

IMOアンモニア燃料安全ガイドライン策定の最新情報及び アンモニア燃料の実用化に向けての本会の取り組み

技術本部 技術部

1. はじめに

近年、国際海運の分野では、大気汚染防止、地球温暖化抑制に向けて規制が強化される中、次世代の船舶燃料として、石油燃料に代わり環境負荷の低い低炭素燃料や脱炭素燃料などの代替燃料の利用の検討が活発に行われている。

現在、SO_x規制及びNO_x規制への対応のため、LNG、LPG、メタノール/エタノールなどを燃料とする船舶の導入が広がりつつある。また、従来の燃料油を使用する船舶がこれらの燃料を使用することによりCO₂の排出量を10%から25%削減することが可能であるが、国際海事機関（以下、IMO）は、2050年頃までにGHG排出ネットゼロの目標を掲げており炭素を含まないアンモニア燃料や水素燃料への期待が高まっている。

そのような状況において、IMOでは2025年2月にアンモニアを船舶の燃料として使用する際の安全要件を定めた暫定ガイドラインを発行した。

本稿では、そのIMOアンモニア燃料安全ガイドライン策定に関する最新の情報と、アンモニア燃料船の実用化に向けた本会の取り組みについて紹介する。

2. IMOにおけるアンモニア燃料安全ガイドラインの開発状況

2.1 アンモニア燃料安全ガイドラインの開発状況

2024年9月に開催された第10回IMO貨物運送小委員会（以下、CCC 10）において、液化ガス運搬船以外のアンモニアを燃料とする船舶に適用されるアンモニア燃料安全ガイドライン案の最終化が行われた。その後、2024年12月の第109回海上安全委員会（MSC 109）にて、CCC 10で最終化されたガイドライン案が承認され、2025年2月にIMO暫定ガイドライン（MSC.1/Circ.1687）が発行された。

CCC 10におけるガイドラインの審議の詳細については後述の3.にて解説するが、CCC 10においては、時間の制約からガイドライン各章の詳細要件の審議は完了されず、各章の目的、機能要件について主に議論が行われた。一部の詳細要件についても審議が行われたが、それ以外の要件に関しては基本的にガス燃料及び低引火点燃料を使用する船舶の安全に関する国際規則（以下、IGFコード）を参照しつつ、アンモニアに関する特別要件が追加される形で最終化がなされた。なお、本ガイドラインについては、今後の貨物運送小委員会において、適切な情報収集と技術的な議論を行った上での継続的な見直しが計画されている。

2.2 アンモニア燃料を使用する液化ガス運搬船向けの安全ガイドラインの開発状況

上述のアンモニア燃料安全ガイドラインに加え、液化ガスばら積運送のための船舶の構造及び設備に関する国際規則（以下、IGCコード）が適用となる液化ガス運搬船向けのアンモニア燃料安全ガイドラインについても現在IMOにて開発が行われている。本ガイドラインについては、CCC 10において提案文書が提出されており、今後、通信部会などによるガイドライン策定の作業が行われ、2025年に開催されるCCC11において、ガイドライン案の最終化が行われる計画となっている。

3. IMOアンモニア燃料安全ガイドラインの解説

3.1 IMOアンモニア燃料安全ガイドライン策定に関する審議について

CCC 10におけるアンモニア燃料安全ガイドラインの審議の概要について紹介する。CCC 10において、アンモニア燃料安全ガイドラインの草案を基に、ガイドラインの適用、目的、機能要件、船舶設計の配置、アンモニアの放出制限、毒性曝露の防止など様々な観点から審議が行われた。

アンモニア燃料安全ガイドラインは1章から20章で構成されているが、上述の通り、CCC 10における時間の制約からガイドライン各章の詳細要件の審議は完了されず、各章の目的、機能要件について主に審議が行われ、

目的、機能要件の合意を以て最終化された。なお、一部の詳細要件（5章～6章6.9, 12bis章など）については審議が行われ、それらの規定についてはガイドラインに取り入れられている。その他の要件に関しては基本的にIGFコードの要件を参照しつつ、アンモニアに関する特別要件のみが追加される形で最終化されている。当該ガイドラインの各章の構成と審議状況の一覧を表1に示す。

表1 IMO暫定ガイドラインの構成と各章の審議状況

章番号	章タイトル	Goal 目的	FR 機能要件	Provisions 詳細要件
1 章	INTRODUCTION	2023 年 CCC9 にて合意済み		
2 章	GENERAL	2023 年 CCC9 にて合意+残りの項目について合意		
3 章	GOAL AND FUNCTIONAL REQUIREMENTS	2023 年 CCC9 にて合意+残りの項目について合意		
4 章	GENERAL PROVISIONS	2023 年 CCC9 にて合意済み		
5 章	SHIP DESIGN AND ARRANGEMENT	合意	合意	合意
6 章	FUEL CONTAINMENT SYSTEM	合意	合意	一部内容について合意
7 章	MATERIAL AND GENERAL PIPE DESIGN	合意	合意	一部内容について合意
8 章	BUNKERING	合意	合意	一部内容について合意
9 章	FUEL SUPPLY TO CONSUMERS	合意	合意	一部内容について合意
10 章	POWER GENERATION INCLUDING PROPULSION AND OTHER FUEL CONSUMERS	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
11 章	FIRE SAFETY	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
12 章	EXPLOSION PREVENTION	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
12bis 章	PREVENTION OF EXPOSURE TO TOXICITY	合意	合意	合意
13 章	VENTILATION	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
14 章	ELECTRICAL INSTALLATIONS	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
15 章	CONTROL, MONITORING AND SAFETY SYSTEMS	合意	合意	一部内容について合意
16 章	MANUFACTURE, WORKMANSHIP AND TESTING	IGF コード B-1 部 16 章を引用することで合意		
17 章	DRILLS AND EMERGENCY EXERCISES	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
18 章	OPERATION	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
19 章	TRAINING	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
20 章	PERSONNEL PROTECTION	合意	合意	IGF コードを参照することに合意
※12bis 章は新章であるが現行の IGF コードの構成と整合を重視し、番号は振り直されていない。				

なお、各章の詳細要件について審議が十分に行われていないことから、ガイドライン案を最終化することにより否定的な意見もあったが、すでにアンモニアを燃料として使用する船舶に関するプロジェクトが各国で進行中であり、早急なガイドラインの発行が求められていることから、ガイドラインを最終化することに賛成の意見が多数であったため、CCC 10でガイドラインの最終化が行われた。なお、この審議状況を鑑み、発行されたガイドラインの序文には、すべての要件について機能要件を達成するための詳細要件が具体的に規定されているというわけではないという旨の注記が記載されている。

当該ガイドラインについては、今後より詳細な技術的議論と情報収集が行われた上で見直しが行われることが合意されている。

3.2 IMOアンモニア燃料安全ガイドラインの概要

本節では、IMOアンモニア燃料安全ガイドラインの策定作業における主な議論の内容と、それらに関連するガイドラインの規定について紹介する。

3.2.1 ガイドラインの適用について

当該ガイドラインの適用に関して、IGCコードが適用となる液化ガス運搬船は対象外とすることが合意された。お、IGCコードが適用となる船舶については、上述の2.2の通り、別途安全ガイドラインが作成される計画

となっている。

3.2.2 毒性曝露の防止（毒性エリアと毒性区画の分類）について

乗組員がアンモニアに直接曝露するリスクを低減させることを目的とし、救命設備、脱出経路、吸排気口、居住区域などの開口を安全な場所に配置するために、船舶のエリア／区画を、開放甲板上的アンモニア曝露の可能性のあるエリア（毒性エリア）とアンモニアが漏洩する可能性がある船内の閉囲された区画（毒性区画）に分類することについて合意され、ガイドラインにおいて関連の規定が設けられている。

毒性エリアはアンモニア燃料管のフランジや弁などの潜在的な漏洩源から10mの範囲やベントポストから25mの範囲など、アンモニア漏洩の起点となる場所とそこからの距離（範囲）として定義されている。毒性区画については、燃料を保持する設備の内部、及び単一損傷で漏洩がある閉囲された区画（燃料タンクや燃料調整室、二次的囲壁の内部や潜在的な漏洩源のある区画も含まれる）と規定されている。

また、毒性エリアについては、規範的な距離の規定に加え、ガス拡散解析を使用して、規範的な距離を超えて、許容できないアンモニア濃度（220ppm）が、居住区の空気取入口などの非毒性エリアに到達しないことを実証する旨も規定されている。毒性エリアのイメージを図1に示す。

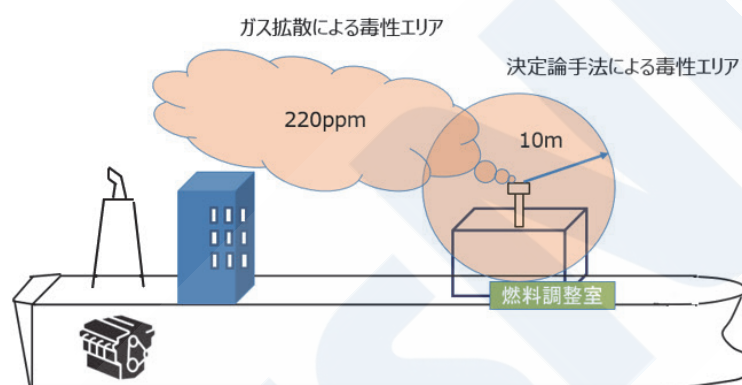


図1 毒性エリアのイメージ図

3.2.3 避難場所について

アンモニア漏洩に備えて、船内の全乗組員を収容できる閉囲された避難場所を設けることについて合意された。避難場所は、船舶の運航に不可欠な場所（例えば船橋やエンジンコントロールルーム）に配置し、外部のアンモニアを取り込まないように、区画内の環境を維持可能な場所とするよう規定されている。

3.2.4 アンモニアの曝露限界、警報、安全装置の作動について

アンモニア曝露限界と警報及び安全装置作動の閾値について議論が行われた。曝露限界に関して、利用可能な基準、急性曝露ガイドラインレベル（AEGLs）や及び米国国立労働安全衛生研究所（NIOSH）の曝露限度ガイドラインなど、各国の作業基準が異なるということもあり、乗組員の曝露限度を設定することは合意が得られなかった。

警報及び安全装置作動については、各区画でアンモニアの液または蒸気が検出された場合に取りべき措置なども含め議論が行われ、濃度の閾値とそれを検知した際の対応について規定された。

- ・ 毒性区画入り口には可視警報を設け、警報設定値は区画内部のアンモニア濃度が25ppmとする。
- ・ 110ppmを超えるガス濃度を検知した場合、人がいる場所に可視可聴警報を発する。可視可聴警報は、ブリッジ、常時人が存在する中央制御場所及び漏洩区画の内部及び外部で発する。
- ・ 220ppmを超えるガス濃度を検知した場合、安全装置を作動する。

3.2.5 アンモニアの放出について

基本原則として、通常の運転状態においてアンモニアの直接放出は許容しないことが合意された。また、制御可能な状況では基本的にアンモニア除害装置を使用して放出量を最小限に抑えるべきと合意された。制御不能なアンモニア放出とは、燃料タンクの圧力弁の開放などの壊滅的な状況下に限定されるという点についても合意された。なお、予見可能で制御可能な事象においては、アンモニア除害装置により、アンモニア濃度を110ppm未満に低減しなければならないことが規定されている。ここでいう予見可能で制御可能な事象による放出とは、燃料管系統のダブルブロックブリード弁からのブリードガス、燃料管系統の安全弁からの放出、燃料

管のページガス放出、ドレン排出による放出などを指している。

3.2.6 船舶の設計と配置

船舶の設計、配置について、燃料調整室やタンクコネクションスペース、バンカリングステーションなど、アンモニア関連区画／エリアごとに規定を設定することが合意された。また、毒性曝露の防止の観点から、避難経路や居住区などの開口を毒性エリアに配置しないよう規定されている。加えて、機関室はガス安全機関区域のみ許容され、機関室内の燃料管はガス密の二次的囲壁内に設置するよう規定されている。

3.2.7 燃料格納設備

加圧式、半冷蔵半加圧式のアンモニア貯蔵の場合、アンモニア格納設備に漏洩が発生した際にアンモニアが噴出する危険性があることが懸念されており、また、低温アンモニアの場合、漏洩が発生した場合でも、蒸発速度が低いことから、当該ガイドラインの開発において、アンモニアは大気圧状態でかつ完全冷蔵状態を前提に規定を作成することが合意された。このため、ガイドライン内には加圧式、半冷蔵半加圧式でのアンモニア貯蔵に関する記述はないものの、その貯蔵方式が禁止されるわけではなく、代替設計により許容される旨も合意されている。また、タンクの圧力及び温度制御に関する議論において、燃料タンク内の液化アンモニアの温度を常に -30°C を超えないように維持することが合意された。

3.3 ガイドライン要件に関する検討事項

前3.1及び3.2に記載した通りアンモニア燃料船の安全要件が規定されたものの、ガイドライン最終化を優先したため議論が十分ではない部分が多く残されている。このため、実際の建造にあっては、船舶の安全要件は個別に主管庁と調整する必要があると考えている。本節では、本会が実際の建造にあたり主管庁と協議すべきと考える事項の内、主要な項目について参考に記述する。なお、これらの事項は基本設計に関係するため、設計のなるべく早い時期に行うことを推奨する。

3.3.1 燃料タンク内のアンモニア温度について

当該ガイドライン6.9.1.1には、「燃料タンク内の液体アンモニアの温度は、主管庁が認める手法によりいかなる場合も -30°C を超えないよう維持しなければならない」と規定されている。CCC 10のワーキンググループ（以下、WG）では、「いかなる場合」の解釈について議論が行われている。例えば、バンカリング中、供給されるアンモニアは -33°C 程度であり、タンクをクールダウンしていたとしても一時的に -30°C の温度を超えることが予想される。このため、バンカリング中もこの規定が適用されるかの確認が行われた。結論は明確になっていないがバンカリング中も含まれるとする主管庁も見られた。一方で、これを達成しようとする、実際には供給するアンモニアの温度を極端に低くすることが求められるため、現実的には一時的にアンモニアの温度は、 -30°C を超えることが予想される。このほか、ブラックアウトなどの異常状態を含め、当該規定の「いかなる場合」については、主管庁に確認を行う必要があると考えている。

3.3.2 加圧式、半冷蔵半加圧式のアンモニア貯蔵

当該ガイドラインの開発において、アンモニアは大気圧状態でかつ完全冷蔵状態で貯蔵することを前提としているものの、WGにおいて、加圧式、半冷蔵半加圧式の貯蔵を認めるべきとした参加メンバーは多かったように思われる。これは、現在アンモニアを貨物として運送する液化ガス船では認められた貯蔵方法であることや今後アンモニア燃料を供給するインフラ設備の候補となる既存インフラが加圧式、半冷蔵半加圧式の貯蔵を行っていることに起因していると考えている。このような状況において、加圧式、半冷蔵半加圧式貯蔵の安全性をどのように立証していくかが問題となる。安全性の立証は、一般に対象規則を基に設定する性能評価基準を用いる手法、規則設計船リスクと相対比較を行う特定リスク評価基準を用いる手法（図2）、トータルリスクの許容基準を利用する包括的リスク評価（図3）の3つの手法が存在する。詳細な説明は省略するが、当該規定の代替設計の安全性立証は、これら3つの手法の内、包括的リスク評価を用いるべきと考えている。この手法を用いる場合、許容できるリスク基準を設定する必要がある、この基準は主管庁と協議して決定する必要がある点に留意が必要となる。実際に、冷蔵式、半冷蔵半加圧式、加圧式の当該リスクの算定の実績はなく、事業者側と主管庁が合意したリスク基準に収まるかは未知であるため、本件に関する安全性立証は、基本計画設計の前段階に終わらせておくことを推奨する。

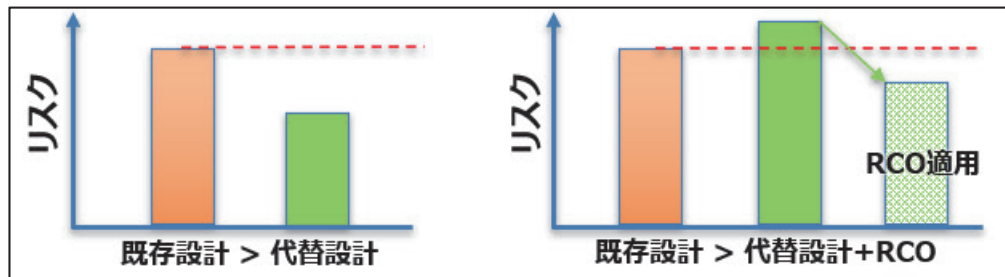


図2 特定リスク評価基準を用いる評価手法

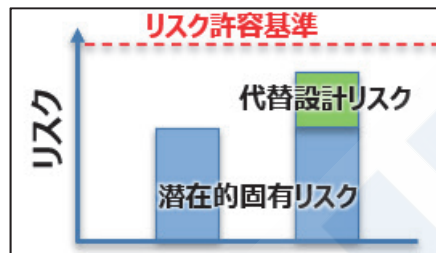


図3 包括的リスク評価手法

3.3.3 予見可能で制御可能な事象

CCC 10 WGにおいて、配管等からの漏洩は「予見可能で制御可能な事象」であるかという点についても議論が行われた。一部のメンバーは、配管等からの漏洩は、予見可能で制御可能な事象であるとし、漏洩したアンモニアも大気放出せず、アンモニア除害装置を通じて処理した後大気放出すべきと主張していた。一方で、配管等からの漏洩は、予見可能であるものの制御できるものではないとするメンバーもあり、漏洩事故があった際の漏洩アンモニアの処理有無は主管庁が判断するという結論になっている。漏洩アンモニアを処理するかどうかは基本設計にも影響を与えるため、この解釈についても早期に主管庁への確認が必要となる。本会としては、漏洩したアンモニアは安全な場所から大気放出することを前提に考えており、必ずしも除害装置を通じて放出する必要はないと考えている。いずれにしても毒性エリアを設定するためのガス拡散解析を実施するため、その影響度及び範囲を考慮し、軽減措置を設けるかどうかの判断を行うことが肝要と考えている。

3.3.4 ガス拡散解析の解析手法

ガス拡散解析を実施する際、解析条件はその結果に大きな影響を与える。例えば、毒性エリアを設定するための拡散解析でどの風向、どの風速を設定するかによって毒性エリアの範囲は大きく異なる。また、漏洩量の設定も結果に大きく影響を与える。CCC10 WGの議論では、CFD解析などによるガス拡散解析の解析条件について主管庁の許可を得る旨の議論がなされた。一般にCFD解析における解析条件とは、ディレクトリ条件、ノイマン条件、壁面条件などの境界条件を指すが、主管庁と協議すべき事項は、こういったCFD解析の一般的な境界条件というよりも上述した解析を行う上での前提条件となる点に留意が必要となる。

3.3.5 防火及び消火

当該ガイドライン11章に規定される防火及び消火に関する規定は、IGFコード11章を参照するよう規定されている。IGFコード11章は、LNGを対象として開発された防火及び消火の要件が規定されているが、LNGとアンモニアの火災リスクを比較すると圧倒的にアンモニアの火災リスクは低い。このことからIGFコード11章の規定はアンモニアを燃料として扱う船舶に対して過剰な要求になっている可能性がある。例えば、本会ガイドラインでは、アンモニアの燃焼範囲から開放甲板上では可燃性雰囲気形成できず、開放甲板上に対する防火及び消火の規定は必要ないと考えており、当該規定は取り入れていない。当該ガイドライン11章については、時間の制約から議論されなかったため、本事項についても主管庁との協議を行うべきと考えている。

4. 今後の本会の対応

上記で紹介したIMO暫定ガイドラインの内、CCC 10にて詳細に議論が行われた詳細要件（5章～6章6.9, 12bis章など）の内容に関しては本会の代替燃料船ガイドラインC-1部にも取り入れることを予定している。

また、今後アンモニア燃料を使用する液化ガス運搬船のガイドライン策定作業やアンモニア燃料船の安全ガイドラインの改正作業などにおいて、本会としてもこれまでの調査検討結果等を活かし、議論に積極的に関与していく所存である。また今後も引き続き、IMOにおける最新の審議状況及び新技術の急速な発展を考慮して本会のガイドラインも定期的に見直し、開発者に有用なガイドラインの策定に取り組む所存である。

参考文献

- 1) IMO, MSC.1/Circ.1687 INTERIM GUIDELINES FOR THE SAFETY OF SHIPS USING AMMONIA AS FUEL