住宅における初期火災時の着火物及びその燃焼性状に基づく初期火源モデル

THE FIRE SOURCE MODEL BASED ON THE IGNITED MATERIAL AND THE BURNING PROPERTY IN THE EARLY STAGE OF DWELLING-FIRES

佐藤 博臣*, 水野 智之**

Hiroomi SATOH and Tomoyuki MIZUNO

To grasp a fire scenario in the case of the early stage of fire in the dwelling, a statistic analysis about the combination of "the ignited material - the ignition one" as the fire source was done using the fire report data, and some of "the ignited material - the ignition one" combinations having to do with a representative were extracted. Moreover, burning experiments about the fire source of the extracted combination were carried out and data about the basic burning property such as the heat release rate was grasped. From these results, a fire source model with five types was proposed as the early stage fire source at the dwelling.

Keywords : Ignited Material, Early Stage of Fire, Heat Release Rate

着火物、初期火災、発熱速度

1 はじめに

平成14年中の火元用途別火災被害状況(消防白書平成15年版)を見るに、住宅火災件数は19136件で全建物火災の約56%を占めるに至っている。住宅火災での死者数は1233人で約87%、焼損床面積は約50%、損害額は約625億円、約46%を占めている。死者数に関しては全建物火災の9割弱の割合で住宅火災において発生しており、新聞報道においても連日高齢者や幼児の火災による死亡記事が紙面をにぎわしている。住宅火災の多数の死者発生は、自殺放火あるいは殺人放火等を別として、ハードな安全対策の不足、火災覚知の遅れ、逃げ遅れ、避難行動困難など火災初期時の火災への人的対応に問題の多くが内在している。確かに幼児や老人を多く抱えているという人的に不利な条件もさることながら、住宅という生活環境としての物理的な装置やそこで営まれる生活行為そのもののなかに危険性を内在しているものと考えられる。しかし住宅に最も安全な環境を提供すべきなのか、それともさまざまな危険性が内在していることを認識してその対策を合理的な手法で解決すべきものであるかについては社会的なコンセンサスが得られていない。他の建築用途の多くで火災件数や死者数が減少しているにもかかわらず、住宅火災で特に死者数が増加していることは、住宅火災に対して何らかの有効な方策の提言が強く望まれる状況にあると思われる。

一般に耐火設計や避難安全設計での火災シナリオは αt^2 モデル火災を用いることが常套となってきたが、この αt^2 モデル火災シナリオは、実火災で通常存在する「発火-着火」の火災初期のフェーズを工学的に無視している。しかし、火災覚知や初期消火にお

いてはこの火災発生時の火災シナリオが重要であるし、出火防止、火災拡大(内装制限)、避難・人命安全においても同様である。したがって、適切な提言のためには、住宅火災のこの「火災初期のフェーズ」に注目し工学的に把握する必要がある。

初期火災の火災シナリオモデルの確立をめざした研究開発^{1), 2), 3)}が、防火対象物の火災危険性に応じた合理的でかつ総合的な防火安全対策手法の構築の一環として行われつつある。また、住宅における初期火災シナリオの研究として、火災荷重としての可燃物に関する研究^{4), 5), 6)}や佐藤らの可燃物やその配置に関する研究^{7), 8), 9), 10), 11), 12)}があるが、初期火災時における出火源「着火物-発火源」としての可燃物に関する研究は少ない。

また、そのような火災発生時の火災シナリオのモデル提案、また、その火災シナリオ提案モデルの検証のためには、実火災での初期火源の実態やその燃焼性状をまず把握する必要がある。これらに関しては、家具類の燃焼実験^{13), 14)}や収納可燃物の燃焼実験¹⁵⁾はあるが、まだ系統的な研究や燃焼性状に関する諸データが十分ではない。

そこで、住宅火災における火災発生時の火災シナリオを把握するために、火災報告データを用いて、出火源として「着火物-発火源」の組合せの統計分析を行い、代表的な「着火物-発火源」の組合せを抽出した。さらに抽出された組合せについて燃焼実験を行い、発熱性状など基本的な燃焼性状に関わる諸データを把握した。これらの結果から、住宅における初期火源として5つのタイプの火源モデルを提案した。

* (株)イー・アール・エス リスクマネジメント部 工修
** TOM 建築防災研究室 工博

Risk Management Dept. Engineering & Risk Services Corporation, M. Eng.
TOM Building Fire Safety Labo., Dr. Eng.

2 住宅火災における「着火物—発火源」

(1) 分析概要

発火源、着火物は出火個所（出火空間用途）に依存しているとともに、建物用途区分や構造にも大きく依存しており、住宅用途の特徴や他の用途との違いを明らかにするために、分析対象の建物用途は防火対象物区分^{注1}の5項口共同住宅等を含む(1)項イ～(15)項（事務所、官公庁）とした。また、たとえば発火源「たばこ」と着火物「寝具類」、同様に「こんろ」と「動植物性油類」、「ライター」と「紙及び紙製品」、「電気機器」と「電線被覆」のように、特定の発火源と着火物（可燃物）が強く関係していることから、着火物と発火源の組合せを建物用途・空間用途区別に分析抽出した。

分析は、消防の「火災報告」の平成7年度～10年度の約4万4千件のデータから、火元防火対象物区分、出火箇所、発火源および着火物の4重クロス集計を行い、「防火対象物区分—出火箇所」別「着火物—発火源」の組合せを原則として抽出した。

出火箇所の空間用途は、①主要空間用途 その建物用途の主要な空間用途 ②サービス・共用空間用途 廊下や階段、トイレといった空間 ③火気使用空間用途 台所、調理場など火を使う空間 ④屋外空間・その他空間 建物の外周部、壁軸組、屋根裏・天井裏に大別した。

(2) 着火物と発火源

表1は着火物を材質から分類したものである。下線は累計44,130

件における着火物の単純集計で、全体に対する割合が1%以上を示している。因みに、単純集計の第1位は不明(5394件、12.17%)、続いて動植物油類(4611件、10.41%)、紙・紙製品(4016件、9.06%)、布団・座布団・寝具(3435件、7.45%)、紙屑・わら屑(2805件、6.33%)、合成樹脂及び製品(2654件、5.99%)の順となっている。多様な着火物となっているが、「紙・紙製品」でも多種多様な可燃物があるように、実際にはさらに着火物は多様性を有している。

表2は発火源を、発熱が「火花のように断続的なもの」と「灯火のように継続的なもの」とに分け、さらに発熱の大きさと炎の有無で分類区分したもので、着火物と同様に発火源も多様なことを示している。下線は累計44,130件における発火源の単純集計で、全体に対する割合が1%以上を示している。単純集計の第1位は不明(10345件、23.35%)、たばこ(5501件、12.41%)、ガスこんろ(5304件、11.97%)、ライター(4685件、10.57%)、電熱器(1433件、3.23%)、電気機器(1292件、2.92%)、配線(1162件、2.62%)、溶接機・溶断機(1152件、2.60%)、油ストーブ(1006件、2.27%)の順となっている。

表1 着火物の分類

着火物区分	抽出された着火物
繊維類	①布団、座布団、寝具
	②衣類、繊維製品、繊維原料
	③わら及びわら製品、山林原野、乾燥草類
紙類	紙・紙製品
屑類	①ごみ屑、繊維屑、紙屑、わら屑、粉塵
	②木屑、かんな屑、のこぎり屑
木質類	木質物
プラスチック類	合成樹脂及び製品、合成樹脂屑、ゴム及びゴム製品
油類	動植物性油類
石油類	①第一、第二、第三、第四石油類
	②ガス類
電線類	電線被覆
その他	①壁軸組、床
	②屋外の可燃物、可燃性固体、付帯建築物
	③断熱材、椅子・ソファ

表2 発火源の種類

継続的な発熱(斜字;無炎)	断続的な発熱
たき火、風呂かまど、炉、焼却炉、ボイラー ガスこんろ等燃焼機器、油ストーブ 電気こんろ電気ストーブ、電熱器	配線器具、配線、 電気機器・装置
ライター、マッチ、裸火、灯火、電灯その他、 煙突、摩擦熱、高温固体、漏電発熱部分 自然発火物、火薬類、電気機器・装置	火花、火の粉、 スパーク、溶接機
たばこ、取灰	

表3 「5項口 共同住宅等」における着火物—発火源

(5)口 寄宿舍・下宿・共同住宅

全体				1 居室				2 台所			
着火物	発火源	件数	小計	着火物	発火源	件数	小計	着火物	発火源	件数	小計
動植物油類	ガスこんろ	3098	3397	布団、座布団、寝具	たばこ	1693	2517	動植物油類	ガスこんろ	2736	2976
	電熱器	110	18%		電気ストーブ	227	14%		電熱器	91	16%
	ガス燃焼機器	104			ライター	138			ガス燃焼機器	76	
	不明	103			電熱器	77			電気こんろ	64	
布団、座布団、寝具	たばこ	1829	2854	衣類	裸火	63		合成樹脂及び製品	ガスこんろ	116	275
	電気ストーブ	234	15%		油ストーブ	59			電熱器	91	1.5%
	ライター	173			不明	52			電気こんろ	26	
	不明	103			ライター	125	555	ガス類	ガスこんろ	107	182
紙・紙製品	不明	698	1761	紙屑、わら屑	油ストーブ	82	3.0%		電熱器	23	1.0%
	ライター	456	10%		たばこ	79			ガス燃焼機器	16	
	たばこ	186			電気ストーブ	72			ガスこんろ	26	94
	不明	103			不明	52		紙・紙製品	電熱器	17	0.51%
紙屑、わら屑	たばこ	419	1260	紙・紙製品	ライター	137	484		ガスこんろ	11	
	ライター	375	6.8%		たばこ	120	2.6%		ライター	43	93
	不明	263			灯火	54			ガスこんろ	11	0.50%
	不明	103		動植物油類	電熱器	19		衣類	ガスこんろ	48	87
合成樹脂及び製品	不明	202	1230	ガス類	ガスこんろ	349	396		電熱器	6	0.47%
	電熱器	167	6.6%	床	ガス燃焼機器	20	2.1%		たばこ	6	
	ライター	144		合成樹脂及び製品	電熱器	58	350	可燃性固体	ガスこんろ	57	66
	ガスこんろ	143		繊維製品	電熱器	54	1.9%		電熱器	6	0.36%
衣類	電気機器	103			配線器具	54			ガスこんろ	32	63
	ライター	212	900		灯火	51			電熱器	11	0.34%
	不明	121	4.9%	第二石油類	油ストーブ	140	299	ごみ屑	電気こんろ	4	
	たばこ	111		繊維製品	ライター	102	1.6%		たばこ	42	62
ごみ屑	たばこ	315	660	第二石油類	不明	19			不明	3	
	不明	154	3.6%	繊維製品	油ストーブ	31	290	第二石油類	裸火	3	
	ライター	81		繊維製品	ライター	37	1.6%		マッチ	3	
	不明	107	3.5%	繊維製品	油ストーブ	31	290		油ストーブ	30	58
第二石油類	油ストーブ	180	479	繊維製品	ライター	37	1.6%	第二石油類	ライター	9	0.31%
	ライター	157	2.6%	繊維製品	不明	19			ガスこんろ	5	
	不明	50		繊維製品	不明	19		第二石油類	不明	3	
	不明	107	3.5%	繊維製品	不明	19		第二石油類	不明	3	
床	たばこ	210	454	繊維製品	不明	19		第二石油類	不明	3	
	配線	33	2.5%	繊維製品	不明	19		第二石油類	不明	3	
	不明	29		繊維製品	不明	19		第二石油類	不明	3	
	不明	29		繊維製品	不明	19		第二石油類	不明	3	
全体				全体				全体			
18502				18502				18502			
* 組合せは上位3位または100件以上				* 組合せは上位3位または100件以上				* 組合せは上位3位または100件以上			
* 小計欄: 上 小計/下 全体に占める割合(%)				* 小計欄: 上 小計/下 全体に占める割合(%)				* 小計欄: 上 小計/下 全体に占める割合(%)			

(3)「5 項ロ 共同住宅等」における着火物-発火源

表 3 は、「5 項ロ 共同住宅等」における「着火物-発火源」の組合せを抽出した結果の一部で、全体および出火件数の多い主要空間用途として居室と火気使用室として台所を示している。全体では、動植物性油類(1 位)、布団・座布団・寝具(2 位)、紙・紙製品(3 位)の順となっている。居室部分では、不明を除いて着火物の上位 3 つが布団・座布団・寝具(1 位)、衣類(2 位)、紙屑・わら屑(3 位)であり、その発火源はたばこ、ライターや油ストーブ、電気ストーブとなっている。発火源の単純集計でも、たばこ(2760 件)、ライター(986 件)、ガスこんろ(540 件)、油ストーブ(453 件)、電気ストーブ(433 件)の順となっており、たばこが原因の火災が約 35%を占めている。台所では動植物性油類が第 1 位の着火物となっており、その発火源はガスこんろが約 9 割となっている。発火源の単純集計でも、ガスこんろ(3442 件)、電熱器

(306)、たばこ(151 件)、電気こんろ(132 件)の順となっており、ガスこんろからの火災が約 75%を占めている。

住宅の居室では、出火源として発火源にたばこ、ライター、ストーブ、着火物に衣類、紙屑・わら屑、紙・紙製品を、台所では発火源にこんろ、着火物に動植物性油類と合成樹脂及び製品を想定すれば、それぞれ室用途全体の約 50%、約 70%の火災を説明できることとなる。

(4)「(1) 項イ～(15) 項」における着火物-発火源

住宅用途以外の用途の建物火災の着火物-発火源の関係を比較のために以下に整理する。

表 4 は、各防火対象物区分の主要空間用途における「着火物-発火源」を整理して示したものであるが、原則として着火物の上位 3 位までの組合せを抽出している。出火箇所においては、ほとんどの

表 4 「(1) 項イ～(15) 項」における着火物-発火源

防火対象物区分	件数	順位 空間用途 件数 割合	上位着火物 件数	上位発火源	着火物 抽出率
(3)口飲食店	2207 4.8%	2 飲食店舗部分 562 25%	動植物性油類 110 電線被覆 30 布団、座布団等 29	こんろ、ガス燃焼機器、炉 配線、配線器具、電気機器 たばこ、不明、ライター	% 30
		1 調理室 702 32%	動植物性油類 441 壁軸組 60 造作 27	こんろ、ガス燃焼機器、電熱器、自然発火 こんろ、ガス燃焼機器、炉 こんろ、ガス燃焼機器、火の粉	75
		(4)百貨店その他の 物品販売業を営む 店舗・展示場	1993 4.3%	1 物品販売店舗部 分 631 31.7%	紙・紙製品 99 合成樹脂及び製品 83 衣類 78
(5)イ旅館・ホテル・宿 泊所	725 1.6%	1 宿泊客室 177 24%	布団、座布団、寝具 96 床 11	たばこ、ライター、不明 たばこ、油ストーブ	60
		2 調理室 74 10%	動植物性油類 50 壁軸組 5 ガス類 3	こんろ、ガス燃焼機器 こんろ、ガス燃焼機器、不明 こんろ、ガス燃焼機器、裸火	78
		3 居室 61 8.4%	布団、座布団、寝具 22 床 7	たばこ たばこ	48
		(5)ロ寄宿舎・下宿・ 共同住宅	18502 40.4%	1 居室 7993 43.2%	布団、座布団、寝具 2517 衣類 555 紙屑、わら屑 504
(6)イ病院・診療所・ 助産所	551 1.2%	1 病室 143 26%	布団、座布団、寝具 69 衣類 19 繊維製品 9	ライター、たばこ、不明 ライター、たばこ 電灯その他、ライター	68
		5 診察室 25 4.5%	繊維製品 4 合成樹脂及び製品 3	ガス燃焼機器、油ストーブ、灯火、ライター 電気機器、電気装置、ガスストーブ	28
		(7)小学校・中学校・ 高等学校・大学等	1717 3.7%	1 教室 305 18%	紙・紙製品 90 紙屑、わら屑 41 繊維製品 17
(12)イ工場・作業所	10241 22.3%	4 体育室(館) 139 8.1%	繊維製品 21 紙・紙製品 15 紙屑、わら屑 9	不明、たばこ、ライター 不明、ライター たばこ、ライター	32
		5 実験室、研究室 137 8.0%	合成樹脂及び製品 18 紙・紙製品 14 電線被覆 11	電熱器、電気機器、配線、配線器具 不明、配線、マッチ、ライター 配線、電熱器機、配線器具	31
		(14)倉庫	3596 7.8%	1 一般倉庫 2178 61%	木屑・かな屑・のこぎり屑 512 繊維屑 446 第一石油類 441
(15)前各項に該当し ない事業所(事務 所)	1455 3.17%	紙・紙製品 275 紙屑、わら屑 168 わら及びわら製品 116	不明、ライター、たばこ ライター、不明、たばこ 不明、ライター、火の粉	26	
		1 一般事務室 408 28%	紙・紙製品 75 紙屑、わら屑 49 電線被覆 38	不明、ライター、たばこ たばこ、ライター、不明 配線、電気機器、電気装置	40

空間用途の頭に着いている数値は、当該区分における出火件数順位
空間用途の次の数値、割合は、当該区分における出火件数および割合

上位着火物、上位発火源は、各々上位3位を原則として抽出

空間用途は、主要用途空間が複数ある場合は主要な順に並べてある。従って、(3)項口飲食店では件数の順序と逆になっている。

防火対象物区分で出火空間の第1位は主要用途空間となっており、屋外空間である「外周部」が、ほとんどの防火対象物区分に共通して上位抽出された。

抽出された着火物（以下、上位着火物という）をみれば、火気使用空間では「動植物性油類」が、居室・就寝空間では「布団・座布団、寝具」が、それぞれ特定の用途区分での上位着火物となっている。また、「紙・紙製品」、「合成樹脂及び製品」、「紙屑、わら屑」、「壁軸組」、「電線被覆」などは、ほとんどの用途区分で抽出されており、どの用途区分でも共通している上位着火物となっている。

上位着火物が「布団、座布団、寝具」となっているのは、共同住宅の居室の他に旅館・ホテルの宿泊客室、病院の病室であり、「(1) 項ロ 公会堂・集会場」の「集会室・会議室」、「(3) 項イ 待合・料理店その他これらに類するもの」の「飲食店舗部分」などでも座布団が着火物になっていると考えられる。

表4の着火物の抽出率（各防火対象物区分・空間用途の全体数に対する割合）をみると、火気使用室では、飲食店調理室が75%、旅館・ホテル等の調理室が78%、共同住宅の台所が74%、の抽出率で、上位着火物だけで約7割強となっており、各用途ごとにいくつかの特定火災シナリオで説明できると推測できる。これに対して、工場・作業所の作業所・工場では20%、倉庫の一般倉庫では26%となっており、着火物・発火源の多様性を表している。

3 初期火源—可燃物の燃焼性状

(1) 可燃物の想定

住宅における初期火源の燃焼性状を把握するために、統計分析の結果から住宅における初期火源となる着火物（可燃物）の種類を下記のように想定し、これらの燃焼実験を行った。これらの可燃物がそれぞれの種類を必ずしも代表するものではないが、できるだけ一般的でかつ標準的な可燃物を想定した。

- ①「動植物性油類」 天ぷら油
- ②「布団・座布団・寝具」 布団セット
- ③「紙・紙製品」 段ボール箱、新聞紙
- ④「紙屑」「ごみ屑」 紙屑、ごみ箱（内容物）
- ⑤「合成樹脂及び製品」 ごみ箱、空のビールケース
- ⑥「衣類」 シャツ

①「動植物性油類」～⑥「衣類」の着火物で、住宅全体では65%が、居室では63%、台所では78%の着火物が説明できる。実際には抽出していない着火物も抽出した着火物と同様の燃焼性状を示すものもあるので、説明力はさらに上がると考えられる。

(2) 実験概要

燃焼実験では、ISO9705 に準拠したルームコーナー試験装置の集煙フードの下あるいは燃焼室内で供試体を燃焼させ、下記の項目を測定した。

- ①発熱速度 酸素濃度などの測定結果から酸素消費法を使って算出、
- ②供試体の重量減少 電子天秤で測定
- ③ビデオ記録、写真撮影

実験では、電子天秤の上に不燃ボードをのせ、その上に薄い鉄板で作った燃焼皿(800 mm角)を載せて、その皿の上に供試体を設置した。

各供試体の材質、量、形状、保持姿勢は下記のようにした。布団

セットやシャツなどは繊維の種類によってたばこやマッチ・ライターでは着火しても継続的な燃焼を呈しないものがあり、燃焼しやすい綿素材を用いた。また、量んだシャツや新聞紙を除いて比較的燃焼しやすい保持姿勢とした。また、量や大きさは住宅における日常的な量を経験的に設定した。

①天ぷら油

サラダ油 750 g（比重 0.89）、鍋直径 24 cm

②布団セット

敷き布団と掛け布団（綿 100%中綿、綿 100%側地）約 10 kg

③段ボール箱

段ボール箱大（503×503×H503 mm、段ボール仕切り、約 3900 g）

段ボール箱大2（段ボール仕切、ポリスチレン製コップ入り、約 7128 g）

段ボール箱小（400×400×H360 mm、約 600 g：段ボール紙 厚さ 5 mm、470 g/m²）、空箱や丸めた紙屑入り、仕切り、折り畳みなど

④新聞紙

折り畳みひもでくくったもの、約 7 kg

⑤紙屑

拳大に丸めた A4 のコピー用紙約 1 kgをゴミ袋（650 mm×800 mm 厚さ 0.02 mm ポリスチレン製）に入れた状態のもの、同 2 kg 2 袋、同新聞紙約 1 kg等

⑥ごみ箱

ポリプロピレン(PP)製ごみ箱小（1 個約 380 g）、ティッシュ約 80 g・ポリスチレントレイ約 25 g・ポリスチレンコップ約 35 g 入り

ポリプロピレン製ごみ箱大（1 個約 650 g）、ティッシュ約 120 g・ポリスチレントレイ約 40 g・ポリスチレンコップ約 50 g 入り

⑦ビールケース

ポリプロピレン(PP)製ビールケース（空箱）、大瓶 20 本用 約 2070 g

2 種類メーカー（メーカー A およびメーカー B 各 2 ケース）

⑧シャツ

綿 100%のシャツ（平均 1 着約 300 g）、混紡（綿と化繊（ポリエステル）がほぼ半々のもの）のシャツ（平均 1 着約 180 g）を 5 着あるいは 10 着、ハンガーに吊りしたあるいは畳んで重ねた状態

(3) 点火源

統計分析で抽出された着火物—発火源について、実験で完全な発火状態の再現は困難であり、本研究の目的は、そのような条件下での着火の可能性を探索することではないので、可能な限り統計分析の結果を参考にして、表5のような各着火物に対して発火源を選定し点火源とした。

表5 実験供試体と点火源

実験供試体	実験の点火源
天ぷら油	ガスこんろ加熱による自然着火
布団セット	火の着いたたばこ数本を敷き布団と掛け布団の間に置く
段ボール箱 大	火の着いたたばこを下部底面から
段ボール箱 小	火の着いたたばこ（植物油含浸のボール紙）
紙屑・新聞紙	火の着いたたばこ（植物油含浸のボール紙）
ごみ箱（紙屑入り）	火の着いたたばこ 4 本をティッシュで包みごみ箱内のごみの中に置く
ビールケース	固形燃料（固形燃料、30 g）
衣類（吊下げ）	ライターでつり下がった下部に着火
衣類（畳置き）	ライターで下部に着火

(4) 発熱速度

天ぷら油 天ぷら油は、加熱後約 20 分で油に着火したが、その時の油温度は 375℃であった。着火後徐々に燃焼が盛んになり、着火後約 100 秒で最大発熱速度 166KW を示した。(図 2 参照)

布団セット くん焼での発熱速度は、炭化範囲の狭いくん焼初期では小さく測定範囲外であったが、炭化範囲が直径約 50 cm 程度になった 60 分時点で約 5KW 程度であった。60 分経過後強制的に火をつけ有炎燃焼の状態にした場合の発熱速度は最大約 60KW であった。

段ボール箱 段ボール箱は、点火位置・方法によって燃焼の立ち上がりには違いが出ているが、段ボール箱小では中が空の場合に発熱速度が大きく、燃焼盛期の発熱速度曲線の形は衣類に似て尖った山形となっている。紙屑を詰めたり段ボールで仕切りを入れたりすると空の場合に比べて発熱速度が小さくなっている。また、折り畳んで立て掛けた場合、折り畳んだ段ボールを 2 倍の量にしても発熱速度は変わらなかった。この場合発熱速度は可燃物の空気に暴露している表面積に依存しているためと考えられる。段ボール箱大では、点火方法が違ふことと空の場合に行っていないため、小型と同様の比較ができない。発熱曲線の形からは、小型の場合ほど仕切りの影響はなかったと思われる。(図 1、図 3 参照)

新聞紙 新聞紙を畳んでひもでくくったものは、中発火源のライター等に相当する小火炎では着火はするが継続的な燃焼をすることはなかった。

紙屑 紙屑は、A4 コピー用紙を拳大に丸めてゴミ袋に詰めたものを供試体とした。紙を丸めてゴミ袋に詰めた状態は燃焼しやすい状態であり、発熱速度の最大値はほぼ 60 秒前に出ており、燃焼盛期も 100 秒前に終わっている。(図 1、図 3 参照)

図 1 発熱速度 その 1

図 2 発熱速度 その 2

ゴミ箱 ゴミ箱は、たばこによる着火に時間がかかるためおよび発熱速度も大半が 50KW 以下であるため、図 2 において X 軸に沿うように下方に細長く分布している。内容物のくず類の燃焼は着火後 5 分程度で終了するが、ゴミ箱本体のポリプロピレンの燃焼が時間的には長い。(図 2、図 4 参照)

図 3 段ボール箱小と紙屑の発熱速度

図 4 ゴミ箱の発熱速度(着火後)

図 5 ビールケースの発熱速度

図 6 綿シャツの発熱速度

ビールケース PP製ビールケースは、着火に固形燃料を用いたが、着火に時間がかかり燃焼ピークも早いケースで7分～8分、遅いケースで13分～14分もかかっている。ビールケースは、火炎が当たると溶融し滴落し燃焼皿の上に溜まるが、燃焼部分から熱のフィードバックが十分あれば、溜まったものが燃焼を維持・拡大しプール火災となる。今回のプール火災の大きさは燃焼皿の80cm角に制限されており、最大の発熱速度は600KWであったが、ほぼ燃焼皿全面で燃焼している状況での値である。(図2、図5参照)

衣類 吊した綿シャツはライターで簡単に着火する。その燃焼は、今回の結果では、継続時間は短く3分程度となっており、図2の左下隅の○で囲った部分に発熱速度は数100KWレベルで分布している。これに対して、畳んで置いた状態では、着火後の燃焼は緩やかで、5着ずつ2山に積んだケースでも最大の発熱速度が50KW、燃焼盛期の平均

の発熱速度は約30KWであった。(図2、図6参照)

割合がほぼ半々のポリエステルと綿の混紡シャツは、綿シャツと同様に中発火源のライターで着火し燃焼する。

4 初期火源の燃焼モデル化

時間-発熱速度のグラフ上に可燃物の最大発熱速度とその最大値を示した時刻をプロットしたものが、図7である。くん焼燃焼の布団は除外してある。図中の4本の曲線はNFPA^{注2}で用いられている αt^2 モデル火災である。紙を丸めた紙屑や吊した衣類の燃焼拡大(火災成長:最大値までの増加)は速く ultrafast や fast に相当している。これに対してプラスチック製ゴミ箱やビールケースは小火炎による着火では全体に火炎が拡大する(燃焼がピークになる)までに時間がかかっている。

図7 火源の発熱速度(最大発熱速度とその時刻)

発熱速度(最大値、平均値)、火災成長係数 α 値、燃焼盛期継続時間、単位発熱量(燃焼熱KJ/g)の結果を、各可燃物の種類毎に数値を丸めて表6に整理した。発熱速度の平均値は燃焼盛期(最大発熱量の1/2以上の発熱速度のある期間)での平均発熱速度(KW)である。火災成長係数は最大発熱速度とその時刻から計算した。燃焼継続時間は平均発熱速度で総熱量(重量×単位発熱量)を割った値である。単位発熱量は各時刻の発熱量(KJ)と燃焼量(g)をプロットしたグラフからその曲線を直線近似しその傾きとして求めた。

ゴミ箱では発熱速度は約50KWで燃焼継続時間は約8分となっている。ポリエステル1kgを丸めた紙屑では発熱速度は約

表6 発熱速度測定の結果一覧

可燃物	保持姿勢	重量 g	発熱速度(KW)		火災成長 係数(α)	燃焼継続 時間(s)	燃焼熱 (KJ/g)
			最大値	平均値			
天ぷら油 鍋直径24cm	ガスこんろ加熱	750	170	120	1.6E-02	300	-
布団セット	有炎燃焼	-	60	-	-	-	-
段ボール箱大 503×503×503	1箱 仕切り入り	3,900	850	600	2.7E-02	111	17
段ボール箱小 400×400×360	1箱 組立中空	620	160	120	1.2E-02	88	17
	2箱 組立中空重ねおき	1,300	330	250	1.8E-02	80	16
段ボール箱小 400×770×20厚	1箱 折りたたみ、立てかけ	610	140	100	8.2E-03	98	16
段ボール箱小 400×770×40厚	2箱 折りたたみ、立てかけ	1,200	150	110	5.8E-03	157	14
紙屑 A4コピー用紙	1kg 丸めてゴミ袋に詰める	1,000	280	200	2.0E-01	65	13
	2kg 丸めてゴミ袋に詰める	2,000	390	300	1.6E-01	100	15
ゴミ箱(PP)	小	520	50	35	1.5E-04	480	42
	大	860	90	55	3.0E-04	480	42
ビールケース(PP)	1個 空のケース	2,100	530	380	7.3E-03	234	43
綿シャツ	10着 畳み重ねおき	3,100	35	25	2.1E-04	1742	14
	1着 吊し	340	70	55	3.2E-02	90	14
	5着 吊し	1,300	290	210	5.8E-02	90	15
	10着 吊し	2,200	410	280	3.3E-02	120	15
混紡シャツ	10着 畳み重ねおき	1,800	40	30	4.3E-04	1200	20
	10着 吊し	1,700	580	430	3.8E-02	70	18

混紡は綿50%、ポリエステル50%。段ボール箱大とビールケースの火災成長係数は、着火に時間がかかっているの着火前後の点火源の燃焼が主流の部分を除いて求めた。

280KWで燃焼継続時間は約65秒、燃焼熱は約13 KJ/gとなっている。

吊した綿シャツ(10着)では、最大発熱速度は約410KW、平均発熱速度は約280KWで燃焼継続時間は120秒となる。これに対して混紡シャツ(10着)では最大発熱速度は約580KW、平均発熱速度は約430KWと綿シャツに比べて大きな値となっている。段ボール箱は大小2種類行っているが、大型の段ボール箱で最大発熱速度は850KW、平均発熱速度は600KW

表7 各可燃物のパラメータ値

可燃物	火災成長係数	最大(平均)発熱速度	燃焼継続時間
①大型段ボール箱 4 kg	2.7E-02	850(600) KW	110 秒
②吊した衣類(混紡) 10 着	3.8E-02	600(450) KW	70 秒
③ビールケース (PP製) 2 kg	7.3E-03	550(400) KW	240 秒
④紙屑 2 kg	1.6E-01	400(300) KW	100 秒
⑤吊した衣類(綿) 10 着	3.3E-02	400(300) KW	120 秒
⑥小型段ボール箱 1.3 kg	1.8E-02	350(250) KW	80 秒
⑦天ぷら油 750g 鍋直径 24 cm	1.6E-02	200(150) KW	300 秒
⑧ごみの入った PP 製ごみ箱 本体 650g (布団の有炎燃焼 60 KW も含む)	3.0E-04	100(50) KW	480 秒

図8 初期火源モデルの発熱速度

図9 初期火源モデルの火災成長係数

で燃焼継続時間は111秒となっている。

衣類の場合は、吊した状態より畳んだ状態の方が、着火した火炎の全体への拡大が遅く発熱速度も小さい。段ボール箱も同様に、組み立てた空箱の状態より中に紙屑を詰めたり、折り畳んだ状態の方が発熱速度は小さくなっている。このように保持姿勢によって発熱速度に大きな差が出ている。

5 住宅の初期火源モデルの提案

表6の結果から、表7の①～⑧のように各可燃物に対して、火災成長係数、最大発熱速度(あるいは平均発熱速度)と燃焼継続時間の3つのパラメータを用いた整理を行った。

初期火源の燃焼特性は、同じ材質の火源においても、形状・大きさや量、保持姿勢等により違いがある。しかし、量や大きさ、保持姿勢に関しては実態データなども少なく、実態調査を行ってそれらを設定すべきであるが、今回はとりあえず、可燃物の種類に関しては、本報の表3を参考にして表7の①～⑧のように設定し、量に関しては住宅における日常的な量として、実験結果を参考にしながら経験的に設定している。したがって、今後実態調査等を行って設定数値等の妥当性を検討する必要があるが、例えば量についてもし実際には設定した量の2倍の可燃物があるのであれば、初期可燃物が2つ隣り合わせて存在していると考えて、燃焼拡大を考慮して発熱速度あるいは燃焼継続時間の数値を割り増しして用いるなどすれば実用的には満足できる。

上記①～⑧の初期可燃物とその燃焼特性をもとに、火災成長係数、平均発熱速度と燃焼継続時間の3つのパラメータを用いて、図8及び表8に示すような、住宅の初期火源を代表する火源として5タイプの初期火源モデルを提案できる。

火源モデルの型としては、「発熱速度が平均発熱速度に達するまでは αt^2 で発熱速度は増加し、平均発熱速度に達した時刻以降は平均発熱速度で一定、燃焼継続時間だけ一定の発熱速度を保ち燃焼は終了する。」ものを考えた。各可燃物の α 値としては、NFPAの ultrafast, fast, medium と slow の4つ値を採用した。この火源モデルが他の着火物(2次着火物)への着火を考えるためのものであり、可燃物の発熱速度を忠実に表現する必要はないので、図9に示すように、表6および表7の値を基に、各可燃物の α の設定値が安全側となるように ultrafast(UF)、fast(F)、medium(M)、slow(S)のいずれかの値を設定した。

大火源は①と②の可燃物をもとにしており、火災成長係数は ultrafast としている。可燃物のイメージとしては、紙類や衣類で、可燃物量としては多量な値(紙類では数kg、衣類では十数着程度の量)としている。中火源1は③をもとにしており、大火源に比べて火災成長係数が小さく medium で、燃焼継続時間が長い。可燃物イメージとしては、PPやPEのプラスチック等で可燃物量としては多量(数kg)としている。中火源2は④～⑥をもとにしており、火災成長係数が大火源と同様に ultrafast となっている。可燃物イメージは大火源と同様で、可燃物量は少量(多量の半分以下)としている。小火源1は⑦の天ぷら火災をもとにしており、火災成長係数が fast となっている。小火源2は⑧をもとにしており、布団の有炎燃焼も表現している。火災成長係数は slow となっている。

表 8 初期火源モデル

タイプ	パラメータ			可燃物イメージ
	火災成長係数	平均発熱速度	継続時間	
大火源	1.88E-01 UF	600KW	110 秒	紙、衣類 多量
中火源 1	1.17E-02 M	400KW	240 秒	プラスチック 多量
中火源 2	1.88E-01 UF	300KW	120 秒	紙、衣類 少量
小火源 1	4.69E-02 F	150KW	300 秒	天ぷら油
小火源 2	2.93E-03 S	50KW	480 秒	プラスチック 少量

住宅の各室毎の可燃物配置に対応して、これらの初期火源を適宜設定すれば、発生する初期火災性状を空間用途毎により的確に表現することができる。統計分析で抽出されていないその他の火源においても、その多くはその燃焼性状が5つの火源タイプのどれかに包含されるものと考えられるから、この5つの初期火源モデルで、住宅の初期火源の多くは説明できる。さらに、居室や台所といった空間用途別に、「着火物一発火源」の統計分析の結果をもとに重み付けされた初期火源モデルの設定も可能である。

6 おわりに

火災統計データを用いて、建物用途・空間用途毎の「着火物一発火源」の分析を行い、標準的な着火物において燃焼実験を実施し、その燃焼性状のデータを得て、住宅の初期火源モデルを提案した。

ここで取り上げた代表的な可燃物は、多種多様な可燃物の1例に過ぎず、その量や保持姿勢が変われば燃焼性状も異なる。しかし、マクロ的な見地でみれば、紙屑や衣類、段ボール箱などここで取り上げた可燃物の燃焼性状をもとに標準火源モデルの大まかなプロトタイプを提案することができる。また、これら統計分析の結果と燃焼データから、火災初期における初期火源のモデルを空間用途毎に設定することも可能である。

謝辞 この論文の一部分である統計分析と燃焼実験は、消防総プロ「総合防火安全対策手法の開発調査」の一環として実施したもので、実施に当たっては出火拡大防止防災幹事会の各幹事に貴重なご意見を頂いた。とくに実験に関して主査の消研筋内氏には大変ご助力頂いた。ここに深謝いたします。

注 1 防火対象物区分

消令別表第1で、下記のように(1)項から(20)項まで分類されている。本論では(1)項から(15)項までを対象とした。

- (1)項イ 劇場、映画館など
- (1)項ロ 公会堂又は集会場
- (2)項イ キャバレー、カフェーなど
- (2)項ロ 遊技場またはダンスホール
- (3)項イ 待合、料理店など
- (3)項ロ 飲食店
- (4)項 百貨店、マーケットなど店舗または展示場
- (5)項イ 旅館、ホテルなど
- (5)項ロ 寄宿舎、下宿又は共同住宅
- (6)項イ 病院、診療所など
- (6)項ロ 老人福祉施設、有料老人ホームなど
- (6)項ハ 幼稚園、盲学校など
- (7)項 小学校、中学校など
- (8)項 図書館、博物館など
- (9)項イ 蒸気浴場、熱気浴場など
- (9)項ロ イに掲げる公衆浴場以外の公衆浴場
- (10)項 車両の停車場または船舶若しくは航空機の発着場
- (11)項 神社、寺院など
- (12)項イ 工場又は作業場
- (12)項ロ 映画スタジオ又はテレビスタジオ
- (13)項イ 自動車車庫又は駐車場

- (13)項ロ 飛行機又は回転翼航空機の格納庫
 - (14)項 倉庫
 - (15)項 前各項に該当しない事業場
 - (16)項イ 複合用途防火対象物のうち、その一部が(1)項から(4)項まで、(5)項イ、(6)項又は(9)イに掲げる防火対象物の用途に供されているもの
 - (16)項ロ イに掲げる複合用途防火対象物以外の複合防火対象物
 - (16の2)項 地下街
 - (16の3)項 準地下街
 - (17)項 文化財
 - (18)項 延長50メートル以上のアーケード
 - (19)項 市町村長の指定する山林
 - (20)項 自治省令で定める舟車
- 注 2 NFPA

NFPA72、NFPA92Bでは、火災感知器の分析あるいは煙制御システムのデザインのために、ultrafast(UF)、fast(F)、medium(M)、slow(S)の4つに等級化された αt^2 火災を火源モデルに用いている。各火災モデルの α 値は、 αt^2 曲線で発熱速度が増加するとし、発熱速度が1055KW(1000BTU/sec)となる時間(火災成長時間)をそれぞれ75、150、300、600秒として求められたものである。様々な可燃物の発熱速度のデータが公表されているが、ほとんどの可燃物の α 値は0.001~1のオーダーの間に入ると言われており、それらが参考となっている。NFPAの4つの αt^2 火災は以下のような代表的な可燃物と関連づけられている。

- Slow Densely packed paper products(高密度に固められた紙製品)
 Midium Traditional mattress/boxspring(伝統的なマットレス/ボックススプリング)
 Cotton/polyester interspring mattress(綿/ポリエステル マットレス)
 Fast PU mattress(horizontal)(ウレタンフォームマットレス)
 Wood pallets 5ft high(5フィート積み木製のパレット)
 Ultrafast Thin plywood wardrobe(板厚の薄い合板張り洋服タンス)
 Methyl alcohol pool fire(メチルアルコールのプール火災)
 Fastest burning upholstered furniture(最大燃焼速度の詰め物家具)

参考文献

- 1) 関沢愛、ほか3名:消防用設備等の防火設計における総合的防火性能評価のフレームワーク —消防用設備を中心とした総合的防火性能評価法の開発 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.187,188, 2002.08
- 2) 海老原学、ほか2名:火災時の避難行動支援対策の評価法 —消防用設備を中心とした総合的防火性能評価法の開発 その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.189,190, 2002.08
- 3) 野竹宏彰、ほか4名:火災時の初期拡大抑制対策の評価法 —消防用設備を中心とした総合的防火性能評価法の開発 その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.191,192, 2002.08
- 4)(財)第一住宅協会、(財)日本住宅・木材技術センター、住宅の積載荷重に関する調査、1982.03
- 5)(財)日本建築センター、新都市躯体構造システム報告書 IV 可燃物調査、1988
- 6) 日本住宅公団、高層住宅の防火総合計画に関する研究、1974.06
- 7) 佐藤博臣、ほか4名:木造住宅の火災荷重に関する分析、その1 積載火災荷重について、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.31,32, 1997.09
- 8) 阿部京子、佐藤博臣、ほか3名、住宅における木質系可燃物の配置に関する研究、その1 住宅の家具配置に関する分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.183,184, 1998.09
- 9) 関沢愛、佐藤博臣、ほか5名:住宅における木質系可燃物の配置に関する研究、その2 RC造中層住宅における木質系可燃物の配置の実態、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.185,186, 1998.09
- 10) 佐藤博臣、ほか2名:住宅における木質系可燃物の配置に関する研究 その2 住宅の家具配置に関する分析(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.109,110, 1999.09
- 11) 佐藤博臣、ほか3名:住宅における可燃物配置のモデルに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.177,178, 2001.09
- 12) 岩波志富貴、佐藤博臣:住居内可燃物とバルコニー利用状況との関係について、日本建築学会関東支部研究報告集、I、2002.03
- 13) 昭和53年度総プロ「住宅性能総合評価システムの開発」報告書、安全に関する評価法および測定法の開発(防火安全性の評価方法の開発、資料編)、建築研究所、1978
- 14) 川越邦雄、水野智之:閉空間における家具類の燃焼性状 その2、日本建築学会大会講演梗概集、防火、pp.2807,2708, 1983
- 15) 吉田正志:収納可燃物の燃焼性状その1~3、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.37,38, 2000.09、pp.1,2, 2001.09、pp.265,266, 2002.08
- 16) 水野智之、佐藤博臣:建物・空間用途別にみた火災初期における初期火源およびその燃焼性状、日本建築学会大会学術講演梗概集、A2、pp.207~210, 2002.08

(2004年7月8日原稿受理、2004年10月25日採用決定)