

電気ヒータ付国際大型タンクコンテナの開発

Development of International Large Container with Electrical Heater

(化)技術部 製品開発課
榎本 正
Tadashi Enomoto

On designing of tank container with electrical heater which has no agitating unit, heat balance shall be taken between heat loss from tank container and heating value of electrical heater to hold the temperature of contents (liquid) at specified temperature within very small allowance.

The temperature distribution of contents in tank container is influenced by the location of electrical heater and the position of temperature control. We have obtained the design standard of tank container with electrical heater.

当社は、液体物質の一定温度輸送の目的に供される、電気ヒータ付国際大型タンクコンテナを開発した。本コンテナは、被輸送液体の温度むらが多く、また局部加熱がないという長所を持っている。

ま え が き

国際大型タンクコンテナによる液体化成品の輸送において、被輸送液体の凝固防止の目的で、電気ヒータ付コンテナ(以下ヒータ付タンクコンテナと略称)が使用されている。

コンテナ・ヤードおよびコンテナ船には、電源が用意されており、この目的に供される。さらに、陸上輸送時間が長く、断熱材のみでの温度保持が十分でない場合には、コンテナ・シャーシに発電設備を設けることもある。

近年、被輸送液体の品質保持の目的から、非常に厳しい温度管理が望まれる場合が多い。例えば、タンク内被輸送液体全体を数°Cの温度幅に保持し、さらに、ヒータの局部加熱による被輸送液体の品質劣化を防止するため、タンク壁内面の温度制御さえも要求される。

このような厳しい仕様を満足させるため、実験機による

種々のテストを実施した。その結果、電気ヒータの選定方法、タンク壁への施行方法および温度制御方法等のノウハウを得ることができた。今回、このような実験データを基にし、「電気ヒータ付20フィート級タンクコンテナ」を開発、受注した。本機は局部加熱がなく、さらに被輸送液体を数°Cの温度幅で制御可能である。

本稿では、ヒータ付タンクコンテナの設計指針ならびに、実験機によるテスト結果を紹介する。

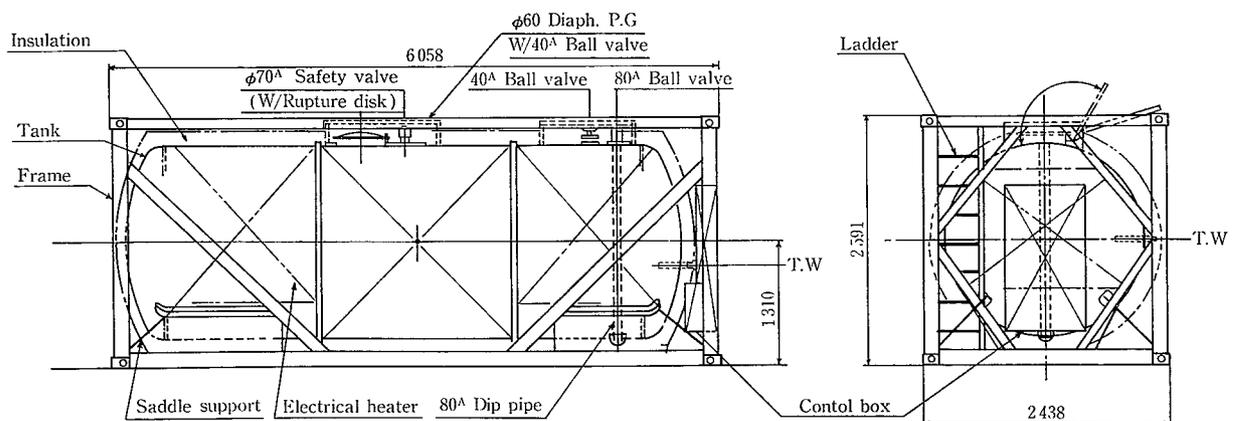
1. ヒータ付タンクコンテナ

ヒータ付タンクコンテナは、タンク壁外面に設置された電気ヒータを制御し、被輸送液体の温度管理を行う国際大型タンクコンテナを意味する。本コンテナには、当然、断熱材および外装が施行されている(第1図)

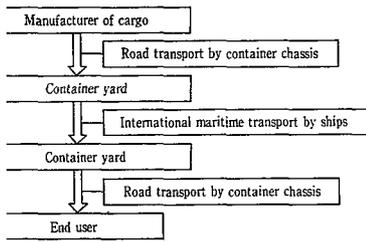
本章では、ヒータ付タンクコンテナの設計上の重要項目について解説する。

1.1 輸送形態と伝熱特性

一般に、容器内の液体を均一に加熱するためには、攪拌機等による強制対流を行う。タンクコンテナは攪拌装置を

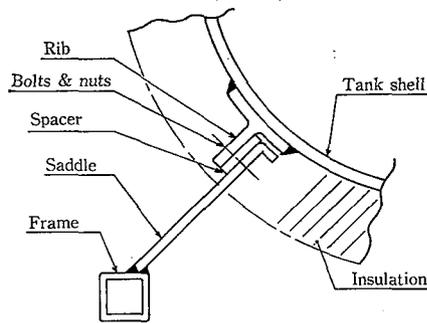


第1図 電気ヒータ付国際大型タンクコンテナ
Fig. 1 Internationall large container with electrical heater



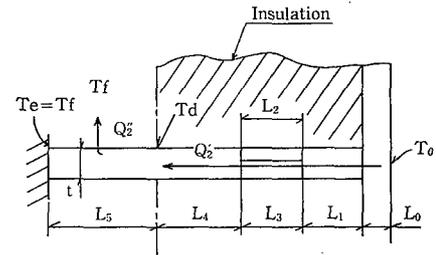
2 図 タンクコンテナ輸送形態

Fig. 2 Transportation forms of tank containers



第3 図 支持構造(サドルサポート)

Fig. 3 Saddle-supports



第4 図 サドルサポートのモデル化

Fig. 4 Model of saddle-supports

さないため、熱源である電気ヒータと被輸送液体との熱垂は、タンク壁を介しての自然対流熱伝達が支配的となり、この場合、当然のことながら、液レベルの上部が熱下部が冷いという、上下方向での温度差が発生し易くなる。したがって、これに対して十分に配慮された設計が要となる。

次に、第2図に示す各輸送過程におけるタンク内被輸送体の流動状況について考察する。

1) 陸上トラック輸送時

走行時の揺れ、発進、停止時に生じる慣性力により、タンク内被輸送液体は流動し、攪拌され、温度は均一化され傾向にある。また、一般的に他の輸送過程に比較し所要時間が短いため、最も良好な条件といえる。

2) 海上船舶輸送時

外洋でのローリング、ピッチングによる流動、攪拌が期されるが、陸上トラック輸送時ほどの効果はないと想定される。また、内海を運行時には大きな揺動はなく、被輸送体の流動は自然対流によるものと想定される。

3) コンテナ・ヤード静置時

コンテナ・ヤードへの搬入、コンテナ船への積み込みの間にタイムラグがあり、静置時間として2日間程度を考慮する必要がある。この場合、被輸送液体の流動は自然対流起因するもののみとなる。すなわち、液の上下方向での温度差が最も発生し易い状況である。

いずれにしても、ヒータ付タンクコンテナの設計に際し、タンク内の流動は自然対流を基に考え、タンク内液体温度差が最小限となるよう、種々の配慮が必要である。この点で、反応機にみられるような、強制対流熱伝達が行われる場合とは、異質の難しさがある。

2 電気式ヒータ

種々の型式の電気式ヒータが市販されており、このなか目的に合致したものを選択する。ヒータ選定の要点は下となる。

1) 輸送容器という特殊性、すなわち耐振動性を有しており、さらに、ヒータの缶体への取付方法も上記を考慮する。

2) 各種ヒータの発熱特性をよく検討する必要がある。すなわち、ヒータ自体の発熱温度が高いものは、シビアな温度制御には不向きである。

1. 3 温度センサ

温度制御用センサとして、一般に、3線式測温抵抗体を使用される。これは、熱電対等他の温度センサに比較し、高い精度が得られることによる。

また、輸送過程での被輸送液体温度の連続記録が必要な場合には、ガス圧膨張型温度記録計を用意している。この記録計は31日間の連続記録が可能である。

1. 4 温度コントローラ

ヒータ付タンクコンテナの制御系の各構成要素中、温度コントローラの耐振・耐衝撃性が最も低く、輸送時の振動及び過酷なハンドリングによる衝撃に耐える選定が必要である。

1. 5 電源電圧

現在世界各国で使用されている電圧は200 V級と400 V級に大分される。アメリカ大陸の国々は200 V級、豪州、ニュージーランドは400 V級、ヨーロッパ大陸の国々は200 V級と400 V級が混在している。したがって、広範囲の輸送に供するためには、200 V級400 V級いずれの電源電圧にも使用可能なよう、ヒータ系および制御系を考慮する必要がある。

2 ヒータ付タンクコンテナの設計

本章では、ヒータ取付容量を決定するための、放熱量計算方法について述べる。

2. 1 断熱材を通しての放熱量

1) 総括伝熱係数 U

$$U = \frac{1}{\delta/\lambda + 1/\alpha_0} \quad (\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}) \quad (1)$$

δ : 断熱材の厚み (m)

λ : 熱伝導係数 (kcal/m·h·°C)

α_0 : 外面熱伝達係数 (kcal/m²·h·°C)

通常 α は 30 ~ 50 kcal/m²·h·°C の値が採用される。

2) 放熱量 Q₁

$$Q_1 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (\text{kcal/h}) \quad (2)$$

A : 断熱外面表面積 (m²)

ΔT : 温度差 (°C)

2. 2 タンク支持構造物からの放熱量

タンクコンテナはタンク部とフレーム部より構成され

(第1図参照),これを結合するための支持構造物がある。この支持構造物を通しての,外部への放熱量はかなり大きい。特に,上記構造物が溶接構造で結合されている場合には,当該部分からの放熱量は,2.1節の断熱材を通しての放熱量の数倍の値をとる。

当社製コンテナの支持構造は,第3図に示すように,ボルト取付形式であり,さらに,断熱スペーサを有しているため,放熱量が小さい。

2. 2. 1 モデル化

第4図に示すように,支持構造物のモデル化を行い,下記の仮定をおく。

- 1) 断熱層内では,支持構造物表面からの伝熱は小さいため無視できる。
- 2) サドル終端部は断熱されている。

2. 2. 2 記号の説明

Q'_2 : 断熱層内熱伝導量	(kcal/h)
Q''_2 : 外サドル表面よりの熱伝達量	(kcal/h)
T_o : タンク内壁温度 (= 液温度)	(°C)
T_d : 断熱境界部の温度	(°C)
T_e : サドル先端部の温度 (= T_f)	(°C)
T_f : 外気温度	(°C)
L_o : タンク胴板厚	(m)
L_1 : リブ部伝熱長さ	(m)
L_2 : ボルト	(m)
L_3 : スペーサ	(m)
L_4 : サドル	(m)
L_5 : サドル放熱長さ	(m)
t : の板厚	(m)
B : の幅	(m)

2. 2. 3 伝熱基礎式

断熱境界部の温度 T_d が未知数である。これを断熱層内熱伝導量 Q'_2 と断熱層外熱伝達量 Q''_2 が等しいとして解く。

1) 断熱層内熱伝導量 Q'_2

総括伝熱係数は

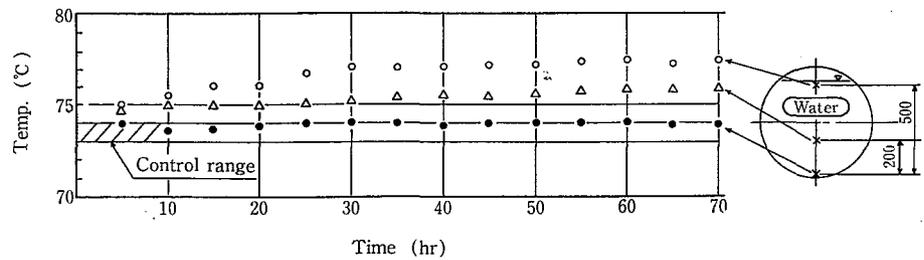
$$U = 1 / \left[\frac{L_o}{\lambda_o} + \frac{L_1}{k_1 \lambda_1} + 1 / \left(\frac{k_2 \lambda_2}{L_2} + \frac{k_3 \lambda_3}{L_3} \right) + \frac{L_4}{\lambda_4} \right] \quad (\text{kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}) \quad (3)$$

λ_o : タンク材熱伝導係数	(kcal/m·h·°C)
λ_1 : リブ材	(kcal/m·h·°C)
λ_2 : ボルト材	(kcal/m·h·°C)
λ_3 : スペーサ材	(kcal/m·h·°C)
λ_4 : サドル材	(kcal/m·h·°C)
k_1 : 修正係数	(-)
k_2 : 〃	(-)
k_3 : 〃	(-)

伝熱量は

$$Q'_2 = U \cdot t \cdot B (T_o - T_d) \quad (\text{kcal/h}) \quad (4)$$

2) 保温外サドル表面よりの熱伝達量 Q''_2



第5図 液温度分布 (ヒータ等ピッチで取付)
Fig. 5 Temperature distribution of liquid (Heater is installed with same pitch)

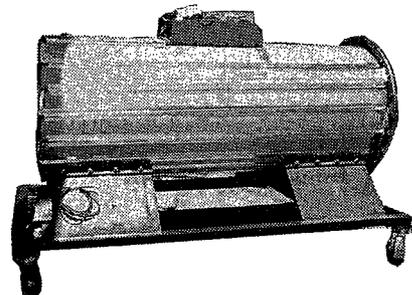


写真1 1/4スケール実験機
Photo. 1 1/4 Scale testing equipment

サドル表面の平均温度は

$$T_m = \frac{\tanh m}{m} (T_d - T_f) + T_f \quad (\text{°C}) \quad (5)$$

ここで m は

$$m = L_5 \sqrt{\frac{2\alpha}{t\lambda_4}} \quad (-) \quad (6)$$

α : 熱伝達係数 (kcal/m²·h·°C)

熱伝達量は

$$Q''_2 = 2\alpha \cdot B \cdot L_5 (T_m - T_f) \\ = 2\alpha \cdot B \cdot L_5 \frac{\tanh m}{m} (T_d - T_f) \quad (\text{kcal/h}) \quad (7)$$

3) 未知数 T_d の算出

$Q'_2 = Q''_2$ より

$$T_d = \frac{\beta T_o + \gamma T_f}{\beta + \gamma} \quad (\text{°C}) \quad (8)$$

ここで

$$\beta = U \cdot t$$

$$\gamma = 2\alpha \cdot L_5 \frac{\tanh m}{m}$$

支持構造物からの放熱量は(4)式あるいは(7)式により計算できる。これを Q_2 とする。

2. 3 その他の部分からの放熱量

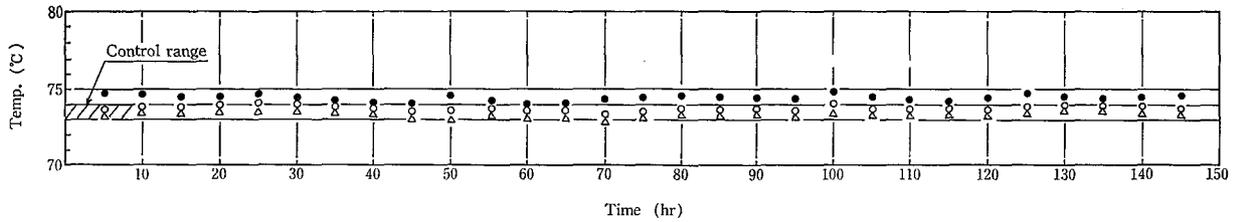
液注排出弁, 安全弁およびマンホールなどタンク付属機器は, ハンドリング時のダメージ防止と放熱防止の目的で蓋付カバーが取付られている。本体分からの放熱量は2.1節と同様に算出できる。

この放熱量を Q_3 とする。

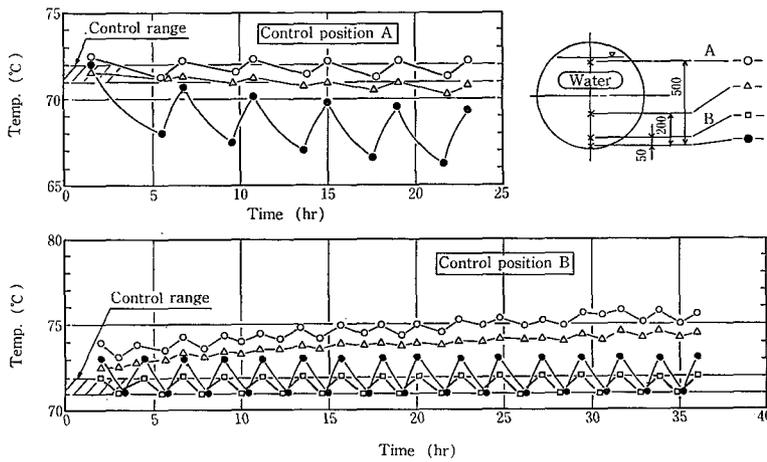
3. 実験機によるテスト結果

3. 1 実験装置

写真1に示す実験機の仕様を次に示す。



第6図 液温度分布 (ヒータ改良取付)
Fig. 6 Temperature distribution of liquid (Heater is installed with irregular pitch)



第7図 液温度分布 (制御位置の影響)
Fig. 7 Temperature distribution of liquid (Effect of control position)

- (1) 寸 法 : ID600 × L1 500
- (2) 容 量 : 424 ℓ
- (3) タンク材質 : SUS 304
- (4) 断 熱 材 : グラスウール '100
- (5) 外 装 : 亜鉛引鉄板
- (6) ヒ ー タ : 全長約 25 m

3. 2 ヒータ取付方法が液温度分布に与える影響

1.1 節に示したように、攪拌装置を有さないタンクコンテナは、液上下方向に温度差が発生し易い傾向にある。この傾向は、ヒータの取付方法を考慮することにより、改善できる。次にその実験例を示す。

第5図は、ヒータをタンクの壁胴部に等ピッチで取付けた場合の、液温度の経時変化を示す。時間の経過にしたがい、液上下方向の温度差が広がり、70時間後には3.5°Cの差が生じた。

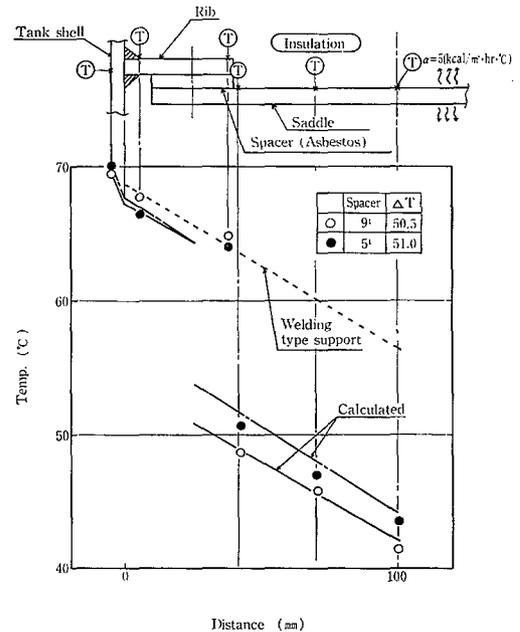
第6図は、ヒータ取付方法を改善した場合の実験結果である。145時間後においても、液上下方向の温度差は1.5°C以内に収まっている。

このように、タンクコンテナがコンテナヤードに静置された場合、あるいは穏やかな海上輸送時におけるように、タンク内被輸送液体が、ヒータの加熱による自然対流しか期待できない場合、ヒータの取付方法如何で温度むらが発生する。上記データは実験機における結果であり、実機への適用はスケールファクタを考慮する必要がある。

3. 3 温度制御位置が液温度分布に与える影響

第7図は、液温度を基準にヒータを ON-OFF 制御した場合の、液温度の経時変化を示す。

上部液体温度を制御した場合、下部液体温度が制御幅を



第8図 サドルサポート部の温度分布
Fig. 8 Temperature distribution of saddle support

離れ下降し、下部液体温度を制御した場合、上部液体温度が制御幅を離れ上昇する。

このように、液温による制御は難しい。

3. 4 支持構造物からの放熱

第8図は支持構造物の温度分布を示す。図中の計算値は2.2節に示した諸式を用いて計算した。

実験値と計算値は1°C以内の精度でよく一致している。タンク側取付ラグと支持用サドル間には、大きな温度ギャップが生じており、スペーサの存在により、大きな断熱効果があることを示している。

図中、支持構造が溶接一体構造となった場合の温度分布との比較においても、当社支持構造の断熱性能の優秀さがわかる。

むすび

今後、輸送物質の多様化が進み、電気ヒータ付タンクコンテナに対する需要はさらに増大するものと想定される。今回開始した電気ヒータ付タンクコンテナは、被輸送液体の温度制御巾±1°Cという極限を追求したものである。従来型ヒータ付コンテナでは輸送不可能であった、シビアな温度制御を要する液体物質輸送に供されれば幸いである。

〔参考文献〕

- 1) 一色尚次：伝熱工学（昭和44年）森北出版