

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2024-06-01

スモールファン騒音測定規格ISO10302シリーズの技術的改善

KAWAHARA, Hideto / 河原, 一仁

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

60

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

8

(発行年 / Year)

2019-03-31

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00021966>

スモールファン騒音測定規格 ISO10302 シリーズの技術的改善

TECHNICAL IMPROVEMENT OF STANDARD FOR NOISE MEASUREMENT METHOD OF SMALL FAN,
ISO10302 SERIES

河原一仁

Hideto KAWAHARA

指導教員 御法川学

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

The measurement method of sound power level of the airborne noise emitted by small fans is defined by ISO 10302-1. In the standard, a plenum which acoustically transparent covering made of very thin plastic film to sustain the static pressure is used to measure sound power level of fan defined as “air moving device” on loaded condition. In the current standard, some problems are arising, one is the existence of a fan with a static pressure exceeding 750 Pa due to the limit of plenum strength, the other is the effect of wind noise from a slider at the plenum outlet. In addition, the sound power level is measured by 10 microphones on the hemisphere field, which the measurement cost is tends to be high. In order to solve these problems, a reinforced plenum for high pressure applications was fabricated, an attempt to reduce flow noise from outlet was performed and a new single microphone traverser to measure the sound power level was designed.

Key Words : ISO10302-1, Fan noise, Plenum, Sound power level, Insertion loss, Flow noise, Traverser

1. 諸言

1.1 研究背景

コンピュータや事務機器などの電子機器の冷却を主目的として広く使用されているファンは、近年ますます静音化が求められている。ファンによって放出される空気伝搬騒音の音響パワーレベルの測定方法は ISO10302-1:2011 によって定義されている。ISO10302-1 では測定対象ファンの 20%, 80%, 100%の流量で音響パワーレベルを測定することが定められており、プレナムと呼ばれる装置にファンを取り付けて測定する。このプレナムは音響的に透明なフィルムで壁面が構成され、流量調整のためのスライダが設置されている。

ISO10302-1 で騒音測定に用いられている音響パワーレベルの測定方法は、ISO3744:2010 や JIS Z 8732:2000 に定められている。同 JIS 規格によれば、半無響室での音響パワーレベル測定には、最低 10 点での音圧レベルの測定が必要であり、単一のマイクロホンの一つの位置から次へと順次移動するか、多数の固定マイクロホンを使って、その出力を順次、又は同時にサンプリングする。

近年、情報機器用スモールファンの高静圧化、大風量化に伴って、下記のような技術的な問題が生じている。

1) ISO10302-1 に定義されている測定用プレナムでは、最

大ファン静圧が 750 Pa に制限されている。市場においてはこれを遙かに上回る最大静圧のファンが存在し、今後も高性能化を考えると 750Pa では不十分である。

2) プレナムのスライダーすなわち排気口付近ではファン騒音以外の風切り音が生じ、近傍の測定点のマイクロホンに悪影響を与えている。

3) 音響パワーレベル測定に関して定点設置のマイクロホンを使う場合、計測用マイクロホンが 10 個必要であり、コストがかかる。一方単一マイクロホンを測定点に対して手でトラバースする場合、測定に手間と時間がかかる。

1.2 研究目的

本研究では、上記の課題を解決するための三つの実験を行い、規格改正の提案を目指すものとする。

一つ目の実験は 1/2 サイズプレナムを開口率の異なるパンチングメタルで補強することで、音響透過性を確保しつつ 750Pa 以上の高静圧ファンへの対応を試みる（耐圧強化プレナム）。二つ目の実験はプレナム出口の風切り音の原因は出口流速が速いことが原因に予想されるので、流量調節部に厚みの異なるエアフィルターを取り付けて開口率を変化させることにより、風切り音への対策を行う（スライダー風切り音低減）。三つ目はマイクロ

ホンのデルタ型 3 次元トラバーサを製作し、コストと手間の両面を解決できる音響パワーレベル測定を提案する (デルタ型マイクロホントラバーサ)。

2. 耐圧強化プレナム

プレナムは音響的に透明なフィルムでシーリングされており、これによって負荷が加えられる。最大ファン静圧はこのフィルムの耐圧強度に依存しており、規格では 750Pa に制限されている。本実験では現行のプレナムのフィルムの上から音響的に透過損失の少ない金属多孔板で補強することにより、高静圧アプリケーションへの対応を図った。

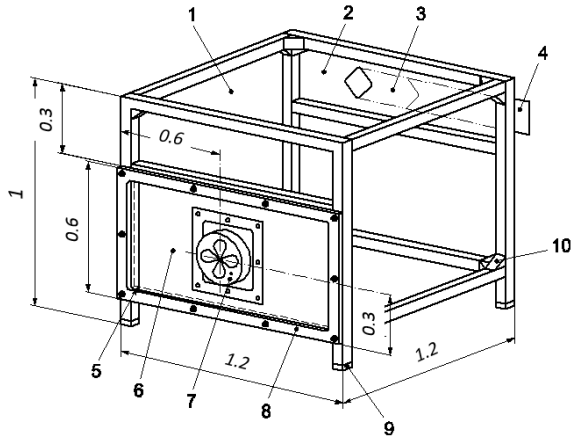
2.1 実験装置及び方法

2.1.1 プレナムについて

試験に用いるプレナムの仕様は ISO10302-1 の 11 章に詳しく示されている。Fig. 1 に ISO10302-1:2011 に規定されているフルサイズ (縦 1.0m × 幅 1.2m × 奥行き 1.2m) のプレナムを示す。

規格では、プレナムを 1/4 サイズまで小さくすることが認められており、本実験では、入手性や扱いやすさの観点から 1/2 サイズを用いた。全サイズで最大ファン静圧は 750Pa に定められており、最大風量はプレナムのサイズによって異なるように定められている。

Fig. 2, Table. 1 に本実験で用いたプレナムの仕様を示す。



- 1: polyester film 2: adjustable exit port assembly
- 3: slider opening 4: slider 5: piezometer pressure ring behind panel 6: mounting panel assembly 7: fan
- 8: retainer 9: vibration isolation 10: gusset

Fig. 1 Construction and dimension of full size plenum (unit: m)

Table 1 Plenum specification

Film material and thickness	PET, 50 μ m
Frame material	Aluminum
Frame Sectional area size	20×20mm

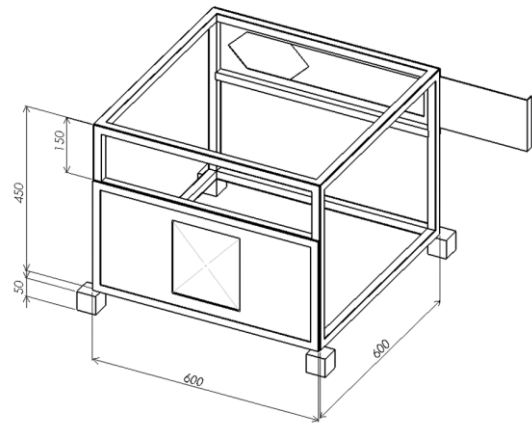


Fig. 2 Half size plenum (unit : mm)

2.1.2 強化板 (パンチングメタル) の仕様

耐圧のための強化板には A1 製のパンチングメタルを用いた。強化板の音響透過損失は材料自体の透過損失と開口率に關係する。開口率は Fig. 3 の Triangle area と Hole area の重なっている部分を Triangle area で割ることによって求まる。Table 2 に仕様を示す。

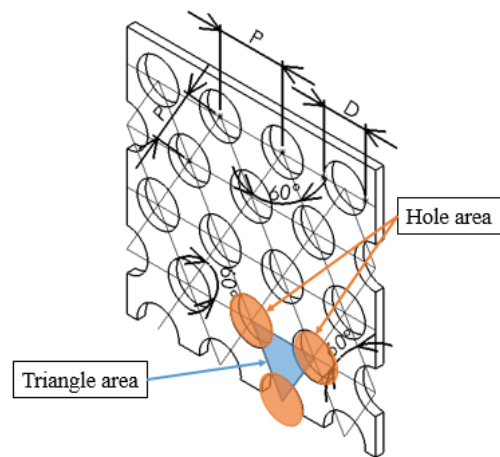


Fig. 3 Dimension of perforated metal plate

Table 2 Specifications of perforated metal plate

Plate type	Plate 1	Plate 2	Plate 3	Plate 4
Aperture ratio AR [%]	32.6	40.2		50.9
Pitch P [mm]	5	9	15	20
Diameter D [mm]	3	6	10	15
Thickness [mm]	2			
Material	Aluminum			

2.1.3 スピーカーによる挿入損失試験

プレナムの挿入損失試験の方法は ISO10302-1 の chapter 5.5 ” Insertion loss of test plenum” に詳しく示されており、実際のファンではなくスピーカーを用いて行い、規格上の許容挿入損失は、各オクターブバンドレベルで (0 ± 3) dB 以内と定められている。ここで、挿入損失とは以下の式から求まるものである。

$$\Delta L = L_{W,out} - L_{W,in} \quad (1)$$

ΔL : 挿入損失 [dB]

$L_{W,out}$: プレナムが無い状態の音響パワーレベル [dB]

$L_{W,in}$: プレナムを挿入した状態の音響パワーレベル [dB]

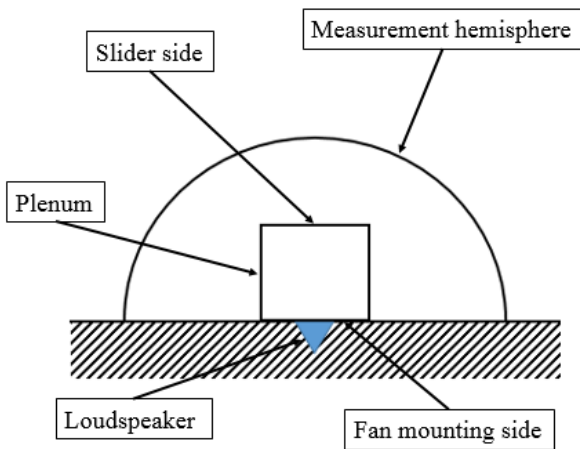


Fig. 4 Schematic view of acoustic measurement ($L_{W,in}$)

本実験では Fig. 4 のように床にラウドスピーカーを埋め込み、プレナムのファン取り付け部にスピーカーが来るようにプレナムを設置した。測定点は ISO10302-1 に定められており、Table 3 に測定点を、Fig. 5 に実際の半無響室内でのマイクロホン配置を示す。

Table 3 Microphone position on hemispherical measurement surface

Microphone position No.	x/r	y/r	z/r
1	-0,16	0,96	0,22
2	-0,78	0,60	0,20
3	-0,78	-0,55	0,31
4	-0,16	-0,90	0,41
5	0,83	-0,32	0,45
6	0,83	0,40	0,38
7	0,26	0,65	0,71
8	-0,74	0,07	0,67
9	0,26	-0,50	0,83
10	-0,10	0,10	0,99

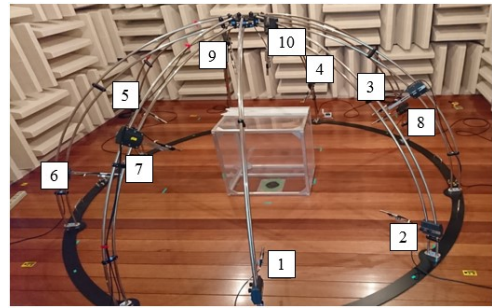


Fig. 5 Actual test arrangement of microphones in a hemi-anechoic room.

2.1.4 ファンによる挿入損失試験

実ファンでの挿入損失試験では FAN A, FAN B, 2つの高静圧ファンを用いた。Fig. 6 に PQ カーブを示す。PQ カーブには動作状態の類推カーブと、動作点を示した。FAN A は 80 度の軸流ファン (SANYO DENKI, 型番: 9HVA0812P1G0011), FAN B は 40 度の二重反転ファン (SANYO DENKI, 型番: 9CRH0412P5J001) を用いた。

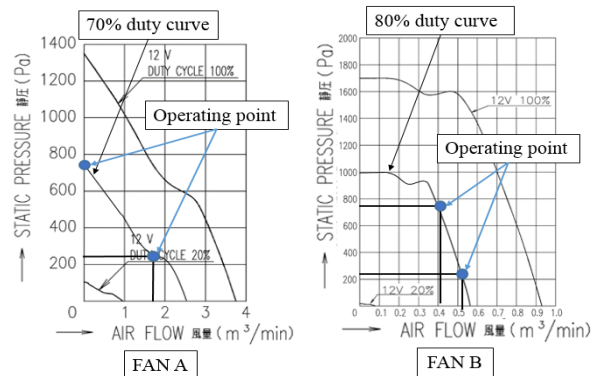


Fig. 6 PQ curve of test fan

本実験では、Fig. 6 に示した供試ファン 2 種類を用いて、実際にプレナムに高静圧をかけて音響パワーレベルを測定し、挿入損失を確認した。FAN A の動作点はデューティー比 70% で静圧が 750 Pa, 250 Pa, FAN B の動作点はデューティー比 80% で静圧 750 Pa, 250 Pa, である。プレナム開口部のスライダの開口率を変えることによって静圧を制御した。以下の Fig. 7 にマイクロホン、プレナムの実際の配置を示す。

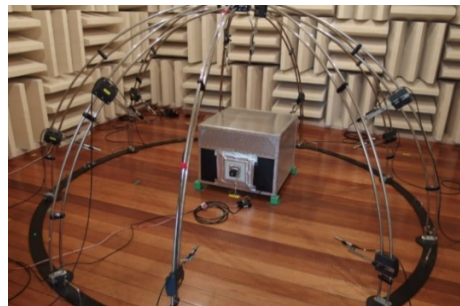


Fig. 7 Test arrangement of sound power level measurement in a hemi-anechoic room

2.2 実験結果及び考察

2.2.1 プレナムの挿入損失試験結果

初めに、プレナムの要素が挿入損失にどれだけ影響を与えているのか確認した。ホワイトノイズと現行のプレナムからフィルムを取り外したものを比較することによりゴム板の挿入損失を確認し、その後、ホワイトノイズと現行のプレナムからゴム板を取り外したものを比較し、フィルムの挿入損失を確認した。A 特性 1/3 オクターブバンドで比較した結果を Fig.8 に示す。図のエラーバーは規格上の挿入損失の許容範囲 (0 ± 3) dB を示してある。

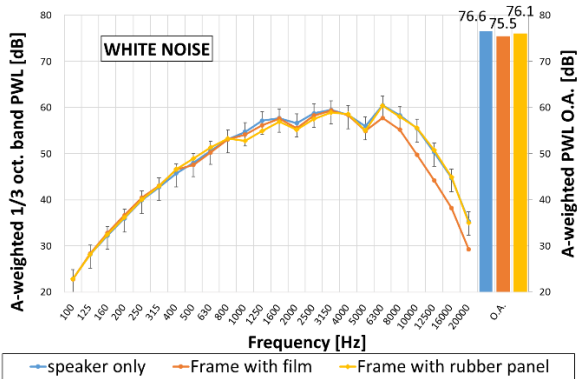


Fig. 8 1/3 Oct. band sound power spectra comparing plenum with rubber panel, without rubber panel and without film

Fig.8 より、1000~2500Hz ではゴム板の挿入損失、6300Hz 以上はフィルムの挿入損失が大きく、フィルムの影響で規格を満たしていない。フィルムの挿入損失に関しては、今回の実験では規格上、最も厚い 50 μm を用いたため、より薄いフィルムを用いることによって、解決できる可能性がある。

次に、パンチングメタル(Plate1~4)で補強したプレナムと補強していない現行のプレナムで挿入損失を比較したものを Fig.9 に示す。

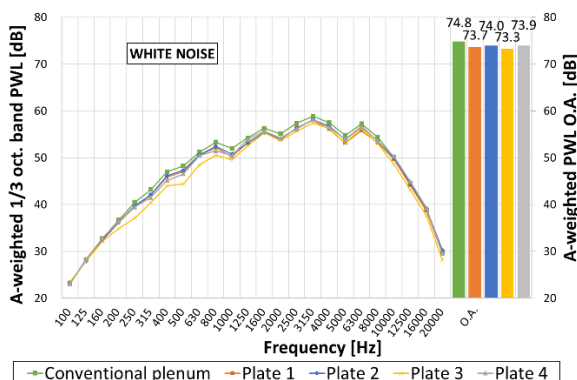


Fig. 9 1/3 Oct. band sound power spectra comparing plenum with and without plates

Fig.9 より、周波数毎の挿入損失は Plate3 を除いて 3dB 以内に収まっている。このことより、フィルムの選定を適切に行えば規格の要求は満たすと考えられる。

2.2.2 実ファンでの挿入損失測定結果

A 特性 1/3 オクターブバンドで挿入損失を比較した結果を示す。FAN A の回転数は $11,700 \pm 150 \text{ min}^{-1}$ 、FAN B のインレット側の回転数は $23,750 \pm 250 \text{ min}^{-1}$ であった。以下の図に結果を示す。

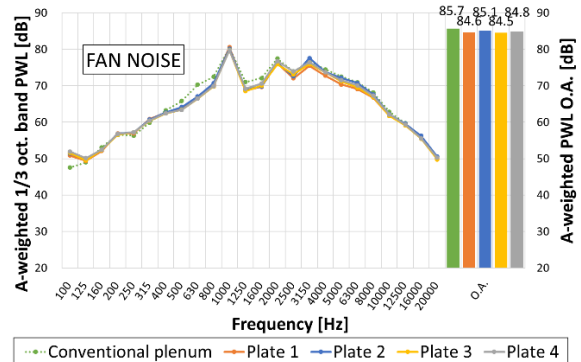


Fig. 10 1/3 Oct. band sound power spectra comparing plenum with and without plates at static pressure 750Pa of FAN A

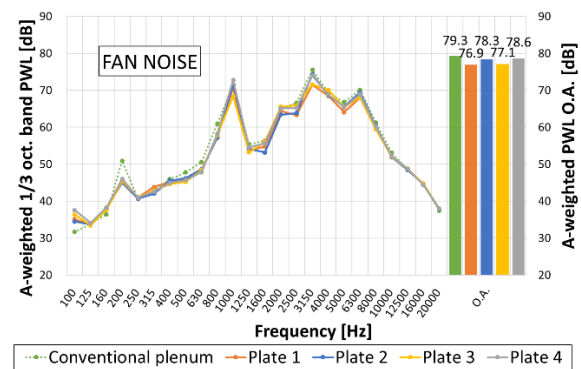


Fig. 11 1/3 Oct. band sound power spectra comparing plenum with and without plates at static pressure 250Pa of FAN A

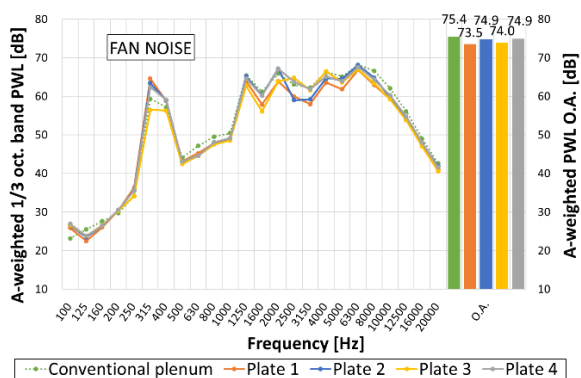


Fig. 12 1/3 Oct. band sound power spectra comparing plenum with and without plates at static pressure 750Pa of FAN B

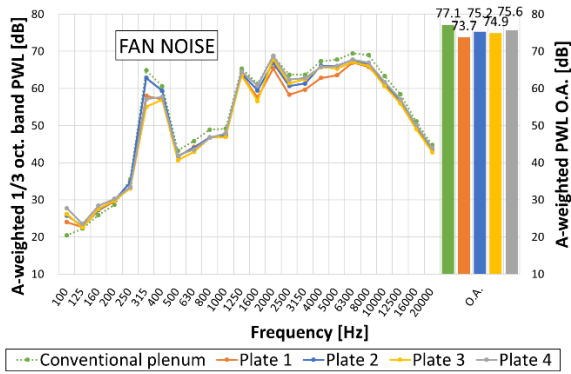


Fig. 13 1/3 Oct. band sound power spectra comparing plenum with and without plates at static pressure 250Pa of FAN B

FAN A, FAN B 双方の結果に関して、補強をしていないプレナムと比較して補強したプレナムでは多少の差はあったものの、ISO10302-1 に定められている許容挿入損失範囲は満たしていると考えられる。補強したプレナムは規格を満たし、パンチングメタルは開口率の大きいものがより良いと考えられる。

3. スライダーの風切り音低減

流量調節スライダーから生じる空力騒音はファンの騒音測定に悪影響を与えるため、

- ① フィルター（スポンジ）による圧力損失を与えて負荷を与える方法
 - ② スライダーエッジ部にスポンジを付与してはく離騒音を抑制する方法
- の2つについて実験を行った。

3.1 実験装置及び方法

3.1.1 試験エアフィルター

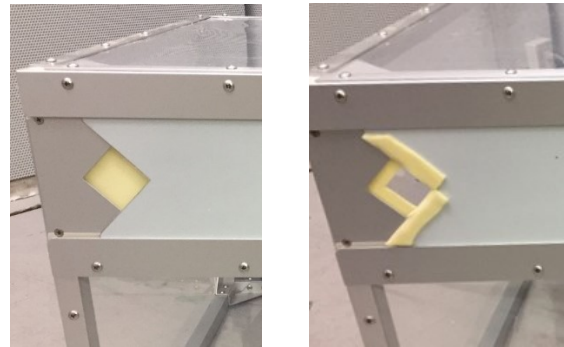
試験エアフィルターの仕様を Table4 に示す。

Table 4 Specification of air filter

Material	Polyurethane foam
Thickness[mm]	3 (single layer)
Density[kg/m ³]	75±10
Pressure loss[Pa]	200

厚みはフィルターを重ねることによって、3, 6, 9, 12, 15mm に厚みを変えて実験を行った。①の実験で開口部前面にフィルターを取り付ける場合、シーリングが重要であり、隙間が存在した場合、隙間から漏れる風切り音が測定に悪影響を与えるため、Fig. 14 左図のようにフィルターを内部に取り付けて内圧によってシーリングをした。①の実験では圧力損失が増えることによって出口流速が低減できることは予想されるが、フィルターそのものの吸音を考慮していない。そこで、②の実験でスライダーエッジ部のみ 3mm のスポンジを付与してエッジのはく離騒音に注目して風切り音低減を図った。スライダーの構造上、摺動部の内側にスポンジを取り付けることができ

ないので、スライダー摺動部は Fig. 14 右図のように厚み部分を覆う形でフィルターを張り付けた。



Test ① Test ②

Fig. 14 Attachment of air filter to slider

3.1.2 試験ファン

試験ファンは 2.1.4 の FAN A と同様のファンを 3 つ並列に並べた。ファンは 2 つ直列に並べると最大静圧が、並列に並べると最大風量が約 2 倍になることが分かっている。今回は 3 つ並列に並べたので、最大風量が約 3 倍となっている。

3.1.3 実験方法

送風機の騒音を抑えるため、送風機は半無響室の外に配置して導管により送風した。概要図を Fig. 15 に示す。

半無響室側の導管からファン騒音と風切り音が聞こえるため、プレナムは流量調節部以外をロックウールで囲い、外の箱の内部の流れの邪魔にならないところにロックウールを取り付けた。

騒音測定のマイクロホン位置は 2.1.3 で示した測定点で一番風切り音の影響を受けそうな位置である No. 1 の位置を代表点として測定を行った。

ファンの回転数を $13,100 \pm 100 \text{min}^{-1}$ に固定して、静圧は 800Pa になるように流量調節部のスライダーを開閉して騒音測定を行った。比較対象としてスライダーを全閉にした状態を測定した。

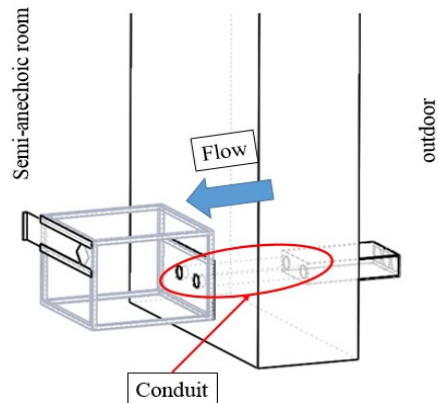


Fig. 15 Schematic view of measurement of flow noise from slider

3.2 実験結果及び考察

結果を以下に示す。

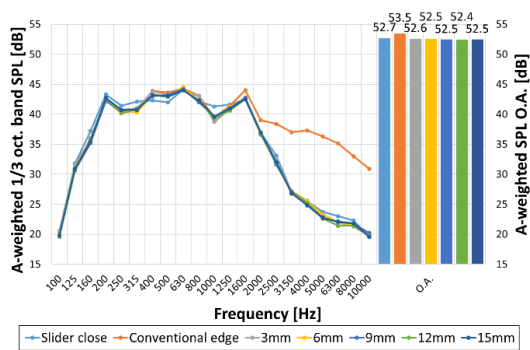


Fig. 16 Comparison with and without air filter at static pressure 800Pa

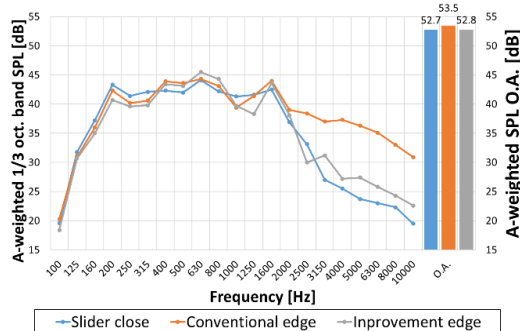


Fig. 17 Comparison with and without air filter at static pressure 800Pa

①の実験結果である Fig. 16 より、フィルターの厚みは 3mm で十分風切り音は低減できている。これは、目の細かいエアフィルターを用いたため、3mm で十分流速を遅くできたことが理由に考えられる。

②の実験結果である Fig. 17 より、開口部全面を覆って圧力損失を加えた場合程は風切り音を低減しきれていないが、2500Hz 程度の周波数帯で 10dB 近く低減されている。このことより、エアフィルターでスライダのエッジ周辺のはく離騒音に対策するだけでも風切り音低減に効果があることが分かった。

開口部全面を覆った場合①の実験に比べて風切り音が低減していない原因としては、現行のプレナムのスライダー動作部の構造上、スライダー摺動部の内側 (Fig. 1 の 2 と 4 の要素の間) にフィルターを取り付けられず、スライダのエッジから生じる渦が十分に抑制できていないことが考えられる。

以上の結果より、現在のスライダー構造を用いる場合は、①の方法での風切り音低減が効果的である。しかし、スライダの構造を段差のない機構 (例えば、カメラの絞りの機構) にし、エッジにフィルターを取り付けることができれば、②の方法でも①と同様な風切り音低減の結果が得られる可能性がある。

4. デルタ型マイクロホントラバーサ

ここでは、1 本のマイクロホンで自動測定を可能とするデルタ型 3 次元トラバーサを製作し、測定装置のコストと測定の手間を解決できる新しい方法での音響パワーレベル測定を提案した。

4.1 実験装置及び方法

4.1.1 デルタ型マイクロホントラバーサ設計試作

作成した装置の全体図を Fig. 18 に示す。モーターの先には POM 材をねじ切りしたドラムがついており、ドラムとプーリーを介して紐でセンサーを吊り、3 本の紐の長さで位置決めをする。柱には 15mm 角の中空角パイプを用いた。騒音測定中にモーターの励磁音が入らないように励磁を切ってもセンサーを保持できるように無励磁作動型の電磁ブレーキ付き 2 相ステッピングモーター (Orientalmotor PKP264D28M) を使用した。モータードライバはオリエンタルモーターの CVD228BR-K を使用した。

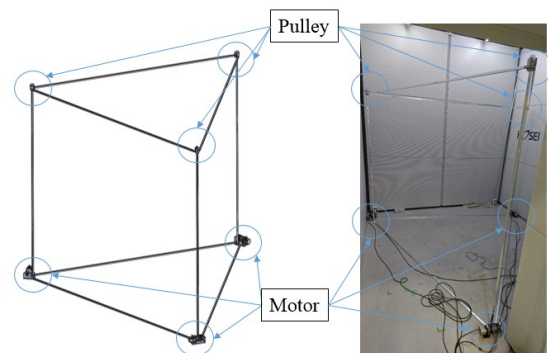


Fig. 18 Schematic view of delta shape microphone traverser

4.1.2 センサー位置を決定する座標変換

三次元直交座標系を変換して紐の長さを決定して、三次元空間のセンサー位置を決定する。以下に座標変換方法を示す。

三角形一辺の長さを A 、それぞれのモーターを $X \cdot Y \cdot Z$ とし、まず初めに $X \cdot Y \cdot Z$ それぞれからの長さ $l_x \cdot l_y \cdot l_z$ を求める。三角形の重心位置を中心とし、移動先の三次元直交座標を (x, y, z) とする。

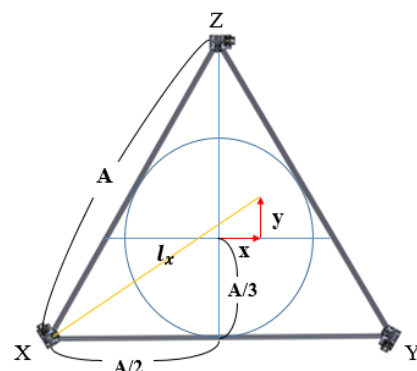


Fig. 19 Coordinates of delta traverser (Top view)

l_x は三平方の定理より、式(2)より求まる。

$$l_x = \sqrt{(A/2 + x)^2 + (A/3 + y)^2} \quad (2)$$

l_y は座標軸を 120° 変換した後、 l_x と同様に三平方の定理より求める。Fig. 20 に変換後の座標系を示す。

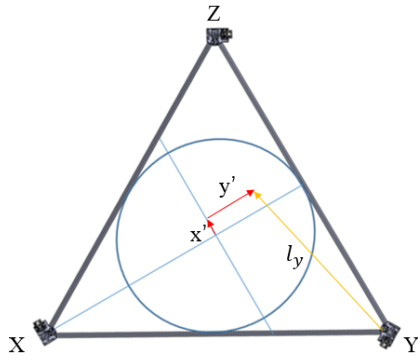


Fig. 20 Coordinates of delta traverster after coordinate transformation (Top view)

$$\begin{aligned} x' &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y' &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

l_y も l_x と同様に x', y' から三平方の定理より求める。 l_z も同様に座標軸を 120° 変換した後、三平方の定理より求める。最終的な紐の長さ $l_x' \cdot l_y' \cdot l_z'$ の求め方は柱の高さを B とすると以下の図より求まる。

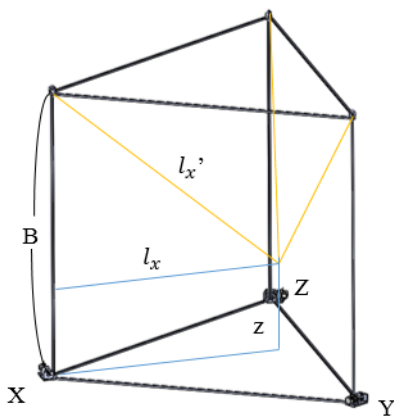


Fig. 21 Microphone position and length of stringers

図より、三平方の定理を用いて、 l_x' は式(4)より求まる。

$$l_x' = \sqrt{l_x^2 + (B - z)^2} \quad (4)$$

同様に $l_y' \cdot l_z'$ を求める。

2.3.3 自動測定システム

Fig. 22 に測定のフローチャートを示す。

ここで、SA-01 とは“音”や“振動”用の多チャンネル型周波数分析処理装置であり、Arduino とはワンボードマ

イコンのことである。モーター制御用の Arduino と騒音測定制御用の Arduino, 2つの Arduino を用いて制御を行った。モーター制御用の Arduino には Grbl1.1 というモーターを G-code で制御できるファームを書き込んであり、G-code に動作を割り当てることによって測定を制御した。騒音測定制御用の Arduino には SA-01 にトリガーを送り、測定終了の信号を受け取るプログラムを書き込んである。

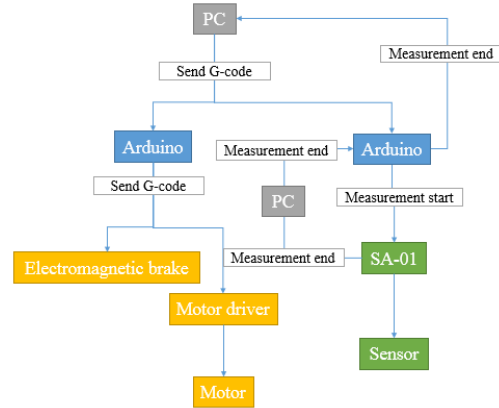


Fig.22 Measurement system flowchart

4.1.3 指向性の可視化

音響パワーレベルは測定半球面上の音圧レベルを平均化し、放射面積を掛けて求める。しかし実際には音源に放射特性があり、測定点によって音圧レベルや周波数特性が異なる。前述したように、特定のマイクロホンの音が特異な場合、音響パワーレベルの計算結果に影響を与える。したがって、予め騒音の放射特性を把握することは実験精度の向上の点で有効である。ここではデルタ型トラバサの利点を活かし、多点計測の結果をカラーマップ化することで指向性を可視化した。

4.2 実験方法

本実験で制作した測定機は三角形の内接円である最大半径約 700mm の半球面での測定が可能であり、今回は半径 600mm の半球面での測定を行った。測定点の座標は 2.1.4 に示した座標と同様に 10 点と指向性を可視化するために下図に示す 100 点で測定を行った。

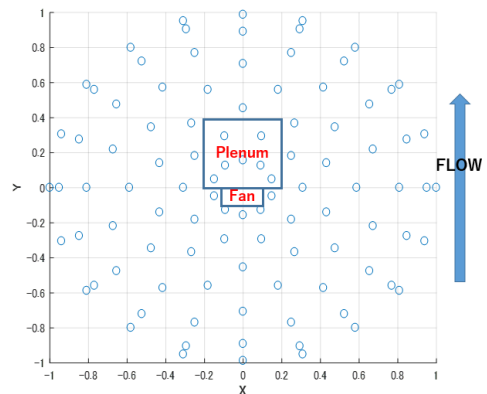


Fig. 23 Measurement points in X-Y plane (Top view)

本実験には1/4サイズプレナムを用いた。使用したファンは60度の軸流ファン(SANYO DENKI, 109R0612H402)であり、ポリエスチルフィルムの厚さは40 μmである。

4.3 実験結果及び考察

以下にA特性1/3オクターブバンド音響パワーレベルの結果と100点での測定の結果をMATLABで指向性を可視化した図を示す。

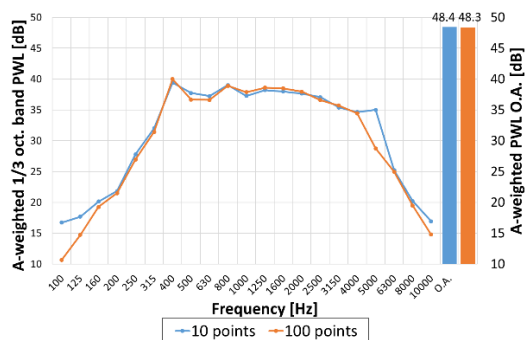


Fig. 24 Sound power level

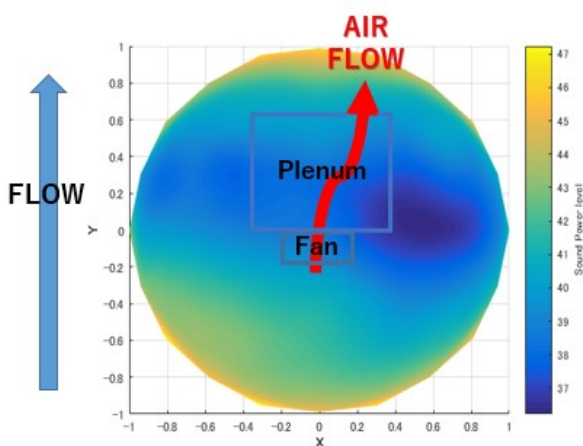


Fig. 25 Contour map of overall noise level

今回製作した測定機を用いて、音響パワーレベルを測定することができた。

Overall値を可視化した結果から、ファンの吸込み口と吐出し口に指向性があることが分かり、ファン空力騒音の指向性を示した結果と考えられる。

5. 結論

スモールファン騒音測定規格 ISO10302-1:2011 シリーズに対して3つの観点から技術的な改善を図り、以下の知見を得た。

- 1) 現行のプレナムをパンチングメタルで補強することに関して、パンチングメタルで補強することによりISO10302-1:2011に定められている挿入損失の許容範囲に収まり、プレナムの許容最大静圧の向上も望める。補強の方法に関して、今回は丸穴の開いたパンチングメタルを用いたが、より開口率の高いハニカムや格子形状等の板を用いて補強することによって、更なる性能向上が考えられる。
- 2) プレナム出口開口部の風切り音対策に関して、目の細かいエアフィルターを開口部に取り付けることにより、高周波数域のはく離騒音に対して十分な改善ができた。スライダーエッジ部分のはく離騒音に注目した結果でも高周波数域で10dB程度風切り音が低減できた。スライダー形状をカメラの絞りの機構に似せて段差ができないようにする等の工夫をし、フィルターをスライダー内側エッジ部分に取り付けることができれば、圧力損失付与と同等の風切り音低減結果が得られると考えられる。
- 3) 音響パワーレベルの測定方法に関して、測定コスト低減を狙ったデルタ型3次元トラバサ装置によって測定ができた。指向性の可視化に関して、今回の3次元トラバサ装置の3次元空間を自由に動かせる利点を活かして、100点で騒音測定を行い、測定データから指向性を可視化することができた。

参考文献

- 1) 鈴木昭次, 西村正治, 雫本信哉, 御法川学, 機械音響工学, (2004), コロナ社
- 2) ISO 10302-1:2011. Acoustics - Measurement of airborne noise emitted and structure-borne vibration induced by small air-moving devices - Part 1: Airborne noise measurement
- 3) JMBS-72-1:2010 音響—スモールファンの空気伝搬騒音及び固体伝搬振動の測定—第1部: 空気伝搬騒音の測定
- 3) ISO 3744:2010. Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane
- 4) JIS Z 8732:2000 音響—音圧法による騒音源の音響パワーレベルの測定方法—無響室及び半無響室における精密測定方法