

## 地上設置式横型バルク貯槽等の発生能力

### 1. 制定目的

バルク貯槽又はバルク容器（以下、バルク貯槽等という）を設置し、自然気化によってLPガスを消費しようとする場合、需要家の消費量に対して十分な量のLPガスを供給することのできるバルク貯槽等の大きさを必要とするが、バルク貯槽等の設置状況（外気温等）、需要家の消費パターン（連続消費時間等）及びLPガス供給側のバルク運用状況（残液量等）などの設計条件が個々の設置ケースで異なるので、一律の基準を設けても運用上に不都合が生じることが予想される。従って、本基準では連続消費時間の大小又は残液量の多少によってバルク貯槽等の発生能力がどのように変化するかを計算で示し、バルク貯槽等の設置基準の一部とすることを目的とする。

### 2. 適用範囲

地上設置式の横型バルク貯槽等で、次の条件に該当するものの発生能力について規定する。

- ①バルク貯槽等：バルク貯槽 …… 150 kg型、200 kg型、300 kg型、500 kg型及び1t型  
バルク容器 …… 5000 リットル型（充填量：2000 kg）及び  
6000 リットル型（充填量：2400 kg）
- ②LPガス組成：い号（充填時のプロパン分は、95mol%、90mol%及び80mol%とする）
- ③外気温 …… -20℃、-15℃、-10℃、-5℃、0℃、5℃、10℃及び15℃
- ④連続消費時間：1時間、1.5時間、2時間、3時間、4時間、5時間、6時間、7時間及び8時間
- ⑤残液量 …… 15wt%、20wt%、30wt%、40wt%及び50wt%
- ⑥その他 …… バルク貯槽等の周囲の風速は0.3m/sとする。

### 3. 用語の意味

この基準で用いる主な用語の意味は、次の通りである。

- ①バルク貯槽 …… 液化石油ガス法で規定される開放検査周期の長い貯槽をいう。
- ②バルク容器 …… 主として工業用需要家などで使用されているスキッド型容器をいう。
- ③横型 …… バルク貯槽等の胴部を地盤面に対して平行に設置するものをいう。
- ④充填時組成 …… バルク貯槽等の残液量が零の状態に充填する場合の液相組成をいう。従って、バルク貯槽等に残液がある場合の充填後液相組成は、残液と充填液の混合組成となるので、充填時組成はこの点を考慮しなければならない。（解説3参照）
- ⑤圧力の単位 …… 本基準で用いる圧力の単位（MPa）は絶対圧力とする。
- ⑥発生能力 …… 消費開始時の液温が外気温と等しい状態で自然気化消費し、消費終了時の容器圧力が0.16997Mpaに低下する時の平均LPガス発生量をいう。

⑦連続消費時間 需要家におけるLPガスの消費量 (kg/h) は消費時間中必ずしも一定ではないが、発生能力の計算上、これを一定と仮定した場合の継続時間をいう。

バルク貯槽等の発生能力は、一般的に、ピーク月或いは供給条件の厳しい冬季の消費量、連続消費時間等をベースに検討されるが、実際の消費においては消費量の変動するケースの方が多いため、消費量又は連続消費時間を消費状況に応じて柔軟に調整することが重要である。

具体例として、図1、図2（ピーク消費量：10 kg/h、消費時間：5時間）を想定した場合、図1では消費量及び連続消費時間を10 kg/h×5時間とすることができるが、図2では、例えば連続消費時間を調整して10 kg/h×3時間、或いは又は消費量を調整して6 kg/h×5時間という具合に読み替え操作が必要となるだろう。

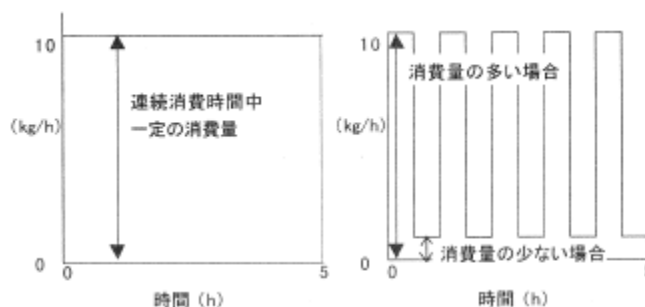


図1 消費例1

図2 消費例2

## 4. バルク貯槽等の発生能力を計算するための基礎式

横型バルク貯槽等のシュミレーションモデルとしては、50 kg容器等の発生能力推算法<sup>1)</sup>の改良モデルによるものとする。

改良モデルから誘導される発生能力計算式及びその関連項目については以下の通りである。

### 4. 1 バルク貯槽等の発生能力推算式

$$W = \frac{U \cdot A \cdot \Delta T_E}{L} \cdot \frac{1}{1 - \exp(-\alpha \cdot \tau_E)} + (V - \frac{w}{\rho_l}) \cdot \rho_v \cdot \frac{\Delta P_E}{0.101325} \cdot \frac{\alpha \cdot F(\tau_E)}{1 - \exp(-\alpha \cdot \tau_E)} \dots (1)$$

$$\text{ここで、} \quad \alpha = \frac{3.6 \cdot U \cdot A}{wC_l + w_m C_m} \dots (2)$$

$$F(\tau_E) = \frac{\alpha \cdot \tau_E \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau_E)}{1 - \exp(-\alpha \cdot \tau_E)} \dots (3)$$

$$\Delta T_E = T_a - T_E \dots (4)$$

$$\Delta P_E = P_a - P_E \dots (5)$$

W : 発生能力 (kg/h)

U : 総括電熱係数 (W/m<sup>2</sup>·K)

A : 伝熱面積 (m<sup>2</sup>)

$\Delta T_E$  : 消費終了時における外気温と液温の温度差 (K)

1) 大井：「LPガス容器の発生能力推算法」 高圧ガス Vol.16 No.9(1979)

$T_a, T_E$ :	外気温及び消費終了時の液温 (K)
$L$ :	蒸発潜熱 (kJ/kg)
$\tau_E$ :	消費時間 (h)
$w$ :	液残量 (kg)
$C_l$ :	液比熱 (kJ/kg·K)
$w_m$ :	容器顕熱に寄与するバルク貯槽等重量 (kg)
$C_m$ :	バルク貯槽等の比熱 $\approx 0.04605$ (kJ/kg·K)
$V$ :	バルク貯槽等の内容積 ( $m^3$ )
$\rho_l$ :	液密度 ( $kg/m^3$ )
$\rho_v$ :	ベーパー密度 ( $kg/m^3$ )
$\Delta P_E$ :	消費開始時と消費終了時の圧力差 (MPa)
$P_a, P_E$ :	消費開始時及び消費終了時の圧力 (MPa)

#### 4. 2 自然気化消費に伴う液相及び気相組成変化推算式

LPガスの組成をプロパン、ノルマルブタン及びイソブタンの三成分とし、自然気化消費に伴う液相組成変化を以下の式で推算する。

$$\left(\frac{1-x_{i,k-1}}{1-x_{i,k}}\right)^{p_i} \cdot \left(\frac{x_{i,k}}{x_{i,k-1}}\right)^{p_j} = \left(\frac{W_k}{W_{k-1}}\right)^{p_i-p_j} \quad (k=1, 2, \dots, n) \quad \dots\dots (6)$$

ここで、

$$p_i = \exp(K_{1,i} - K_{2,i}/T) \quad \dots\dots (7)$$

$$p_j = \frac{\pi_{0,k} - p_i \cdot x_{i,k-1}}{1 - x_{i,k-1}} \quad \dots\dots (8)$$

$$\pi_{0,k} = \sum_i p_i \cdot x_{i,k-1} \quad \dots\dots (9)$$

但し、 $k=1$  のとき  $x_{i,0} = X_F$   $w_0 = w_F$

$k=n$  のとき  $x_{i,n} = X_i$   $w_n = w$

$X_i$  :  $i$  成分の液相組成モル分率 (—)

$X_F$  : 充填時の液相組成モル分率 (—)

$w$  : 液残量 (wt 比)

$w_F$  : 充填時の残液量 = 1.0 (wt 比)

$\pi_0$  : 全圧 (MPa)

$p_i$  :  $i$  成分の蒸気圧 (MPa)

$p_j$  :  $i$  成分以外の蒸気圧 (MPa)

$K_{1,i}$  ,  $K_{2,i}$  : 定数 (表 1 に示す) (—)

$T$  : 温度 (K)

又、気相組成は、理想気体を仮定すると (6) 式から次式で計算される。

$$y_i = p_i \cdot x_i / \sum_i p_i \cdot x_i \quad \dots\dots (10)$$

ここで、 $y_i$  :  $i$  成分の気相モル分率 (—)

## 4. 3 総括伝熱係数

$$U = \gamma \left( \frac{\Delta T}{z_{\text{mean}}} \right)^{1/4} \quad \dots\dots (11)$$

ここで、 $U$  : 総括伝熱係数 (W/m<sup>2</sup>·K)  
 $\gamma$  : 係数 (—)  
 $\gamma = 1.16279 \cdot \exp(1.289 + 0.374 u + 0.125 u^2)$  … (12)  
 $u$  : 風速 (m/s)  
 $\Delta T$  : 温度差 (K)  
 $z_{\text{mean}}$  : 平均液深さ (m)

$$\frac{1}{z_{\text{mean}}} = \frac{1}{z} + \frac{1}{\sqrt{H' D}} \quad \dots\dots (13)$$

$z$  : 液深さ (m)  
 $H'$  : 胴部(スレート部)の長さ (m)

## 4. 4 液深さ

任意の液深さにおけるバルク貯槽等の容積を次式で近似する。

$$V_z = V \cdot \frac{\theta}{\pi} \quad \dots\dots (14)$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{b-z}{b} = 1-2q \quad \dots\dots (15)$$

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (a < b) \quad \dots\dots (16)$$

$$z = q \cdot D \quad \dots\dots (17)$$

ここで、 $z$  : 液深さ (m)  
 $V_z$  : 液深さ  $z$  における容積 (m<sup>3</sup>)  
 $V$  : バルク貯槽等の全容積 (m<sup>3</sup>)  
 $\theta$  : (15)式で計算される平面角 (rad)  
 $a$  : バルク貯槽等の鏡部を回転楕円形とした時の楕円の短軸 (m)  
 $b$  : バルク貯槽等の鏡部を回転楕円形とした時の楕円の長軸 (m)  
 $D$  : バルク貯槽等のスレート部(胴部)内径 (m)  
 $q$  : 液深さをスレート部(胴部)内径の比率で表した時の値 (—)

又、任意の液深さ  $z$  における容積は、残液量と液密度から計算することができるので、次式が成り立つ

$$V_z = \frac{w}{\rho_l} \quad \dots\dots (18)$$

従って、(14)式と(18)式より、任意の残液量における液深さ  $z$  を求めることができる。

## 4. 5 伝熱面積

任意の残液量における伝熱面積は、液深さ  $z$  における濡れ面積とし次式で近似されるものとする。

$$S_z = H' D \cos^{-1}(1-2q) + \frac{\pi a}{b} \left[ b^2 \sqrt{1-\beta^2} \frac{b^2}{\beta} \sin^{-1} \beta - (b-z) \sqrt{b^2 - \beta^2 (b-z)} - \frac{b^2}{\beta} \sin^{-1} \frac{\beta (b-z)}{b} \right] \quad \dots\dots (19)$$

$$\text{ここで、 } \beta = \sqrt{1 - \frac{a^2}{b^2}} \quad \dots\dots (20)$$

#### 4. 6 発生能力に寄与するバルク貯槽等の顕熱

発生能力に寄与するバルク貯槽等の顕熱は濡れ部分の顕熱とし、濡れ部分の重量は次式で与えるものとする。

$$w_m = w_{m0} \cdot \frac{S_z}{S_{all}} \quad \dots\dots (21)$$

ここで、 $w_m$  : 濡れ部分の重量 (kg)  
 $w_{m0}$  : バルク貯槽等本体重量 (kg)  
 $S_z$  : 濡れ面積 (m<sup>2</sup>)  
 $S_{all}$  : バルク貯槽等の全表面積 (m<sup>2</sup>)

#### 4. 7 LPガスの物性値

$$\text{①液密度} \quad \rho_l = \sum_i X_i (K_{3,i} - K_{4,i} \cdot T) \quad \dots\dots (22)$$

$$\text{②ベーパー密度} \quad \rho_v = \sum_i y_i \cdot K_{5,i} / T \quad \dots\dots (23)$$

$$\text{③蒸発潜熱} \quad L = \sum_i X_i (K_{6,i} - K_{7,i} \cdot T) \quad \dots\dots (24)$$

$$\text{④液比熱} \quad C_l = \sum_i X_i (K_{8,i} + K_{9,i} \cdot T) \quad \dots\dots (25)$$

$$\text{但し、} \quad X_i = M_i x_i / \sum_i M_i x_i \quad \dots\dots (26)$$

ここで、 $X_i$  :  $i$ 成分の液相組成重量分率 (—)

$M_i$  :  $i$ 成分の分子量 (—)

$T$  : 温度 (K)

成分	$M_i$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
$C_3H_8$	44.09	7.653	2301	889.18	1.323	537.6	720.13	1.2726	1.272	0.00394
$nC_4H_{10}$	58.12	8.198	2864	895.28	1.081	708.8	622.97	0.8749	1.233	0.00322
$iC_4H_{10}$	58.12	7.838	2648	901.71	1.173	708.8	646.54	1.0674	1.270	0.00327

## 5. バルク貯槽等の寸法及び濡れ面積

バルク貯槽等の寸法及び重量を表2に示す。

表2 バルク貯槽等の寸法及び重量

種類	充填量 (kg)	内容積 (m <sup>3</sup> )	全長 (m)	胴部長さ (m)	胴部内径 (m)	鏡部の短軸長さ (m)	全表面積 (m <sup>2</sup> ) (注2)	本体重量 (kg)
150kg型	150	0.375	1.249	0.9137	0.650	0.16245	2.433	117.7
200kg型	200	0.500	1.141	0.7281	0.800	0.20025	2.689	169.2
300kg型	300	0.750	1.638	1.2255	0.800	0.19985	3.939	230.1
500kg型	500	1.250	1.774	1.2582	1.000	0.25000	5.295	396.5
1t型	1000	2.500	2.121	1.4501	1.300	0.32535	8.191	809.8
5000リットル型	2000	5.000	2.779	1.9534	1.600	0.40010	13.256	1599.2
6000リットル型	2400	6.000	2.814	1.9112	1.750	0.43750	14.619	1953.9

(注1) 鏡部(回転楕円体)の短軸と長軸の比は、1:2とした。

(注2) 鏡部の表面積を近似式で求めているため、全表面積の値は実際の値と多少相違する。

## 6. バルク貯槽等の発生能力

4節の各式から計算したバルク貯槽等の発生能力を付表 1. 付図 1 及び付表 2. 付図 2 に示す。

①付表 1. 付図 1 …… 外気温をパラメータとし、ある残液量における発生能力の値（縦軸）を連続消費時間ごと（横軸）に示した。

②付表 2. 付図 2 …… 外気温をパラメータとし、ある連続消費時間における発生能力の値（縦軸）を残液量ごと（横軸）に示した。

但し、付表及び付図の利用に当たっては、①と②は同じデータから作成されたものであり、設定条件が同じであればどちらを選択しても同じ結果となることに留意する必要がある。

尚、付図における気温は外気温、初期液温は消費開始時の液温のこととする。

### 制定日

本資料の制定日は、1999年4月1日とする。

### 改正日

本資料の第1回改正：2008年10月1日

第2回改正：2016年3月11日

### 施行日

本資料の施行日は、2009年2月1日とする。