

## 4. 地下埋設式縦型バルク貯槽発生能力計算の基礎式

自然気化消費における地下埋設式縦型バルク貯槽の発生能力を計算しようとする場合、図1に示すように開始液温が残液量の減少と共に降下するので、これを忠実に再現する計算モデルが必要となる。本基準では、50kg容器等の発生能力推算法<sup>1)</sup>を改良した発生能力計算式及び「E-001 地上設置式横型バルク貯槽等の発生能力」解説4で提示した液温回復計算式によって、任意の残液量における開始液温を予測する計算手法を確立し、地下埋設式に特徴的な開始液温の変化を実態に即して再現することにより、その発生能力計算精度の向上を図った。以下に、地下埋設式縦型バルク貯槽の発生能力を計算するための諸式を示す。

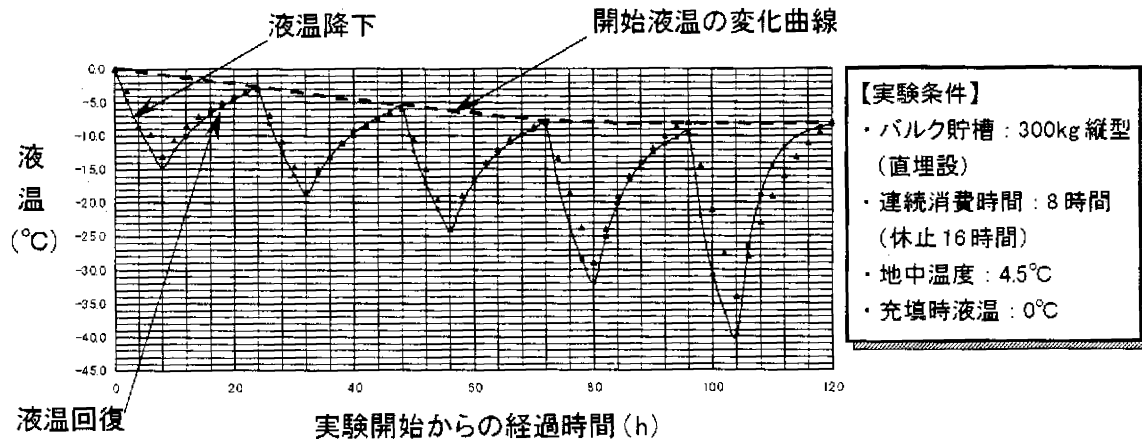


図1 地下埋設式縦型バルク貯槽の自然気化消費における液温変化状況の例

### 4. 1 地下埋設式縦型バルク貯槽の発生能力計算式及び液温回復計算式

$$W = \frac{UA(T_s - T_E)}{L} \cdot \frac{1}{1 - \exp(-\alpha \tau_E)} + \frac{W_P}{\tau_E} \quad \dots\dots(1)$$

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

$$W_P = \left(V - \frac{w}{\rho_l}\right) \cdot \rho_v \cdot \frac{(P_a - P_E)}{0.101325} \quad \dots\dots(3)$$

- |                |   |                   |                       |
|----------------|---|-------------------|-----------------------|
| W              | : | 発生能力              | (kg/h)                |
| U              | : | 総括伝熱係数            | (W/m <sup>2</sup> ·K) |
| A              | : | 伝熱面積              | (m <sup>2</sup> )     |
| T <sub>s</sub> | : | 地中温度              | (K)                   |
| T <sub>E</sub> | : | 消費終了時の液温          | (K)                   |
| L              | : | 蒸発潜熱              | (kJ/kg)               |
| τ <sub>E</sub> | : | 連続消費時間            | (h)                   |
| w              | : | 残液量               | (kg)                  |
| C <sub>l</sub> | : | 液比熱               | (kJ/kg·K)             |
| w <sub>m</sub> | : | 顕熱に寄与するバルク貯槽の重量   | (kg)                  |
| C <sub>m</sub> | : | バルク貯槽の比熱 ≒ 0.4605 | (kJ/kg·K)             |
| V              | : | バルク貯槽の内容積         | (m <sup>3</sup> )     |
| ρ <sub>l</sub> | : | 液密度               | (kg/m <sup>3</sup> )  |
| ρ <sub>v</sub> | : | ベーパー密度            | (kg/m <sup>3</sup> )  |

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)

$P_a$  : 消費開始時の圧力 (MPa)

$P_E$  : 消費終了時の圧力 (MPa)

尚、発生能力をその要因別に表すと以下の通りになる。

$$\text{【伝熱発生速度】 } W_h = \frac{UA(T_s - T_E)}{L} \cdot \frac{1}{1 - \exp(-\alpha \tau_E)} - W_l \quad \dots\dots(4)^2$$

$$\text{【顕熱発生速度】 } W_l = \frac{(wC_l + w_m C_m) \cdot (T_a - T_E)}{L} \cdot \frac{1}{\tau_E} \quad \dots\dots(5)$$

$$\text{【ベーパー発生速度】 } W_v = \frac{W_p}{\tau_E} \quad \dots\dots(6)$$

ここで、 $W_h$  : 伝熱による発生速度 (kg/h)

$W_l$  : LPガスの顕熱及びバルク貯槽の顕熱による発生速度 (kg/h)

$W_v$  : 気相部のベーパーの圧力低下による発生速度 (kg/h)

$T_a$  : 開始液温 (K)

一方、液温回復温度計算式は次式による。

$$T_R = T_a - (T_a - T_E) \cdot \exp(-\alpha \tau_R) \quad \dots\dots(7)$$

ここで、 $T_R$  : 消費終了  $\tau_R$  時間後の液温 (K)

$\tau_R$  : 消費終了からの経過時間 (h)

#### 4. 2 自然気化消費に伴う液相及び気相組成変化計算式

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計算する。

$$\left(\frac{1-x_{i,k-1}}{1-x_{i,k}}\right)^{p_i} \cdot \left(\frac{x_{i,k}}{x_{i,k-1}}\right)^{p_j} = \left(\frac{w_k}{w_{k-1}}\right)^{p_i - p_j} \quad (k=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots(8)$$

$$\text{ここで、 } p_i = \exp(K_{1,i} - K_{2,i} / T) \quad \dots\dots(9)$$

$$p_j = \frac{\pi_{0,k} - p_i \cdot x_{i,k-1}}{1 - x_{i,k-1}} \quad \dots\dots(10)$$

$$\pi_{0,k} = \sum_i p_i \cdot x_{i,k-1} \quad \dots\dots(11)$$

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 (—)

$w$  : 残液量 (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)

2) (4)式を(2)式と(5)式を用いて書換えると次式を得る。
$$W_h = \frac{UA(T_s - T_E)}{L} \cdot \frac{1}{1 - \exp(-\alpha \tau_E)} - \frac{UA(T_a - T_E)}{L} \cdot \frac{1}{\alpha \tau_E}$$