

給油取扱所の危険要因が液化水素ポンプに及ぼす影響
(輻射熱計算)

給油取扱所の危険要因が固有設備に及ぼす影響の検討

(高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について(内規)「22. 障壁」)では、障壁の高さについては2m以上とされており、給油取扱所からの出火による火炎又は輻射熱が、固有設備にどの程度の影響を及ぼすか検討する。

液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドを設置する
圧縮水素充填設備設置給油取扱所イメージ図

【前提条件】

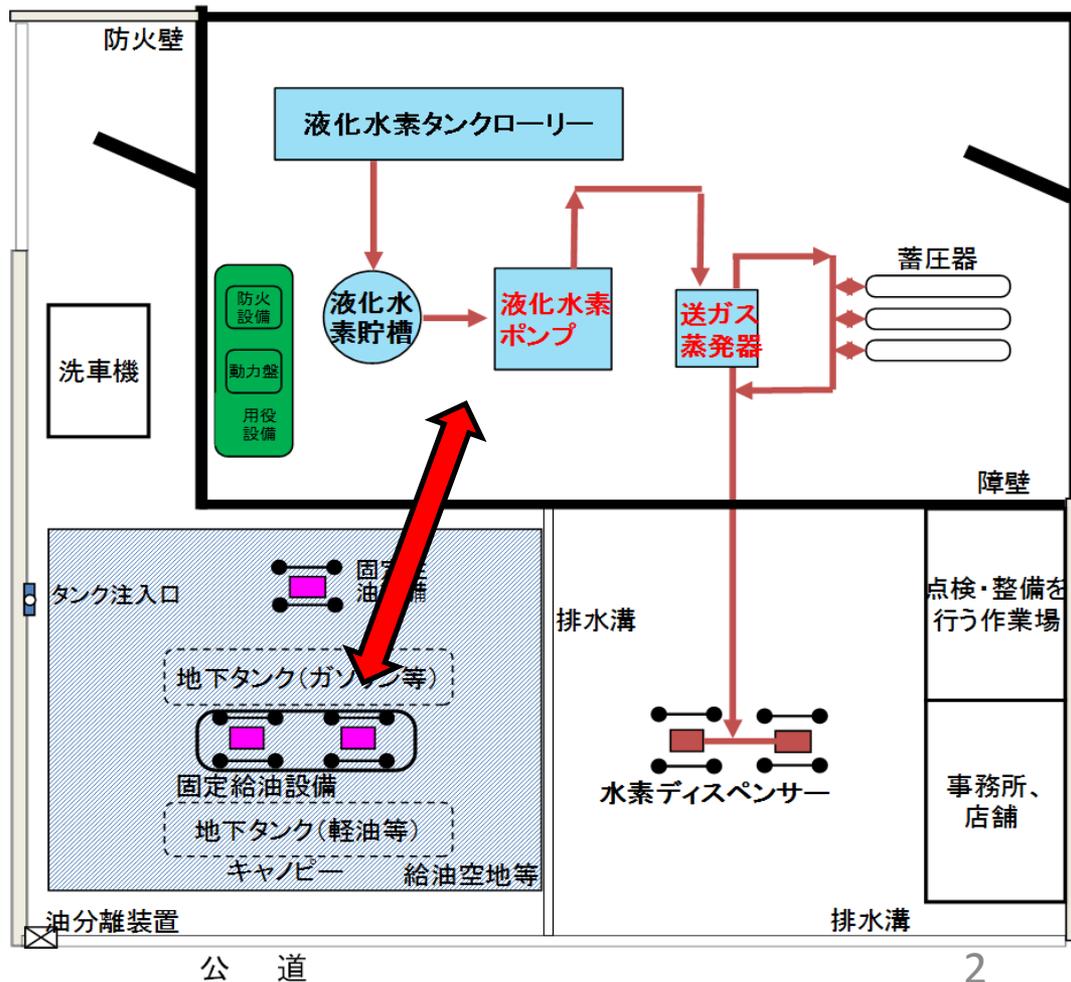
○障壁

高圧ガス保安法令において最低2mの障壁を設けることとされていることから、本検討での障壁の高さの設定は2mとする。

○検討する固有設備

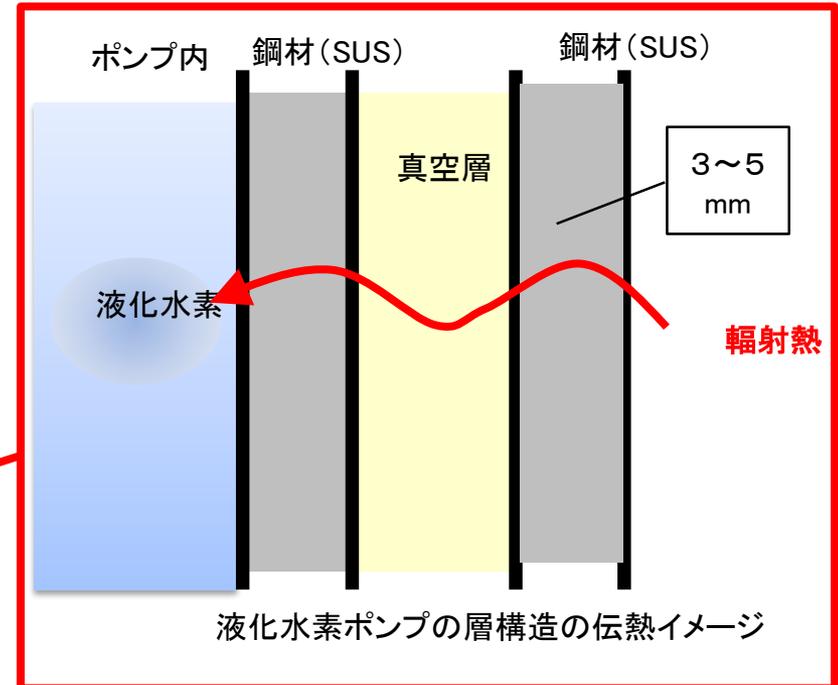
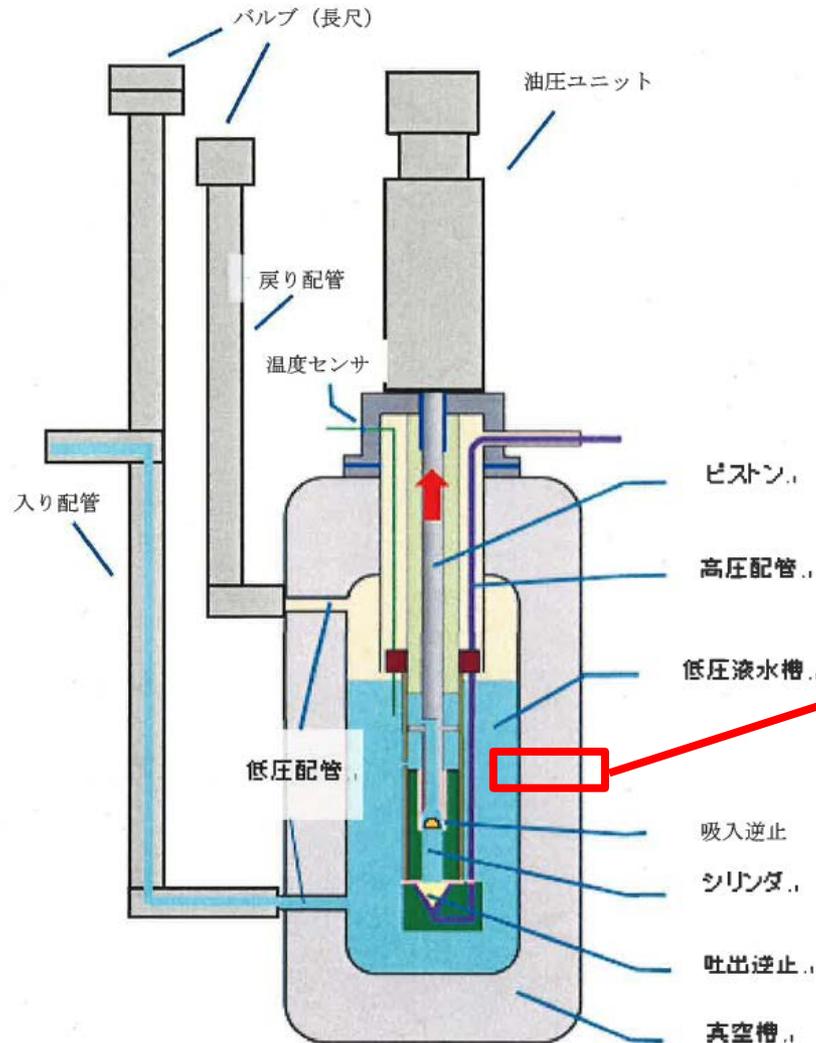
固有設備は液化水素ポンプ及び高圧の蒸発器であるが、高圧の蒸発器については従前から存在している低圧の蒸発器と材質の違いはあるものの、それ以外の仕様は同じであり、これらの蒸発器が受ける火炎又は輻射熱の影響については大差ないと考えられるため、液化水素ポンプに限って、火炎又は輻射熱の影響について検討を行うものとする。

※ 高圧の蒸発器が仮に輻射熱の影響を受けた際のフローについては資料2-1-2参照。



液化水素ポンプの構造

液化水素ポンプは、層構造となっており、輻射熱の伝熱イメージは下図のとおりである。



液化水素ポンプの温度上昇計算モデル

給油設備からの漏洩火災を想定し、①ガソリンによる輻射熱からの受熱量と②液化水素ポンプの外層鋼材の温度上昇に要する熱量を考慮し計算を行う。

なお、計算にあたっては、下記の仮定を置く。

(仮定)

- 全ての熱量が液化水素ポンプの外層鋼材の温度上昇に寄与するとし、温度の基準点は外層鋼材の内側とする。
- 鋼材は伝熱性能が良く、一般的に液化水素ポンプの外層鋼材では3～5mmと薄いものを使用されるため、鋼材内で温度分布は発生せず一律に温度上昇する。

①ガソリンによる輻射熱からの受熱量

②液化水素ポンプの温度上昇に要する熱量

$$Q = mc(T - T_0)$$
$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(t - t_0)}$$

Q: 熱量 [J]

m: 鋼板の重量 [kg]

c: 比熱 [J/kg K]

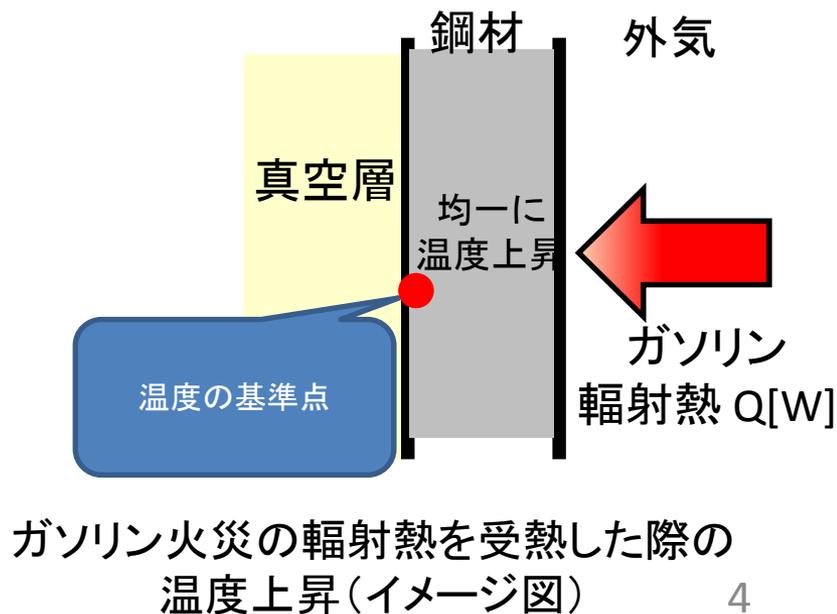
T: 温度 [K]

q: 輻射熱 [W/m²]

P: 密度 [kg/m³]

x: 鋼板の板厚 [m]

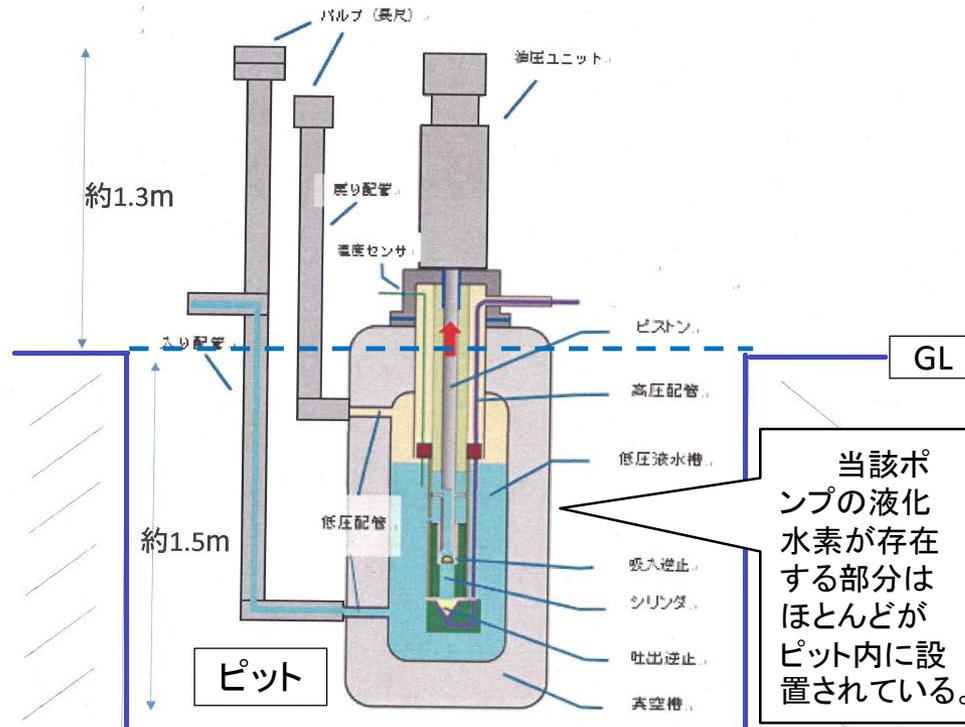
t: 時間 [s]



液化水素ポンプの想定

「伊ワタニ水素ステーション 東京有明」の液化水素ポンプの設置方法は下図のとおりであり、他に水素ステーションにおける液化水素ポンプの設置事例がないことから、当該施設をモデルに検討を行うこととする。

液化水素ポンプの構造(参考図)



※ 実際は建屋内に設置されているが、計算上、屋外に設置されていることとする。

液化水素ポンプの温度上昇に係る計算

1 ガソリンによる輻射熱からの受熱量

ガソリンによる輻射熱からの受熱量については、「石油コンビナートの防災アセスメント指針」(消防庁特殊災害室)により計算することとする。

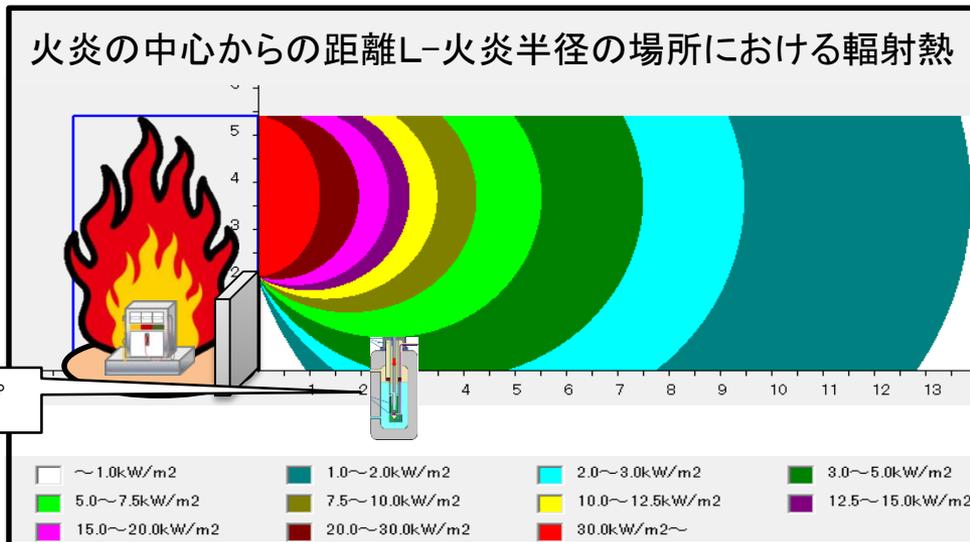
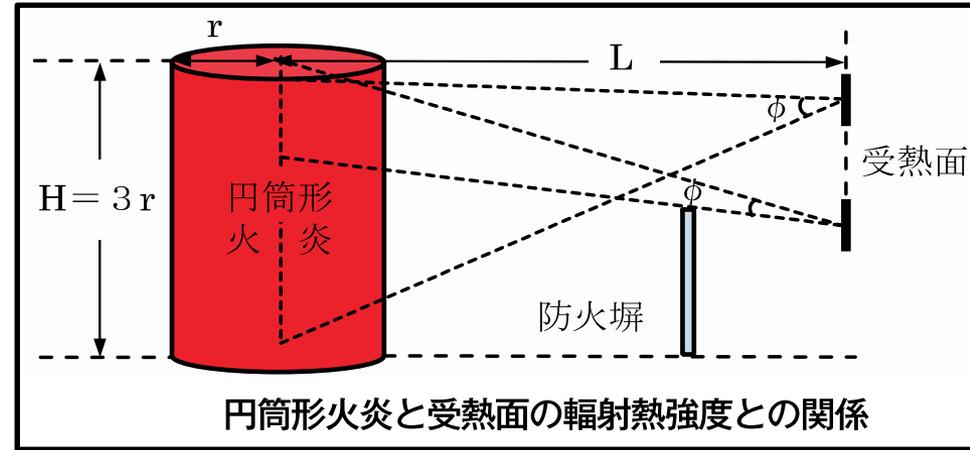
【火災規模の計算】

液体の流出率をガソリンの給油設備の最大吐出量 50L/min、 $q_L=5/6000\text{m}^3/\text{s}$
ガソリンの燃焼速度 $V_B=0.8 \times 10^{-4}\text{m/s}$ とすると、

- ① 火災面積 $S = \frac{q_L}{V_B} = 10.4\text{m}^2$
- ② 火炎半径 $r = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 1.8\text{m}$
- ③ 火炎高さ $H = 3r = 5.4\text{m}$

計算結果から、火炎の中心からの輻射熱については右図のとおりである。

また、設置位置については輻射熱が 3000~5000W/m²の範囲に設置されることが想定される。



液化水素ポンプ

液化水素ポンプの温度上昇に係る計算

2 計算条件

液化水素ポンプの計算条件については下表のとおりとする。

平成29年中の固定給油設備からのガソリン流出事故の流出量は**平均4.5リットル(最大40.8リットル)**であり、液体の流出率をガソリンの給油設備の最大吐出量 50L/minとしていることから、**1分間(60秒間)**輻射熱を受けることを想定する。

SUSの物性(※1)		鋼板の板厚 x[m]	初期温度 T ₀ [°C]	最終温度 T ₁ [°C]	想定時間 t[s]	輻射熱(※2) q[W/m ²]
密度 P [kg/m ³]	比熱 c [J/kg K]					
8000	501.6	0.003	15 (通常使用環境下における温度)	?	60	5000

※1 過去の検討会にて準用している「CNG自動車用燃料供給施設を給油取扱所に併設等する場合の安全性に関する調査検討報告書」(平成7年3月危険物保安技術協会)より引用。

※2 3000~5000W/m²の範囲に設置されることが想定されるため、5000W/m²とした。

液化水素ポンプの温度上昇に係る計算

3 計算結果

液化水素ポンプの外層鋼材の1分後の温度は、

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(t - t_0)}$$

$$5000 = 8000 \times 0.003 \times 501.6 \times \frac{T - 15}{60 - 0}$$

$$T = 39.9^\circ\text{C}$$



液化水素ポンプの外層鋼材は1分後に**39.9°C**となる。

水素スタンドを併設する給油取扱所の基準が検討された平成15年度「燃料電池自動車用水素スタンドを給油取扱所に併設する場合安全性に関する調査検討会」及び平成16年度「燃料電池安全対策に関する調査検討会」では、SUSの耐熱温度を350°Cとして検討を行っていたことから、輻射熱が液化水素ポンプの外層鋼材に与える影響はほとんど無いと言える。

参考

①ガソリンによる輻射熱からの受熱量

②液化水素貯槽の温度上昇に要する熱量

$$Q = mc(T - T_0)$$

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(t - t_0)}$$

より厳しい条件での計算

水素スタンドを併設する給油取扱所の基準は、平成15年度「燃料電池自動車用水素スタンドを給油取扱所に併設する場合安全性に関する調査検討会」及び平成16年度「燃料電池安全対策に関する調査検討会」を踏まえ技術基準が整備された。

これら検討会では、**水素スタンドの設備の金属配管等(SUS製を想定)が8分後(消防隊到着推定時間)に350°C(SUSの耐熱温度)に達する輻射熱を計算し、その輻射熱を受けない措置(障壁)を検討している。**



本検討会では、液化水素ポンプの外層鋼材も一般的にSUS製であることから、設置が想定される位置における輻射熱を受けて、外層鋼材が350°Cに達するのに何分かかかるか、また、外層鋼材が8分後に何度になるのかを確認する。

より厳しい条件での計算

1 計算条件

液化水素ポンプの計算条件は、下記表の通りとする。

① 液化水素ポンプの外層鋼材が350°Cとなる時間

SUSの物性(※1)		鋼板の板厚 x [m]	初期温度 T_0 [°C]	最終温度 T_1 [°C]	想定時間 t [s]	輻射熱(※2) q [W/m ²]
密度 P [kg/m ³]	比熱 c [J/kg K]					
8000	501.6	0.003	15 (通常使用環境下における温度)	350	?	5000

② 液化水素ポンプの外層鋼材の8分後の温度

SUSの物性(※1)		鋼板の板厚 x [m]	初期温度 T_0 [°C]	最終温度 T_1 [°C]	想定時間 t [s]	輻射熱(※2) q [W/m ²]
密度 P [kg/m ³]	比熱 c [J/kg K]					
8000	501.6	0.003	15 (通常使用環境下における温度)	?	480	5000

※1 過去の検討会にて準用している「CNG自動車用燃料供給施設を給油取扱所に併設等する場合の安全性に関する調査検討報告書」(平成7年3月危険物保安技術協会)より引用。

※2 3000~5000W/m²の範囲に設置されることが想定されるため、5000W/m²とした。

より厳しい条件での計算

2 計算結果

液化水素ポンプの外層鋼材が350°Cとなる時間は、

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(T - t_0)}$$
$$5000 = 8000 \times 0.003 \times 501.6 \times \frac{350 - 15}{t - 0}$$

$$t = 806.6 \text{sec} = 13.4 \text{min}$$

また、液化水素ポンプの外層鋼材の8分後の温度は、

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(T - t_0)}$$
$$5000 = 8000 \times 0.003 \times 501.6 \times \frac{T - 15}{480 - 0}$$

$$T = 214.7^\circ\text{C}$$

参考

①ガソリンによる輻射熱からの受熱量

②液化水素貯槽の温度上昇に要する熱量

$$Q = mc(T - T_0)$$

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(t - t_0)}$$

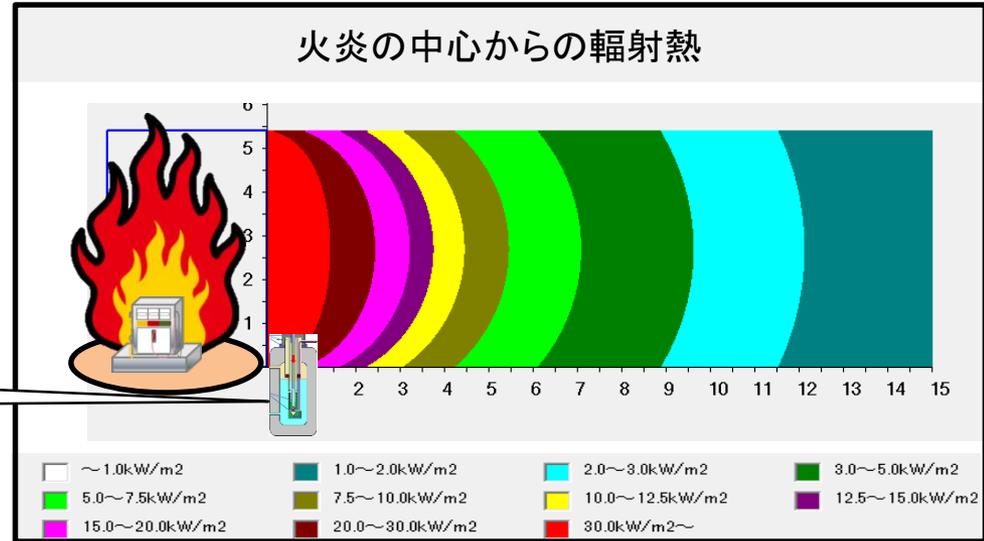
液化水素ポンプの外層鋼材が350°Cとなる時間は**13.4分**、また、外層鋼材は8分後に**214.7°C**となる。

このことから、液化水素ポンプに対するガソリン輻射熱の影響については、障壁の設置により、過去の検討会(P10参照)で検討された8分後(消防隊到着推定時間)350°C(SUSの耐熱温度)に達しない程度のものである。

給油取扱所からの出火による火炎又は輻射熱が、液化水素ポンプに及ぼす影響は、2 mの障壁を設置することで許容されると考えられる。

<参考>壁の無い場合

液化水素ポンプの設置位置については
輻射熱が30000W/m²以上の範囲に設置
されることが想定される。



液化水素ポンプ

1 計算条件

液化水素ポンプの計算条件は、下記表の通りとする。

① 液化水素ポンプの外層鋼材が350℃となる時間

SUSの物性(※1)		鋼板の板厚 x[m]	初期温度 T ₀ [°C]	最終温度 T ₁ [°C]	想定時間 t[s]	輻射熱(※2) q[W/m ²]
密度 P [kg/m ³]	比熱 c [J/kg K]					
8000	501.6	0.003	15 (通常使用環境下における温度)	350	?	30000

② 液化水素ポンプの外層鋼材の8分後の温度

SUSの物性(※1)		鋼板の板厚 x[m]	初期温度 T ₀ [°C]	最終温度 T ₁ [°C]	想定時間 t[s]	輻射熱(※2) q[W/m ²]
密度 P [kg/m ³]	比熱 c [J/kg K]					
8000	501.6	0.003	15 (通常使用環境下における温度)	?	480	30000

<参考>壁の無い場合

2 計算結果

液化水素ポンプの外層鋼材が350℃となる時間は、

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(T - t_0)}$$
$$30000 = 8000 \times 0.003 \times 501.6 \times \frac{350 - 15}{t - 0}$$

$$t = 134.4 \text{sec} = 2.2 \text{min}$$

また、液化水素ポンプの外層鋼材の8分後の温度は、

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(T - t_0)}$$
$$30000 = 8000 \times 0.003 \times 501.6 \times \frac{T - 15}{480 - 0}$$

$$T = 1211.2^\circ\text{C}$$

参考

①ガソリンによる輻射熱からの受熱量

②液化水素貯槽の温度上昇に要する熱量

$$Q = mc(T - T_0)$$

$$q = \rho x c \frac{(T - T_0)}{(t - t_0)}$$

液化水素ポンプの外層鋼材が350℃となる時間は**2.2分**、また、外層鋼材は8分後に**1211.2℃**となる。