

○火災輻射熱

1 はじめに

火災による熱エネルギーの移動現象は、**熱伝導**、**対流**及び**輻射**の3つの形態に大別することができます。（図1参照）

まず、物質間の直接的な接触によって熱を伝達する現象として**熱伝導**が挙げられます。熱伝導は物質粒子の振動などにより隣接する粒子に熱エネルギーが移動するもので、高温の物質から低温の物質へと熱エネルギーが伝達され、物質粒子自体の移動は伴わないことが特徴です。物質中での熱の伝わりやすさを熱伝導率といい、その値は物質の種類や温度により異なりますが、一般には金属が最も大きく、ついで非金属固体、液体、気体の順に小さくなります。

これと比較して、**対流**は流体（気体や液体）の流動により温度差の異なる物質へと熱エネルギーを伝達する現象です。たとえば、火炎などにより気体が熱せられると、その気体の密度は小さくなり、浮力が発生して気体は鉛直方向に

上昇します。その後新たに流入してきた気体が連続的に熱せられると、気体の流動が発生し、気体が媒体となって火炎の熱を他の物質に伝達します。

そして、**輻射**は放射ともいい、熱エネルギーが電磁波として周囲の物質が介在することなく空間を伝播していく現象です。すべての物質は電子や原子、分子の運動によって常時電磁波を放出しています。この電磁波を熱放射線といい、幅広い波長域のものが含まれますが、多くは0.7～10 μ m程度の赤外線であり、そのエネルギーは温度の上昇とともに増大します。放出された電磁波は他の物質に到達すると反射、吸収及び透過され、吸収された電磁波は再び物質内部の運動のエネルギーとして変換され、物質の温度上昇に関与します。

これらの現象のうち、本稿では給油取扱所において考慮する火災輻射熱について解説します。

2 防火塀等に関する政令等の改正内容

近年の規制改革により、危険物施設についても技術基準の性能規定化が導入され、多様な新技術を活用した事故防止の推進等が図られました。平成18年には危険物の規制に関する政令等の一部が改正されて、給油取扱所においては防火塀等に必要とされる性能に関する基準などが明確化されました。

従来から給油取扱所の設置基準においては、「延焼のおそれのある建築物が隣接している場合には防火上安全な高さの塀又は壁を設けること」と規定されていましたが、明確な基準は定めら

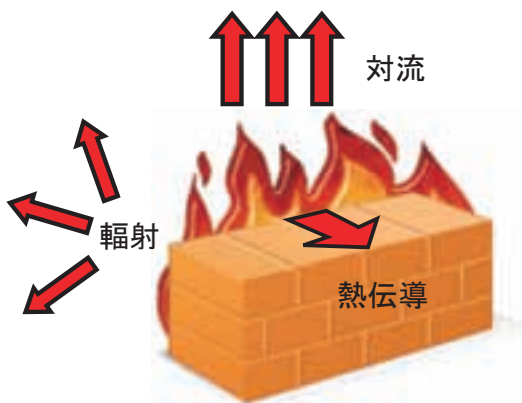


図1 熱エネルギーの移動形態のイメージ

れていませんでした。そのため、新たに危険物の規制に関する規則第25条の4の2及び危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示第4条の52に給油取扱所の塀又は壁に関する詳細な基準が盛り込まれることになりました。

その内容としては、給油取扱所に隣接し、又は近接して存する建築物（耐火構造、準耐火構造又は防火構造のものを除きます。）の外壁及び軒裏の表面が、火災発生時に一定の受熱許容範囲内に収まるように設備の距離や防火塀の高さ等についての評価を行うというものです。

(図2参照)

具体的には、施設内の設備で危険物が漏えいした場合に流出量が多く、比較的火災発生の危険性が高いと考えられる以下の3箇所からの火災発生を想定して、その安全性について検証します。

- ① 固定給油設備から自動車等の燃料タンクに給油中に漏えいした危険物が燃焼する火災
- ② 固定注油設備から容器又は車両に固定されたタンクに注油中に漏えいした危険物が燃焼した火災
- ③ 専用タンクに危険物を注入中に漏えいした危険物が燃焼する火災

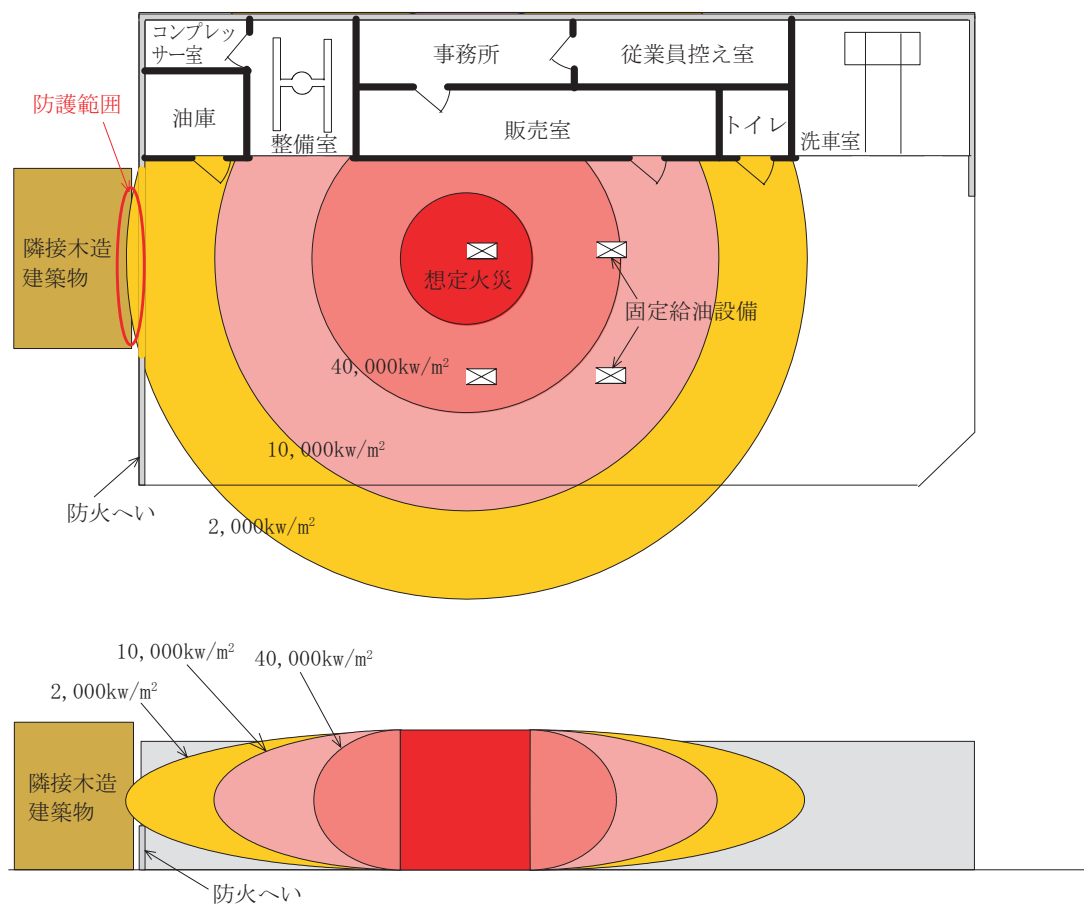


図2 給油中の火災時の火災輻射熱の発生状況例

3 火災輻射熱の計算

前述の各想定について、表1に示すように危険物の流出量や火災の規模、燃焼継続時間の条件を想定して、隣接する建築物等に対する火災輻射熱を計算します。今回は一例として、表1に示す①給油中の火災における火災輻射熱の影響についての評価を行います。

(1) 危険物の流出面積の計算

給油取扱所において車両にガソリン（吐出量50 l/min）を給油中に、車両給油口から給油空地の舗装面にガソリンが漏えいして火災が発生した状況を想定します。

漏えいしたガソリンについては、計算を簡略化するために、給油口を中心に半径rの円形に液体が流出したものと置き換えて考えます。

なお、計算にあたっては、総務省消防庁特殊災害室「石油コンビナートの防災アセスメント

指針」において災害現象解析モデル例として示す「液面火災モデル」の計算式を使用します。

はじめに火災の大きさを決定するために、ガソリンの吐出量と表2の可燃性液体の燃焼速度を参考にして、次の流出火災の計算式(a)により、想定火災の底面における円の半径rを求めます。

$$S = \frac{q_L}{V_B} \dots\dots\dots(a)$$

$$\left[\begin{array}{l} S : \text{火災面積 (m}^2\text{)} \\ q_L : \text{液体の流出率 (m}^3\text{/s)} \\ V_B : \text{液体の燃焼速度 (m/s)} \end{array} \right]$$

この場合、

$$S = \pi r^2 = \frac{0.05(\text{m}^3)/60(\text{s})}{0.80 \times 10^{-4} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)} \quad \text{より}$$

$$r \approx 1.8(\text{m}) \quad \text{となります。}$$

表1 各火災における火災等の設定条件

火災想定	火災の範囲	危険物の流出量	燃焼継続時間
①給油中の火災	車両給油口の直下を中心とした円	固定給油設備の最大吐出量	10分間
②注油中の火災	詰め替える容器を中心とした円	固定注油設備の最大吐出量	10分間
	注入する移動貯蔵タンク等停止場所の中央を中心とした円		
③荷卸し中の火災	移動タンク貯蔵所の荷卸しに使用する反対側の吐出口を外周とした円	一のタンク室からの荷卸し速度	タンク室の荷卸しに要する時間

表2 主な可燃性液体の燃焼速度 (m/s)

可燃性液体	燃焼速度	可燃性液体	燃焼速度
カフジ原油	0.52×10^{-4}	メタノール	0.28×10^{-4}
ガソリン・ナフサ	0.80×10^{-4}	エタノール	0.33×10^{-4}
灯油	0.78×10^{-4}	LNG (メタン)	1.7×10^{-4}
軽油	0.55×10^{-4}	エチレン	2.1×10^{-4}
重油	0.28×10^{-4}	プロパン	1.4×10^{-4}
ベンゼン	1.0×10^{-4}	プロピレン	1.3×10^{-4}
n-ヘキサン	1.2×10^{-4}	n-ブタン	1.5×10^{-4}

(2) 想定火災の輻射熱強度

輻射熱の強度についてはステファン=ボルツマンの法則により次の式(b)で与えられ、その大きさは火災温度の4乗に比例します。

$$E = \phi \varepsilon \sigma T^4 \dots\dots\dots(b)$$

E : 輻射熱強度 (W/m²)
 ϕ : 形態係数
 ε : 放射率
 σ : ステファン=ボルツマン定数
 (= 5.67 × 10⁻⁸ W/m²K⁴)
 T : 絶対温度 (K)

ここで、火災発生時の火災の放射率と火災温度については変化がなく一定であるとみなし、定数部を輻射発散度R_fとして定義すると、輻射熱の強度は次の式(c)のとおり形態係数ϕと表3の可燃性液体の輻射発散度の積により表すことができます。

$$E = \phi R_f \dots\dots\dots(c)$$

R_f : 輻射発散度 (= ε σ T⁴ 定数 : W/m²)

(3) 形態係数の決定と輻射熱強度の計算

次に前述の式(a)で求めたrを底面の半径とし

た円筒形の火災が火災により発生したものととして、火災輻射熱の強度を計算します。火災の高さについては過去の文献などから、円の半径rの3倍の高さの円筒形の火災として輻射熱の強度を考えます。

形態係数ϕは0.0~1.0の無次元数であり、円筒形火災の中心線から水平距離Lの位置にある受熱面に対する、火災中心線上端及び下端とのなす角の関係により与えられます。(図3参照)

円筒形火災の高さをH、火災底面の半径をr、火災中心線から隣接する建築物等の表面(受熱面)までの水平距離をLとして、次の式(d)により形態係数ϕを求め、さらに前述の式(c)により火災輻射熱の強度を計算します。

なお、防火塀等により受熱面への火災輻射熱が一部遮蔽される場合については、受熱面と火災中心線下端とを結ぶ直線を防火塀頂部と接する位置まで移動させた大きさの角度とみなすことにより係数の補正を行います。

また、火災底面の半径が5mを超えるような大きな火災となる場合については、空気の供給不足により大量の黒煙が発生し輻射熱の発散度が低減することも考慮に入れる必要があります。

表3 主な可燃性液体の輻射発散度 (kW/m²)

可燃性液体	輻射発散度	可燃性液体	輻射発散度
カフジ原油	41	メタノール	9.8
ガソリン・ナフサ	58	エタノール	12
灯油	50	LNG (メタン)	76
軽油	42	エチレン	134
重油	23	プロパン	74
ベンゼン	62	プロピレン	73
n-ヘキサン	85	n-ブタン	83

$$\phi = \frac{1}{\pi n} \tan^{-1} \left(\frac{m}{\sqrt{n^2-1}} \right) + \frac{m}{\pi} \left[\frac{(A-2n)}{n\sqrt{AB}} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{A(n-1)}{B(n+1)}} \right) - \frac{1}{n} \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{(n-1)}{(n+1)}} \right) \right] \dots\dots\dots(d)$$

(ただし、 $A = (1+n)^2 + m^2$ $B = (1-n)^2 + m^2$ $m = H/r$ $n = L/r$)

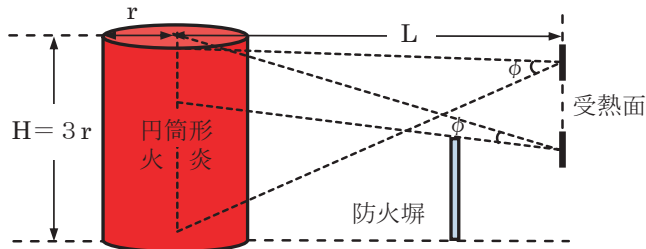


図3 円筒形火炎と受熱面の輻射熱強度との関係

ここでは、円筒形火炎の高さHを5.4m、火炎底面の半径rを1.8m、火炎中心線から受熱面までの水平距離Lを6.0m、受熱面の高さを3.0mとして形態係数φを計算すると、式(d)によりφ≒0.187となることから、これを式(c)に代入して火災輻射熱強度は、E≒10.8 (kW/m²) となります。

なお、実際の形態係数の計算にあたっては、防火壁の影響などを考慮に入れた、より複雑な計算条件が必要となる場合があるため、一般財団法人消防科学総合センター作成による輻射熱計算ソフトなどのプログラムを活用して数値を算出することが効率的であると考えられます。

(4) 建築物の受熱許容基準との比較

想定する火災の輻射熱が満たすべき値については、危険物の規制に関する規則第25条の4の2第2号に示すとおり、次の式(e)により与えられます。

$$\int_0^{t_e} q^2 dt \leq 2,000 \dots\dots\dots(e)$$

t_e : 燃焼時間 (min)
 q : 輻射熱 (kW/m²)
 t : 燃焼開始からの経過時間 (min)

ここでは、輻射熱は一定(定数)で、燃焼継続時間を10分として計算すると、

$$\int_0^{10} q^2 dt = q^2 [t]_0^{10} = 10q^2 \leq 2,000 \quad \text{より、}$$

$$q \leq 14.1 \text{ (kW/m}^2\text{)} \text{ となり、}$$

これを(c)式から求めた数値と比較すると、 $E \leq q$ であり、本想定における火災輻射熱は規定の基準値を満たしていると考えられます。

なお、計算の結果、 $E > q$ となり、この基準を満たすことができないときには、防火壁の高さを高くするなどの措置を講じることにより、受熱面における火災輻射熱の軽減を図る必要があります。

参考資料

- (1) 平成18年1月25日付け消防危第33号
危険物の規制に関する政令の一部を改正する政令の公布について
- (2) 平成18年3月17日付け消防危第85号
危険物の規制に関する政令の一部を改正する省令等の公布について
- (3) 平成18年5月10日付け消防危第113号
給油取扱所の技術上の基準に係る運用上の指針について
- (4) 平成18年9月19日付け消防危第191号
危険物事務に関する執務資料の送付について