

## 日団協 技術資料 D 液-002-2020

## 地下埋設式バルク貯槽の発生能力

## 1. 制定目的

バルク貯槽を地下埋設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大きさのバルク貯槽を設置しなければならないが、バルク貯槽の設置状況(地中温度、充填時液温等)、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、本資料では連続消費時間の大小又は残液量の多少によって地下埋設式バルク貯槽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

地下埋設式のバルク貯槽で、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  | (横型)300kg型、500kg型、980kg型及び2.9t型        |
| (2)LPガス組成 | 充填時液相プロパン分95mol%                       |
| (3)地中温度   | 0℃、5℃及び10℃                             |
| (4)充填時液温  | 地中温度と同じ                                |
| (5)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 |
| (6)残液量    | 30wt%                                  |

## 3. 用語の意味

本資料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)横型    | バルク貯槽の胴部を地盤面に対して平行に設置するものをいう。  |
| (3)縦型    | バルク貯槽の胴部を地盤面に対して垂直に設置するものをいう。  |
| (4)充填時組成 | バルク貯槽に最大貯蔵量のLPガスを充填した時の液相組成をいう。                                      |
| (5)地中温度  | 地下埋設したバルク貯槽の周囲温度をいう。   |
| (6)充填時液温 | バルク貯槽に最大貯蔵量のLPガスを充填した時の液温をいう。  |
| (7)開始液温  | 任意の残液量で消費を開始しようとする時の液温をいう。   |
| (8)圧力の単位 | 本資料で用いる圧力の単位(MPa)は絶対圧力とする。   |
| (9)発生能力  | 開始液温で自然気化消費し、消費終了時のバルク貯槽の圧力が 0.2 MPa に低下する場合の「消費時間中一定な 1 時間当たりのLPガス発 |

生量」をいう。

- (10)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。

#### 4. 地下埋設式バルク貯槽の発生能力を計算するための基礎式

自然気化消費における地下埋設式バルク貯槽の発生能力(以下、「地下式発生能力」という)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。本資料では、このような地下式に特有な消費に伴う開始液温降下にも対応できる地下式発生能力計算式をLPガス容器の発生能力推算法<sup>1)</sup>で示された計算式をベースに誘導した。また、総括伝熱係数の計算モデルが適正であれば消費終了後の液温回復状況をうまく再現できるので、「D 液-001 地上設置式バルク貯槽の発生能力」解説4の液温回復計算式と実験データから、消費終了後の液温回復を適正に説明できる総括伝熱係数の計算モデルを誘導した。(解説1「1. 地下式バルク貯槽の発生能力のモデル化と総括伝熱係数」による) 以下に、地下式発生能力を計算するための諸式を示す。

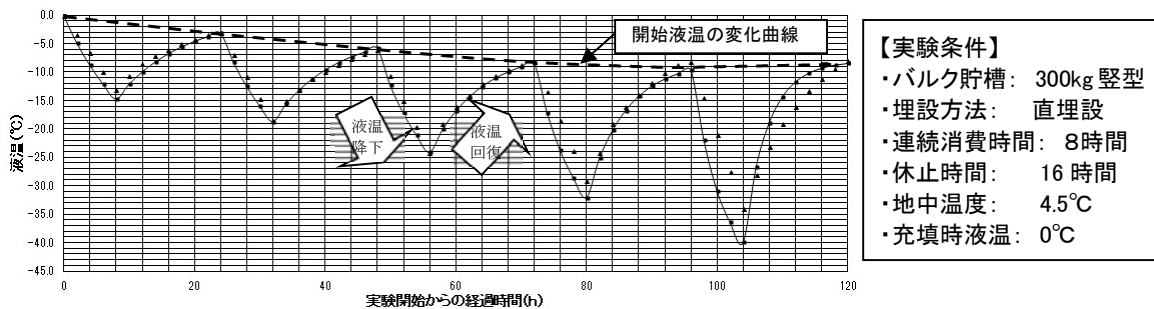


図1 地下埋設式縦型バルク貯槽の自然気化消費における液温変化状況の例

##### 4.1 地下式発生能力計算式及び液温回復計算式

地下式発生能力の計算において、伝熱要因の発生能力は「地中温度と消費終了時の液温との温度差」に起因するが、顕熱要因の発生能力は「開始液温と消費終了時の液温との温度差」に起因するので、この事実を計算式にそのまま反映させた次式を地下式発生能力のための計算式とする。(参考資料:解説2「3. 初版と第2版の地下式バルク貯槽の発生能力推算法」)

なお、開始液温は充填時液温や消費条件により変化するが、本資料では残液量の関数として計算する。(解説1「2. 地下式バルク貯槽の発生能力計算手順」による)

$$W = \frac{U \cdot A \cdot (T_{snd} - T_E)}{L} \cdot \left[ \frac{1}{1 - \exp(-\alpha \cdot \tau_E)} - \frac{1}{\alpha \cdot \tau_E} \right] + \frac{(wC_l + w_m C_m) \cdot (T_{strt} - T_E)}{L} \cdot \frac{1}{\tau_E} + \frac{W_p}{\tau_E} \quad \dots\dots\dots(1)$$

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

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

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)

$W$	:	発生能力	(kg/h)
$U$	:	総括伝熱係数	(kJ/m <sup>2</sup> ·h·°C)
$A$	:	伝熱面積	(m <sup>2</sup> )
$T_{snd}$	:	地中温度	(°C)
$T_{strt}$	:	開始液温	(°C)
$T_E$	:	消費終了時の液温	(°C)
$L$	:	蒸発潜熱	(kJ/kg)
$\tau_E$	:	消費時間	(h)
$w$	:	残液量	(kg)
$C_l$	:	液比熱	(kJ/kg·°C)
$w_m$	:	顕熱に寄与するバルク貯槽の重量	(kg)
$C_m$	:	バルク貯槽の比熱 ≡ 0.4605	(kJ/kg·°C)
$V$	:	バルク貯槽の内容積	(m <sup>3</sup> )
$\rho_l$	:	液密度	(kg/m <sup>3</sup> )
$\rho_v$	:	ベーパー密度	(kg/m <sup>3</sup> )
$P_S$	:	消費開始時の圧力	(MPa)
$P_E$	:	消費終了時の圧力	(MPa)

また、要因別の地下式発生能力は、伝熱要因を(1)式の第1項、顕熱要因を(1)式の第2項及びベーパー要因を(1)式の第3項で与えるものとする。

さらに、液温回復温度計算式は次式により与えるものとする。

$$T_R = T_{snd} - (T_{snd} - T_E) \cdot \exp(-\alpha \cdot \tau_R) \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $T_R$  : 時間 $\tau_R$ における液温(液温回復中の液温) (°C)  
 $\tau_R$  : 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。

$$\left(\frac{1-x_{i,k-1}}{1-x_{i,k}}\right)^{p_i} \cdot \left(\frac{x_{i,k}}{x_{i,k-1}}\right)^{p_j} = \left(\frac{wr_k}{wr_{k-1}}\right)^{p_i-p_j} \quad (k=1,2,\dots,n) \quad \dots\dots(5)$$

ここで、 $p_i = \exp\left(K_{1,i} - \frac{K_{2,i}}{T}\right) \quad \dots\dots\dots(6)$

$$p_j = \frac{\pi_{0,k} - p_i \cdot x_{i,k-1}}{1 - x_{i,k-1}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

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

ただし、 $k=1$  のとき  $x_{i,0} = x_{i,F}$   $wr_0 = wr_F$   
 $k=n$  のとき  $x_{i,n} = x_{i,wr}$   $wr_n = wr$   
 $x_{i,wr}$  : 残液量比 $wr$ における $i$ 成分の液相組成モル分率 (—)

$x_{i,F}$	:	充填時における $i$ 成分の液相組成モル分率	(一)
$wr$	:	残液量比	(wt比)
$wr_F$	:	充填時の残液量比 = 1.0	(wt比)
$\pi_{0,k}$	:	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)	(一)
$i = 1$ : プロパン ( $C_3H_8$ )	$i = 2$ : ノルマルブタン ( $n-C_4H_{10}$ )	$i = 3$ : イソブタン ( $i-C_4H_{10}$ )	
$T$	:	液温	( $^{\circ}C$ )

また、気相組成は、理想気体を仮定すると次式で計算される。

$$y_i = p_i \cdot x_i / \sum_i p_i \cdot x_i \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここで、	$x_i$	:	$i$ 成分の液相モル分率	(一)
	$y_i$	:	$i$ 成分の気相モル分率	(一)

#### 4.3 総括伝熱係数

$$U = \xi \cdot \gamma \left( \frac{\Delta T}{Z_{mean}} \right)^{0.45} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここで、	$U$	:	総括伝熱係数	( $kJ/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$ )
	$\xi$	:	kcalからkJへの単位換算係数 <sup>2)</sup>	$\xi = 4.18605$
	$\gamma$	:	総括伝熱係数の補正係数	$\gamma = e^{0.37981}$

なお、(10)式の  $\gamma$  及びべき乗数(0.45)はKHKの実験から地下埋設式バルク貯槽用に誘導した。

$\Delta T_E$	:	温度差	( $^{\circ}C$ )
$\Delta T_E = T_{snd} - T_E$			$\dots\dots\dots(11)$
$Z_{mean}$	:	横型バルク貯槽の平均液深さ	(m)

$$\frac{1}{Z_{mean}} = \frac{1}{Z} + \frac{1}{\sqrt{L_{shell} \cdot D}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$D$	:	内径	(m)
$Z$	:	液深さ	(m)
$L_{shell}$	:	胴部の長さ	(m)

なお、本資料では、総括伝熱係数の単位を( $kJ/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$ )としているが、本来、SI単位系では( $W/m^2 \cdot K$ )を用いるべきである。このように敢えて総括伝熱係数の単位を( $kJ/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$ )としたのは、( $W/m^2 \cdot K$ )を用いると、(2)式の計算で[W]から[kJ]への換算のために「3.6」という係数を分子に掛けなければならないが、本来、このような換算係数を式に組み込むべきではないので、そのために講じた措置である。

2) (10)式は工学単位系( $kcal/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$ )で誘導された計算式なので、係数  $\xi$  を乗じてSI単位系( $kJ/m^2 \cdot h \cdot ^{\circ}C$ )に変換する。

#### 4. 4 横型バルク貯槽の液深さ・伝熱面積

##### 4. 4. 1 横型バルク貯槽の任意の液深さにおける胴部の容積

横型バルク貯槽鏡部を「短軸を回転軸とする回転楕円体」として胴部の断面を図2のとおりとなる。

ここで、 $a$  : 回転楕円体の短軸 (m)  
 $\theta$  : 図2で示される平面角 (rad)  
 $(\pi \geq \theta \geq 0)$

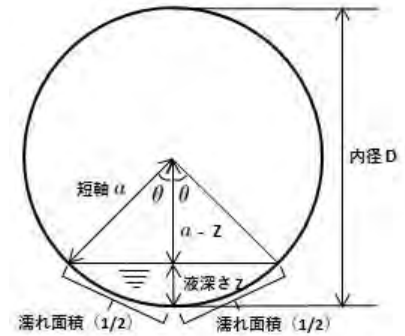


図2 横型バルク貯槽の胴部の断面図

図2より、平面角  $\theta$  について次式を得る。

$$\cos \theta = \frac{a - Z}{a} \quad \dots\dots\dots(13)$$

液深さ  $Z$  における胴部の容積は、この平面角  $\theta$  を用いて次式で求められる。

$$V_{shell\_Z} = \left[ \frac{\pi D^2}{4} \cdot \left( \frac{2\theta}{2\pi} \right) - 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (a - Z) \cdot a \sin \theta \right] \cdot L_{shell} \quad \dots\dots\dots(14)$$

ここで、 $V_{shell\_Z}$  : 液深さ  $Z$  における胴部の容積 (m<sup>3</sup>)

いま、液深さ  $Z$  と内径  $D$  の比率を次式で定義する。

$$q = \frac{Z}{D} = \frac{Z}{2a} \quad \dots\dots\dots(15)$$

ここで、 $q$  : 液深さを内径の比率で表した値 (—)

(13)式と(15)式から次式を得る。

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{a - Z}{a} \right) = \cos^{-1}(1 - 2q) \quad \dots\dots\dots(16)$$

(14)式を液深さ  $Z$  と内径  $D$  の比率  $q$  を用いて変形すると次式を得る。

$$V_{shell\_Z} = \frac{D^2}{4} \cdot \left[ \theta - (1 - 2q) \cdot \sin \theta \right] \cdot L_{shell} \quad \dots\dots\dots(17)$$

##### 4. 4. 2 横型バルク貯槽の任意の液深さにおける鏡部の容積

鏡部の容積は、バルク貯槽全体の容積から胴部の容積を差し引いたものとして求められる。

$$V_{dish\_all} = V - \frac{\pi D^2}{4} \cdot L_{shell} \quad \dots\dots\dots(18)$$

ここで、 $V_{dish\_all}$  : 鏡部の容積 (m<sup>3</sup>)

いま、液深さ  $Z$  における鏡部の容積を次式で近似するものとする。

$$V_{dish\_Z} = V_{dish\_all} \cdot \frac{Z}{D} = q \cdot \left( V - \frac{\pi D^2}{4} \cdot L_{shell} \right) \quad \dots\dots\dots(19)$$

ここで、 $V_{dish\_Z}$  : 液深さ  $Z$  における鏡部の容積 (m<sup>3</sup>)

#### 4. 4. 3 横型バルク貯槽の液深さ

任意の残液量におけるLPガスの占めるバルク貯槽内の容積は、(17)式で  $V_{shell\_Z}$  と(19)式で計算される  $V_{dish\_Z}$  の合計で与えられるが、残液量と液密度からも求めることができるので、次式が成り立つ。

$$V_{dish\_Z} + V_{shell\_Z} = \frac{w}{\rho_l} \quad \dots\dots\dots(20)$$

(17)式、(19)式 及び (20)式より次式を得る。

$$q \cdot \left( V - \frac{\pi D^2}{4} \cdot L_{shell} \right) + \frac{D^2}{4} \cdot \left[ \theta - (1 - 2q) \cdot \sin \theta \right] \cdot L_{shell} = \frac{w}{\rho_l} \quad \dots\dots\dots(21)$$

以上より、(21)式から  $q$  を求めることで、 $Z = qD$  であるから、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. 4. 4 横型バルク貯槽の胴部の濡れ面積

胴部の断面の全円周長さは  $\pi D$ 、胴部の長さは  $L_{shell}$ 、図2の濡れ部分の平面角は  $2\theta$  となるので、胴部の濡れ面積として次式を得る。

$$S_{shell\_Z} = \pi D L_{shell} \cdot \left( \frac{2\theta}{2\pi} \right) \quad \dots\dots\dots(22)$$

ここで、 $S_{shell\_Z}$  : 液深さ  $Z$  における胴部の濡れ面積 (m<sup>2</sup>)

(22)式を(15)式で定義した  $q$  で表すと、胴部の濡れ面積として次式を得る。

$$S_{shell\_Z} = D L_{shell} \cos^{-1}(1 - 2q) \quad \dots\dots\dots(23)$$

#### 4. 4. 5 横型バルク貯槽の鏡部の濡れ面積

鏡部の濡れ面積は、短軸を回転軸とする回転楕円体の表面積の液深さ  $Z$  における濡れ部分として、次式で与えるものとする。

なお、(24)式は、実際のデータに一致するように調整した実用上の近似式である。

$$S_{dish\_Z} = \frac{\pi ab}{1.6} \left( \frac{\sin^{-1} e - \sin^{-1} e_1}{e} + \sqrt{1 - e^2} - \left( 1 - \frac{Z}{a} \right) \sqrt{1 - e_1^2} \right) \quad \dots\dots\dots(24)$$

$$e = \sqrt{\frac{b^2}{a^2} - 1} \quad \dots\dots\dots(25)$$

$$e_1 = e \left( 1 - \frac{Z}{a} \right) = e(1 - 2q) \quad \dots\dots\dots(26)$$

ここで、 $S_{dish\_Z}$  : 液深さ  $Z$  における鏡部の濡れ面積 (m<sup>2</sup>)

$b$  : 回転楕円体の長軸 (m)

#### 4. 4. 6 横型バルク貯槽の伝熱面積

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て与えるものとする。

$$A = S_{shell\_Z} + S_{dish\_Z} \quad \dots\dots\dots(27)$$

(23)式及び(24)式を(27)式に代入すると、任意の残液量における伝熱面積として次式を得る。

$$A = L_{shell} D \cos^{-1}(1 - 2q) + \frac{\pi ab}{1.6} \left( \frac{\sin^{-1} e - \sin^{-1} e_1}{e} + \sqrt{1 - e^2} - \left( 1 - 2q \right) \sqrt{1 - e_1^2} \right) \quad \dots\dots(28)$$

#### 4.5 発生能力に寄与するバルク貯槽の顕熱

発生能力に寄与するバルク貯槽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。

$$w_m = w_{m0} \cdot \frac{A}{S_{all}} \quad \dots\dots\dots(29)$$

ここで、  
 $w_m$  : 濡れ部分の重量 (kg)  
 $w_{m0}$  : 本体重量 (kg)  
 $S_{all}$  : 全表面積 (m<sup>2</sup>)

#### 4.6 LPガスの物性値

(1) 液密度  $\rho_l = \sum_i X_i \cdot (K_{3,i} - K_{4,i} \cdot T) \quad \dots\dots\dots(30)$

(2) ベーパ密度  $\rho_v = \sum_i y_i \cdot \frac{K_{5,i}}{T} \quad \dots\dots\dots(31)$

(3) 蒸発潜熱  $L = \sum_i X_i \cdot (K_{6,i} - K_{7,i} \cdot T) \quad \dots\dots\dots(32)$

(4) 液比熱  $C_l = \sum_i X_i \cdot (K_{8,i} + K_{9,i} \cdot T) \quad \dots\dots\dots(33)$

ただし、 $X_i = M_i \cdot x_i / \sum_i M_i \cdot x_i \quad \dots\dots\dots(34)$

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 (—)

$K_{3,i}, K_{4,i}, K_{5,i}, K_{6,i}, K_{7,i}, K_{8,i}, K_{9,i}$  : 定数(表1に示す) (—)

$i = 1$ : プロパン ( $C_3H_8$ )     $i = 2$ : ノルマルブタン ( $n - C_4H_{10}$ )     $i = 3$ : イソブタン ( $i - C_4H_{10}$ )

表1 LPガス物性値計算式の定数の値

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	528	1.323	1.968	372.5166	1.27256	2.3480	0.00393
$n - C_4H_{10}$	58.12	8.198	2864	600	1.081	2.595	383.9864	0.87488	2.1135	0.00322
$i - C_4H_{10}$	58.12	7.838	2648	581.3	1.173	2.595	354.9770	1.06744	2.1629	0.00327

#### 5. バルク貯槽の寸法等及び重量

横型バルク貯槽の寸法等及び重量を表2に示す。

表2 地下埋設式横型バルク貯槽の寸法等及び重量

種類	充填量 (kg)	内容積 (m <sup>3</sup> )	胴部長さ (m)	内径 (m)	鏡部短軸長さ (m)	鏡部長軸長さ (m)	全表面積 (m <sup>2</sup> )	本体重量 (kg)
300kg 横型	300	0.745	1.216	0.80	0.40	0.48	4.43	300
500kg 横型	500	1.240	1.246	1.00	0.50	0.60	6.06	420
980kg 横型	980	2.300	1.300	1.30	0.65	0.78	8.95	850
2.9t 横型	2900	7.099	2.000	1.65	0.825	0.99	16.27	2500

## 6. バルク貯槽の発生能力

地下埋設式バルク貯槽(横型)の発生能力を表3～表6に示す。

表3 地下埋設式300kg 横型バルク貯槽の発生能力

連続消費時間(h)	残液量30wt%						備考
	充填時液相プロパン分:95mol%						
	地中温度:10℃		地中温度:5℃		地中温度:0℃		
開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)		
1	2.4	19.8	-2.6	16.0	-7.6	12.2	充填時液温は地中温度に等しいものとする。 開始液温は消費に伴う液温降下を加味する。
1.5	2.4	14.0	-2.6	11.3	-7.6	8.6	
2	2.4	11.1	-2.6	9.0	-7.6	6.8	
3	2.4	8.3	-2.6	6.7	-7.6	5.1	
4	2.4	6.9	-2.6	5.6	-7.6	4.2	
5	2.4	6.1	-2.6	4.9	-7.6	3.7	
6	2.4	5.7	-2.6	4.5	-7.6	3.4	
7	2.4	5.3	-2.6	4.2	-7.6	3.2	
8	2.4	5.1	-2.6	4.0	-7.6	3.0	

表4 地下埋設式500kg 横型バルク貯槽の発生能力

連続消費時間(h)	残液量30wt%						備考
	充填時液相プロパン分:95mol%						
	地中温度:10℃		地中温度:5℃		地中温度:0℃		
開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)		
1	2.4	31.4	-2.6	25.4	-7.6	19.4	充填時液温は地中温度に等しいものとする。 開始液温は消費に伴う液温降下を加味する。
1.5	2.4	21.9	-2.6	17.7	-7.6	13.5	
2	2.4	17.2	-2.6	13.9	-7.6	10.6	
3	2.4	12.5	-2.6	10.1	-7.6	7.7	
4	2.4	10.3	-2.6	8.2	-7.6	6.3	
5	2.4	8.9	-2.6	7.2	-7.6	5.4	
6	2.4	8.0	-2.6	6.4	-7.6	4.9	
7	2.4	7.5	-2.6	6.0	-7.6	4.5	
8	2.4	7.0	-2.6	5.6	-7.6	4.2	

表5 地下埋設式980kg 横型バルク貯槽の発生能力

連続消費時間(h)	残液量30wt%						備考
	充填時液相プロパン分:95mol%						
	地中温度:10℃		地中温度:5℃		地中温度:0℃		
開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)		
1	2.4	59.2	-2.6	47.9	-7.6	36.5	充填時液温は地中温度に等しいものとする。 開始液温は消費に伴う液温降下を加味する。
1.5	2.4	40.8	-2.6	33.0	-7.6	25.1	
2	2.4	31.6	-2.6	25.5	-7.6	19.4	
3	2.4	22.4	-2.6	18.1	-7.6	13.8	
4	2.4	17.9	-2.6	14.4	-7.6	11.0	
5	2.4	15.2	-2.6	12.2	-7.6	9.3	
6	2.4	13.4	-2.6	10.8	-7.6	8.2	
7	2.4	12.2	-2.6	9.8	-7.6	7.4	
8	2.4	11.3	-2.6	9.1	-7.6	6.8	



表6 地下埋設式2.9t横型バルク貯槽の発生能力

連続消費時間 (h)	残液量30wt%						備考
	充填時液相プロパン分:95mol%						
	地中温度:10℃		地中温度:5℃		地中温度:0℃		
開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)	開始液温(℃)	発生能力(kg/h)		
1	2.4	171.1	-2.6	138.6	-7.6	105.6	充填時液温は地中温度に等しいものとする。 開始液温は消費に伴う液温降下を加味する。
1.5	2.4	116.1	-2.6	94.0	-7.6	71.6	
2	2.4	88.5	-2.6	71.7	-7.6	54.6	
3	2.4	61.1	-2.6	49.4	-7.6	37.6	
4	2.4	47.4	-2.6	38.3	-7.6	29.2	
5	2.4	39.2	-2.6	31.7	-7.6	24.1	
6	2.4	33.7	-2.6	27.3	-7.6	20.7	
7	2.4	29.9	-2.6	24.1	-7.6	18.3	
8	2.4	27.0	-2.6	21.8	-7.6	16.6	

## 制定日

本資料の制定日は、2000年7月1日とする。

## 附則

本資料は、制定日より適用とする。

## 改訂履歴

版数	発行日	改訂内容	改訂者
第1版	2000年7月1日	初版発行	
第1版	2008年11月26日	1.及び2.のタイトルから「基準」を削除	
第1版	2016年3月11日	技術基準の呼称を「E-002」から「D液-002」に変更	
第2版	2020年9月16日	2. ①、②…という表記を(1)、(2)…に変更 2. 対象とするバルク貯槽を「縦型(縦型)」から「横型」に変更。また、「(1)バルク貯槽」から150kg型及び200kg型を削除し、1t型を980kg型に変更。 2. 「(2)LPガス組成」から90mol%を削除 2. 「(6)残液量」は30wt%のみとする。 3. ①、②…という表記を(1)、(2)…に変更 3. 「横型」の定義を(2)として追加 3. 「縦型」を「縦型」に変更。なお、以降の記述においても同様に「縦型」の表記に統一。 3. 「(9)発生能力」の誤字を訂正(「容器圧力」を「バルク貯槽の圧力」に訂正)し、消費終了時の下限圧力を「0.16997MPa」から「0.20MPa」に変更。 また、発生能力の定義を「消費時間中一定な1時間当たりのLPガス発生量」と明確に定義し直した。 4.1 地下式発生能力計算式誘導の説明文を追加 4.1 地下式発生能力計算式(1)式を大幅に変更(地下式の場合、開始液温が地中温度まで回復しないので、この点をより反映できる計算式に変更) 4.1 総括伝熱係数の単位を[W/m <sup>2</sup> ・K]から[kJ/m <sup>2</sup> ・h・°C]に変更 4.1 上記の総括伝熱係数の単位変更により(2)式を変更(単位換算係数3.6を削除) 4.1 各記号の温度の単位を[K]から[°C]に変更 4.1 地中温度を T <sub>s</sub> から T <sub>Snd</sub> 、開始液温を T <sub>a</sub> から T <sub>strt</sub> 、消費終了時の圧力を P <sub>a</sub> から P <sub>s</sub> に変更し、これらの記号変更に伴い、(1)式、(3)式及び(4)式を変更 4.1 (4)式～(6)式を削除し((4)式の脚注も削除)、要因別発生速度の記述変更。また、式の削除により、以降の式番号を変更。 4.1 伝熱発生速度の脚注を削除 4.2 (5)式を変更(残液量 w を残液量比 w <sub>r</sub> に変更)	大井 登

		4.2 記号「T」の説明「温度」を「液温」に変更	
		4.2 温度の単位を[K]から[°C]に変更	
		4.2 定数 $K_1, K_2$ の $i$ 成分の説明を追加	
		4.3 総括伝熱係数の単位を $[W/m^2 \cdot K]$ から $[kJ/m^2 \cdot h \cdot ^\circ C]$ に変更し、工学単位系 (kcal) から SI 単位系 (kJ) への単位換算係数 $\xi$ を追加し、脚注 2) を追記	
		4.3 総括伝熱係数の単位に伴い (10) 式を変更し、係数 $\xi$ 及び係数 $\gamma$ の説明を追記	
		4.3 総括伝熱係数の温度差の計算式 (11) を追加	
		4.3 平均液深さの計算式 (12) 式を横型に変更	
		4.3 「胴部(スレート部)の長さ」を「胴部の長さ」に変更し、胴部長さの記号を「H'」から「 $L_{shell}$ 」に変更 (本変更内容を以降においても同様とする)	
		4.3 総括伝熱係数の単位変更理由を追記	
		初版「4.4 液深さ」及び「4.5 伝熱面積」を第2版では「4.4 横型バルク貯槽の液深さ・伝熱面積」とし、その内容を大幅に変更。	
		4.5 を「発生能力に寄与するバルク貯槽の顕熱」に変更	
		4.5 (29) 式の記号「 $S_2$ 」を「A」に変更	
		4.6 を「LP ガスの物性値」に変更	
		4.6 ①、②…という表記を(1)、(2)…に変更	
		4.6 温度 T の単位を[K]から[°C]に変更	
		4.6 温度の単位変更に伴う表1の定数値を変更	
		4.6 記号の説明に $x_i$ 及び $y_i$ を追加	
		4.6 定数 $K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9$ の $i$ 成分の説明を追加	
		5. 表2の縦型バルク貯槽の寸法等及び重量を横型に変更	
		6. 初版の「6.1」、「6.2」及び「6.3」を削除し、発生能力計算結果を「別添付表による表示」から「本文中の表(表3～表6)による一覧表示」に変更	
		6. 付図による発生能力計算結果の表示は、計算結果の妥当性を検討するには有益であるが、実用上の必要性があまり認められないので削除	
		6. 充填時のプロパン分90mol%の発生能力に関する付表2及び付図2を削除	
		6. パラメータを「外気温」ではなく「残液量」とした場合の発生能力に関する付表3及び付図3(参考1)並びに表4及び付図4(参考2)も実用上の必要性があまり認められないので削除	
		6. 第2版では横型を対象とすることにしたので、初版の「参考3」及び横型バルク貯槽(貯蔵量:150kg、200kg、300kg、500kg、1t及び2.9t)の発生能力に関する付表5及び付表5を削除	