

## 直角エルボにおける音響エネルギーの流れについて

○正会員 寺尾道仁\*  
正会員 関根秀久\*\*

1. 序 低周波数域の騒音低減要素として多用される直角エルボ近傍の音の流れについて、ダクト深さ方向に一樣の二次元音場、またダクトは剛壁、上流音源端は一樣軸方向外力、下流は無反射端の条件で調べた。

2. 方法 エルボ近傍各点のネットインテンシティ、主方向ベクトル  $I_{TM}$  を数値計算により算出した。ここでは、ネットインテンシティは通常のペアマイクロホンで求めたインテンシティで、ある点の両面方向にたいし、多方向から到来する音波の合成インテンシティの時間平均値をいい、また、主方向ベクトルはそのうち強さが最大となる面方向のものをいう。

まず、各点の音圧の数値計算は、有限要素法により、要素分割はダクト幅を  $W$  として  $W/8$  の寸法の 2 次の四辺形要素を用いフロント法アルゴリズムで実行した。

つぎに、この音圧を用い、各点についてそれぞれ 2 つの面方向のネットインテンシティ  $I_{Ti}$  を式(1)のクロススペクトル法により求め、式(2)により主方向ベクトル  $I_{TM}$  を計算した。<sup>2), 3)</sup> すなわち、2 つの面方向にたいする量を添字  $i=1, 2$  で示せば、それぞれ  $i$  の方向のネットインテンシティの符号を含めた大きさを  $I_{Ti}$  は、

$$I_{Ti} = -\rho_m \{ P_i^* P_o / 2 \} / (2\pi P R_{Li}) \quad (1)$$

ただし、 $\rho$ : 媒質密度、 $\omega$ : 角周波数、 $P_o, P_i$ : それぞれ対象点およびこの点から音の測定面方向に距離  $R_{Li}$  (主に  $W/8$ ) だけ離れた点の複素音圧振幅、また、添記号(\*)は共役複素数をとることを意味する。

また、主方向ベクトル  $I_{TM}$  の大きさを  $I_{TM}$  と向き  $\theta_{M1}$  は、

$$\left. \begin{aligned} I_{TM} &= (I_{T1}^2 - 2 I_{T1} I_{T2} \cos \theta_{12} + I_{T2}^2) / \sin \theta_{12} \\ \cos \theta_{M1} &= I_{T1} / I_{TM} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 $\theta_{12}, \theta_{M1}$ : それぞれ測定面 1 の向きを基準とする測定面 2 および主方向ベクトルの向きのなす角了。

結果 図 1 に  $I_{TM}$  の分布図を示す。以下では簡単のため、順に a) 内丸、b) 外丸、c) 両角、d) 内丸と略称する。それぞれ無次元波数  $k = kW/\pi = W/(\lambda/2)$ 、(ここで  $k$ : 波長定数、 $\lambda$ : 波長) について代表的な

結果のみ挙げる。なお、表 1 にこの数値計算によるエネルギー反射率  $r$  (透過率は  $1-r$ ) の主なものを示したが、物理実験結果<sup>4)</sup>と良く一致したものとなる。

平面波限界波数以下の波数域  $k \leq 1$  では、軸方向波が支配的である。とくに  $k \leq 0.5$  では内回り経路の  $I_{TM}$  が外回りのそれと比べ強い。回折による透過が大きくなり反射率は小さいが、反射率の形状による差は断面変化の違いからくるものとみられる。

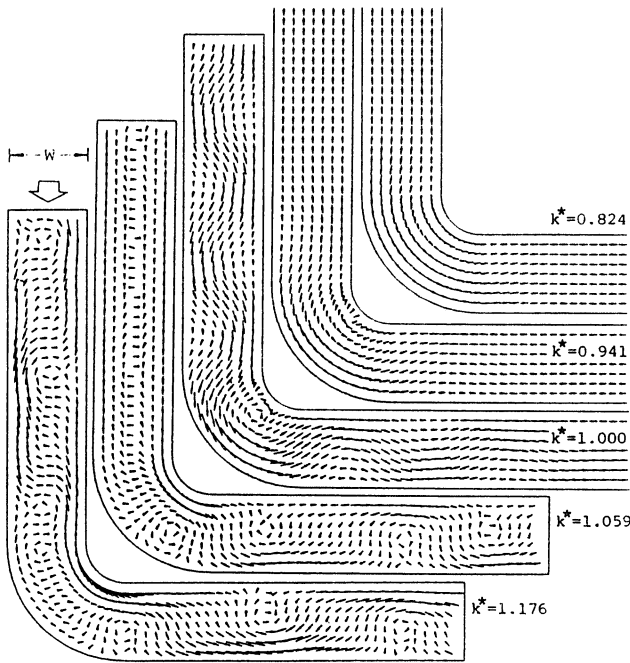
$0.5 < k < 1$  では、次第に直進性が強まるため外回りの  $I_{TM}$  が大きくなり、外回りダクトの曲率の有意により反射率などが全く異なる。外丸と内丸が  $k \approx 1$  まで外回り壁面に沿って平行に透過してゆくのにたいして、両角と内丸では  $k \approx 0.5$  ( $\lambda/4 \approx W$ ) よりやや高い波数から、外回りダクトより  $\lambda/4$  (音圧ノード点) 位置を中心とする  $I_{TM}$  の渦が出現し、反射率が急増する。これは渦中心が曲り部中心に達する ( $\lambda/4 \approx W/2$ )、 $k \approx 1$  までの波数域における反射率を支配する。ただし、この波数域は、両角に比べ内丸の方が曲り部すばやくため、より低波数側にシフトしている。

$k$  がより高くなると、渦の回転方向が逆転するところがある。これは軸方向波に比べ断面方向波が支配力を増す(平面波限界)ことを示すものとみられる。さらに  $k \approx 1.1$  より高波数になると、とくに下流ダクトでは、いずれのエルボでもエルボのない場合の直管(図 2 参照)と分布が一致する傾向がみられる。

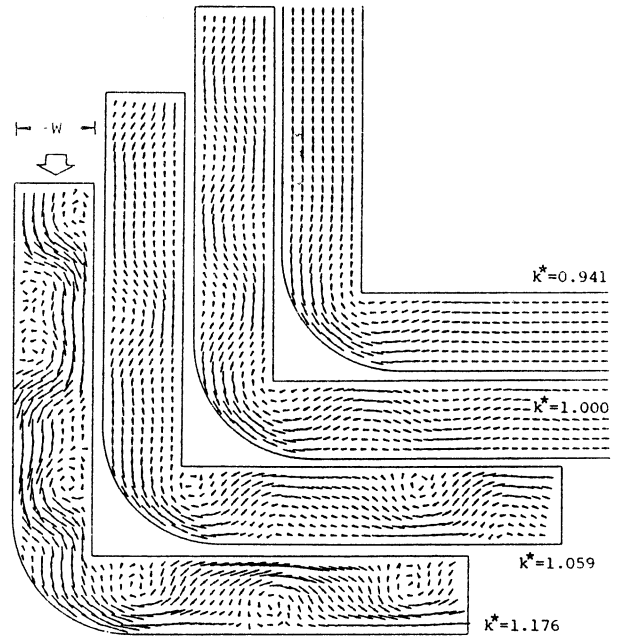
以上の事柄、とくに  $k \geq 1$  の波数域のそれについてより詳しく調べるためには、軸、断面両方向それぞれ順、逆進行波のインテンシティを分離検出する必要がある。これについては、現在その方法<sup>3)</sup>に関して検討を進めているところである。

## 参考文献

- 1) 寺尾、関根 : 日本建築学会大会学術講演梗概集, 58, 9.
- 2) 寺尾、関根 : 日本音響学会講演論文集, 59, 3.
- 3) 寺尾、関根 : 日本建築学会建築環境工学論文集, 第 6 号, 発表会資料, 59, 6.
- 4) 寺尾、内田 : 日本建築学会建築環境工学論文集, 第 4 号, 57, 11.



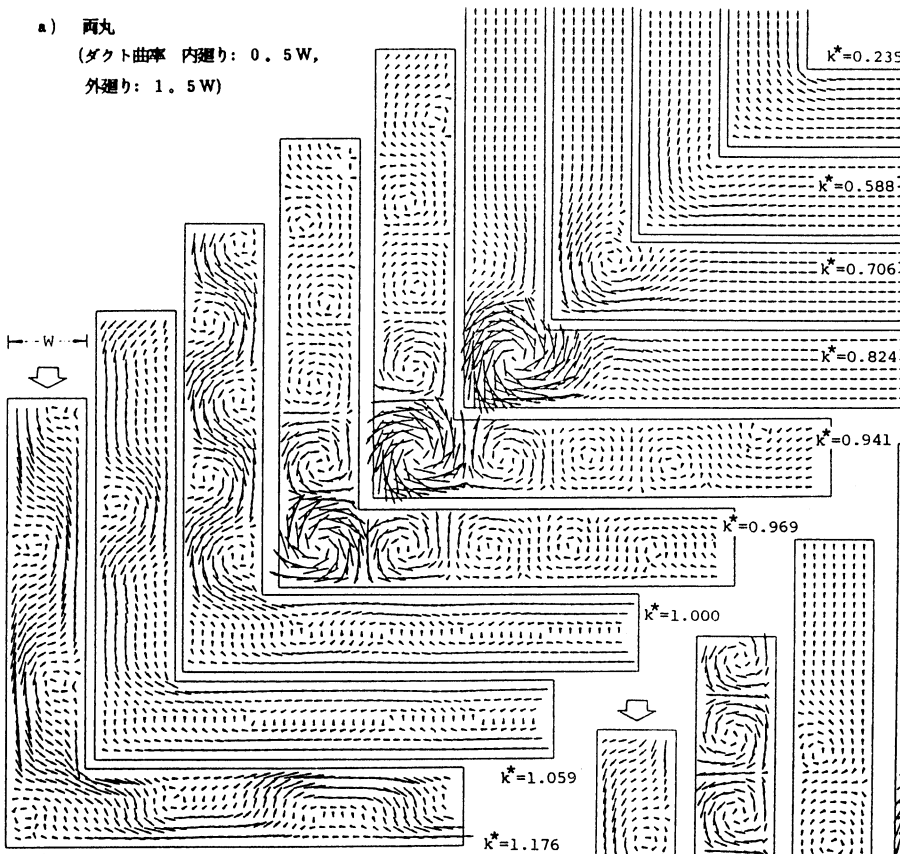
a) 両丸  
(ダクト曲率 内廻り: 0.5W,  
外廻り: 1.5W)



b) 外丸  
(ダクト曲率 内廻り: 0, 外廻り: 1.5W)

表 1 反射率 r

$k^*$	内丸	両角	外丸	両丸
0.235	0.07	0.03	0.00	0.00
0.353	0.15	0.08	0.01	0.00
0.471	0.27	0.18	0.01	0.00
0.588	0.47	0.36	0.01	0.00
0.706	0.79	0.66	0.01	0.00
0.824	1.00	0.93	0.00	0.00
0.882	0.99	0.99	—	—
0.941	0.96	1.00	0.00	0.00
0.969	0.94	1.00	—	—
1.000	0.88	0.99	0.01	0.01



c) 両角 (ダクト曲率 内廻り: 0, 外廻り: 0)

図 1 直角エルボのネットインテンシティ主方向ベクトル  $I_{TM}$  の分布  
(ダクト幅: W)

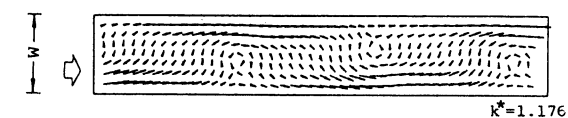
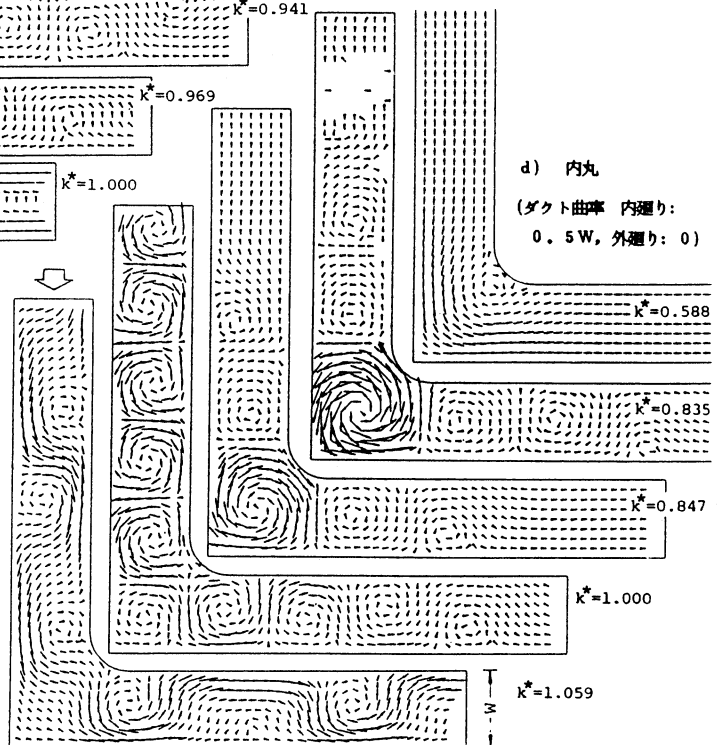


図 2 直管ダクトのネットインテンシティ主方向ベクトル  $I_{TM}$  の分布  
(音源端: 不均一入力, 下流側: 無反射端)



d) 内丸  
(ダクト曲率 内廻り:  
0.5W, 外廻り: 0)