

屋内消火に関する知識の進化

私たちのほとんどは、何年も前に消防学校で消防士の基礎を学んだ。何十年前という人もいるだろう。当時から、例えば 80 年代から、社会は大きな転換期を迎えてきた。その頃に初めて車を買った人もいる。その最初の車と現在の新車を比べれば、大きな違いがあることに気づくだろう。

同じことが住宅にも言える。現在の住宅は高性能の二重ガラス、あるいは三重ガラスで建てられており、断熱材も普及している。また、気密性の高い住宅も増えてきている。今では高気密高断熱の住宅が一般的だ。

結果として、建物が変化したように我々が戦わなければならない火災も明らかに変化している。消防士は、40 年ほど前には存在しなかったような火災に直面することもある。幸いなことに、私たちの道具や装備も進歩した。現在のノズルは、昔のノズルとは似ても似つかない。また、火災に関する知識、つまり火災科学も進化している。では、もう少し詳しく見てみよう。これらの記事で、私たちが現在どのような状況にあるのかを見ていきたいと思う。また、関連性のある古い知識と消火活動への新しいアプローチを見ていこう。この最初の記事では、火の三角形と換気火災の行動という、常に存在している 2 つのテーマから始める。

1 火の三角形 (ファイヤートライアングル)

1.1 火の始まり

消防士なら誰もが消防学校で習った火の三角形モデル。これは燃焼の始まりを説明するために使われている。その 3 つの要素とは、燃料、空気 (酸素)、(点火) エネルギーである。「エネルギー」という言葉は、この文脈ではしばしば温度や熱に置き換えられる。燃焼を起こすためには、これら 3 つの要素がそれぞれ十分に存在する必要がある。

燃焼のプロセスは、実際のところ燃料粒子と酸素の化学的相互作用である。この過程で熱 (エネルギー) が発生する。このプロセスを開始するには、利用可能なエネルギー源がなければならない。そのエネルギー源とは、ロウソクや過充電によって発生した放電などである。

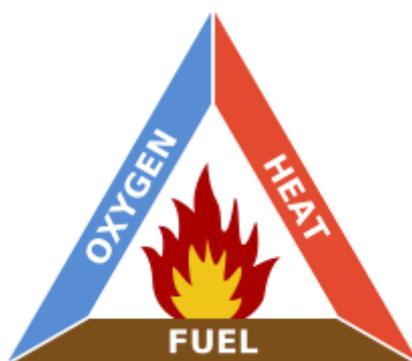


図 1 火の三角形 (画像: www.wikipedia.org)

いったん燃焼が進み、火がつくと、酸素が消費される。空気中には通常 21%の酸素が存在する。密閉された区画内の火災では、区画内の酸素濃度が下がるほどより多くの酸素を消費する。ある時点で、燃焼プロセスは酸素不足のために停止する。一般的には、酸素濃度が 14%から 15%以下になると燃焼が停止すると言われている。これは、ろうそくに火をつけてガラスの瓶の中に入れてみるとよくわかる。このとき、ろうそくは密閉された区画内（瓶の中）で実際に燃焼している。密閉された空間に存在する空気（酸素）は消費され、やがてろうそくはひとりでに消えてしまう。

1.2 火の四面体

火の四面体について言及されることもある。その場合は空気と燃料の比率も考慮される。例えば、ボウルに木屑を入れたとしよう。これは非常に着火しやすい。木屑は空気に触れる面が大きい。これは燃料と空気の比率が良いことを意味する。同じ着火源で丸太に火をつけようとしても、うまくいかないだろう。木屑に比べ、丸太は空気に触れる面が小さい。丸太の方では燃料と空気の比率が悪いのだ。

1.3 火災の急速な進展における火の三角形の役割

火災が急速に進行する場合（フラッシュオーバー、バックドラフト、ファイヤーガスイグニッション）には、火の三角形と密接な関係がある。このためいずれかの現象が発生した場合は、必ず火の三角形を適用することができるのだ。これらの現象を引き起こすためには、燃料、酸素、エネルギーが一定の割合で混合していなければならない。その最も単純な例がバックドラフトである。バックドラフトの前には、酸素が不足した濃い混合気が存在する。区画内の温度は、火の三角形の 2 つの側面、すなわち燃料とエネルギーが存在することを保証している。バックドラフトが発生するのは、3 つ目の側面である酸素をコンパートメントに加えたときだけである。つまり、バックドラフトを起こすには、火の三角形の 3 つの側面がすべて揃っている必要があるのだ。これは他のすべての火災現象にも当てはまる。

2 換気された火

火災の発生には、燃焼体制が重要な役割を果たす。火に利用できる空気の量が、火の体制を決定する。そのため、火には 2 種類ある。換気された火は、歴史的に最もよく見られる火である。この種の火は通常、継続するのに十分な換気（空気の供給）がある。

2.1 点火と火災初期

ある瞬間に発火する。各区画には通常 21%の酸素が存在する。そのため、出火当初は火が燃え続けるための酸素が十分にある。しばらくすると、酸素は火によって発生する煙に取って代わられる。部屋の中の酸素の割合は減っていく。したがってこの段階では、火は燃料によってコントロールされていると言える。つまり、燃料の量によって火の速さが決まるということだ。

初期段階において、エネルギー源（例えばタバコ）は可燃性製品と相互作用する。この可燃物から、最初は煙が発生する。つまり、点火後はくすぶり続ける火となる。一般に、より多くの燃料が火に巻き込まれる。火の表面は大きくなり、温度は上昇し始める。

しばらくすると、立ちのぼり煙が発火する。この炎自体が輻射熱を発生させる。煙の中に炎があると、燃焼プロセスは加速する。炎からの輻射熱はさらに遠くまで届く。火の近くにある物体の温度は上昇し始める。これらの物体が十分な熱を受けると、まず蒸気が発生し、次に熱分解ガス（可燃性ガス）が発生する。どちらのガスも淡色（白から灰色）である。

2.2 成長期

火元から立ち上る煙が炎を示すと、すぐに成長段階が始まる。区画内では火災が発生していることは一目瞭然である。たくさんの煙が見え、温度は明らかに上昇している。煙の層が下降し始める。この層は、上昇する火災の煙と、室内の輻射熱から発生する熱分解ガスによって形成される。

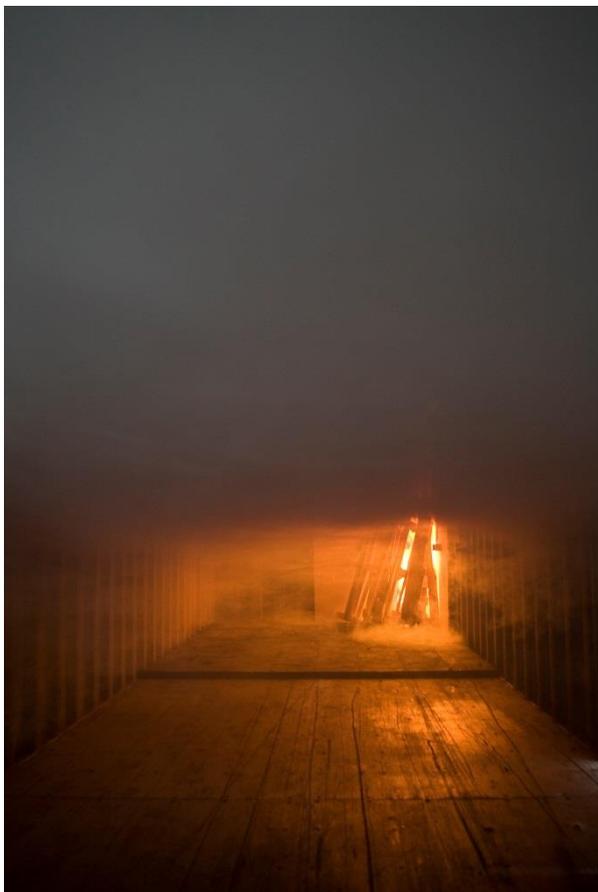


図 2 中立帯の確立。上には濃い灰色の煙。下はまだ空気があり視界良好。

(画像: StefVandersmissen-Zaventem Fire department)

成長期には、中性層または中性帯が現れる（図 2 参照）。図式的に言えば、煙の層の底に線を引くことができる。煙の層では気体燃料の量が増え続けるが、煙の層の下にはまだ多くの酸素が存在する。また、煙の層の下の視界はまだ良好である。

火が大きくなるにつれて、煙の層は下に降りてくる。この変化の速さは、火災の成長の速さを示す指標となる。煙の層の下降速度が速いということは、火災が急速に進行しているということであり、非常に危険である。

上昇する煙の中の炎はある時点で天井にぶつかり、天井に沿って水平に伝播する。その時点で、煙の層の中に炎が発生する。この炎は、煙の中を火元から離れる方向に進む。この現象はロールオーバーと呼ばれる。ロールオーバーの出現は、火災の成長段階の終わりを示す。煙の層からの輻射熱により、周囲の温度は急速に上昇する。そしてフラッシュオーバーが発生する。

成長段階では、より多くの燃料が火に巻き込まれる。炎の前面が大きくなり、火の体積も大きくなる。火はより多くの酸素を必要とする。同時にコンパートメント内の酸素の割合も減少し始める。特

に区画内の上部では、燃焼による煙で空気が汚染される。火災はまだ燃料制御されているが、換気制御された火災へと進化している。

2.3 フラッシュオーバー

成長段階で、区画内のすべての物体が熱分解を始めた。この燃焼過程で大量の煙が発生した。この煙には、CO（一酸化炭素）などの可燃性ガスが一定量含まれている。高温の煙の層は、本質的に高温の気体燃料の貯蔵庫である。この貯蔵庫がロールオーバーによって発火する。その後、温度は急速に上昇する。数秒後には、区画内のごく一部の火災が、区画全体を包み込む火災へと発展する。そして、二次元の火災が三次元の火災へと変化するのである。

つまり、フラッシュオーバーを次のように定義することができる。

フラッシュオーバーとは、発生中の火災から完全に発生した火災への急激かつ継続的な移行である。

フラッシュオーバーの後、区画全体が完全に火に包まれる。燃焼プロセスに参加する燃料の量が大幅に増えた。そのため、火災はフラッシュオーバー前よりも多くの酸素を必要とするようになった。火災は換気制御されている。これは、区画内で完全に発達した火災が、換気によって供給可能な酸素よりもはるかに多くの酸素を必要とするために起こる。

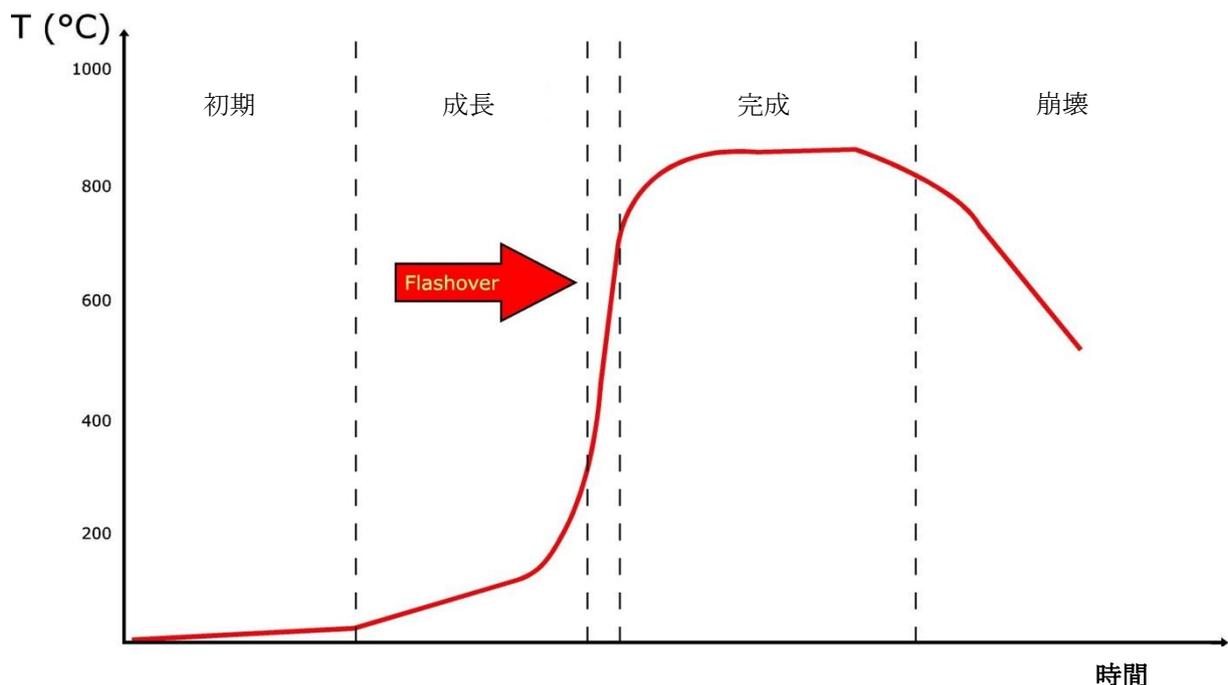


図 3 換気された火災 (グラフィック : Karel Lambert)

2.4 完全に発達した火災

いったんフラッシュオーバーが発生すると、区画全体が火の海となる。区画内のものはすべて失われる。火災を取り囲む構造要素（床、天井、壁など）の耐火性によって、火災が収まるか、他の区画に燃え移るかが決まる。ドアを開けたままにしておくと、隣接する部屋はすぐにフラッシュオーバー

が発生する。ある部屋では火災が完全に進行し（フラッシュオーバー後）、隣の部屋では火災が進行中（フラッシュオーバー前）ということもあり得る。火災が完全に進展した区画は完全に燃え尽きる。その時、火災は換気制御されている。燃料がなくなるまで燃え続ける。

2.5 火の崩壊

火が燃えている間、燃料はどんどん消費される。燃焼が終わると、火の勢いは弱まる。煙の発生も少なくなる。こうして流入する空気の量が増える。燃焼に関わる燃料の量は減り、酸素の量は増える。ある時点で、燃焼体制は換気制御から燃料制御に戻る。

火災の減衰中にも、熱分解を続けるのに十分な高温の物体が残っている。火の勢いはかなり弱まるかもしれないが、熱分解ガスが継続的に放出されるため、消防士にとってはリスクが残る。

3 参考文献

- [1] *Hartin Ed*, www.cfbt-us.com
- [2] *McDonough John*, *New South Wales Fire Brigade, personal communication, 2009*
- [3] *Raffel Shan*, www.cfbt-au.com, *personal communication, 2009*
- [4] *Grimwood Paul*, *Hartin Ed, McDonough John & Raffel Shan, 3D Firefighting, Training, Techniques & Tactics, 2005*
- [5] *Grimwood Paul*, www.firetactics.com, *personal communication, 2008*
- [6] *Lambert Karel & Desmet Koen*, *Binnenbrandbestrijding, versie 2008 & versie 2009 (in Dutch or French)*
- [7] *Bengtsson Lars-Göran*, *Enclosure Fires, 2001*
- [8] *Gaviot-Blanc, Franc*, www.promesis.fr

Karel Lambert