

○寺尾道仁 関根秀久 (神奈川大)

1. はじめに HVACダクト網のとくに低周波数域の音響予測計算について、音源各ポート駆動力間のコヒーレンスおよび各コンポネントの反射波による干渉を考慮に含めた手法およびその中規模ダクト網による実験結果を示す。

2. コンポネントの固有音響特性

Mポートのコンポネントについて、その受動・能動固有音響特性および各ポートにおける外向および内向平面波の複素音圧、 P_k^+ および P_k^- 、の関係[1]は、 $k=1, M$ および $j=1, M$ として、

$$P_k^+ = f_k^+ + \sum_{j=1}^M \tau_{kj} P_j^-, \quad (k=1, M) \quad (1)$$

ここで τ_{kj} は $j \neq k$ のときポート j からポート k への特性透過係数、 $\tau_{kk} \equiv \rho_k$ および f_k^+ はそれぞれポート k における特性反射係数および駆動波の複素音圧である。式(1)はさらに次のように変形される。

$$f_k^+ = \sum_{j=1}^M \eta_{kj} P_j^+, \quad (k=1, M) \quad (2)$$

$$P_k^+ = \sum_{j=1}^M \zeta_{kj} f_j^+, \quad (k=1, M) \quad (3)$$

ただし、 η_{kj} は各ポートの端末側の反射率を $R_k = P_k^- / P_k^+$ として $j \neq k$ のとき $\eta_{kj} = -\tau_{kj} R_j$ 、 $\eta_{kk} = 1 - \tau_{kk} R_k$ 、また、 ζ_{kj} は η_{kj} を要素とする $M \times M$ 行列にたいする逆行列の要素である。式(2)および(3)より、クロススペクトルをとれば、

$$\mu_{kj}^{(p+)} |f_k^+| |f_j^+| = \sum_{n=1}^M \sum_{l=1}^M \eta_{kn}^* \eta_{jl} \mu_{jl}^{(p+)} |p_j^+| |p_l^+| \quad (4)$$

$$\mu_{kj}^{(p+)} |p_k^+| |p_j^+| = \sum_{n=1}^M \sum_{l=1}^M \eta_{kn}^* \eta_{jl} \mu_{jl}^{(f+)} |f_j^+| |f_l^+| \quad (5)$$

$$\mu_{kj}^{(p+)} = \langle (p_k^+)^* p_j^+ \rangle / |p_k^+| |p_j^+|$$

$$\mu_{kj}^{(f+)} = \langle (f_k^+)^* f_j^+ \rangle / |f_k^+| |f_j^+|$$

ただし $\mu_{kj}^{(f+)}$ および $\mu_{kj}^{(p+)}$ はそれぞれ2ポート k と j との間の駆動波および音圧のコヒーレンスで $\mu_{kk}^{(f+)} = \mu_{kk}^{(p+)} = 1$ 、 $(\cdot)^*$ は複素共役、また、絶対値および記号 $\langle \cdot \rangle$ で表された量はアンサンブル平均値である。

3. コンポネント音響特性の測定[1]

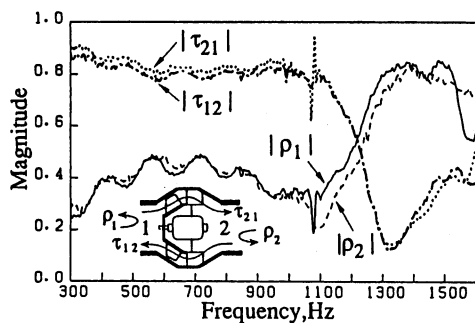
まず、 f_k^+ とは無相関な試験音を重畳してこの試験音にのみコヒーレントな音圧成分について式(1)を適用して受動特性 τ_{kj} すなわち η_{kj} を求め、次に、試験音を取り除き P_k^+ および $\mu_{kj}^{(p+)}$ を測定して式(4)により能動特性 f_k^+ および $\mu_{kj}^{(f+)}$ を陽的に得る。これによる送風機稼働時の固有音響特性の測定結果を図1に示す。

4. ダクト網内コンポネント廻りの透過・反射係数 音源コンポネント間の能動特性が無相関となるようにコンポネント分割すれば、1つの音源コンポネントによるダクト内音圧への寄与は他のそれと独立に計算できる。1つの受動コンポネント($f_k^+ = 0$)については、音源側のポート番号を1として、式(1)より

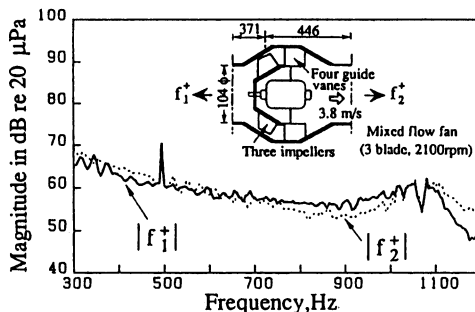
$$T_k = \tau_{k1} + \sum_{j=2}^M \tau_{kj} R_j T_j, \quad (k=1, M) \quad (6)$$

すなわち、端末側反射係数 $R_j = P_j^- / P_j^+$ が与

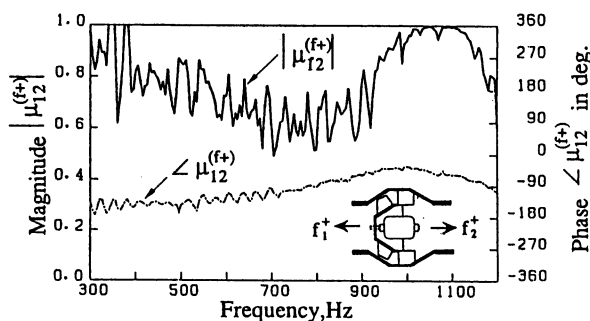
* A method of lower frequency acoustic prediction for HVAC duct networks.
By Michihito Terao and Hidehisa Sekine (Kanagawa University).



a) Magnitude of the passive properties.



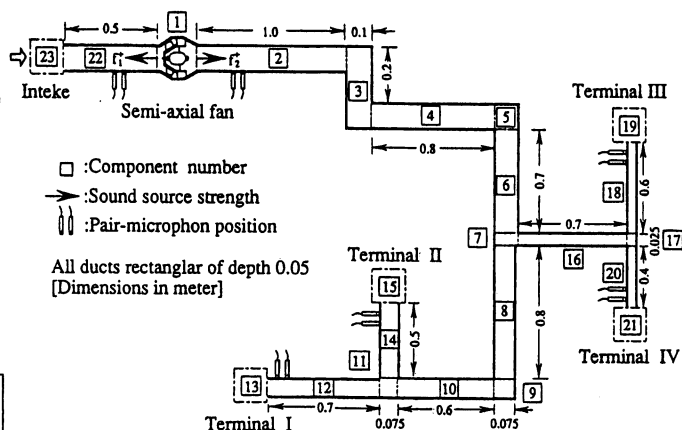
b) Magnitude of the driving wave pressures.



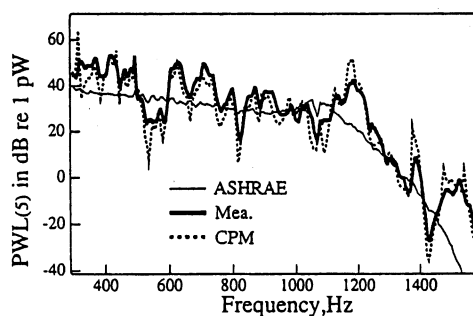
c) Coherence between the driving wave pressures.

Fig.1. Acoustic properties of a semi-axial fan in operation.

えられれば、式(6)を解いて透過係数 $T_j = p_j^+ / p_1^-$, ($j=2, M$) および音源側の反射係数 $T_1 = p_1^+ / p_1^- = R_1'$ が定まる。したがって、端末側から音源側に向かって順次各コンポーネントの端末側反射係数を与え、その透過係数および音源側反射係数を求めつつ、最終的に音源コンポーネントの端末側反射係数が求められる。これと音源の固有受動・能動特性および式(5)により、音源ポートの外向き波音圧 $|p_k^+|$, すなわち、それに接続するコンポーネントの入射音圧 $|p_k^-|$ が定まり、以下音源から端末側に向かって順次すべてのコンポーネント・ポートの進行波音圧などが求められる。



a) A 1/5 scale model of a HVAC duct network.



b) 5 Hz band PWL of the arriving wave at terminal IV.

Fig. 2. Sound predictions of a duct network.

5. ダクト網における検証実験

図 2 (a)に示すような実際の1/5縮尺程度のダクト網にたいする実験結果を図 2 (b)に示す。予測計算における各コンポーネントの音響特性は、送風機については図 1, それ以外については従来法 (ASHRAE) では文献[2]によるエネルギー透過率を、本手法 (CPM) ではFEM数値計算による結果[3]を用いた。実験値 (Mea.) に比較して、従来法では10dB程度の危険側の予測を与える周波数が多いのにたいし本手法はおおむね良好な予測結果を得ている。

6. まとめ 波動性を考慮に含めた HVACダクト網音響予測計算を試み、実験によりその基本的な有効性を示した。

参考文献

- [1] M.Terao and H.Sekine, Proc. Inter-noise89, p143.
- [2] ASHRAE HANDBOOK, Systems, Ch.32, 1984.
- [3] 寺尾, 関根, 田辺, 日本音響学会講演論文集, 昭和60年9月.