

○関根秀久, 寺尾道仁 (神奈川大)

1. はじめに HVACダクト系2ポート要素の音響特性について受動・能動2段階測定手法[1]を適用し, まずラウドスピーカを駆動源とする音源要素を構成して駆動音圧の基礎的性質などを調べ, 次に実際の斜流ファンおよび遠心ブロワの音響特性の測定を行い, 大局的にみた音源の性質比較を試みた.

2. 音源要素検査面間の音響方程式 Fig.1に示すような2ポート音源要素の場合, p_k, u_k および f_k をそれぞれ第K ($= I, II$) ポートにおける音圧, 粒子速度および駆動音圧とすれば,

$$\begin{bmatrix} p_I \\ p_{II} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} z_{I I} & z_{I II} \\ z_{II I} & z_{II II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_I \\ u_{II} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_I \\ f_{II} \end{bmatrix} \quad (1)$$

ただし, $z_{I I}, z_{I II}, z_{II I}$ および $z_{II II}$ はポート間音源要素の特性インピーダンスである.

式(1)は, 音源内部の機械的性質などを調べる上で有用であるが, ダクト網の音響予測検討上は, その別表現, すなわち, p_k^+, p_k^- および f_k^+ をそれぞれ第Kポートにおける進行波, 退行波および駆動波音圧とする式(2)が有利である.

$$\begin{bmatrix} p_I^+ \\ p_I^- \\ p_{II}^+ \\ p_{II}^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_I & \tau_{I II} \\ \tau_{II I} & \rho_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_I^- \\ p_{II}^- \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_I^+ \\ f_{II}^+ \end{bmatrix} \quad (2)$$

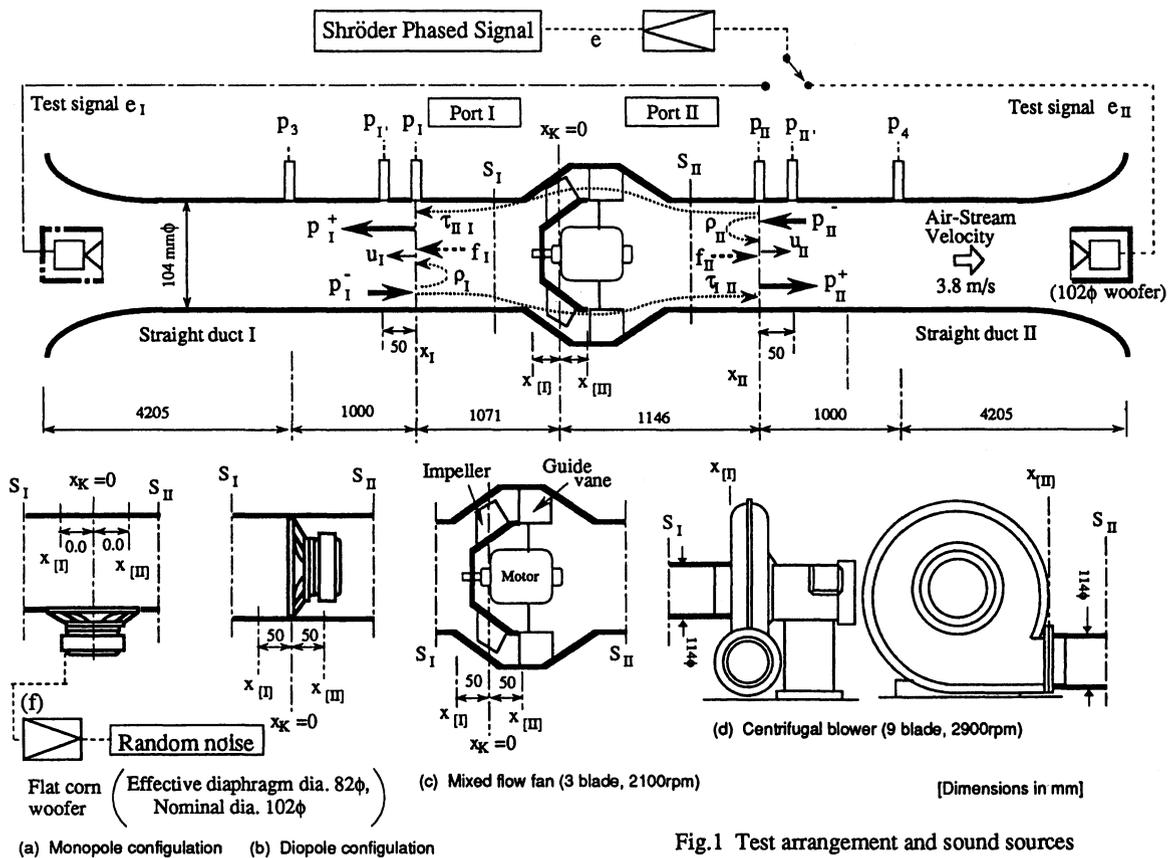


Fig.1 Test arrangement and sound sources

* Test results on characteristic acoustic properties of two-port air-duct components.
By Hidehisa sekine and Michihito Terao (Kanagawa University).

ここで、 ρ_I, ρ_{II} はそれぞれのポートの反射係数および $\tau_{I,II}, \tau_{II,I}$ はポート間の透過係数である。式(1)と(2)の特性表現は相互に変換される。たとえば、駆動波 f_k^+ と駆動音圧 f_k との関係は、

$$\begin{bmatrix} f_I^+ \\ f_{II}^+ \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1-\rho_I & -\tau_{I,II} \\ -\tau_{II,I} & 1-\rho_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_I \\ f_{II} \end{bmatrix} \quad (3)$$

以下では主として式(1)により述べる。

3. 粒子速度の測定

第Kポートの粒子速度 u_k の観測は、第K音圧観測点 x_k の近傍 $x_{k'}$ に観測点 K' を設け、その間の伝達関数 $H_{kk'}$ を測定して以下により求める[2]。

$$u_k = p_k(1-R_k)/(1+R_k) z_a \quad (4)$$

$$p_k^+ = p_k/(1+R_k), \quad p_k^- = R_k p_k^+ \quad (5)$$

$$R_k = (H_k^+ - H_{kk'}) / (H_{kk'} - H_k^-) \quad (6)$$

$$H_k^+ = \exp(-jkx_{kk'}), \quad H_k^- = \exp(jkx_{kk'}) \quad (7)$$

ここで、 k は伝播定数、 $x_{kk'} = x_{k'} - x_k$ 、

また z_a は空気の固有音響抵抗である。

4. 音源固有音響特性の受動・能動 2段階測定法

4.1 音響受動特性測定 第J(=I, II)ポート外部音源から測定対象音源 f とは無相関な試験用信号 e_j を重畳する。 e_j にコヒーレントな音圧成分および粒子速度成分、それぞれ $p_k^{(e_j)}$ および $u_k^{(e_j)}$ を測定すれば、それらの関係は

$$\begin{bmatrix} p_I^{(e_j)} \\ p_{II}^{(e_j)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{I, I} & z_{I, II} \\ z_{II, I} & z_{II, II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_I^{(e_j)} \\ u_{II}^{(e_j)} \end{bmatrix}, \quad J=I, II \quad (8)$$

$p_k^{(e_j)}$ および $u_k^{(e_j)}$ は式(4)における P_k および u_k に対応し式(4)の P_k および式(6)の $H_{kk'}$

にたいし、次のようにして測定される

$p_k^{(e_j)}$ および $H_{kk'}^{(e_j)}$ を置き換えて求める。

$$p_k^{(e_j)} = 2 \langle S_{ek}^{(e_j)} \rangle_N / |e_j| \quad (9)$$

$$H_{kk'}^{(e_j)} = \langle S_{ek'}^{(e_j)} \rangle_N / \langle S_{ek}^{(e_j)} \rangle_N \quad (10)$$

ここでは e_j を位相の基準にとっている。

$\langle S_{ek}^{(e_j)} \rangle_N$ は試験信号 e_j と第K観測点圧力(測定対象音源、気流変動圧および暗騒音などの寄与を含む)とのクロススペクトルのN回アンサンブル平均で、Nは2048と比較的大きくとしている。式(8)により構成される4つの方程式を解けば、4つの未知受動特性

$z_{I, I}, z_{I, II}, z_{II, I}$ および $z_{II, II}$ が求められる。

4.2 音響能動特性測定 試験用信号 e_j の供給を止め、気流変動圧が重畳された中で測定対象音源のみにコヒーレントな音圧成分 P_k を次のようにして抽出する。なお、式(4)の R_k はすでに受動特性測定時に得られている。

$$p_I = |p_I| = \{2 \langle S_{3I}^{(e_j)} \rangle_N \langle S_{I4}^{(e_j)} \rangle_N / \langle S_{34}^{(e_j)} \rangle_N\}^{1/2} \quad (11)$$

$$p_{II} = |p_{II}| = \langle S_{3II}^{(e_j)} \rangle_N / \langle S_{3I}^{(e_j)} \rangle_N \quad (12)$$

ここではひとまず p_I を位相の基準にしている。直接測定を行うクロススペクトル $S_{ij}^{(e_j)}$ としては、各ポートI, I', II, II'および補助観測点3, 4のうち、乱流変動の相関距離に比べ離れた2点 i と j とを組合せている。

以上から、式(1)において駆動音圧 f_k のみが未知量として陽的に求められ、さらに式(3)により駆動波 f_k^+ も得られる。

5. 供試音源要素 Fig.1に示すような、音響駆動源にラウドスピーカを用いた(a)ポート間モノポール構成およ

び(b)ダイポール構成, (c)斜流ファンおよび(d)遠心プロワの音響特性測定を試みた。それぞれの接続直管は音源の接続口径と同寸法とし, 端末条件はホンによる比較的low反射端とした。

6. 実験結果 音響特性はポート位置に依存する。文献[1]では各ポート観測点位置における評価であった。これにたいし以下の結果は, 各ポート測定値から無損失平面波伝搬モデルにより変換し, 接続直管の音源側不連続面位置 $x_{[n]}$ において評価する。なお, 100Hz以下の周波数域は35Hz幅の平滑化を施してある。

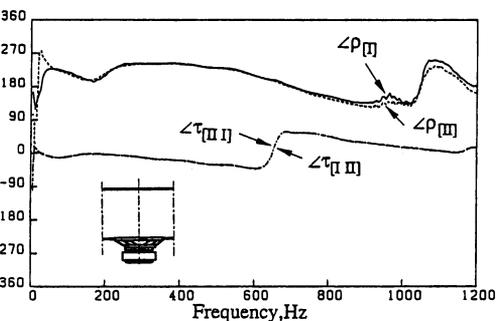
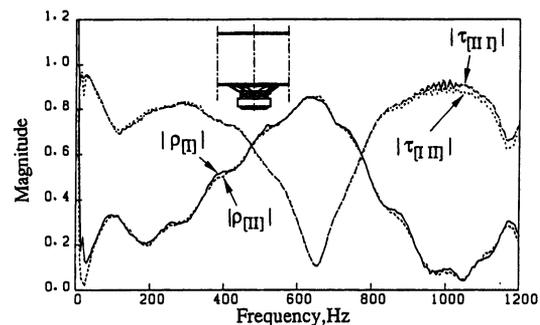
6. 1 ラウドスピーカによる音響駆動源

(a) ポート間モノポール放射構成 Fig.2に示すように受動特性, 能動特性ともポートによらず, $\rho_{[1]} = \rho_{[2]}$, $\tau_{[1]} = \tau_{[2]}$ および $f_{[1]} = f_{[2]}$ であることが確認される。

(b) ポート間ダイポール放射構成 Fig.3に示すように駆動源近傍の駆動音圧はポート相互にほぼ大きさが等しく逆位相 ($f_{[1]} \approx -f_{[2]}$) である。

6. 2 送風機 以下は稼働中の受動・能動音響特性の気流内での測定結果である。

(c) 軸流ファン 駆動音圧のみを Fig.4に示す。ダクト内平均風速は約3.8m/sである。駆動源近傍 ($x_{[1]} = x_{[2]} = 0.05\text{m}$) の駆動音圧は, おおむね相互に大きさが同一で逆位相であり ($f_{[1]} \approx -f_{[2]}$), ポート間ダイポール等価な音響発生機構が支配的とみられる。



i) Passive acoustic properties in characteristic transmission and reflection factors

ii) Active acoustic properties in driving pressures.

Fig. 2 Acoustic properties of the loudspeaker of monopole configuration (a).

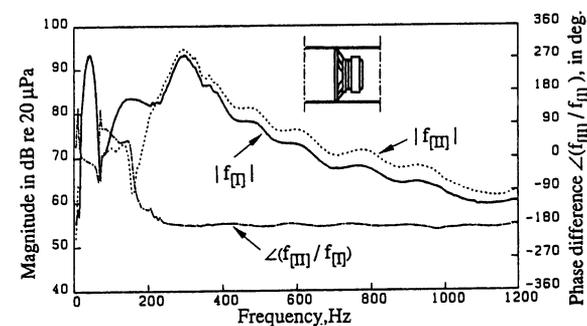


Fig. 3 Active acoustic properties, in driving pressures, of the loudspeaker of dipole configuration (b).

(d) 遠心プロワ 全周波数領域について35Hz幅の平滑化を施した測定結果を Fig.5に示す。ダクト内平均風速は約

17m/sである。音速に比べこの程度に小さな平均風速でも透過係数の相反性に崩れ ($|\tau_{[1]}| \neq |\tau_{[2]}|$) が生じている。この場合、吸入口と吐出口とで評価したが、両者の駆動音圧の大きさははおおむね同程度 ($|f_{[1]}| \approx |f_{[2]}|$) の傾向がみられる。しかし、駆動音圧の位相の測定結果については、 $f_{[1]}$ と $f_{[2]}$ とのコヒーレンスが低く、両ポートの駆動音圧の独立性にかかわる重要課題でもあるので、さらに測定方法を含めて検討を加えたい。

一方、駆動波音圧は、その大きさ $|f_{[k]}^+|$ が評価位置に依存せず、また、 $|f_{[k]}^+|^2$ を空気ダクト (断面積 $A_{[k]}$) の固有音響抵抗 $2Z_{[k]}/A_{[k]}$ で割れば、無反射端法による音響出力に対応するなど、音源能動特性の表示には最適の評価量と考えられる。Fig.5 iii)に示すように、このブロワは羽根通過周波数435Hz (9枚 \times 2900rpm/60) を基音とする鋭いピークが顕著で、とくに中音域で $|f_{[1]}^+| \leq |f_{[2]}^+|$ で吸い込み側ポートへのほうが駆動波音圧が大きいことが注目される。

7. 終りに音源固有の受動・能動音響特性の測定手法を送風機に適用してその実用的面での有効性を確認し、本格的応用には改善すべき点が多々ある段階ながら、とくにポート間ダイポール音源の性質を示す軸流ファンの存在など従来の音源能動特性測定法では得られなかった知見を得た。

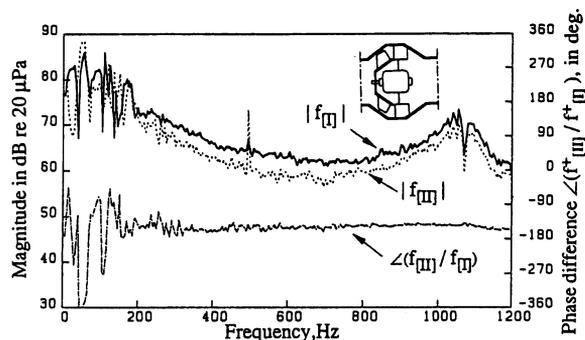
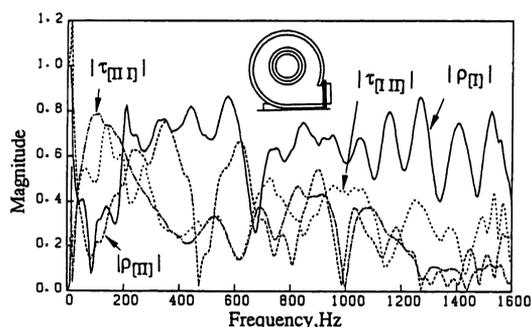
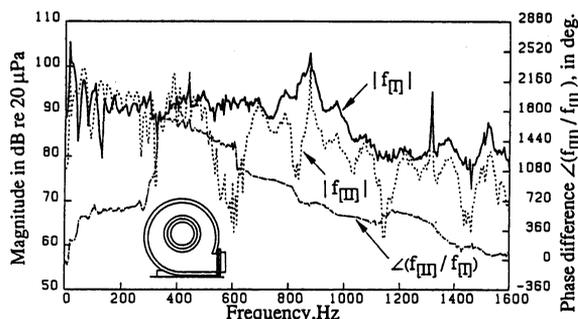


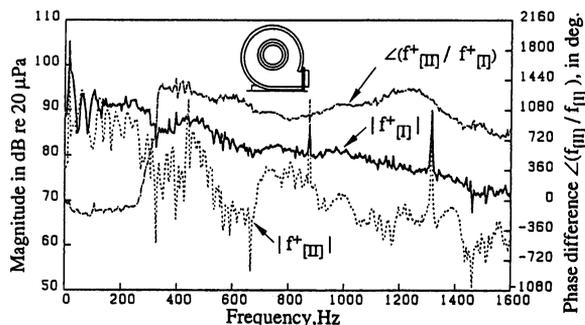
Fig. 4 Active acoustic properties, in driving pressures, the mixed flow fan (c).



i) Passive acoustic properties in characteristic transmission and reflection factors (Magnitude).



ii) Active acoustic properties in driving pressures.



iii) Active acoustic properties in driving waves.

Fig. 5 Acoustic properties of the centrifugal blower (d).

文献

- [1]寺尾, 関根: 日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集, 平成元年9月.
- [2]ASTM, E1050, 1985.