

# 10 . 建築材料の燃焼性

---

## □ 燃焼

- 強い発熱を伴う化学反応が高速で起きる現象
- 発光を伴うことが多い
- 発熱作用による高温 大きな反応速度
- 可燃物が酸素により酸化
- 可燃物より発生した可燃性気体が酸素により酸化
- 燃焼の3要素
  - 可燃性物質(酸化される物質)
  - 酸化性物質(酸素)
  - 活性化エネルギーの供給源(着火源、発火源、炎・高温物体・電気火花)

# 10. 建築材料の燃焼性

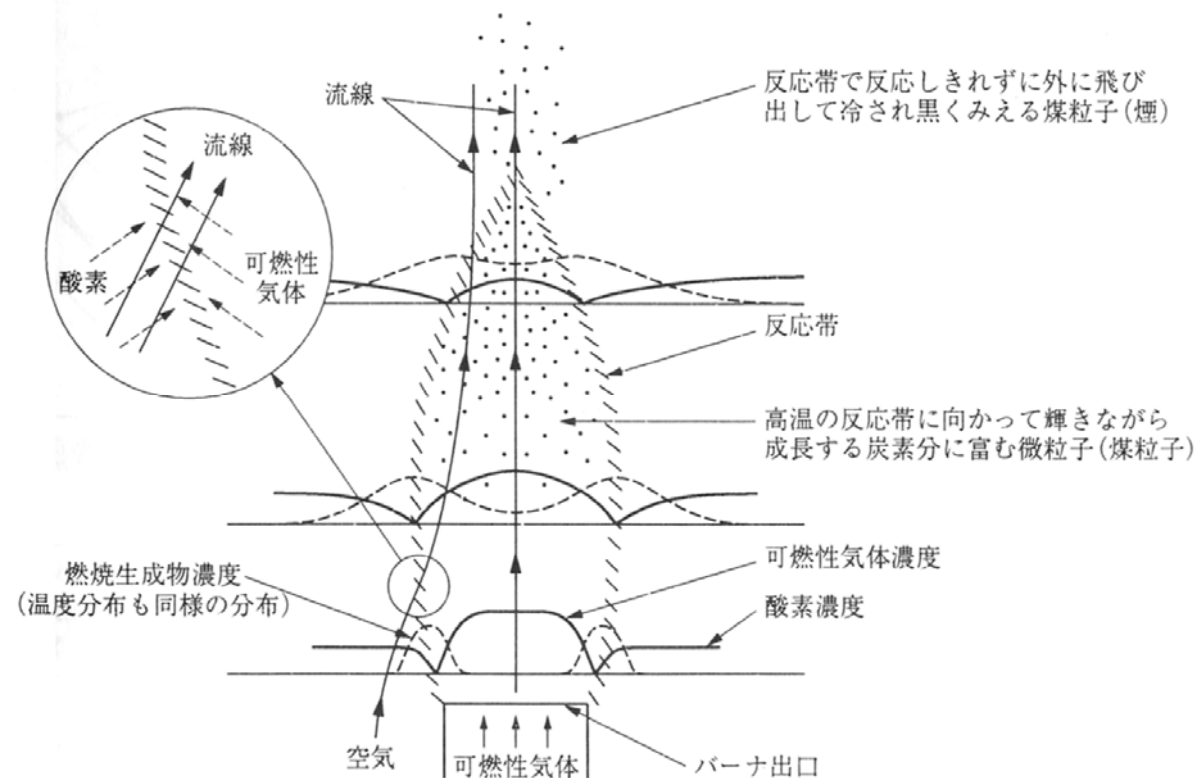
## □ 燃焼物質と燃焼形態

燃焼物質		酸素源	燃焼形態	主な物質
気体	可燃性ガス	空気中の酸素	拡散燃焼	プロパンガス
液体	表面からの可燃性蒸気	空気中の酸素	蒸発燃焼 (拡散燃焼)	ガソリン
固体	加熱による分解ガスの発生	空気中の酸素	分解燃焼 (拡散燃焼)	木材、石炭
	物質自体	物質表面に吸着した酸素	表面燃焼 (無炎燃焼、燻焼)	炭、コークス、マグネシウム、アルミニウム
その他	火薬 ロケット燃料	物質自体に含まれる酸素	自己燃焼	硝化綿、セルロイド

# 10. 建築材料の燃焼性

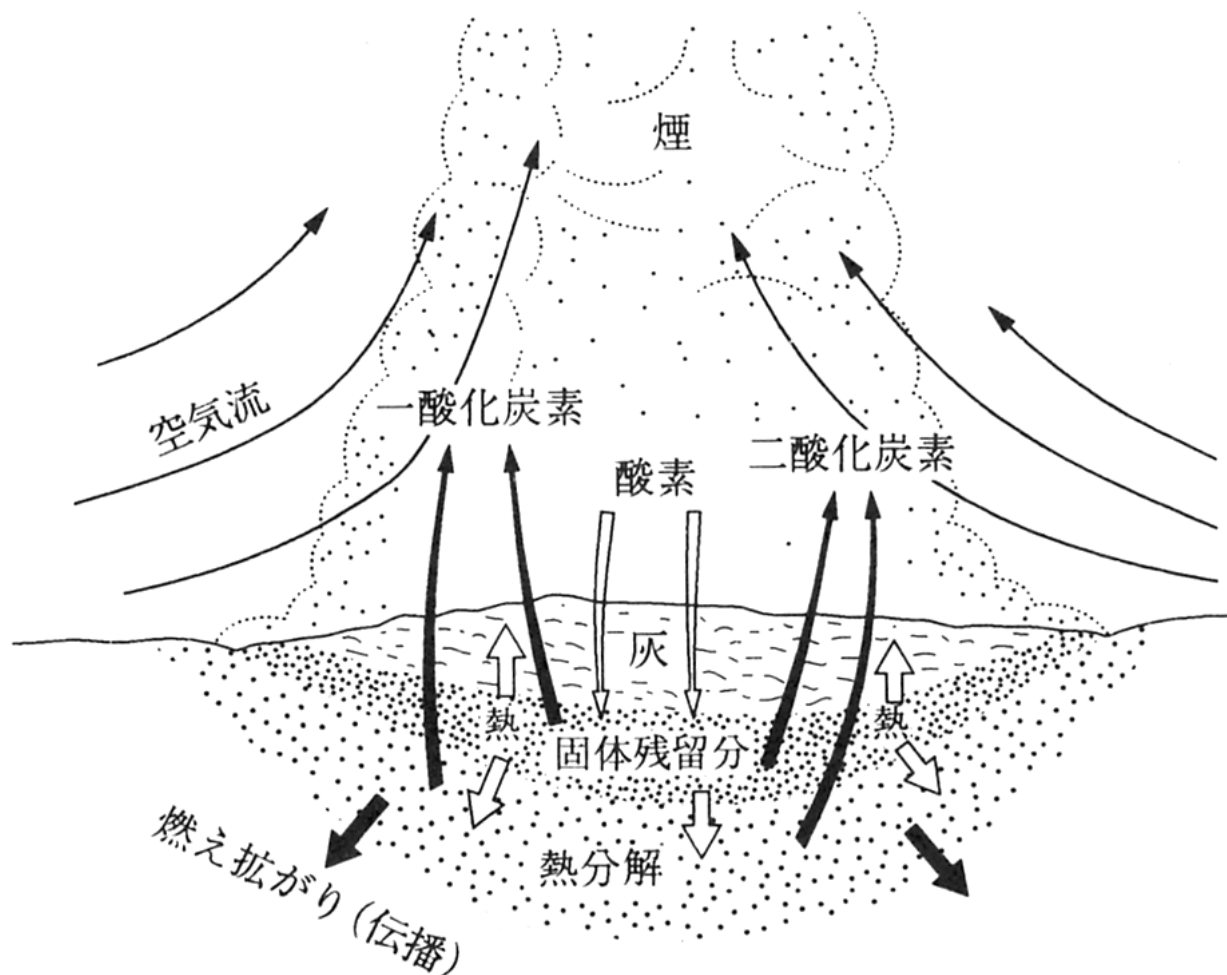
## □ 拡散燃焼

- 燃焼反応の反応帯に向かって可燃物と酸化剤が互いに反対側から拡散しながら供給される状態で燃焼



# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 表面燃焼(燻焼)



# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 表面燃焼 (燻焼)

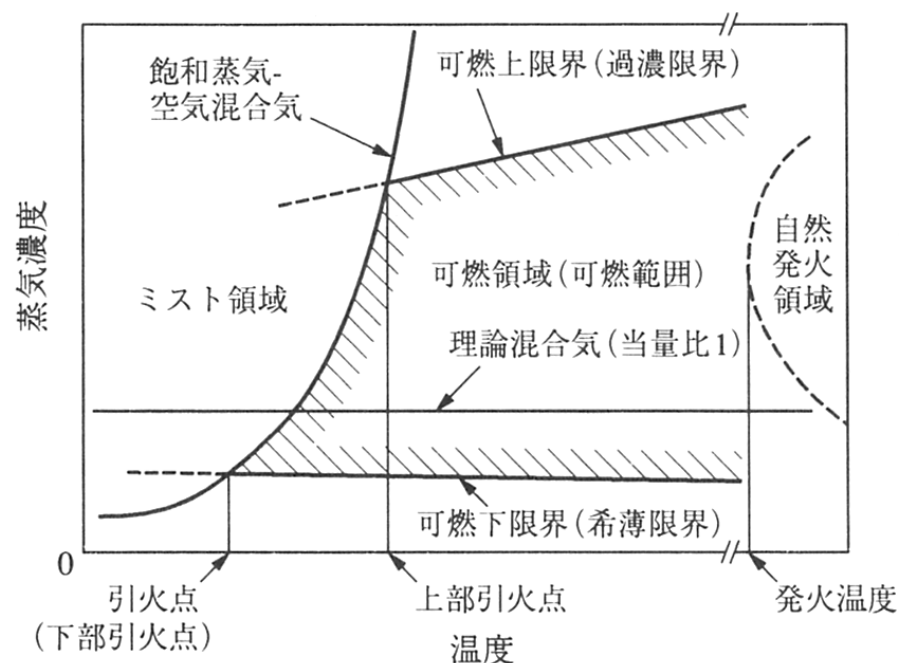
- 熱分解による炭化層の形成と炭化層・空気間の表面反応とが隣り合わせで同時に進みながら炎を出さないで燃える現象
- 可燃性の気体成分は反応せず、外部に流出 不完全燃焼
  - 粉末、多孔質体など表面積が大きく熱が逃げにくいもので発生
  - 有炎燃焼が始まるにはやや不足する加熱を受ける場合に発生
  - 酸素が不足している状態で発生
  - 可燃性気体の発生が不十分な場合に発生
- 熱分解反応: 300
  - 高沸点の気体成分(タール分) 冷却・凝縮 小粒子の白煙を発生
  - 一酸化炭素の発生
- 表面反応: 600 ~ 800
  - 一酸化炭素の発生
- 灰分(カルシウム): 表面反応の触媒作用

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 燃焼範囲

- 気体分子の衝突頻度が高い 燃焼の発生
  - 気体の適切な濃度範囲が必要
    - 濃度低い 衝突頻度減少
    - 濃度高い 運動しにくくなり衝突頻度減少

気体	燃焼可能な濃度
水素	4.1 ~ 75%
一酸化炭素	12.5 ~ 75%
メタン	5.0 ~ 15%
プロパン	2.1 ~ 9.5%
石炭ガス	5.3 ~ 32%
ガソリン	1.4 ~ 8%



# 10. 建築材料の燃焼性

---

## □ 燃焼反応による発熱

- 反応物質が生成物になるときの減少した化学エネルギーを熱として放出
- 発熱量
  - 物質が完全に燃焼したときに発生する熱量
  - 25 (初期状態)の反応物質を反応後、初期温度に戻したときに外部に取り出せる熱量
  - H<sub>2</sub>Oを含む物質の発熱量の考え方
    - 高発熱量
      - 初期温度まで冷え、すべてのH<sub>2</sub>Oが凝縮して液体状態になったときにはき出す熱量を含む発熱量
    - 低発熱量
      - H<sub>2</sub>Oは水蒸気の状態にあるとしたときの発熱量

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 発熱量

可燃物	単位質量当たりの低発熱量 (kJ/g)		
	可燃物	O <sub>2</sub>	空気
水素	119.9	15.1	3.52
炭素	32.8	12.3	2.87
ポリエチレン	43.3	12.7	2.95
ポリ塩化ビニル	16.4	12.8	2.99
木材(楓)	17.8	12.5	2.91
新聞紙	18.4	13.4	3.08

↑  
ほぼ一定



# 10. 建築材料の燃焼性

---

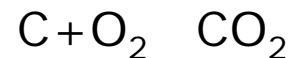
## □ 燃焼反応と発熱

### ■ 酸化反応による主な発熱成分となる元素

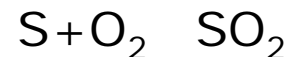
#### □ 水素



#### □ 炭素



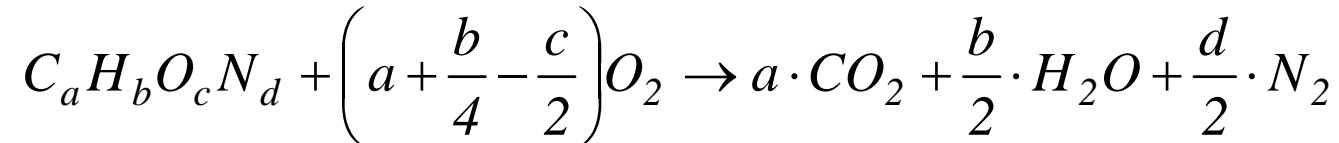
#### □ 硫黄



# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 燃焼反応と発熱

### ■ 物質の燃焼時に必要な酸素量



- a, b, c, d: 可燃物1kgに含まれるモル数

### □ 可燃物1kgの完全燃焼に必要な酸素量

- $(w_C/12 + w_H/4 - w_O/32) \times 32\text{kg}$
- $w_C, w_H, w_O, w_N$ : C, H, O, Nの質量分率

### □ 木材の平均的な元素組成(質量分率)

- $w_C=0.495, w_H=0.064, w_O=0.442$
- 必要酸素量 43mol、1.38kg
- 必要空気量 5.9kg、4.6m<sup>3</sup>(空気中の酸素の質量分率0.233)

# 10 . 建築材料の燃焼性

---

## □ 発熱量

- セルロースを主成分とする材料(木材、合板、繊維板、紙)
  - 14 ~ 19MJ/kg
- 化学繊維(ナイロン、アクリル、ポリエステル)
  - 21 ~ 29MJ/kg
- 無機質系材料(木毛セメント板、ロックウール板)
  - 2MJ/kg以下
- 火災時の燃焼特性値
  - 発熱量よりも発熱速度が重要

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 着火

### ■ 着火(発火、点火)

- 燃焼反応が開始して持続する状態に至ること
- 化学反応による発熱と周囲への放熱の釣り合いに基づく
  - 発熱 > 放熱で着火
- 着火温度
  - 常に発熱が放熱を上回る限界の周囲温度
- 熱発火理論(固体物質)
  - 受熱 内部で熱分解 自己加熱反応 蓄熱 発火
  - 発火限界条件

$$\delta \geq \delta_c$$

無限平板	:	$c=0.88$
無限円柱	:	$c=2.00$
球	:	$c=3.32$

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 着火

$$\delta = \frac{EQC_0 a^2 Z \exp(-E / RT_0)}{KRT_0^{-2}}$$

### □ 発火温度(限界の加熱温度) $T_0$ の影響因子

E: 反応の活性化エネルギーE

Z: 頻度因子Z

Q: 反応熱

K: 熱伝導率

a: 物質の大きさ(円柱・球: 半径、平板: 厚さの半分)

R: 気体定数

$C_0$ : 物質の初期濃度

### □ 反応熱が大きいものほど、熱伝導率が小さく寸法の大きいものほど

- 発火温度低下(発火しやすい)

### □ 発火温度の高くない物質でも大量の集積で自然発火の危険性あり

- 石炭、活性炭、木炭、鉄粉、砂糖、油かす、切削屑

# 10. 建築材料の燃焼性

---

## □ 引火

### ■ 引火

- 可燃性液体・可燃性固体から発生して広がった可燃性気体と空気が混合してできた可燃混合気に着火源を用いて着火すること
- 引火温度(引火点)
  - 可燃範囲の下限の混合気ができる温度

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 着火と引火

可燃性 気体・液体	着火温度( )	引火温度( )	可燃性固体	着火温度( )	引火温度( )
水素	500		ポリエチレン	430	340
一酸化炭素	609		ポリプロピレン	440	410
メタン	632		ポリ塩化ビニル	500	530
プロパン	504		ポリメチルメタクリレート	520	300
n-ブタン	403	-72	赤松	430	263
n-ヘプタン	247	-4	ケヤキ	426	264
メタノール	385	11	ツガ	455	253

# 10. 建築材料の燃焼性

---

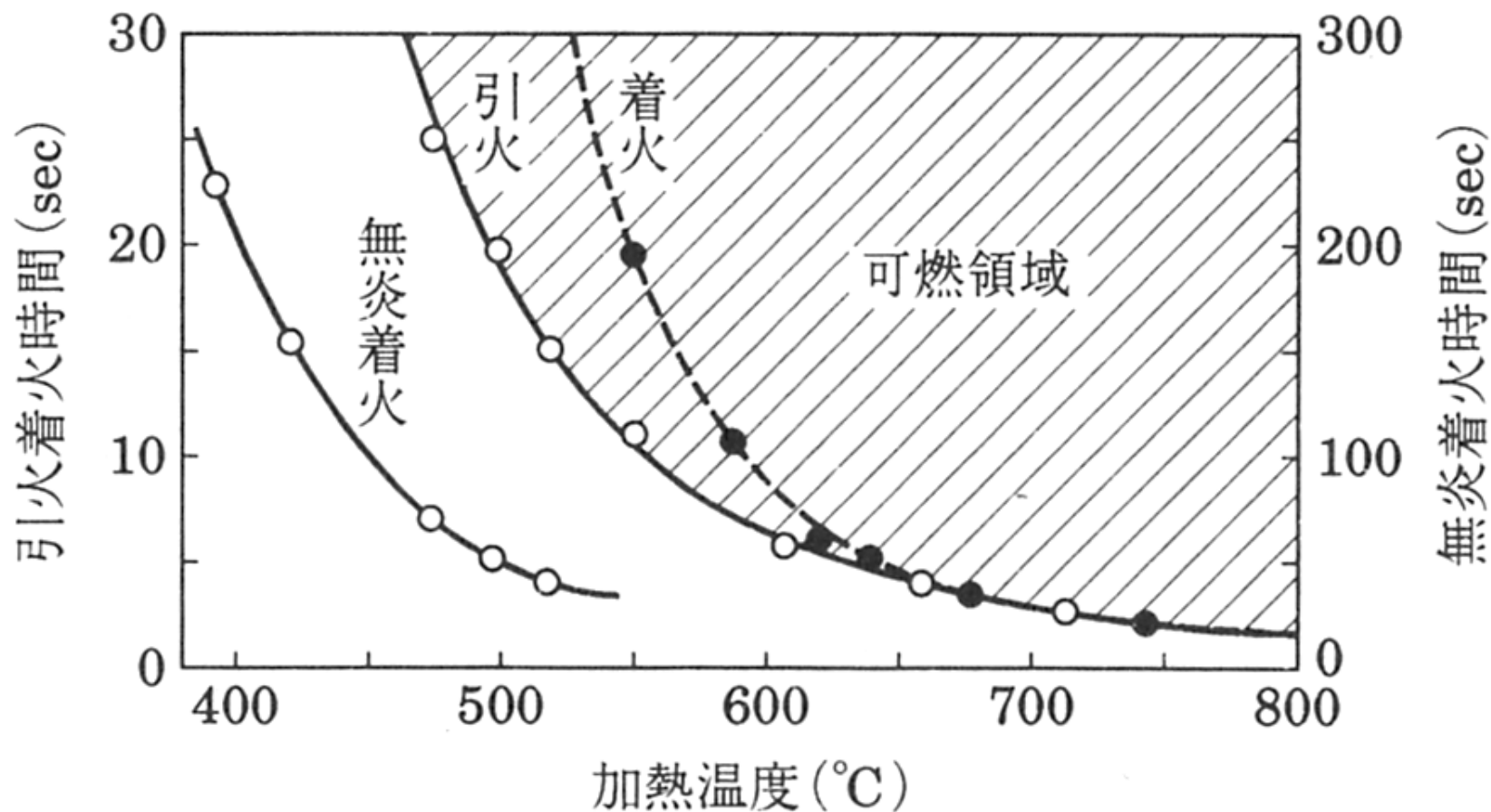
## □ 木材の燃焼

- 常温 ~ 100℃ : 乾燥
  - 水分が蒸発し乾燥状態となる。
- 100 ~ 260℃ : 分解・炭化
  - 木材が熱分解し、可燃性ガスと不燃性ガスが発生する。
  - 焦げて、褐色から黒色になり炭化する。
- 260℃ : 引火温度
  - 熱分解が急激となり、可燃性混合気が燃焼範囲となり、温度が上昇して無炎着火する。わずかな通風で、発炎する。
- 420 ~ 460℃ : 着火温度
  - 可燃性混合気はさらに加熱され、発熱速度が放熱速度より速くなり、着火する。
- 1,400 ~ 2,500℃ : 燃焼温度
  - 激しく燃焼する。



# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 木材の燃焼



# 10. 建築材料の燃焼性

---

## □ 大断面木材の燃焼

- 表面の燃焼 炭化層の形成 遮熱性あり
- 燃焼は深部まで急速に波及しない
- 炭下層の内部は低温 = 力学的性質の低下は少ない
- 一定時間、所要の耐力を保持可能
- 炭化速度 = 0.6mm / 分

# 10 . 建築材料の燃焼性

---

## □ プラスティックの燃焼

- 加熱 熱分解 溶融 昇華 可燃性気体の発生
- 熱分解時に炭素分に富む黒褐色の炭化層の形成、不燃物 灰
- 熱分解温度
  - ポリメタクリル酸メチル :170 ~ 300
  - ポリ塩化ビニル :200 ~ 300
  - ポリスチレン :300 ~ 400
  - ポリプロピレン :328 ~ 410
- ポリ塩化ビニル、ユリア樹脂
  - 分解ガス中にハロゲン・窒素を多量に含む 自己消火性
- ポリスチレン、ポリメタクリル酸エステル
  - モノマー(発火しやすく燃えやすい)に分解、黒煙(多量の炭素)

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 煙

- 火災時の不完全燃焼で生じた煤や低分子量燃焼生成ガスが縮合してできた微粒子
  - 固体(炭化水素粒子)、液滴(タール粒子)、表面を液体で覆われた固体微粒子の複合体
  - 燃焼や熱分解によるガス(CO<sub>2</sub>、CO、HCN、HCl、炭化水素ガス)も共分散している
- 煙の組成
  - 固体の煙粒子
    - 熱分解し炭化が進んだ高分子や煤の混合したもの
  - 液体の煙粒子
    - 炭化水素高分子の酸化で生じた水蒸気、それに溶け込んだ有機酸、アルデヒド、炭化水素、タールなどの凝縮体
- 煙粒子の粒径
  - 木質系材料 : 0.1 ~ 0.2 μm
  - プラスチック系材料 : 0.7 ~ 1.5 μm

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 燃焼によって生成する有毒ガス

	材料	燃焼生成ガス
天然材料	木質系材料	CO、CO <sub>2</sub>
	絹	CO、CO <sub>2</sub> 、シアン化水素、アンモニア
	羊毛	CO、CO <sub>2</sub> 、硫化水素、アンモニア、シアン化水素
	新聞紙	CO、CO <sub>2</sub>
高分子材料	塩化ビニル樹脂	CO、CO <sub>2</sub> 、塩化水素、ホスゲン
	ポリアミド樹脂(ナイロン)	CO、CO <sub>2</sub> 、硫化水素、アンモニア、シアン化水素、アルデヒド
	ポリスチレン樹脂	トルエン、ベンゼン
	メラミン樹脂	CO、シアン化水素、アンモニア

# 10. 建築材料の燃焼性

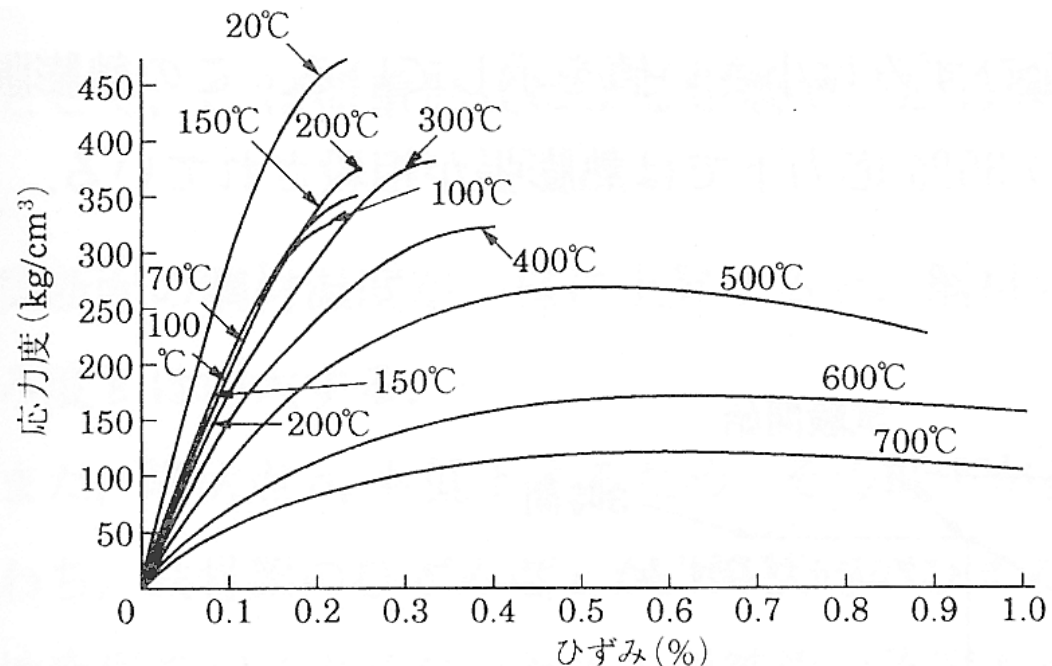
## □ 有毒ガスの中毒症状

有毒ガス	中毒症状
CO (CO-Hb飽和度)	30%以下:頭痛、皮膚・血管の拡張 30~50%:めまい・視力低下・虚脱 50~70%:昏睡・けいれん・仮死、70%以上:死亡
CO <sub>2</sub>	5%以上:中毒症状
シアン化水素	生体の酸化酵素の鉄を犯し、酸化作用を阻害し、呼吸困難
アンモニア、NO <sub>2</sub> 、 SO <sub>2</sub> 、アルデヒド	粘膜を刺激、肺機能障害
トルエン、ベンゼン	麻酔作用を呈し、皮膚・粘膜を刺激
塩素、塩化水素、ホ スゲン	眼・鼻などが発赤・充血・流涙、肺水腫を起こし呼吸困難
酸素の欠乏	15~17%:視力の低下、めまい、判断力低下 14%以下:意識の混濁、10%以下:意識の喪失

# 10. 建築材料の燃焼性

## □ コンクリートの高温性状

- 加熱(200 以上) 強度・弾性係数の低下
  - C-S-Hゲルから結晶水の放出 結合体の崩壊
  - 水酸化カルシウムの分解
  - セメントペーストの収縮 + 骨材の膨張 組織の緩み



# 10. 建築材料の燃焼性

## □ 鉄鋼の高温性状

