

## 2-1-16 通気ダクト部材の有風時の特性反射・透過係数 および発生音のダクト内測定\*

寺尾 道仁 ○関根 秀久 (神奈川大)

### 1. はじめに

通気ダクト部材の特性反射・透過係数（以下単に特性係数と呼ぶ）および発生音の有風かつ任意端末条件下における観測原理およびそれに要求される間接的クロススペクトラム計測技法について、小型送風機を用いて実験的に調べた。

### 2. 供試部材の特性係数と進行波音圧

Fig.1のような接続ダクト数2（2端子対），剛壁，ダクト軸方向平面音波の場合について，Fig.1のように観測点および記号を規約すれば，検査面 I, II における進行音波，特性係数および供試部材発生音圧の関係は次式で表わされる。

$$a_I^+ = \rho_I a_I^- + \tau_{II} a_{II}^- + f_I \quad (1a)$$

$$a_{II}^+ = \rho_{II} a_{II}^- + \tau_I a_I^- + f_{II} \quad (1b)$$

ただし， $a_m^+$  および  $a_m^-$  はそれぞれ第m観測点における正，負方向への進行音波， $a_m$

はそれによる音圧。添え字 I および II は第 I ダクトおよび第 II ダクトの検査面， $\rho_K$ ， $\tau_K$  および  $f_K$  は，それぞれ検査面  $K=I$  および II における供試部材からそれぞれのダクト方向の特性反射，透過係数および発生音圧である。

### 3. 供試部材発生音圧の測定

式(1)と $a_I$ の音圧比より式(2)から(5)の関係を導く。

$$f_I / a_I = \alpha_I H_I - \rho_I \beta_I H_I - \tau_{II} \beta_{II} H_{II} \quad (2a)$$

$$f_{II} / a_I = \alpha_{II} H_{II} - \rho_{II} \beta_{II} H_{II} - \tau_I \beta_I H_I \quad (2b)$$

$$\alpha_K = a_K^+ / a_K^- = 1 / (1 + R_K) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \beta_K &= a_K^- / a_K^+ = \alpha_K R_K \\ R_K &= a_K^- / a_K^+ \\ &= (H_K^+ - H_{KK'}) / (H_{KK'} - H_K^-) \end{aligned} \quad (4)$$

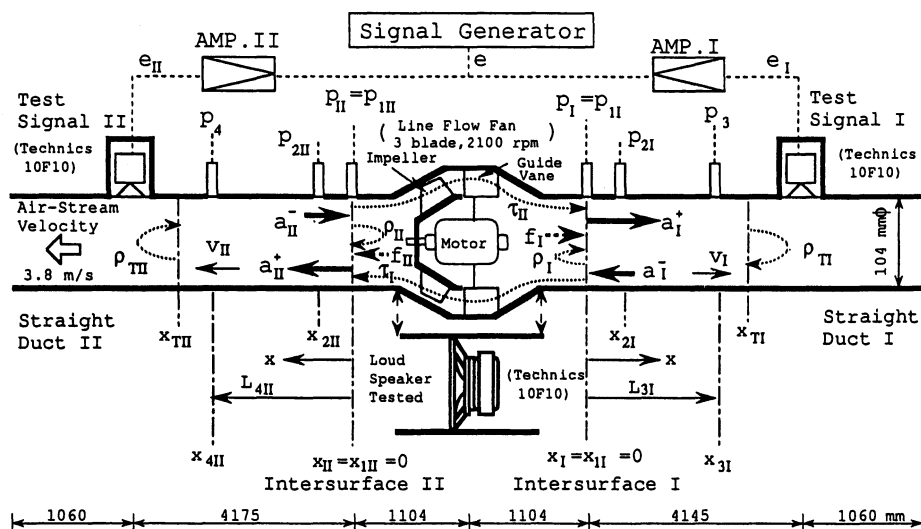


Fig.1 Test arrangement for acoustic property determination

\* In-duct Pressure Measurements to Determine Sound Generation, Characteristic Reflection and Transmission Factors of an Air Moving Device in Air-Flow.  
by Michihito Terao and Hidehisa Sekine (Kanagawa University)

ただし、添え字 $K'$ は $K$ に近接する観測点である。 $R_K$ は、 $\alpha_K$  および  $\beta_K$ を求めるときだけでなく、端末の反射係数 $\rho_{TK}$ を求めるときにも用いる。

$$H_K^+ = a_{K'}^+ / a_K^+ = \exp \{ j k_K^+ (x_K - x_{K'}) \}$$

$$H_K^- = a_{K'}^- / a_K^- = \exp \{ j k_K^- (x_K - x_{K'}) \}$$

ただし、 $k_K^+$ および $k_K^-$ は、第 $K$ ダクトの正、負方向の進行音波の波数である。

$$H_K = a_K / a_1$$

$$H_{KK'} = a_{K'} / a_K \quad (5)$$

供試部材の発生音圧 $f_I$ および $f_{II}$ は、 $H_K$ 、 $H_{KK'}$ 、 $a_1$ 、 $\rho_K$  および  $\tau_K$ が定まれば式(2)により求めることができる。

#### 4. 有風時における音圧測定

第 $m$ 観測点のマイクロホン音圧 $p_m$ は、音響信号音圧 $a_m$ および気流によるローカル変動圧 $t_m$ からなる。2点の圧力 $p_i$ と $p_j$ との直接クロススペクトル $S_{ij}^p$ は以下のよう表わされる。

$$\begin{aligned} S_{ij}^p &= \langle p_i^* p_j \rangle / 2 \\ &= S_{ij}^a + S_{ij}^t \end{aligned} \quad (6a)$$

$$\begin{aligned} S_{ij}^a &= \langle a_i^* a_j \rangle / 2 \\ S_{ij}^t &= \langle t_i^* t_j \rangle / 2 \end{aligned} \quad (6b)$$

上添え記号(\*)は、共役複素数、 $\langle \rangle$ 記号は、アンサンブル平均を意味する。

観測点間の距離が離れるにつれて $S_{ij}^t / S_{ij}^a$ は0に近づく。 $H_K$ 、 $H_{KK'}$  および  $a_1$ の直接測定の代わりに、これらの観測点

から十分遠方であつそれぞれ互いに十分離れた第3、第4の観測点を設け、式(7)により、気流によるローカル変動圧が除去された間接的クロススペクトル $S_{ij}'$ が観測される。

$$H_K \approx H_K' = S_{3K}^p / S_{3I}^p$$

$$H_{KK'} \approx H_{KK'}' = S_{3K'}^p / S_{3K}^p$$

$$a_1 \approx 2(S_{II}')^{1/2}$$

$$S_{ij}^a \approx S_{ij}' = S_{i3}^p S_{4j}^p / S_{43}^p$$

$$S_{ij}^p = \langle p_i^* p_j \rangle / 2 \quad (7)$$

#### 5. 有風時における特性係数の測定

Fig.1において、試験音供給用ラウドスピーカ $LS_I$ および $LS_{II}$ への供給信号 $e_I$ および $e_{II}$ の2通りの組み合わせによる試験音設定をそれぞれAおよびBとする。

まず、一方の試験音設定Aを作動した場合、第 $K$ ダクトの第 $m$ 観測点圧力 $p_m$ の供給信号 $e$ にたいするシステム関数を観測すれば、式(1)~(3)において、 $H_K$ 、 $H_{KK'}$ 、

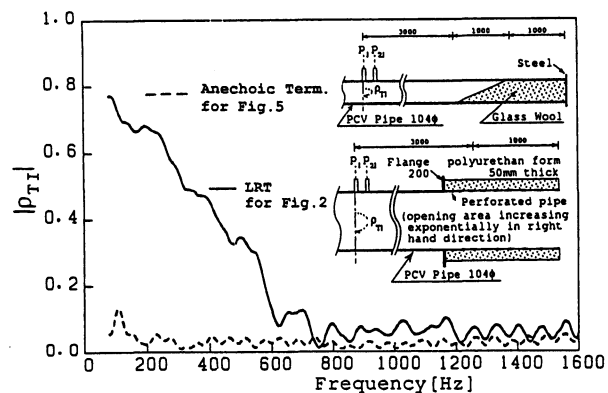


Fig.3 Low reflective termination

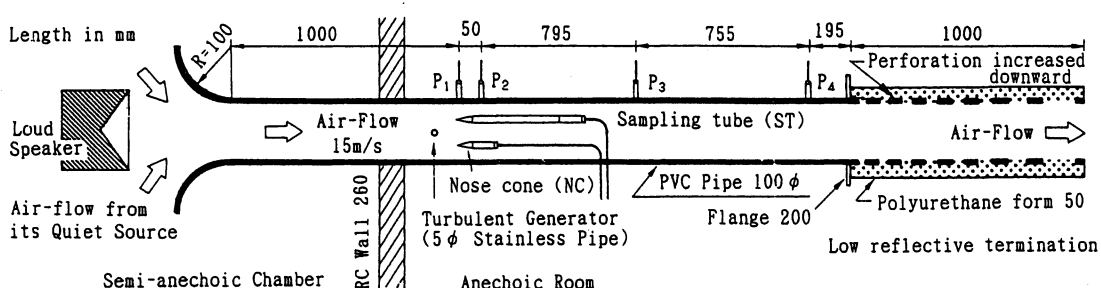


Fig.2 Test arrangement for acoustic pressure extraction

$\alpha_K$  および  $\beta_K$  に対応する量を  $H_K^A$ ,  $H_{KK'}^A$ ,  
 $\alpha_K^A$  および  $\beta_K^A$  に代えて次式を得る。  
 $\alpha_I^A H_I^A = \rho_I \beta_I^A H_I^A + \tau_{II} \beta_{II}^A H_{II}^A$  (8a)

$$\alpha_{II}^A H_{II}^A = \rho_{II} \beta_{II}^A H_{II}^A + \tau_I \beta_I^A H_I^A \quad (8b)$$

ただし、上添え字(A)は、設定試験音A  
 のみに依存する音圧比を表わす。

また、 $H_K$ ,  $H_{KK'}$  の代わりに、次式のよう  
 な間接的な  $H'_K$ ,  $H'_{KK'}$  を観測する。

$$\begin{aligned} H_K &\approx H'_K = S_{eK}^p / S_{ee} \\ H_{KK'} &\approx H'_{KK'} = S_{eK'}^p / S_{eK}^p \\ S_{em}^p &= \langle e^* p_m \rangle / 2 \\ S_{ee} &= \langle e^* e \rangle / 2 \end{aligned} \quad (9)$$

次に、試験音設定Bの場合においても  
 同様にそのときの量を上添え字(B)により  
 表わせば、次式が得られる。

$$\alpha_I^B H_I^B = \rho_I \beta_I^B H_I^B + \tau_{II} \beta_{II}^B H_{II}^B \quad (8c)$$

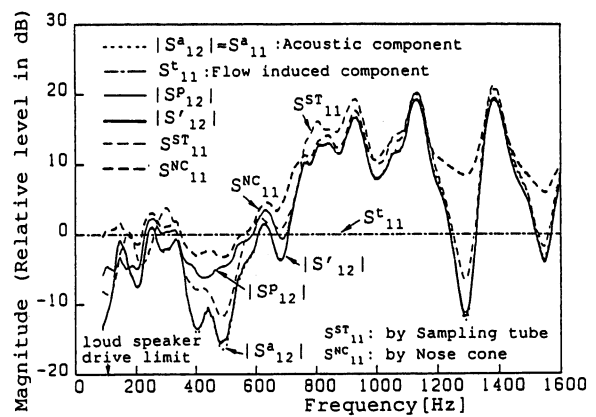
$$\alpha_{II}^B H_{II}^B = \rho_{II} \beta_{II}^B H_{II}^B + \tau_I \beta_I^B H_I^B \quad (8d)$$

式(8)を解くことにより、任意の端末条件  
 のもとで特性反射係数  $\rho_K$  および特性透過  
 係数  $\tau_K$  が求められる。

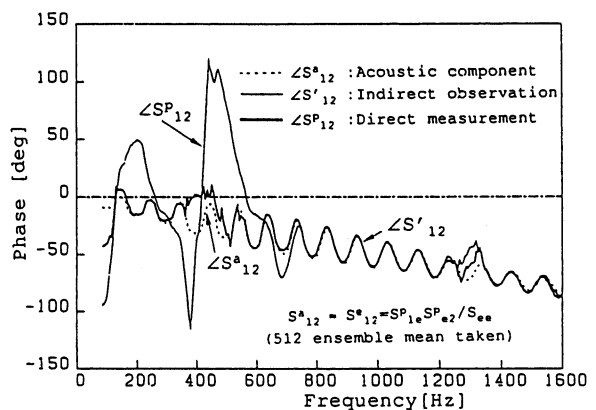
## 6. 実験結果

### 6. 1 気流によるローカル変動圧の除去

Fig.2に示すような比較的低騒音の気流  
 発生装置による通気ダクトにより調べた。  
 また、端末にはその反射によるダクト軸  
 方向の音圧変化を小さくする目的で、ダ  
 クト壁面に多数の孔をあけ、これとその  
 断面の面積との和を端末方向に指数関数  
 的に漸増させ、その周囲を吸音材料で包  
 んだ。その反射係数をFig.3に示す。Fig.4  
 は、ラウドスピーカon状態における有風  
 時の音響信号  $S_{12}^A$ , その直接測定値  $S_{12}^p$   
 間接測定値  $S'_{12}$ , Nose cone および

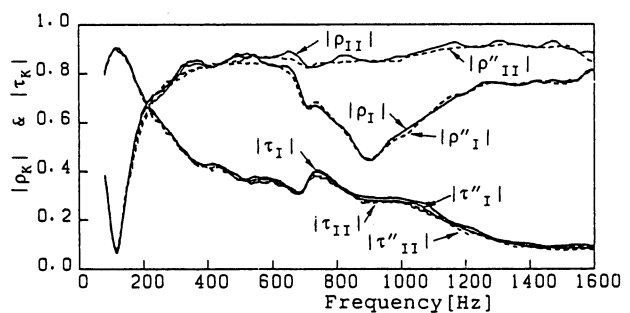


a) Magnitude



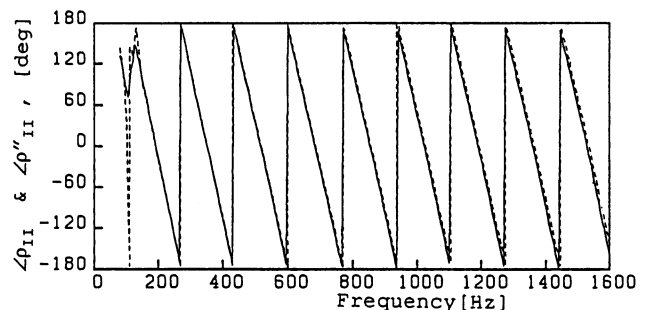
b) Phase

Fig.4 Comparison between direct and indirect spectra



a) Magnitude

(Double prime attached for anechoic termination method)



b) Phase (—:  $\angle \rho_{II}$ , ----:  $\angle \rho'_{II}$ )

Fig.5 Characteristic factors of the loud speaker shown in Fig.1

Sampling tubeのパワスペクトル(それぞれ $S^{NC}$ および $S^{ST}$ )を, ローカル変動圧のパワスペクトル $S'_{11}$ を基準として比較したものである。間接的クロススペクトル $S'_{12}$ は, おおよそ

$$|S'_{12}| > S'_{11}/10 \text{ または}$$

$$S'_{12} \approx |S'_{12}| \approx |S^a_{12}| > S^p_{11}/10$$

であれば位相を含めて $S^a_{12}$ に一致しており観測可能である。

## 6. 2 特性係数( $\rho_K$ および $\tau_K$ )

Fig.1の実験装置の小型ファンをラウドスピーカに入れかえて, 無気流状態で実験を行った。Fig.5は通常の無反射端末装置(その特性はFig.3に示した)による方法[1]のものと比較して示す。それらは, よく一致している。

## 6. 3 ダクト内小型ファンの音響特性

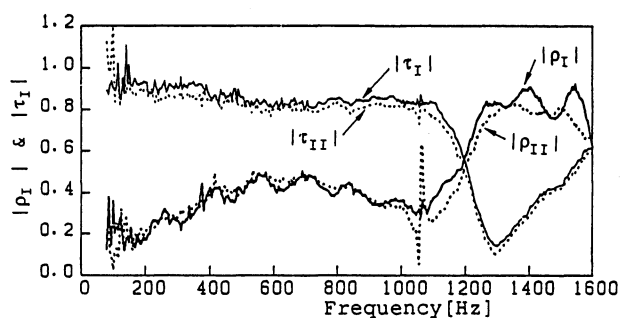
実験はFig.1に示すような小型ファンを使用して行った。Fig.6に小型ファンの特性係数の観測結果を示す。試験音が過小であった100Hzおよび1050Hz付近を除き, 相反則および $\rho_K^2 + \tau_K^2 \approx 1$ が概ね成立している。Fig.7にファンからの発生音の観測結果を示す。発生音は,  $S'_{11} > S^p_{11}/10$ であり, ローカル変動圧による発生音の検出結果の影響は少ないと判断される。両ダクト方向にほぼ同じ強さで, とくに約105Hzを基本とする羽根周波数では逆位相で励起する傾向が見られる。

## 7. まとめ

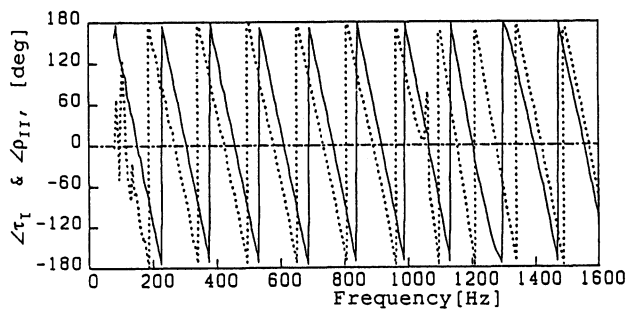
通気ダクト部材の特性反射・透過係数および発生音の有風かつ任意端末条件下における観測原理を明かにし, 実験的にその有効性を確認した。

### 参考文献

- [1] 内田, 寺尾: 日本音響学会講演論文集, 昭和57年3月。

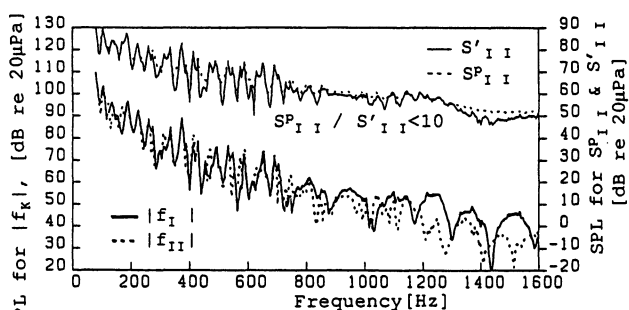


a) Magnitude

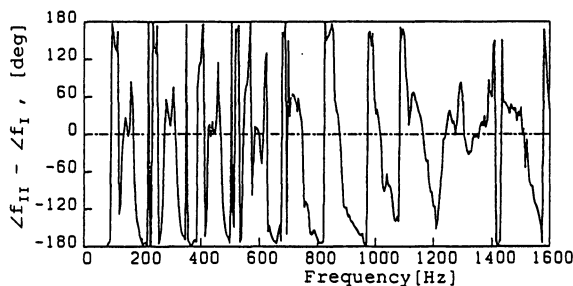


b) Phase (—:  $\angle \tau_I$ , ----:  $\angle \rho_{II}$ )

Fig.6 Characteristic factors of the fan shown in Fig.1



a) Magnitude



b) Phase difference between  $\angle f_I$  and  $\angle f_{II}$

Fig.7 Driving acoustic pressures of the fan shown in Fig.1 and their reliability check