

漏洩シナリオの見直し結果

本資料の概要

本資料は、令和 5 年度「アンモニア燃料船への安全かつ円滑なバンカリングの実施に向けた検討委員会（以下、「検討会」という）」にて実施したアンモニア拡散シミュレーションで用いた漏洩シナリオのうち、検討が不十分であり更新すべき箇所があったので、シナリオ内容を見直し、より正確なシナリオにすることを目的に作成した。

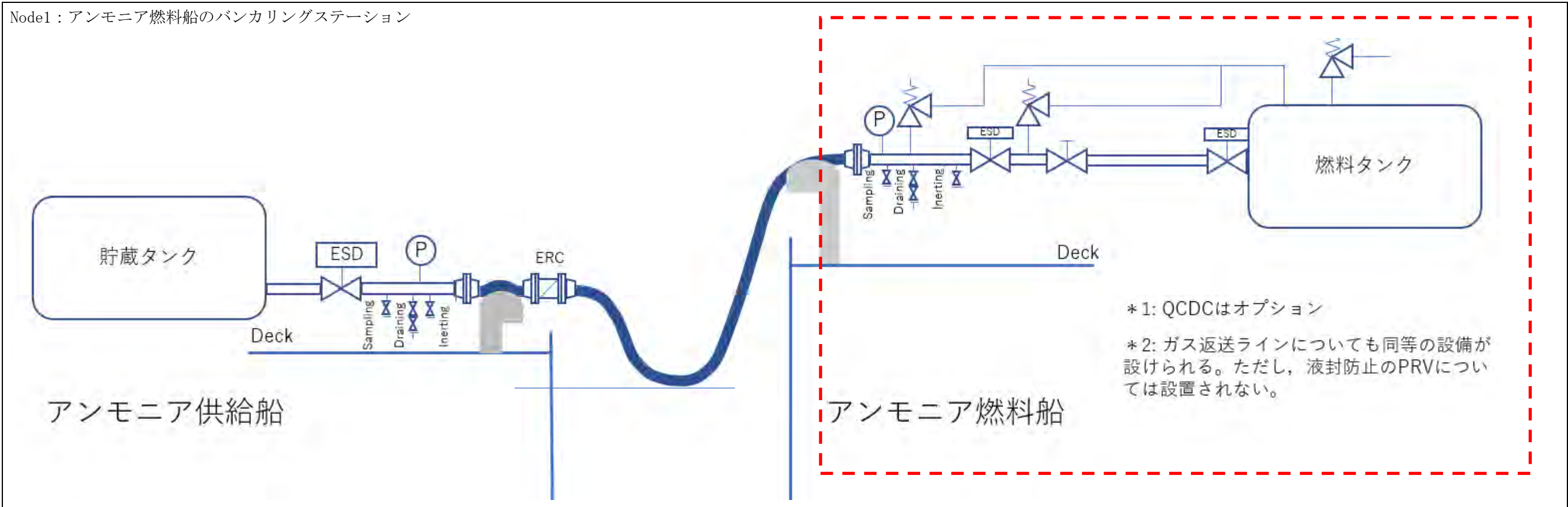
主な見直し項目

本資料における主な見直し項目は次の通り。

- アンモニア関連設備の漏洩推定値の更新に基づく推定頻度の見直し
令和 5 年度実施時点で研究実施されたアンモニア関連設備の漏洩推定値が確定したことからその数値を参考に漏洩発生頻度を見直す。
- 昨年度推定していなかった事項の反映に基づく推定頻度の見直し
令和 5 年度実施時点で漏洩発生頻度を推定する際に考慮していなかった事項を反映することにより漏洩発生頻度を見直す。
- 設備情報の更新
令和 5 年度実施時点では、天然ガス燃料船に対し実施した検討に合わせて設備の情報を仮設定している。一方、令和 5 年度の検討会にてアンモニアバンカリングガイドラインに盛り込む設備要件をとりまとめたことや令和 5 年度の検討の後、アンモニア関連設備の設計情報が蓄積されたことから当該情報も実際に業界で検討されている数値に更新する。

漏洩シナリオ

変更点を赤字で示す。

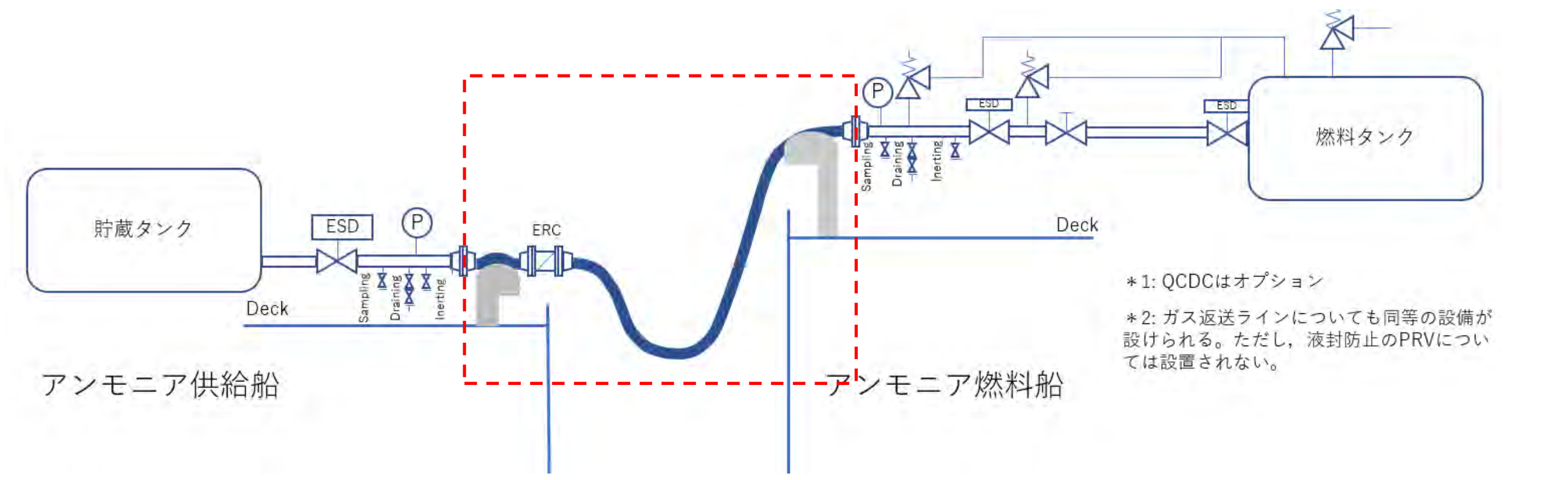


No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度（per ship year）	推定漏洩量
102	マニホールド部 プレゼンテーションフ レンジ	（移送中，損傷） フランジ部の部分損傷によりアンモニアが中量漏洩する。 Note：アンモニアはドリフトレイ，船舶甲板へ漏洩	（外的要因） C1. 落下物 C2: 接触（クレーンなど） C3: 変位（二船間動揺） （内的要因） C4: 劣化(ガスケット部)	C1: 規定なし C2: 規定なし C3: ERC (ESD2) の設置 C4: 規定なし	（頻度推定の前提） -フランジ数：1 か所 -VS`Major 確率(径に対して 10%未満)： 9.44×10^{-5} (per year) -バンカリング時間/頻度：4h/12 回 per year （頻度推定の算定式） $F = 9.44 \times 10^{-5} \times (4 \times 12 \div 24) / 365 =$ 5.17×10^{-7} <u>推定頻度： 5.17×10^{-7}</u>	（漏洩量の前提） -配管径 $150A$ （漏洩量の算定） （1）漏洩発生からポンプ停止までの漏洩量 配管損傷部からアンモニアが噴出する想定で漏洩量を計算する。噴出方向は水平方向と設定する。 <計算前提> 配管内圧力：0.6MPa(低温 LPG 船マニホールド荷役圧力平均) アンモニア液密度:767 kg/m ³ 流出穴面積：706 mm ² (3cm 径の穴を想定) 流出係数：0.6 事故発生から ESD 信号発出までの時間：15 秒

No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度 (per ship year)	推定漏洩量
						(2) ポンプ停止から ESD 遮断までの漏洩量 ポンプ停止後、配管内の圧力は急降下すると仮定する。また、ホースはマニホールドより低位にあるため、ESD 弁からフランジまでの配管内の体積分のアンモニアが漏洩するものとする。 なお、フランジから ESD 弁までの距離は 3.875m(天然ガス燃料船総合対策の前提から抜粋)と仮定する。 (1) $L_{leak1}=767 \times 706 \times 10^{-6} \times 0.6 \times \sqrt{(2 \times 600000)/767} \times 15(s)$ $= 192.75kg \text{ (} 0.251m^3 \text{)}$ (2) $L_{leak2}= (0.075)^2 \times \pi \times 3.875(m)= 0.068 \text{ m}^3$ よって、漏洩量 L_{leak} は $L_{leak}= L_{leak1}+ L_{leak2}$ $=0.251+0.068$ $=0.319$ <u>Total: 0.32 m³</u>
104	マニホールド部 プレゼンテーションフランジ	(移送後、開放) フランジ部の接続解除の際、内部にアンモニアが残留しており、アンモニアが少量漏洩 Note: アンモニアはドリフトレイへ漏洩	(人的要因) C1: パージ不足かつミスオペレーションによるサンプリングのスキップ	C1: 規定なし	パージのミスオペレーション: 1.0×10^{-3} サンプリングのスキップ: 1.0×10^{-3} バンカリング回数: 年 12 回 <u>推定頻度: 1.20×10^{-5}</u> *: ヒューマンエラーの頻度引用文献 Kirwan, B., 1994. Human reliability assessment. In J.R. Wilson and E.N. Corlett (eds.), Evaluation of Human Work. London: Taylor and Francis, pp. 921-968.	パージオペレーションの内、液押しは成功している前提で、ホース内に 1 litter の液が残留しており、このアンモニアの気化処理ができていないと想定で、ホース内の残留アンモニアの濃度を推定する。 <u>Total: $1.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$</u>
110	マニホールド部 止め弁	(移送中) 弁のシール部よりアンモニアが少量漏洩する	(外的要因)	C1: バンカリング前の気密試験 C2: 規定なし	バンカリング前に気密試験を実施しない条件で発生することを考慮して推定。	(漏洩の前提) -弁棒径: 15A -隙間: 0.01mm

No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度 (per ship year)	推定漏洩量
			C1: メンテナンス時の締結管理不良（異物の噛みこみ） (内的要因) C2: グランドパッキン劣化		バンカリング作業: 年 12 回 ミスオペレーション（試験は作業者と管理者で実施される） $(1.0 \times 10^{-3})^2$ <u>推定頻度: $12 \times (1.0 \times 10^{-3})^2 \times 1/100 = 1.20 \times 10^{-5}$</u>	-配管 Working pressure: 0.6 MPa -漏洩時間は、漏洩を検知し ESD 起動によりポンプが停止するまで 15 秒とする。（配管内に残留するアンモニアはほとんど外部に漏洩しないものとする。） $V_{\text{leak}} = 767 \times (0.015 \times 3.14 \times 1.0 \times 10^{-5}) \times 0.6 \times \sqrt{(2 \times 600000 / 767)}$ = 0.0085 kg/s <u>Total: 0.13kg (液体換算 $0.19 \times 10^{-3} \text{ m}^3$)</u>

Node2：燃料供給設備～アンモニア燃料船



No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度（ship/year）	推定漏洩量
202a	ホース	ESD 起動後，ERC が作動せず二船間距離が拡大しホース破断する。 Note：海面にアンモニアが漏洩する。	C1：ERC 故障		推定頻度 ERC 損傷頻度に関する資料は存在しないため，フランジ損傷を 10 倍した値を用い， 93×10^{-6} 当該シナリオは津波等，急激な環境変化による二船の緊急切り離しの過程で発生するものと考えられる。パンカリング中津波に遭遇する割合は $1.0 \times 10^{-4} \%^{*1}$ と推定される。 推定頻度： 9.30×10^{-9} * 1： 津波に遭遇する割合を 100 年に一度、1 年に 4 日パンカリングを実施するとして、パンカリングしている最中に津波へ遭遇する	ホース長さ：30m ホース径：150A ホース内体積： $30 \times 0.075^2 \times 3.14 = 0.46 \text{ m}^3$ Total： 0.46 m^3

No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度（ship/year）	推定漏洩量
					割合は、 $1/100 \times 4/365$ で 1.0×10^{-4} と推定される。	
	天然ガス燃料船に関する総合対策リスク評価との比較：ハザード ID ④ 中量 LNG 漏洩 ケース 2 に対応 (移送ホース等の内容積) ① 天然ガス燃料船 ESD 弁～液移送ホースまでの容積 : 0.050 m³ ② 液移送ホース（直径 8 インチ×31.792m） : 1.039 m³ ③ ERC カップリング移送ホース側容積（直径 8 インチ） : 0.008 m³ (1 インチ=0.0254m) 計 : 1.097 m³ ① LNG燃料船ESDバルブ～LNG移送ホースまでの容積(8") =長さはおおよそ1.5m =$1.5 \times \pi \times (0.102)^2$ =0.050m³ ② LNG移送ホース容積(8") =$31.792\text{m} \times \pi \times (\phi/2)^2$ =$31.792 \times \pi \times (0.102)^2$ =1.039m³ ③ ERCカップリングの移送ホース側容積(8") =0.008m³ ①+②+③=1.097m³					
207	ERC	(バンカリング中) ERC を緊急作動し、アンモニアが小量漏洩する。 Note: 海面にアンモニアが漏洩する。	C1: 仕様	対策なし。現在、アンモニアバンカリング用の ERC として漏洩量を最小化する製品の開発が行われている。	バンカリング中環境条件の逸脱、かつ係船設備が損傷する場合に発生すると考慮するとほとんど発生しない。 バンカリング作業：年 100 回 環境条件の逸脱：環境予想を行わないミスオペレーション 1.0×10^{-3} 係船設備の損傷：環境条件の逸脱に対して安全率は 2 倍あることから 100 回に 1 回と推定 <u>推定頻度： $100 \times (1.0 \times 10^{-3}) \times 1/100 = 1.00 \times 10^{-3}$</u>	漏洩量については、既存の LNG 燃料船のバンカリングに用いられる ERC の仕様を参照し、4 litter とする。液体アンモニア配管が 2 系統、アンモニアガス配管が 2 系統あるとする。 液体アンモニアからの漏洩量 L_{leak} $L_{\text{leak}} = 4 \times 2 = 8 \text{ litter}$ ガスアンモニアからの漏洩量 V_{leak} $V_{\text{leak}} = 4 \times 1 = 4 \text{ litter}$ ここで、液体アンモニアの気化量に比べて、ガスアンモニアからの漏洩量 4litter

No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度 (ship/year)	推定漏洩量
						は小さいため、危険度計算では無視できる。 <u>Total: L_{leak}=8 litter=8.00 x 10⁻³ m³</u>
天然ガス燃料船に関する総合対策リスク評価との比較: ハザード ID ③ 少量 LNG 漏洩 ケース 2 に対応。漏洩量は 0.004m ³						
208	ERC	(バンカリング中) ESD 弁と ERC 弁間のホースが破裂損傷する。 Note: 海面にアンモニアが漏洩する。	C1: ESD 起動後, 二船間の切り離しを行った際, ESD 弁と ERC 間で液封してホース内圧力が上昇する。(圧力逃し弁がない。)	対策なし。	(頻度推定の前提) -ESD1 から ESD2 へ移行した際に発生するシナリオ -ESD 2 への移行するシナリオは, 津波や火災発生などの緊急事態への対応となる。 -津波の発生頻度は, バンカリング実施地に依存するため, 火災の発生頻度を用いる。なお, 火災の大きさに依存せず, バンカリング中に火災が発生した場合は ESD 2 体制と仮定する。 - ESD1 から ESD2 に移行するシナリオ発生頻度は次のとおり ✓ アンモニア燃料船の船種をバルクキャリアと仮定すると, 火災発生頻度は, 3.39 x 10 ⁻⁴ per ship year ✓ バンカー船は液化ガス運搬船なので, 火災発生頻度は, 4.57 x 10 ⁻⁴ per ship year ✓ バンカリング作業: 年 100 回/4 時間 ✓ F' =(3.39 x 10 ⁻⁴ +4.57 x 10 ⁻⁴) x (4 x 100/24)/365=3.63 x 10 ⁻⁵ -ESD 2 へ移行後, ESD 弁と ERC 弁間で液封状態が発生するが, この液封状態は手動により解除される。 -本シナリオの頻度は, 上記頻度 F' に対してこの手動操作の失敗を考慮して計算する。 F=F' x (液封の手動解除ミスオペレーションが発生する割合)	(漏洩量の前提) -配管径 150A (漏洩量の算定) (1) ESD 弁〜ERC までの漏洩量 ESD 弁から ERC までの配管内の体積分のアンモニアが漏洩するものとする。 なお, ESD 弁から ERC までの距離は 5m と仮定する。 (1) L _{leak} = (0.075) ² x π x 5 (m)= 0.09 m ³ <u>Total: 0.09 m³</u>

No	構成要素	漏洩シナリオ	原因	既存の対策	推定頻度 (ship/year)	推定漏洩量
					－ ここで、弁の手動操作という単純作業に失敗する割合は、ESD 起動時という緊急事態を考慮して、通常作業に発生するミスオペレーションする割合 (1.0×10^{-3}) の100 倍を用い、1.0×10^{-1} とする よって、推定頻度は $3.63 \times 10^{-5} \times 1.00 \times 10^{-1} = 3.63 \times 10^{-6}$ <u>推定頻度: 3.63×10^{-6}</u>	

以上