

製品開発と設計を支える技術の紹介

株式会社名村造船所

LNG 燃料鉱石運搬船コンセプトデザイン

「WOZMAX[®] type GF」の紹介

林田 聡史*

Hayashida Satoshi

宮原 誠宜*

Miyahara Seigi



2015年に採択されたパリ協定を受け、国際海運においてもGHG排出削減目標の設定が急務とされていたが、2018年に開催されたMEPC72においてGHG削減戦略が採択された。このGHG削減戦略目標では2050年までにGHG総排出量50%削減を達成するなど、非常にチャレンジングな目標となっており、船型改良による燃費向上などの従来技術の延長では到底達成することはできない目標となっている。そのような背景の中、当社は川崎汽船株式会社と、西豪州主要3港であるPort Hedland, Port Walcott, Port Dampierに入港できる最大船型として当社が独自開発した第二世代WOZMAX[®]を対象として、低環境負荷型LNG燃料鉱石運搬船の共同研究を2018年5月からスタートし、2019年8月にプロトタイプとしての基本設計を完了させた(第1図)。本船にはガス燃料という意味を示すGas Fuelledの頭文字をとり、WOZMAX[®] type GFの愛称を付けた。本稿ではWOZMAX[®] type GFについて紹介する。



第1図 LNG燃料鉱石船イメージ

原稿受理日：July 31, 2020

*株式会社名村造船所 船舶海洋事業部 設計本部 技術開発センター

1. 緒言

2000年に世界初のLNG燃料船が運航を開始してから、現在に至るまで150隻以上のLNG燃料船が運航されている。しかし、現在運航されているのはCar ferryや欧州を中心とした短距離を航海する船舶に限られており、外洋の長距離を航海する一般商船においては、LNG燃料化に必要なスペースの問題やコストの面から普及に至っていないのが現状である。

当社では、2017年に石炭船を対象としてLNG燃料船の概念設計を完了したが、2018年に、油焚きのままではEEDI Phase3達成が難しいと言われている大型船を対象としたLNG燃料設計に着手した。本稿では、当社と川崎汽船殿が共同で開発し、2019年にDNV GL船級協会より基本承認を取得した、LNG燃料鉄石運搬船WOZMAX® type GFの開発について示す。

2. コンセプト

本船は当社が独自開発し2017年に川崎汽船殿に引渡した第二世代WOZMAX®の第一番船である“CAPE HAYATOMO”をベースとし、鉄石の輸送能力を維持したままLNG燃料化を行い、EEDI Phase3を達成することを目標とし開発を行った。WOZMAX®は西豪州における鉄石の主要積出港に最適な船型として開発されたものであるが、西豪州の他ブラジルへも配船されている現状を踏まえ、ブラジルからシンガポールまでの約20,000 Nautical mile(以下、n.m.)を、LNGを追加補給することなく航海可能とすべく、大容量のLNG燃料タンクを本船上に搭載することとした。想定航路のイメージを第2図に示す。



第2図 想定航路イメージ

3. 主要目

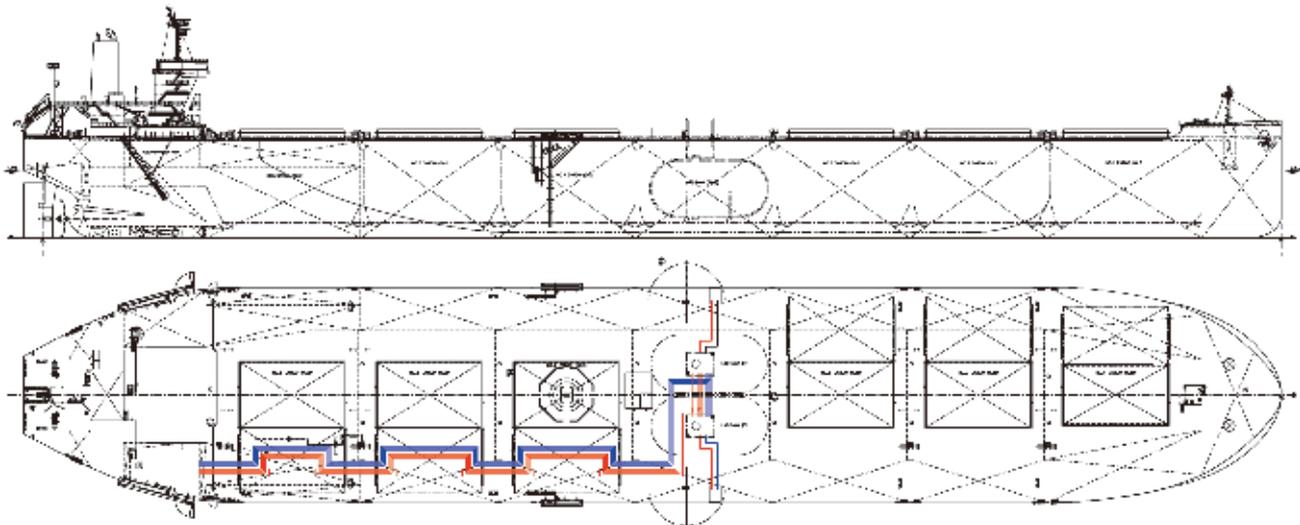
本船の主要目は以下の通りである。

船 級	DNV GL
積 載 貨 物	鉄鉱石
全 長	abt. 329.90 m
幅 (型)	57.00 m
深 さ (型)	25.60 m
夏期満載喫水 (型)	18.00 m
載 貨 重 量	248,600 t
容 積	
貨 物 艙	abt. 153,000 m ³
バラストタンク	abt. 165,000 m ³
LNG 燃 料 タンク (IMO Type C)	abt. 8,000 m ³
飲料水タ ン ク	abt. 250 m ³
清 水 タ ン ク	abt. 250 m ³
主 機 関	MAN B&W 6G80ME-C9.5-GI
航 続 距 離	abt. 20,000 n.m.
定 員	28 名

4. 一般配置

本船の一般配置図を第3図に示す。本船の大きな特徴として、船体中央Cargo holdをLNG燃料タンク設置区画へと変更した点が挙げられる。通常、穀物や石炭など比較的比重の小さい貨物を運搬するBulk carrierにおいては、貨物艙容積は船の価値に直結する非常に重要なファクターの一つであるため、本船のようにCargo holdの一つを潰し、LNG燃料タンク設置区画とすることは現実的ではないが、本船は貨物比重の大きい鉄石の輸送に特化した船型であり、貨物艙容積に比較的余裕がある為、このような配置が成立する。本LNG燃料タンク配置は、本船型に特化したLNG燃料タンク配置と言える。また、LNGタンク設置区画上部には、ガスリークに備えた通風筒が必要となるが、起倒式とすることで、荷役時の妨げとならないよう工夫を行っている。

LNGを主機・発電機へ供給する機器を格納する燃料調整室は機関室右舷ウィング部へ配置し、LNG燃料タンクから燃料調整室までの燃料配管は上甲板上へ設置した。



第3図 一般配置図

5. LNG 燃料タンク配置

本船は約 20,000 n.m. という長い航続距離を確保する仕様とする為、必要な LNG 燃料タンク容量は約 8,000m³となる。通常、Bulk carrier を対象とした LNG 燃料船では船尾暴露甲板上へ LNG 燃料タンクを配置することが一般的であると考えられるが、このような大型タンクを設置するにはスペースが不足する為、本船では Cargo Hold の一つを LNG 燃料タンク設置区画に変更して利用することとした。LNG 燃料タンクを設置する区画については、中央と船尾の 2 パターンについて検討を行ったところ、船尾に設置した場合に船体姿勢が保てないことが分かり、船体中央部の Cargo Hold を LNG 燃料タンク設置区画とし、約 4,000m³の LNG 燃料タンクを 2 基設置した。本配置により、船型の見直しを必要とせず LNG 燃料タンクを設置可能とした。

6. 主機

本船の主機については、天然ガスを高圧噴射するディーゼルサイクル二元燃料機関である MAN Energy Solutions 社製の ME-GI (高圧) と、天然ガスと空気の混合気を噴射するオットーサイクルの二元燃料機関である Winterthur Gas & Diesel 社製の X-DF (低圧) について、それぞれの特徴及び CAPEX (capital expenditure : 初期コスト) / OPEX (operating expenditure : 運用コスト) の比較を行った。それぞれの特徴を示した主機比較表を第 1 表に示す。第 1 表では、各項目において優れていると判断できる方に○を付与している。

タンク内に貯蔵された LNG は外部からの侵入熱の影響を受け、一部は自然気化してしまう。これをボイルオフガス (以下、BOG) という。本船では BOG 処理の手段として、蓄圧、

コンプレッサ利用、再液化装置搭載の複数ケースを想定した。最終的には、主機だけでなく、燃料供給装置など含めたトータルでの CAPEX/OPEX の経済性評価結果を踏まえ、ME-GI を採用し BOG は蓄圧で対応する仕様とした。

第 1 表 主機比較表

項目	高圧 (ME-GI)	低圧 (X-DF)
燃料消費量	○	
CO ₂ 排出低減	○	
NO _x 排出低減		○
燃焼安定性	○	
メタンスリップ	○	
燃料供給装置		○
必要電力量		○
工作性		○
本体価格		○
メンテナンスコスト		○

7. 燃料供給システム

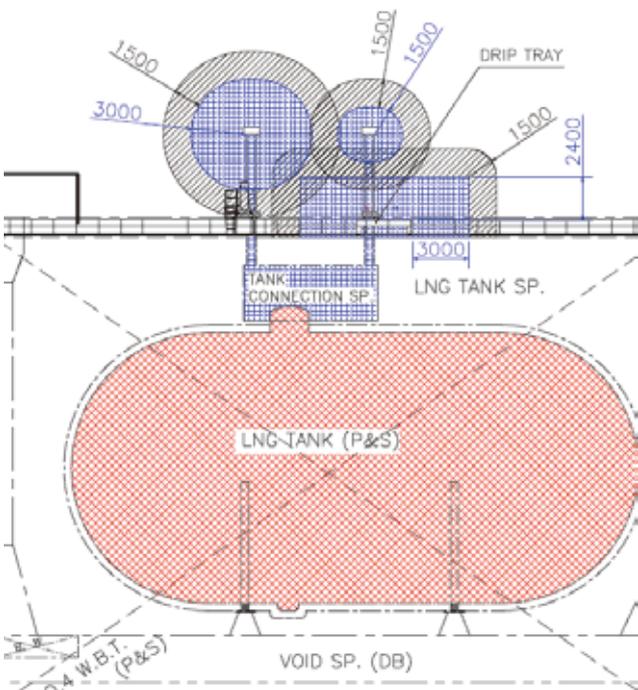
本船の LNG 燃料タンクに積み込まれた LNG を燃料として利用する為に必要な燃料供給システム (FGSS : Fuel Gas Supply System) は、三井 E&S 造船株式会社/TGE Marine Gas Engineering GmbH のシステムを採用した。FGSS 機器については、機関室右舷ウィング部に独立区画として設けた燃料調整室内に配置した。燃料調整室の配置は機関室からのアクセスを容易とすることを目的として該当区画へ設けた。機関室と燃料調整室の間には 900mm のコファダムを設け、両区画間にはエアロックスペースを設けるなど対策を施し

た。一方、本配置の可否については、IGF Code 等規則の解釈及びリスクアセスの観点から、本取り組みの中では結論には至っていない。更なる工夫が必要となる可能性も残っており、今後の検討課題の一つである。

燃料調整室の配置に関しては、2024年のIGF Code 改正内容を見据え、液を扱う機器とガスを扱う機器をそれぞれ集約させた配置とし、液リーク対策などが容易となるよう工夫を行った。

8. 危険区画

LNG 燃料船においては危険区画に注意しながら、各区画の開口位置を決定し、艀装品配置についても非危険区画内に配置するなどの考慮が必要となる。危険区画は0から2までの3種類のZONEに分類される。危険区画の一例を第4図に示す。第4図の赤色で着色された区画はZONE 0を示しており、LNG やガスそのものが存在している区画が該当する。青色で着色された区画はZONE 1を示しており、爆発性雰囲気となる可能性が高い区画が該当する。黒色で着色されているのがZONE 2であり、ZONE 1の周囲が該当する。本船では、燃料調整室の通風筒やLNG 燃料タンクのVent post と、煙突付近の機関室開口部の位置関係が近かった為、配置には非常に苦労した。



第4図 危険区画

9. Design Screening

これまでに述べた各種検討を行った後、DNV GL の基本承認(AIP : Approval in Principle)を取得する為、Design Screeningを実施した。Design Screeningとは、DNV GL がAIP 承認を行うにあたり、該当のコンセプトデザインが規則を満足しているかを確認するプロセスのことであり、建造船の図面承認プロセスに相当するものである。

本プロジェクトのAIP 承認の対象はLNG 燃料対応設計とし、LNG 燃料対応に関わる図面を当社からDNV GL へ提出し、IGF Codeに準拠していることが確認され、AIPを取得した。AIP 証書手交式時の様子を写真1に示す。



写真1 AIP 証書手交式の様子

10. リスクアセスメント

Design Screening 後、さらに知見を深める目的で、HAZID (Hazard Identification Study) Workshop(以下、HAZID と呼称する)と呼ばれるリスクアセスメントを実施した。(写真2)



写真2 HAZIDの様子

HAZID には、当社含め、本共同研究に関わる 5 つの企業から計 26 名が参加し、活発な議論を行った。HAZID は、想定されるシステムの Hazard(危険)及びその原因及び、Hazard に起因して発生する事象の洗い出しを行い、それらに対する Preventive measure(対策)が現状の仕様で十分であるかについて議論を行う。もし、対策が十分でないと判断された場合は Mitigating measure(追加対策・緩和策)の候補を参加者で協議する。

また HAZID では、それぞれの想定リスク・事象について、発生頻度と影響度についても議論し、第 2 表に示すリスクマトリクスに照らし合わせながら、該当リスク・事象をランク付けしていく。発生頻度については一年に一回、十年に一回、百年に一回といった形式でランク付けを行い、影響度については、人的被害、被害額、環境影響、社会影響のいずれかの面でランク付けを行う。第 2 表では、緑色が Low risk, 黄色が Medium risk, 赤色が High risk を示しており、発生頻度と影響度のランクからリスクランクが決まることとなる。High に該当するリスク・事象については、現状のままでは許容されないと判断されるため、リスクランクが Medium 以下となるように必要となる追加対策について議論を行った。追加の対策に関しては、造船所・船主・メーカー・船級の誰が追加対策を取るべきなのかという所掌決めについても行った。実建造する場合には、これらに費用が発生する為、HAZID は仕様打合同等の、非常に重要な会議の一つとなる。

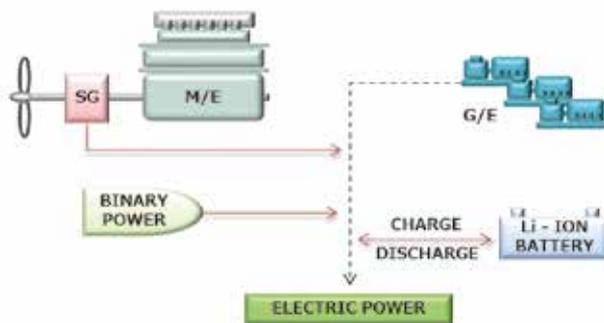
第 2 表 リスクマトリクス

		Frequency				
		1	2	3	4	5
Severity	1	L	L	L	M	M
	2	L	L	M	M	M
	3	L	M	M	M	H
	4	M	M	M	H	H
	5	M	M	H	H	H

HAZID では、本船仕様が規則に適合していることは当然とし、その上で本船のオペレーションを行った際に想定しうるハザードに対してどのような設備対策を施しているのかについて議論が行われる。特に、液/ガスリークに関して多くの議論を行い、想定されるリスクとその対応策について知見を深めることが出来た。場合によっては規則以上の仕様を推奨されるケースもあったが、リスクアセスメントの視点から船の仕様を考えることは設計思想にも通じるものがあり、当社にとって非常に有意義な場であった。

1 1. 更なる GHG 削減技術

本共同研究においては、LNG 燃料化による GHG 排出のみにとどまらず、軸発電機やバイナリー発電など複数の技術を複合させた船内発電システムについても検討を行った。システムの概要を第 5 図に示す。



第 5 図 船内発電システム概要

本システムでは、通常のディーゼル発電機の他、軸発電を採用することで船内電力に利用可能としている。また、主機の排熱を利用したバイナリー発電システムと、リチウムイオン電池のシステムを複合させることで、LNG 燃料化に加え更に 4%の GHG 排出削減効果が見込めることを確認した。今後、GHG 排出削減に対しては大きな目標が掲げられているが、現時点ではこれらの目標を単独で達成可能な技術は確立されていない為、LNG 燃料化に加え、本システムのように複数技術を複合させたシステムを検討することも、重要となってくる。

1 2. 結言

以上、当社が AIP を取得した LNG 燃料鉬石船についての概略、特徴を紹介した。

今回の概念設計においては、高圧、低圧の CAPEX と OPEX の比較まで行ったことで、両システムのメリットデメリットをこれまで以上に明確に把握することが出来た。

今後は、AIP 取得に留まらず、実建造まで見据えた設計を行っていく必要があり、多くの課題が見えた今回の経験は非常に有益であったと感じている。まだクリアすべき課題は少なくはないが、今回の経験を活かして引き続き検討を行ってきたい。

謝辞

本プロジェクトの目標であるAIP取得まで、多大なるご支援、ご指導、ご協力を頂きました、川崎汽船株式会社殿、三井E&S造船株式会社殿、DNV GL 船級協会殿、また各種検討にご協力いただきました当社の関係者へ厚く御礼申し上げます。