

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

第4回 委員会資料

事故防止対策の考え方

令和6年10月21日

MOL マリン&エンジニアリング株式会社

目 次

1. はじめに	1
2. 漏洩事故防止対策の方針.....	1
2.1 漏洩事故を未然に防止するための対策方針.....	2
2.1.1 「(1) 標準作業手順の励行」	2
2.1.2 「(2) 異常の察知」	2
2.1.3 「(3) 安全教育と訓練」	3
2.1.4 「(4) 実施条件及び中止条件の策定」	3
2.1.5 「(5) バンカリング中に避けるべき同時並行作業（SIMOPS）の検討」	3
2.2 漏洩事故発生時に周囲への被害を極小化するための対策方針.....	4
2.2.1 「(1) 漏洩源からの物理的な距離の確保」	4
2.2.2 「(2) 安全教育と訓練」	4
2.2.3 「(3) 漏洩の検知とガス拡散への対策」	4
2.2.4 「(4) 事故発生時の対応態勢」	5
3. 「(5) 毒性を考慮した危険区域（離隔距離）とゾーンの設定」	6
3.1 諸外国における区域の考え方.....	6
3.1.1 DNV（ノルウェー船級協会）の考え方.....	6
3.1.2 ABS（アメリカ船級協会）の考え方.....	8
3.1.3 SGMF（ガス燃料の安全利用を目的とした国際 NGO 団体）の考え方.....	10
3.1.4 IMO のアンモニア燃料船ガイドラインにおける考え方	11
3.1.5 諸外国における区域の考え方のまとめ.....	12
3.2 アンモニアバンカリングガイドラインにおける区域の考え方.....	14
3.2.1 漏洩事故発生時の想定されるアンモニアの態様.....	14
3.2.2 アンモニアが人体に及ぼす影響について.....	15
3.2.3 危険区域（離隔距離）及び管理区域の設定方法.....	19
3.2.4 各ゾーンの設定方針.....	23
3.2.5 各ゾーンの設定及び想定される個人保護装具.....	23
3.2.6 各ゾーンにおける制限時間の目安の整理.....	26
3.2.7 漏洩事故発生時のアンモニアガスの拡散範囲の考え方.....	27
4. 事故防止対策の考え方のまとめ.....	30
4.1 事故防止対策の考え方.....	30
4.2 今後の課題	31

1. はじめに

令和5年度に開催した第1回～第3回「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）」では、液体・アンモニアガスの物性（引火性、毒性及び腐食性）を整理し、「Ship to Ship 方式」、「Shore to Ship 方式」及び「Track to Ship 方式」について、アンモニア燃料が漏洩する可能性があるシナリオの発生要因及び漏洩量について検討を行った。さらに検討した各シナリオの重要度を基に、いくつかのシナリオについては試験的に拡散シミュレーションを実施し、漏洩事故が発生した時の対応方法及び防止対策については課題として整理した。

本検討では上記の経緯を基に、漏洩事故発生時の対応方法を整理し、漏洩事故防止対策の考え方を検討する。

2. 漏洩事故防止対策の方針

本検討で対象とする漏洩事故防止対策は、「漏洩事故を未然に防止するための対策」及び「漏洩事故が発生したときに周囲への被害を極小化するための対策」の二つの方針を考える。

なお、漏洩事故防止対策の方針を検討する前提として、アンモニア漏洩事故はアンモニア燃料移送時を対象に検討することとする。また、予め定められた手順に従ってアンモニア燃料を移送すれば（以下、「標準作業手順（Standard Operating Procedure）」という）、下記に示す被害極小化対策を要するような量のアンモニア燃料は漏洩しないことを前提に考える。

● 漏洩事故を未然に防止するための対策

アンモニア漏洩事故そのものが発生しないように、様々な面から講じることのできる対策を示す。これを本検討会では「漏洩事故を未然に防止するための対策（以下、「事故未然防止対策」という）」として整理・検討する。

● 漏洩事故が発生したときに周囲への被害を極小化するための対策

事故未然防止対策を講じたとしても、例えば標準作業手順を何らかの理由により逸脱してしまう、移送機器等に破損が生じてしまうなどといった、突発的・偶発的事由によって、アンモニア燃料が漏洩してしまう事故を想定する。

このとき、事故未然防止対策の観点とは別に、アンモニア燃料の漏洩事故が発生したとしても、乗組員及び作業員の人命を守ることを最優先とし、船舶及び各種設備への被害を極小化するために取るべき対策を考える必要がある。

これを本検討会では「漏洩事故発生時に周囲への被害を極小化するための対策（以下、「被害極小化対策」という）」として整理・検討する。

2.1 漏洩事故を未然に防止するための対策方針

事故未然防止対策として、下記5つの対策方針案を示す。

- (1) 標準作業手順の励行（アンモニア燃料移送手順の励行）
- (2) 異常の察知（アンモニア燃料移送監視態勢の策定）
- (3) 安全教育と訓練（必要な防災知識、習熟訓練及び経験の取得）
- (4) 実施条件及び中止条件の策定（アンモニア燃料移送条件の策定）
- (5) バンカリング中に避けるべき同時並行作業（SIMOPS）の検討

2.1.1 「(1) 標準作業手順の励行」

アンモニア燃料移送作業における漏洩事故を未然に防ぐためには、作業に関わる者が、予め定められた標準作業手順（アンモニア燃料移送手順）を十分に理解し、励行することが最も基礎的かつ重要な対策であると考えられる。

今年度に策定するアンモニアバンカリングガイドライン（註：本ガイドラインの名称は仮称としている、以下この註は省略する）においては、「Ship to Ship方式」、「Truck to Ship方式」及び「Shore to Ship方式」における例示的な作業手順を記載し、それぞれの作業内容及び留意点を整理する。

2.1.2 「(2) 異常の察知」

定められた標準作業手順を実施している際に、何らかの異常を察知し、即座に対応することは、事故未然防止対策の一助となるだけでなく、被害極小化対策の効果も期待できると考えられる。

異常の察知のためには、標準作業手順の各手順で見られる現象を十分に理解するだけでなく、その差（異常）の認識をサポートする設備・体制を整えることが有効であると考えられる。

第1回～第3回検討会にて整理した設備要件にて、アンモニアバンカー船のタンクの圧力・温度・液量等を計器等で定量的に監視できるシステム（液面計測装置、貨物タンク圧力計測装置等）を搭載し、異常があれば、その状況を判断できる設備を設けることが異常の察知をサポートする設備になり、緊急遮断システム（ESDS:Emergency Shut Down System）を作動出来る設備を設けることで、異常を察知したあとの対応設備になると予想される。

そのほか、アンモニア燃料移送時の安全管理体制についても予め検討することで、機器面及び体制面から成るアンモニア燃料移送を監視する態勢を整え、アンモニア漏洩事故を未然に防ぐ効果を期待できると考える。

2.1.3 「(3) 安全教育と訓練」

事故未然防止対策は機器面・体制面だけでなく、人的側面からの対策も有効であると考えられる。特にアンモニア燃料は毒性・腐食性に特徴があることから、アンモニアバンカー船の乗組員にこれらの特徴を踏まえた防災知識、習熟訓練及び経験を習得させることは、漏洩事故を未然に防ぐ効果が期待されると想定される。

本検討会では、アンモニアバンカリングガイドラインの策定を目的としている。そこで、特にアンモニアバンカー船の乗組員に必要と考えられる防災知識、習熟したほうが良いと思われる訓練内容及び推奨される経験の内容及びその期間等については、後述する被害極小化対策に示す各区域での行動方針、各区域で遭遇するアンモニア態様の整理及び装備しなければならない個人保護装具の取り扱い等の検討を鑑みて策定するものとする。

2.1.4 「(4) 実施条件及び中止条件の策定」

これまでに述べた「(1)」～「(3)」の各対策については、アンモニア燃料移送中における事故未然防止対策である。一方、アンモニア燃料移送前に突発的及び偶発的な事由の発生が予想されるとき、若しくはアンモニア燃料移送中であつたとしても状況が変化し、アンモニア燃料の漏洩事故の発生が予見された場合についての状況を整理し、アンモニア燃料移送の実施条件及び中止条件について、予め策定しておくことも事故未然防止対策の一つになると考えられる。

アンモニア燃料移送の実施条件としては、気象・海象条件からなるアンモニア燃料移送条件の遵守が考えられる。また中止条件については、地震・津波発生時などが想定される。実施条件を超過するとき、もしくは中止条件を満たした場合については、アンモニア燃料移送を中止することで、事故未然防止対策になると考えられる。

2.1.5 「(5) バンカリング中に避けるべき同時並行作業（SIMOPS）の検討」

アンモニア燃料移送時に、避けるべき同時並行作業（Simultaneous Operations:SIMOPS シモプス）を検討することにより、予想される漏洩事故そのものの発生を防ぐ考え方も、事故未然防止対策の一つになると考えられる。

第1回～第3回検討会では、アンモニア燃料移送中に漏洩事故が発生すると想定されるシナリオ（要因及び漏洩量）について整理した。例えばこれらのシナリオのうち、シナリオNo. 101については、アンモニア燃料移送中、アンモニア燃料船のマニホールド部に、クレーン等で釣り上げた物が落下し、フランジ部が全損（配管のギロチン破断）することを想定したシナリオになっている。この事故想定については、「アンモニア燃料移送中には、バンカリングステーション上空を通過するような貨物の受け渡し作業を行わない」といった同時並行作業（SIMOPS）を整理することで、回避することが可能であると考えられる。

2.2 漏洩事故発生時に周囲への被害を極小化するための対策方針

被害極小化対策として、下記5つの対策方針案を示す。なお「(5) 毒性を考慮した危険区域（離隔距離）とゾーンの設定」については、次章にて詳細を示す。

- (1) 漏洩源からの物理的な距離の確保（バンカリング作業の遠隔監視及び制御）
- (2) 安全教育と訓練（必要な防災知識、習熟訓練及び経験の取得）
- (3) 漏洩の検知とガス拡散への対策（漏洩検知器及びガス拡散対策）
- (4) 事故発生時の対応態勢（アンモニア燃料漏洩事故対応態勢の策定）
- (5) 毒性を考慮した危険区域とゾーンの設定（離隔距離）

2.2.1 「(1) 漏洩源からの物理的な距離の確保」

アンモニア漏洩事故が発生した場合、漏洩した箇所（漏洩源）から液体若しくはアンモニアガスが周囲へ拡散することが想定される。その際、最優先となる人的被害を極小化するために、最も基礎的かつ重要な対策の方針は漏洩源（液体アンモニア）及び拡散するアンモニアガスから距離を確保する（直ちに逃げる）ことであると考えられる。

事故未然防止対策の一つである「(2) 異常の察知」では、異常を察知する手段として各種計器及び措置を講じる手段としてESDSを示している。これらの計器及びESDSの動作スイッチの設置場所そのものが、バンカリングステーションから距離を確保できていること、すなわちバンカリング作業の遠隔監視及び制御を実施することは、被害極小化対策の一つであると考えられる。

2.2.2 「(2) 安全教育と訓練」

事故未然防止対策のなかで、アンモニア燃料における毒性・腐食性・引火性等に特徴があることを踏まえ、アンモニアバンカー船の乗組員に必要な防災知識、習熟訓練及び経験の習得を述べた。

被害極小化対策としては、これらのアンモニア燃料の特性を踏まえた初期対応、特に人命救助による二次被害を防ぐための防除措置の理解が有効であると考えられる。

2.2.3 「(3) 漏洩の検知とガス拡散への対策」

被害極小化対策は、漏洩源（液体アンモニア）及び拡散するアンモニアガスから距離を確保する（直ちに逃げる）ことであることから、その漏洩を早期から時々刻々と検知し周知すること、さらにアンモニアガスの拡散を抑制すること、さらにアンモニアガスから隔離できる設備を設けること、乗組員及び作業員が命を守るために最低限持つべき個人保護装具と避難所の設置が被害極小化対策になり得ると考えられる。

漏洩したアンモニアガスを検知するためには、漏洩検知器を適切な位置に配置し、さらにその検知結果を「(1)」で示したような遠隔監視場所に伝えること、さらにバ

ンカリングステーション付近においても、可視可聴の複数の方法によってその検知結果を周知できることが望ましいと考えられる。

アンモニアガスの拡散を抑制する装置については、第1回～第3回検討会でも示したように、アンモニアプールの拡大を物理的に抑制するドリップトレイの設置や、水噴霧装置等による水霧による拡散の防止が一定の効果を発揮することが期待される。

乗組員及び作業員が具備すべき個人保護装具については、想定されるアンモニアガスの濃度によって具備すべき装備を検討すべきものと考えられる。また、避難所については、アンモニア漏洩事故発生後に即座に避難できる場所を確保することが挙げられる。

2.2.4 「(4) 事故発生時の対応態勢」

アンモニア事故漏洩発生時は直ちに避難し、一定の距離を確保して乗組員及び作業員の安全を確保することが大前提となる。

一方、安全を確保した上で適切な個人保護装具を着用し、事故対応後の処理（除染処理等）を含めた一連の事後対応方法及び体制を含めたアンモニア燃料漏洩事故対応の態勢を策定しておくことで、適切な初期対応を実施することが可能となり、被害極小化対策につながるものと考えられる。

3. 「(5) 毒性を考慮した危険区域（離隔距離）とゾーンの設定」

3.1 諸外国における区域の考え方

3.1.1 DNV（ノルウェー船級協会）の考え方

DNV（Det Norske Veritas（デット ノルスケ ベリタス）：ノルウェーの船級協会）では、国際的なバンカリング拠点の一つであるシンガポールに置けるアンモニアバンカリングのガイドラインとして「Safety and Operational Guidelines for Piloting Ammonia Bunkering in Singapore（以下、「DNV資料」という）」を2023年4月に公表している（図3.1.1-1）。バンカリングの対象としては、StS方式（錨地での作業も含む）、SHtS方式、TtS方式の3種類が示されている（図3.1.1-2）。

管理区域としては「7.3.8.4 Controlled zones」に記載されており、4区域に分類されているものの、各区域の範囲（距離）は明示されていない。

(1) 危険区域（Hazardous areas）

適切に評価された電気の固定式およびポータブル機器のみを使用する必要がある区域とし、修理作業は実施しない。

(2) 安全区域（Safety zone）

点火源が適切に管理される必要がある区域。偶発的な放出の際に可燃性ガスにさらされることが許可された作業員および許可された活動を目的とする場合のみが入ることができる。

(3) 有毒区域（Toxic zone）

管轄する当局の要件に従って設定し、接続作業や接続解除作業などの活動中に有毒ガスが周囲の作業員に危害を及ぼす可能性のある区域とする。

(4) 監視区域（Monitoring zone）

アンモニアバンカリング作業区域の周囲に監視区域を設け、リスク評価に基づいて外部干渉を最小とする区画とする。

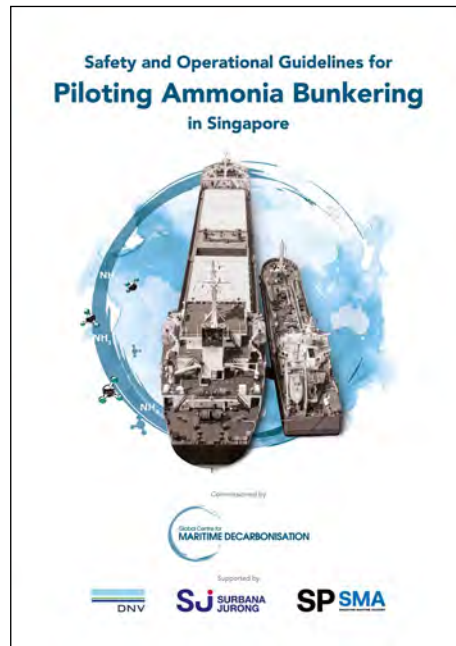


図3. 1. 1-1 DNV 資料表紙

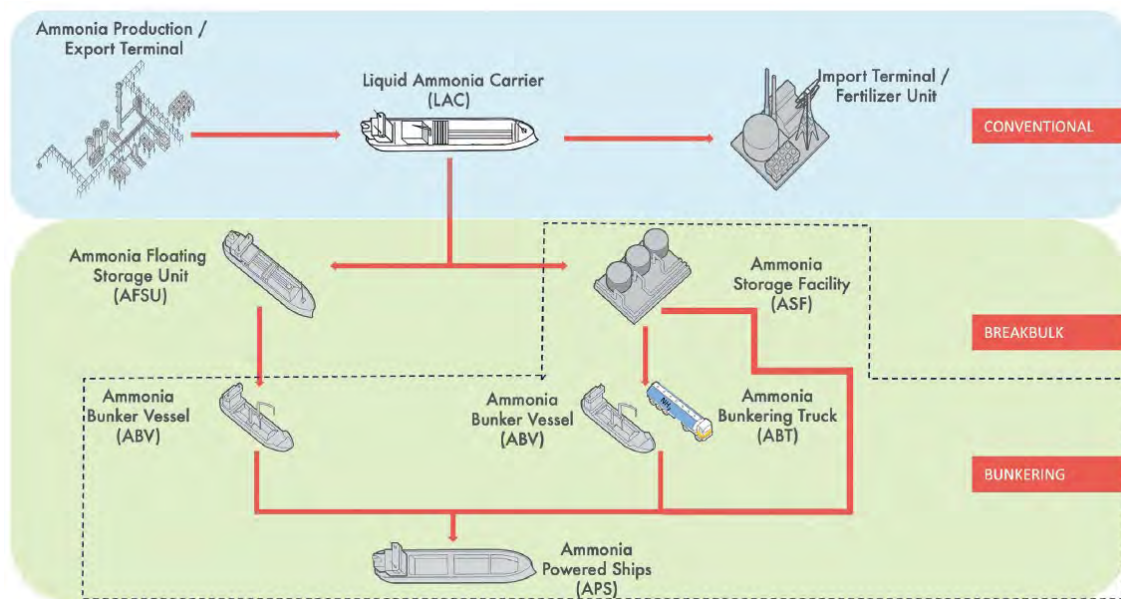


図 3. 1. 1-2 DNV 資料中のバンカリング方式

3.1.2 ABS（アメリカ船級協会）の考え方

ABS（American Bureau of Shipping：アメリカの船級協会）では、カーボンゼロ燃料である代替燃料としてアンモニアに着目し、アンモニア燃料補給に関する課題を整理するため「AMMONIA BUNKERING：TECHNICAL AND OPERATIONAL ADVISORY（以下、「ABS資料」という）」を2024年6月に公表している（図3.1.2-1）。

管理区域はガス拡散解析、リスク評価、関連する国際規制及び対象地域の機関の決定に基づいて定義され、下記4区域を含むことと記載されている（図3.1.2-2）。

各区域についての考え方について記載があり、イメージ図も記載されているが、各区域の具体的な距離については明示されていない。

(1) 危険区域（Hazardous areas）

バンカリング作業中には、主にホースや接続作業及び接続解除作業を行うために必要な人員のみがこの区域に立ち入ることが許可される。アンモニアに関連する危険区域は、通常、閉鎖空間や半閉鎖空間に限定される。

(2) 安全区域（Safety zones）

引火源が適切に管理され、アクセスが許可された人員およびその活動が制限される区域を指す。安全区域は、バンカリング形式、漏洩の発生頻度、大気温度、気象条件、交通量などを考慮して決定される。リスク評価およびガス拡散解析は安全区域の適切な範囲を決定する際に参考とすることができる。

(3) 有毒区域（Toxic zone）

バンカリング作業の中で接続作業及び接続解除作業などの作業員が有害となる可能性のある区域を指す。アンモニア燃料船の有毒区域は、船級要求に基づいて決定される

(4) 規制区域（Security zones）

アンモニアバンカリング作業区域の周囲に設けられ、外部の干渉を制限するための領域を指す。

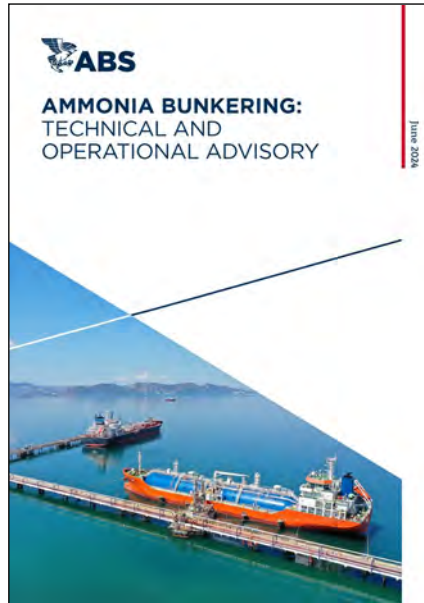


図3.1.2-1 ABS資料表紙

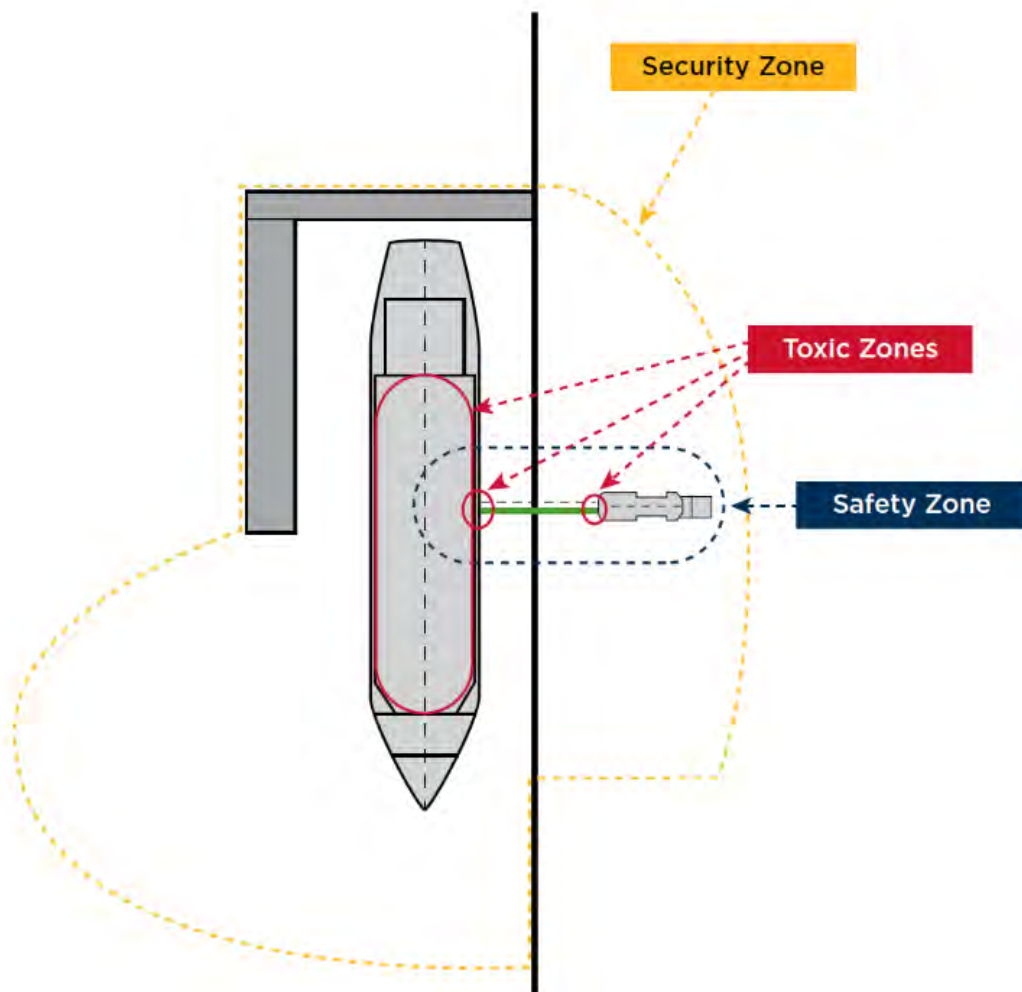


図3.1.2-2 ABS 資料における管理区域

3.1.3 SGMF（ガス燃料の安全利用を目的とした国際NGO団体）の考え方

SGMF（The Society for Gas as a Marine Fuel：海運業界におけるガス燃料の安全で持続可能な仕様を促進することを目的としたNGO団体、ロンドン）では、アンモニア燃料の偶発的な漏洩（放出）に備えた準備と対応方法を整理した「AN INTRODUCTION TO AMMONIA ACCIDENTAL RELEASE PREPAREDNESS AND RESPONSE（以下、「SGMF資料」という）」を2024年7月に公表している。

SGMF資料では、区域との分類として「Hazardous zone」（危険区域）と「Safety zone」（安全区域）の二種類に分類している（図3.1.3-1）。

引火性のHazardous zoneについては、IGFコードでは示されている一方、毒性のHazardous zoneの定義については現時点で示されているものはない。SGMF資料ではAEGLの濃度基準を踏襲しており、アンモニア燃料の漏洩が発生した際には、Hazardous zoneとSafety zoneを区別するために、リアルタイムの濃度の測定が重要であることが述べられている。

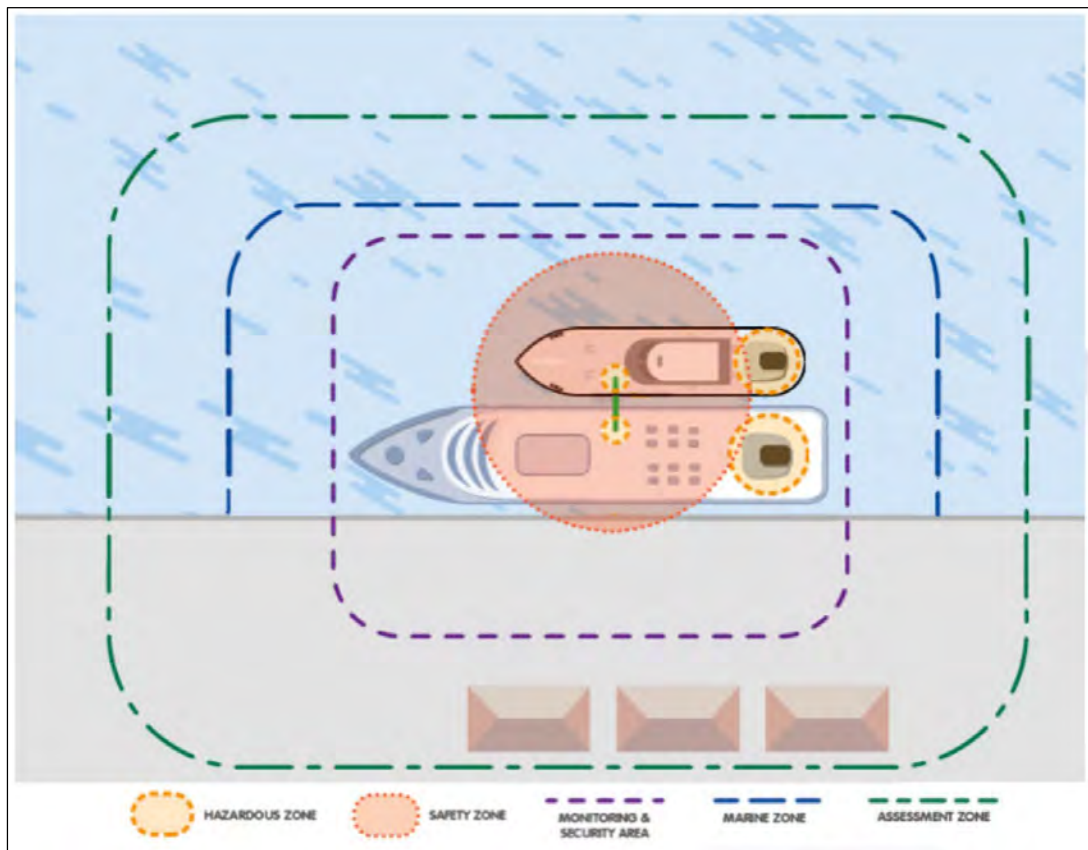


図3.1.3-1 SGMF 資料における区域の考え方

3.1.4 IMOのアンモニア燃料船ガイドラインにおける考え方

2022年4月に開催された海上安全委員会（MSC105）において、アンモニア燃料船の普及促進に向けて国際的な安全ガイドライン策定に向けた検討を開始することが合意された。これを受けて2022年9月のCCC8から具体の議論が開始された。

2024年9月16日から20日にかけて第10回貨物運送小委員会（CCC10）が開催され、IMOのアンモニア燃料船ガイドラインによれば、毒性エリアの範囲の設定は、IGCコードをベースとした固定距離により設定する方法と、漏洩時のガス拡散解析を実施して設定する方法の双方を使用する方針である。ただし、前者規定の距離の外側にある空気取入口、排気口、居住区域の開口、業務区域、機関区域、制御場所等の特定の場所がガス拡散解析により220ppmを超える可能性がある場合は、距離を適切に延長するか、漏洩時に限定して追加の対策（ウォーターカーテンを設置する等）を講じるとしている。

最終化された本ガイドラインは、承認手続きのため、2024年12月の第109回海上安全委員会（MSC109）に上程される予定である。

図3.1.4-1にCCC10における主な決定事項を参考に示す。

今次会合での主な決定事項	
●	本ガイドラインの位置づけは、アンモニア燃料船に求められる機能要件を主としてまとめたものである。
●	乗組員の健康への影響を考慮してアンモニア漏洩検知器の濃度の閾値を以下のとおりとする。 ✓ 警報を発するアンモニア濃度：25ppm（閉鎖区画）、110ppm（閉鎖区画以外） ✓ 乗組員が緊急行動を取る濃度：110ppm ✓ 安全システムが作動する濃度：220ppm
●	毒性エリアの範囲の設定は、IGCコードをベースとした固定距離により設定する方法と、漏洩時のガス拡散解析を実施して設定する方法の双方を使用する。ただし、前者規定の距離の外側にある空気取入口、排気口、居住区域の開口、業務区域、機関区域、制御場所等の特定の場所がガス拡散解析により220ppmを超える可能性がある場合は、距離を適切に延長するか、漏洩時に限定して追加の対策（ウォーターカーテンを設置する等）を講じる。
●	アンモニア燃料は、安全性の観点から大気圧で液体状態になるよう冷却した状態で格納する。ただし、他の格納方法も代替設計により許容する。
●	液体アンモニアの燃料配管システムは、最低でも18バールの設計圧力を持つ必要がある。気体アンモニアの燃料配管システムは、最低でも10バールの設計圧力を持つ必要がある。
●	アンモニア放出緩和装置（Ammonia Release Mitigation System：ARMS）を通過した気体中のアンモニアの濃度は110ppmを超えないように設計しなければならない。
●	安全に運用ができるよう船上にアンモニア燃料バンカリングの燃料取り扱いマニュアル等の運用手順書を備えることや緊急手順書を備える規定を追加する。

国際海事機関(IMO)第10回貨物運送小委員会(CCC10)の開催結果概要
(国土交通省海事局 令和6年9月26日Press Release資料)より抜粋

図3.1.4-1 今次会合（註：CCC10）での主な決定事項

3.1.5 諸外国における区域の考え方のまとめ

諸外国における各区域とアンモニア濃度の考え方について表3.1.5-1に示す。

いずれの資料においても、アンモニア燃料が漏洩すると考えられるポイント周辺を一つの区域（ABS資料では有毒区域、SGMF資料では危険区域）と設定している。その他の区域は濃度によって示しているものの、各区域の範囲（距離）については明示されていない。また、ABS資料では、「危険区域」として特定の作業以外では立ち入りを制限する区域を設定している。

(1) DNV資料

管理区域（Control zone）として記載されており、引火性に着目した危険区域及び安全区域を除き、毒性区域（アンモニアガスが健康に影響を及ぼす濃度である可能性の高い区域）、監視区域（アンモニアバンカリング作業区域の周囲の監視区域）を設定している。

(2) ABS資料

管理区域（Controlled zones）として記載されており、危険区域（主にホースや接続作業及び接続解除作業を行うために必要な人員のみがこの区域に立ち入ることが許可される）、安全区域（アクセスが許可された人員及びその活動が制限される区域）、有毒区域（作業員が有毒となる可能性のある区域）、規制区域（アンモニアバンカリング作業区域の周囲）を設定している。

(3) SGMF資料

危険区域及び安全区域（Hazard and safety zones）として記載されており、危険区域（引火性又は有毒な雰囲気が頻繁に存在することが予想され、潜在的な着火源の制御及び/又は人の立入りのための特別な予防措置を必要とする三次元空間）及び安全区域（大部分の漏洩事象が発生すると予想される区域）として整理がされている。

(4) IMOのアンモニア燃料船ガイドライン

(1) ～ (3) のような区域の分け方はされていないものの、毒性エリアの範囲設定のあり方（乗組員の健康への影響を考慮したアンモニア漏洩検知器の濃度の閾値）について示されている。

表3. 1. 5-1 諸外国における危険区域（離隔距離）について

想定されるアンモニア濃度	DNV資料※1	ABS資料※2	SGMF資料
高い	有毒区域	有毒区域	危険区域
	-	安全区域	-
低い	監視区域	規制区域	安全区域

※1 DNV資料における「危険区域」及び「安全区域」に関しては、引火性に着目した区域のため省略している。

※2 ABS資料における「危険区域」はアンモニア燃料移送中に立ち入りの制限を課す区域のため、省略している。

3.2 アンモニアバンカリングガイドラインにおける区域の考え方

これまでの検討内容及び諸外国の資料を基に、アンモニアバンカリングガイドラインで示す区域の考え方について整理する。

3.2.1 漏洩事故発生時の想定されるアンモニアの態様

アンモニア燃料移送中にアンモニア漏洩事故が発生した場合、アンモニアガス若しくは液体アンモニアは海上若しくは船上に漏洩すると想定される。これらの漏洩したアンモニアの態様の組み合わせについては、下記の三種類が想定される。

(1) アンモニアガスが海上若しくは船上に漏洩した場合

アンモニアガスの温度が十分に低い場合、空気中の水分と凝結し、地を這うような拡散をすると予想される。一方、アンモニアガスの温度が低くない場合は、白い蒸気雲状のように鉛直上向きに上昇するような拡散をすると考えられる。これらのアンモニアガスの拡散については、風況によって拡散範囲が変化すると考えられる。

なお、アンモニアガスの漏洩に関しては、海上に漏洩した場合及び船上に漏洩した場合において、その態様については大きな差が無い（漏洩源から風況の影響を受け、周囲に拡散する。海面に触れたとしても後述するように直ちに溶解することはない）ものと考えられる。

(2) 液体アンモニアが船上に漏洩した場合

アンモニアは常圧下（1atm）で沸点-33.4℃の物性を持つが、液体のアンモニアが船上に漏洩した場合、瞬時に全量が気化せず、徐々に気化していくものと考えられる。したがって液体アンモニアが船上に漏洩した場合、水たまりのような液体アンモニアと気化しているアンモニアガスの双方が同時に発生するものと考えられる。

(3) 液体アンモニアが海上に漏洩した場合

漏洩した液体アンモニアが海水と接触し、アンモニア水及びアンモニアガスが、それぞれ海面上及び海水中に分布することとなる。一部は海水中の塩化マグネシウム及び硫酸マグネシウムと反応し、不溶性の水酸化マグネシウムを生成し、海面付近に白濁した物質として漂うことが予想される。

したがって液体アンモニアが海上に漏洩した場合、蒸発しながら空気中の水分と反応して白色のガス雲を発生させ、海面を這いながら若しくは上空へと拡散するものと考えられる。蒸発しない液体アンモニアは海面を浮遊しつつ、少しずつ蒸発及び溶解をしながら（アンモニア水を生成しながら）海水中のマグネシウムイオンと反応し、白色の水酸化マグネシウムを形成し、海表面付近

を白濁の水酸化マグネシウムが漂流し、自然分散するものと考えられる。

3.2.2 アンモニアが人体に及ぼす影響について

アンモニアバンカリングガイドラインにおいて、漏洩事故発生時に液体若しくはアンモニアガスが人体の健康に影響を及ぼすメカニズムについて下記に示す。

(1) 急性及び慢性について

1回または短時間曝露したときに発現する毒性を急性毒性という。一方、長時間曝露又は繰り返しの曝露によって現れる毒性を慢性毒性という。1回又は短時間ばく露の急性毒性、期間の比較的短い亜急性毒性と対比して用いるものとされている※1。

アンモニア燃料移送時に発生する漏洩事故を想定する上では、アンモニア漏洩事故が繰り返しではなく一過性であること、曝露時間についても、短時間での曝露が想定されることから、急性による毒性及び曝露時間の検討を実施することが望ましいと考えられる。

※1 引用:厚生労働省「職場の安全サイト」

(2) 急性曝露濃度（AEGL）について

アンモニアにおける急性曝露については、急性曝露ガイドラインレベル（AEGL: Acute Exposure Guideline Level、全米AEGL Committee）において、「①工場の爆発・火災などの事故や自然災害によって大気中に放出された場合の潜在的なリスクを測るため」「②様々な短期曝露での健康被害を特定するため」「③様々な急性曝露濃度レベルの信頼性・妥当性を向上するため」「④工場の爆発・火災などの事故や自然災害によって大気中に放出された場合に、対策や対応できるように計画するため」「⑤ステークホルダー間で負担を共有するため」などの目的を基に策定されている。

図3.2.2-1にアンモニアにおけるAEGLの設定値を示す。

急性曝露ガイドライン濃度 (AEGL)					
Ammonia (7664-41-7)					
アンモニア					
Table AEGL 設定値					
Ammonia 7664-41-7 (Final)					
ppm					
	10 min	30 min	60 min	4 hr	8 hr
AEGL 1	30	30	30	30	30
AEGL 2	220	220	160	110	110
AEGL 3	2,700	1,600	1,100	550	390

引用:国立医薬品食品衛生研究所安全性予測評価部 第三室「AEGL 情報」

図3. 2. 2-1 アンモニアにおけるAEGL設定値について

AEGL1未満及びAEGL1からAEGL3の各レベルにおいて想定される影響については、下記のように示されている。

- **AEGL-1未満：「感知レベル」**
不快な臭気・味覚・感覚刺激、あるいは軽度の無感覚性や無症候性の影響が生じる可能性がある。これらは一過性で非障害的である。
- **AEGL-1：「不快レベル」**
感受性の高いヒトも含めた公衆に著しい不快感や、兆候や症状の有無に関わらない可逆的影響を増大させる空气中濃度閾値である。身体の障害にはならず一時的で、曝露の中止により回復する。
- **AEGL-2：「障害レベル」**
公衆に避難能力の欠如や不可逆的あるいは重篤な長期影響の増大が生ずる濃度閾値である。
- **AEGL-3：「致死レベル」**
公衆の生命が脅かされる健康影響、すなわち死亡の増加が生ずる空气中濃度である。

(3) 脱出限界濃度（IDLH）について

脱出限界濃度（IDLH：Immediately Dangerous to Life and Health）は、The National Institute for Occupational Safety and Health（NIOSH：米国労働安全衛生研究所）及びOccupational Safety and Health Administration（OSHA：米国職業安全衛生局）が定めた許容限界値である。「死亡、または即時または遅発的に持続する健康への悪影響を引き起こす可能性が高い、または脱出を妨げる可能性のある空気中の汚染物質への曝露を引き起こす可能性がある」と定義され、万が一、素面状態（防護マスク等が装備できなかった）においても30分程度は自力で活動できる（自力脱出を行える）濃度であり、回復不能な健康障害に陥る危険を回避できる限界の濃度を示している。

アンモニアにおけるIDLH値は300ppmである。

(4) IMOのアンモニア燃料船ガイドラインに記載されている濃度について

IMOのアンモニア燃料船ガイドラインでは、乗組員の健康への影響を考慮してアンモニア漏洩検知器の濃度の閾値を以下の通りとしている。

- ① 警報を発するアンモニア濃度：25ppm（閉鎖区画）
110ppm（閉鎖区画以外）
- ② 乗組員が緊急行動を取る濃度：110ppm
- ③ 安全システムが作動する濃度：220ppm

(5) アンモニアが人体へ作用するメカニズムの整理

アンモニアは神経や循環器などに毒として直接影響するのではなく、水分と反応し、強アルカリ性の水酸化アンモニアと熱が発生し、熱の発生により火傷が発生するとともに、水酸化アンモニアの強いアルカリ性による粘膜及びその下部の皮膚を腐食することで人体へ作用する。

アンモニアガスについては、目や喉といった粘膜と接触することで、上記の作用機序が発生する。

一方、液体アンモニアについては、高濃度のアンモニアガスの発生源となり、上記の粘膜への溶解による毒性を及ぼすのみならず、-33℃以下の物性から瞬時に低温火傷及び着用している保護具等へ低温脆性による損傷を生じることが考えられる。さらに液体アンモニアが衣類に付着した場合、高濃度のアンモニアガスの発生源となってしまうことから、避難所に入室することが出来ない。入室前には除染作業が必要となってしまうが、汚染された作業服を着用したまま流水で除染すれば、高濃度のアンモニア水が浸透し、かえって皮膚腐食を助長しかねないことに留意する必要がある。

したがってアンモニア漏洩事故発生時、最も避けなければならないことは、液体アンモニアとの接触であると考えられる。アンモニアガスに対しては目や

喉といった粘膜との接触を避けることを優先に、目の保護具及び呼吸保護具を即座に装着することが重要であると考えられる。

- ① 人体表面の汗などの水分に溶け込み、粘膜に対して強い刺激を与え、壊死を引き起こす可能性がある。
- ② アンモニアガスが高濃度であれば、眼球、喉、肺、皮膚等の人体に深刻な影響を与えることとなる。
- ③ 特に液体アンモニアが飛散した場合は非常に危険であり、目に入った場合は失明に至る可能性が非常に高い。また、低温（-33℃）であるため、低温火傷を生じる可能性がある。

3.2.3 危険区域（離隔距離）及び管理区域の設定方法

これまでの検討内容を踏まえ、アンモニアバンカリングガイドラインにおいては、アンモニア燃料移送時に、アンモニア漏洩事故の発生有無を問わず、立ち入りを原則禁止若しくは制限する「区域」を検討するだけでなく、アンモニア漏洩事故発生時に、アンモニアガスの濃度に応じた個人保護装具及び行動等を整理する「ゾーン」についても検討するほうが望ましいと考えられる。

● 「危険区域（離隔距離）」について

区域については、危険区域（離隔距離）と管理区域の二つを想定する。

はじめに「危険区域（離隔距離）」について考える。「危険区域（離隔距離）」については、「事故未然防止対策」を実施し、「被害極小化対策」を十分に考慮した上で設定するものであると考えられる。よってアンモニア燃料移送手順は、その内容について十分に理解されたうえで乗組員及び作業員が励行するものであり、漏洩源と考えられる箇所からは物理的な距離の確保を取ること、さらに万が一アンモニア漏洩事故が発生した際には、ただちに逃げるのが最も基礎的かつ重要な対策である。

したがって、危険区域（離隔距離）は、これらの対策を講じた上で、万が一、アンモニア燃料移送時に発生するアンモニア漏洩事故においた場合を想定するものと考えられる。

漏洩事故が発生した際、事故が発生した瞬間から乗組員及び作業員の身体に影響が出るまでに、数十秒程度の時間的猶予があるならば、直ちに逃げるという原則に従って避難所へ逃げ込むことや、予め用意した呼吸器及び露出している粘膜（例：目）を守る装備（本資料では「防毒マスク」及び「自蔵式空気呼吸具」並びに「保護メガネ」と称する。個人保護装具の詳細な検討については「4.2 今後の課題」にて述べる。）などの個人保護装具を着用するなどの対策が講じられるものと考えられる。

よって乗組員及び作業員の安全を考慮する上で最も避けなければならないのは、アンモニア漏洩事故が発生した後に時間的な猶予がほとんどなく（突発的）かつ、避けることが困難であり、身体への影響が大きい事象であると考えられる。具体的には、事故発生時、飛散した液体アンモニアと身体が接触することであると想定される。

そこでアンモニアバンカリングガイドラインにおける危険区域（離隔距離）は、「アンモニア漏洩源を中心に、液体アンモニアが飛散し、その場に乗組員及び作業員がいた場合、飛散した液体アンモニアへの接触が想定される区域」を「危険区域」として想定するものと考えられる。

この危険区域（離隔距離）では、原則立ち入りを禁止とし、万が一、危険区域内に立ち入る必要が生じた場合には、液体アンモニアに対応する適切な個人保護装具の装着及び安全教育と訓練を受けた者といった特定の条件を満たす者に限るといった条件が考えられる。

なお、一連のアンモニア燃料移送作業の中で、危険区域（離隔距離）を設定するタ

イミングは、接続部に液体アンモニアが存在する場合を想定する。例えばShip to Ship方式の場合、アンモニア燃料船とアンモニアバンカリング船の「移送準備」までは、接続部の内部に液体アンモニアは存在しない。また「移送後作業」における「残液処理」は、接続部に液体アンモニアが存在しないこととなるため、設定タイミング（危険区域が発生するタイミング）は、「移送」から「移送後作業」の「残液処理」後までと考えられる。

● 「管理区域」について

次に「管理区域」を考える。先に述べた乗組員・作業員と比較して、アンモニアガスに対応する手段を持たない人、つまり個人保護装具を持たず、アンモニア燃料について教育・訓練を受けていない者（以下、乗組員や作業員に対し「一般人」という）を想定する。アンモニア事故漏洩時、一般人は防毒マスク及び保護メガネ等を持っていないため、直ちに逃げるといった手段を講ずることとなる。したがって、「管理区域」として設定し、一般人がみだり（註：正当な理由がないのに）に立ち入ることの無いように整理する必要があるものと考えられる。

アンモニアガスの濃度については、IMOのアンモニア燃料船ガイドラインに記載されている閉鎖区画にて警報を発するアンモニア濃度である「25ppm」の値を参考とする。これはAEGL-1レベルである「30ppm」よりも低い値である。よって継続時間としてはAEGL-1レベルである「10分間」を参考にする。

以上から「管理区域」については、上記の立ち入りの制限及びアンモニアガスの濃度ならびに継続時間の観点から、「一般人がみだりに立ち入ることを制限することを目的に、個人保護装具を持ち、未然事故防止対策及び被害極小化対策等を理解した乗組員・作業員が立ち入ることの出来る区域であり、アンモニア漏洩事故発生時、アンモニアガスの濃度25ppm以上が、10分間以上継続して存在し得る区域」を想定する。

表3.2.3-1及び図3.2.3-1に危険区域（離隔距離）及び管理区域を示すとともに、管理区域の陸側の境界のイメージを図3.2.3-2に示す。

表 3. 2. 3-1 危険区域（離隔距離）及び管理区域

区域	区域の整理	立ち入りの制限
危険区域	アンモニア漏洩源を中心に、液体アンモニアが飛散し、その場に乗組員及び作業員がいた場合、飛散した液体アンモニアへの接触が想定される区域	「移送」作業から「残液処理」作業の間 →乗組員・作業員は原則立ち入り禁止※1 →一般人は立ち入り禁止 それ以外作業のとき →乗組員及び作業員は防毒マスク、保護メガネ及び防護手袋を具備し立ち入る※2
管理区域	一般人がみだりに立ち入ることを制限することを目的に、個人保護装具を持ち、未然事故防止対策及び被害極小化対策等を理解した乗組員・作業員が立ち入ることの出来る区域であり、アンモニア漏洩事故発生時、アンモニアガスの濃度 25ppm 以上が、10 分間以上継続して存在し得る区域	一般人は立ち入り禁止

※1 当該作業中に何らかの事情があり、「危険区域」に立ち入る場合は、液体アンモニアに対応できる個人保護装具を装着し、安全教育及び訓練をうけた乗組員・作業員に限定することを想定する。

※2 液体アンモニアが存在しない危険区域は、万が一のアンモニアガス漏洩に備えるため、これに応じた個人保護装具を用意する。ここでは後述するゾーン 2 以降に相当することが想定されるため、そのゾーンにおける個人保護装具に準じた装備を具備することを想定する。

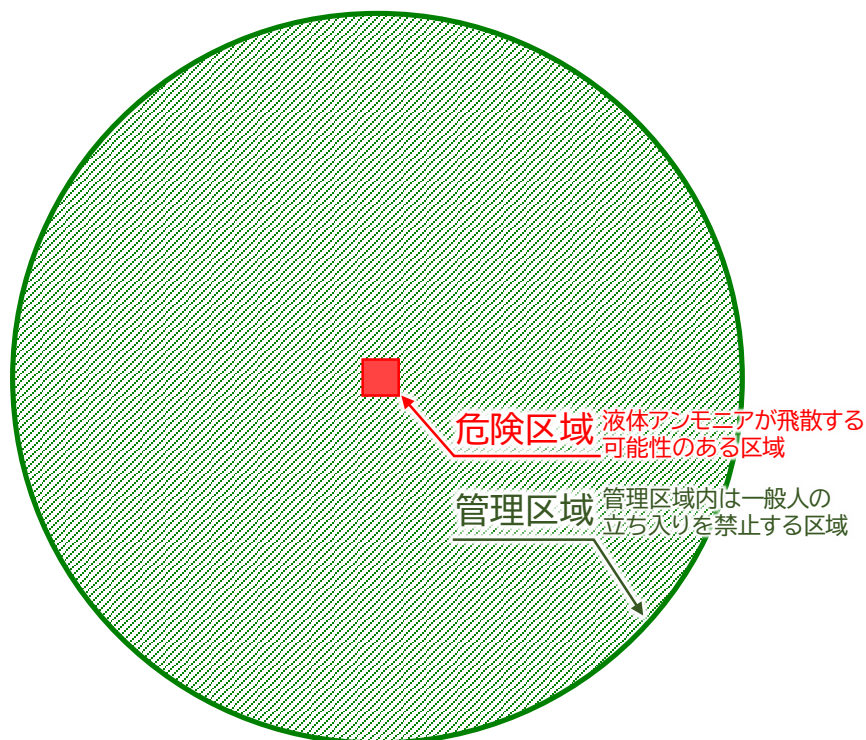


図 3. 2. 3-1 危険区域（離隔距離）及び管理区域

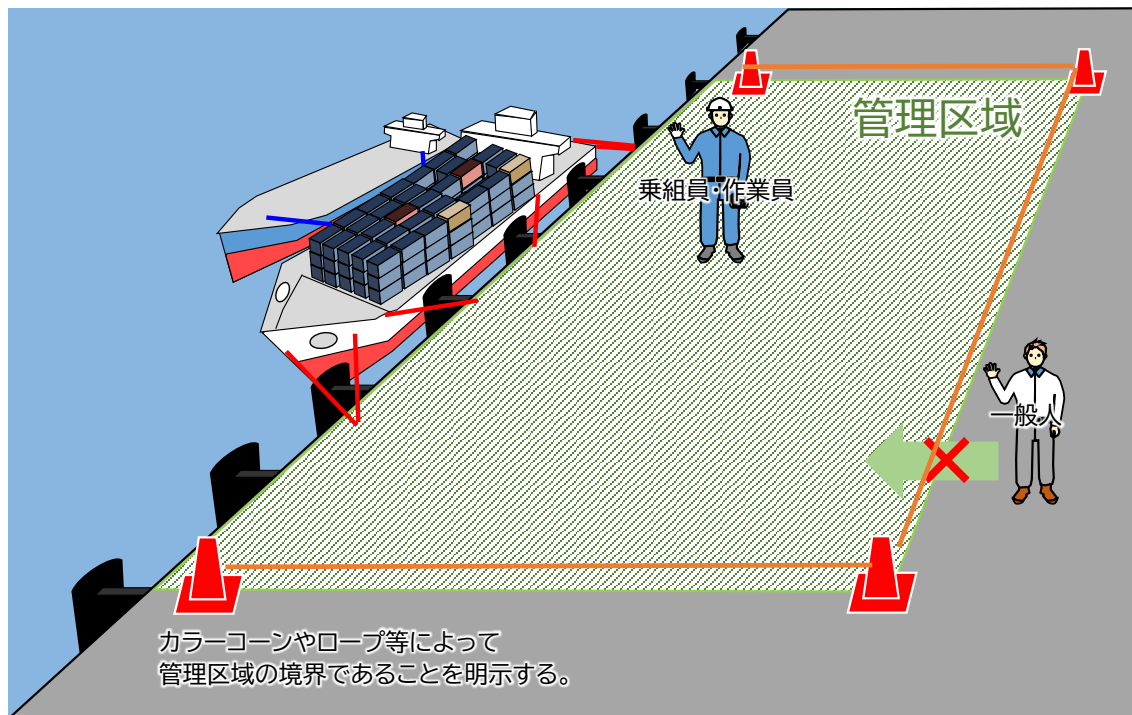


図3. 2. 3-2 管理区域の陸側の境界の明示方法のイメージ

3.2.4 各ゾーンの設定方針

前項で整理した諸外国における各ガイドラインの整理の結果、AEGL等の濃度によって区分する方法が採用されていた。

アンモニアバンカリングガイドラインでは、アンモニアガスの濃度によって区分した各ゾーンにおいて、求められる個人保護装具及びゾーン内での想定される行動を整理するのが望ましいと考えられる。

これらの濃度は、風況等の自然環境により、時々刻々その区域を変化させるものであるから、固定式ガス検知器及び可搬式ガス検知器等により、その濃度を測定する必要があるものと考えられる。

3.2.5 各ゾーンの設定及び想定される個人保護装具

各ゾーンの設定を図3.2.5-1及び表3.2.5-1に示す。また想定される個人保護装具の例を図3.2.5-2に示す。

なお、各ゾーンの名称は仮称であり、関連法令等で用いられている名称等を確認し定めることとする。

(1) ゾーン1（リスク評価区域：Cold Zone）→アンモニア濃度25ppm未満

このゾーンにおけるアンモニアガス濃度は25ppm未満を想定する。

この濃度帯はAEGL-1未満に該当し、不快な臭気・味覚・感覚刺激等が生じる可能性があるゾーンである。このゾーンは乗組員や作業員のみならず、一般人も存在する可能性のあるゾーンである。

この濃度による人体への影響は、一過性で非障害的であるため、個人保護装具の準備は不要であると考えられるゾーンである。

(2) ゾーン2（制限区域：Warm Zone）→25ppm以上220ppm未満

このゾーンにおけるアンモニアガス濃度は25ppm以上、220ppm未満を想定する。この濃度帯は、IDLH値である300ppm未満であるため、素面状態（防護マスク等が装備できなかったなど）、30分程度は自力で活動できる（自力脱出を行える）濃度であると考えられる。

このゾーンにいる乗組員及び作業員については、仮に素面状態であったとしても30分程度は自力で25ppm未満の場所若しくは避難所まで脱出できることを想定するが、乗組員及び作業員の安全性を考慮し、防毒マスク及び保護メガネを装着することが求められるゾーンであると考えられる。

(3) ゾーン3（安全区域：Hot Zone）→220ppm以上2,700ppm未満

このゾーンにおけるアンモニアガス濃度は220ppm以上、2,700ppm未満を想定する。この濃度帯は、AEGL-2以上である。

このゾーンに入る場合は、自蔵式空気呼吸具及び化学保護衣等を装着することを想定する。

(4) ゾーン4（毒性区域:Dead Zone）→2,700ppm以上

このゾーンにおけるアンモニアガス濃度は2,700ppm以上である範囲を想定する。このゾーン4は、乗組員及び作業員であっても基本的には立ち入りを制限するゾーンであると考えられる。

このゾーンは、緊急対応及び救助活動時を想定し設定するものである。その際には、適切な個人保護装具と漏洩対応の訓練を受けた者が、この区域への入域が想定される。

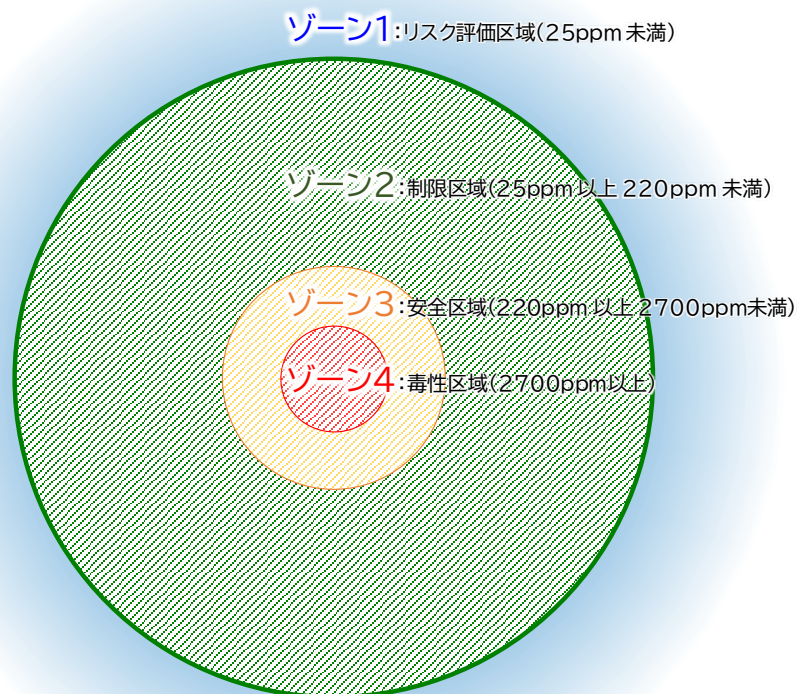


図3.2.5-1 各ゾーンの概略図（案）

表 3. 2. 5-1 各ゾーンの区域及び想定される個人保護装具（案）

区域	区域の整理 (アンモニアガス濃度)	想定される個人保護装具	想定される立ち入り	
			乗組員及び 作業員※1	一般人※2
ゾーン1	25ppm 未満	不要	○	○
ゾーン2	25ppm 以上 220ppm 未満	防毒マスク、保護メガネを 常に装着する	○	×
ゾーン3	220ppm 以上の ゾーン4 を除くエリア	液体・アンモニアガスに対応 した個人保護装具(図参考)	○	×
ゾーン4	2700ppm 以上	液体・アンモニアガスに対応 した個人保護装具(図参考)	△※3	×

※1 乗組員及び作業員はアンモニア燃料移送に携わる者であって、安全教育と訓練を受けた者と想定する。

※2 一般人は乗組員及び作業員以外の者であって、アンモニア燃料移送を実施する港湾等でその他業務に従事する者を想定する。

※3 ゾーン4 については、緊急対応及び救助活動時を想定し、基本的には立ち入りが制限されるゾーンであると考えられる。

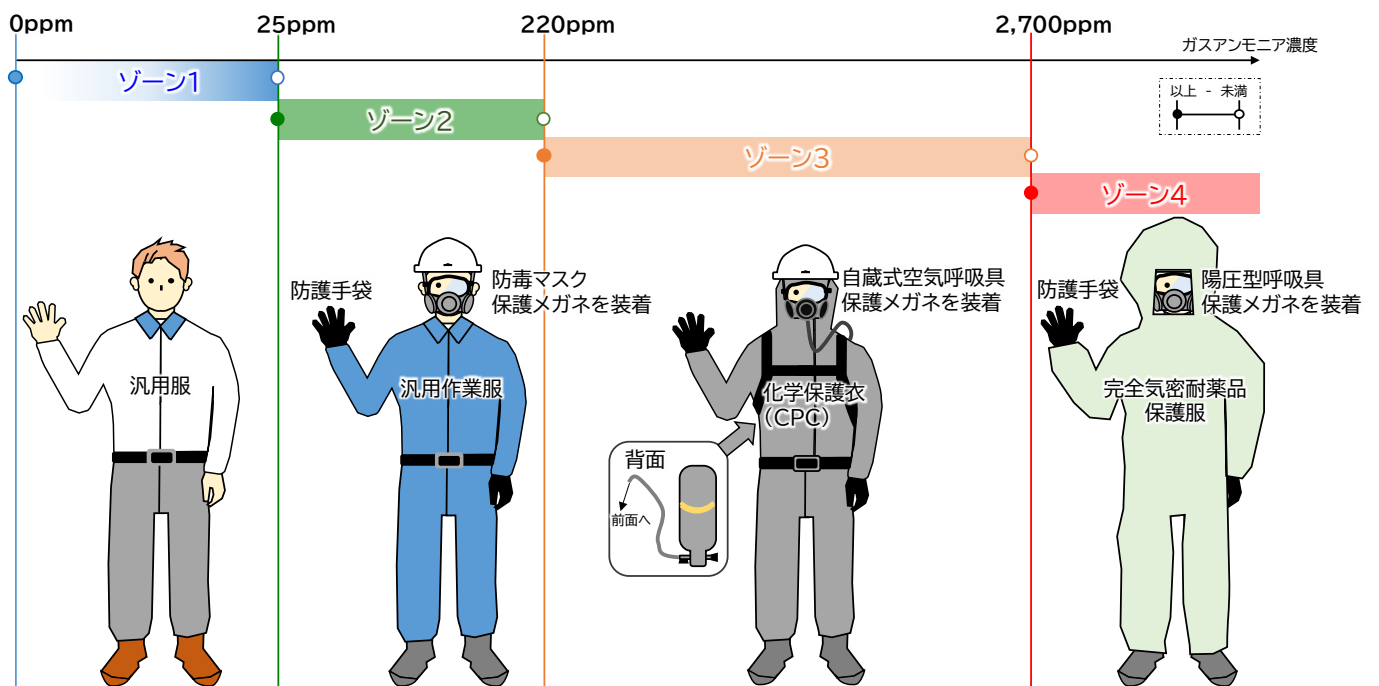


図 3. 2. 5-2 各ゾーンにおける個人保護装具の想定（案）

3.2.6 各ゾーンにおける制限時間の目安の整理

各ゾーンにおける制限時間について下記に整理する。

(1) ゾーン1（アンモニア濃度25ppm未満）

このゾーンにおいては、乗組員及び作業員、一般人が存在する可能性のあるゾーンである。設定したゾーンの中では、アンモニア漏洩事故発生時の発生源から最も遠いゾーンであり、アンモニア濃度もAEGL-1未満であることから、ゾーン1内においては、個人保護装具を装着せずに行動することが可能であると考えられる。制限時間としては、AEGLの10分から8時間までの濃度が30ppmであることを考えると、基本的に制限されるものではないと考えられる。

(2) ゾーン2（アンモニア濃度25ppm以上220ppm未満）

このゾーンにおいては、乗組員及び作業員が防毒マスク及び保護メガネを具備した状態で存在する可能性のあるゾーンである。

制限時間としては、個人保護装具の許容される使用時間（規格値）によるもののAEGL-2の10分から30分までの濃度が220ppmであることを考えると、最大で30分までであると考えられる。

(3) ゾーン3（アンモニア濃度220ppm以上2,700ppm未満）

このゾーンにおいては、乗組員及び作業員が防毒マスク及び保護メガネを具備した状態で存在する可能性のあるゾーンである。

制限時間としては、個人保護装具の許容される使用時間（規格値）によるものの、ゾーン2の活動時間を基に考えると、最大で30分程度までであると考えられる。

(4) ゾーン4（アンモニア濃度2,700ppm以上）

このゾーンにおいては、乗組員及び作業員が液体・アンモニアガスに対する個人保護装具を装備した状態で存在する可能性のあるゾーンである。

制限時間としては、個人保護装具の許容される使用時間（規格値）によるものの、ゾーン2及び3の活動時間を基に考えると、最大で30分程度までであると考えられる。

3.2.7 漏洩事故発生時のアンモニアガスの拡散範囲の考え方

危険区域（離隔距離）及び管理区域の範囲及び距離を検討するため、アンモニア漏洩時の拡散シミュレーションを実施する予定である。

ここでアンモニアガスの拡散範囲については、ガス拡散の最大範囲を見るとともに、ゾーンにて設定した各濃度が、その場所にて何分見込まれるか（継続時間）についても確認することとする。

すでに述べたとおり、危険区域（離隔距離）及び管理区域の範囲及び距離については、拡散シミュレーションの条件及び結果を基に検討することとしている。下記に漏洩事故発生時のアンモニアガスの拡散範囲の考え方について、鉛直方向及び水平方向の拡散範囲についての考え方の一例を示す。

(1) 鉛直方向

アンモニアガスは温度によって地を這うように若しくは白い蒸気雲のように鉛直方向に拡散することが想定される。これは漏洩するアンモニアガスの態様と周囲の環境によるところが多く、どちらの場合も想定して拡散範囲を想定するのが望ましいと考えられる。

図3.2.7-1に鉛直方向のアンモニアガスの拡散範囲の考え方の一例を示す。アンモニアガスの鉛直方向の拡散範囲は、投影面を拡散範囲として考えることを想定する。したがって図中に示すように投影面でみた拡散範囲内であれば、アンモニアガスの拡散範囲内であると判断することを想定する。

一方、これらの鉛直方向に対し、十分な高さによる障壁がある場合若しくは周囲を密閉できるような建造物内（例：避難所）等、アンモニアガスの拡散を遮る物がある場合においては、この投影面積内であったとしても、アンモニアガスの拡散範囲外として考えることとする（図3.2.7-2）。

(2) 水平方向

水平方向のアンモニアガスの拡散については、風況による影響を受けることが予想されるため、基本的には風下側に拡散範囲は広がるものと推測される。一方、風向に関しては時々刻々変化することが予想されるため、アンモニアガスが到達する水平距離を半径とした同心円を拡散範囲と想定する（図3.2.7-3）。

鉛直方向と同様に、水平方向に対しても、十分な高さ若しくは周囲を密閉できるような建造物内（例：避難所）等においては、十分な高さによる障壁がある場合若しくは周囲を密閉できるような建造物内等、アンモニアガスの拡散を遮る物がある場合においては、この投影面積内であったとしても、アンモニアガスの拡散範囲外として考えることとする（図3.2.7-4）。

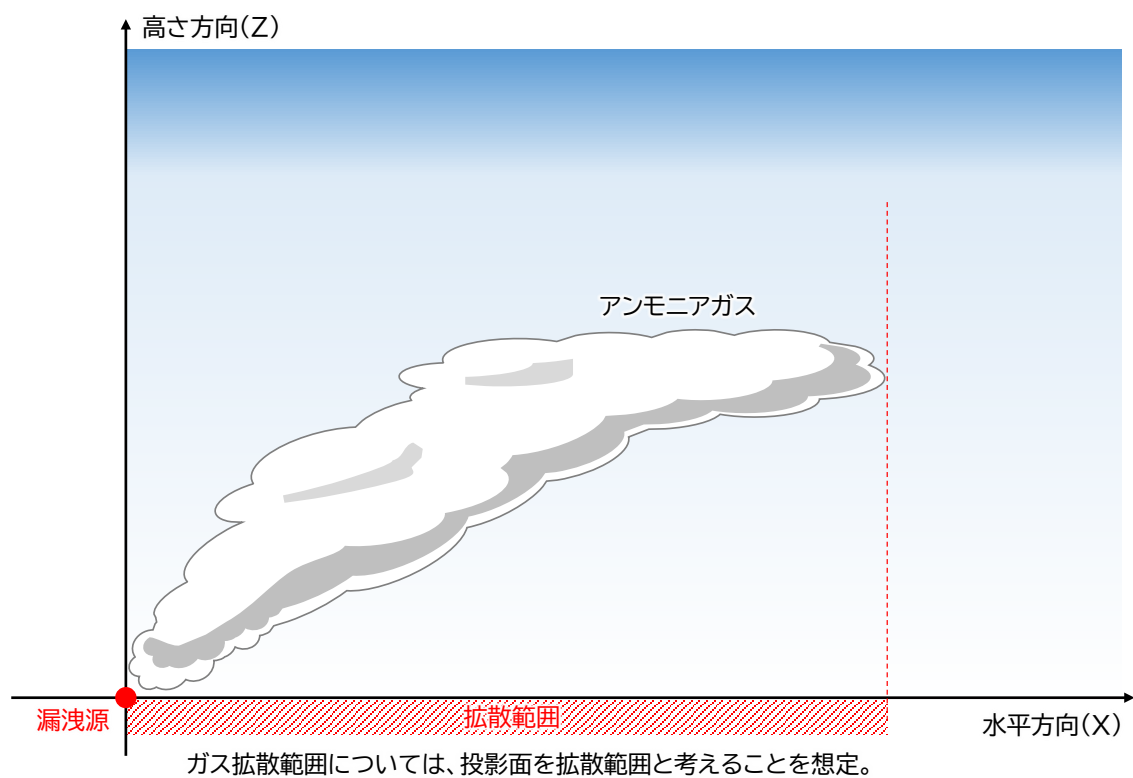


図3. 2. 7-1 鉛直方向のガス拡散範囲の考え方

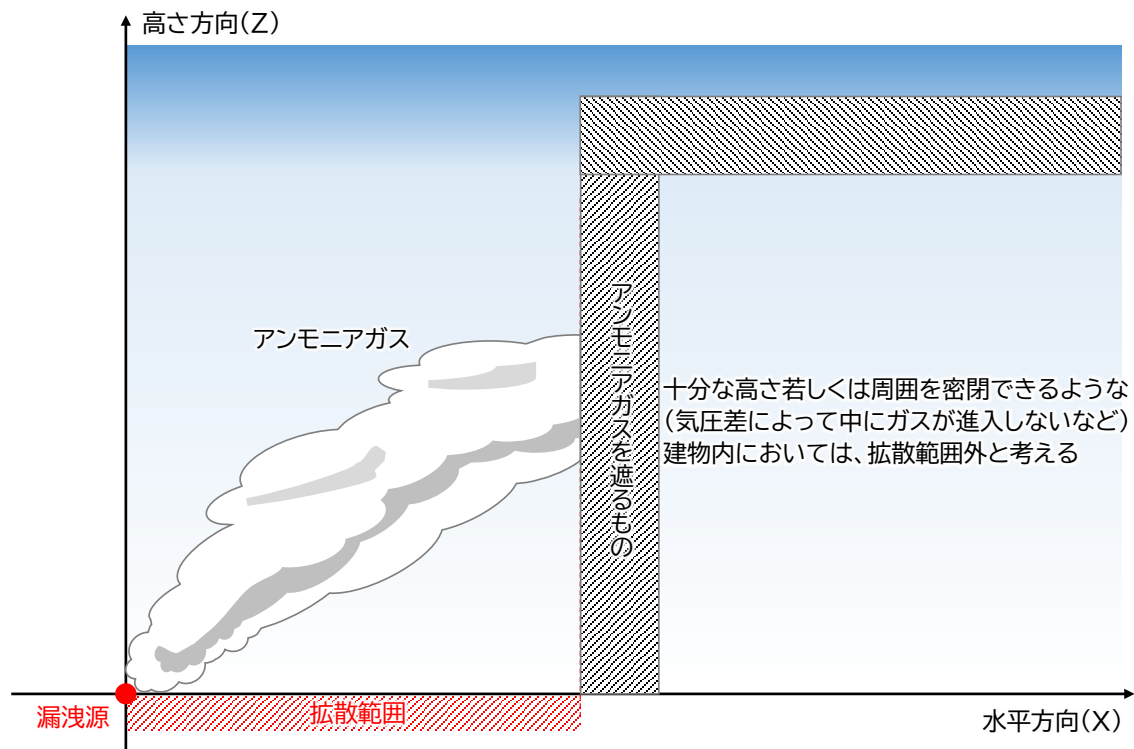


図3. 2. 7-2 アンモニアガスを遮るものがある場合のガス拡散範囲の考え方

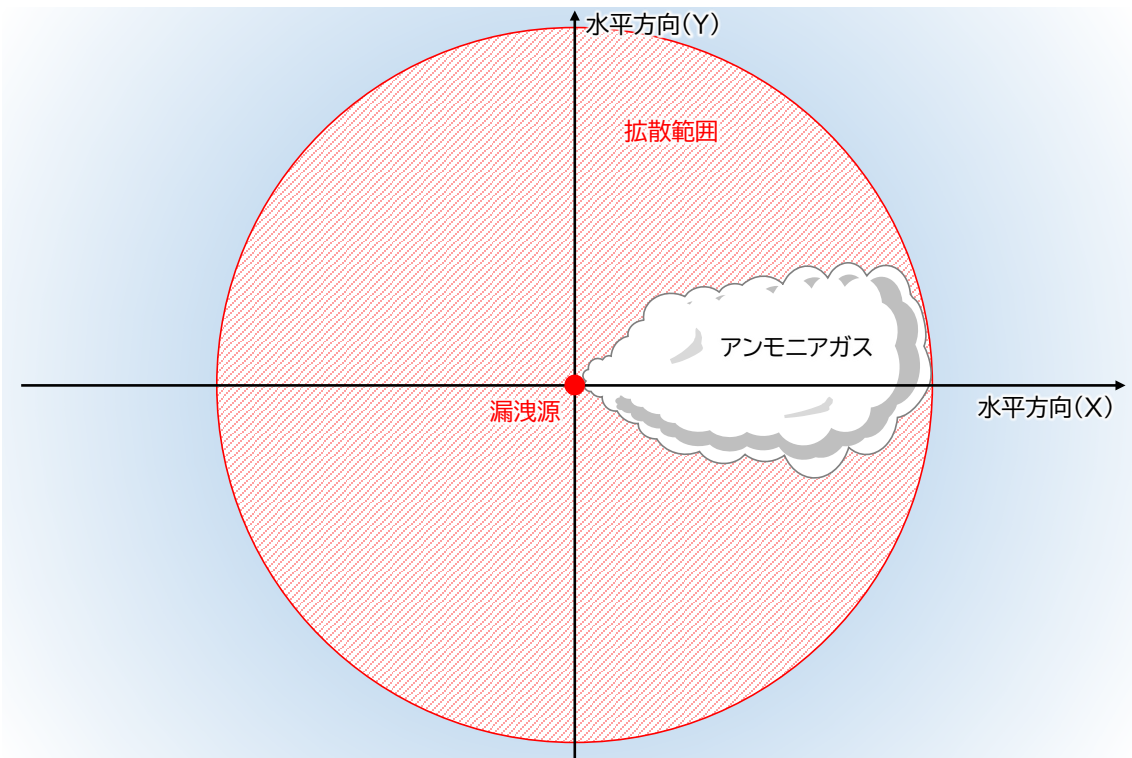


図3. 2. 7-3 水平方向のアンモニアガス拡散範囲の考え方

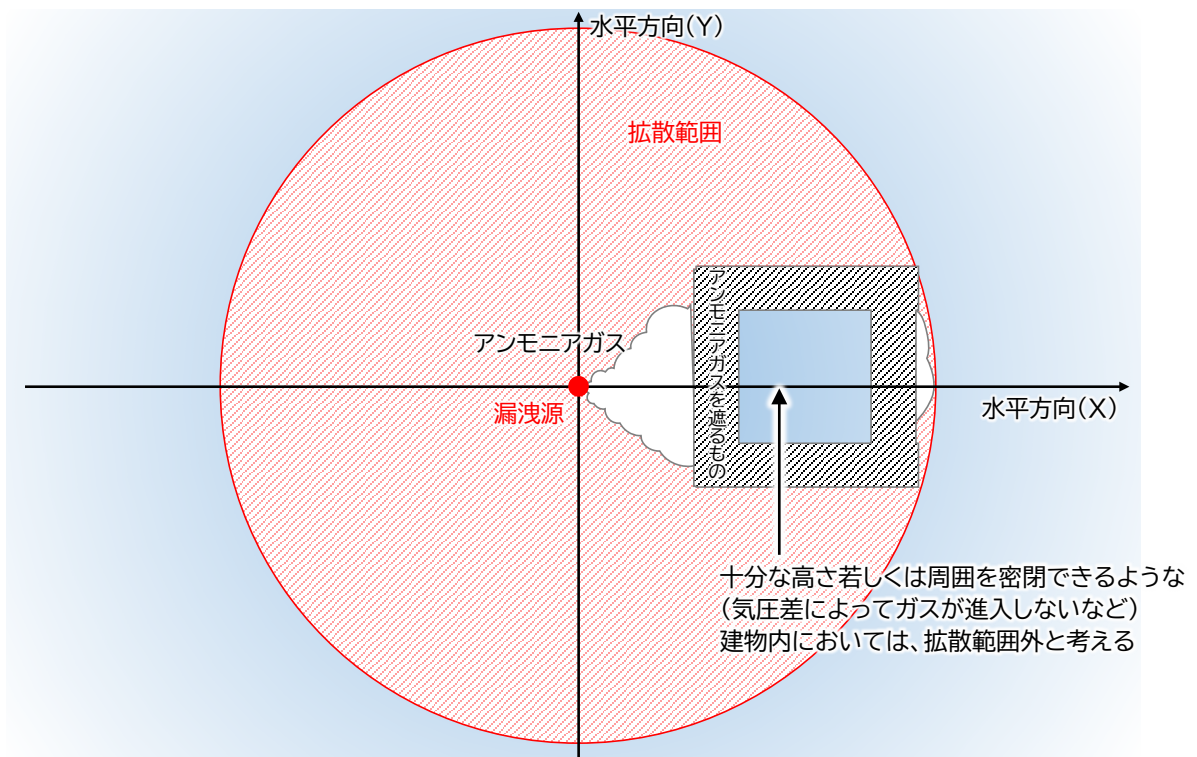


図3. 2. 7-4 アンモニアガスを遮るものがある場合のガス拡散範囲の考え方

4. 事故防止対策の考え方のまとめ

4.1 事故防止対策の考え方

これまでの検討内容を基に、アンモニアバンカリングガイドラインにおける事故防止対策の考え方を下記に示す。

- ① 事故防止対策は「事故未然防止対策」及び「被害極小化対策」の双方を実施する。
- ② 「事故未然防止対策」は下記5つの対策を実施する。
 - (1) 標準作業手順の励行
 - (2) 異常の察知
 - (3) 安全教育と訓練
 - (4) 実施条件及び中止条件の策定
 - (5) バンカリング中に避けるべき同時並行作業（SIMOPS）の検討
- ③ 「被害極小化対策」は下記5つの対策を実施する。
 - (1) 漏洩源からの物理的な距離の確保
 - (2) 安全教育と訓練
 - (3) 漏洩の検知とガス拡散への対策
 - (4) 事故発生時の対応態勢
 - (5) 毒性を考慮した危険区域（離隔距離）とゾーン
- ④ 突発的な漏洩事故による被害を極小化することを目的に、「危険区域（離隔距離）」及び「管理区域」を設定する。

「危険区域（離隔距離）」は、「アンモニア漏洩源を中心に、液体アンモニアが飛散し、その場に乗組員及び作業員がいた場合、飛散した液体アンモニアへの接触が想定される区域」とする想定である。

「管理区域」は、「一般人がみだりに立ち入ることを制限することを目的に、個人保護装具を持ち、未然事故防止対策及び被害極小化対策等を理解した乗組員・作業員が立ち入ることの出来る区域であり、アンモニア漏洩事故発生時、アンモニアガスの濃度25ppm 以上が、10分間以上継続して存在し得る区域」とする想定である。

なお「危険区域（離隔距離）」が設定されるのは、液体アンモニアが接続部に存在する「移送」から「残液処理」作業の間とする。

- ⑤ 設定するゾーンは短時間での曝露を想定し、10分間の AEGL の濃度によって区分して整理する。

備えるべき個人保護装具は下記のとおりとする。

- (1) ゾーン1：25ppm 未満、個人保護装具は不要
- (2) ゾーン2：25ppm 以上220ppm 未満、防毒マスク及び保護メガネを常に装着
- (3) ゾーン3：220ppm 以上2700ppm 未満、液・アンモニアガスに対応した個人保護装具
- (4) ゾーン4：2700ppm 以上、液・アンモニアガスに対応した個人保護装具

4.2 今後の課題

本検討では、漏洩事故防止対策の方針について検討をおこなった。今後の課題を下記に整理する。

(1) 漏洩源から液体アンモニアが飛散する範囲の推定方法

本検討において、危険区域は液体アンモニアが飛散する範囲であることを示した。そこでアンモニア漏洩シミュレーションの結果等を基に、この危険区域について推定を行い、その範囲について推定する必要があるものと考えられる。

アンモニア漏洩事故発生時、液体アンモニアが飛散する範囲の一つの推定方法として、昨年度検討会で実施したアンモニア漏洩シミュレーションにおけるプール径（アンモニア漏洩事故発生時に液体アンモニアの広がる最大径）を参考にする方法が考えられる。

(2) 各ゾーンにおいて求められる個人保護装具の整理

各ゾーンにおいてアンモニアガスから乗組員及び作業員の安全を守るために、防毒マスク、保護メガネ及び防護手袋等について確認しておく必要があるものと考えられる。

そこで国内における防毒マスク及び保護メガネ等の個人保護装具を製造しているメーカー等へ防毒マスクの種類（吸収缶を用いた防毒マスクの場合は交換時期、メンテナンス方法等を含む）、自蔵式空気呼吸具、保護メガネやその他個人保護装具の管理方法等についてヒアリング調査等を実施するとともに、諸外国のSDS（安全データシート（Safety Data Sheet））の確認ならびに関係各所へ確認等の調査を実施し、各ゾーンにおいて求められる個人保護装具の整理を行う必要があるものと考えられる。

