

共鳴器調整ツールによるダクト系騒音制御*

○寺尾道仁, 関根秀久, 服部康章, △佐々木悠哉 (神奈川大・工)

1 はじめに

ダクト系の騒音制御手段としてヘルムホルツ共鳴器を利用する場合には、共鳴器パラメータの調整が不可欠である。前報^[1]において、シリンダー容積制御による共鳴周波数制御機能及び渦巻バネによるネック部抵抗制御機能を有する共鳴器チューナーを開発しその有効性を示した。今回は、その応用によるダクト系音場の制御性について実験を行った。

2 ダクト系における共鳴器の特性

Fig. 1 に示すようにダクト系におけるヘルムホルツ共鳴器はサイドブランチ配置になる。そのポート i ($i=1,2$) の音圧, 体積速度及び音響インピーダンスを p_i , U_i 及び $Z_i = p_i/U_i$, 入射波及び反射波の複素音圧振幅を p_i^+ 及び p_i^- , また、共鳴器開口における音圧, 体積速度, 音響インピーダンスをそれぞれ p_{HR} , U_{HR} 及び $Z_{HR} = p_{HR}/U_{HR}$ により表わせば、

$$p_i = p_i^+ + p_i^-, \quad Z_c U_i = p_i^+ - p_i^- \quad (1)$$

$$U_1 = U_{HR} + U_2, \quad p_1 = p_2 = p_{HR} \quad (2)$$

ただし、 Z_c はダクトの固有音響インピーダンスで S_D をダクト断面積として $Z_c = \rho c/S_D$ である。以上から次のような音響特性に関する表現が得られる。

共鳴器の音響散逸率 δ_{HR} は、入射波の音響パワー $|p_1^+|^2/2Z_c$ と共鳴器の音響消散パワー $R_{HR}|U_{HR}|^2/2$ との比によりよって定義され、

$$\begin{aligned} \delta_{HR} &= Z_c R_{HR} \left| \frac{U_{HR}}{p_1^+} \right|^2 = 4Z_c R_{HR} \left| \frac{U_1}{2p_1^+} \right|^2 \left| \frac{U_{HR}}{U_1} \right|^2 \\ &= \frac{4R_{HR}/Z_c}{|Z_{HR}/Z_c + Z_{HR}/Z_2 + 1|^2} \quad (3) \end{aligned}$$

ポート 1 における音圧反射係数は

$$\begin{aligned} r_1 &= p_1^-/p_1^+ = (Z_1 - Z_c)/(Z_1 + Z_c) \\ &= \frac{1/Z_c - 1/Z_{HR} - 1/Z_2}{1/Z_c + 1/Z_{HR} + 1/Z_2} \quad (4) \end{aligned}$$

また、入射ポート 1 に対するポート 2 の音圧透過率 T_{21} は、

$$\begin{aligned} T_{21} &= \frac{p_2^+}{p_1^+} = \frac{p_2}{p_1} \frac{p_2^+}{p_2} = \frac{(1+r_1)}{1} \frac{1}{(1+r_2)} \\ &= \frac{Z_c^{-1} + Z_2^{-1}}{Z_c^{-1} + Z_2^{-1} + Z_{HR}^{-1}} \quad (5) \end{aligned}$$

Fig. 2 に音源側, 透過側ともに無反射終端の場合の音響消散率と音響透過損失の数値例を示す。サイドブランチ共鳴器の場合, その整合条件, すなわち, 消散率 δ_{HR} が最大となる条件は $R_{HR} = Z_c/2$ となる。それは共鳴器のネック開口面積を S_A , $\sigma = S_A/S_D$ とすれば比音響抵抗 $r_{HR} = S_A R_{HR}$ が $r_{HR}/\rho c = \sigma/2$ のときである。それが音響消散最大化を目標にする場合の条件になる。そのときの音響透過損失は式(5)から共鳴器単体の最大値 6 dB が限度であり, それを超える音響透過損失が求められる場合には複数個をダクト軸方向に多段配置する必要がある。

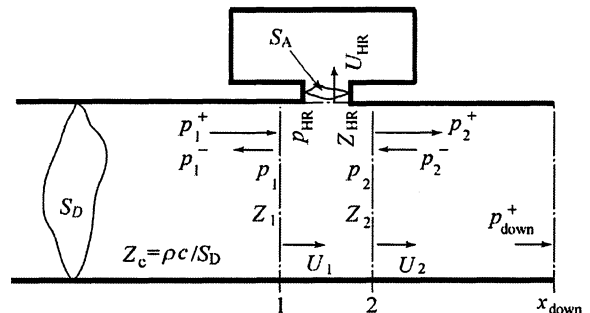


Fig. 1 Helmholtz resonator as a side branch

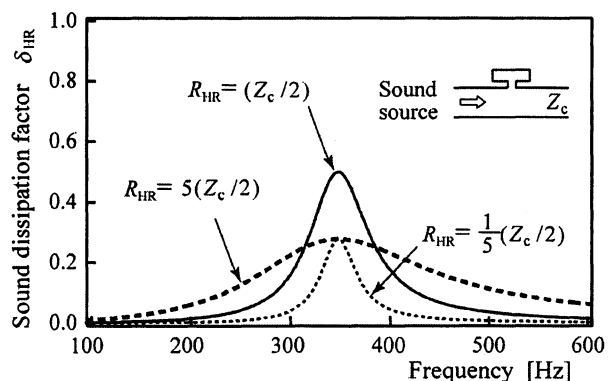


Fig. 2 Dissipation factor of a duct section with a resonator

* Sound control of duct systems by using Helmholtz resonator tuners, by TERA0, Michihito, SEKINE, Hidehisa, HATTORI, Yasufumi and SASAKI, Yuya (Kanagawa university).

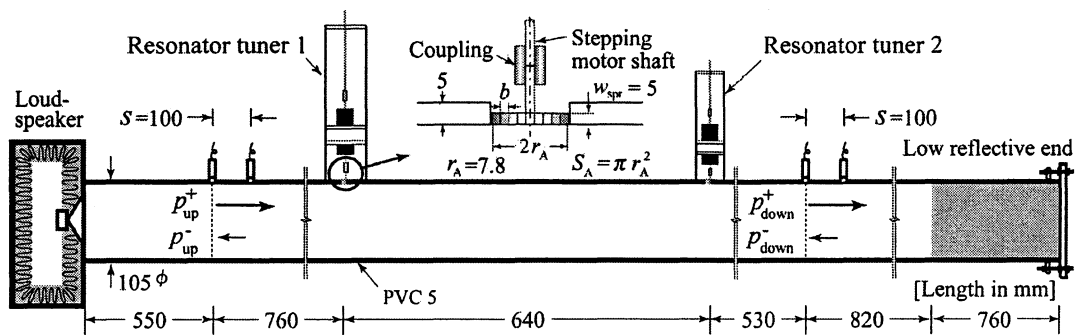


Fig. 3 Experimental setup for tuning resonators

3 共鳴器の制御パラメータ

ヘルムホルツ共鳴器の共鳴周波数 ω_{res} 及び共鳴の鋭さ Q は、共鳴器の容積 V_{cav} 、等価ネック長さ l_e (ネック長さ l_A と開口端付加質量補正長の和) で決定される。すなわち、

$$\omega_{res}/c = \sqrt{S_A / l_e V_{cav}} \quad (6a)$$

$$Q = \omega_{res} \rho l_e / r_{HR} \quad (6b)$$

S_A を可変にしつつ l_e または r_{HR} を可変にするような機構の実現は困難であり S_A は非可変とする。音響透過損失の低減を目的とするときは、 l_e を固定、 V_{cav} 及び r_{HR} を可変パラメータに選べば共鳴周波数 ω_{res} と共鳴の鋭さ Q を独立に制御できる。一方、音響消散を目的にするときには r_{HR} を抵抗整合値に固定するから l_e 及び V_{cav} が可変パラメータに選ばれる。

4 共鳴器チューニングの試行実験

前報^[1]に示した共鳴器チューナーを2体試作し基礎的な実験を行った。Fig. 3 に実験装置を示す。簡単のため低反射終端条件とし、透過波音圧スペクトル p_{down}^+ の測定は2位置マイクロホン法により行っている。

Fig. 4 は、150 Hz 及び 200 Hz 付近の2山の透過音スペクトルの低減のため共鳴器2体を設置するとして、それに対応するチューナーを取付けチューニング作業を行ったときの経緯である。 r_{HR} を最大 (理想的には無限大 = 剛壁) に設定して調整を開始した。 p_{down}^+ のピーク値はチューニングの進行につれて低減され、最終段階で各共鳴器単体の最大能力 (挿入損失については 6 dB、また、消散率については 0.5) を超える調整結果が得られている。

5 おわりに

ダクト系におけるヘルムホルツ共鳴器音響特性の最適化調整に必要な共鳴器チューナー

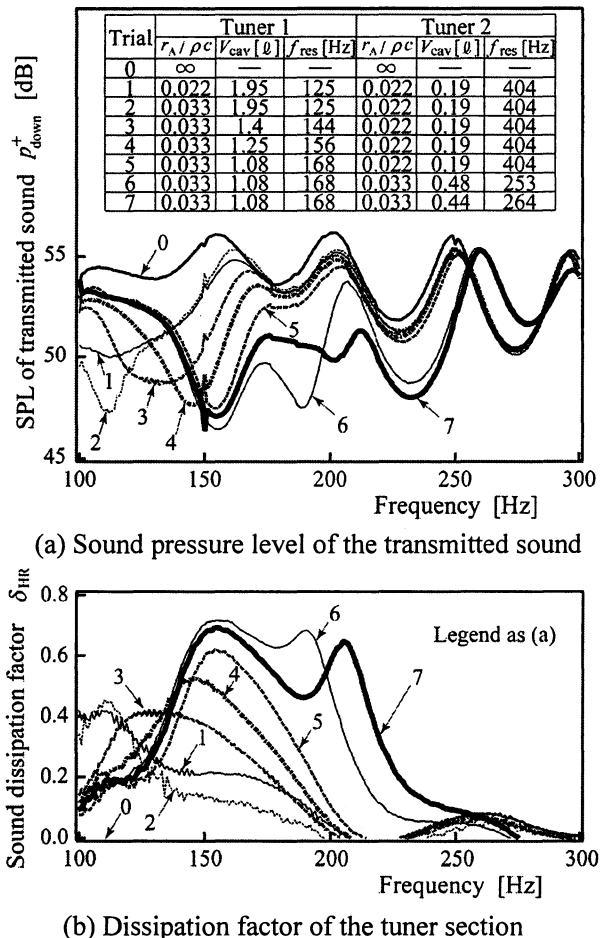


Fig. 4 Acoustic performance of the tuners for two resonators

を試作しその基本的有効性を確認した。多数の共鳴器に対応するためには調整作業の自動化が必要であり、その準備を進めている。

謝辞

本研究の一部は、平成 18 年度科研費補助金 (課題番号 18560583) による。深く感謝の意を表します。

参考文献

[1] 寺尾ほか, 音講論 (春), 815-816, 2007.