

メタノール燃料船の構造及び設備に関する安全要件について

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、地球温暖化防止に関する規制が強化される中、次世代の船舶燃料として、石油燃料に代わり地球環境に配慮した代替燃料の利用の検討が活発に行われている。特に現在代替燃料として開発が進むLNG、LPG及びメタノール/エタノールには硫黄分が含まれていないため、これらを燃料にした場合、SO_xの大幅な排出削減が可能となる。また、CO₂においても排出量の削減が期待されている。持続可能なバイオマス由来のバイオメタノールや再生可能エネルギー由来のe-メタノール等のグリーンメタノールを使用することでライフサイクルベースでのGHG排出実質ゼロを達成することも検討されている。

一方で、メタノールを船舶燃料として使用するためには、その安全性について考慮が必要である。従来の燃料と比較し、燃焼範囲が広い、最小着火エネルギーが小さい、人体に対する毒性がある、引火した際の火炎が視認し難い等の特徴があり、これらの要素に対する安全性の確認が必要となる。

メタノール燃料船は、SOLAS条約II-1章第56、57規則に従いガス又はその他の低引火点燃料を使用する船舶に対する安全要件を定めたIGFコードを満足する必要がある。一方で、IGFコードにはメタノールを燃料として使用する際の具体的な安全要件は記載されておらず、規則としては現在のところIMOより発行されたMSC.1/Circ.1621 “INTERIM GUIDELINE FOR THE SAFETY OF SHIPS USING METHYL/ETHYL ALCOHOL AS FUEL”の発行に留まっており、国際条約等による強制的な安全要件は定められていない。

本会は、メタノール燃料船の構造及び設備の安全要件の開発に貢献するため、メタノールを燃料として使用する船舶の安全性を確保するために求められる要件を「代替燃料船ガイドライン」A部にとりまとめた。

本稿は、メタノール燃料船の構造及び設備の安全要件に関しガイドラインの概要及び設計時の注意点について解説するものである。

2. 代替燃料船ガイドラインA部

2.1 概要

2021年8月に本会は代替燃料船ガイドラインA部“メタノール/エタノール燃料船の安全に関するガイドライン”を発行した。その後、2021年9月にIMO暫定ガイドラインMSC.1/Circ.1621の内容を織り込み、2022年6月に一部改正した本ガイドラインA部 第2.0版（以下、ガイドライン）を発行した。

2.2 ガイドラインの主な要件

2.2.1 ガイドラインの構成

ガイドラインでは、メタノールを燃料として使用する場合の安全に関する要件を規定し、3章に機能要件、4章にリスク評価を含む一般要件、5章以降にメタノール燃料船の具体的な要件について規定している。

2.2.2 機能要件（3章）

ガイドライン3章では、メタノール燃料を使用する推進機関、補機発電機関、その他の用途の機関の設計、構造及び運用を安全で環境に配慮したものとすることを目的として機能要件が規定されている。

本ガイドラインの規範的な要件は、すべてこの機能要件に基づき決定されており、ガイドラインに規定された規範的な要件から逸脱した設計を行う場合であっても機能要件には合致する必要がある。

2.2.3 一般要件（4章）

メタノール燃料の使用から生じる人員、環境、船体の構造強度及び保全性に対するリスクについて検証するために、リスク評価を行わなければならない。LNG燃料船と異なり、リスク評価の対象範囲は限定されておらず、メタノール燃料に起因するすべての潜在的なハザードについて検討する必要がある。これにより、ガイドラインが規定する規範的な要件では対処できない危険性に対処することが期待される。

船籍国によっては、本リスク評価に加えて、IGFコードからの逸脱として同等性の立証が求められる場合があることに留意する必要がある。

2.2.4 船舶の設計及び配置（5章）

a) タンク配置

メタノール燃料タンク（以下、燃料タンク）は一体型燃料タンクあるいは独立型燃料タンクとするこ

とができる。一体型燃料タンクは、外部火災による熱的影響や、毒性及び可燃性のメタノールが船体のその他の場所に漏洩することを防ぐため、その周囲にコファダムを設置する必要がある。ただし、考えられる最低水線より低い外板、メタノールを貯蔵するその他の燃料タンク又は燃料調整室で境界が形成される面については、保護コファダムの設置は要求されない。独立型燃料タンクは、燃料貯蔵ホールスペース内あるいは開放甲板に設置することが認められている。

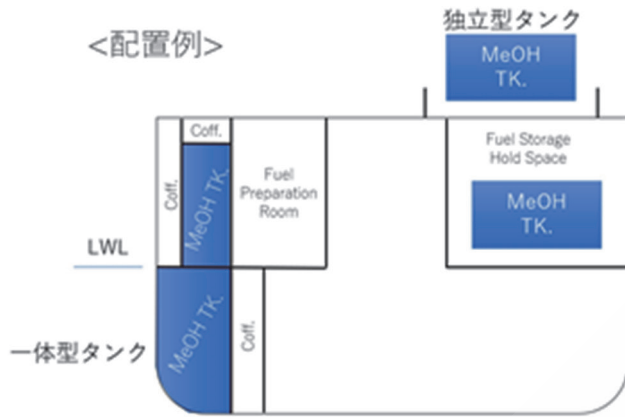


図1 メタノール燃料タンク配置の例

なお、ケミカルタンカーにおいて貨物兼燃料タンクが貨物エリアに設置される場合はIBCコードの思想によって安全性が担保されると考え、上記に関わらず、貨物兼燃料タンク周囲に保護コファダムは要求されないものと取扱っている。

燃料格納設備は衝突による損傷リスクを抑えるため、船首隔壁の後方かつ船尾隔壁の前方に配置することが求められる。本要件は開放甲板上の燃料タンクも適用対象となる。なお、LNG燃料船に適用されるIGFコードと異なり、現状のガイドラインにおいては、確率論的手法による燃料タンク配置の検討は認められていない。

b) 燃料関連設備のある閉囲区画へのアクセス

本章に規定されるメタノール燃料に関する危険場所への交通に対しては、非危険場所から直接立ち入ることができるものとしてはならず、運行上の理由によりそのような開口が必要な場合は、エアロックを設けることで、アクセスが認められる。なお、ガイドライン12章に規定される通り、正常運転中はエアロックにより保護される区画は非危険場所とみなすことができるが、保護された区画と危険場所との差圧が喪失した場合に使用される機器は、1種危険場所での使用が認定又は証明された機器が要求される。このため、危険場所から機関室に直接アクセ

スするような配置とした場合に、同区画の間にエアロックを設けたとしても、差圧喪失時に機関室内で使用される機器は1種危険場所に対応した防爆型の機器が要求されるため、注意が必要である。

c) 漏洩対策

燃料の漏洩に対しては、漏洩が起り得る場所、特に単管の接続部には、ドリフトレイを設ける必要がある。ドリフトレイの容量については、リスク評価に基づく最大の流出量に対応できる十分な容量を有するものでなければならない。また、ドリフトレイに漏洩したメタノールを専用の貯留タンクに安全に移送又はドレンするための手段も設ける必要がある。貯留タンクについては、ドリフトレイからの漏洩の集積の他、閉囲区画に設置される燃料ポンプ、弁又は二重管の内管からのメタノール燃料のドレン及び起り得る漏洩を集積できる必要がある。なお、本会では通常のオペレーションにおいて貯留タンクにメタノール燃料が積載される場合は、基本的に当該貯留タンクには燃料タンクと同等の要件を適用する必要があると考えており、機関室内への設置は認めていない。

2.2.5 燃料格納設備（6章）

燃料格納設備に関するガイドラインの規定には、貨物としてメタノールを貯蔵運搬するケミカルタンカーに適用されるIBCコードの規定が一部取り込まれている。燃料タンクには制御式の通気装置を備え付ける必要があり、それぞれの燃料タンクに圧力及び真空逃し弁を設け、ベント管出口にフレームアラスタを設ける必要がある。また、燃料タンクは通常の使用状態において常時イナートガスで不活性雰囲気とすることが求められている。そのため、通常のお燃料タンクに備えられる開放式の空気管の設置は認められないことに留意されたい。

船員へのメタノール蒸気の暴露を避けるため、燃料タンクベント排気口は、甲板から3m以上上方の位置、または歩路から4m以内にベント排気口が配置される場合は歩路から3m以上上方の位置に設けなければならない。また、当該ベント出口は、居住区域、業務区域の最も近い空気取入れ口又は開口並びに発火源から少なくとも10m以上離れた場所に配置する必要があり、燃料タンクと居住区が近接しがちなバルクキャリア等では注意を要する。

船上で使用するイナートガスは、想定される最大の燃料消費量と航海期間を考慮した少なくとも1航海分のイナートガス消費量に加え、港湾内での最小の燃料消費量で燃料タンクを2週間のあいだ不活性化状態を保つために必要なイナートガス消費量を考慮し、容量を決定する必要がある。このイナ

トガス容量を達成するために、ガイドライン上はイナーナートガス発生装置または貯蔵設備の使用が認められているが、実際は窒素発生装置を船上に備える計画が多いようである。

2.2.6 材料及び燃料管装置（7章）

材料の選択に際し、燃料の腐食性を考慮することが求められている。一般に、燃料管の材料としてはオーステナイト系ステンレス鋼、燃料タンクにはオーステナイト系ステンレス鋼が通常の船体用圧延鋼材に塗装を施したものを使用する計画が多いようである。一般的に燃料として利用されるメタノールには、添加物や不純物が含まれることから、材料選択の際は本観点も考慮の上、材料メーカーや塗装メーカーにメタノール燃料との適合性を確認されたい。

メタノール燃料管に対する船級材料の適用にあつては、鋼船規則D編表D12.1の燃料油の項目を準用し、圧力、温度に応じた管の分類に倣う取扱いとしている。1類管、2類管に分類された場合は、鋼船規則D編12.1.4-2(1)に従い、鋼船規則K編に適合した材料が要求される。3類管に分類された場合は、規則D編12.1.4-2(2)に従い、本会が適当と認めた規格に定められた材料を用いても差し支えない。また、燃料二重管の外管に関しては、鋼船規則D編表D12.1内の流体の種類として空気の項目を参照し、対応する管のグレードに応じて、該当する規則を参照することになる。

二重管の内管は、完全溶け込み型の突合せ溶接とし、全ての箇所において放射線透過試験を実施する必要がある。フランジ継手はタンクコネクションスペース、燃料調整室又は同等の措置が講じられた区域内の管にのみ認められる。なお、二重管の外管にはフランジ継手の使用が認められる。

2.2.7 バンカリングステーション（8章）

a) 滞留防止

バンカリングステーションは、自然通風が十分に行われる開放甲板上に設置されなければならない。バンカリングステーションを閉鎖場所又は半閉鎖場所となる場所に設ける場合には、機械式通風等に加え、リスク評価によりその安全性について検証する必要がある。

b) ホース破断防止

バンカリングステーションにおける連結部は、過大な荷重によるバンカリングホースの破断などを防止するため、ドライブレイクアウェイカップリング又は自己密封の急速切り離し機能を備えた、切り離しの際に燃料が流出しない型式のものとする必要がある。

c) バンカリング管

バンカリング管は、イナーティンク及びガスフリーを行うことができるものとする必要があり、承認された場合を除き、バンカリング管は、燃料の補給に使用されないときには、ガスフリーされた状態としなければならない。

貨物兼燃料タンクを有するケミカルタンカーにおいて、貨物マニホールドとバンカリングマニホールドを兼用する場合は、本ガイドライン8章の適用は強制ではなく、バンカリングマニホールドが独立している場合に同章の規定が適用される取扱いとしている。また、貨物マニホールドとバンカリングマニホールドを兼用する場合においても、燃料への異物混入を避けるために、貨物兼燃料タンクへの積込み管は、スプールピース等により他の貨物ラインと分離する必要がある。

d) メタノール暴露の影響軽減

メタノールが作業者に暴露した際の影響を軽減するために、緊急用の除染シャワー及び洗眼器を燃料に接触する可能性のある場所に近接して配置しなければならない。これらの設備は、いかなる周囲条件下においても使用することができるものでなければならない。

2.2.8 機器への燃料の供給（9章）

船上の人員、環境及び船舶を危険にさらすような燃料の漏洩が起こらないように考慮することを、メタノール燃料に対する基本的な設計思想としている。加えて、燃料供給における単一故障によって許容されない動力の喪失につながらないように推進力及び電力供給並びに燃料供給装置を配置し、冗長性を確保しなければならない。

船内の閉鎖区画を通過する燃料管は漏洩に対して考慮する必要があり、周囲区画に対してガス密及び液密となる管又はダクト内に設置し、外管又はダクトとの間の空所部は、毎時30回以上の排気式通風装置によって換気されなければならない。

二重管外管の寸法に関しては、その設計圧力が燃料管の最大使用圧力以上としなければならない。ダクトの寸法を決定するに当たっては、内管が破裂した際のダクト内最大圧力計算値を使用することができる。ダクト内最大圧力を規定する計算式等は現状船級規則上では規定されていないため、適切な計算式、解析ソフト等を選定の上、使用することで差し支えない。

機関室内の二重管のドレンは、貯留タンクに導く必要がある。一方、代案として二重管最下部にドレン抜きのコック等を設け、漏洩を検知した際は、持ち運び式ドレンタンクに接続し、船員によるマニユ

アルのドレン排出を行うことも認められる。この場合、漏洩燃料を保管した持ち運び式ドレンタンクについては安全上適切と判断された区画に保管するかその内容物は貯留タンクに移送する。なお、当該持ち運び式ドレンタンクは可搬式燃料タンクとしての要件を適用しなくとも差し支えない。

各燃料使用機器または機器群への主機燃料供給ラインに対する要件としては、自動的に作動する主燃料弁の設置が挙げられる。当該弁は燃料使用機器を収容する機関区域の外部の配管に設ける必要がある。また、燃料供給装置の安全機能に関わる弁については、弁動作の動力が失われても安全側に作動するようなフェイルセーフタイプが要求される。

2.2.9 燃料の使用 (10章)

本ガイドライン10章は、メタノールを使用する機器として二元燃料機関及び専焼機関の使用に関する規定を設けている。その他メタノールを使用する機器を計画する場合は、本章の目的、機能要件に合致したものとすることに留意する必要がある。

2.2.10 火災安全 (11章)

a) 火災の抑制

防火構造の要件は原則、鋼船規則R編9章の規定に従う必要があるが、メタノール燃料船特有の区画に対して本章に追加的の要件として規定している。例えば燃料調整室はA類機関区域とみなし隣接する区画の境界には適切な防火安全性が要求される。なお、燃料調整室をA類機関区域とみなすのはあくまで防火構造を検討する場合のみであって、例えばSOLAS条約II-2章第13規則の脱出設備要件上は、燃料調整室をA類機関区域とみなす必要はなく、その他の機関区域としての脱出要件を適用することで差し支えない。

b) 消火設備

メタノール燃料装置を収容するすべての区画には、FSS Codeに従った固定式の火災探知装置及び火災警報装置を備える必要がある。また、メタノール火災の特徴から、煙探知器に加え、熱探知器などのメタノール火災を探知することができるものが要求される。

燃料タンクが開放甲板上に設置される場合と開放甲板下に設置される場合の火災安全にかかわる代表的な要件について以下に解説する。

1) 開放甲板上

燃料タンクが開放甲板上に設置される場合、偶発的な流出燃料の希釈、燃料タンクの冷却および火災防止のために燃料タンク暴露部を覆う固定式水噴霧装置を設ける。また、アルコール火災を想定し、固定式の耐アルコール泡消火装置を備える。

開放甲板上の燃料タンクに面する船橋窓までの居住区域、業務区域、制御場所、機関区域及び脱出経路の境界にはA-60級の防熱を施工する。

2) 開放甲板下

燃料タンクへの入熱を防ぐため、燃料タンクの境界は、A類機関区域及び火災の危険性が高い区画から、少なくともA-60級の防熱が施されている幅600mm以上のコファダムによって隔離する必要がある。

2.2.11 防爆 (12章)

危険場所に使用される電気機器については、安全形として承認された電気機器を使用する必要がある。メタノールにおいては、IIAT1以上の防爆グレードを持つ防爆型の電気機器を選定する必要がある。危険場所はガイドライン12.5に従い、0種危険場所、1種危険場所、2種危険場所に分類され、同章に規定された危険場所分類の定義を適用することが適当ではなく、特別な考慮が払われている場合には、IEC60079-10-1:2015に則った分類を認めることができる。

2.2.12 通風装置 (13章)

a) 通風装置の配置

危険場所の通風に使用されるあらゆるダクトは、危険場所を拡大させないために、非危険場所の通風に使用されるダクトから独立させなければならない。また、閉囲された危険場所の空気取入口は、当該空気取入口がない場合に非危険場所となる区域に設置しなければならない。

燃料調整室並びに燃料配管を含む二重管及びダクトには、排気式の有効な機械式強制通風装置が設置されなければならない。通常の状態において、少なくとも毎時30回の換気能力を有する通風装置としなければならない。二重管又はダクトの通風装置の吸気口は、発火源から離れた大気中の非危険場所に配置する必要がある。その開口部は水の浸入に対し保護されると共に、適当なワイヤメッシュの保護具を取り付けなければならない。

b) 通風ファンの冗長性

燃料調整室の通風用ファンの個数及び出力は、主配電盤若しくは非常用配電盤から独立に給電されるファン又は主配電盤若しくは非常用配電盤から共通の回路で給電される一群のファンが故障した際に、換気能力の総容量の50%を下回るものであってはならない。なお、内航船で航路制限等により主配電盤の母線分割、非常用配電盤の設置が軽減される船舶においても、想定されるリスクを最小限に抑えるために、冗長性を有した通風ファン構成とする必要がある。

2.2.13 電気設備（14章）

電気設備については、可燃性雰囲気における発火のリスクを最小化することに留意し、電気機器の選定やケーブルの敷設など、鋼船規則H編の関連規定に従う必要がある。

2.2.14 制御、監視及び安全装置（15章）

a) 安全装置

燃料安全装置は、燃料の漏洩等が起きた際に、タンク付弁、主燃料弁、バンカリング弁の内、該当する弁の自動遮断を行い、メタノール燃料の供給を遮断することで被害の拡大を防ぐ役割を担う。

燃料タンクの安全装置として、常時液面が表示されるように配置された密閉型液面計測装置を設ける必要がある。燃料タンク使用時において、液面計の保守作業に伴うタンク開放を避けるため、液面計は二重化する必要がある。これは、保守作業に伴う燃料の外部放出や人への暴露を避けることを目的としたものである。ただし、燃料タンク使用時に燃料の外部放出なしに必要な保守が可能な場合は、液面計の二重化を参酌することができる。なお、必要な保守作業とは、液面計に不具合がある場合に行われるあらゆるメンテナンス作業を指すものと考えている。また、燃料タンクには、作動時に可視可聴警報を発する高位液面計装置を設ける必要があり、液面指示装置と共通のものとしてもよいが、高高位液面警報からは独立させる必要がある。

b) ガス検知器

漏洩したメタノール蒸気を検知する手段としてガス検知器の設置が要求されている。本章にて要求されるガス検知器は、メタノール蒸気による可燃性雰囲気の形成及び毒性雰囲気の形成を検知するために設置要求しているものの、毒性雰囲気の検知に関し、具体的な記述がないため、本会の推奨事項を下記に記載する。

固定式ガス検知器の警報設定は、1日8時間1週40時間作業する場合の作業環境許容濃度であるTLV-TWA：200ppmを推奨している。200ppmを警報の設定点に出来る固定式ガス検知器が市場にない等の合理的な理由があれば、この限りではない。固定式ガス検知器は主に、致命的な被害（火災や爆発、人の回復不能な障害や死亡等）に至る前に漏洩に対処する目的で設置するものと考えており、通常人がアクセスする可能性のある区画については、30分以内に脱出不能な状態や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である脱出限界濃度IDLH：6000ppmを警報とすることも一案と考えている。

また、ガイドライン17章では可搬式ガス検知器

の使用について言及しており、固定式ガス検知器に加えて可搬式ガス検知器も必要と考えている。可搬式ガス検知器の主な役割は、適切な作業環境の確認であることから、警報設定はTLV-TWA：200ppmを推奨している。

さらに、船員が可搬式ガス検知器を携帯せずに燃料調整室に入ること等のミスオペレーションを防止するための措置として、注意銘板設置やガイドライン17.2で要求されるマニュアルへ注記することが状況に応じて必要となる。

c) 漏洩液検知

燃料タンク周囲の保護コファダム、燃料配管の周囲に設置されるダクト、燃料調整室及び燃料単管又は燃料機器が設置される閉区画に対する安全装置として、漏洩液の検知器が要求されている。当該漏洩液検知器については、液自体の検知が必要と考えるため、蒸気のみを検知するガス検知器のみの設置は認められない。

3. 今後の動向

3.1 IMOの動向

現状、メタノールを燃料として使用する船舶の要件は、冒頭に述べた通り、MSC.1/Circ.1621としてIMO暫定ガイドラインが発行されるに留まっており、今のところ強制力のある規則は発行されていない。

メタノールを燃料として使用する船舶の要件の策定に向けた国際的な審議として、IMOでは、2022年の貨物運送小委員会（CCC8）において以下のようなメタノール燃料船の暫定ガイドラインの強制化に向けた審議スケジュールが示された。（CCC8/18 Annex 2）

CCC9（2023）：時間が許せば、メタノール／エタノールに関する強制要件の開発について議論を開始する。

CCC10（2024）：メタノール／エタノールに関する強制要件の開発を進める。

CCC11（2025）：メタノール／エタノールに関する強制要件を最終化する。

3.2 今後の本会の対応

本会は、メタノール燃料船開発における安全性評価を円滑に行い、関係者の利便に供するため、MSC.1/Circ.1621に基づく要件をまとめたガイドラインを代替燃料船ガイドラインA部 第2.0版として2022年に改正発行した。

今後、IMOにおけるメタノール燃料船の強制要件の審議において、現状のMSC.1/Circ.1621の要件

も改めて見直されるものとする。当該審議において本会がこれまで関係者と共に培ってきた知見を活かし、メタノール燃料船の要件がより合理的なものとなるよう貢献していく所存である。

ClassNK