技術資料

タンク洗浄機よりの帯電ミストの生成と爆発の危険性*

森 田 豊**

Electrostatic Charge Generation caused by
Tank Cleaning Machine and Danger of Explosion

By Yutaka Morita

When tanks are washed with waterjets of tank cleaning machines, an electrically charged mist is generated by Lenard Effect, and it spreads uniformly throughout the tank. Mean charge density in tanks produced by washing with clean seawater is about 10^{-8} C/m³.

However, the charge in the mist might be increased considerably by the use of the very high capacity fixed machine, recirculated wash water (contains oil), hot wash water (above 60°C), chemicals.

The calculated value of the maximum space potential in large tank is about 40 kV. This potential exceeds the hazardous value 25 kV.

A discharge from an unearthed object to earth is suspected as a possible source of incendive spark in tank. Example of possible unearthed conductor is a slug of water produced by the washing process.

The test of possibility of creating water slug shows that the very high capacity fixed washing machine is able to produce dangerous water slugs, on the other hand, with the portable type of washing machine no such water slugs can be detected.

1. ま え が き

オイルタンカーにおいて、海水を洗浄機から噴射してタンク洗浄を行う場合、噴射洗浄水がタンク構造物に衝突して分裂する。この際、ちょうど滝つぼ近辺に浮遊するミストと同様に、いわゆるレナード効果 (Lenard Effect) によって、タンク内空間に帯電ミストを生成する。

生成されたミストに帯びている電荷は、タンク内空間に浮遊して電界を形成し、空間電荷電界を生ずる。そして、この電界の強さが、タンク内のある部分で電気破壊値を越えれば、放電を生じ、そこに放電エネルギーが放出される。

また、電界とともに、タンク内に空間電位が生じ、分布する。その最高値は、タンク内にある構造物の配置の影響を受けるが、だいたいタンク中心部にある。そこで、タンク構造物近辺に絶縁状態におかれた導体があると、これが静電誘導によって帯電し、近辺のタンク構造物との間で放電を生ずる。

これらの放電路に、爆発限界内のガスが存在し、放電エネルギーがこのガスの最小着火エネルギー以上であると、ここが火源となって、ガス爆発をひきおこすに至る。

タンカーの爆発は、船体の損傷はもとより、尊い人命の消失にもつながりやすいものであるが、積載油の流出によって海洋を汚染して、大きな二次公害をも生ずる危険性をもっている。

1969年12月、アフリカ沿岸をバラスト航海中の20万トン級巨大タンカー3隻が、タンク洗浄中に爆発事故を起こして、人命の消失とともに船体に大損傷を受け、うち1隻は沈没するという惨事のあったことは、まだ記憶に新たなことであろう。これらの一連の事故にかんがみ、その原因の究明と、安全対策をたてることを目して、各国から関係者が参集し、研究組織が結成された。究明が進められていくうちに、これらの爆発事故の発火源として、標記の洗浄機よりの帯電ミストが関連する放電がクローズアップされるに至ったものである。

本稿は、これらの研究をとりまとめてご参考にご供するものである。

2. 帯電ミストの生成

2.1 生成のメカニズム 帯電ミストはほとんどレナード効果 (Lenard Effect) によって生ずるものと思われる。つまり、純水の水滴の表面には、外側に負、内側に正の電荷の電気二重層があり、水滴が分裂する際には、直径数ミクロンから数十ミクロンの微小水粒が外側の負電荷をもって負に帯電する。滝つぼの上部を浮遊するミ

* 原稿受付 昭和52年11月19日

** 正会員 東京商船大学(東京都江東区越中島2-1)

ストの電荷が負であると同様に、清水の洗浄水の衝突によって生ずるミストも負に帯電している。そして、この負電荷に対応する正電荷は、大きな水滴に残ったまま水流とともにタンク底に至り、タンク構造物に放散分布することになる。

ただし、塩分や界面活性剤のような異物が混入すると、電気二重層の内外層の電荷の極性が逆転するためか、分裂帯電したミストの電荷も逆転している。

帯電ミストは、径が数ミクロンから数十ミクロン程度の小粒であるため、タンク空間に浮遊して空間電荷となり、空間電荷電界を生ずる。

2.2 空間電荷密度 洗浄機でタンクを洗浄する場合、帯電ミストが増加していくが、洗浄が進行するにつれて、図1のように、ある飽和値に達する。この飽和値は、タンクの大きさに大きな影響を受けず、ほとんど $10^{-8}[\text{C}/\text{m}^3]$ のオーダーの電荷密度が計測されている¹⁾。

図1 タンク洗浄時間と帯電ミストの増加および洗浄終了後の空間電荷の減衰

この電荷密度がほとんど一定であるということは、タンク内の電界、電位の最高値ひいては放電の危険性が、タンクの大きさに伴って増加することになる。

2.3 生成に影響する諸要素 噴射洗浄水からの帯電ミストの生成に大きな影響を及ぼす要因として、次の各事項が、陸上実験室における基礎実験および実船タンカーにおけるテストでわかってきた。

(1) 洗浄水の水質 (a) 洗浄水に清水を使用すると、ミストは負に帯電している。

(b) 洗浄水に塩分を加えていくと、塩分の増加とともにミストの負電荷が減少し、ある濃度で零となる。そして、更に塩分濃度を増すと、極性が逆転して、ミストは正に帯電するようになる。清浄な海水を洗浄水に使用すると、正の帯電ミストが生成する。

(c) 洗浄海水に油分が混入すると、混入の割合によって、帯電量および極性が変動する。図2は、原油混入のミスト帯電への影響を求めたものである²⁾。清浄海水で正に帯電したミストを生じていたものが、原油混入率が20%あたりで急に極性を反転して負となり、その最大値は、海水のみの場合の数倍を下らないことを示している。負の最大値に達した後は、原油の混入率が増すと、

図2 原油混合率とミスト帯電

再び極性が転換して正となり、正の最大値を経てその後帯電を減少し、原油のみの場合ではほとんど帯電していない。

油で汚れたタンクで洗浄を開始すると、タンク内には、まず、負の電荷を帯びたミストが生成し、その量が負の最大値に達した後減少し始める。そして、洗浄が続行されていると、帯電ミストの極性が反転して正となり、次第に帯電を増して正の最大値に達する現象がみられる。

油で汚れたタンクを海水で洗浄する場合は、最初はタンク壁面に附着している膜油と洗浄海水が混合してミストを生成するために、ミストが負に帯電する。洗浄のすすむにつれて油の混入率が低下するから、図2の矢印の方向にミスト帯電の大きさと極性が変化するもので、実際の洗浄時と実験によるものとの帯電特性が、よく合っているのがわかる。そして、図2でも示されているように、油で汚れた海水が、清浄に近い海水に比較して、絶対値の大きい帯電をするということがわかる。

そしてこれはまた、洗浄水を循環させて使用する方式の、静電的危険性の大きくなることを示していることになる。

(2) 洗浄機の容量と同時使用台数 洗浄機の容量の大きいほど、同時使用台数の多いほど帯電ミストの生成量が増す。タンク内に浮遊する帯電ミストの静電的危険量についてはあとで考察するが、巨大タンカーのタンク容積を対象とした場合、洗浄機容量と1区画の台数につ

いて、次のような実験結果が得られている³⁾。

(a) 大形の固定式洗浄機(放水量 $175 \text{ m}^3/\text{h}$)では、1台でも、危険電位に達するので、タンク内のふん囲気がコントロールされていない場合の使用は危険である。

(b) ポータブル洗浄機のうち大容量(放水量 $35 \sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$)のものでは、4台以上になると危険電位を生ずる帯電ミストを発生する。したがって、同時使用台数は3台以下とすることが必要である。

(c) ポータブル洗浄機のうち、小容量(放水量 $35 \text{ m}^3/\text{h}$ 以下)のものでは、5台以上になると危険電位を生ずる帯電ミストを発生する。同時使用台数は4台以下とすることが必要である。

(3) 洗浄機のすえ付位置 帯電ミストの生成量には、噴射洗浄水が連続した水柱のままでタンク構造物に衝突する場合と、水柱が途中で切れている場合との間に大きな差があり、前者の場合の方がオーダーが異なるくらいに大である。消防研究所の熊野氏の研究によれば、噴射圧力約 10 kg/cm^2 の場合連続水柱の長さは、ノズル口径の $300 \sim 400$ 倍であるという。

実験室実験においても、洗浄水の衝突する構造物とノズルとの距離が、ノズル口径の約 300 倍を越えるとミスト生成量が激減するのがみられ、このあたりが水柱の連続する境と推察される。

これは、タンク内における洗浄機のすえ付位置が、帯電ミスト生成に大きな影響をもつことになる。

(4) 洗浄水の温度 洗浄水を加熱すると、洗浄効果は上がるが、一方、これが帯電ミストの生成を促進させることにもなる。海水での実験では、温度 60°C までは帯電に大きく影響しないが、 60°C を越えると、指数関数的に帯電ミストの増加するのがみられる。

(5) 洗剤の使用 オイルタンクの洗浄は、洗剤を使用することによって、洗浄効果と作業能率をあげることができるが、一方、帯電ミストの生成にも大きく影響を与える。

一般の市販洗剤はいずれも、使用濃度において、帯電ミストの生成を増加させ、海水のみの場合に比して $6 \sim 12$ 倍の発生がみられる。また洗剤は帯電ミストの極性を転換させる。

洗剤の素材をなす各界面活性剤についてのミスト帯電試験では、界面活性剤の混入により、いずれも海水のみの場合よりも帯電ミストの生成が促進されるのがみられる。これら素材には各イオン系のものがあるが、イオン系別には、非イオン系および陽イオン系のものが著しくて、 $5 \sim 8$ 倍、陰イオン系のものでは、中には 8 倍の帯電を増すものもあるが、一般的には 4 倍程度であった。そして、帯電の極性はいずれも海水のみの場合より転換して、界面活性剤のイオン系によっては帯電ミストの極性は異なる。したがってこの場合の帯電のメカニズムも、いわゆるレナード効果が主であって、イオンの分離によって生ずるものではないと思われる。つまり、

界面活性剤を混入させた場合、試料海水の表面張力の減少したことが水の分裂を容易にし、帯電ミストの生成を増大させたものであろう。

洗剤を構成する素材のもう一方の溶剤については、溶剤のみを混入した場合も、海水のみの場合よりも帯電が増すが、極性は海水の場合と同じである。

そこで、界面活性剤と溶剤とを適当に組み合わせることにより、正負両電荷の中和をねらったが、この場合、溶剤混入による帯電抑制への効果はほとんどみられなかった⁴⁾。

3. タンク内の電界と電位

上記のようにして生じた電荷は、タンク空間に浮遊して空間電荷となり、一種の小規模の雷雲となる。そして、各空間電荷からの電気力線は、周囲のタンク構造物に誘導した逆極性の電荷に終端し、タンク内に電界を形成する。この空間電荷電界は、その大きさがある値をこえると、気中放電を生じ、放電路の可燃性ガスに着火する危険性がある。したがって、タンク内に形成される空間電荷電界が、どのような大きさや分布をしているかは、放電の発生の有無、形態およびそのエネルギー、つまりガスへの着火危険性に重要な関連をもっている。

タンク内に空間電荷が分布していると、タンク内各部が電位をもつことになるが、その最高値はタンク中心部にある。最高電位の大きさは、タンク内に絶縁状態におかれた導体が存在する場合その静電誘導の大きさに関連し、誘導によって帯電した導体からの放電エネルギーに関連をもっている。

いま、タンク内空間に浮遊する電荷の密度を s 、ふん囲気の誘電率を ϵ とすると、空間電位 V は、タンク壁の電位が零であるという境界条件のもとに Poisson の方程式

$$\nabla^2 V = -\frac{s}{\epsilon}$$

の解を求めればよいわけである。そして、電界 $\vec{E}$ は

$$\vec{E} = -\text{grad } V$$

なる関係となる。しかしながら、実際のタンクは複雑な形をしており、内部にも構造物がある、その境界条件を全部入れて処理することはほとんど不可能に近い。また、たとえ、特定の例について求めてもたいてい意義がない。そこでむしろ単純な球形タンクについて、電界、電位を求めておき、それによっていろいろの場合について推定する方が実用的である。

3.1 電界 いま、半径 r [m] の球形タンク内において、帯電ミストが平等に分布している場合の電荷密度を s [C/m^3] とすると、電界の最大値はタンク壁のところにあって

$$E_{\max} = \frac{sr}{3\epsilon} \quad \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right] \quad (1)$$

となる。これに、実験から得られた電荷密度の平均値 $s = 4 \times 10^{-8} [\text{C/m}^3]$ 、 $r = 10$ [m]、 $\epsilon = 1/36\pi \times 10^9$

$[F/m]$ ($\epsilon = \epsilon_s \epsilon_0$, $\epsilon_0 = 1/36\pi \times 10^9$, $\epsilon_s = 1$) を入れると
 $E_{\max} = 15 \text{ [kV/m]}$

となる。半径 $r = 10$ (m) の球形タンクとしたのは、巨大タンカーのタンク内 1 区画を想定したものである。

この値は、大気圧中における火花発生電界強度 3,000 [kV/m] よりはるかに低く、このような平滑なタンク壁からは、危険性の放電の発生することは考えられない。

一方、タンク内部に突起物が存在すると、この様相が異なってくる。いま、図 3 のように、突出部を半径 r_1 [m] の小球電極、電荷雲を等価半径 r_2 [m] の球状空間電荷におきかえると、電界の最大値はこの 2 球の中心線上の r_1 球電極の表面 P 点に生ずる。この値は、両球の中心間の距離を d [m]、電荷雲の総電荷量を Q [C] とすると、

$$E_{\max} = \frac{Q}{4\pi\epsilon r_1 d (1 - r_1/d)^2} \quad \left[\frac{V}{m} \right] \quad (2)$$

で与えられる⁶⁾。これに、 $Q = 4 \times 10^{-8} \times 4\pi/3 \times 10^3 = 16.8 \times 10^{-5}$ [C]、 $r_1 = 1 \times 10^{-2}$ [m]、 $d (= r_2) = 10$ [m] を入れると、

$$E_{\max} = 15,220 \text{ [kV/m]}$$

というきわめて高い電界強度となる。 $r_1 = 1 \times 10^{-2}$ [m] としたのは、もっとも着火性の高い放電を生じやすい電極の曲率半径が 10 [mm] であるからである。

(2) 式は、球状電荷雲が無限の空間に浮遊する場合について適用される式であるが、実際のタンク内の空間電荷は、タンク壁および構造物で囲まれているから、電荷雲の電気力線のうちには、それらに向うものが相当数あ

図 3

図 4

るはずである (図 4)。したがって、この球電極の先端の電界は、上記の算定値 15,220 [kV/m] よりはかなり下まわるであろう。しかし、いま電気力線の大部分が周囲の壁などにとられて、図 4 のように 1/4 になったとしても、なお、この突出電極の先端の電界は 3,800 [kV/m] となり、火花発生電界を上まわる危険性を残している。

つまり、タンク内に放電電極となりうる突起物体が存在する場合には、計算上からは放電発生の危険性のある電界が生じやすいとみななければならないことになる。

3.2 電位 電位の最高値は球形タンクにおいてはその中心にあって、その値は

$$V_{\max} = \frac{sr^2}{6\epsilon} \quad (V) \quad (3)$$

で与えられる。いま同じく半径 10 [m] の球形タンクについて、中心電位を (3) 式より求めると、

$$V_{\max} = 75 \text{ [kV]}$$

となる。この場合も、実際のタンク内では、構造物の存在によって電界が分離され、電位が押えられるから、最高電位はこの値より下まわるであろう。しかし、タンク中央部に構造物が貫通して、最高電位が 1/2 に押えられたとしても、約 38 [kV] という危険電位をもつことになる。巨大タンカーを対象として得られた、実験上の最高空間電位の危険値は約 25 [kV] である⁶⁾。まえがきであげた 3 隻の爆発巨大タンカーの場合、いずれも、循環洗浄方式で洗浄していたもので、最高空間電位が危険値をこえていたと思われるが、特に、1 隻は洗剤を使用していたもので、実験値より推測して電位が 40 [kV] 程度になっていたと推察されている³⁾。

4. 静電的危険性

静電的危険性は、タンク内に浮遊する空間電荷が原因となる着火性の放電である。この場合の危険性放電として考えられる放電は、次の 2 形式のものである。

- (1) 帯電ミストから突起構造物への直接放電
- (2) 帯電した絶縁導体から構造物への火花放電

4.1 帯電ミストから突起構造物への直接放電

3.2 で算出した値からは、この危険性が十分ありうることになる。しかし、帯電ミスト雲と船体構造物の間には、なにがしかのコロナ放電を生じていることは確認されているものの、これが爆発性ガスへの着火源となりうるエネルギーをもつか否かについては、確立した知見がない。実験によっては、最小着火エネルギー以上のエネルギーで放電するというデータが得られていない。

4.2 帯電した絶縁導体から構造物への火花放電

帯電ミストで満たされたタンク内に、絶縁状態となった導電性物体が存在すると、空間のミストと接してその電荷の伝導によって帯電し、また、空間電荷雲よりの静電誘導によって帯電状態となる。そして、これが接地している物体やタンク構造物に近接すると、放電を生ずる。この場合の放電は、帯電した物体の電荷がいちどに放電

するから、放電エネルギーは、爆発性ガスへの最小着火エネルギーを越えやすい。この火花放電、特に、誘導帯電物体からの放電が着火性となるか否かは、タンク内の最高電位の大きさによって左右される。電位はまたタンクサイズに大きく依存し、球形タンクの場合(3)式のようにその半径の2乗に比例して大きくなる。近年のタンカーの急激な巨大化は、この面の危険性をも急激に増大させたことになり、手をこまねいてはならない問題をひき起こしている。そして、3.2で算定したように、なんらかの対策をたてない限り、危険性放電のもととなる危険電位は容易に生じうるとみるべきであろう。

この対象となる絶縁導体となりうる場合として、次の各項があげられる。

- (1) 接地された導電性物体がタンク内にそう入された後、切れて落下する場合

タンク内の電荷雲の高電位によって、その先端が静電誘導帯電している。このときこの物体の先端が切れて落下すると、誘導電荷をもった高電位のままでタンク底に達し、構造物と接する瞬間に火花放電を生ずる。

これの具体的な例は、帯電ミストの浮遊するタンク内につり下げられた洗浄機である。

- (2) (1)と逆の状態、タンク内の高電位の部分に突起した構造物があり、これに非帯電の導電性物体が近接した場合

構造物の先端が誘導帯電しているところへ、零電位の導電性物体が接するからで、具体的には洗浄機のボンディングをとらないでタンク内にそう入するときにこれに相当する。

- (3) 絶縁状態にある導電性物体が、タンク内で引き上げられ、または落下するとき

絶縁状態にある導体は、帯電ミストからの伝導および誘導によって帯電している。特にタンク中の高電位からの誘導が大きく、これが、引き上げあるいは落下によってタンク構造物に接し、火花放電する。

絶縁状態で引上げられる場合の例は、接地不良となっている洗浄機および絶縁性の高いロープでつられた金属性サウンディングロッドで、これはまた、タンク内の帯電ミスト中に入れる場合も同様の現象となる。

落下するものの具体例は、細長い金属工具、洗浄機およびサウンディングロッド、洗浄水の固まりなどである。特に落下水塊については問題が大きく、危険性の様相が究められなければならない。

4.3 危険性水塊の生成について 上記の危険性水塊については、模擬装置によるテストで、この落下する水塊から誘導電荷の放電するのがみられ、爆発性ガスに着火させて、その着火危険性が確かめられている。

落下水塊には二つの場合がある。その一つは、構造物にたまった水の船体動揺により落下するもの、他は噴射

洗浄水の先端が切れて落下するものである。前者の場合は、小形の水平部材から流れ落ちるものは、単に糸状となり、1[m]あたりから細かく分裂するので問題はない。巨大タンカーにおける大きな構造物からの大量の落下水塊については、約7.5[m]あたりまでは一体となった水塊が観測されるが、それ以後は分裂している。

後者の洗浄水ジェットの切れる水塊については、きわめて危険性の多いことが予測され、これについてのテストの結果は次のとおりである³⁾。

- (a) 大形の固定式洗浄機(175 m³/h)の噴射水

ノズルから6[m]あたりでときどき切れ目を生ずるが、18[m]の距離でも長さ50[cm]以上の水塊を生じている。

- (b) 大容量(35~60 m³/h)のポータブル洗浄機の噴射水

3~4.5[m]で途切れはじめ、9[m]あたりで約50[cm]、12[m]あたりで20[cm]以下の水塊となる。

- (c) 小容量(35 m³/h以下)のポータブル洗浄機の噴射水

3[m]あたりから途切れはじめ、4.5[m]で50[cm]、6[m]あたりで25[cm]以下の水塊となる。

これらの水塊の生成は、洗浄機が回転していてもその影響をあまり受けない。長さが約50[cm]以上の水塊から危険性の放電が生ずるとみなされるが⁶⁾、これによって各洗浄機の危険性を評価すると、次のようになる。

- (a) 大形の固定式洗浄機の場合は、巨大タンカーでは噴射水の先端がタンク底近辺に至るあたりでも危険性の水塊を生じている。

- (b) 大容量のポータブル洗浄機では、巨大タンカーの場合、洗浄水がタンク底近くに到達するときはずでに危険性の長さより短い水塊となっているが、側壁に当たるときはまだ危険性の長さの水塊がありうる。

- (c) 小容量のポータブル洗浄機の場合は、危険性の水塊を生じているとはみなされない。

5. む す び

安全な洗浄を行うためには、タンク内ガス濃度のいかんによっては、洗浄機容量、同時使用台数、循環洗浄水方式、洗浄水の加熱、洗剤の使用などに制限を加える必要がある。特に巨大タンカーにおいては、タンク容積の増大とともに静電的危険性も増してくることをこころしなければならない。

帯電ミストの生成を少なくし、落下水塊の危険性から免れるには、小容量機を局部的に固定して配置し、交互に使用する方法も考慮すべき問題ではなかろうか。

ICSでは、上記の各結果をもとにして、付録のタンク洗浄指針を作成している。

付 録

ICS タンククリーニング指針

(タンカー安全指針(石油編)より抜萃)

改正 5/2
12. 9. 74

5.4 タンク洗浄

5.4.1 一 般

次の例に示すような引火性蒸気の存在するタンクの洗浄には下記の安全対策を講じること。

- (a) 揮発性石油の揚荷後、または
- (b) ガス・フリーになっていないタンクに積んだ非揮発性石油の揚荷後、または
- (c) 揮発性石油蒸気の入っている他のタンクから共通のペント・システムを通じて蒸気が流入する可能性のあるとき。

前に積んだ貨物が普通の石油より有毒成分を多く含んでいるときは特別な注意が必要である。

5.4.2 タンクの開放

全面的または部分的に閉鎖された区画内にあるいかなるタンク開口部も、その区画の外部に圧力を放出する迄は開放してはならない。

5.4.3 タンク洗浄を行うふん囲気

タンク洗浄は下記ふん囲気のいずれかにおいて行われるものとする。

ふん囲気 A—コントロールをされておらず、このためふん囲気は引火範囲より高いか、低い、または引火範囲内にある。

ふん囲気 B—炭化水素の含有量を、人為的に引火下限界 (LFL) 以下に減少させることにより、燃焼が起こらないようにしたふん囲気。本指針の目的のためには、適当な可燃性ガス検知器の指度が LFL の 50% を越えてはならない。

ふん囲気 C—不活性ガスを注入し、酸素含有率を低下させ燃焼が起こらないようにしたふん囲気。本指針の目的のためには酸素量は容積で 8% を越えてはならない。

ふん囲気 D—タンク内の炭化水素の含有量を、人為的に引火上限 (UFL) 以上に維持することにより、燃焼が起こらないようにしたふん囲気。原油および大部分の液体石油製品については、炭化水素の容積含有率が、洗浄開始前に少なくとも 15% に達し、洗浄中もそれが維持されなければならない。

5.4.4 コントロールされてないふん囲気(A)での洗浄

ふん囲気 A の状況の下では、静電気を含む発火源を排除するための注意をしなければならない。そしてそのような状況の下で洗浄するときは、下記のすべての注意を守らなければならない。

- (a) 一度に使用する洗浄機は 1 区画に低容量形のもの

のは 4 個、または高容量形のもの 3 個より多く使用してはならない。

- (注) 低容量形とは流量が $35\text{ m}^3/\text{h}$ 未満のもの
高容量形とは流量が $35\text{ m}^3/\text{h}$ 以上 $60\text{ m}^3/\text{h}$ 未満のもの

1 区画とはスロッシュバルクヘッドにより仕切られたタンクの部分をいう。

- (b) 洗浄機のホースは使用前に電気的接続を試験しなければならない。
- (c) 洗浄機をタンクに入れる前にすべてのホースの連結を行わなければならない。また、機械をタンクから引き出す前に切離してはならない。ホースの水切りのためにカップリングを緩め、機械を上げる前に再び締め直してもよい。
- (d) 洗浄水を循環させてタンク洗浄をしてはならない。また、化学洗浄剤を使用してはならない。
- (e) 洗浄水は 60°C (140°F) を越えなければ加熱してもよい；何らかの理由 (例えばドライドック) で 60°C 以上の温水が必要な場合は、洗浄はふん囲気 B、C または D の状態で行わなければならない。
- (f) 蒸気をタンクに注入してはならない。
- (g) タンクは洗浄中連続して水切りを行わなければならない。

洗浄水が異常に増加した場合、たまった洗浄水を排水するために洗浄を中止しなければならない。

- (h) 測深棒や他の器具をタンク内へ入れる場合はサウンディングパイプを通して行わなければならない。もしサウンディングパイプが使用できない場合は、洗浄終了後 5 時間を経過するまではこれらの作業を行ってはならない。もしタンクが連続して機械通風されていれば、5 時間を 1 時間に短縮することができる。

- (注) タンク洗浄中およびその直後はタンク内に帯電した霧が存在するので、電気的伝導性がありアースされていない物を入れないようにしなければならない。したがって、ガスサンプリングホースに金属製の重りを使用してはならない。ホースの先端に使用される小さな金属は、着火性スパークを発生するほど大きくないので入れてもかまわない。

同様に、ロープを付けたサウンディングロッドは、たとえロープの端が甲板上で船体に結びつけられていてもロープはアース導線として信頼性がないので使用してはならない。しかしながら、金属ワイヤーに取り付けた金属製のサウンディングロッド (すなわち界面検知器) は、それを下す前にワイヤーか丈夫なクランプまたはボルト止めたラグにより船体に確実に接続すればそれを使用することができる。

5.4.5 ツーリーンのふん囲気(B)での洗浄

下記の注意事項を守るよう勧告する。

- (a) ベントシステムが他のタンクと共通している場合は、他のタンクから蒸気ははいるのを防ぐため共通のベントシステムはこれを閉鎖しなければならない。
- (b) タンクボトムは水でフラッシュしよく浚えなければならない。また、カーゴポンプ、クロスオーバーおよびデイスチャージラインも含めたパイプ系統も同様に水でフラッシュしなければならない。
- (c) タンク洗浄の前に、タンク内ふん囲気的气体濃度が引火下限界10%またはそれ以下になるまで換気を行わなければならない。ガステストは引火性蒸気の部分的ポケットのある可能性を十分考慮してタンク内のいろいろな高さで計測しなければならない。洗浄中は機械通風およびガステストを続けて行わなければならない。
- (d) ガス濃度がLFLの50%に上昇したら洗浄を中止しなければならない。連続通風によりガス濃度がLFLの20%になれば洗浄を再開して良い。
- (e) 洗浄機のホースは使用前に電氣的に連続かどうかテストしなければならない。
- (f) 洗浄機をタンクに入れる前に全てのホースの連結を行わなければならない。また、機械をタンクから引き出す前に切離してはならない。ホースの水切りのためにカップリングを緩め、機械を上げる前に締め直してもよい。
- (g) タンクは洗浄中連続して水切りを行わなければならない。洗浄水が異常に増加した場合、たまった洗浄水を排水するために洗浄を中止しなければならない。
- (h) 洗浄水を循環させてタンク洗浄を行なってはならない。
- (i) 蒸気をタンクに注入してはならない。
- (j) 測深棒やその他の器具をタンク内へ入れる場合はサウンディングパイプを通して行わなければならない。もしサウンディングパイプが使用できない場合は、洗浄終了後5時間を経過するまではこれらの作業を行ってはならない。
もしタンクが連続して機械通風されていれば、5時間を1時間に短縮することができる。
(注) 前項(h) (注) 参照
- (k) 化学洗浄剤を使用してもよい。
- (l) 洗浄水は60℃(140°F)以上に加熱してもよいが、ガス濃度が増加しないように注意しなければならない。

5.4.6 イナート化したふん囲気(C)での洗浄

タンクがイナート化されている場合には、前述の注意を守る必要はない。

洗浄を行っている間、タンク内のふん囲気は酸素濃度が容積比で8%を越えないよう計測により確かめなければならない。空気がタンク内に侵入しないように洗浄している間、十分なイナートガスを供給し続けなければならない。タンク開口部を開けているときは作業員がイナートガスに曝され吸入しないように注意しなければならない。

5.4.7 オーバーリッチのふん囲気(D)での洗浄

オーバーリッチのふん囲気で洗浄するときはいつても手順は貨物の性状、オーバーリッチにするための手段および船の設計によるところが多い。そして船主の作成した特別のインストラクションを参照しなければならない。

一般的に言えばふん囲気は燃焼範囲より高濃度状態に保たれていれば、洗浄方法に関する前述の制限に従う必要はない。しかしながら、ふん囲気は空気の侵入または洗浄による炭化水素の吸入によって可燃性にならないように特別の注意が必要である。

タンク内の炭化水素の濃度は、洗浄作業中を通じて容積比で少くとも15%はあることを計測により確かめなければならない。

5.4.8 自由落下

スロップ受入れタンクに可燃性ガスが存在する可能性のあるときは、水またはスロップの自由落下が起らぬようスロップ操作の手順を調整しなければならない。

文 献

- 1) 1936. 3. 24. 日本造船工業会におけるスタンフォード研究所員 Dr. E. J. Pierce の講演要約
- 2) D. van der Meer, J.W. White: "Electrostatic charge generation during tank washing" Paper presented at the Second International Conference of Static Electricity, 6th April 1973.
- 3) International Chamber of Shipping: "Final Report on Explosions in Very Large Tankers" Oct. 1975.
- 4) 森田 豊ほか: 「油タンク洗浄中の帯電現象に及ぼす洗浄剤の影響と新洗浄剤の開発」東京商船大学研究報告(自然科学)第25号(昭49. 12)
- 5) 上田 実ほか: 「静電気の基礎」朝倉書店発行(昭和46年)
- 6) W. M. Bustin: "Water Slug Formation during Tank Washing" A.P.I. Statics Research Program. EE.80E, 15th Oct. 1974.