

PS-29 液化水素の少量漏えいに伴うプール形成限界の検討

海洋リスク評価系 *木村 新太、小田野 直光

1. はじめに

水素利用社会の構築に向けて、現在、オーストラリアにおいて褐炭から製造される水素を液化して海上輸送によって輸入・供給することが検討されている。その輸送の担い手である液化水素運搬船は、約-253℃の極低温の液化水素が同じ入熱量に対してLNGの10倍のBOGを生じることから、外部からの入熱を極小化するために、大部分の配管は二重構造となっている。したがって、配管の損傷事象が発生しても即座に甲板上および周辺大気への漏えいには至らないため、火災・爆発危険性の観点において構造的に極めて安全性が高いものとなっている。しかしながら、すべての配管が二重構造となっているわけではなく、一部の一重管部分においては溶接欠陥等による亀裂からの少量漏えいリスクが懸念される。

そこで本検討では、DNV Softwareの影響評価ソフトウェアPhast7.11(以下Phast)を用いて、配管に生じた微小の開口部からの液化水素流出拡散・プール形成評価を実施した。漏えいした液化水素および低温水素ガスの拡散範囲の評価を行うとともに、液化水素のプールが形成すると、甲板の低温脆性による破壊の問題が生じるため、液化水素プールの形成限界について流出源高さや流出口径をパラメータとして検討を実施した。

2. 影響評価モデル

液化ガスのような大気圧下で過沸騰状態の液体の場合、図1のように相変化によって気液二相流となり、気相と液相(液滴)のそれぞれの運動を考慮する必要がある。Phastでは、これらの過程に対して気相部はジェット噴流として取り扱い、液滴は流出条件で決定される粒子径をもつ均一の粒子群に置き換える。粒子群は、初速を持って抵抗の無い落下運動を行い、大気からの入熱による気化と粒子間凝集を繰り返しながら地面に到達する。到達した液滴の数によってプールへの流入量が算出される。

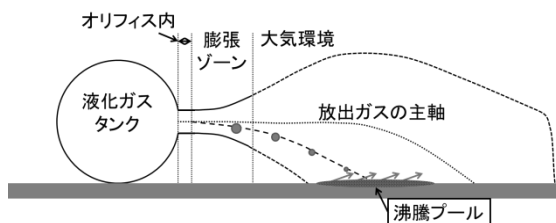


図1 液化ガスの流出・気化膨張モデルの概念図

また、DNV Phastでは、Unified Dispersion Model(以下UDM)と呼ばれる拡散モデル導入している。UDMでは、初期のジェット噴流、重いガスの流れ、浮力による浮揚、大気拡散への移行のプロセスを統合して取り扱うことができる。特に、重いガスからの浮揚・大気拡散への移行を取り扱うことができるモデルはUDMのみである。

3. 評価実施条件

漏えい評価条件として以下の流出事象を想定する。

- ・荷役中の漏えいを想定する。したがって、ポンプ圧は一定である(=タンク内圧力は一定)
- ・タンク内の液温は20Kとする(過冷却状態)
- ・液化水素は密度が小さく、位置ヘッドの効果が小さいため、液面降下によるヘッドの変化は無視する
- ・水素はノルマル水素とする
- ・タンク内圧力の仮定より、ポンプ圧が一定であるため流出モデルには初速のまま一定で流出するモデルを用いる
- ・液化水素流出条件
 - 流出点高さ 3 m から 0 m(地上から)
 - 一重配管径 150A Sch10 (ID=158.4 mm)
 - 流出径 15.84 mm から 0.01 mm まで(0.01 mm は評価が可能な流出穴の最小値)

表1 地面および大気条件

パラメータ名	入力した値・条件
地面粗さ	5 mm
地面の熱特性	熱拡散率 1.0 mm ² /s 熱伝導率 5 W/m/K
気温	20 °C
相対湿度	50 %
日照度	0.5 kW/m ²
地面温度	20 °C
大気安定度	D(やや安定)
風速 (at 10 m)	5.0 m/s

4. 評価結果

流出穴径 15.84 mm から 0.01 mm まで変化させるとともに、流出点高さについても 3 m から 0.1 m まで変化させプール形成条件の調査を実施した結果について、表2にまとめた。シミュレーションの結果、流出

穴の径が小さくなると、穴から噴出する液化水素のうち、気体へと相変化せず地面に到達する液滴の量が減少するため、高さによってプールが形成する場合としない場合の境界が存在すること明らかとなった。

プールの形成の判定について、図 2 のように有意な蒸発速度が継続する場合をプール形成と判断した。一方、図 3 のケースでは、タンクからの質量流出速度が約 0.1 kg/s であるのに対して、蒸発速度は 10^6 kg/s オーダーとなっており、物質収支の整合性が無いため、計算が成立していないものと判断した。図 4 のケースではプール持続時間が 0.06 秒程度と、図 2 のように持続していないため、プールは形成しないものと判断した。

また、プールからのガスの蒸発速度を UDM による拡散計算のソース項とするため、仮に図 4 のようなごく短時間のみしかプール蒸発が継続しない場合の拡散計算を行っても、危険雰囲気形成には寄与しない結果となった。

表 2 に流出穴径と流出点高さの関係を示す。この表より、流出穴径が 2.5 mm 以下の場合、0.1 m の高さからの流出でもプールが形成しないため、これ以下の流出穴径の場合は 0.1 m 以上のいかなる高さにおいてもプールは形成しない。

5. まとめ

液化水素運搬船の一重配管部からの漏えいを想定し、影響評価ソフトウェア DNV Phast に導入されている Unified Dispersion Model を用いてプール形成限界の評価を行った結果、流出穴径が 2.5mm 以下の場合、0.1m 以上のいかなる高さにおいてもプールが形成しないことがわかった。溶接欠陥によって生じる亀裂はこの直径よりも小さいことが予想されるため、溶接欠陥からの漏えいによって液化水素の蒸発プールは形成しないと考えられる。

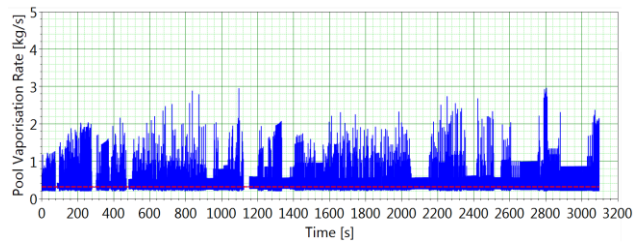


図 2 プール蒸発速度(流出穴直径 10mm、高さ 0.25m)

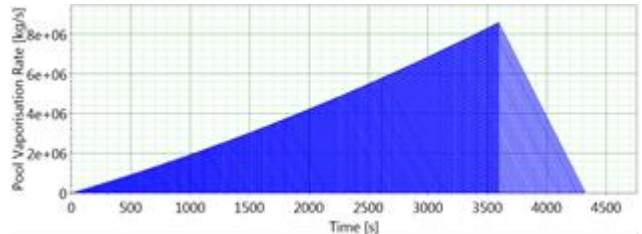


図 3 プール蒸発速度(流出穴直径 5.0 mm、高さ 0.75 m)



図 4 プール蒸発速度(流出穴直径 2.5 mm、高さ 0.1 m)

謝辞

本報告は、川崎重工業株式会社からの請負事業「漏えい・大気拡散シミュレーションの簡易評価モデルの調査とリスク評価への適用条件の検討」において実施した内容をまとめたものである。関係者に深謝の意を表する。

表 2 流出点高さ、流出径とプール形成の可否のまとめ

流出穴直径 (mm)	流出点高さ (m)												
	3	2.75	2.5	2.25	2	1.75	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.25	0.1
15.84	x	x	x	x	x	△	○	○	○	○	○	○	○
10	x	x	x	x	x	x	F	△	△	○	○	○	○
7.5	F	F	F	x	x	F	x	x	△	△	○	○	○
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△	△	○
2.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△	△
1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△	△
0.75	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△	△
0.5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△
0.25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△
0.1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△
0.075	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△
0.05	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△
0.025	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△
0.01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	△

○:プール形成する
 x:プール形成しない
 △:危険雰囲気に寄与しない短時間のプール形成
 F:計算エラー