

# 船舶の省エネ運航を実現する三菱空気潤滑システム -MALS (Mitsubishi Air Lubrication System)-

Implementation of Ship Energy-saving Operation with Mitsubishi Air Lubrication System



溝上 宗二\*<sup>1</sup>  
Shuji Mizokami

川角 学\*<sup>2</sup>  
Manabu Kawakado

川野 三浩\*<sup>1</sup>  
Mitsuhiro Kawano

長谷川 雄朗\*<sup>3</sup>  
Takeo Hasegawa

平川 一郎\*<sup>4</sup>  
Ichiro Hirakawa

船舶の省エネシステムとして開発された三菱空気潤滑システム(MALS)の適用船種拡大を目的とした検討を実施した。バルク船、コンテナ船、フェリー、大型客船など幅広い船種へのシステム搭載の為に必要となる吐出圧力と吐出風量に対応可能な、本目的専用のブロウを開発し、空気供給に関わる吹き出し部、配管系統などの標準化を行い、当社造船所以外での MALS 適用を可能とした。加えて、就航船への追加搭載も視野に入れた検討も実施した。以上の取組みの結果、システム単体での提供や付随するエンジニアリングも加えて MALS を供給できる体制が整った。

## 1. はじめに

2011年に国際海運が排出する地球温暖化ガス(GHG)の削減を目的として、MARPOL 条約が改正され、船舶からの CO<sub>2</sub> 排出を抑制するスキームが定められた。この改正により、2013年1月1日以降、新たに建造される船舶に対し、燃費基準への適合が義務づけられた。このスキームの内、効率を客観的に表す技術的手法として、「エネルギー効率設計指標(Energy Efficiency Design Index: EEDI)」が定義された。これは1トンの貨物を1マイル運ぶのに排出される CO<sub>2</sub> のグラム数を表すものである。船の新造時は、各船の EEDI 値を計算し、条約で要求される規制値以下となることが要求される。今後、MALS など省エネシステムは、EEDI 値を低減させる革新的省エネ技術として位置づけられる予定である。このように省エネシステムは、燃料価格の高止まり傾向による、運航費に占める燃料費の割合の増大と相まって、その適用機会が益々高まりつつある。

当社は、推進抵抗の小さい船型、高効率の推進器システム、主機の排ガスからの熱回収など様々な省エネ技術を組み合わせて、お客様の要望に応じたエコシップを提案している。その中で、三菱空気潤滑システム(MALS)は、船底に空気を送り込み気泡で船体を覆うことで、船の推進抵抗を少なくする、新しい省エネシステムとして開発され、2010年に世界で初めて恒久設備としてモジュール運搬船に搭載し、実用化に成功している<sup>(1)</sup>。モジュール運搬船は、大型構造物を搭載するため縦横に広いデッキエリアを有しており、浅喫水で船底の平坦部が広い。したがって、船底が気泡に覆われ易く、空気潤滑によって大きな省エネ効果が期待できる船型であった。

船舶は用途に応じて、サイズ、船型、運航速度など多くのバリエーションがある。MALS の実用化にめどが立った今、MALS を省エネデバイスとして広く普及させるためには適用船種の範囲拡大が課題となる。

\*1 船舶・海洋事業本部 船海技術総括部 主席技師

\*2 船舶・海洋事業本部 船海技術総括部 グループ長

\*3 船舶・海洋事業本部 横浜船海改修部

\*4 原動機事業本部 船用機器・エンジン事業部 主席技師

本報は、建造船の多くを占める貨物船(タンカー、バルク船、コンテナ船など)、フェリー、ならびに当社がコア事業として注力している大型客船に対する搭載検討の取組みについて、検討例と合わせて報告する。

## 2. MALS 適用船種拡大の取組み

### 2.1 空気潤滑システム用ブロワの開発

#### (1) 要求レンジ

ブロワに必要な吐出圧力と吐出風量のレンジを明確にする目的で、バルク船、コンテナ船、大型客船を対象に設計条件を仮定し、試算を行った。当然、同一の船種でも船の大きさや要求速力などの運航条件は様々であるが、ここでは MALS が効果的に機能する大型船を対象とした。その試算結果をモジュール運搬船と比較して表1に示す。ブロワに要求される吐出圧力は、喫水による静圧分が大部分を占める。喫水が浅いモジュール運搬船の場合、吐出圧力は、圧損等の余裕を考慮しても 65kPa 程度であった。一方、今回比較対象とした船舶は、喫水が深いため吐出圧力は 100kPa を超える。また、表に記載していないが、VLCC は満載状態では静圧分だけでも 200kPa 以上の圧力を必要とする。

空気潤滑に必要な風量は、船底を覆う空気厚さ(均一と見做す)と船速に比例して増減する。空気厚さの増加に伴って、摩擦抵抗低減量が大きくなる一方、ブロワの消費電力も増加する。したがって、摩擦抵抗低減量とブロワ消費電力のトレードオフを考慮して、最も効率よく省エネ効果が得られるように風量を決定する。表1に示したように、大型コンテナ船は喫水が深い上に、航海速力も速いため、大風量が必要となるが、この場合は複数台のブロワを用いるものとして、検討対象とした船舶では、ブロワ1台当たりの必要風量を 200~300m<sup>3</sup>/min 程度とした。

検討対象船に必要となる、ブロワは市販製品の適用範囲から外れることが多く、特注品の採用もしくは複数台の装備が必要となることもあり、MALS に適したブロワの開発が求められた。

表1 MALS 設計条件とブロワスペック

項目	単位	モジュール 運搬船	バルク船	コンテナ船	客船
船長, L	m	153	230	350	240
船速, Vs	kt	13.0	14.0	24.0	17.0
吸込み風量, Qs	m <sup>3</sup> /min	80~120	150~250	200~550	100~200
圧力, P	kPa	65	155	170	100
ブロワモータ定格電力, Pm	kW	130~200	500~840	680~1900	230~460

#### (2) 三菱ターボブロワ

ブロワの種類は一般的に、軸流式、遠心式(ラジアル、ターボ)、回転式に分類され、モジュール運搬船では回転式のルーツブロワを使用した。市販されているルーツブロワも前述のとおり、MALS 用ブロワとしては、比較的小容量、小圧力の領域の機種であり、すべての領域をカバーさせることは出来ない。そこで、MALS 用ブロワに要求される特性や仕様を満足させる為、当社保有の船用過給機や自動車用過給機の設計技術を活用したターボブロワを開発した。開発した空気潤滑用三菱ターボブロワ(Mitsubishi turbo-blower for Air lubrication; MTA ブロワ)の構造図を図1に、その作動レンジを図2に示す。検討した要求レンジをもとに、羽根車サイズの標準化を行い、大小2つの容量を有する機種を揃えた。また図2には、検討対象船の要求レンジを比較のために付記した。要求レンジに応じて MTA ブロワと市販のブロワを使い分けることで、空気潤滑に必要な範囲を広くカバーすることが出来る。なお、本報では圧縮比での分類上、コンプレッサーと称する機器も便宜上ブロワと呼称する。

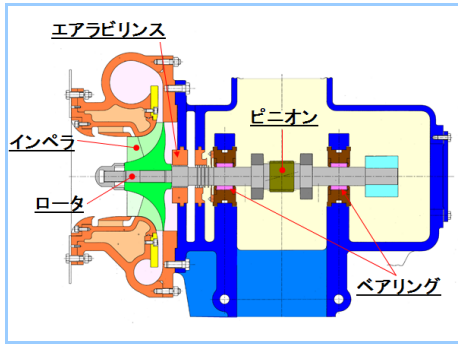


図1 MTAブロワ構造図

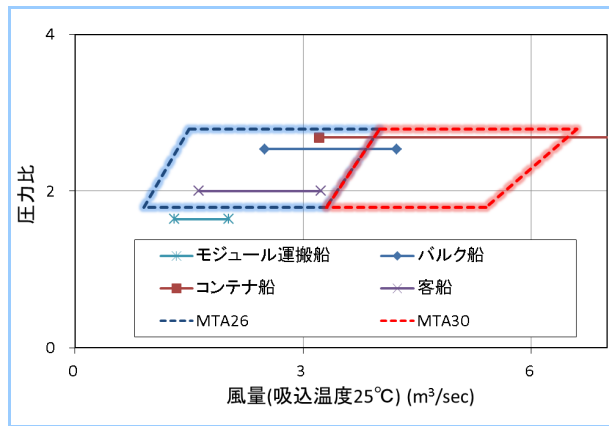


図2 MTAブロワの対応レンジ

## 2.2 MALS 適用時の検討事項

MALS の適用船種拡大を行うに当たり、当社以外の造船所で MALS 適用をスムーズに進めるために設計展開において留意すべき点について整理を行った。また、お客様のニーズに迅速に対応するために、推奨標準仕様と設計標準の整備を行った。

### (1) 空気吹き出し部

吹き出し位置は船体表面ができるだけ広く空気で覆われるように決められる。一般的に、バルク船など船速が遅く肥えた船は、平坦な船底形状を有し、一方フェリーなど高速船は、船体が痩せているため平坦な船底部分が少ない。おおむね船は肥大船と痩せ型船に分類できるので、それぞれに適した吹き出し位置を検討した。図3に船底から見たときの喫水線と船底平坦部の範囲を示す。上図に肥大船、下図に痩せ型船を示している。広い平坦部を有する肥大船は船首部に 1 箇所の吹き出し口を配置し、平坦部が船首と船尾で小さくなっている痩せ型船は、3 か所に吹き出し口を分割配置した。

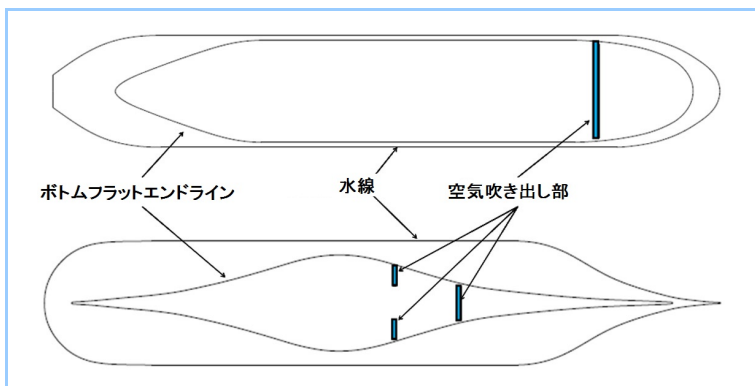


図3 空気吹き出し位置

### (2) 空気室(チャンバ)

ブロワから送られた空気は、吹き出し部に設けたチャンバに送り込まれ、船底に設けられた開口から吹き出されると同時に、海水との摩擦でせん断され気泡となり、船体に沿って流れ去る。図4にチャンバの一例として船首尾方向の断面図を示す。この例では、内底板をチャンバの上板として利用している。チャンバの側面にはマンホールを設けており、内部のメンテナンスの際はここから進入することができる。チャンバの幅方向の大きさは、船ごとに船体形状などを考慮の上、決定する。

### (3) 開口の形状と配置

船底の開口は、図5に示すような小判型の長円とした。寸法及び開口の個数は、MALS の設計条件に応じて検討を行い決定する。開口間隔、ロンジ材や壁との距離は、応力集中などに配慮して決定する。必要に応じて開口部の板厚を増すこともある。

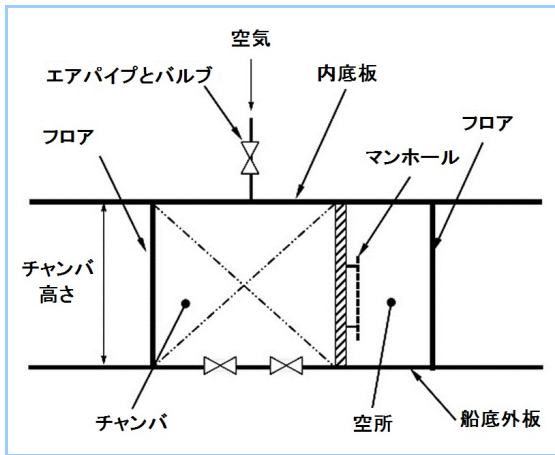


図4 チャンバ構造の一例

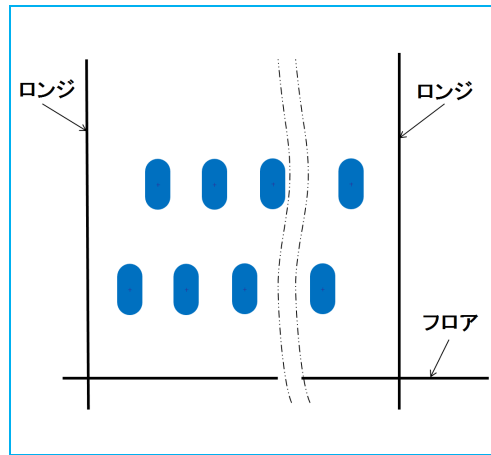


図5 開口部の形状と配置(船底平面図)

(4) 配管系統図

表2にMALS構成機器を示す。ブロワ、制御弁、インバータ、制御盤、操作盤などで構成される。ブロワから送られた空気は、空気配管を通り、船底に設けたチャンバに送り込まれる。MALSの配管概念図を図6に示す。

表2 MALS 構成機器

艙装品/機械装置	詳細
ブロワ(エアークーラ, 電動機含む)	電動機駆動, ターボブロワ
流量制御弁	
外板弁	
クーラ吸水弁	
MGPW <sup>注1)</sup> 注入弁	
ブロワインバータ盤	440V, 周波数変換器
MALS 制御盤	
MALS 操作番(LCD)	15 インチ, タッチパネル型
流量計	

注 1) Marine Growth Preventing Water; MGPW

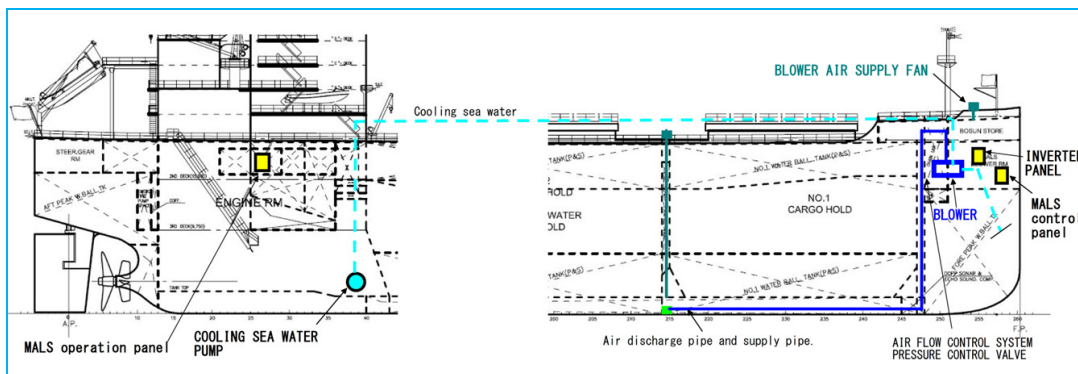


図6 配管系統図の例

(5) MALS 関連制御システム

MTAブロワの起動、停止に関する制御システムならびに、MALS 制御システムの開発を行い標準化した。ここでは、各々の詳細な内容説明については割愛する。

3. 実船を想定した検討例

今後、お客様に MALS の採用を提案してゆくために、その準備として、具体的に実船を想定した設計検討を実施した。船種が異なると積荷や用途の違いから、船内配置は大きく異なっている。また、同一船種であっても、特にフェリーは、お客様ごとに求められる仕様が異なってくるため、姉妹船/同型船を除けば同じものは一つもないと言ってもよい。



新造船への搭載に加えて、既存船に対して MALS をレトロフィットする場合には、MALS ブロワ室等のスペースを確保するために既存設備を改造してスペースを設けることも考えられる。以下に、異なる船種について MALS 搭載を検討した結果の一例を紹介する。現在、ここでの検討を受けて、実商談で自動車運搬船(PCTC)、バルク船、大型客船に MALS を搭載する予定である。

図7に新造フェリーを対象とした配置検討例を示す。貨物スペースを損なうことなく、ブロワの発生音が乗客や乗務員に影響を及ぼさないように配慮した結果、車両甲板下のボイドスペースに MALS ブロワ室を設け、ブロワ、インバータ、エアークーラなど空気供給に必要な機器をまとめて配置した。

図8は、メガコンテナ船の概念設計時に MALS 搭載を検討した例である。コンテナ船の場合には、船首部のボースストア内に MALS ブロワ室を設けることを想定している。

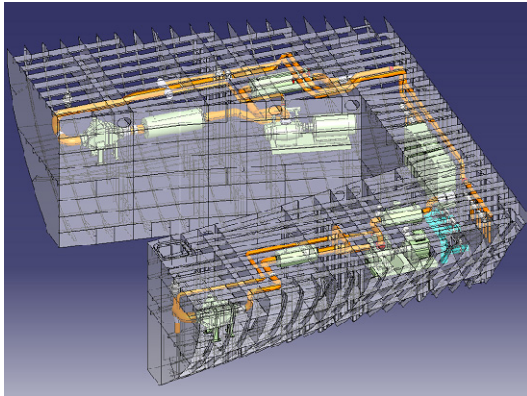


図7 フェリーへの搭載検討例

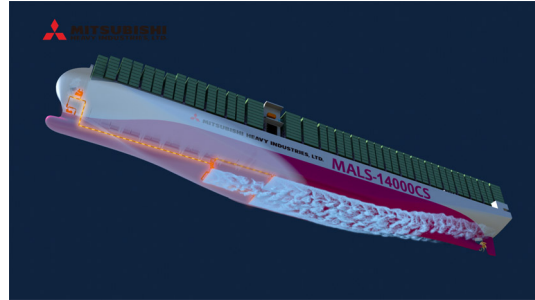


図8 メガコンテナ船への適用検討例

既存船へ MALS をレトロフィットするに当たっては、単なる機器の搭載工事のみでなく工事を容易かつ効率的に実施する為の工事計画及びエンジニアリングも重要となる。空気の吹き出し口の設置場所は、性能の面からある程度が決まってくるが、ブロワや制御盤等の付属機器、及びそれらに伴う配管・配線・ダクトを制限された船内スペースに、工事費用が安く、かつ工期が可能な限り短く収まる様な配置検討を行う必要がある。工期を短縮することはお客様へのメリットも大きいので、工事物量を最小限にするのみではなく、ユニット化を考えることで、工期を最短とすることも必要である。

表3は既存バルク船に対するレトロフィット検討を実施した際の入渠工事計画例である。チャンバなどの追加装備をユニット化し、ブロックごとを入れ替える工法とした。この時、撤去するブロック及び新しいブロックを渠底で移動する為の作業スペースの制約から、ブロック切換工事を 2 回に分けている。このバルク船の場合、入渠して改装工事を行い 16 日後に出渠する日程となった。

表3 MALS レトロフィット工事工程計画例

	D	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 Dock-in and work preparation (marking etc)		■	■															
2 Removal of modification part				■	■	■												
3 Installation of new blocks etc.							#1	■	■	■								
									#2	■	■	■						
4 Inspection and testing													■	■				
5 Painting															■	■	■	
6 Ballasting and dock-out																		■

#1: 中央部ブロック搭載  
#2: 左右舷ブロック搭載

図9は、大型客船に対するレトロフィット検討例である。客船は機器や電装品が多く、艙装品が高密度で配置されており、ブロワなどの機器を設置場所まで搬入することや、空気吹き出しのチャンバなどを追設するスペースの確保が困難である。例えば、既設タンクのレイアウトを変更することも考えられ、限られたスペースに効率よく機器を配置し、少ない工事量に留めることが、工期短縮につながる。なお、レトロフィットの設計コンセプトに関しては、英ロイド船級協会の設計基本承認 (AIP: Approval in Principle) を取得する予定である。

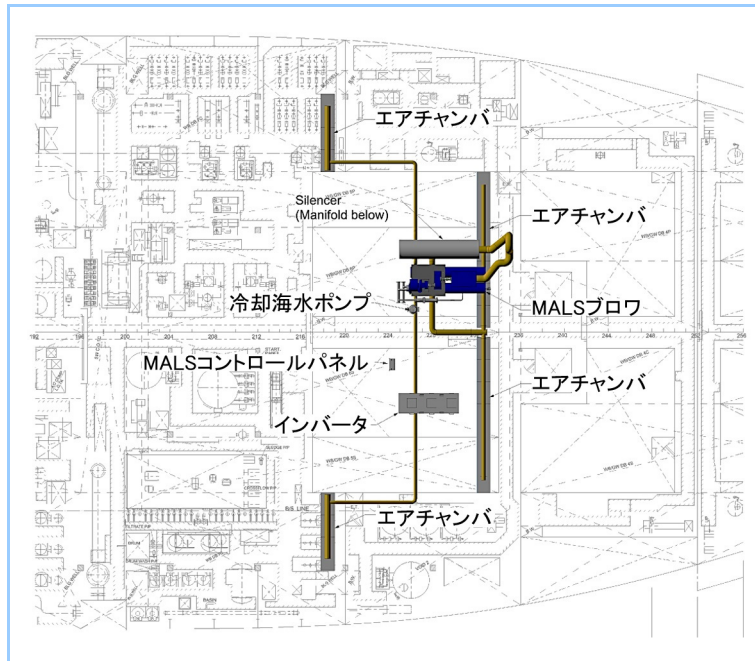


図9 大型客船へのレトロフィット検討例

#### 4. まとめ

省エネ技術の一つとして、三菱空気潤滑システム(MALS)の普及を促進するために、適用船種拡大の検討を実施した。タンカーやバルク船などの一般商船への対応が普及に向けた鍵であり、代表的な船種を対象として、MALSの搭載検討を行った。大型船へのMALS適用に際し、MALS用ブロワとして適した容量の製品が少ないことから、MALS専用ブロワの開発を行った。新造船に加えて既存船へのレトロフィット工事も視野に入れMALSの搭載を具体的に検討した。以上の検討により、推奨標準仕様と設計標準を整備すると共に、当社建造船へのMALS搭載のみならず、他造船所に対するMALSの機器販売を行うエンジニアリング事業の準備が整った。

今後は、以下の課題に取り組み、更なるMALSの普及を目指す。

- ・主に痩せ型船の空気吹き出しの最適化を図り、省エネ効果を向上
- ・空気潤滑による推進抵抗低減量の推定精度向上により、より効率的なMALSパッケージの提供
- ・システムのコスト低減による投資回収の効率向上によるお客様メリットの拡大。

#### 参考文献

- (1) 溝上宗二ほか、空気潤滑法の模型試験による検討及び実船試験による効果確認、三菱重工技報、Vol.47 No.3 (2010) p.70～75