

木の燃焼と防耐火

第1回

木と燃焼—もっと身近に火を

安井 昇 ■ 桜設計集団一級建築士事務所 代表



はじめに

人間は「火」とともに長い年月を過ごしてきた。調理、暖房、あかりなど、生活と切っても切れない存在であった。しかし、ひとたび火の扱いを間違え、「火の災い」と書く「火災」に成長することもあり、大切な命や財産があつという間になくなることを数多く経験してきた。そのため、現在では火を使った調理、暖房、あかりは、IHクッキングヒーター、エアコン、電気照明器具などに置き換わり、建物内で裸火を使うことが減ってきた。それでもなお、年間約30,000件(約80件/日)の建物火災が発生し、年間約1,200人(約3.5人/日)が火災によって死亡している。この件数・死者数は、ここ20年間ほど、微減であるものの大きさは変わっていない。建物の内装が不燃性のせっこうボードなどで仕上げられ、安全装置のついた調理機器や暖房機器が登場するなど、さまざまな方面から火災対策がされているにもかかわらず、火災は減らない。人間が現在の生活を続けている限り、これ以上、火災被害を減らすことはできないのであろうか。木造の設計をしつつ、木造防火の研究にも携わる筆者としては、なんとか解決の糸口を見出したい。

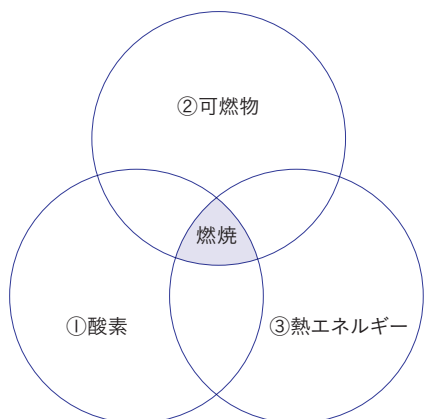


図1 燃焼に必要な3要素

適切な火災対策を論じるためには、そもそも火災とは何か、木はどのように燃えるのか、建築の火災はどのように成長し被害を出すのかなど、基本的なことを知ることが重要と考えられる。そこで、第1回では人間が昔から建物、調理、暖房、あかりなどに使ってきた木材について、その基本的な燃焼現象を整理した上で、それらをどのように制御してうまくつきあっていけばよさそうか考えてみたい。また、次回以降は、防耐火的な木造建築を設計するための基本から応用まで、事例紹介を含めて書き進めてみたい。

ものが燃えるためには3要素が必要

昔、理科の時間に「燃焼の3要素」について学習したと思う。ものが燃えるためには、①酸素、②可燃物、③熱エネルギーの3つが必要である[図1]。このうち建築には、いつでも、どこにでも、酸素と可燃物がある。この2つに熱エネルギーが加わると燃焼となるが、この熱エネルギーを人がコントロールできるうちは、「火」はとても有用なものであり、かまど、いろり、薪ストーブ、たいまつなどにより、人が生活する上で必要な熱やあかりを得ることができる。

一方で、酸素、可燃物、熱エネルギーがコントロールできない状態になり、連鎖的に化学反応を続けると「火災」になる。総務省消防庁の火災報告等取扱要領には、「火災とは、人の意図に反して発

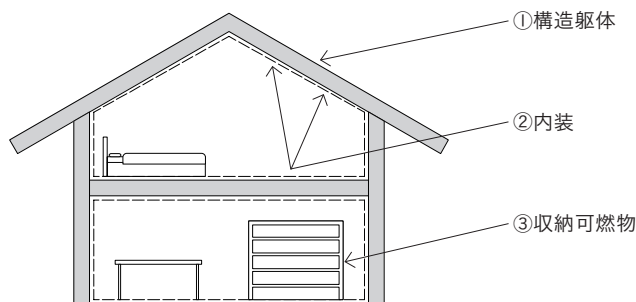
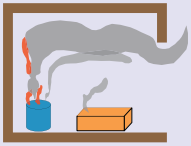
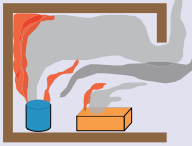
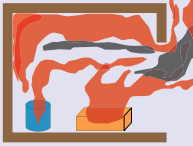


図2 建物内の可燃物の種類

表1 火災の成長過程と可燃物

	火災初期	火災成長期	火災最盛期
火災の成長過程			
可燃物	出火源	収納可燃物 内装	収納可燃物 内装 構造躯体

生し、もしくは拡大し、または放火により発生して、消火の必要のある燃焼現象であって、これを消火するために消火施設またはこれと同程度の効果のあるものの利用を必要とするもの、または人の意図に反して発生し、もしくは拡大した爆発現象をいう」とある。

逆に、この燃焼反応が長く続かないように、酸素、可燃物、熱エネルギーのうち、いずれかひとつを取り除く行為が「消火」と言える。たとえば、消火器（一般的なのはABC粉末消火器）は、燃焼する可燃物の表面を粉末で覆って酸素を絶ち、窒息させて消火（窒息消火と呼ぶ）する道具である。また、消防隊が放水するのは、温度を下げて熱エネルギーを取り除こうとする行為である。さらに、昔、江戸の火消しが、火事になった建物の風下の建物を壊したのは、可燃物を取り除く破壊消防であり、いずれも、3要素のうちのひとつを取り除く行為と言える。

このように、建築の火災を抑制するためには、酸素、可燃物、熱エネルギーの3つが揃い続けられないようにすることが基本であることがわかる。

火災は3段階で成長する

建築火災は、建物に存在する可燃物が燃えて起こる。建築の可燃物は、①構造躯体、②内装、③収納可燃物（建物を活用していく上で建物内に持ち込む可燃物）の3つに分類される[図2]。構造躯体は木造特有の可燃物、内装と収納可燃物は構造躯体によらず存在する可燃物である。鉄筋コンクリート造や鉄骨造でも火事が起こるのは、内装や収納可燃物が燃えるからである。出火原因は、毎年少しずつ順位の入れ替わりがあるが、いつも上位であるのは放火、たばこ、コンロ、放火の疑い、たき火である（詳細は総務省消防庁の消防白書参照）。すなわち、地震が天災であるのに対して、火災は人災である。人の行為により失火しており、雷など天災による火災は限定的である。

ここで建築火災のメカニズムを考えてみると、火災では、収納可燃物→内装→構造躯体の順に燃えて、上の表のように、「火災初期」→「火災成長期」→「火災最盛期」という3つの過程を経て順次成長していく[表1]。

「火災初期」は出火源のみが燃えている状態、「火災成長期」は出

表2 火災の各過程における対策・対応

火災フェーズ	火災初期	火災成長期	火災最盛期
対策すべき項目	出火防止	内装の燃え拡がり	隣室への延焼
	早期発見	収納可燃物の燃え拡がり	隣棟への延焼
	初期消火		躯体の燃焼
対応	使用者	避難	
	管理者	消火・通報	
	消防隊	消火	
構造躯体による耐火性能の差	差はあまりない		木造とRC造で差が出やすい

火源から周辺の壁・天井仕上げや収納可燃物に着火し燃え拡がっている状態、「火災最盛期」はフラッシュオーバー（室内で急激に燃え広がる現象）を経て部屋全体の激しい火災になった状態を言う[写真1]。

出火してすぐの「火災初期」の燃え方に影響を与えるのは、建物用途による出火源の種類（油、化学繊維、樹脂、木材、紙など）や火気使用の有無、消火設備の有無など、主に「出火・失火に関わる」ことである。右上の表のように、出火防止、早期発見、初期消火など、そもそも火災を出さない、大きくしないことが重要であり、主として建物使用者が注意することである[表2]。

続く「火災成長期」の燃え方に影響を与えるのは、壁や天井の内装仕上げや室内の可燃物種類・可燃物量（表面積）など、主に内装と収納可燃物の配置状態である。内装は設計者により決定されるし、収納可燃物は建物使用者の使い方による。この2つの過程において燃えているのは、出火源、出火源周囲の内装、出火源周囲の収納可燃物であり、まだ構造躯体の燃焼には至っておらず、木造だから燃えやすいわけではない。

最後の「火災最盛期」では、部屋全体が800℃を越える激しい燃焼となるが、鉄筋コンクリート造や鉄骨造では、壁や床は容易に燃え抜けず、さらに柱や梁が壊れて建物崩壊も起こりにくいものに対して、木造では構造躯体が燃えて、壁・床の燃え抜けや建物崩壊が起



写真1 フラッシュオーバー後の火災最盛期の様子

こる可能性が出てくる。すなわち、この「火災最盛期」の防耐火性能を上げて、木造でも鉄筋コンクリート造などに近い火災性状にすれば、防耐火性能の高い木造建築をつくるのが可能となる。

「燃えない」という言葉を使い分ける

木造建築において「火災最盛期」の防耐火性能を上げるには、木造の可燃物が「燃えない」ことが重要と言える。この「燃えない」という言葉には、①燃えない(着火防止)、②燃え広がらない(燃焼拡大防止)、③燃え抜けない(延焼・類焼防止)、④燃えて壊れない(崩壊防止)といういろいろな使い方がある。

一般にこれら4つの言葉は、すべて「燃えない」という一語でまとめられているように思う。しかし、建築火災においては、それぞれ分けて考える必要がある。たとえば、火災初期・火災成長期には、出火源周辺の内装や収納可燃物が、燃えないこと、燃え広がらないことが重要であり、火災最盛期には、壁や床が燃え抜けないこと、柱、梁が燃えて壊れないことが重要となる。

建築基準法の内装制限は、火災初期・火災成長期に建物使用者が煙や炎に襲われないように、延焼経路となりやすい壁と天井が、燃えない、燃え広がらないように、難燃材料、準不燃材料、不燃材料(それぞれ、5分間、10分間、20分間燃えないもの)とする範囲を決めており、主として人命安全確保のための規定と言える。

また、防火構造・準耐火構造などの防耐火構造制限は、火災最盛期において、隣室や隣家へ容易に延焼しないために、壁・床・柱・梁などの主要構造部が燃え抜けない、燃えて壊れないよう、準防火性能(20分)、防火構造(30分)、準耐火構造(30~60分)、耐火構造(30分~120分)とする部位を、建物規模・用途や周辺市街地の状況に応じて決めている。主として建物という財産を保全し、市街地火災を抑制するための規定と言える。

木材の燃え方——熱分解とは

さて、内装や構造躯体に使われる木材は、実際どのように燃えるのであろうか。

木材は、表面に加熱を受けて表面付近の水分が蒸発または内部へ移動すると、表面温度が100℃を越え始める。その後、約200℃まで上昇すると、木材の低温で熱分解する成分がガス化し可燃性ガスを発生する。この可燃性ガスが空気中の酸素と混合し気体燃料となり、そこに熱エネルギーが加わると燃焼する。すなわち、木材という固体が燃えているのではなく、熱分解してガス化した気体が燃えている。

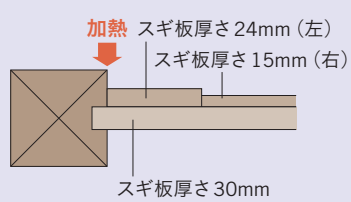
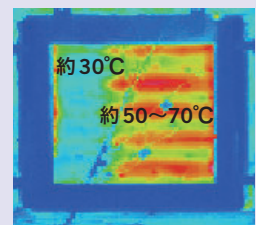
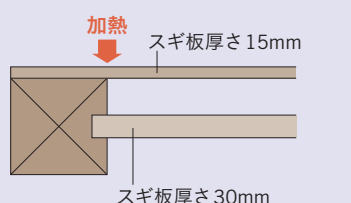
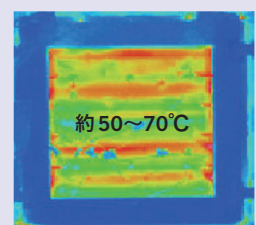
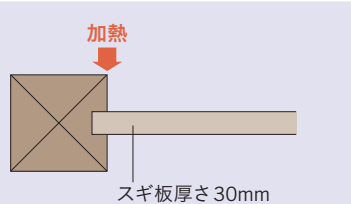
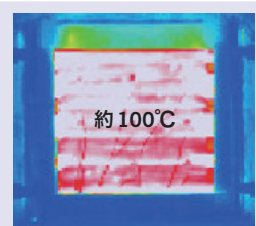
この熱分解で可燃性ガスが発生したのちに、残った部分がたく

さんの空洞(可燃性ガスが出てしまった部分)を持った炭化層である。空洞は空気を含むので、断熱材と同じ役割をする。このように、木材は燃えると自分で表面に断熱材をつくり、内部への熱侵入を抑制しようとする上に、自分自身の熱伝導率が低い。そのため、太く厚い木材が燃えると、均一に炭化層(断熱層)が形成され、かつ、熱がなかなか裏面に伝わらないので、燃え進みや、燃え抜けるまでに一定の時間がかかる。

下の表は、厚みの異なるスギ板を、隣室や隣家が「火災最盛期」になったことを想定して、加熱した際の裏面温度を示したものである[表3]。建築基準法では防火構造の外壁には30分間の非損傷性(燃えて壊れない)と遮熱性(燃え抜けない)が求められるが、この図によると、スギ板表面が約850℃で加熱されている30分後のスギ板裏面温度は、厚さ30mmの場合約100℃、総厚さ45mmの場合約60~70℃、総厚さ54mmの場合約30~40℃となり、厚さが増すほど裏面温度は低下する。約30~40℃といえは加熱開始時の温度とほぼ同じであり、厚さが50mm強あると、30分間の火事が起こっても裏面に熱がほとんど伝わってこないことがわかる。すなわち、防火構造の外壁に必要な遮熱性がスギ板だけで達成できるわけである。

スギ(無垢材)の燃え進む速度は、厚さ15mm前後の板材の場合約1mm/分、厚さ30mm程度の場合約0.8mm/分であり、この木材がゆっくりと燃える性質を工学的に評価したのが、準耐火構造などで告示に位置づけられている「燃えしろ設計」である。近年、直交

表3 厚さの異なるスギ板を30分間加熱した後の裏面温度

断面構造	30分後の裏面温度
 <p>加熱 スギ板厚さ 24mm (左) スギ板厚さ 15mm (右) スギ板厚さ 30mm</p>	 <p>約30℃ 約50~70℃</p>
 <p>加熱 スギ板厚さ 15mm スギ板厚さ 30mm</p>	 <p>約50~70℃</p>
 <p>加熱 スギ板厚さ 30mm</p>	 <p>約100℃</p>

集成板 (CLT…クロス・ラミネーテッド・ティンバー) や単板積層材 (LVL…ラミネーテッド・ベニア・ランバー) などの厚さ 90mm、150mm などの木材厚板パネルによる工法が注目を浴びているが、これら厚板を使った壁、床、屋根についても、2016年3月より「燃えしろ設計」が可能になった。

もっと身近に火を

このように、木材も使い方によっては、なかなか燃え抜けない壁や床、なかなか壊れない柱や梁などをつくることができるが、世間では一般的に、「木材＝燃える」はよくないことであり、外装や内装が木材仕上げになっていると「火事に弱い」と言われることが少なくない。一方で、欧米では大きな断面の木材を使ったログハウスや前述の CLT 建築などは、ある程度火事に強いと評価されている。これは、なかなか壁や床が燃え抜けないので、消防が来てくれるまで隣室や隣家に燃え抜けず、時間稼ぎができるからであろう。

このような木材の「ゆっくりと燃える」性質を長所と考えると、木材の利活用の可能性が広がる。じつは、建築基準法では準耐火構造・防火構造には木材の厚さをとって、せっこうボードと同じ防火被覆に位置づけられている仕様もたくさんある (たとえば、準耐火構造の軒裏、床、階段など)。

昔のように調理・暖房・あかりなどの火が身近にない現代において、今一度、木材がゆっくりと燃える長所を学び、活用できる人材が増えると、火災被害も減るかもしれない。

右の写真は、スギ板を3枚用いて、煙突効果を利用した焼スギ板の製作風景である【写真2】。木材表面を焼いておくと、炭化層のおかげで水切れがよく耐久性が向上することが知られており、京町家などでは雨がかかる妻壁に焼スギ板が張られている。使用条件にもよるが、50年以上の耐久性が実際に確認されている。焼く過程で、木材になかなか火がつかないこと、燃え始めると加速度的に燃



写真2 焼スギ板づくりの様子

え広がること、燃え続けるためには3枚がそれぞれ向かい合って熱をもらい続けないといけないことなど、さまざまなことを学べる。火と木を使った素材を建築に使うことで、「火育」と「木育」が同時にできるといえ、木材との新たなつきあい方も発見できるのではないだろうか。

やすい・のぼる

1968年京都市生まれ。東京理科大学大学院(修士)、積水ハウスを経て、1999年桜設計集団一級建築士事務所設立。木造建築の設計をしつつ、木造耐火に関する研究、技術開発、コンサルティングを始める。2004年早稲田大学にて博士(工学)取得。2007年日本建築学会奨励賞(論文)受賞

自習型認定研修の設問

設問1

建築火災の出火原因として上位のものは次のどれか。

- 落雷
- 放火
- ストーブ

設問2

建築基準法の内装制限が目標にしている性能は次のどれか。

- 燃え抜けない
- 燃えない
- 燃えて壊れない



認定教材の設問への回答は、CPD 情報システムのページ <https://jaeic-cpd.jp/> にアクセスのうえ、お願い致します。

※不正解の場合は、単位に登録できない場合があります。
※自習型教材の選択欄における、会誌「建築士」選択項目は、平成28年1月より建築士协会会员のみの表示項目になります。