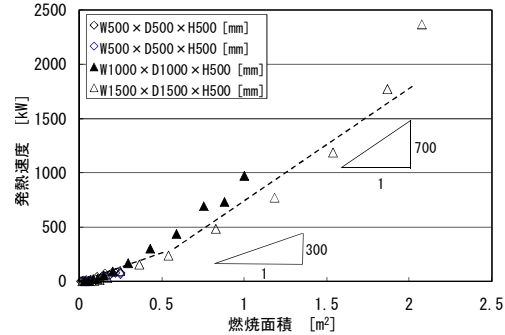


図8 燃焼面積と発熱速度の関係

(3-2) 発熱速度状予測モデル

熱可塑性プラスチック(ポリウレタンフォーム)について、燃え広がり面の拡大と燃え尽きによる燃焼面積の経時変化、滴下物による下からの燃え上りを考慮したモデルを作成し、実験値との比較を行った。

図9に示すように、燃え広がり面(着火点から燃え広がり先端までの部分、面積 A_d)と溶融コアの形状変化を追跡し、燃え尽き部分の面積(A_e)を計算する。燃え広がり面の面積と燃え尽き部分の面積の差が燃焼面積(A_b)であり、これに単位面積当たりの発熱速度を掛けて、全体の発熱速度を得る。

以上の方法により、500×500×500mmのウレタンブロックの発熱速度を予測した結果を図10に示す。着火後60~300秒は実験値よりも少し大きな値となるが、発熱速度曲線の概形は実験値とよく一致した。

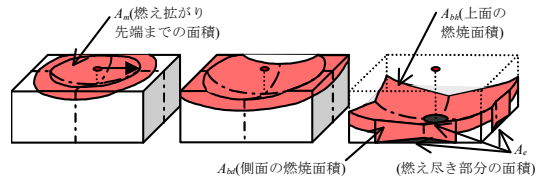


図9 燃え広がり面と溶融コアの時間変化

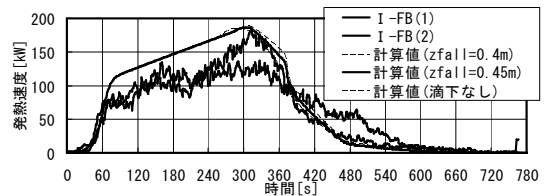


図10 計算値と実験値の比較

(4) 可燃物の燃え広がり過程の計算方法整備にむけた実験

可燃物の燃焼実験は、測定技術上の都合に

より壁や天井を設置しない自由空間で実施されることが多い。しかし、建築空間のように室内での可燃物の燃焼では、上層に形成される層からの放射熱によって燃焼が激しくなることが予想される。

そのため、図7に示すように、(3-1)と同素材のウレタンブロックを IS09705 ルームコーナー試験装置に設置し、煙層による燃焼促進効果を調べた。結果を自由空間での測定結果と比較して図8に示す。この例では室内の方が、自由空間より高いも4割ほど最大発熱速度が増加した。燃焼面での熱量バランスから燃焼促進に寄与する煙層からの入射熱流は、煙層温度および高さの測定値から推定した放射熱量と良好に一致することが確かめられ、煙層からの放射熱を考慮した燃焼促進を考慮した燃え広がり予測モデルの開発に道を開いた。



図11 室内でのウレタンブロックの燃焼状況

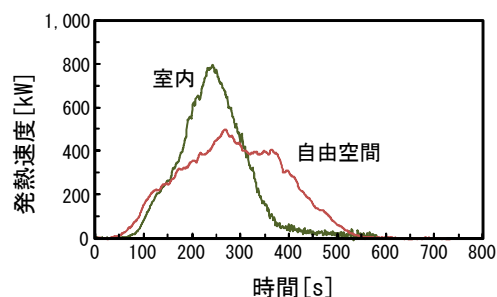


図12 自由空間と室内での発熱速度の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- 1) Kakae N., Tsuchihashi T., Tanaka Y., Ohmiya Y., Harada K., “Influence of Combustible Dimension and Density on Heat Release Rate”, Fire Science and Technology, 26(4), pp. 485-490, Tokyo Univ. of Science, 2007 (査読無し)
- 2) Kakae N., Tsuchihashi T., Tanaka Y., Ohmiya Y., Harada K., “Influence of Combustible Dimension and Density on Heat Release Rate, part 2 Relation between Combustible Dimension, Maximum Heat Release Rate and Duration

of Maximum Burning”, Fire Science and Technology, 26(4), pp. 491-496, Tokyo Univ. of Science, 2007 (査読無し)

- 3) 名取晶子, 原田和典, 大宮喜文, 若松孝旺, 「実在可燃物の発熱速度曲線の推定方法」, 日本建築学会環境系論文集, 第616号, pp.1-8, 2007年6月(査読有り)
- 4) Natori A., Kakae N., Kitahori J., Tsuchihashi T., Abe T., Nagaoka T., Ohmiya Y., Harada K., “Development of a Simple Estimation Method of Heat Release Rate based on Classification of Common Combustibles into Groups”, Fire Science and Technology, Vol. 25(1), pp. 31-54, Tokyo Univ. of Science, 2006 (査読有り)

〔学会発表〕(計28件)

- 1) 佃めぐみ, 原田和典, 松山賢, 大宮喜文, 抱憲誓, 「周辺からの熱フィードバックを考慮した三次元可燃物の発熱速度予測モデルの提案」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 82-83, 2009年5月19日(東京)
- 2) 小山陽一郎, 伊東俊介, 松山賢, 原田和典, 佃めぐみ, 抱憲誓, 新谷祐介, 大宮喜文, 「外部加熱を受ける高分子材料の燃焼性状 ~その1 区画内外における燃焼性状比較~」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 92-93, 2009年5月19日(東京)
- 3) 伊東俊介, 小山陽一郎, 松山賢, 原田和典, 佃めぐみ, 抱憲誓, 新谷祐介, 大宮喜文, 「外部加熱を受ける高分子材料の燃焼性状 ~その2 区画内における煙層からの放射熱が燃焼に与える影響~」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 94-95, 2009年5月19日(東京)
- 4) 城明秀, 抱憲誓, 松山賢, 大宮喜文, 原田和典, 「可燃物の形状及び密度を考慮した簡易発熱速度予測モデルの構築」, 日本建築学会大会梗概集A, pp.37-38, 2008年9月18日(東京)
- 5) 佃めぐみ, 城明秀, 松山賢, 抱憲誓, 大宮喜文, 原田和典, 「寸法の異なるウレタンマットの燃焼実験 単位面積当たりの発熱速度および火炎伝播速度と燃焼半径の関係」, 日本建築学会大会梗概集A, pp.39-40, 2008年9月18日(広島)
- 6) 松原敏子, 大宮喜文, 松山賢, 原田和典, 「建築空間における可燃物の実態」, 日本建築学会大会梗概集A, pp.207-210, 2008年9月18日(広島)
- 7) 抱憲誓, 城明秀, 佃めぐみ, 松山賢, 大宮喜文, 原田和典, 「立体的に燃焼する可

- 燃物の発熱速度および火炎高さに関して」, 日本建築学会大会梗概集 A, pp. 219-222, 2008 年 9 月 18 日 (広島)
- 8) 松山賢, 城明秀, 抱憲誓, 大宮喜文, 原田和典, 「可燃物の形状および密度を考慮した発熱速度予測モデル～その 1 上方火炎伝播速度および燃焼面積の算出～」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 147-148, 2008 年 5 月 22 日 (神戸)
- 9) 城明秀, 松山賢, 抱憲誓, 大宮喜文, 原田和典, 「可燃物の形状および密度を考慮した発熱速度予測モデル～その 2 発熱速度簡易予測モデルの検証～」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 149-150, 2008 年 5 月 22 日 (神戸)
- 10) 佃めぐみ, 城明秀, 松山賢, 抱憲誓, 大宮喜文, 原田和典, 「寸法の異なるウレタンマットレスの燃焼実験単位面積当たりの発熱速度および火炎伝播速度と燃焼半径の関係」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 151-152, 2008 年 5 月 22 日 (神戸)
- 11) 砂原弘幸, 城明秀, 佃めぐみ, 川尻朋之, 浅見高志, 抱憲誓, 松山賢, 原田和典, 「3 人がけソファの燃焼性状」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 153-154, 2008 年 5 月 22 日 (神戸)
- 12) 松原敏子, 大宮喜文, 松山賢, 原田和典, 「共同住宅の設計パラメータの変動を考慮した火災継続時間の簡易予測式の提案」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 247-248, 2008 年 5 月 22 日 (神戸)
- 13) 松原敏子, 大宮喜文, 松山賢, 原田和典, 「既往の可燃物調査における発熱量算定方法の比較」, 日本建築学会大会梗概集 A, pp. 195-196, 2007 年 8 月 27 日 (福岡)
- 14) 松原敏子, 大宮喜文, 原田和典, 松山賢, 北堀純, 「実態調査に基づく可燃物条件の特徴」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 138-139, 2007 年 5 月 23 日 (東京)
- 15) 佃めぐみ, 抱憲誓, 原田和典, 銚井修二, 小椋大輔, 「寸法および密度の異なるウレタンマットの発熱速度簡易予測モデル」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 198-199, 2007 年 5 月 23 日 (東京)
- 16) 名取晶子, 原田和典, 若松孝旺, 「局所火災に対する耐火設計安全水準の分析」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 210-211, 2007 年 5 月 23 日 (東京)
- 17) Harada K., “Use of Statistical Data in Determination of Design Heat Release Rate”, PN ISI Seminar on some Critical Areas Facilitating the Use of Fire Safety Engineering in Performance-Based Design, 2007 年 4 月 27 日 (パリ)
- 18) Harada K., Natori A., “A Methodology to Estimate Design HRR of Common Combustibles - How accurate are we modeling fire?”, International Workshop on Practical Application of Computing Fire Models, National Fire Agency of Taiwan, 2006 年 9 月 28 日 (台北)
- 19) Harada K., Yagi S., Ohmiya Y., Natori A., Wakamatsu T., Notake H., “Development of a Design Framework for Localized Fire Scenario”, Presented at the 6th Int. Conf. on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods (Tokyo), 2006 年 6 月 15 日 (東京)
- (他 9 件の掲載略)
- ## 6. 研究組織
- (1) 研究代表者
原田 和典 (HARADA KAZUNORI)
 京都大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：90198911
- (2) 研究分担者
大宮 喜文 (平成 18, 20 年度)
 (OHMIYA YOSHIFUMI)
 東京理科大学・理工学研究科・准教授
 研究者番号：10287469
- 松山 賢 (平成 19, 20 年度)
 (MATSUYAMA KEN)
 東京理科大学・総合研究機構・講師
 研究者番号：10307704
- 銚井 修一 (HOKOI SHUICHI)
 京都大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：80111938
- 小椋 大輔 (OGURA DAISUKE)
 京都大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：60283868
- 抱 憲誓 (平成 19 年度)
 (KAKAE NORICHIKA)
 東京理科大学・総合研究機構・COE 技術者
 研究者番号：30408760
- (3) 連携研究者
大宮 喜文 (平成 19 年度)
 (OHMIYA YOSHIFUMI)
 東京理科大学・理工学研究科・准教授
 研究者番号：10287469
- 抱 憲誓 (平成 18 年度) (KAKAE NORICHIKA)
 東京理科大学・総合研究機構・COE 技術者
 研究者番号：30408760