

## 2-4-13

### 空調ダクト騒音の能動的消音装置の研究 (その2)

～ マイクロホンの指向特性とホルダの形状について ～\*

伊藤 修一 田中 康信 (ダイダン (株))  
青木 雅夫 (青木応用音響 (有))

#### 1. はじめに

ダクト内伝搬騒音の能動的消音 (ANC=Active Noise Control) の制御性能の向上を図るため、筆者らはダクト内音響上の問題を実験により検討してきた。第1報では、大口径ダクト適用時における制御帯域の拡大を目的としたスピーカの設置方法の検討結果を報告した。

本報では、逆流音及びハウリングの対策を検討した結果、マイクロホンの指向特性、及びそれを収納するホルダの形状に一つの指針が見られたので報告する。なお、実験の概略図は図1、条件はまとめて表1に示すが、詳細は前報第3.節を参照されたい。

#### 2. ANCと逆流音・ハウリング

ダクト内伝搬騒音のANCはセンサマイク (Sen.Mic.) → スピーカ (Sp.) → エラーマイク (Err.Mic.) という方向性をもった一直線上の制御であるため、制御対象となる音場は一方の一次元であることが前提となる。なお、本報告では、騒音源側を上流、評価点側を下流とし、上流→下流方向を順方向、下流→上流方向を逆方向と定義する。

しかし、実際のダクト系では、下流側の屈曲部やダンパなどから逆流する音波があり、制御に無関係な音をErr.Mic.が検知する。また、Sp.から放射された消音音波は上流

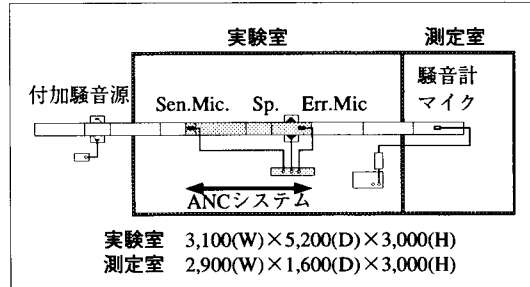


図1：実験概略図

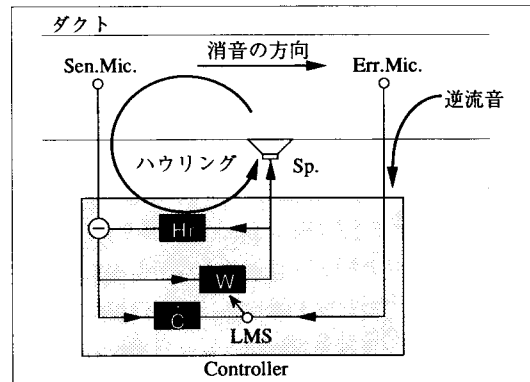


図2：ハウリングと逆流音

側にも伝搬しSen.Mic.に入力されハウリングが生じる。これら逆方向の伝搬音は制御悪化の原因となる。

表1：実験条件

	マイクロホンの指向特性	マイクロホルダの形状			
		インパルス応答の測定		制御	
装置寸法等	ダクトサイズ(d)	250×250[mm]	250×250[mm]	250×250[mm]	900×900[mm]
	Sen.Mic.-Sp.間距離(ls)	2,000[mm]	2,000[mm]	2,500[mm]	2,000[mm]
	Sp.-Err.Mic.間距離(le)	250[mm]	250[mm]	200[mm]	1,000[mm]
	Sp.設置個数(n)	2個	2個	2個	4個
	マイクロホン位置	ダクト中央	ダクト中央	ホルダ(A,B-1)	ホルダ(B-2,B-3,C)
付加騒音	White Noise 90[dB] (1,000[Hz] Low Pass)	Pink Noise 100[dB]			
制御	Sampling 周波数	3k[Hz]			12k[Hz]
	A/D,D/A Low Pass Filter	1.5k[Hz], 8次			5k[Hz], 8次
	Digital Filter tap 数	W=256, $\hat{C}$ · Hr=128			W=700, $\hat{C}$ · Hr=128

\*Active Noise Control System for Air-Conditioning Ducts Noise (Part 2)

Study on a Directivity of Microphone and Shape of the Holder

By Shuichi Itoh, Yasunobu Tanaka (DAI-DAN CO.,LTD.) and Masao Aoki (Aoki Applied Acoustics)

ハウリングによる制御悪化の防止として、図2に示すように、Hrフィルタを用いてハウリング成分を除去する方法が一般的に行なわれている。<sup>(1)(2)</sup>

### 3. マイクロホンの指向特性の検討

2.で述べた、逆方向伝搬音波による制御の悪化を防ぐには、マイクロホンが順方向の音波のみを検知すればよい。そこで筆者らは、マイクロホンの指向特性に注目し、単一指向性・無指向性、2種類のマイクロホンを用いた制御実験を行なった。

#### 3.1 実験

図1にあるように、250×250ダクトを実験室の壁を貫通して一直線になるように設置し、ダクト上流側に付加騒音源用スピーカ、実験室内にANCシステム、ダクトの下流側開口端に近いダクト内横断面中央に評価用騒音計のマイクロホンを設けた。付加騒音源よりWhite Noiseをダクト内に放射し、ANCシステムによる消音を行なった。寸法の詳細及び制御の詳細は表1にまとめてある。制御は図2に示すHrフィルタ有・無の2通り行なった。

なお、マイクロホンはダクト横断面中央に受音面が騒音源方向に向くようにして設置した。また、ダクト上・下流端からの開口端反射をなるべく少なくするため、両開口端に軟質ウレタンを900 [mm] ずつ充填した。

#### 3.2 結果

ANCシステムON時・OFF時の両方の音圧を測定し、FFTアナライザによる周波数分析を行なった。分析周波数レンジは1,000 [Hz]、ライン数は400とした。

Hrフィルタを用いない制御の結果を図3に示す。

無指向性マイクロホンを用いた場合、制御が発散したので発散直前のスペクトルを示した。この発散は83.5 [Hz] の奇数倍の周波数で起こっている。この83.5 [Hz] は、Sen.Mic. と Sp. の距離、2,000 [mm] を半波長とする周波数である。スピーカ放射音に含まれるこれらの周波数成分は、Sen.Mic. 位置に帰還してきたときにダクト内伝搬騒音と逆位相となり、弱め合うことになる。コントローラはSen.Mic. 入力に対してErr.Mic. 入力を小さくしようと制御するため、適応フィルタWの係数が大きく

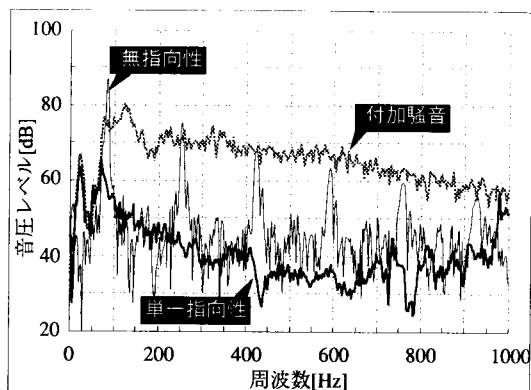


図3：マイクロホン指向特性と減音効果 (Hrフィルタ無し)

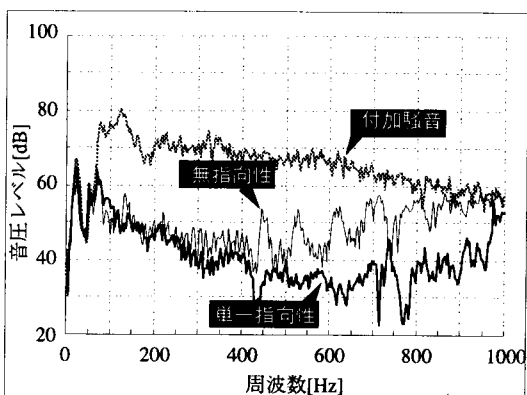


図4：マイクロホン指向特性と減音効果 (Hrフィルタ有り)

なり発散したものと考えられる。

一方、単一指向性マイクロホンの場合はHrフィルタを用いない制御でも良い制御結果が得られた。

図4には、Hrフィルタを用いた制御の結果を示す。無指向性マイクロホンの場合、400 [Hz] 以上の周波数で山谷が生じているのに対し、単一指向性マイクロホンの場合は制御後のスペクトルが平坦で、効果的な制御結果といえる。

以上より、単一指向性マイクロホンは、順方向伝搬音のみを検知し、効果的な制御が行なえることが分かった。

### 4. マイクホルダ形状の検討

マイクロホンは強い気流にさらされると雑音を拾うため、通常風速が5 [m/sec] 以上となるダクト内に暴露して設置することはできない。特に、単一指向性マイクロホンはその構造上気流による雑音を拾いやすいので、ダクト壁面設置型のホルダにマイクロホンを収納する方法を採用した。しかし、この方

法で制御を行なったところ、マイクロホンをダクト断面中央に設置した場合より制御の効果が悪化した。これは、マイクロホンをホルダ内に設置することにより、逆方向伝搬音がマイクロホンに回り込んだためと考えた。そこでマイクホルダの形状を検討した。

#### 4.1 インパルス応答の測定

マイクロホンがダクト内を伝搬する順方向の音波と逆方向の音波をどのように検知するか、Hrの経路となるSp.→Sen.Mic.のインパルス応答を測定した。

##### 4.1.1 測定方法

図5に示すホルダA,ホルダB-1を250×250ダクトに設置し測定を行なった。図6のように、M系列信号でSp.を駆動し、LMSアルゴリズムを用いてハウリングの経路となるX→Yに至るシステムをモデリングした。マイクロホンは単一指向性で、ホルダ内空間に充填された軟質ウレタンで受音面を騒音源方向に向け保持されている。

##### 4.1.2 測定結果

それぞれのマイク設置条件におけるハウリング経路のインパルス応答を図7に示す。なお、横軸の時間は統一してあるが、縦軸は時系列の特徴を明確にするため相対値として示した。直接音の大きさは逆方向の音波に対する感度を示し、反射音の大きさは順方向の音波に対する感度を示す。

Sp.からの直接音は約10[msec]、上流側開口で反射してくる反射音は約28[msec]後にSen.Mic.に到達している。

ダクト中央に無指向性マイクロホンを設置した場合(iv)には直接音が反射音より極端に大きいのに比べ、単一指向性マイクロホンを設置した場合(i)には距離減衰や反射による減衰を受けているはずの反射音の方が大きい。これは、マイクロホンの指向特性をよく表した結果となっており、単一指向性マイクロホンをを用いると逆方向伝搬音を検知されにくいことがわかる。

また、断面形状長方形のホルダA(iii)と断面形状二等辺三角形のホルダB-1(ii)のインパルス応答を比較すると、反射音の大きさが同程度なのに対し直接音はホルダB-1の方が大きくなっており、

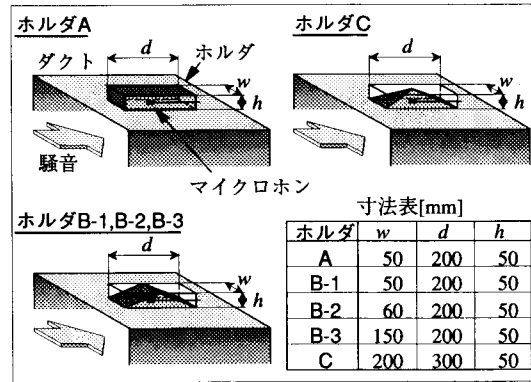


図5：マイクホルダ

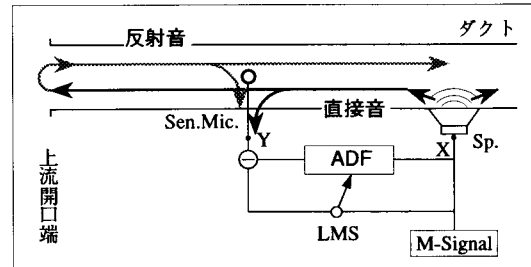


図6：インパルス応答の測定 (Sp. → Sen.Mic.)

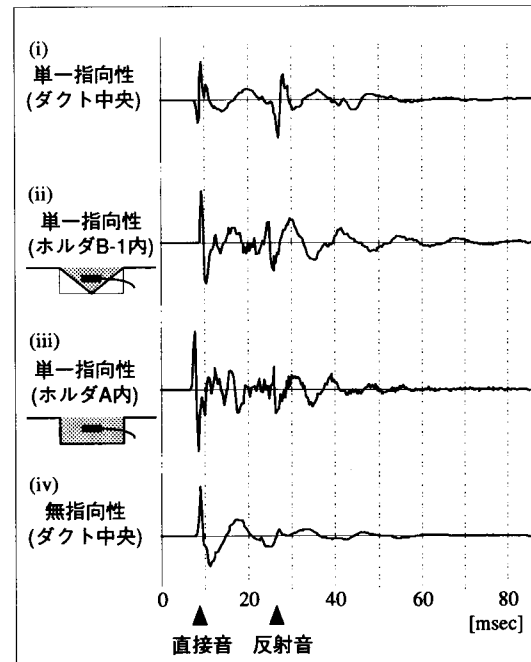


図7：Sp.→Sen.Mic.インパルス応答時系列表示

マイクロホンが持つ単一指向特性を活かす形状であるといえる。

以上より、単一指向性マイクロホンを壁面設置型のホルダに収納する場合、ホルダ壁面とダクト壁面のなす角を $180^\circ$ に近くすることでマイクロホンの指向特性を活かせることがわかった。

## 4.2 制御実験

4.1で測定対象としたホルダA,B-1を用いて250×250ダクトにおける制御実験を行なった。このときの減音効果を図8に示す。FFTアナライザによる周波数分析で得られたデータを、1/3オクターブバンドごとにエネルギー加算して1/3オクターブ音圧レベルとし、ANCシステムOFF時の値からON時の値を減算することで1/3オクターブ減音量とした。

200 [Hz] ,500 [Hz] における減音量は変わらないが、他の周波数では5～10 [dB] 程度ホルダB-1の減音量が大きい。4.1で述べた断面形状二等辺三角形のホルダが制御効果を改善していることが確かめられた。

## 4.3 大口径ダクトにおける実験

さらに、図5に示すB-2,B-3,C、3種類のホルダを900×900ダクトに設置して制御実験を行なった。ホルダB-2は断面形状二等辺三角形で幅が狭いもの(ホルダB-1とほぼ同形状)、ホルダB-3は断面形状二等辺三角形で幅が広いもの、ホルダCはダクト横断面方向にも傾斜を付けたピラミッド形状とした。なお、比較のためにマイクロホンをダクト断面中央に設置した場合の制御も行なった。

4.2と同じように1/3オクターブ減音量を算出した。その結果を図9に示す。なお、周波数分析のレンジは500 [Hz] である。

幅の狭いホルダB-2では、100～160 [Hz] で極端に減音量が悪化するものの、ホルダB-3、ホルダCではダクト中央の減音量とほとんど変わらない。63, 80 [Hz] で多少ホルダCの減音量が大きい。ダクト寸法が大きくなった場合、それに応じてホル

ダの幅も広くした方がよい結果が得られる。

以上より、ダクト口径の寸法が大きい場合には、ホルダの幅を広くする、もしくは断面方向にも傾斜をつけ、ピラミッド状のホルダとすることで大きな減音量を得られることがわかった。

## 5. まとめ

(1) 単一指向性のマイクロホンはハウリング現象の防止に効果がある。

(2) ダクト壁面設置型のホルダを用いる場合、ホルダ壁面とダクト壁面のなす角を180° に近くすることでマイクロホンの指向特性を活かすことができ大きな減音量を得ることができる。

(3) ダクト口径の寸法が大きい場合には、ホルダの幅を広くする、もしくは断面方向にも傾斜をつけ、ピラミッド状のホルダとすることで大きな減音量を得ることができる。

### <謝辞>

マイクロホンホルダの形状の検討に当たりご指導を頂いた、九州芸術工科大学、藤原教授に感謝いたします。

### <参考文献>

- (1) 鈴木・林「アクティブノイズコントロールにおけるハウリングキャンセラの効果に対する考察」日本機械学会講演論文集、1992/9
- (2) 鈴木・林「ハウリングキャンセラ機能のある適応制御アクティブノイズコントロールの騒音低減効果に関する考察」日本機械学会論文集、1994/1

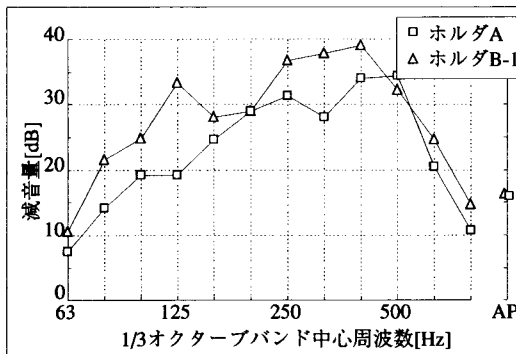


図8：マイクロホンホルダ形状と減音量(250×250)

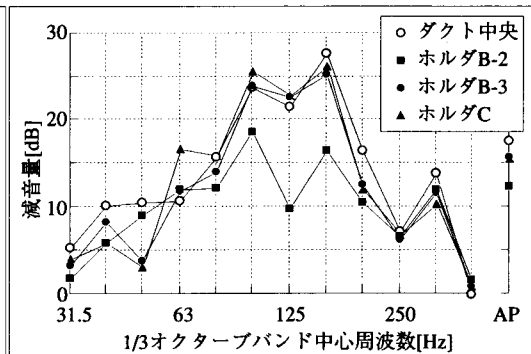


図9：マイクロホンホルダ形状と減音量(900×900)