

石油コンビナートの防災アセスメント指針

【平13.3.19 消防特第40号】

1 石油コンビナートの防災アセスメント指針 (以下抜粋)

参考資料2 災害現象解析モデルの一例

4. 火災・爆発モデル

(1) 液面火災

ア. 火災の放射熱

火災から任意の相対位置にある面が受ける放射熱は次式で与えられる。

$$E = \phi \epsilon \sigma T^4 \quad \text{----- (式 A2.13)}$$

ただし、

E : 放射熱強度(J/m²s)

T : 火炎温度(K)

σ : ステファン・ボルツマン定数(5.6703×10⁻⁸J/m²sK⁴)

ε : 放射率

φ : 形態係数(0.0~1.0の無次元数)

実用上は、燃焼液体が同じであれば火炎温度と放射率は変わらないと仮定し、 $R_f = \epsilon \sigma T^4$ (J/m²s)とおいて次式で計算される。

$$E = \phi R_f \quad \text{----- (式 A2.14)}$$

ここで R_f は放射発散度と呼ばれ、主な可燃性液体については表 A2.3 に示すような値をとる。なお、放射熱の単位は慣習的に kcal/m²h が用いられることが多いため、以下では両方の単位を併せて示す。

表 A2.3 主な可燃性液体の放射発散度(参考文献 7)

| 可燃性液体 | 放射発散度 | 可燃性液体 | 放射発散度 |
|----------|--|----------|--|
| カフジ原油 | 41×10 ³ (35×10 ³) | メタノール | 9.8×10 ³ (8.4×10 ³) |
| ガソリン・ナフサ | 58×10 ³ (50×10 ³) | エタノール | 12×10 ³ (10×10 ³) |
| 灯油 | 50×10 ³ (43×10 ³) | LNG(タンク) | 76×10 ³ (65×10 ³) |
| 軽油 | 42×10 ³ (36×10 ³) | エチレン | 134×10 ³ (115×10 ³) |
| 重油 | 23×10 ³ (20×10 ³) | プロパン | 74×10 ³ (64×10 ³) |
| ベンゼン | 62×10 ³ (53×10 ³) | プロピレン | 73×10 ³ (53×10 ³) |
| n-ヘキサン | 85×10 ³ (73×10 ³) | n-ブタン | 83×10 ³ (71×10 ³) |

(単位は J/m²s、括弧内は kcal/m²h)

イ. 形態係数

① 円筒形火炎の形態係数

円筒形の火炎を想定し、図A2.2に示すように受熱面が火炎底面と同じ高さにある受熱面を考えたとき、形態係数は次式により与えられる。また、受熱面が火炎底面と異なる高さにある場合の形態係数は図A2.3による。

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

(式 A2.15)

$$A = (1 + n)^2 + m^2$$

$$B = (1 - n)^2 + m^2$$

$$m = H/R$$

$$n = L/R$$

ただし、

H：火炎高さ

R：火炎底面半径

L：火炎底面の中心から受熱面までの距離

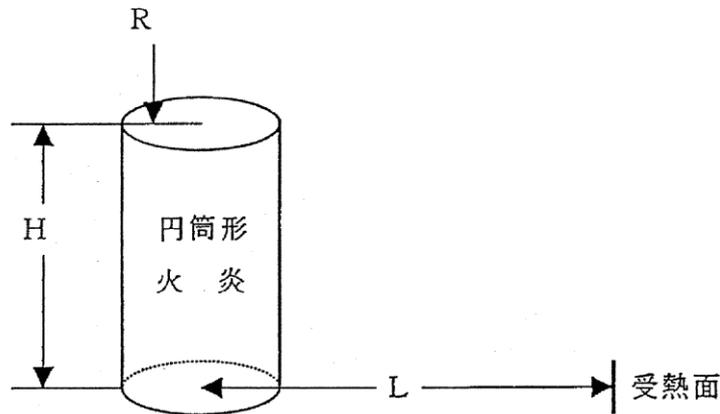


図 A2.2 円筒形火炎と受熱面の位置関係

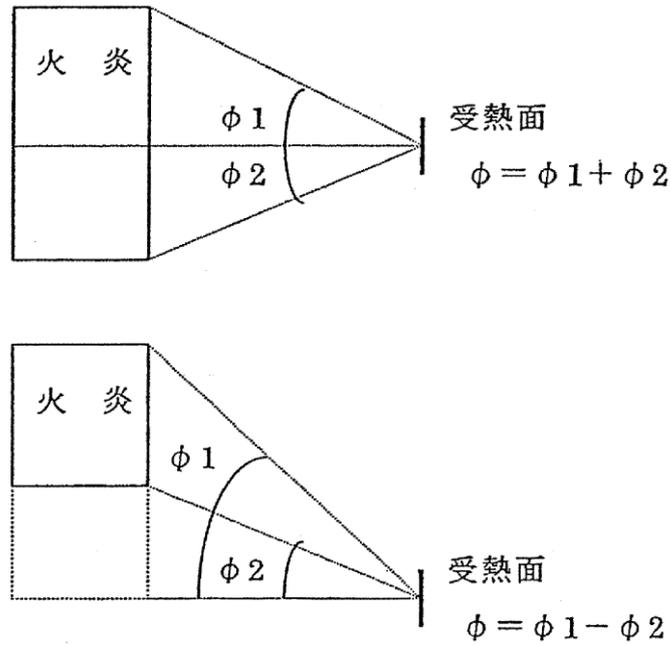


図 A2.3 受熱面の高さによる形態係数の計算例

② 直方体火炎の形態係数

直方体の火炎を想定したときの形態係数は、図 A 2. 4 に示すような受熱面の位置に対して次式により与えられる。

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{X}{\sqrt{X^2 + 1}} \tan^{-1} \left(\frac{Y}{\sqrt{X^2 + 1}} \right) + \frac{Y}{\sqrt{Y^2 + 1}} \tan^{-1} \left(\frac{X}{\sqrt{Y^2 + 1}} \right) \right] \quad \text{----- (式 A2.16)}$$

$$X = H/L$$

$$Y = W/L$$

ただし、

H：火炎高さ

W：火炎前面幅

L：火炎前面から受熱面までの距離

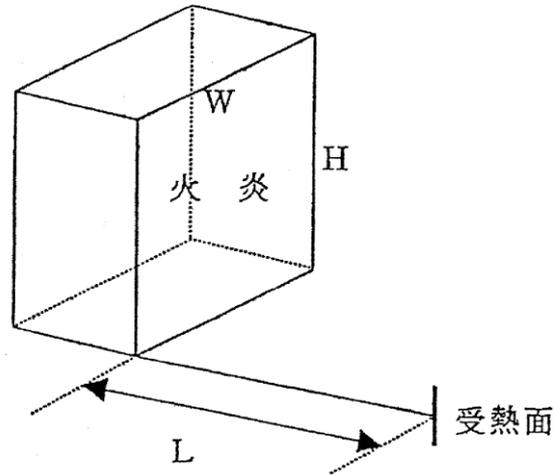


図 A2.4 直方体火炎と受熱面の位置関係

ウ. 火炎の想定

液面火災による放射熱を計算するためには火炎の形状を決める必要があり、一般に次のような想定がよく用いられる。

①流出火災

$$S = \frac{q_L}{V_B} \quad \text{----- (式 A2.17)}$$

ただし、

S : 火災面積(m²)

q_L : 液体の流出率(m³/s)

V_B : 液体の燃焼速度(液面降下速度, m/s)

燃焼速度は、可燃性液体によって固有の値をとり、主な液体については表 A 2. 5 に示すとおりである。

流出火災については、式 A 2. 1 7 で得られる火災面積と同面積の底面をもち、高さが底面半径の 3 倍 (m = H / R = 3) の円筒形火炎を想定して放射熱の計算を行う。

表 A2.4 主な可燃性液体の燃焼速度(参考文献 7)

| 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} |

(液面降下速度, m/s)

② タンク火災

可燃性液体を貯蔵した円筒形タンクの屋根全面で火災になった場合には、タンク屋根と同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍 ($m = H/R = 3$) の円筒形火災を想定して放射熱の計算を行う。

③ ダイク火災

可燃性液体が流出し防油堤や仕切堤などの囲いの全面で火災となった場合、囲いが正方形に近い形状のときには、囲いと同面積の底面をもち、高さが底面半径の3倍 ($m = H/R = 3$) の円筒形火災を想定する。また、囲いが扁平な長方形の場合には、直方体の火災を想定して放射熱を計算する。そのとき、火炎の高さは火災前面幅の1.5倍とする。

エ. 火炎の規模による放射発散度の低減

液面火災では、火災面積(円筒底面)の直径が10メートルを超えると、空気供給の不足により大量の黒煙が発生し放射発散度が低減する。したがって、このことを考慮せずに上記の手法で放射熱を計算すると、火災規模が大きいときにはかなりの過大評価となる。

実験により得られた火炎直径が10メートルになると放射発散度の低減率は約0.6、20メートルで約0.4、30メートルで約0.3となることがわかる。ただし、火炎直径が大きいものについては実験データがないため、低減率は0.3を下限とする。

なお、LNGについては、火炎直径が20メートルになっても放射発散度の低減はみられないという実験結果が得られている。

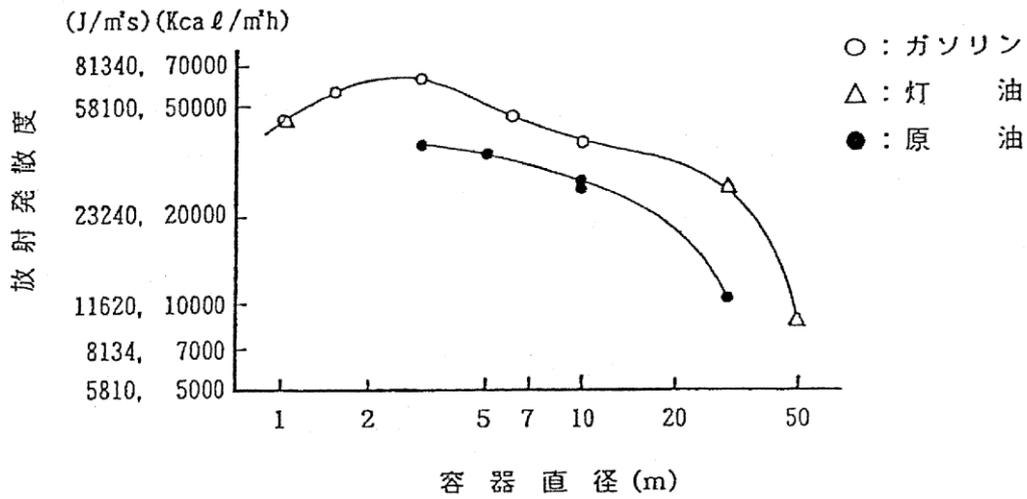


図 A2.5 火炎直径と放射発散度との関係(参考文献 8)

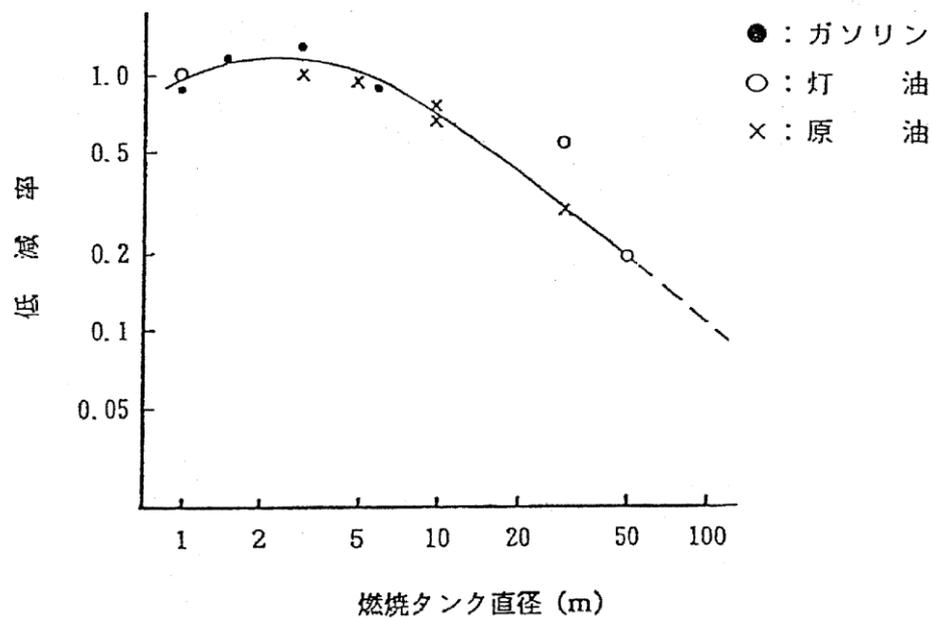


図 A2.6 火炎直径と放射発散度の低減率との関係(参考文献 9)

第1-5 石油コンビナートの防災アセスメント指針

2 「石油コンビナートの防災アセスメント指針」を用いて算出する場合の確認方法

(1) 確認方法等

ア 必要となる数値を算出し、第1-5-1表の例により記載したものを、設置（変更）許可申請書に添付し、消防機関において計算ソフトにより確認するものとする。

確認の結果、許容される輻射熱の値を満たさない場合は、防火塀の高さを高くする等の措置が必要となる。

イ 平面図に火災発生箇所（後記（2）における各想定箇所）を示すとともに、発生箇所を中心とした火災直径を円で描くこと。

(2) 火災想定等は、以下のとおりと定める。【平18.9.19 消防危第191号】

ア 固定給油設備における火災想定（危告示第4条の52第1項第1号）

ガソリンにより、車両給油口の直下を中心とした円を火災の範囲とする。また、火災開始から輻射熱が一定であると仮定し、燃焼時間は10分、漏えい流量は50L/分とする。

イ 固定注油設備における火災想定（危告示第4条の52第1項第2号・同第68条の2第1項第1号）

灯油により、詰め替える容器を置く場所又は注入する移動貯蔵タンク等の駐車場所の中央を中心とした円を火災の範囲とする。また、火災開始から輻射熱が一定であると仮定し、燃焼時間は10分、漏えい流量は180L/分とする。

ウ 注入口における火災想定（危告示第4条の52第1項第3号・同第68条の2第1項第2号）

ガソリン（詰め替えの一般取扱所については灯油）により、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を火災の範囲とする。また、火災開始から輻射熱が一定であると仮定し、燃焼時間は10分、漏えい流量は400L/分とする。

(3) 必要となる数値の算定基礎（隣接する建築物が木造建築物である場合）

前記（2）ア、固定給油設備における火災想定の場合（第1-5-1図参照）

ア 火災面積（㎡）

以下の計算式により火災面積を求める。

$$S = \frac{qL}{V_B}$$

S : 火災面積（㎡）

qL : 液体の流出率（㎡/s）

ガソリンの最大吐出量 50L/分（=0.05㎡/60s）を代入する。

V : 液体の燃焼速度（液面降下速度、m/s）

下表により求める。ガソリンであるので、 0.80×10^{-4} （=0.00008m/s）を代入する。これにより、火災面積Sは10.4㎡となる。

第1-5 石油コンビナートの防災アセスメント指針

| 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} |

(液面降下速度, m/s)

イ 火災(火炎)直径(m)

火災面積から以下により火災直径を求める。

$$S = \pi r^2$$

これにより火災直径は2rとなることから、3.6mとなる。

ウ 火災高さ(m)

火災直径から以下により火災高さを求める。

$$\text{火災直径} \times 1.5$$

これにより火災高さは5.4mとなる。

エ 放射発散度(Kw/m²)

下表により放射発散度を求める。

本例の場合はガソリンであるので58Kw/m²となる。

| 可燃性液体 | 放射発散度 | 可燃性液体 | 放射発散度 |
|----------|---------------------------------------|----------|---|
| カフジ原油 | 41×10^3 (35×10^3) | メタノール | 9.8×10^3 (8.4×10^3) |
| ガソリン・ナフサ | 58×10^3 (50×10^3) | エタノール | 12×10^3 (10×10^3) |
| 灯油 | 50×10^3 (43×10^3) | LNG(メタン) | 76×10^3 (65×10^3) |
| 軽油 | 42×10^3 (36×10^3) | エチレン | 134×10^3 (115×10^3) |
| 重油 | 23×10^3 (20×10^3) | プロパン | 74×10^3 (64×10^3) |
| ベンゼン | 62×10^3 (53×10^3) | プロピレン | 73×10^3 (53×10^3) |
| n-ヘキサン | 85×10^3 (73×10^3) | n-ブタン | 83×10^3 (71×10^3) |

(単位は J/m²s、括弧内は kcal/m²h)

オ 防火塀位置(m)

前記(2)アにより車両給油口直下が火炎の中心となるので、この中心から1.8メートルの位置が火炎の外側となる。この火炎の外側から防火塀中心までの最短水平距離を実際の図面で確認し、算出しておく。

カ 建築物距離(m)

防火塀中心から当該建築物までの最短水平距離を図面から算出しておく。

キ 許容される輻射熱の値

燃焼時間が一定であると仮定することから、告示第4条の52第3項の式は以下となる。

$$\int_0^{t_e} q^2 dt \leq 2,000 \quad (\text{告示第4条の52第3項})$$

t_e : 燃焼時間(分)

q : 輻射熱(kw/m²)

t : 燃焼開始時間からの燃焼時間(分)

第1-5 石油コンビナートの防災アセスメント指針

この式の q を一定とすると、 $q^2te \leq 2,000$ となり、ここに燃焼時間10分を代入すると、許容される輻射熱は 14.14 kw/m^2 となる。

※ 上記計算を、固定給油設備における火災想定及び注入口における火災想定について行うと、第1-5-1表に示す数値に整理される。（輻射熱が一定であるとの想定により網掛け部分以外は変動しない）

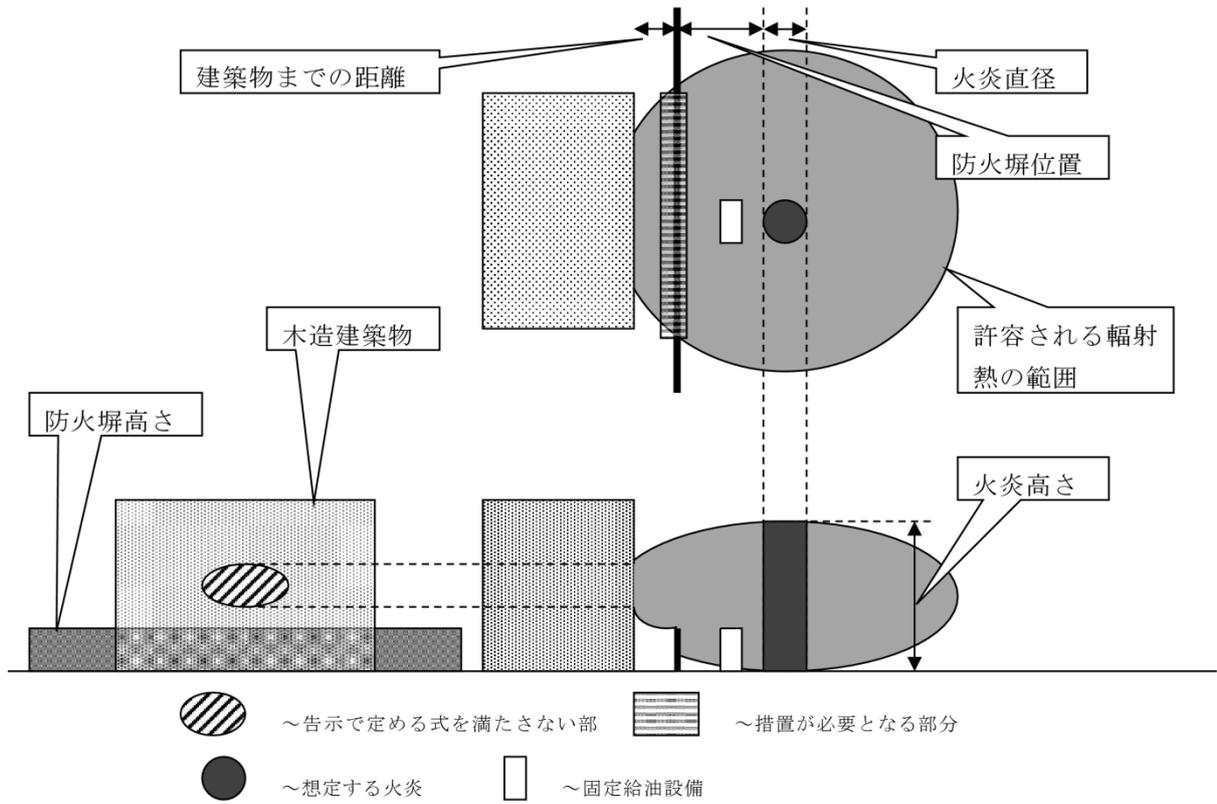
＜輻射熱の検討＞

| 火災の種類 | 給油中の火災 | 注油中の火災 | 荷卸し中の火災 | 荷卸し中の火災 |
|----------------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 火災の範囲 | 車両給油口の直下を中心とした円 | 詰め替える容器を置く場所又は移動貯蔵タンク等の停車場の中央を中心とした円 | 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 | 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 |
| 想定油種 | ガソリン | 灯油 | ガソリン | 灯油 |
| 漏えい流量 (L/min) | 50 | 180 | 400 | 400 |
| 燃焼時間 (分) | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 火災面積 (m ²) | 10.4 | 38.5 | 83.3 | 85.4 |
| 火災直径 (m) | 3.6 | 7.0 | 10.3 | 10.4 |
| 火炎高さ (m) | 5.4 | 10.5 | 15.5 | 15.6 |
| 放射発散度 (kw/m ²) | 58 | 50 | 58 | 50 |
| 防火塀位置 (m) | 実際の距離を記載 | 実際の距離を記載 | 実際の距離を記載 | 実際の距離を記載 |
| 建築物距離 (m) | 実際の距離を記載 | 実際の距離を記載 | 実際の距離を記載 | 実際の距離を記載 |
| 許容熱量 (kw/m ²) | 14.1 | 14.1 | 14.1 | 14.1 |

※1 少数点第2位を四捨五入 ※2 火災発生箇所及び火災直径については平面図参照

第1-5-1表 輻射熱の検討

第1-5 石油コンビナートの防災アセスメント指針



第1-5-1図 火災想定イメージ