

研究背景と目的

測定部が開放型の音響風洞では、エッジトーンを音源とした流力自励音が問題となることがある
 エッジトーンと管路の共鳴音が連成した音

研究目的

エッジトーンのモデル化

→ 自励振動を含んだダクトの解析が可能

本研究ではエッジトーンのモデルをもっとも簡単な次元単極子音源と仮定する

【課題】音源位置の特定

散乱マトリックス法

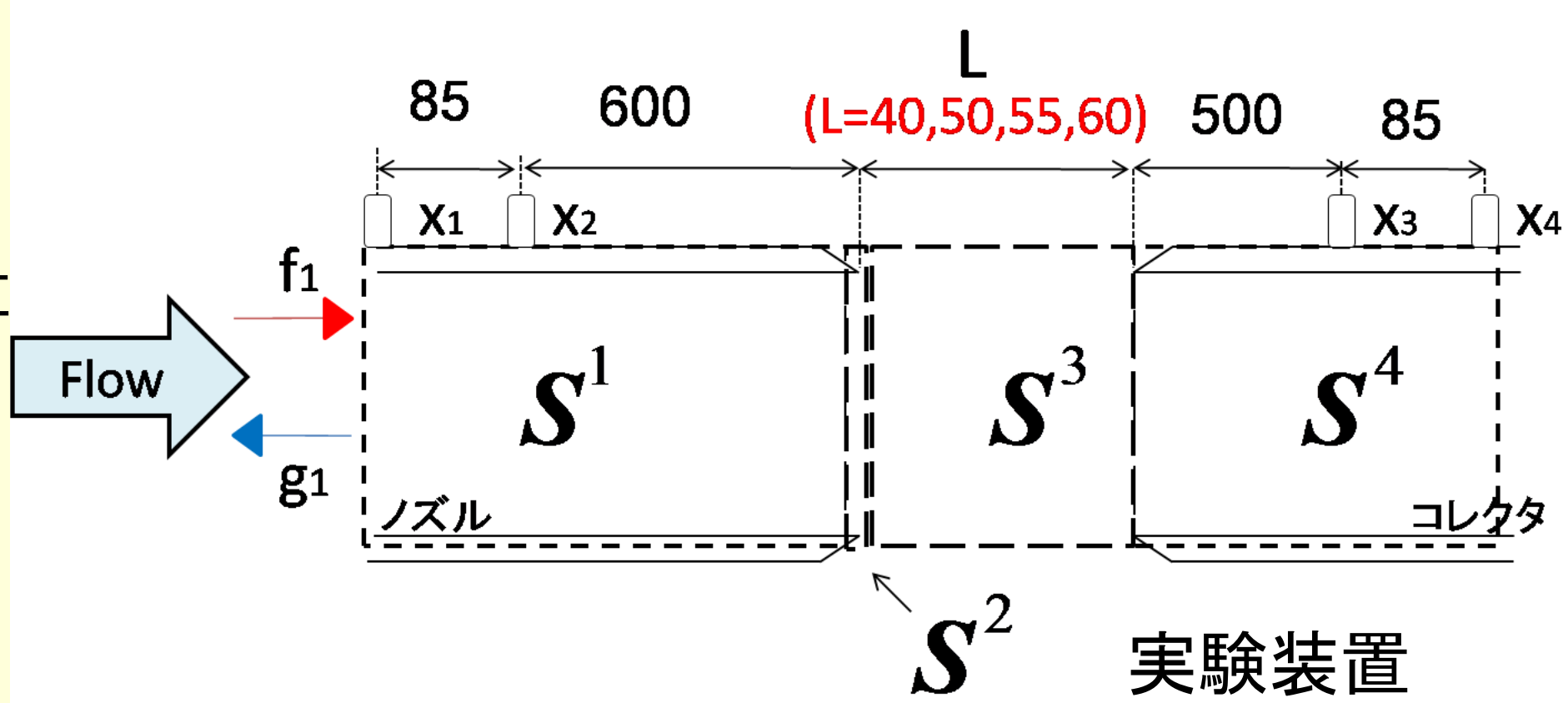
管路内を伝播する一次元の平面波を管路要素の境界における右向き進行波 f と左向き進行波 g に分け、要素毎に繋いでいく手法

$$f = \frac{1}{2} \left(\frac{p}{\rho c} + u \right) \quad g = \frac{1}{2} \left(\frac{p}{\rho c} - u \right)$$

で表せるリーマン不変量

p : 音圧 u : 粒子速度

ρ : 密度 c : 音速



$$\begin{bmatrix} f_{i+1} \\ g_i \end{bmatrix} = [S^i] \begin{bmatrix} f_i \\ g_{i+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_s \\ g_s \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

S^1, S^4 : 直管部要素
 S^2 : ノズル縁部要素 S^3 : 開口部要素

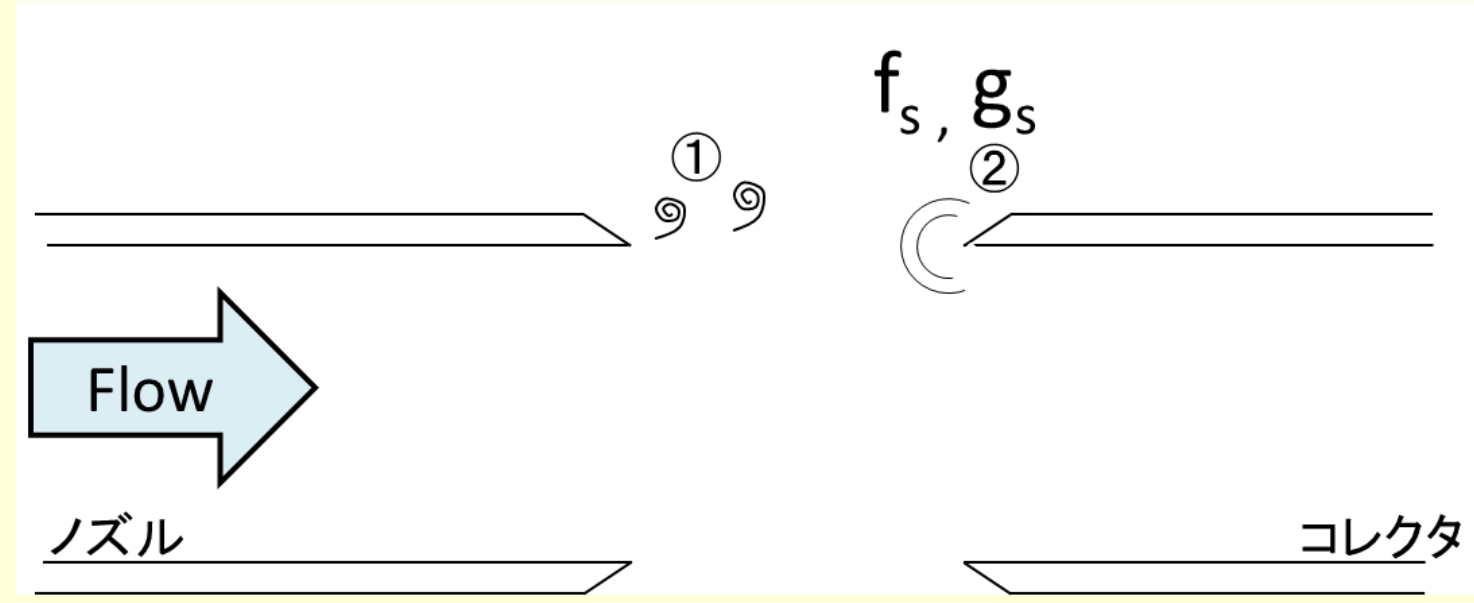
式(1)を用いて要素毎の左右進行波 f, g を繋いでいく

エッジトーンの扱い方

①ノズル縁部で流れが剥離し、渦が発生。

②発生した渦がコレクタのエッジに衝突し音波が発生。

①, ②のループで増幅されて発生したエッジトーンを f_s, g_s で表す。

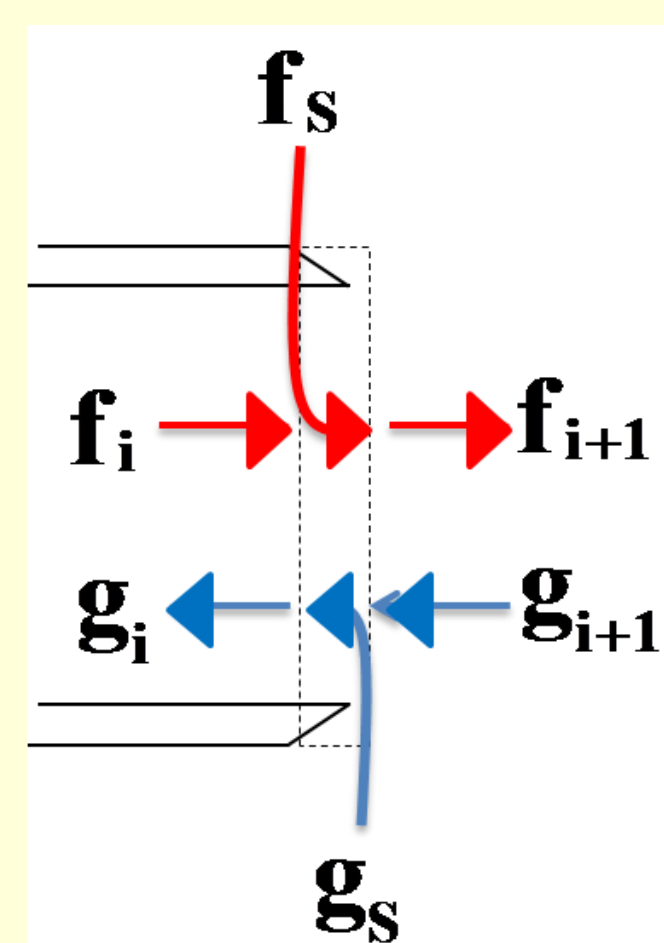


f_s, g_s の求め方

ノズル縁部要素にエッジトーンの仮の音源があるととして f_s, g_s を付加する
 (ノズル縁部要素は厚さのないものとする)

$$\begin{bmatrix} f_s \\ g_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{i+1} - f_i \\ g_i - g_{i+1} \end{bmatrix}$$

($f_i, g_i, f_{i+1}, g_{i+1}$ は既知) ノズル縁部要素の拡大図



音源位置の求め方

①と②の各励振成分は、散乱マトリックス法より

$$\begin{bmatrix} \hat{f}_s \\ \hat{g}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \exp(-ika) & 0 \\ 0 & \exp(-ika) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_s \\ g_s \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

結べると考える。 k : 波数

(2)より

$$\hat{f}_s = f_s \exp(-ika) \quad \hat{g}_s = g_s \exp(ika)$$

$$\hat{g}_s \text{ から } \hat{f}_s \text{ をわると } \frac{\hat{f}_s}{\hat{g}_s} = \frac{f_s}{g_s} \exp(-2ika) \quad \dots (3)$$

実際の音源位置 = 単極子音源
 波の大きさが同じで同位相

$$\text{式(3)右辺} = \frac{f_s}{g_s} \exp(i\Delta\theta) \exp(-2ika)$$

$$\text{式(3)左辺} = \frac{\hat{f}_s}{\hat{g}_s} \exp(0) = 1$$

$$|f_s|/|g_s| \approx 1 \text{ とすると } = \exp(i\Delta\theta) \exp(-2ika)$$

($\Delta\theta$: f_s から g_s の位相を引いた値)

$$1 = \exp[i(\Delta\theta - 2ka)] \Rightarrow \Delta\theta - 2ka = 0$$

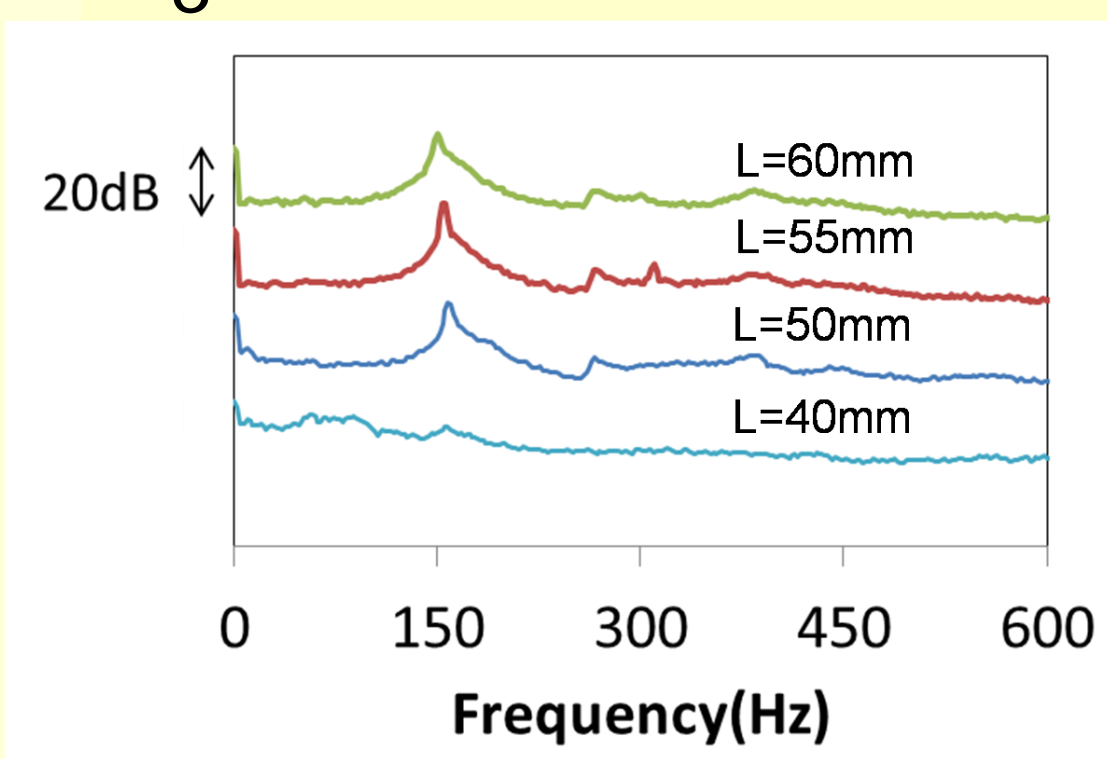
ノズル縁部から実際の音源位置までの距離 a は

$$a = \Delta\theta / 2k$$

$\Delta\theta > 0$ で実際の音源位置が空間部のどこにあるか評価可能

X_3 で計測した音圧の周波数特性

試験結果



156Hz付近に顕著なピークが見られる

エッジトーンの周波数は約156Hzと考える

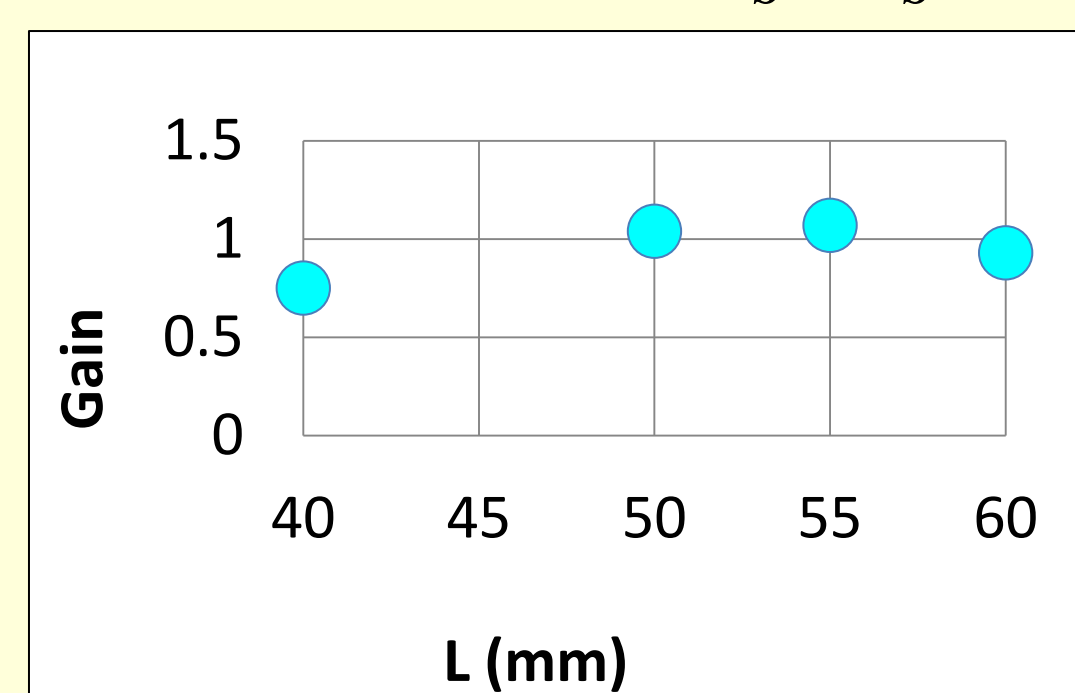
音源位置 a の導出結果

L (mm)	40	50	55	60
a (mm)	21	32	35	45
L-a (mm)	19	18	20	15

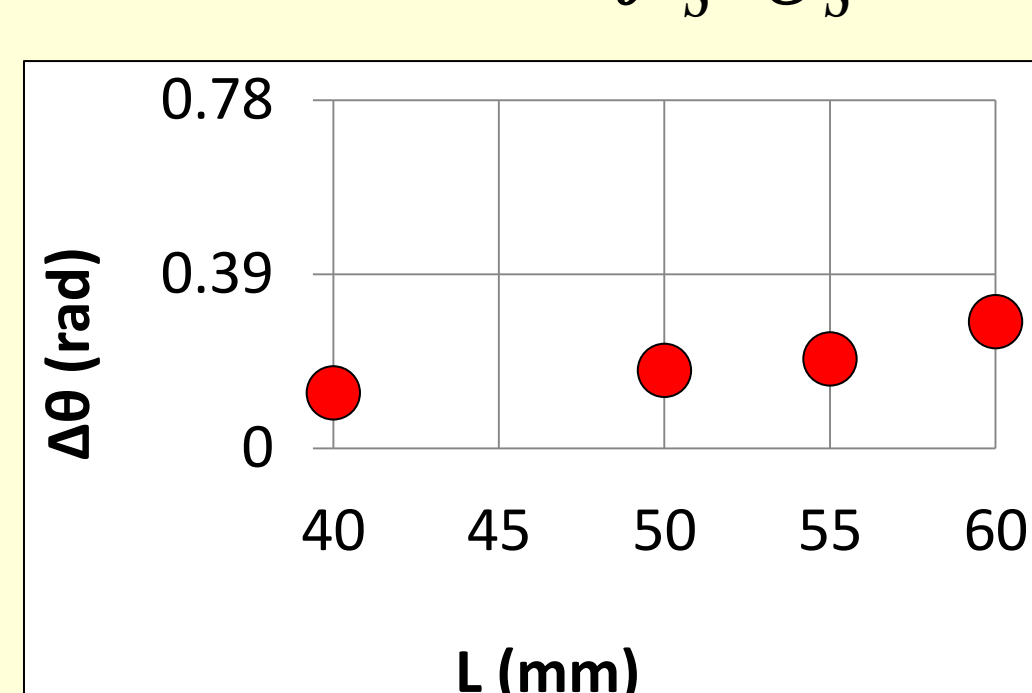
エッジトーンの周波数の f_s, g_s 大きさの比と位相差

大きさの比 (f_s/g_s)

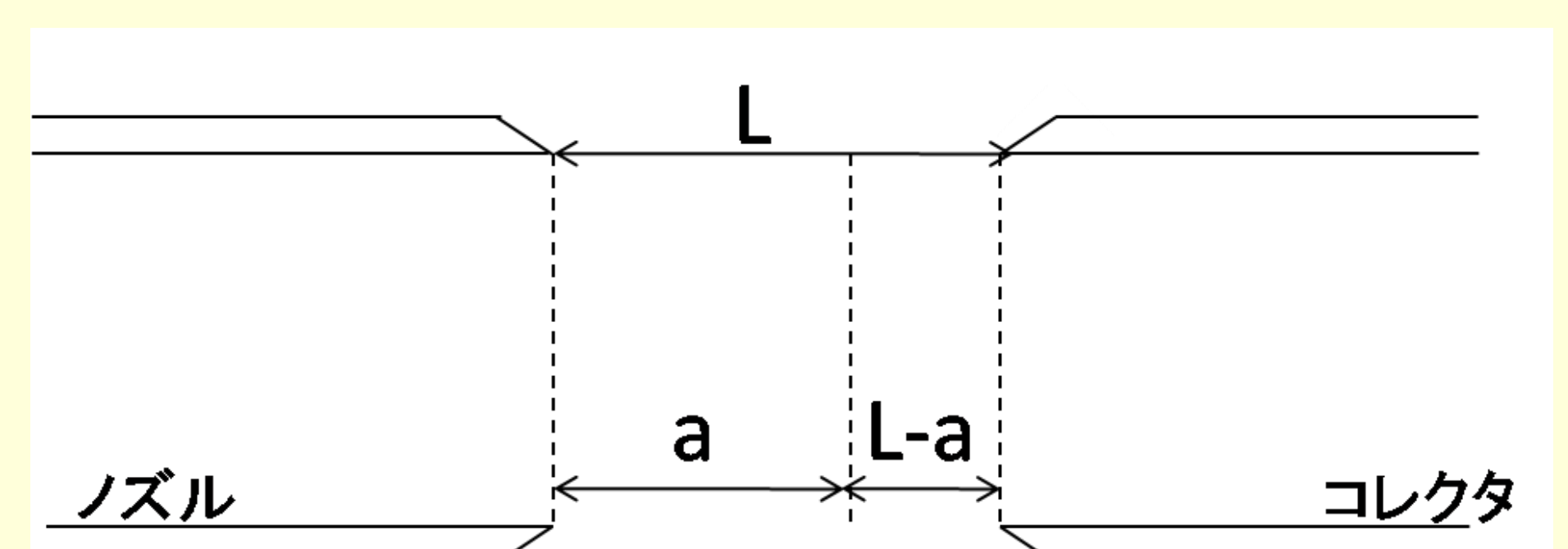
位相差 ($f_s - g_s$)



$$|f_s|/|g_s| \approx 1$$



$$\Delta\theta > 0$$



各Lによらず、L-aの値が、ほぼ一定

結言

一次元単極子音源とみなせる音源位置はエッジ間距離によらず、空間部のほぼ一定の位置に存在する