

# 船用補機の低周波排気音軽減に関する研究

## (第1報：予備的調査結果)

大阪支所装研究グループ \*山根健次、吉田紘二郎、綾 威雄  
環境・エネルギー研究領域海洋汚染防止研究グループ 宮田 修  
(株)大晃産業 猪原祥行、藤木信彦

### 1. まえがき

快適な作業環境、居住環境のニーズは時代のすう勢であり、騒音対策はこれまでも増して幅広い分野で求められている。船舶においても発生源となる数々の機器について設計段階から対策が講じられようになった。しかし、船用発電機エンジン(補機)にあっては停泊中も運転することから、船内に限らず港周辺の住民に空気伝播音による被害を及ぼさない配慮と対策が求められている。特に低周波排気音は伝達範囲が広いことから、発生原因を具体的・科学的に分析し対策を立てる必要がある。本報告では船用非常用発電機モジュールについて、タイプの異なる3種類の通常型消音器を取り付けた場合の排気音と、消音器を付けない直接的な発生音(原音)を超低周波を含む幅広い周波数範囲で計測した結果を分析し、低周波音発生メカニズムとその消音対策を考慮する。

### 2. 実験方法

2001年12月、(株)アイメックス因島工場のエンジンテスト設備の一部を借用して実験を行った。実験に供する機器の全体的な基本構成として、図1に示すように、ディーゼルエンジンと発電機が幅5.4m高さ2.8m奥行2.75mのコンテナ状のモジュールにセットされており、エンジンの排気は側面の上隅に直径0.1mの排気管が0.3m程度突き出した状態で配置されている。実験では消音器を3種類取り替える必要性から基本セットに付加して発電機モジュールの平屋根部分に2本の消音器を予めセットし、排気ガス流路を切り替える方式を採った。また、排気原音を測定する際には消音器を通さず、排気管をモジュールの屋根から上方に1m突き出す形でセットした。

騒音測定用のマイクはいずれもそれぞれの排気管終端を原点に45度の軸上に原点から1m離れた位置にセットした。

エンジン始動後の出力調整は発電機からの電力を海水内に浸けられた電極を自動制御で上下することにより、電極間の抵抗を変化させる熱口方式によって最大定格出力を1/4ステップで1/4~4/4までコントロールした。各出力運転行程は15分間程度とし、その時間内に排気騒音を測定、集録した。

以下に実験に供した消音器等の特徴を述べる。

#### 2.1. 実験に供した発電機セットと消音器

##### 2.1.1. 発電機セット

エンジンと発電機はDEMP社(デンマーク)において共通台板上に設置され、弾性継手により結合されている。エンジンは高速4ストローク、水冷式(ラジエータ)過給器付ディーゼル機関で、バッテリー始動方式を採用しており各種の安全装

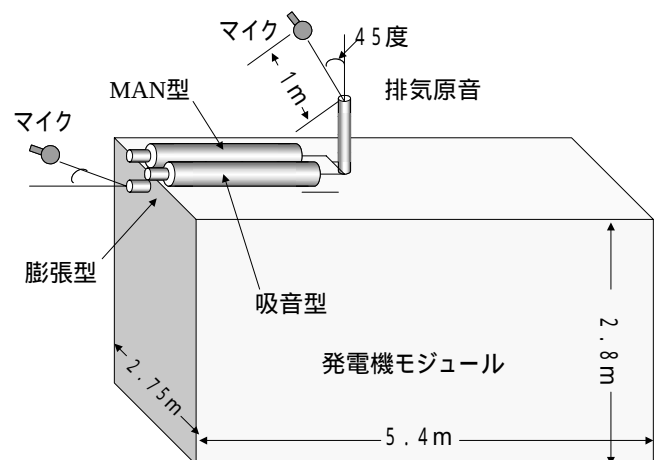


図1 測定配置図

置を備えている。

主な仕様は下記の通りである。発電機セット容量：200kW(250kVA) × 1800min-1、φ 3 × 450V、60Hz、規格：NK（日本海事協会）エンジン形式：MAN（ドイツ）:D2866 TE\*、発電機形式：STAMFORD（英国）:HCM 434 D

2. 1. 2. MAN 型消音器

エンジンメーカー標準支給品で吸音型消音器の入口部にスパークアレスタ（火粉排出防止器）を設けた構造の消音器である。

2. 1. 3. 膨張型消音器

2 個の消音室と特殊内管により構成された空洞膨張形で内部に吸音材を張り付けた標準形消音器。船用ディーゼル機関の排ガス系統に使用される一般的な構造で、広範囲な周波数域での減衰効果が可能な形式とされている。

2. 1. 4. 吸音型消音器

内部に吸音材（ロックウール）を張り付けることにより内部の圧力損失を小さくし、中高周波域の減衰を目的としたコンパクトな消音器で、広範囲な周波数域での大きな減衰効果は期待できないとされている。

表 1 普通精密騒音計による計測結果（出力 1/4～4/4、1 / 1 オクターブ分析 A 特性値）

| タイプ         | 膨張型消音器    |           |           |           | MAN型消音器   |           |           |           | 吸音型消音器    |           |           |           | 排気原音      |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 周波数<br>域Hz  | 出力<br>1/4 | 出力<br>2/4 | 出力<br>3/4 | 出力<br>4/4 | 出力<br>1/4 | 出力<br>2/4 | 出力<br>3/4 | 出力<br>4/4 | 出力<br>1/4 | 出力<br>2/4 | 出力<br>3/4 | 出力<br>4/4 | 出力<br>4/4 |
| 31.5        | 49.3      | 50.8      | 53.9      | 55.1      | 52.8      | 53.0      | 53.3      | 53.5      | 47.9      | 52.8      | 53.4      | 56.1      | 64.8      |
| 63          | 65.2      | 69.9      | 76.0      | 81.7      | 77.1      | 81.9      | 85.3      | 88.5      | 85.0      | 83.4      | 85.0      | 85.7      | 87.5      |
| 125         | 72.8      | 75.9      | 79.8      | 83.5      | 83.2      | 86.2      | 88.2      | 89.8      | 91.6      | 88.3      | 88.4      | 87.4      | 90.9      |
| 250         | 79.9      | 80.3      | 81.0      | 82.0      | 80.4      | 82.0      | 81.9      | 81.1      | 92.9      | 90.3      | 91.3      | 92.7      | 95.3      |
| 500         | 84.8      | 87.1      | 87.5      | 87.3      | 86.3      | 85.8      | 84.8      | 84.7      | 90.9      | 90.8      | 92.8      | 94.5      | 98.6      |
| 1000        | 86.2      | 88.1      | 88.3      | 88.2      | 89.2      | 88.3      | 86.5      | 85.7      | 93.1      | 94.9      | 97.4      | 98.7      | 101.1     |
| 2000        | 84.7      | 86.0      | 87.9      | 91.6      | 84.9      | 84.8      | 83.1      | 83.3      | 90.1      | 92.5      | 96.5      | 98.5      | 102.0     |
| 4000        | 80.0      | 82.1      | 83.4      | 84.2      | 78.0      | 77.8      | 77.2      | 77.0      | 87.1      | 88.6      | 92.3      | 93.3      | 97.4      |
| 8000        | 64.1      | 67.5      | 71.2      | 72.4      | 66.7      | 66.6      | 66.4      | 66.4      | 69.5      | 71.5      | 75.4      | 77.0      | 82.6      |
| A特性<br>O.A. | 90.9      | 92.8      | 93.7      | 95.4      | 93.0      | 93.3      | 93.3      | 94.3      | 99.3      | 99.4      | 102.0     | 103.5     | 106.7     |

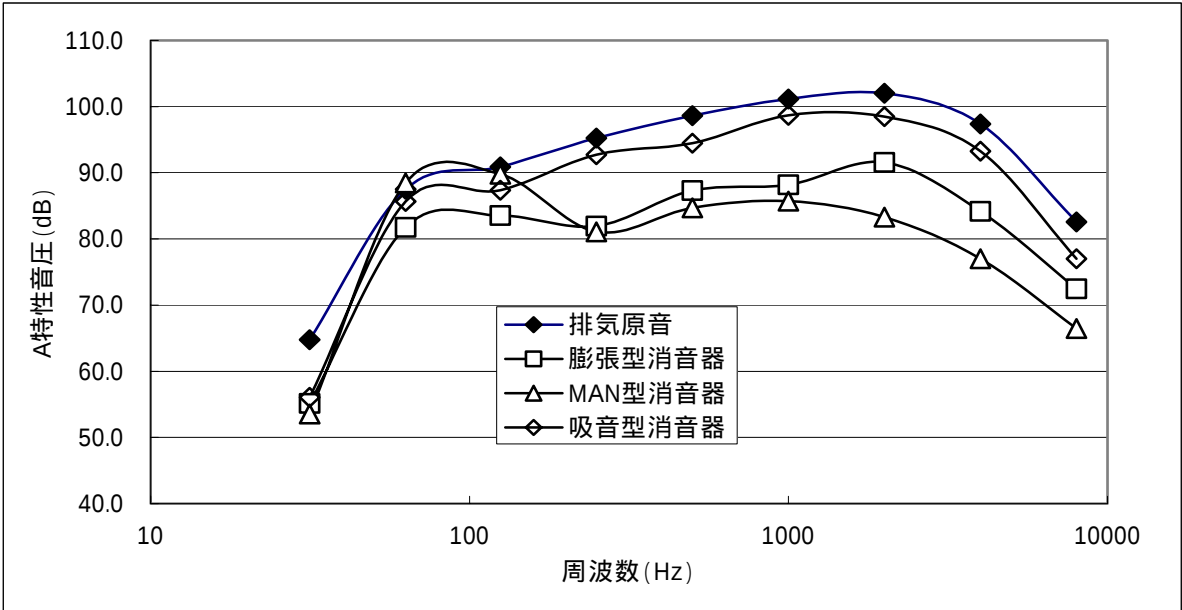


図 2 普通精密騒音計による計測結果（出力 4/4、1 / 1 オクターブ分析 A 特性値）

表 2 低周波騒音計による計測結果（出力 1/4～4/4、1 / 3 オクターブ分析 G 特性値）

| タイプ          | 膨張型消音器    |           |           |           | MAN型消音器   |           |           |           | 吸音型消音器    |           |           |           | 排気原音      |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 周波数<br>域Hz   | 出力<br>1/4 | 出力<br>2/4 | 出力<br>3/4 | 出力<br>4/4 | 出力<br>1/4 | 出力<br>2/4 | 出力<br>3/4 | 出力<br>4/4 | 出力<br>1/4 | 出力<br>2/4 | 出力<br>3/4 | 出力<br>4/4 | 出力<br>4/4 |
| 2.5          | 38.1      | 39.6      | 39.1      | 39.9      | 39.0      | 37.9      | 40.4      | 39.4      | 34.5      | 34.3      | 41.2      | 45.0      | 65.1      |
| 3.15         | 42.3      | 43.4      | 45.0      | 46.2      | 43.8      | 41.6      | 44.2      | 43.0      | 38.0      | 37.9      | 44.5      | 49.2      | 70.1      |
| 4            | 48.1      | 49.8      | 50.6      | 53.2      | 50.9      | 47.3      | 48.3      | 47.7      | 42.5      | 43.6      | 48.4      | 51.3      | 74.0      |
| 5            | 52.2      | 54.7      | 56.6      | 58.3      | 54.0      | 51.0      | 52.3      | 53.2      | 47.7      | 48.3      | 52.6      | 55.6      | 77.0      |
| 6.3          | 57.0      | 58.4      | 61.1      | 63.8      | 58.6      | 55.8      | 56.6      | 57.6      | 52.0      | 53.1      | 56.1      | 58.8      | 81.4      |
| 8            | 62.0      | 63.3      | 66.4      | 68.7      | 63.5      | 60.8      | 61.2      | 62.2      | 56.6      | 58.2      | 60.8      | 63.8      | 84.8      |
| 10           | 68.1      | 68.0      | 70.7      | 73.2      | 68.3      | 65.5      | 65.8      | 66.8      | 61.4      | 63.9      | 65.7      | 67.9      | 86.7      |
| 12.5         | 75.0      | 74.5      | 76.6      | 78.8      | 74.3      | 72.7      | 73.1      | 73.7      | 68.5      | 72.7      | 75.0      | 76.1      | 91.4      |
| 16           | 84.9      | 86.4      | 87.5      | 87.8      | 84.8      | 85.8      | 86.4      | 85.6      | 81.3      | 88.3      | 89.9      | 89.1      | 93.9      |
| 20           | 80.1      | 81.0      | 82.6      | 84.6      | 81.5      | 81.1      | 80.8      | 83.0      | 77.5      | 80.1      | 80.8      | 82.5      | 93.3      |
| 25           | 77.0      | 77.5      | 79.0      | 81.6      | 78.4      | 77.2      | 77.8      | 87.4      | 81.4      | 78.2      | 77.7      | 79.6      | 86.2      |
| 31.5         | 72.9      | 71.6      | 75.0      | 78.6      | 83.1      | 77.9      | 74.8      | 76.0      | 70.2      | 70.9      | 75.8      | 78.0      | 82.6      |
| 40           | 67.0      | 68.8      | 69.5      | 70.9      | 70.5      | 70.4      | 70.8      | 71.5      | 65.9      | 70.3      | 71.2      | 73.8      | 84.5      |
| 50           | 64.3      | 65.2      | 64.8      | 64.8      | 66.7      | 66.9      | 66.1      | 65.5      | 60.5      | 66.7      | 66.8      | 67.7      | 77.4      |
| 63           | 49.1      | 51.0      | 52.5      | 54.1      | 52.0      | 53.9      | 54.4      | 55.5      | 50.2      | 53.4      | 56.3      | 57.0      | 63.4      |
| 80           | 36.0      | 40.3      | 46.4      | 52.7      | 49.7      | 52.4      | 56.3      | 59.7      | 54.1      | 55.0      | 56.5      | 57.9      | 61.0      |
| G特性<br>O.A.値 | 87.2      | 88.3      | 89.7      | 90.9      | 88.9      | 88.2      | 88.4      | 90.8      | 85.5      | 89.5      | 91.0      | 90.9      | 99.0      |

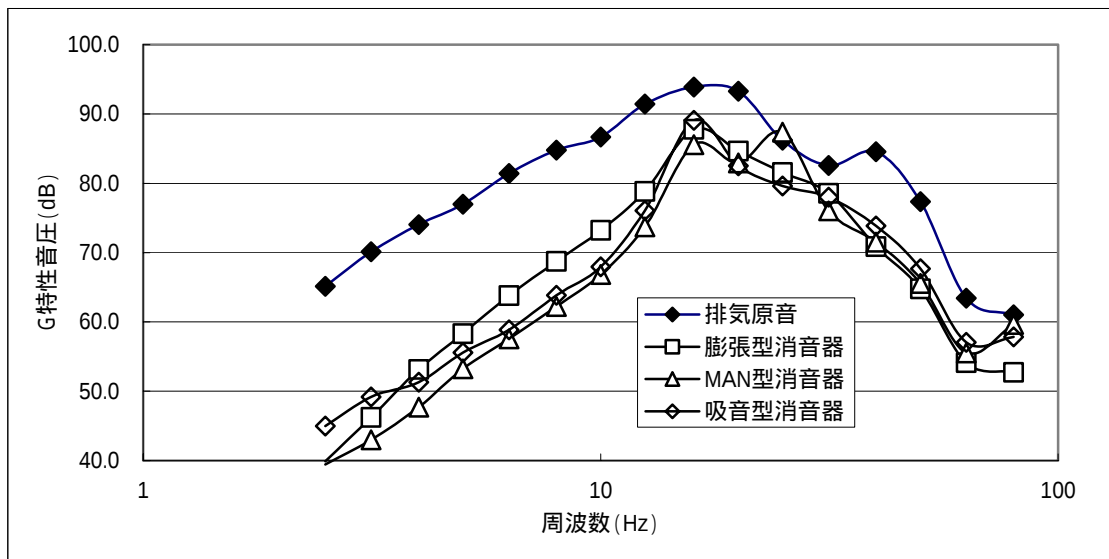


図 3 低周波騒音計による計測結果（出力 4/4、1 / 3 オクターブ分析 G 特性値）

## 2. 2. 計測装置およびデータ解析

使用した計測装置の型式を以下に示す。

低周波レベル計：リオン NA-17

インパルス精密騒音計：リオン NA-61

データレコーダ：KYOWA TP-600B

シグナルアナライザー：リオン SA-74

計測方法は、低周波レベル計およびインパルス精密騒音計（普通騒音計）の集音（マイク）部分を 10m の延長コードで切り離し、所定の場所からの騒音をピックアップし、各騒音計の外部出力端

子からのアナログデータをデータレコーダに集録することにより行った。

普通騒音計のデータ解析はレベル計では平坦特性で収録したデータをシグナルアナライザー上でA特性（人間の可聴域聴感度、すなわち、うるさいと感じる感じ方を周波数毎に重み付けした特性値）で評価し、1/1 オクターブ分析した。

低周波騒音計のデータ解析では低周波レベル計の上では周波数毎の重み付けをしない平坦特性（フラット特性）で収録し、シグナルアナライザーにおいてもフラットで1/3 オクターブ分析し、パソコンの表計算ソフトを使ってG特性評価計算を行った。<sup>1,2)</sup>

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 普通精密騒音計による計測結果

表1にエンジン出力を1/4～4/4に変化させた場合の音圧を、1/1 オクターブ分析A特性値で示す。表中O.Aとは、オーバーオール値であり、各周波数域音圧レベルの積和である。エンジン出力に対する音圧レベルをO.Aと比較すると1/4～4/4に変化する間に各消音器とも5デシベル以内の変化となっている。

図2にはエンジン出力4/4即ち定格最大出力時の音圧を1/1 オクターブ分析A特性値のグラフとして示す。DEMP型および膨張型では吸音型に比べて良好な消音効果が得られている。

#### 3.2 低周波騒音計による計測結果

表2にエンジン出力を1/4～4/4に変化させた場合の音圧を、1/3 オクターブ分析G特性値で示す。

結果の比較に当たり、低周波音測定の注意点として風による影響が顕著であること、特に50Hz以下の低音では3m/sec程度の風によって数デシベル、2Hzの周波数では更に30デシベル上昇するなど、低音になるほど風の影響が強くなること<sup>3)</sup>を考慮する必要がある。

そこで、本計測の場合、発電機セットが置かれている岸壁では常に3m/sec程度の風が吹いており、特に、排気原音の測定ではモジュールの屋根から更に2m上にセットしたことから、消音器通過後の測定値（モジュール側面でやや風の影になる）よりも風の影響が大きくでているものと考え

られる。

限られた計測条件の結果ではあるが、これらの測定結果から言えることは、80Hz以下の低音では各消音器間に音圧減衰効果にほとんど差がないこと、G特性O.A値において90デシベル程度であること、エンジン出力の増加による上昇は3～5デシベル程度にとどまること等である。

図3にはエンジン出力4/4の音圧を1/3 オクターブ分析G特性値のグラフとして示す。20Hz以下の周波数で排気原音が消音器通過後に比べて10～20デシベル高く計測されているが、これは上述の風の影響が表れたものと考えられ、各消音器との音圧レベル差が、即、消音効果とは断定できない結果となっている。

また、排気原音において、風の影響を受けて実際よりも大きな計測値となっている可能性があるものの、10Hz以下の非可聴域である超低周波音域の音圧レベルは85デシベル程度以下とそれほど大きな値とは言えない。

### 4. まとめ

出力200Kwと比較的小型の船用非常用発電機モジュールを使って消音原理の異なる三種類のサイレンサー通過後の排気音とエンジン原音を計測し、低周波音の聴感特性とも呼ばれるG特性によって重み付けされた1/3 オクターブ分析音圧レベルデータを得たが、低周波においては各消音器の種類間には有意な差が認められなかった。

現在、低周波音の人体への被害評価基準が明確に確立されていないことから<sup>4)</sup>、更なるデータ蓄積によって船舶停泊時等の低周波騒音基準策定のバックデータを提供すると共に、有効な低周波騒音対策の方向性を見極めていきたい。

### 参考文献

- 1)中野有朋/著、超低音（聞えない音）基礎・測定・評価・低減対策、技術書院、1994.6.
- 2)環境庁大気保全局、低周波音の測定方法に関するマニュアル、平成12年10月.
- 3)落合博明、低周波音の測定方法、騒音制御Vol.23, No.5(1999) pp.306-310.
- 4)瀬林伝、低周波音の測定 - G特性音圧レベルの測定方法とその実態 - 2002 リオン環境セミナー（大阪）.