

PS-15 アンモニア燃料の漏えい事象を対象としたガス拡散解析

海洋リスク評価系 * 木村 新太

1. はじめに

海運セクターにおけるGHG排出削減燃料として期待されるアンモニアは、既存のLNG燃料等と比較して燃焼性が乏しいことから火災危険性は相対的に低いとされている。一方、アンモニアは極めて毒性が高いことから漏洩したアンモニアの曝露による急性毒性影響が懸念されている。

そこで、本発表では想定される漏えい事象に基づいて簡易解析ソフトDNV Phast[1]を用いてガス拡散解析を行い、各漏えいシナリオにおける影響解析の結果を報告する。

2. 想定シナリオ

アンモニア漏えいに関する想定シナリオは、国際海事機関(IMO)の第8回貨物運送小委員会(CCC 8)における日本提案の通信部会報告に関する文書CCC 8/13[2]を参考に選定を行った。CCC 8/13においては、アンモニアの放出や漏えいに関連した項目から以下の3つのシナリオを選定した。

- ① マニホールド部フランジギャップからの微小漏えい
- ② バンカリングホース全破断漏えい
- ③ 火災時の燃料タンクの安全弁作動に伴うベント放出

3. 解析方法

アンモニアの漏えいに伴うガス拡散解析にDNV Phast 8.6を使用した。DNV Phastは、ノルウェー船級協会DNVが開発した有償の可燃性・有害性化学物質の漏えいに伴う火災・爆発・大気拡散による影響解析ソフトウェアであり、陸上の化学プラントはもとより洋上生産設備や船舶における事故影響解析にも活用されている。Phastは、障害物の影響や地形の変化を考慮できない一方、数値流体力学モデルと比較して極めて短時間で拡散予測を行えるため、多数のシナリオに基づくケーススタディの実施が必要となるリスク分析の実務に広く用いられている。

解析を対象とするアンモニア燃料船でのアンモニアの取り扱い条件(温度、相、圧力、設備寸法等)は、旅客船のアンモニア補給に関する解析事例[3]を参考に決定した。影響度の指標として、急性曝露ガイドラインレベル(AEGL)[4]の10分曝露(AEGL-1(不快レベル)30 ppm, AEGL-2(障害レベル)220 ppm, AEGL-3(致死レベル)2700 ppm)と、悪臭防止法におけるアンモニアの基準値(1 ppm)を用いた。

4. 解析結果

4.1 マニホールド部フランジギャップからの微小漏えい

本シナリオでは、 -33.4°C の液体アンモニアを陸上と燃料船で送液中にマニホールド部のフランジギャップから生じる微小漏えいを対象とするシナリオである。放出方向は水平

方向とし、配管内の圧力は4 Bar-G、ギャップは1mmのピンホールを仮定した。流出は、漏えい検知、ESD作動を考慮して、60秒継続するものとして解析を行った。なお、マニホールド部は海水面を $z = 0\text{ m}$ として、10mの高さにあるとした。海水温度、大気温度ともに 20°C とし、米国化学プロセス安全センターの影響解析のガイドライン[5]に従って、大気安定度D(中立)、風速5 m/sおよび大気安定度F(安定)、風速2 m/sの2ケースを実施した。

図-1に、風下方向 x 軸と鉛直方向 z 軸を通過する断面におけるガス拡散範囲の経時変化を示す。漏えい源近傍にAEGL-2(220 ppm)を超える高濃度のアンモニアガス濃度範囲を生じ、流出終了後、時間とともに風下方向へガス雲が移流拡散していく様子が得られた。大気安定度がDの場合、流出開始から120秒程度で1 ppmを超える濃度のアンモニアガスが消散するが、大気安定度Fの場合、500秒程度アンモニアガスが拡散し続ける。また、その拡散範囲も大気安定度がFの場合、大気が安定であるため拡散が抑制され希釈されにくく、風下方向に向かってより広範囲に影響を及ぼす結果となった。

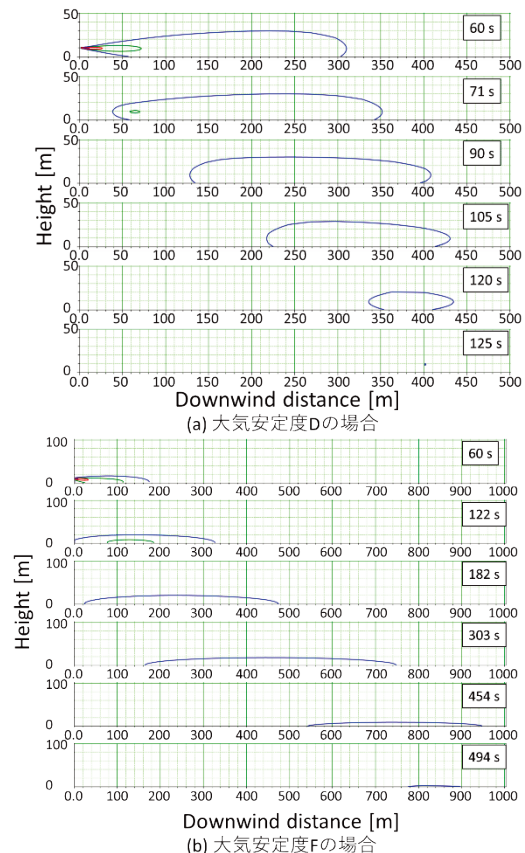


図-1 アンモニアの拡散範囲(フランジギャップ漏えい)

(x-z平面、赤色220 ppm、緑色30 ppm、青色1 ppm)

4.2 バンカリングホースの破断による漏えい

本シナリオでは、4.1と同様の液温、圧力、相、流出位置、流出方向とし、内径6インチのホースが全破断してESDによって停止するまでの60秒間連続流出する条件のもと、大気安定度D、風速5 m/sの大気条件において解析を実施した。なお、アンモニアの海水への溶解の影響を解析するため、漏えいする地面をコンクリートの場合(溶解なし)と水(溶解あり)の2条件で実施した。

その結果、図-2に示すとおり地面を水とする場合、液体アンモニアのプールは水へ溶解しながら150秒程度で消失する。一方、コンクリートの場合3600秒以上プールが存在した。ガス拡散範囲については、図-3のとおり水へ溶解する場合、AEGL-2以上の濃度のアンモニアガスの塊が流出源付近に現れ、希釈されながら風下方向へ移流拡散していくが、水に溶解しない場合では広い範囲にガス雲が滞留し影響を及ぼす結果が得られた。漏えいした液体アンモニアは、水へ溶解することで大気拡散へ移行するアンモニアのソースタームが低減されることが分かった。

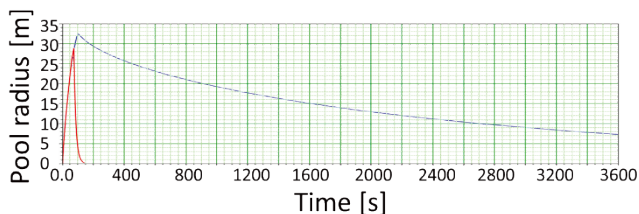


図-2 液体アンモニアプール半径 (バンカリングホース破断)
(赤色：水への溶解あり、青色：水への溶解なし)

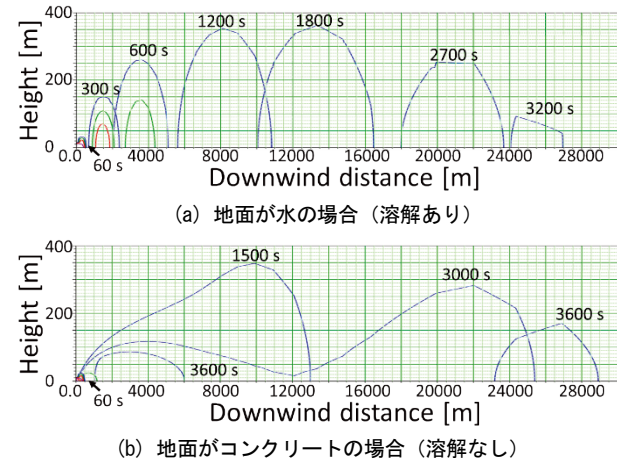


図-3 アンモニアの拡散範囲(バンカリングホース破断)
(x-z平面、赤色 220ppm、緑色 30ppm、青色 1ppm)

4.3 燃料タンクの安全弁作動に伴うバント放出

本シナリオでは、IGFコード[6]に基づいて曝露甲板上の燃料タンクの火災時のバント放出量の算出を行った。直径500mm、高さ20mのバントポストよりアンモニアガスが169.5kg/sの質量流量で約115秒間、鉛直上向きに放出される。

図-4に示すとおり、不安定条件(大気安定度A)では短時間かつ流出源に近い地点で消散し、安定条件(大気安定度F)ではAEGL-2を超える濃度のアンモニアが約2.5km近くまで

漂うとともに、長時間、アンモニアガスの臭気(1ppm)が約50km程度の遠方まで漂い続ける結果が得られた。

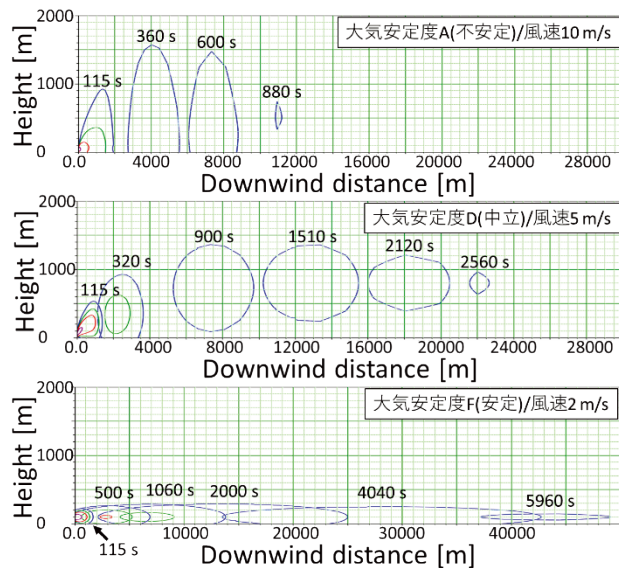


図-4 アンモニアの拡散範囲(バント放出)
(x-z平面、赤色 220ppm、緑色 30ppm、青色 1ppm)

5. まとめ

DNV Phastを用いてアンモニア燃料船からの燃料漏えい・ガス拡散解析を実施した結果、大気条件はガス拡散性状に大きく影響を及ぼし、安定条件(大気安定度F)では極めて広範囲にわたってアンモニアの有害性に晒されうる評価となった。海上漏えいした液体アンモニアは海水へ溶解することで大気拡散するアンモニアガスの蒸発が抑制され、影響範囲や曝露時間が低減される結果が得られた。

参考文献

- 1) DNV, ハザード解析ソフトウェア - Phast, <https://www.dnv.jp/services/page-1675>
- 2) IMO, CCC 8/13, DEVELOPMENT OF GUIDELINES FOR THE SAFETY OF SHIPS USING AMMONIA AS FUEL (2022)
- 3) The Green Shipping Programme (GSP), Ammonia bunkering of passenger vessel - Concept Quantitative Risk Assessment (2021), <https://greenshippingprogramme.com/wp-content/uploads/2022/06/Ammonia-bunkering-of-passenger-vessel-Concept-quantitative-risk-assessment.pdf>
- 4) US EPA, Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals, <https://www.epa.gov/aegl>
- 5) AIChE-CCPS (Center for Chemical Process Safety), Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases, pp 78-80 (1999).
- 6) IMO, resolution MSC.391(95), Adoption of the international code of safety for ships using gases or other low-flashpoint fuels (IGF code) (2015)