

廃液の沸騰評価について

1. はじめに

9/27の公開会合の参考資料（温度評価）では、供給液槽B（以下、当該貯槽という）の温度評価にあたり、代表的な評価式、考え方等を記載した。また、9/5に提出した「再処理工場 高レベル廃液ガラス固化建屋における供給液槽Bの安全冷却機能の一時喪失について（補正）」の評価モデル（以下、「補正モデル」という）に加え、輻射等を考慮したモデル（以下、「検証モデル」という）による評価結果を記載した。

補正モデルの考え方などについてまとめる。

2. 既許可における評価

2. 1. 評価方法

既許可における評価では、崩壊熱は、貯槽および高レベル廃液（以下、「廃液」という）の温度上昇に使用される計算（断熱評価）である。

沸点到達までの時間評価には式（1）を使用している。

$$\Delta t = \{(M \times C) + (\rho \times V \times C')\} \times \frac{(T_1 - T_0)}{Q \times V} \quad \dots \text{式 (1)}$$

算定パラメータは以下のとおりである。

Δt	: 冷却機能の喪失から沸騰開始までの時間余裕 (s)
M	: 貯槽の質量 (kg)
C	: 貯槽の比熱 (J/kg・K)
ρ	: 廃液の密度 (kg/m ³)
V	: 貯液量 (m ³)
C'	: 廃液の比熱 (J/kg・K)
T ₁	: 廃液の沸点 (°C)
T ₀	: 廃液の初期温度 (°C)
Q	: 崩壊熱密度 (W/m ³)

また、再処理事業指定では、「7.2.1.2.2(2)a.(b)実際の熱条件の影響」において、貯槽等の表面から室内（セル）雰囲気への放熱について評価を実施し、「貯槽等の表面からセル雰囲気への放熱効果は、貯槽等の表面温度とセル雰囲気の温度差に依存し、温度差が20°C～80°Cの範囲において鉛直平板を仮定した場合、貯槽等の表面とセル雰囲気間の熱伝達率は約1.8W/(m²・K)～約3.3W/(m²・K)」としている。

本評価では、以下の式（2）～（7）を用いて、貯槽高さより熱伝達率を算出している。

なお、代表長さLは貯槽全長相当とし、空気の密度、粘度、比熱、熱伝導率に

については、伝熱工学資料の物性値を参考にし、算出している。

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \rho^2 \cdot (T - T_w) L^3}{\mu^2} \dots \text{式 (2)}、Nu_x = C1 \cdot (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{4}} \dots \text{式 (3)}$$

$$C1 = \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{Pr}{2.4} + 4.9Pr^{\frac{1}{2}} + 5Pr \right)^{\frac{1}{4}} \dots \text{式 (4)}、Pr = \frac{C \cdot \mu}{\lambda} \dots \text{式 (5)}$$

$$Nu = \frac{4}{3} \cdot Nu_x \dots \text{式 (6)}、h = \frac{Nu \cdot \lambda}{L} \dots \text{式 (7)}$$

算定パラメータは以下のとおりである。

- Gr : グラスホフ数 (—)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- β : 体積膨張係数 (1/K)
- ρ : 空気の密度 (kg/m³)
- L : 代表長さ (m)
- T : 廃液の沸点 (°C)
- T_w : 廃液の初期温度 (°C)
- μ : 空気の粘度 (Pa · s)
- Nu_x : 局所ヌセトル数 (—)
- C1 : プラントル数の関数 (—)
- Pr : プラントル数 (—)
- C : 空気の比熱 (J / (kg · K))
- λ : 空気の熱伝導率 (W / (m · K))
- Nu : ヌセトル数 (—)
- h : 熱伝達係数 (W / (m² · K))

2. 2. 当該貯槽の評価

再処理事業指定の「7.2.1.2.2(2)a.(b)実際の熱条件の影響」で評価した結果については、代表貯槽に対する評価結果である。

このため、当該貯槽の熱伝達係数を改めて算出した結果、温度差が 20°C～80°C の範囲において鉛直平板を仮定した場合、貯槽等の表面と室内(セル)雰囲気間の熱伝達率は約 1.9W / (m² · K) ～約 2.9W / (m² · K) であった。

3. 当該貯槽の放熱等を考慮した温度評価について

再処理事業指定では、貯槽表面と室内（セル）雰囲気との境界を断熱する条件で評価を行うことにより当該貯槽は約 24 時間で沸騰に至る。しかし、実際の現象としては、再処理事業指定の「7.2.1.2.2(2)a. (b) 実際の熱条件の影響」の記載のとおり、貯槽の表面から室内（セル）雰囲気への放熱が行われる。

このため、放熱等を考慮した温度評価を実施することとした。

3. 1. 当該貯槽の環境について

(1) 供給槽第 2 セルの室内（セル）雰囲気

当該貯槽は、供給槽第 2 セルに設置され、建屋換気設備により冷却された空気がガラス原料搬送設備室を經由し供給され、後段のセル排風機により排気され、供給槽第 2 セルの雰囲気は換気される。

(2) 供給液槽 B の貯槽雰囲気

当該貯槽内は、水素掃気用の圧縮空気や計装圧縮空気などにより空気が供給される。また、貯槽内の空気は、塔槽類廃ガス処理設備等により排気され、換気が行われる。

(3) 供給液槽 B の冷却機能

当該貯槽は、崩壊熱を含む廃液を保有することから、貯槽内に冷却コイルがあり、崩壊熱の除去を実施している。また、貯槽下部に冷却ジャケットがあり、貯槽の冷却が行われている。

事象発生時には、安全冷却水 A 系列が工事中であったため、A 系の冷却コイル内の冷却水および冷却ジャケットの冷却水の循環は停止中であった。

3. 2. 当該貯槽の伝熱

一般的に熱が伝わるメカニズムについては、熱伝導・熱伝達・熱輻射の 3 形態がある。

3. 2. 1. 熱伝導

熱伝導は、温度分布の存在する物体（主に固体）において温度差により熱エネルギーが移動する現象である。

このため、廃液中の崩壊熱により廃液温度が上昇する過程では、貯槽、冷却コイル、冷却ジャケットにおいて発生する。

1 枚の平板の定常熱伝導は、以下の式で評価することができる。

$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{l} \quad \dots \text{式 (8)}$$

Q : 通過熱量 (W)

λ : 熱伝導率

- A : 伝熱面積 (m²)
T : 温度 (K)
l : 厚み (m)

当該貯槽の貯槽厚みは 20 mm であり、貯槽側面（接液部）の面積は約 5m² である。廃液の崩壊熱（約 5400W）が全て貯槽側面を通過すると仮定すると、貯槽内外面の温度差は約 2.5℃ である。

温度差が小さいこと、実際は廃液表面から気相部への放熱等もあり、崩壊熱全てが貯槽側面を通過するものではないことから、本評価では、熱伝導による温度差は考慮しないものとした。

また、本評価では、熱伝導を考慮しないため、貯槽側面（接液部）から貯槽側面（気相部）への熱伝導も考慮しない。なお、貯槽側面（接液部）から貯槽側面（気相部）への熱移動がなくなることにより、貯槽側面（気相部）の貯槽温度が低くなるため、貯槽側面（気相部）からの室内（セル）等への放熱が少なくなり、保守側の評価となる。

3. 2. 2. 熱伝達

熱伝達は、固体表面とこれに触れる流体との間に温度差があるときに生じる熱移動である。

当該貯槽では、貯槽外表面から室内（セル）雰囲気、貯槽（下部）から冷却ジャケット内の冷却水などへの熱移動による放熱があり、廃液の温度上昇評価に考慮する。

また、廃液は液体のため、貯槽の廃ガス（以下、VOG という）に対し、蒸発が行われている。このため、蒸発による放熱についても考慮する。

3. 2. 3. 輻射

輻射は、物質の持つある種の形態のエネルギーが電磁波の形で放出されたり、電磁波を吸収して励起される現象である。

このため、貯槽から室内（セル）、廃液表面から貯槽側面（気相部）の内表面などに輻射による放熱があることから、廃液の温度上昇評価に考慮する。

3. 3. 再処理事業指定からの評価方法の一部見直し

再処理事業指定における熱伝達係数の算出では、予め温度差を定数とし、熱伝達係数を算出している。

しかし実際は、事象発生から廃液温度や貯槽温度は経時的に変化する。本評価では、実際の温度変化を考慮し、以降に示す熱バランス計算がほぼゼロとなる結

果から廃液温度を逆算する。廃液温度が変数となることにより、貯槽温度をはじめ、熱伝達係数等も変数となる。

よって、本評価における熱伝達係数等については、熱バランス計算結果がほぼゼロの時点の廃液温度より算出したものとなる。

各伝熱パスにおける放熱量より、以下の一般式より熱伝達係数を算出している。

$$Q = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad \dots \text{式 (8)}$$

Q : 放熱量 (W)
 h : 熱伝達係数 (W/(m²・K))
 A : 熱伝達面積 (m²)
 T : 温度 (K)

3. 4. 伝熱パスのイメージ

当該貯槽の温度評価において考慮する放熱を図1に示す。

3. 1のように、当該貯槽は、塔槽類排ガス処理設備や建屋換気設備により、VOGや室内（セル）には常時空気が供給され換気される。このため、廃液の温度上昇により、VOG、室内（セル）雰囲気が続いて加熱され、温度上昇することは考えにくいことから、VOGおよび室内（セル）雰囲気温度は評価では一定とする。

一方、廃液、貯槽、冷却コイル（冷却水）、冷却ジャケット（冷却水）は、冷却コイル内の冷却水の循環が停止することにより、廃液中の崩壊熱が除去できず、廃液温度が上昇する。また、廃液からの熱伝達や輻射等により、貯槽、冷却コイル等の温度が上昇する。このため、廃液温度、貯槽温度、冷却コイル温度（冷却水温度）、冷却ジャケット温度（冷却水温度）は可変なものとして評価する。

よって、変動する温度における熱量の出入の関係式に対して全体の熱バランスがゼロに近づいた時、廃液温度が平衡状態となる。

なお、本評価では⑭貯槽（接液部）から貯槽（気相部）への鋼材の熱伝導は無視し、貯槽（気相部）からの放熱量が低下させ、保守側の評価を行う。

$$\left. \begin{aligned} Q_{wt} &= Q_1 - Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_8 - Q_9 - Q_{13} \\ Q_A &= Q_2 \\ Q_B &= Q_5 - Q_6 - Q_7 \\ Q_C &= Q_{13} - Q_{10} - Q_{11} - Q_{12} \end{aligned} \right\} \quad \text{式 (9)}$$

Q_{wt} : 廃液の温度上昇に使用される熱量 (W)

Q_A : 冷却コイル（冷却水）の温度上昇に使用される熱量 (W)

- Q_B : 冷却ジャケット（冷却水）の温度上昇に使用される熱量（W）
 Q_C : 貯槽（気相部）の温度上昇に使用される熱量（W）
 Q_x : 伝熱パス x の熱量（W）

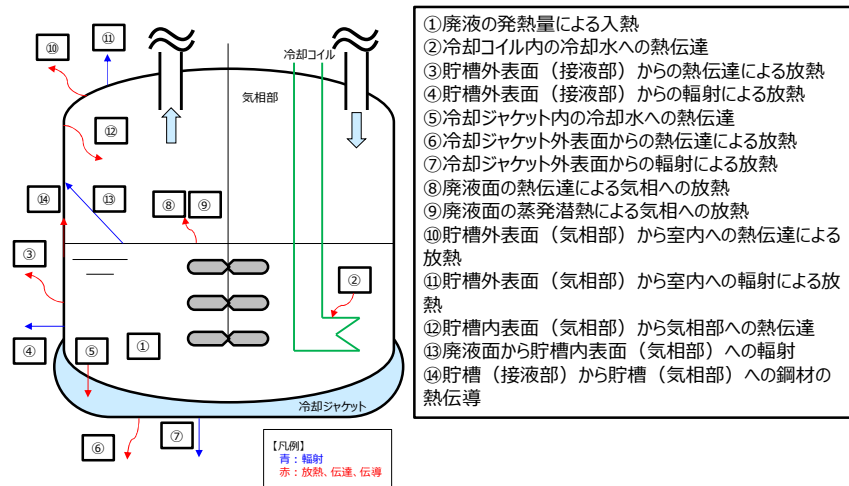


図 1 : 当該貯槽の伝熱経路

3. 5. 各伝熱パスに用いる評価式

3. 5. 1. 熱伝達

図 1 に示す熱伝達については、以下の 8 項目がある。以降に、各々の伝熱パスを評価するために使用した評価式の考え方を記載する。詳細な式及び計算に使用したパラメータは、別紙に記載する。

- ② 冷却コイル内の冷却水への熱伝達
- ③ 貯槽外表面（接液部）からの熱伝達による放熱
- ⑤ 冷却ジャケット内の冷却水への熱伝達
- ⑥ 冷却ジャケット外表面からの熱伝達による放熱
- ⑧ 廃液面の熱伝達による気相への放熱
- ⑨ 廃液面の蒸発潜熱による気相への放熱
- ⑩ 貯槽外表面（気相部）から室内への熱伝達による放熱
- ⑫ 貯槽内表面（気相部）から気相部への熱伝達

3. 5. 1. 1. 熱伝達③、⑧、⑩、⑫（貯槽側面部）に使用する評価式

熱伝達については、図1の③、⑩（貯槽側面部）、⑫（貯槽側面部）は、貯槽側面部のため、鉛直平板層流熱伝達で評価を行う。

本評価については、再処理事業指定と同様の評価方法のため、式（2）～（4）および式（6）に準じ評価を行う。

また、⑧は廃液中の熱を気相部へ、⑩（貯槽上部面）は貯槽上部面から室内（セル）へ放熱を行うことから、水平平板の上向き加熱面に該当する。伝熱工学資料では、水平平板の上向き加熱面の層流熱伝達率については、鉛直面に対する式が適応できることより式（2）～（4）、式（6）を使用した。

代表長さについては、再処理事業指定では対象貯槽の貯槽長さを採用している。このため、本評価においても、評価部位の全長を採用した。

ただし、⑩貯槽外表面（気相部）から室内への熱伝達による放熱については、貯槽側面（気相部）と貯槽上部面の伝熱面積を合計したものを使用し、代表長さについては、貯槽全長から接液高さ（液位）の長さのみとした。

代表長さについても、評価対象の貯槽の長さのため、再処理事業指定の貯槽長さと同じ考えである。

なお、本評価では、再処理事業指定で使用した粘度ではなく、伝熱工学資料のグラスホフ数の公式にある空気の動粘度を用い算出した。

また、プラントル数についても、伝熱工学資料の表の値を参考とした。

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

- ν : 空気の動粘度 (mm²/s)
 ρ : 空気の密度 (kg/m³)
 μ : 空気の粘度 (Pa・s)

3. 5. 1. 2. 熱伝達⑤に使用する評価式

冷却ジャケット内の冷却水は、貯槽下部と冷却ジャケットの間に存在する。工事により冷却ジャケット内の冷却水の循環は停止している。このため、冷却ジャケットの冷却水は、平行する貯槽下部と冷却ジャケットの間にある密閉された流体となる。

このため、冷却ジャケット内の冷却水については、無限水平流体層として評価する。

評価では、無限水平流体層で使用可能な以下の式によりNu、f(Pr)を算出した。また、Gr数については、再処理事業指定で使用した式（2）に準じた。

$$Nu = \left\{ \left[1 + 1.446 \left(1 - \frac{Ra_{cr}}{Ra_l} \right) \right]^{15} + \left[\frac{Ra_l \times f(Pr)}{1420} \right]^5 \right\}^{\frac{1}{15}}$$

$$f(Pr) = \left[1 + \left(\frac{0.5}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{-16/9}$$

3. 5. 1. 3. 熱伝達⑥、⑫（貯槽天板部）に使用する評価式

冷却ジャケットは貯槽下部に設置されている。このため、貯槽外表面（接液部）のように放熱面が鉛直平板ではなく、水平平板になる。

冷却ジャケット外表面からの放熱では、冷却ジャケット内側の冷却水より熱伝達が行われ、その後冷却ジャケット外表面から室内（セル）雰囲気へ熱伝達が行われる。このため、加熱面は上面となることから、Nu数は水平平板層流熱伝達の下向き加熱が適用できる。

また、⑫貯槽内表面（気相部）から気相部への熱伝達についても、貯槽天板部は、水平平板であり、貯槽の熱が気相部に放熱するパスのため、貯槽内面が上部となり、貯槽内の気相部（VOG）が下部となることから、冷却ジャケットと同様に、下向き加熱が適用できる。

Nu数については、以下の水平平板層流熱伝達（下向き加熱）の公式を使用した。その他Gr数等については、再処理事業指定で使用した式（2）、（4）、（6）に準じた。

$$Nu = 0.6 \times (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{5}} \quad \text{適用範囲 } 10^6 \leq Gr \cdot Pr \leq 10^{11}$$

3. 5. 1. 4. 熱伝達②に使用する評価式

貯槽内には不溶解残渣等の貯槽底部の堆積抑制等の目的から、攪拌機が設置されている。攪拌機の羽根の数に対し、冷却コイルの巻数が多いことから、冷却コイルの熱伝達係数については、「熱交換機器設計ハンドブック」のパドル羽根の攪拌機を用いた場合の一般式として「邪魔板を配置した場合」の式を使用した。

$$\frac{h_{cw} \cdot D_T}{k} = 2.68(Re)^{0.56} \cdot (Pr)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \cdot \left(\frac{D_i}{D_T} \right)^{-0.3} \cdot \left(\frac{ib}{D_T} \right)^{0.3} \cdot (n_p)^{0.2} \cdot \left(\sum \frac{H_{li}}{iH_i} \right)^{0.15} \cdot [\sin(\theta)]^{0.5} \cdot \left(\frac{H_i}{D_T} \right)^{-0.5}$$

適用範囲 $Re > 100$ 、 $2000 > Pr > 2$

各記号については、別紙参照。

3. 5. 1. 5. 熱伝達⑨に使用する評価式

当該貯槽の気相部空気は、塔槽類廃ガス処理設備により、空気の入れ替わりが行われている。このため、飽和蒸気状態にならないことから、平時から廃液の蒸

発が行われている。

一般的に水の蒸発速度は、以下の式により算出が可能である。

$$v = \frac{Sh \cdot Dh \cdot (c1 - c2)}{L_w} \quad \dots \text{式 (x x)}$$

- v : 蒸発速度 (kg/(m²・s))
- Sh : シャーウッド数 (-)
- Dh : 水蒸気の拡散係数 (m²/s)
- c1 : 水面付近の飽和蒸気量 (kg/m³)
- c2 : 空気の蒸気量 (kg/m³)

シャーウッド数については、「物質移動の基礎と応用」(丸善(株))の以下の式により算出した。

$$Sh = 0.332 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Sc^{\frac{1}{3}} \quad \text{適用範囲 } Sc \leq 1000$$

また、水蒸気の拡散係数については、「膜状凝縮熱伝達」((財)九州大学出版)より、「空気と水蒸気の混合気の物性値」の式を用いて算出した。

$$Dh = \frac{1.61 \times 10^{-8} \cdot T_{wt}^{2.1}}{p} \quad \text{適用範囲 } 0^\circ\text{C} \leq T \leq 100^\circ\text{C}$$

3. 5. 2. 輻射

図1に示す輻射については、以下の4項目がある。以降に、各々の伝熱パスを評価するために使用した評価式の考え方を記載する。詳細な式及び計算に使用したパラメータは、別紙に記載する。

- ④貯槽外表面(接液部)からの輻射による放熱
- ⑦冷却ジャケット外表面からの輻射による放熱
- ⑪貯槽外表面(気相部)から室内への輻射による放熱
- ⑬廃液面から貯槽内表面(気相部)への輻射

3. 5. 2. 1. 輻射に使用する評価式

輻射については、一般的にステファン・ボルツマンの法則により評価することが可能である。

このため、④、⑦、⑪、⑬については、単位面積当たりの放熱量を算出し、対象面積を乗算することで、放熱量を算出した。

$$Q = A\sigma\varepsilon (T_a^4 - T_b^4)$$

- Q : 放熱量 (W)
 A : 熱伝達面積 (m²)
 σ : ステファン・ボルツマン定数 (=5.67×10⁻⁸)
 ε : 輻射率 (-)
 T : 温度 (K)

3. 5. 3. 熱源

3. 5. 3. 1. 熱源①について

高レベル廃液中には、放射性物質が含まれていることから、崩壊熱を保有する。廃液中の崩壊熱は、分析により核種毎の濃度等から算出している。

今回、現実的な評価を行うにあたり、過去の分析結果に対して、事象発生までの減衰を考慮した崩壊熱を設定した。

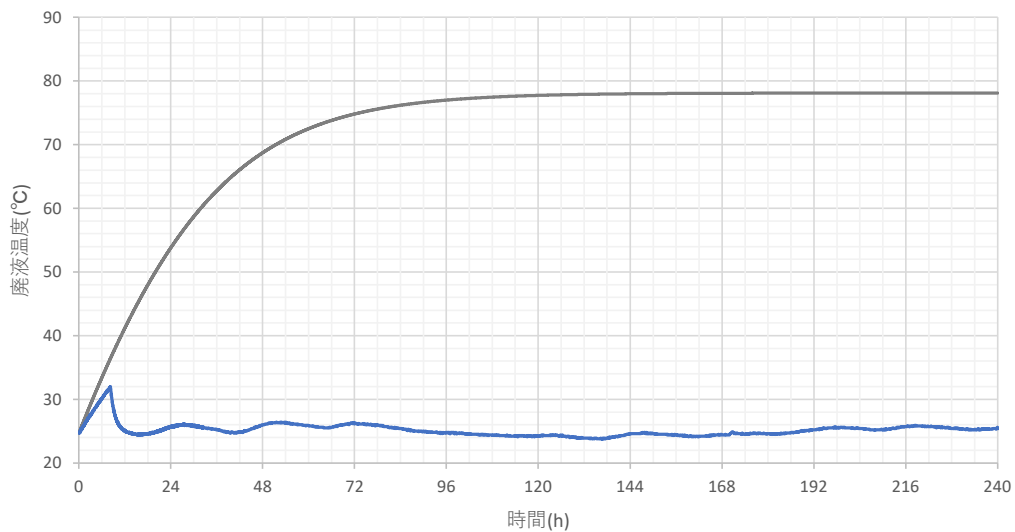
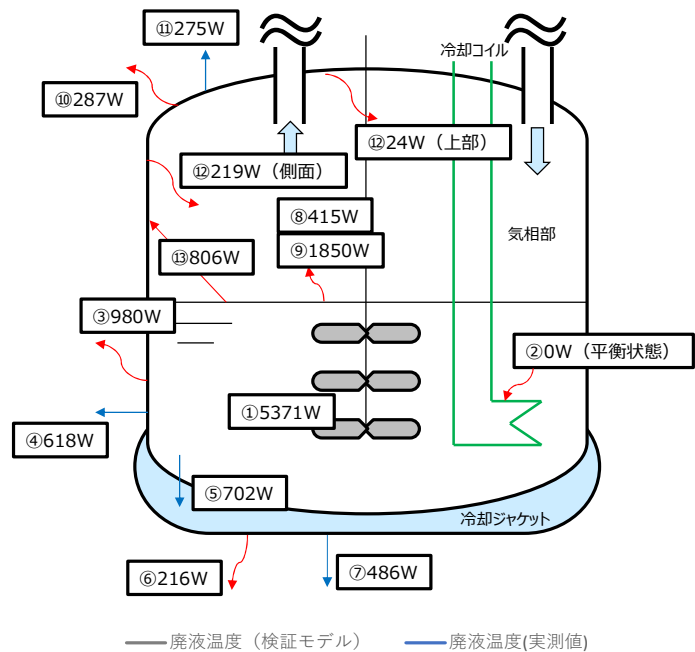
4. 評価

上記3. に示す評価式および別紙の評価式、パラメータを用い、式(9)の熱バランス計算を行った結果、廃液温度は事象発生から約120時間で温度上昇が平衡状態となった。

各伝熱パスにおける熱バランス時の熱量は下表のとおりであった。

表1 各伝熱パスにおける熱量

伝熱パス	熱量 (W)	伝熱パス	熱量 (W)
①	5371	⑧	415
②	0	⑨	1850
③	980	⑩	287
④	618	⑪	275
⑤	702	⑫	貯槽側面：219
⑥	216		貯槽上部：24
⑦	486	⑬	806



5. 参考

表1で得られた各部における伝熱量について、参考に熱伝達係数を算出した。なお、輻射における熱伝達係数は、式(8)を参考に算出した。

貯槽側面からの熱伝達係数は、熱伝達と輻射を加味すると接液部で約 $6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (温度差約 50°C)、気相部で約 $3.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (温度差約 10°C) であった。

再処理事業指定ベースにおける当該貯槽の熱伝達係数は、温度差が $20^\circ\text{C} \sim 80^\circ\text{C}$ の範囲において約 $1.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \sim 2.9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ であった。

検証モデルでは、再処理事業指定から崩壊量および各評価に使用する代表長さを実態ベースに合わせて計算したことから、再処理事業指定より高い熱伝達係数を使用しても問題ないと考える。

表2 各伝熱パスにおける熱伝達率

伝熱パス	熱伝達係数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)	伝熱パス	熱伝達係数 ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$)
①	—	⑧	約 3.0
②	—	⑨	—
③	約 3.7	⑩	約 1.9
④	約 2.3	⑪	約 1.8
⑤	約 260	⑫	貯槽側面：約 1.9
⑥	約 1.0		貯槽上部：約 0.7
⑦	約 2.3	⑬	約 1.8

以上

伝熱パスの評価に用いる評価式およびパラメータ

各伝熱パスに使用した式およびパラメータを以降に示す。

温度評価では、式1の熱バランスがとれる廃液温度、冷却ジャケット温度等を算出している。

出典等の記載について、伝熱工学資料（x版）は「(伝x)」、式1により算出された結果については、出典等に「算出結果」と記載する。

$$\left. \begin{aligned} Q_{wt} &= Q_{①} - Q_{②} - Q_{③} - Q_{④} - Q_{⑤} - Q_{⑧} - Q_{⑨} - Q_{⑬} \\ Q_A &= Q_{⑤} - Q_{⑥} - Q_{⑦} \\ Q_B &= Q_{⑬} - Q_{⑩} - Q_{⑪} - Q_{⑫} \end{aligned} \right\} \text{式1}$$

Q_{wt} : 廃液の温度上昇に使用される熱量 (W)

Q_A : 冷却ジャケットの温度上昇に使用される熱量 (W)

Q_B : 貯槽（気相部）の温度上昇に使用される熱量 (W)

Q_x : 伝熱パス x の熱量 (W)

①廃液の発熱量による入熱

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{①}$	廃液の崩壊熱量	5371	W	※1

※1：2013年1月の分析結果から、2022年7月時点(約3400日)の減衰を考慮した値。

②冷却コイル内の冷却水への熱伝達

$$Q_{②} = h_{cw} \cdot A_c \cdot (T_{wt} - T_{cw})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{②}$		0	W	
h_{cw}	冷却コイル外面の熱伝達率	2000	W/(m ² ・K)	※1
A_c	冷却コイル外面の熱伝達面積	3.49	m ²	設計図面
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{cw}	冷却コイル温度	77.8	°C	算出結果

※1：熱交換機設計ハンドブック p845 23.14式

熱交換機設計ハンドブック p845 23.14 式

$$\frac{h_{cw} \cdot D_T}{k} = 2.68(Re)^{0.56} \cdot (Pr)^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \cdot \left(\frac{D_i}{D_T}\right)^{-0.3} \cdot \left(\frac{ib}{D_T}\right)^{0.3} \cdot (n_p)^{0.2} \cdot \left(\sum_i \frac{H_{i,i}}{iH_i}\right)^{0.15} \cdot [\sin(\theta)]^{0.5} \cdot \left(\frac{H_i}{D_T}\right)^{-0.5}$$

記号	名称	値	単位	出典等
h_{cw}	冷却コイル外面の熱伝達率	2254	W/(m ² ・K)	②では保守側に設定
D_T	貯槽の内径	1.8	m	設計図面
k	廃液の熱伝導率	0.45	W/(m・K)	
Re	レイノズル数	759310	—	$Re = \rho \cdot N D_i^2 / \mu$
Pr	プラントル数	6.864	—	$Pr = C \cdot \mu / k$
μ	貯槽内の流体粘度 (流体温度における値)	3.96	kg/(m・hr)	
μ_w	貯槽内の流体粘度 (コイル外壁温度における値)	3.96	kg/(m・hr)	
D_i	攪拌翼径	0.61	m	設計図面
i	羽根の段数	3	—	設計図面
b	羽根の幅	0.1	m	設計図面
n_p	羽根翼の枚数	4	—	設計図面
$H_{i,i}$	i 段目の羽根の高さ (貯槽の底から)	0.5586 1.0156	m m	設計図面 1 段目、2 段目の順
H_i	液深	1.212	m	設計図面
θ	羽根翼の傾斜角度	$\pi / 6$	rad	設計図面
n_p	羽根翼の枚数	4	—	設計図面
ρ	廃液の密度	1300	kg/m ³	
N	攪拌機の回転数	6216	1/hr	103.6rpm
C	廃液の比熱	0.78	kcal/(kg・K)	

③貯槽外表面（接液部）からの熱伝達による放熱

$$Q_{\text{③}} = h_a \cdot A \cdot (T_{wt} - T_{wt0})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{\text{③}}$		980	W	
h_a	貯槽（接液部）の熱伝達率	3.7	W/(m ² ・K)	(伝5) $h = \text{Nu} \cdot \lambda / L$
A	貯槽（接液部）の熱伝達面積	3.49	m ²	設計図面
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	※1

※1：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

記号	名称	値	単位	出典等
Nux	局所ヌセルト数	8.57×10^1	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(2) $Nux = Ct(Pr) \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$ $10^4 \leq Gr \cdot Pr \leq (4 \sim 30) \times 10^9$
Ct (Pr)	プラントル数の関数	3.87×10^{-1}	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(3) $Ct(Pr) = 3/4 \cdot (Pr/2.4 + 4.9Pr^{1/2} + 5Pr)^{1/4}$
Gr	グラスホフ数	3.35×10^9	—	(伝5) $Gr = g\beta (T_w - T_{wt0}) \cdot L^3 / \nu^2$
g	重力加速度	9.81	m/s ²	
β	体膨張係数	3.36×10^{-3}	1/K	(伝5) $\beta = 1/T$
L	代表長さ	0.863	m	冷却ジャケットに覆われた高さを除く液位
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	(上記の表※1と同様)
ν	動粘性係数	1.83×10^{-5}	m ² /s	(伝4) P329 表1 空気
Pr	プラントル数	7.19×10^{-1}		(伝4) P329 表1 空気
λ	熱伝導率	2.79×10^{-2}	W/(m・K)	(伝4) P329 表1 空気
T_f	膜温度	51.2	°C	(伝5) $T_f = (T_{wt} + T_{wt0}) / 2$
Nu	ヌセルト数	1.14×10^1	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(4) $Nu = 4/3 \cdot Nux$

④貯槽外表面（接液部）からの輻射による放熱

$$Q_{④} = A \cdot \sigma \cdot \epsilon \cdot (T_{wt}^4 - T_{wt0}^4)$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{④}$		618.49	W	
A	貯槽（接液部）の放熱面積	4.99	m ²	設計図面
σ	ステファンボルツマン定数	5.67×10^{-8}	W/(m ² ・K ⁴)	
ϵ	輻射率	0.3		※1
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	※2

※1：ステンレス鋼の輻射率 $\epsilon = 0.2$ （鏡面仕上げ）～0.45（圧延ステンレス鋼板）より設定。

※2：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は 24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は 18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

$$h'_a = \frac{Q_{④}}{A \cdot (T_{wt} - T_{wt0})}$$

記号	名称	値	単位	出典等
h'_a	貯槽（接液部）の熱伝達率※1	2.34	W/(m ² ・K)	

※1：輻射熱が熱伝達によるものと仮定し、算出した値。

⑤冷却ジャケット内の冷却水への熱伝達

$$Q_{\text{⑤}} = h_{jw} \cdot A_j \cdot (T_{wt} - T_{jw})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{\text{⑤}}$		702	W	
h_{jw}	冷却ジャケット水の熱伝達率	2.57×10^2	W/(m ² ・K)	(伝5) $h = \text{Nu} \cdot \lambda / L$
A_j	貯槽下部面の熱伝達面積	3.47	m ²	設計図面
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{jw}	冷却ジャケット水温度	77.0	°C	算出結果※1

※1：廃液温度（計算結果）と冷却ジャケット温度（計算結果）の平均値（膜温度）。

記号	名称	値	単位	出典等
Nu	ヌセルト数	1.55×10^1	—	(伝5) 無限水平流体層 式(34)
Ra_{cr}	臨界レイリー数	1.71×10^3	—	
Ra_l	レイリー数	9.76×10^6	—	(伝5) $Ra_l = Gr \cdot Pr$
Gr	グラスホフ数	4.02×10^6	—	(伝5) 無限水平流体層 式(35)
$f(Pr)$	プラントル数の関数	5.42×10^{-1}	—	(伝5) 無限水平流体層 式(35)
Pr	プラントル数	2.43		(伝4) P325 水 (T_f 値相当)
g	重力加速度	9.81	m/s ²	
β	体膨張係数	6.00×10^{-4}	1/K	ドイツ技術者協会 VDI 建築設備部会
l	厚さ	0.04	m	設計図面
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{jtw}	冷却ジャケット温度	76.2	°C	算出結果
ν	動粘性係数	3.84×10^{-7}	m ² /s	(伝4) P325 水 (T_f 値相当)
λ	熱伝導率	6.64×10^{-1}	W/(m・K)	(伝4) P325 水 (T_f 値相当)
T_f	膜温度	77.0	°C	(伝5) $T_f = (T_{wt} + T_{wt0}) / 2$

(伝5) 無限水平流体層 式 34

$$Nu = \left\{ \left[1 + 1.446 \left(1 - \frac{Ra_{cr}}{Ra_l} \right) \right]^{15} + \left[\frac{Ra_l \times f(Pr)}{1420} \right]^5 \right\}^{\frac{1}{15}}$$

(伝5) 無限水平流体層 式 35

$$f(Pr) = \left[1 + \left(\frac{0.5}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{-16/9} \quad Gr = \frac{g\beta(T_{wt} - T_{jtw})l^3}{\nu^2}$$

⑥冷却ジャケット内の冷却水への熱伝達

$$Q_{\text{⑥}} = h_{jw} \cdot A_j \cdot (T_{wt} - T_{jw})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{\text{⑥}}$		702	W	
h_{aj}	冷却ジャケット外面の熱伝達率	1.03	W/(m ² ・K)	(伝 5) 水平平板層流熱伝達
A_{aj}	冷却ジャケット外面の熱伝達面積	4.07	m ²	設計図面
T_j	冷却ジャケット表面温度	76.2	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	※1

※1：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

記号	名称	値	単位	出典等
Nu	ヌセルト数	7.52×10^1		(伝 5) 水平平板下向き加熱面式(14) $Nu=0.6 * (Gr*Pr)^{1/5}$ $10^6 \leq Gr*Pr \leq 10^{11}$
Ct (Pr)	プラントル数の関数	3.87×10^{-1}		(伝 5) 鉛直平板層流熱伝達 式(3) $Ct(Pr)=3/4*$ $(Pr/2.4+4.9Pr^{1/2}+5Pr)^{1/4}$
Gr	グラスホフ数	4.31×10^{10}		(伝 5) 無限水平流体層 式(35) $Gr=g\beta (T_w-T_{wt0})*L^3/\nu^2$
g	重力加速度	9.81	m/s ²	
β	体膨張係数	3.40×10^{-3}	1/K	(伝 5) $\beta=1/T$
D	代表長さ	2.03	m	冷却ジャケットに覆われた高さを除く液位
T_j	冷却ジャケット表面温度	76.2	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	(上記の表※1と同様)
ν	動粘性係数	1.82×10^{-5}	m ² /s	(伝 4) P329 空気 (T_f 値相当)
Pr	プラントル数	7.19×10^{-1}		(伝 4) P329 空気 (T_f 値相当)
λ	熱伝導率	2.78×10^{-2}	W/(m・K)	(伝 4) P329 空気 (T_f 値相当)
T_f	膜温度	50.5	°C	(伝 5) $T_f= (T_{wt}+T_{wt0}) / 2$

⑦冷却ジャケット外表面からの輻射による放熱

$$Q_{⑦} = A_{aj} \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{wt}^4 - T_{wt0}^4)$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{⑦}$		485.8	W	
A_{aj}	冷却ジャケットの放熱面積	4.07	m ²	設計図面
σ	ステファンボルツマン定数	5.67×10^{-8}	W/(m ² ·K ⁴)	
ε	輻射率	0.3		※1
T_j	冷却ジャケット表面温度	76.2	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	※2

※1：ステンレス鋼の輻射率 $\varepsilon = 0.2$ (鏡面仕上げ) ~ 0.45 (圧延ステンレス鋼板) より設定。

※2：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は 24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は 18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

$$h'_{aj} = \frac{Q_{⑦}}{A_{aj} \cdot (T_j - T_{wt0})}$$

記号	名称	値	単位	出典等
h'_{aj}	冷却ジャケットの熱伝達率※1	2.32	W/(m ² ·K)	

※1：輻射熱が熱伝達によるものと仮定し、算出した値。

⑧廃液面の熱伝達による気相への放熱

$$Q_{\text{⑧}} = h_k \cdot A_k \cdot (T_{\text{wt}} - T_{\text{vog}})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{\text{⑧}}$		415	W	
h_a	廃液液面の熱伝達率	3.08	W/(m ² ・K)	(伝5) $h = \text{Nu} \cdot \lambda / L$
A_k	廃液液面の熱伝達面積	2.54	m ²	設計図面
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_{vog}	塔槽類廃ガス (VOG) 温度	24.7	°C	※1

※1：VOG 温度は、温度計測ができないため、貯槽内の廃液温度が 24.7°C であることから熱平衡状態となっている VOG の温度は 24.7°C 程度として設定。

記号	名称	値	単位	出典等
Nux	局所ヌセルト数	1.49×10^2		(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(2) $\text{Nux} = \text{Ct}(\text{Pr}) \cdot (\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{1/4}$ $10^4 \leq \text{Gr} \cdot \text{Pr} \leq (4 \sim 30) \times 10^9$
$\text{Ct}(\text{Pr})$	プラントル数の関数	3.87×10^{-1}		(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(3) $\text{Ct}(\text{Pr}) = 3/4 \cdot (\text{Pr}/2.4 + 4.9\text{Pr}^{1/2} + 5\text{Pr})^{1/4}$
Gr	グラスホフ数	3.08×10^{10}		(伝5) $\text{Gr} = g \beta (T_w - T_{\text{wt}0}) \cdot L^3 / \nu^2$
g	重力加速度	9.81	m/s ²	
β	体膨張係数	3.40×10^{-3}	1/K	(伝5) $\beta = 1/T$
L	代表長さ	1.80	m	冷却ジャケットに覆われた高さを除く液位
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
$T_{\text{wt}0}$	セル内温度	24.7	°C	(上記の表※1と同様)
ν	動粘性係数	1.83×10^{-5}	m ² /s	(伝4) P329 表1 空気
Pr	プラントル数	7.19×10^{-1}		(伝4) P329 表1 空気
λ	熱伝導率	2.79×10^{-2}	W/(m・K)	(伝4) P329 表1 空気
T_f	膜温度	51.2	°C	(伝5) $T_f = (T_{\text{wt}} + T_{\text{wt}0}) / 2$
Nu	ヌセルト数	1.99×10^2		(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(4) $\text{Nu} = 4/3 \cdot \text{Nux}$

⑨ 廃液面の蒸発潜熱による気相への放熱

$$Q_{\text{⑨}} = L \cdot A \cdot v$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{\text{⑨}}$		415	W	
L	蒸発潜熱	2.31×10^3	kJ/kg	
A	廃液面面積	2.55	m ²	貯槽内面直径 1.8
v	蒸発速度	3.14×10^{-4}	kg/(m ² ・s)	$v = Sh \cdot Dh \cdot (c_1 - c_2) / Lw$

記号	名称	値	単位	出典等
Sh	シャーウッド数	5.98×10^1	—	"丸善 物質移動の基礎と応用 P71 ※1
Lw	水面の代表長さ	1.80	m	貯槽内面直径 1.8
Re	レイノズル数	5.74E+04		$Re = uLw / \nu$
u	風速	5.00E-01	m/s	化学処理工程系統図
ν	動粘性係数	1.57E-05	m ² /s	空気
Sc	シュミット数	4.24E-01		$Sc = \nu / Dh$

※1 : $Sh = 0.332 \cdot Re^{\frac{1}{2}} \cdot Sc^{\frac{1}{3}}$ 適用範囲 $Sc \leq 1000$

記号	名称	値	単位	出典等
Dh	水蒸気の拡散係数	3.70×10^{-5}	m ² /s	"膜状凝縮熱伝達 (財)九州大学出版※2
Twt	廃液温度	7.78E+01	°C	算出結果
p	貯槽内圧力	9.64E+01	hPa	

※2 : $Dh = \frac{1.61 \times 10^{-8} \cdot T_{wt}^{2.1}}{p}$ 適用範囲 $0^\circ\text{C} \leq T \leq 100^\circ\text{C}$

記号	名称	値	単位	出典等
c1	水面付近の飽和蒸気量	2.67×10^{-1}	kg/m ³	$c1 = a1 * RH1$
c2	空気の蒸気量	1.13×10^{-2}	kg/m ³	$c2 = a2 * RH2$
RH1	相対湿度（水面）	1.00E+00		
a1	飽和蒸気量（水面付近）	2.67E-01	kg/m ³	$a1 = 217 * e1 / (Twt + 273.15) / 100$
e1	飽和水蒸気圧（水面付近）	4.32E+02	hPa	膜状凝縮熱伝達（財）九州大学出版 $e1 = 2.172 * 10^4 * \exp \left(\left(1 - 647.3 / Twt \right) (6.359 + 352.8 / Twt) \right)$
RH2	相対湿度（空気）	5.00E-01		
a2	飽和蒸気量（空気）	2.27E-02	kg/m ³	$a2 = 217 * e2 / (Tvog + 273.15) / 100$
e2	飽和水蒸気圧（空気）	3.11E+01	hPa	"膜状凝縮熱伝達（財）九州大学出版 $e2 = 2.172 * 10^4 * \exp \left(\left(1 - 647.3 / Tvog \right) (6.359 + 352.8 / Tvog) \right)$ "
Tvog	VOG 温度	2.47E+01	°C	"液面付近の気相部では、VOG 温度は上昇するが、以下の理由により、定常評価では、VOG 温度は一定である評価とした。

※ 1：VOG 温度は、温度計測ができないため、貯槽内の廃液温度が 24.7°C であることから熱平衡状態となっている VOG の温度は 24.7°C 程度として設定。

⑩貯槽外表面（気相部）から室内への熱伝達による放熱

$$Q_{⑩} = h_b \cdot A_b \cdot (T_b - T_{wt0})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{⑩}$		287	W	
h_b	貯槽外表面（気相部）の熱伝達率	1.97	W/(m ² ・K)	(伝5) $h = \text{Nu} \cdot \lambda / L$
A_b	貯槽外表面（気相部）の熱伝達面積	15.1	m ²	設計図面
T_b	廃液温度	34.4	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	※1

※1：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

記号	名称	値	単位	出典等
Nux	局所ヌセルト数	1.14×10^2	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(2) $Nux = Ct(Pr) \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$ $10^4 \leq Gr \cdot Pr \leq (4 \sim 30) \times 10^9$
$Ct(Pr)$	プラントル数の関数	3.87×10^{-1}	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(3) $Ct(Pr) = 3/4 \cdot (Pr/2.4 + 4.9Pr^{1/2} + 5Pr)^{1/4}$
Gr	グラスホフ数	1.05×10^{10}	—	(伝5) $Gr = g\beta(T_w - T_{wt0}) \cdot L^3 / \nu^2$
g	重力加速度	9.81	m/s ²	
β	体膨張係数	3.40×10^{-3}	1/K	(伝5) $\beta = 1/T$
L	代表長さ	2.04	m	接液部を除く貯槽高さ
T_b	気相部貯槽温度	34.4	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	(上記の表※1と同様)
ν	動粘性係数	1.61×10^{-5}	m ² /s	(伝4) P329 表1 空気
Pr	プラントル数	7.20×10^{-1}		(伝4) P329 表1 空気
λ	熱伝導率	2.64×10^{-2}	W/(m・K)	(伝4) P329 表1 空気
T_f	膜温度	29.5	°C	(伝5) $T_f = (T_{wt} + T_{wt0}) / 2$
Nu	ヌセルト数	1.52×10^1	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(4) $Nu = 4/3 \cdot Nux$

①貯槽外表面（気相部）から室内への輻射による放熱

$$Q_{\text{①}} = A_b \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_b^4 - T_{\text{wt0}}^4)$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{\text{①}}$		275.0	W	
A_b	貯槽外表面（気相部）の放熱面積	15.1	m ²	設計図面
σ	ステファンボルツマン定数	5.67×10^{-8}	W/(m ² ·K ⁴)	
ε	輻射率	0.3		※1
T_b	貯槽外表面（気相部）温度	34.4	°C	算出結果
T_{wt0}	セル内温度	24.7	°C	※2

※1：ステンレス鋼の輻射率 $\varepsilon = 0.2$ （鏡面仕上げ）～0.45（圧延ステンレス鋼板）より設定。

※2：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は 24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は 18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

$$h'_b = \frac{Q_{\text{①}}}{A_b \cdot (T_b - T_{\text{wt0}})}$$

記号	名称	値	単位	出典等
h'_b	貯槽外表面（気相部）の熱伝達率※1	1.88	W/(m ² ·K)	

※1：輻射熱が熱伝達によるものと仮定し、算出した値。

⑫貯槽内表面（気相部）から気相部への熱伝達による放熱

$$Q_{⑫} = Q_{bis} + Q_{biu}$$

$$Q_{bis} = h_{bis} \cdot A_{bis} \cdot (T_b - T_{vog})$$

$$Q_{biu} = h_{biu} \cdot A_{biu} \cdot (T_b - T_{vog})$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{⑫}$		287	W	
Q_{bis}		219	W	
h_{bis}	貯槽内表面（気相部の側面）の熱伝達率	1.97	W/(m ² ・K)	(伝5) $h=Nu \cdot \lambda / L$
A_{bis}	貯槽内表面（気相部の側面）の熱伝達面積	11.53	m ²	設計図面
T_b	貯槽温度（気相部）	34.4	°C	算出結果
T_{vog}	VOG 温度	24.7	°C	※ 1
Q_{biu}		23.9	W	
h_{biu}	貯槽内表面（気相部の天板）の熱伝達率	0.772	W/(m ² ・K)	(伝5) $h=Nu \cdot \lambda / L$
A_{biu}	貯槽内表面（気相部の天板）の熱伝達面積	3.21	m ²	設計図面

※ 1：セル内温度を直接計測する計器はなく、事象発生時の建屋入域の空気（外気）温度は 24.4°C、冷却後の建屋内に供給する空気温度は 18°Cであった。平常時、熱バランスが取れていることから、初期のセル内温度を廃液温度として設定した。

Q_{bis} の計算に使用するパラメータ

記号	名称	値	単位	出典等
Nux	局所ヌセルト数	1.14×10^2	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(2) $Nux=Ct(Pr) \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/4}$ $10^4 \leq Gr \cdot Pr \leq (4 \sim 30) \times 10^9$
$Ct(Pr)$	プラントル数の関数	3.87×10^{-1}	—	(伝5) 鉛直平板層流熱伝達 式(3) $Ct(Pr)=3/4 \cdot (Pr/2.4+4.9Pr^{1/2}+5Pr)^{1/4}$
Gr	グラスホフ数	1.06×10^{10}	—	(伝5) $Gr=g \beta (T_w-T_{w0}) \cdot L^3 / \nu^2$
g	重力加速度	9.81	m/s ²	

β	体膨張係数	3.40×10^{-3}	1/K	(伝 5) $\beta = 1/T$
L	代表長さ	2.04	m	接液部を除く貯槽高さ
T_b	気相部貯槽温度	34.4	°C	算出結果
T_{vog}	VOG 温度	24.7	°C	(上記の表※1 と同様)
ν	動粘性係数	1.61×10^{-5}	m ² /s	(伝 4) P329 表 1 空気
Pr	プラントル数	7.20×10^{-1}		(伝 4) P329 表 1 空気
λ	熱伝導率	2.63×10^{-2}	W/(m・K)	(伝 4) P329 表 1 空気
T_f	膜温度	29.5	°C	(伝 5) $T_f = (T_{wt} + T_{wt0}) / 2$
Nu	ヌセルト数	1.52×10^1	—	(伝 5) 鉛直平板層流熱伝達 式(4) $Nu = 4/3 * Nu_x$

Q_{biu} の計算に使用するパラメータ

記号	名称	値	単位	出典等
Nu	ヌセルト数	5.27×10^1		(伝 5) 水平平板下向き加熱面 式(14) $Nu = 0.6 * (Gr * Pr)^{1/5}$ $10^6 \leq Gr * Pr \leq 10^{11}$
Ct (Pr)	プラントル数の関数	3.87×10^{-1}		(伝 5) 鉛直平板層流熱伝達 式(3) $Ct(Pr) = 3/4 * (Pr/2.4 + 4.9Pr^{1/2} + 5Pr)^{1/4}$
Gr	グラスホフ数	7.28×10^9		(伝 5) 無限水平流体層 式(35) $Gr = g\beta (T_w - T_{wt0}) * L^3 / \nu^2$
g	重力加速度	9.81	m/s ²	
β	体膨張係数	3.40×10^{-3}	1/K	(伝 5) $\beta = 1/T$
D	代表長さ	1.8	m	貯槽内径
T_b	貯槽温度(気相部)	34.4	°C	算出結果
T_{vog}	VOG 温度	24.7	°C	(上記の表※1 と同様)
ν	動粘性係数	1.61×10^{-5}	m ² /s	(伝 4) P329 空気 (T_f 値相当)
Pr	プラントル数	7.20×10^{-1}		(伝 4) P329 空気 (T_f 値相当)
λ	熱伝導率	2.63×10^{-2}	W/(m・K)	(伝 4) P329 空気 (T_f 値相当)
T_f	膜温度	29.5	°C	(伝 5) $T_f = (T_{wt} + T_{wt0}) / 2$

⑬廃液面から貯槽内表面（気相部）への輻射

$$Q_{⑬} = A_k \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_{wt}^4 - T_b^4)$$

記号	名称	値	単位	出典等
$Q_{⑬}$		805.68	W	
A_k	気相部に接する廃液の放熱面積	2.54	m ²	設計図面
σ	ステファンボルツマン定数	5.67×10^{-8}	W/(m ² ·K ⁴)	
ε	輻射率	0.9		※1
T_{wt}	廃液温度	77.8	°C	算出結果
T_b	貯槽内表面（気相部）温度	34.4	°C	算出結果

※1：一般的に水の輻射率は0.96より、保守的な値として0.9として設定。

$$h'_k = \frac{Q_{⑬}}{A_k \cdot (T_{wt} - T_b)}$$

記号	名称	値	単位	出典等
h'_k	廃液表面の熱伝達率※1	7.31	W/(m ² ·K)	

※1：輻射熱が熱伝達によるものと仮定し、算出した値。