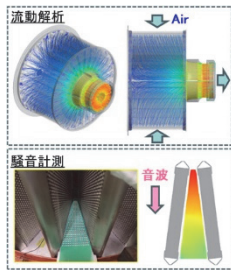


船用過給機の大容量化を支える新型サイレンサの開発： 高性能と低騒音の両立を実現

Development of a New Silencer Supporting Large-Capacity MET Turbocharger:
Achieving Both High Performance and Low Noise



北川 大葵^{*1}
Daiki Kitagawa

平谷 文人^{*2}
Fumito Hiratani

金澤 真吾^{*3}
Shingo Kanazawa

近年、2 ストロークエンジン向けの船用過給機の開発は大容量化がトレンドとなっており、それに伴い過給機からの騒音も増加する傾向にあることから、要求性能を満足しながら低騒音化を実現していくことが必要である。低騒音化を図る手段の一つにサイレンサがあり、船用過給機にも搭載されている。三菱重工業株式会社では、設計要求が厳しくなる中で、高いレベルでバランスの取れたサイレンサ設計を実現可能な姿を目指し、解析及び計測技術を駆使してサイレンサ開発、設計技術開発に取り組んだ。過給機としての運転を含めた各種試験を通じて新型サイレンサの性能を把握すると共に、高性能化・低騒音化などの各種ニーズへ対応したサイレンサ設計が実現可能な見込みであり、本報にて取組み結果について述べる。

1. はじめに

三菱重工業株式会社(以下、当社)製品の低騒音化ニーズに対応するデバイスの一つにサイレンサがあり、これまでも多くの製品で適用されている。当社船用過給機(以下、MET 過給機)もサイレンサが搭載される製品の一つであり、吸気側に搭載されたサイレンサを通じて外部空気が過給機内に吸い込まれる。高性能化や低騒音化ニーズへの対応及び低コスト化、高品質化等の各種ニーズとの両立を実現するには、高度なサイレンサ設計技術の実現が必須であり、製品価値を向上し競争力強化を図るうえで非常に重要である。そこで、当社では上記の各製品ニーズへの対応に向け、サイレンサの特徴をコントロール可能な姿を目指し、MET 過給機向けサイレンサを題材とした技術開発に取り組んだ。本報では、仕様検討、運転試験等を通じて、技術開発を推進してきた MET 過給機向けサイレンサの開発状況について述べる。

2. 船用過給機(MET 過給機)について

船用 2 ストロークエンジンは高い燃焼効率と出力特性を持つため、長距離航行を行うコンテナ船などの大型船舶における主機関として広く採用されている。この種のエンジンは、排気と吸気の工程が同時に行われるため、効率的な掃気が不可欠である。排気ガスタービン式の過給機は、エンジンから排気ガスのエネルギーを利用してタービンを回転させ、同軸上にあるコンプレッサが回転することでサイレンサを通じて外気を取り込み、吸込み空気を加圧する高速回転機器である。これにより、シリンダー内により多くの空気を供給することが可能となり、燃焼効率の向上と出力の増加が実現される。

三菱重工マリンマシナリ株式会社は 1965 年に完全無冷却の MET 過給機を市場に投入して以降、高出力・高効率化などのエンジンメーカからの様々な要求に応じて開発を重ね、2025 年には MET60 周年を迎えた。MET 過給機は船用ディーゼルエンジン向けとしては世界標準の一つとな

*1 三菱重工業株式会社 総合研究所 振動研究部

*2 三菱重工業株式会社 総合研究所 知能化機械研究部 主席研究員

*3 三菱重工マリンマシナリ株式会社 過給機事業部

っている排気ガスタービン式の過給機であり、主として2ストロークエンジン向けには軸流タービン型、小型4ストロークエンジン向けにはラジアルタービン型が適用されている。また、軸流タービン型の最新機種として、MET-MBII シリーズをリリースしている⁽¹⁾。従来機種の MET-MB と比較して16%の大容量化をコンセプトとした過給機であり、同じエンジン出力で比較すると、過給機のフレームサイズは1型式もしくは2型式小型の過給機が適用可能なため、初期コスト、重量、ならびにメンテナンスコスト低減に繋がられる特徴がある。

船用過給機には、耐久性、信頼性、メンテナンス性が強く求められる。海上での長時間運転に耐えるため、高温・高圧環境下でも安定して作動する設計が必要であり、腐食や摩耗に強い材料の選定も重要である。一方、高速回転機器でもある船用過給機は騒音が問題となることもあるため、適切なサイレンサの設計が肝要となる。サイレンサに求められる基本性能は、騒音を広帯域で効果的に減衰する能力である。これに加え、性能への影響を考慮して圧損の最小化が求められる。前述の耐久性などを考慮すると耐熱性や耐腐食性も求められる。特に圧損が大きいと過給機の効率が低下し、エンジン性能にも悪影響を及ぼすため、流体力学的に最適化された内部構造が求められる。

以上のように、船用エンジンに搭載される過給機やその構成部品であるサイレンサは重要な構成要素であり、今後の技術革新によりさらなる高効率・低環境負荷の実現が期待される。

3. 新型サイレンサの開発

MET 過給機向けサイレンサは、過給機の吸気側に搭載される。軸流タービン型では内部に吸音材を充填した吸音エレメントを放射状に配置した円筒形状のサイレンサを採用している。各ラインナップに合わせた仕様になっており、大小さまざまなサイレンサが存在するが、本研究では MET-MBII シリーズの 33 サイズのサイレンサを対象に開発を推進した。

初めに開発コンセプトを整理した。初期目標として、過給機効率及び低騒音化に対する自由な設計を可能にし、且つ低コスト化を実現し得るシンプルな新型サイレンサ仕様とすること、また新型を用いても現行サイレンサ搭載時と同等の性能(効率、騒音レベル)を達成できることを目指した。上記を早期に実現することを狙い、サイレンサ形状は現行型を一部踏襲する形状とし、その他要求される仕様・機能についてもシステムズエンジニアリングの考えを用いて整理することで各種ニーズを両立可能なサイレンサ仕様を立案した。

なお、騒音と性能の両立のためにはメカニズムを理解し高度な設計技術を確立することが必須である。一般に騒音と性能はトレードオフの関係にあり、低騒音化を目指し吸音面積を増やすと圧力損失の増大に繋がり効率低下をもたらす。また圧損低減を狙った流路構造にした場合、騒音が増大するケースも想像される。従って、適切な流路面積を確保しながら、吸音エレメントの枚数、長さを決定し過給機効率と減音効果を最大化することが求められる。そこで、当社所有の解析及び計測を駆使して、サイレンサ内部の挙動や減音メカニズムを明確にするとともに、各種ニーズに合わせた設計を可能とする高度な設計技術の構築も図った。本内容については 5 章で詳述する。

4. 試作試験による特性評価

3 章で述べた新型サイレンサを試作し、各種試験により設計コンセプトの妥当性を検証した。

初めに、サイレンサ単体のスピーカ試験を実施した。試験は当社所有の半無響室にて実施し、サイレンサ内部及びサイレンサ外径部の音圧を測定して、減音性能を評価した。試験で得られたサイレンサの減音量を図 1 に示す。今回立案した新型サイレンサ仕様は現行型と概ね同等の減音性能であることを確認し、狙いどおりの減音性能を有することが確認できた。

次に過給機搭載時の実機運転試験を実施し、騒音評価と併せて過給機性能を評価した。試験は長崎県長崎市飽の浦町の当社工場設備内にて実施した。なお、試験する運転場の騒音試

験環境として、壁面からの反射影響が想定されるため、吸音材を施工した Box 内に騒音計を設置し、反射影響を最小化して試験を実施した。

運転試験で得られた代表 1m 点の騒音 O.A.値の比較結果を図 2 に示す。図 2 中の計測点①はサイレンサ正面、計測点はサイレンサ斜め方向の計測結果である。現行型と比較して、概ね同等の結果が得られ、目標を満足できる見込みが得られた。さらに、図 3 に示すとおり、現行型と新型それぞれのサイレンサを搭載した時の過給機効率も概ね同等な結果が得られ、新型サイレンサのコンセプトの妥当性を確認できた。

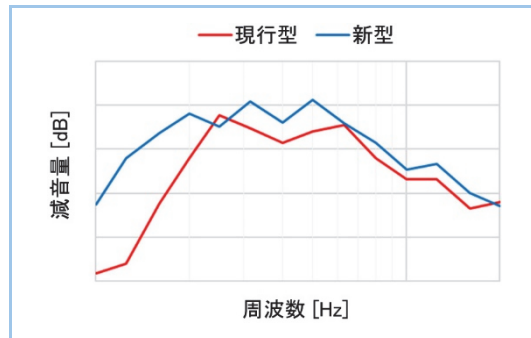


図1 サイレンサ減音性能の比較

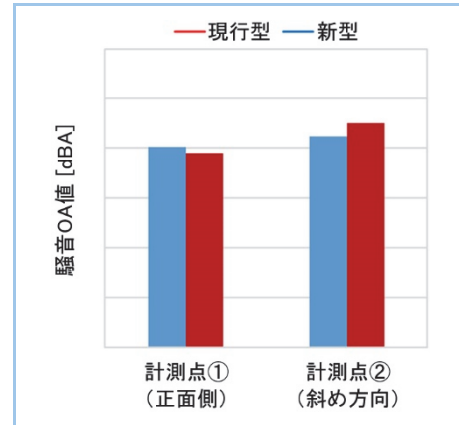


図2 過給機運転時の 1m 点騒音

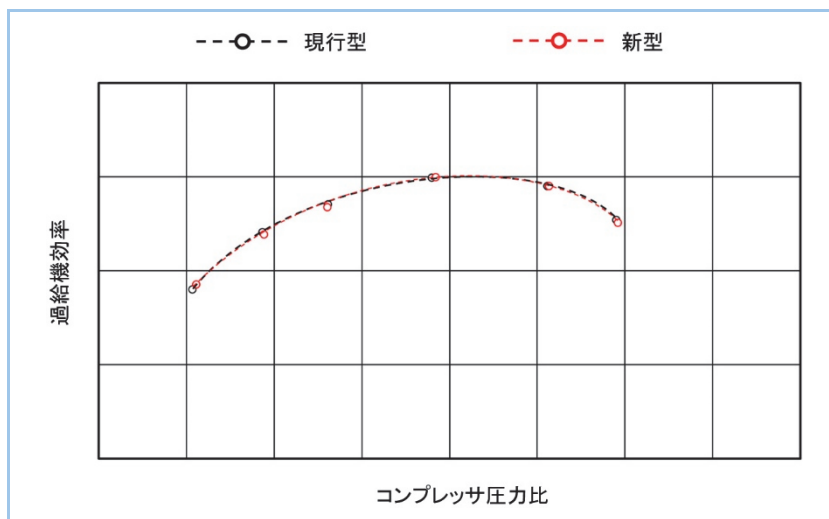


図3 過給機効率

5. 設計技術構築

コンセプトの妥当性が確認できた新型サイレンサに対し、その特徴を活かし、今後の市場ニーズへの対応を鑑みて、騒音及び性能面の設計ツールの開発を行った。

初めに騒音面の設計ツールについて概説する。先述のとおり、軸流タービン型では内部に吸音材を充填した吸音エレメントを放射状に配置した構造をしており、羽根車から発生する騒音がエレメント間を通して、外部に放射される。新型サイレンサでは直線状のエレメントを採用しており、放射配置の場合、音波が通る流路幅が外周側ほど広がる特徴を有する。そこで、最初に減音メカニズム把握のため、超小型マイクロホンである MEMS マイクロホン (2.75mm × 1.85mm × 0.95mm) を電子基板上に複数配置したアレイ (以降、MEMS マイクアレイ) を用いて、内部音場の可視化を実施した。MEMS マイクアレイの外観を図 4 に示す。対象音波の波長を考慮して 400ch 以上の MEMS マイクを密に配置している。図 5 に示すとおり、MEMS マイクアレイを吸音エレメント間の流路に搭載し音圧分布の詳細把握を実施した。計測で得られた代表周波数の入口部に対

する相対音圧分布を図 6 に示す。また、エレメント内径側～外径側に亘って、流路中心線上における代表周波数の音圧変化を描画した結果を図 7 に示す。これらの結果より音波は徐々に減衰する特徴を確認した。また、図 7 において、エレメント外径側付近では相対音圧変化の傾きがやや緩やかになっており、流路幅(断面積)の広がりによって減音特性が変化する影響が現れていると推測できた。本結果を基に、断面積一定条件における減音特性評価式である Doelling の式⁽²⁾をベースに、径方向に数分割し区間ごとに得られる減音量の計算結果を積分することで、径方向位置における特性変化を考慮した減音性能設計ツールを構築した。

次に性能予測ツールについて概説する。本報では、最初に流動解析(Computational Fluid Dynamics, CFD)を実施し、サイレンサ入口から羽根車入口までの内部流動の構造について詳細に分析した。その結果を踏まえて、図 8 のとおり、サイレンサ内部の領域を流動特徴に応じて複数に分割し、各領域の代表的な平均流速を流路の幾何学形状に基づいて定義した。その動圧成分を基準とした全圧損係数を個別に算出し、それらを積算していくことでサイレンサの内部圧損を一次元計算的にモデル化して推定する手法を構築した。また、そこから求められるサイレンサ内部圧損を、所定のコンプレッサ圧力比条件に換算することで効率インパクトを試算可能とした。

以上より、初期目標としていた、現行サイレンサ搭載時と同等性能(効率, 騒音)を達成しつつ、構築した設計技術を用いることで、各種ニーズに合わせた自由な設計を可能とするサイレンサの実現目途を得た。なお、本報の結果は対象とした 33 サイズでは有効であるが、各種ラインナップへの展開や、その際の設計ツールの妥当性等、未検証項目も存在している。今後、未検証項目を継続検討し、サイレンサ及び過給機に対する各種ニーズへの対応を柔軟に実施可能な状態を目指す。

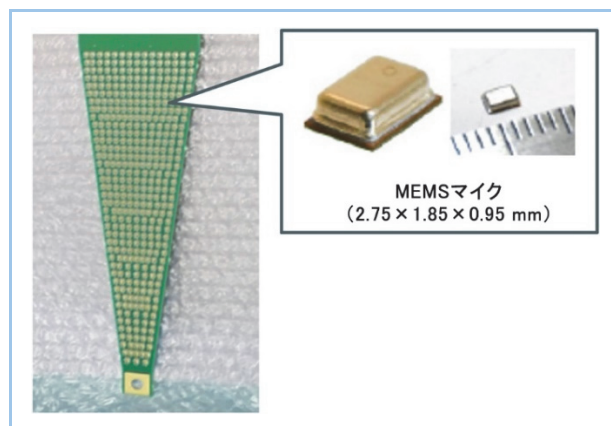


図4 MEMS マイクアレイ

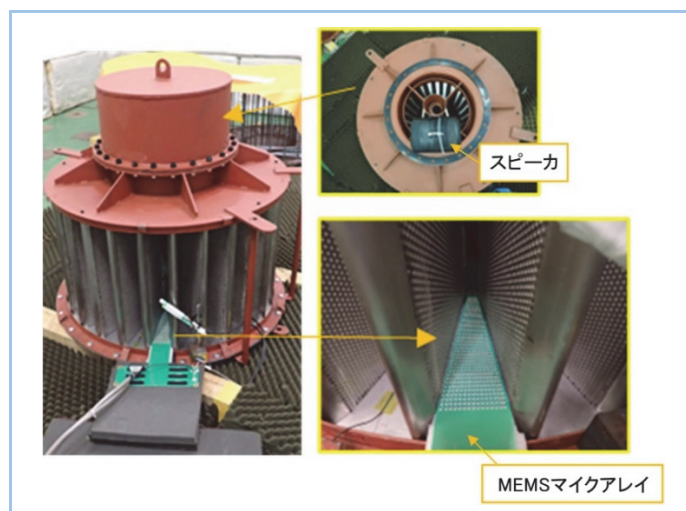


図5 音圧分布計測概要

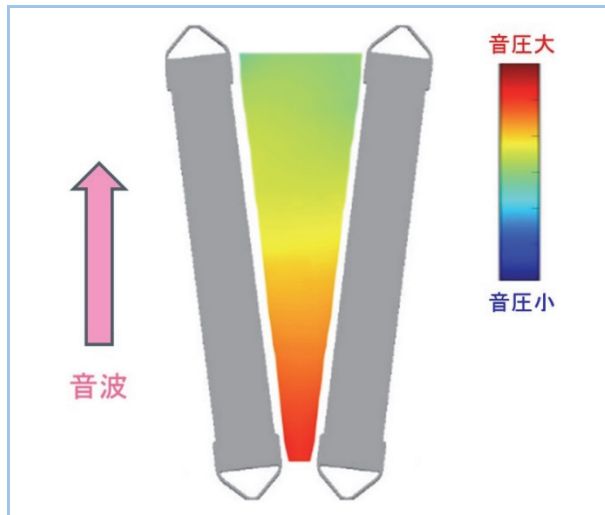


図6 吸音エレメント間の音圧分布の可視化

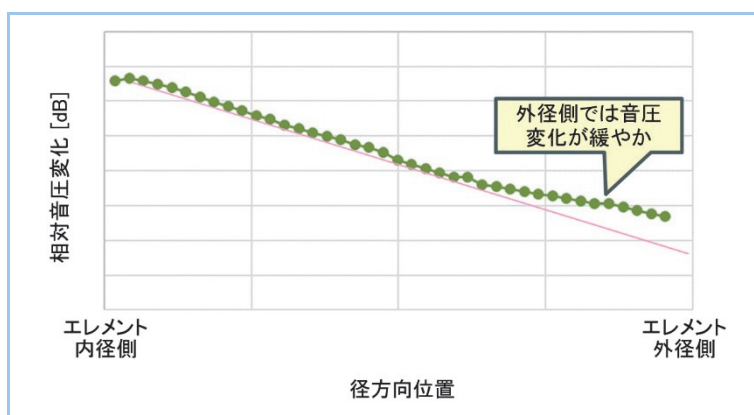


図7 代表周波数における音圧変化

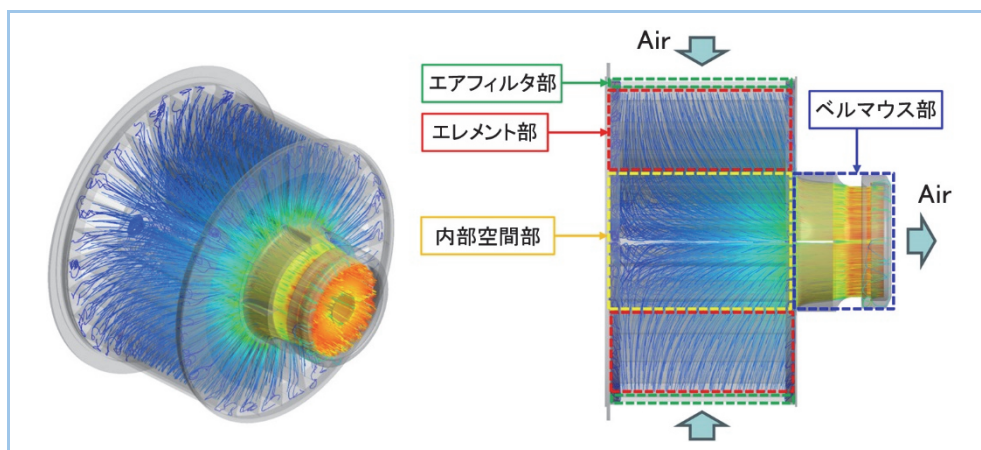


図8 サイレンサ内部流動と領域分け

6. まとめ

近年の船用過給機の高圧力比や大容量化、及び低騒音化との両立、さらに今後の市場拡大による各種製品ニーズに応えるため、MET 過給機向けサイレンサを対象とした技術構築を実施した。その結果、初期目標としていた、現行同等の性能を達成し、設計技術構築により各種ニーズに合わせバランスの取れたサイレンサを実現可能な目途も得られた。本技術の適用により、製品の価値向上に大きく貢献できると考える。一方、本結果は今回対象とした 33 サイズのみであり、他サイズへの仕様展開や構築した設計ツールの妥当性など、未検証な部分も存在している。今後、更なる高性能化や低騒音化などは継続的に追及するとともに、新型サイレンサ設計技術の高

度化及び MET 過給機の製品価値向上も図っていく。また、本報の取組みは MET 過給機に限らず、各種製品への展開が可能である。更なる技術力向上を継続的に推進し、当社グループ全体の更なる製品価値向上に貢献していく。

参考文献

- (1) 三菱重工マリンマシナリ株式会社, 大容量コンパクト軸流過給機 MET-MBII シリーズ, ラジアル過給機 MET-ER シリーズの開発, 三菱重工技報 Vol.56 No.1 (2019)
- (2) Leo L. Beranek 編, Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, (1971), p.383