

プラント施設の騒音対策に用いる消音器の音響性能確認方法に関する検討

A Study on the Performance Confirmation Method of Silencers Used for Noise Countermeasures in Plant Facilities

鹿倉潤二*

Junji Shikakura

ごみ焼却施設などプラント施設の騒音対策に用いる消音器は、建物の形状や発生音などの条件により、施設ごとに個別に設計しているため、標準仕様の消音器にならない場合が多い。そのため、施工段階で実製品を用いた性能検査や性能確認が行われる場合がある。さらに、大型の消音器は、ダクト接続ではなく壁面に直接設置する場合もあるため、ダクト系を用いた性能確認試験を行う場合には、接続用単管を製作するなど特別な準備が必要である。

このような背景から、ダクト系を用いずに測定できる方法である、JIS A 1441-1「音響－音響インテンシティ法による建築物および建築部材の空気音遮断性能の測定方法－第1部：実験室における測定」を利用することによって、消音器の減音性能確認試験に用いる試験装置を簡略化できるか検討した。

結果、従来から行われているダクト系を用いた挿入損失による結果と本報で提案したインテンシティ法による結果はほぼ同様の傾向を示しており、試験装置の簡略化が可能であることを実験的に確認した。また、これらの研究成果を活用することで、サイレンサの開発コスト低減や開発スピード向上に繋がれると考えている。

Silencers used for noise mitigation in plant facilities, such as waste incineration plants, are often individually designed for each facility based on factors such as the shape of the building and the characteristics of the generated noise, resulting in a deviation from standard specifications in most cases. Consequently, performance tests and verifications using actual products may be conducted during the construction phase. Additionally, for large silencers, there are instances where they are directly installed on the wall instead of being connected through ducts. In such cases, special treatments, like manufacturing connecting pipes, are required when conducting performance verification tests using duct systems.

Considering this, we examined the possibility of simplifying the test equipment used for verifying the noise reduction performance of mufflers by utilizing JIS A 1441-1 "Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity – Part 1: Laboratory measurements," which offers a measurement method that does not rely on duct systems.

As a result, it was experimentally confirmed that the results obtained from using the conventional duct-based insertion loss method and the intensity method proposed in this report showed similar trends, indicating the potential for simplifying test equipment. Furthermore, we believe that leveraging these research findings can contribute to reducing development costs and improving the development speed of silencers.

1 はじめに

ごみ焼却施設などプラント施設を計画する際、設計の初期段階で騒音予測計算を行い、施工段階では設計目標値を満足できる対策工事を確実に実施する必要がある。特に都市部に建設されるプラント施設では住宅地に近いところに建設される場合があることから、近隣への騒音対策が特に重要視されている。

一方、プラント施設の騒音対策に用いる消音器は、建物の形状や発生音などの条件により、施設ごとに個別に設計している。そのため、標準仕様の消音器にならない場合が多いことから、施工段階で実製品を用いた性能検査や性能確認が行われる場合がある。さらに、大型の消音器は、ダクト接続ではなく壁面に直接設置する場合も

あるため、ダクト系を用いた性能確認試験を行う場合には、接続用単管を製作するなど特別な準備が必要になる。

このような背景から、ダクト系を用いずに測定できる方法である、JIS A 1441-1「音響－音響インテンシティ法による建築物及び建築部材の空気音遮断性能の測定方法－第1部：実験室における測定」を利用することによって、消音器の減音性能確認試験に用いる試験装置を簡略化できるか検討した。

なお本報の内容は、試験装置を簡略化することによってサイレンサへの音響入射条件が変化し、その影響で減音性能が変わる可能性があることから、試験装置を変化させた場合の減音性能への影響と、適用範囲を確認するために実施した小口径サイレンサの試験結果を示した既報^{1),2)}の内容を加筆訂正したものである。

2 試験体および減音性能確認方法

2.1 試験体

試験体を図1～図3および表1に示す。図1の試験体は、試験装置を変化させた場合の影響を確認するために用いた試験体であり、ダクトサイズ 900 W × 600 H、長さ 2100 mm のスプリッタ型サイレンサとし、端部にアンクルフランジを有したダクト接続可能な形状とした。また、吸音体（ハッチング部分）には、グラスウールを充填し、ダクト内面側を多孔板で押さえており、開口率は 56 % である。

図2および表1に示す試験体は、適用範囲を確認するために用いた試験体であり、接続サイズ□240および□480の小口径のダクトサイレンサで、長さは 900 mm および 2100 mm とし、開口率はいずれも 50 % である。また、図3に示す試験体は、ユニット型サイレンサの性能を1ユニットで確認できるか検討するための試験体であり、□480 × 900 L で開口率 50 % のスプリッタ型サイレンサを縦横2台連結させた□960のユニット型サイレンサである。なお、一般的にスプリッタ型サイレンサの減音性能は、同一形状のスプリッタが並列に配置された場合、1ユニットの性能と同等になることが確認されている。

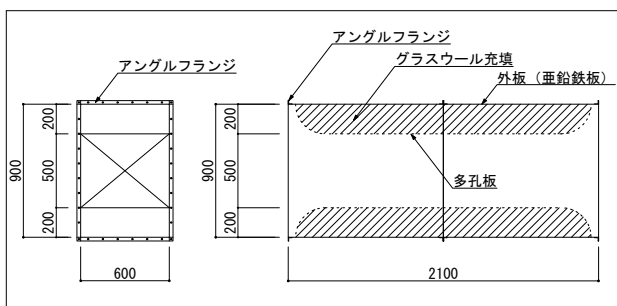


図1 試験体（試験装置確認用サイレンサ）

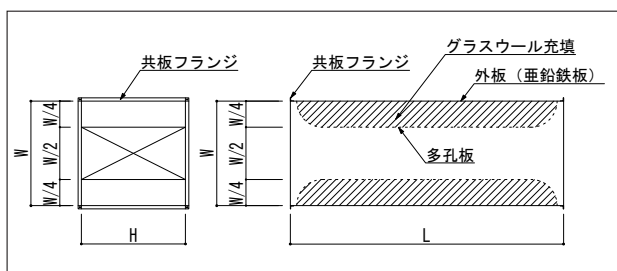


図2 試験体（小口径サイレンサ）

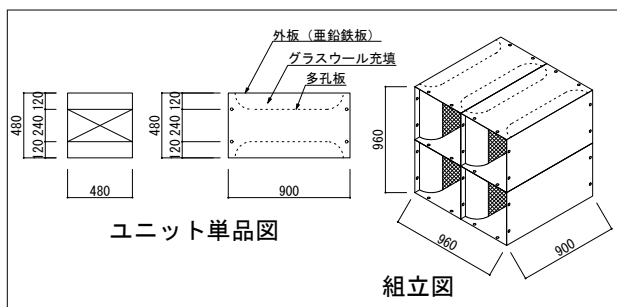


図3 試験体（小口径サイレンサ）

2.2 ダクト系を用いた減音性能確認方法

サイレンサの減音性能試験は、ISO 7235³⁾ や板本ら⁴⁾ により提案された方法を参考にダクト系を用いた挿入損失試験で実施される場合が多い。本報の挿入損失測定で用いたダクト系を図4に示す。

挿入損失は、図4中のスピーカより試験用ノイズ（ピンクノイズ）を発生させ、試験体設置の有無における残響室内平均音圧レベルを測定し、式1より算出した。

$$IL = L_{p1} - L_{p2} \dots (\text{式1})$$

ここで

IL : 挿入損失 [dB]

L_{p1} : ダクト系 A（試験体を設置していないとき）の残響室内平均音圧レベル [dB]

L_{p2} : ダクト系 B（ダクト系中間に試験体を設置したとき）の残響室内平均音圧レベル [dB]

表1 試験体一覧（小口径サイレンサ）

記号	W [mm]	H [mm]	L [mm]
□240 × 900L	240	240	900
□240 × 2100L	240	240	2100
□480 × 900L	480	480	900
□480 × 2100L	480	480	2100

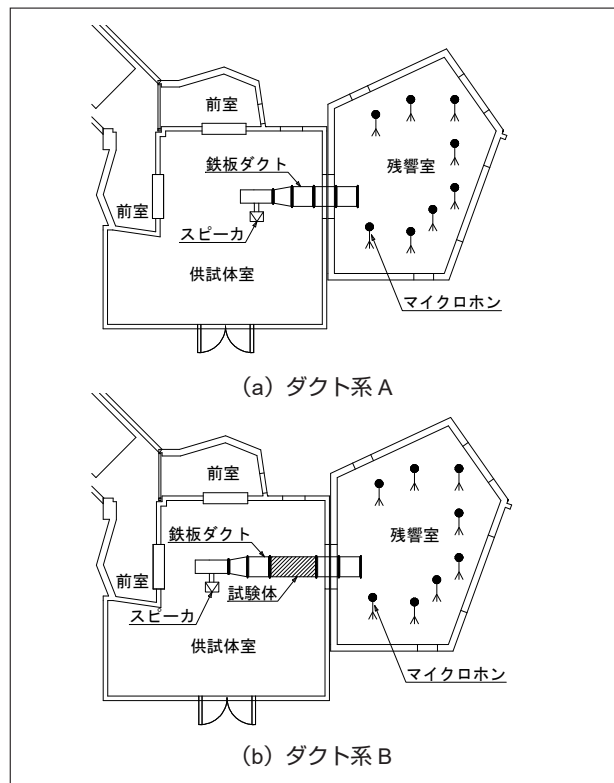


図4 試験装置（挿入損失測定）

2.3 インテンシティ法による減音性能確認方法の提案

本報で提案する試験装置を簡略化した試験方法は、ダクト系を用いずに測定できる方法として、前述の JIS A 1441-1 を利用することとした。試験装置を図 5 に示す。

インテンシティ音響透過損失の算出に用いる測定値は、試験体を設置した状態で残響室内のスピーカからピンクノイズを発生させたときの残響室内平均音圧レベルと、受音側の試験体開口面からの放射音を対象としたノーマル音響インテンシティレベルとした。

なお、ノーマル音響インテンシティレベルの測定は、試験体開口面（測定距離 0 mm）のみを対象とした場合と、図 6 に示す試験体開口面の正面（測定距離 300 mm）および試験体の開口面を囲む箱状の測定面（上下左右 4 面）を対象とした場合の 2 種類とし、それぞれの測定面で 20 秒間のスキャンングを実施した。また、それぞれの測定面におけるスキャンングは、横方向と縦方向の 2 方向（図 7 の例を参照）で実施した。

インテンシティ音響透過損失（以下、透過損失と表記）は、横方向と縦方向の測定値を算術平均し、試験体開口面の開口端反射減衰⁵⁾を考慮して式 2 より算出した。

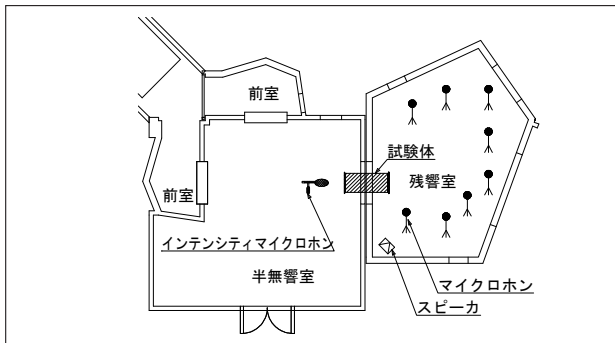


図5 試験装置（透過損失測定）

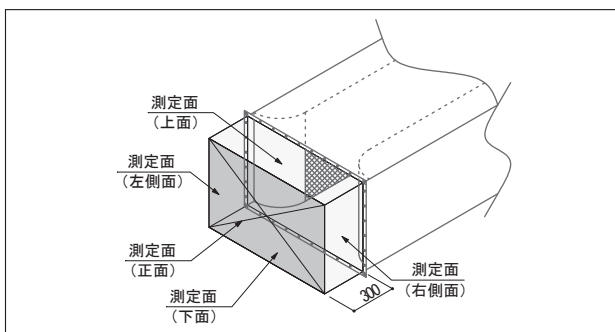


図6 測定面

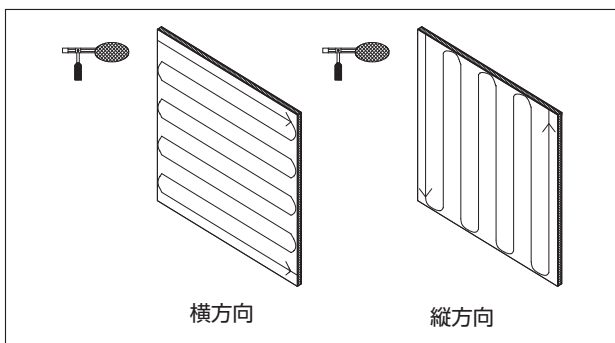


図7 マイクロホン移動方向

$$R_I = L_{pl} - 6 - \left[\bar{L}I_n + 10 \log \left(\frac{S_M}{S} \right) \right] - \Delta L \cdots (\text{式}2)$$

ここで、

R_I : インテンシティ音響透過損失 [dB]

L_{pl} : 音源室における室内平均音圧レベル [dB]

$\bar{L}I_n$: 受音室内の測定面上のノーマル音響インテンシティレベル平均値 [dB]

S_M : 測定面の総面積 [m^2]

S : 試験体の音源室側開口面積 [m^2]

ΔL : 開口端反射減衰量 [dB]（開口端が突出している場合は式 3、開口端が壁面位置の場合は式 4 を使用）⁵⁾

$$\Delta L = 10 \log \left[1 + \left(\frac{C_0}{\pi \cdot f \cdot D} \right)^2 \right] \cdots (\text{式}3)$$

$$\Delta L = 10 \log \left[1 + \left(\frac{0.7 \cdot C_0}{\pi \cdot f \cdot D} \right)^2 \right] \cdots (\text{式}4)$$

ここで、

C_0 : 音速 [m/s]

f : 周波数 [Hz]

D : 有効直径 [m] ($D = \sqrt{4 \cdot A / \pi}$ による)

A : 試験体の受音室側開口面積 [m^2]

3 測定結果および考察

3.1 測定面変化による影響

図 1 の試験体で実施した、試験体開口面（測定距離 0 mm）のみの測定値から算出した透過損失と、試験体開口面の正面（測定距離 300 mm）および図 6 に示す試験体の開口面を囲む箱状の測定面（上下左右 4 面）の測定値から算出した透過損失の比較を図 8 に示す。ここでは一例として受音室側開口面を壁面位置で測定した結果の比較を示す（図 9 の①-3）。

結果を見ると、両者の透過損失に殆ど差はなく、ダクト系で測定した挿入損失と同様の傾向を示した。

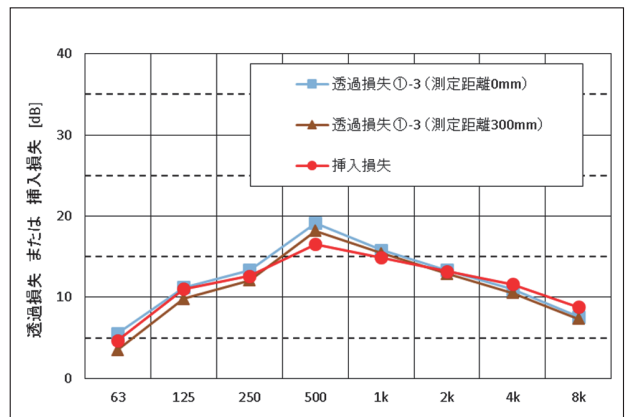


図8 測定結果比較（測定面）

3.2 試験体設置位置による影響

ここでは、試験体設置位置を変えて測定した場合の透過損失の変化を確認するため、半無響室側に突出する寸法を変えて測定を行った。試験体は図1のものとし、試験パターンを図9に、測定結果の比較を図10に示す。

試験体設置位置の違いによる有意な差は確認できず、いずれの設置位置もダクト系を用いて測定した挿入損失と同様の傾向を示した。

3.3 試験用ダクト追加による影響

ダクト系を用いた場合のサイレンサへの入射・放射状況に近づくため、試験体の上下流側にダクトを追加して透過損失の測定を行った。試験体を図1に示す。試験パターンを図11に、測定結果の比較を図12に示す。

ダクトを追加することによって、125 Hz 帯域が全体的に小さくなる傾向を示したが、挿入損失と同様の傾向を示した。また、図9の①-3の透過損失と比較しても、同様の傾向を示していることから、測定装置の簡略化という面から考えると、ダクトの接続は不要であると言える。

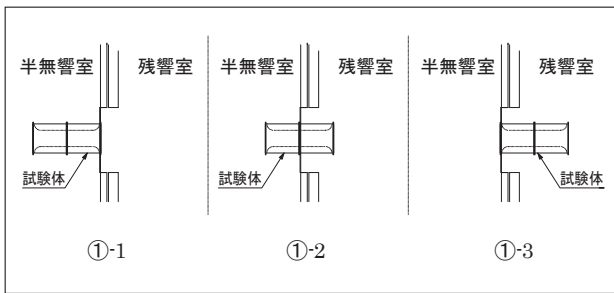


図9 試験パターン（試験体設置位置）

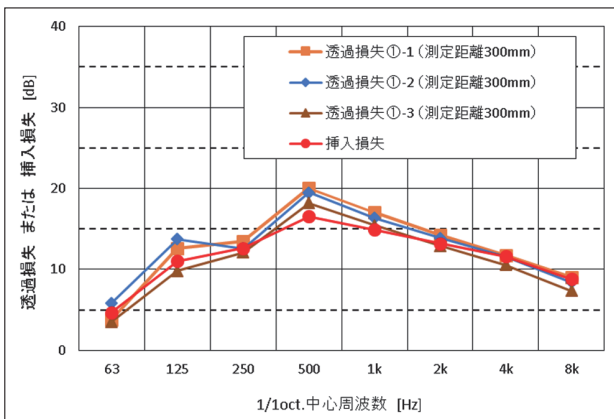


図10 測定結果比較（試験体設置位置）

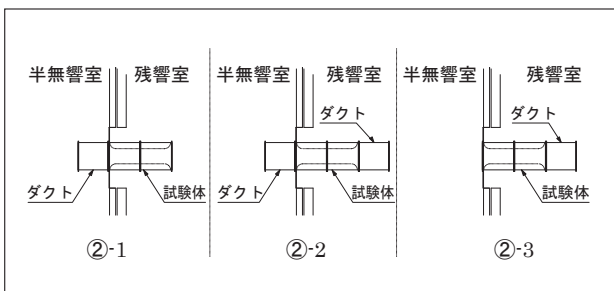


図11 試験パターン（ダクト追加）

3.4 小口径サイレンサの挿入損失と透過損失の比較

図2の小口径ダクトサイレンサで実施した測定結果を図13～16に示す。なおここからの検討では、3.3節までの検討で測定面やダクト追加の影響が殆どないことが確認できていることから、測定距離 300 mm、追加ダクト無しで実施した。ただし、残響室内に突出した部分の影響を確認するため、試験体設置位置は変化させて測定した。（図9に示す3パターンで実施）

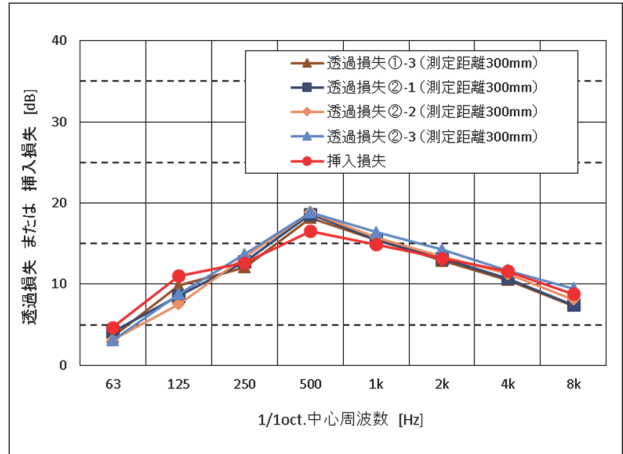


図12 測定結果比較（ダクト追加）

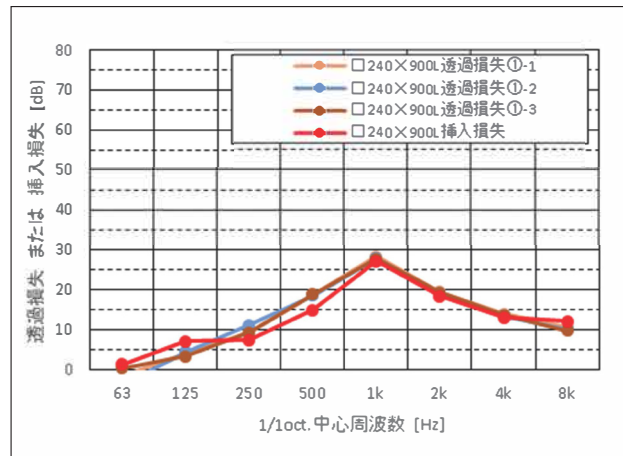


図13 測定結果比較（□240×900 L）

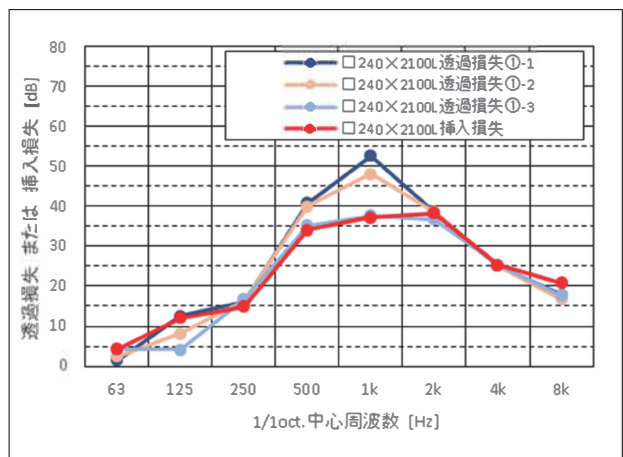


図14 測定結果比較（□240×2100 L）

結果、□ 240 × 900 L、□ 480 × 900 L および □ 480 × 2100 L では、残響室内に突出する長さの違いによる差はみられず、挿入損失ともほぼ同様の傾向を示した。しかし図 14 に示す □ 240 × 2100 L では、残響室内に突出する長さが長くなることで、500 および 1 kHz 帯域の透過損失が小さくなる傾向を示した。

そこで □ 240 × 2100 L のサイレンサにおいて、図 9 の①-3 の場合（残響室内への突出が 2000 mm の場合）を対象に、残響室内に突出した部分の側壁からの透過音や、残響室と半無響室との間の界壁からの固体伝搬音の影響を検討することとした。透過損失測定結果の比較を図 17 に示す。

図 17 に示す結果を見ると、残響室に突出した部分のサイレンサ側壁からの透過音対策としてサイレンサ側壁に鉛シート 1 mm を貼り付けて測定を行うことで、1 kHz 帯域の透過損失が 5 dB 程度増加する傾向を示した。そこで、鉛シートの貼り付けに加えて界壁からの固体伝搬音対策として、界壁とサイレンサを 20 mm 程度離して設置（隙間は粘土で塞ぐ）して測定を行った。結果、透過損失の増加は 1 kHz 帯域に加えて、500 Hz 帯域も増加する傾向を示した。

ここで、サイレンサ開口面からの入射音以外の影響で測定限界が決まると考え、残響室内のサイレンサ開口面に鋼板厚 2.3 mm の遮音シートを貼り付けた場合の測定を行った。透過損失測定結果の比較を図 18 に示す。

図 18 に示す結果を見ると、125、250、2 k ~ 8 kHz 帯域の透過損失は増加したが、63、500、1 kHz は殆ど変化しなかった。そのため、これらの周波数帯域では測定限界に達していたと考え、さらに開口面を塞いだ状態で残響室側への突出を減らす（図 9 の①-3 の場合は残響室内への突出が 950 mm となる）場合の測定も行った。結果、8 kHz 帯域以外の周波数帯域で透過損失は 5 ~ 10 dB 増加する傾向を示した。このように、残響室内に突出する長さを変化させることで、サイレンサ開口面からの入射音以外の影響も変化することが確認できた。

以上の結果より、残響室内に突出するサイレンサの長さやその部分の遮音性能、さらに界壁からの固体伝搬音が透過損失の測定限界に影響する要因になると考えられる。また、図 14 の挿入損失に関しては、ダクト系側壁からの透過音や、ダクト系や界壁からの固体伝搬音の影響で測定限界に達していた可能性があると考えられる。

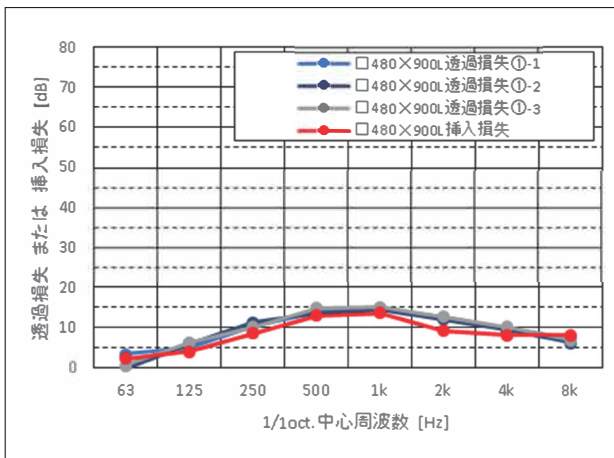


図 15 測定結果比較 (□480×900 L)

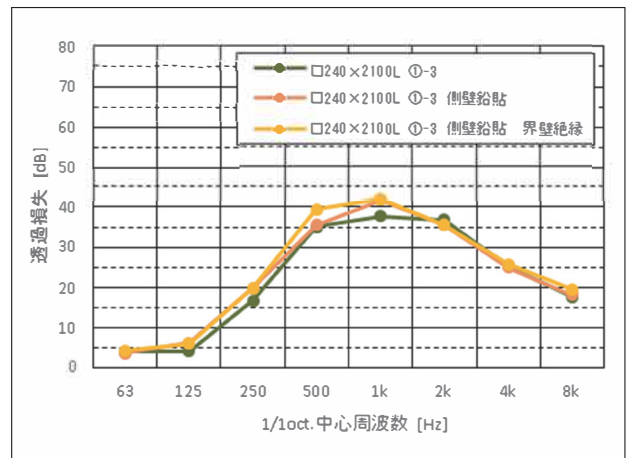


図 17 測定結果比較 (対策効果)

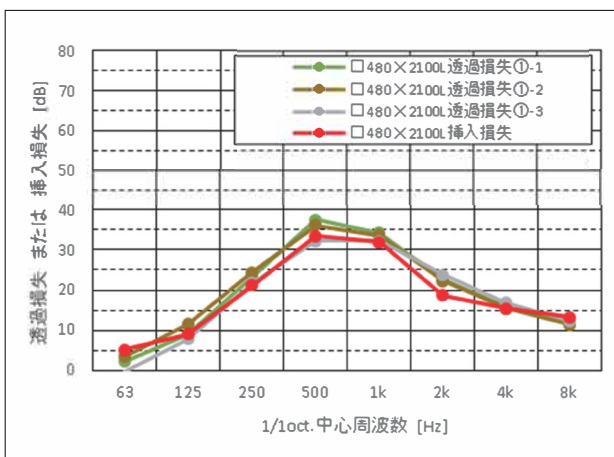


図 16 測定結果比較 (□480×2100 L)

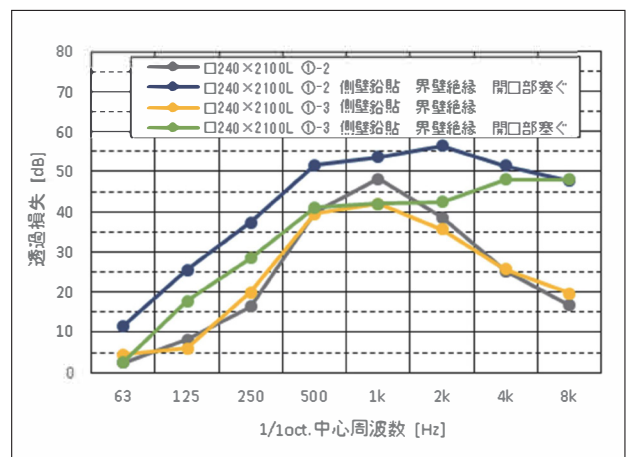


図 18 測定結果比較 (対策効果)

3.5 ユニット型サイレンサの透過損失算出方法検討

□480×900 Lのサイレンサを縦横2台連結させて□960として用いた場合の透過損失を測定し、□480×900 Lとの比較を行った。ここで、透過損失に換算するとき用いた開口端反射減衰は、ユニット型サイレンサの場合は□960で算出し、ダクトサイレンサの場合は□480で算出した値とした。

それぞれの透過損失と□480×900 Lの挿入損失との比較を図19に示す。いずれの結果もほぼ同様の傾向を示していることから、ユニット型サイレンサに関しては1ユニットで透過損失を測定しても同等の結果が得られることを確認した。また、ユニット型サイレンサの開口端反射減衰は、連結後の開口サイズで算出できることが実験的に確認できた。

4 まとめ

挿入損失測定結果とインテンシティ法音響透過損失測定結果の比較を行い、以下の知見を得た。

- 1) 性能確認試験に掛かるコスト低減のため、ダクトを用いずに行う試験方法として、インテンシティ音響透過損失を用いた減音性能確認方法の検討を行い、利用可能であることを実験的に確認した。
- 2) インテンシティ音響透過損失は、JIS A 1441-2⁶⁾により測定する場合、本報で示したように音響入射条件の変化が減音性能に影響しなければ、特別な試験室を使わずに測定することができるため、製作工場での性能検査や実現場での測定にも応用できると考えられる。
- 3) 小口径で長いサイレンサなど減音性能が高い場合には、サイレンサ側壁からの透過音や試験室界壁からの固体伝搬音の影響で、透過損失が実性能よりも小さく測定される場合があるため、残響室内に突出する部分を減らす等の対策が必要である。
- 4) ユニット型のような大型のサイレンサは、1ユニットで行った透過損失で減音性能を確認できることを実験的に確認した。

今後、測定限界の確認方法や透過損失測定に影響する要因を軽減させる方法を検討し、信頼性の高い測定が簡単に実施できる試験方法を確立していきたい。

また、これらの研究成果を活用することで、サイレンサの開発コスト低減や開発スピード向上に繋がれると考えている。

参考文献：

- 1) 鹿倉潤二、井上勝夫：ごみ焼却施設の騒音対策に用いる消音器の性能確認方法に関する検討，日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，pp.193-196，2022.11
- 2) 鹿倉潤二、井上勝夫：プラント施設の騒音対策に用いる消音器の音響性能確認方法に関する検討，日本建築学会学術講演梗概集，40147 pp.315-316，2023.9
- 3) ISO 7235：Acoustics — Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units — Insertion loss, flow noise and total pressure loss
- 4) 板本守正、塩川博義、奥住滋：消音器の音響減衰測定方法について，日本建築学会計画系論文集，第481号，pp.7-12，1996.3
- 5) 2015 ASHRAE Handbook - HVAC Applications
- 6) JIS A 1441-2：音響－音響インテンシティ法による建築物及び建築部材の空気音遮断性能の測定方法－第2部：現場における測定

執筆者：

鹿倉潤二

1999年入社

騒音対策関係の研究・開発に従事

一級建築士

環境計量士（騒音・振動関係）

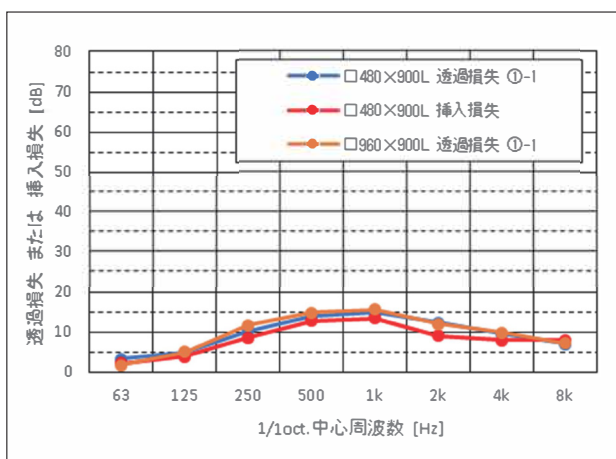


図19 測定結果比較（ユニット型）