

一様流を伴う矩形ダクト内音場（一面がインピーダンス壁の場合）

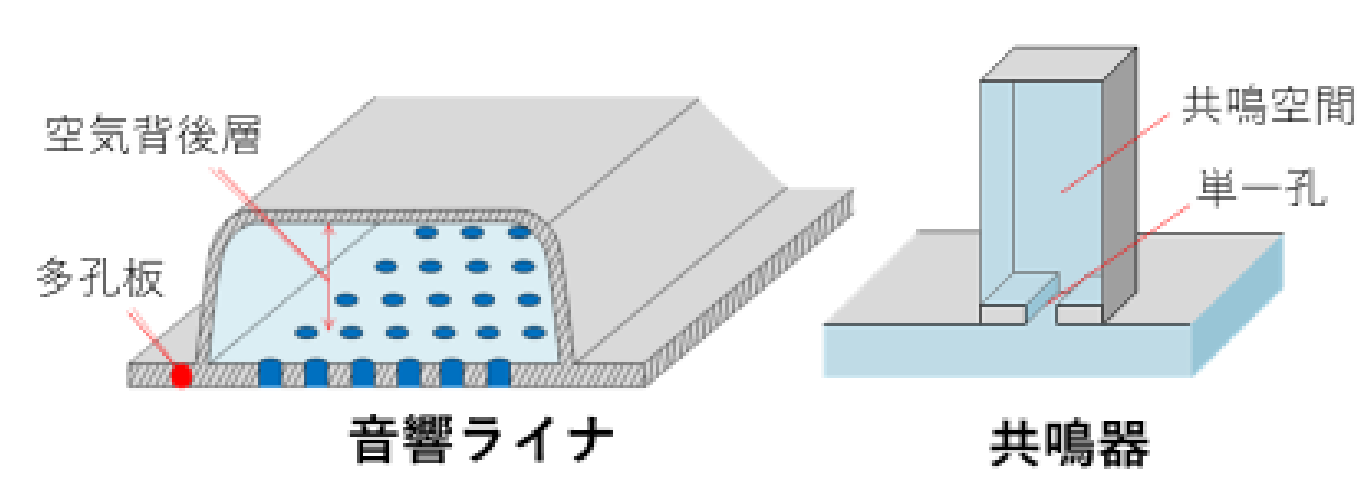
研究背景

輸送機器(航空機等)や家電機器(エアコン等)の高速化・高性能化

騒音の問題が顕著

騒音低減のために**吸音材**の研究・開発が進められる

吸音材の一例



吸音材の評価

無次元比音響インピーダンス ζ

$$\zeta = \frac{1}{\rho c u} p = \theta + i\chi$$

θ : レジスタンス, χ :リアクタンス
 ρ : 媒質密度, c : 媒質内の音速
 p : 音圧, u : 粒子速度

インピーダンス計測の変遷

伝達関数を用いた計測法

流れの影響で音響インピーダンスがうまく計測できない場合有

伝播定数を用いる方法にシフト

直接法 (Jing et al., 2008)

計測点(マイクロホン)が多量必要、計算が複雑

簡略化

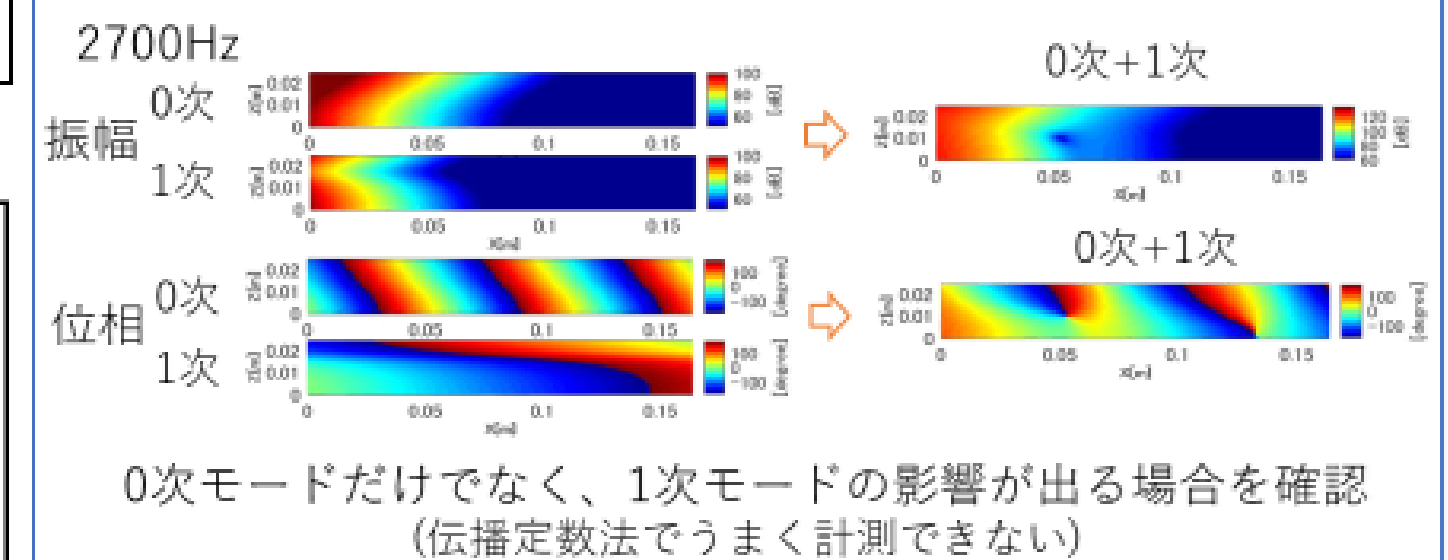
- ・単一モード(0次モード)の音波のみ伝播
- ・流れは一様流
- ・計測点(マイクロホン)は4つ

伝播定数法の提唱 (白神大貴, 2018)

音響解析による流れなしの検討 (宮下圭介, 2019)

本研究

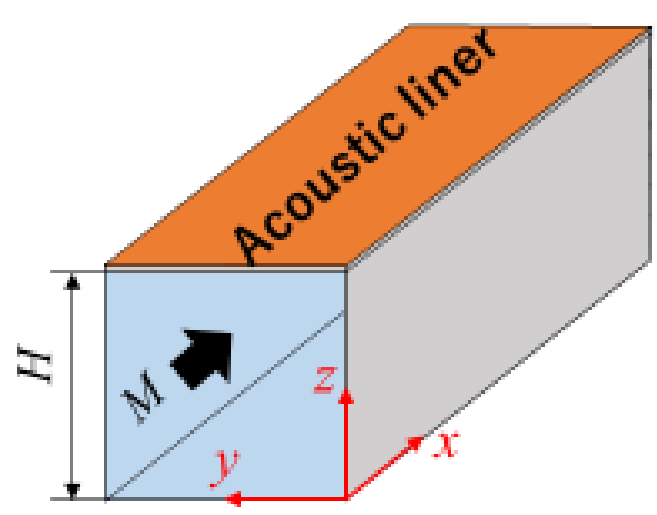
一様流有, 吸音壁を変更した際の1次モードの影響の調査



問題設定と方程式

問題設定

- ・一面が吸音壁、他三面が剛壁であるダクトを想定
- ・ダクト長手方向にx軸, 吸音壁に垂直な方向にz軸
- ・ $z=H$ が吸音壁
- ・ダクト長手方向に一様流を仮定



固有方程式

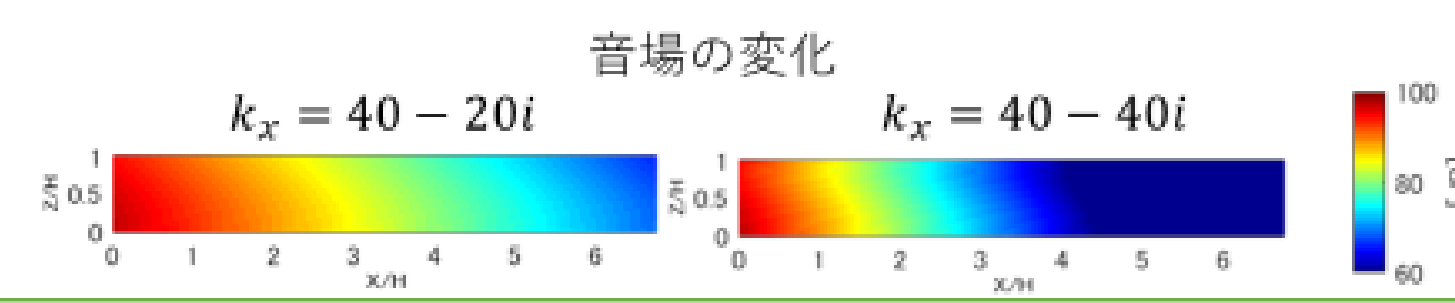
$$\zeta = -\frac{k}{k_{zn}} \left[\frac{1}{1-M^2} \left\{ 1-M \sqrt{1-(1-M^2) \left(\frac{k_{zn}}{k} \right)^2} \right\} \right]^2 \frac{1}{\tanh \left(i \frac{k_{zn}}{k} kH \right)}$$

分散関係式

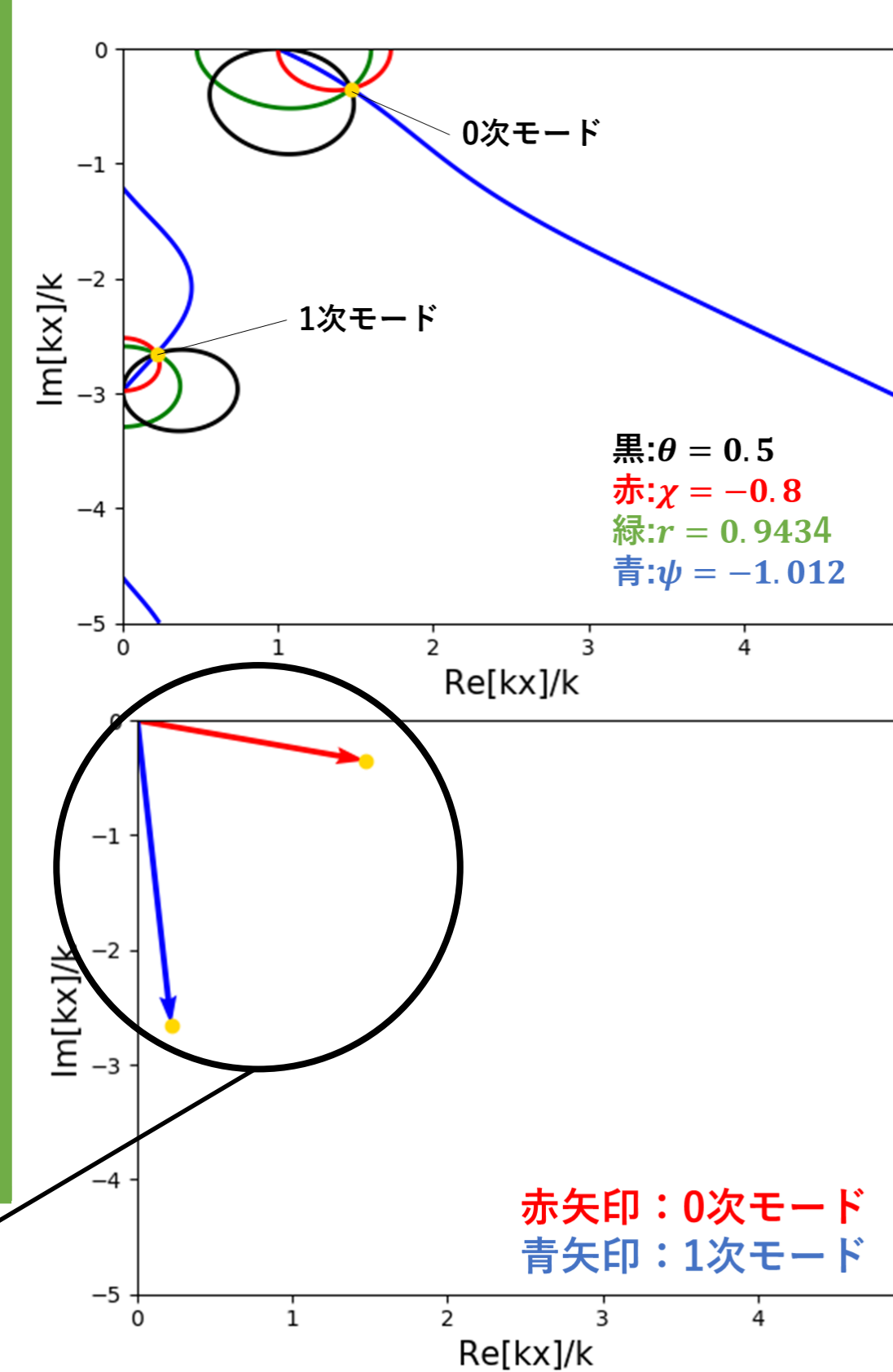
$$\frac{k_{zn}}{k} = \sqrt{1 - 2M \frac{k_{xn}}{k} - (1-M^2) \frac{k_{zn}^2}{k^2}}$$

ζ : 音響インピーダンス k : 波数 n : モード次数
 赤: 与える変数 青: 求める未知数

±x軸方向伝播定数 k_x 音圧 $p = e^{-ik_x x} (e^{-ik_z z} + e^{ik_z z})$
 複素数で表される
 $\text{Re}[k_x]$... 音の伝播方向を表し、値の正負で伝播方向が異なる
 $\text{Im}[k_x]$... 音の増減を表し、実部と同符号だと増幅、異符号だと減衰



伝播定数について



横軸を $\text{Re}[k_x]/k$, 縦軸を $\text{Im}[k_x]/k$ としてメッシュを区切る

区切った k_x/k に対し、 $\theta = f\left(\frac{k_x}{k}, M, kH\right)$ を計算する

求めたいインピーダンス $\zeta_0 = \theta_0 + i\chi_0 = r_0 e^{i\psi_0}$ を与える

$\theta = \theta_0$ となる等高線を描く

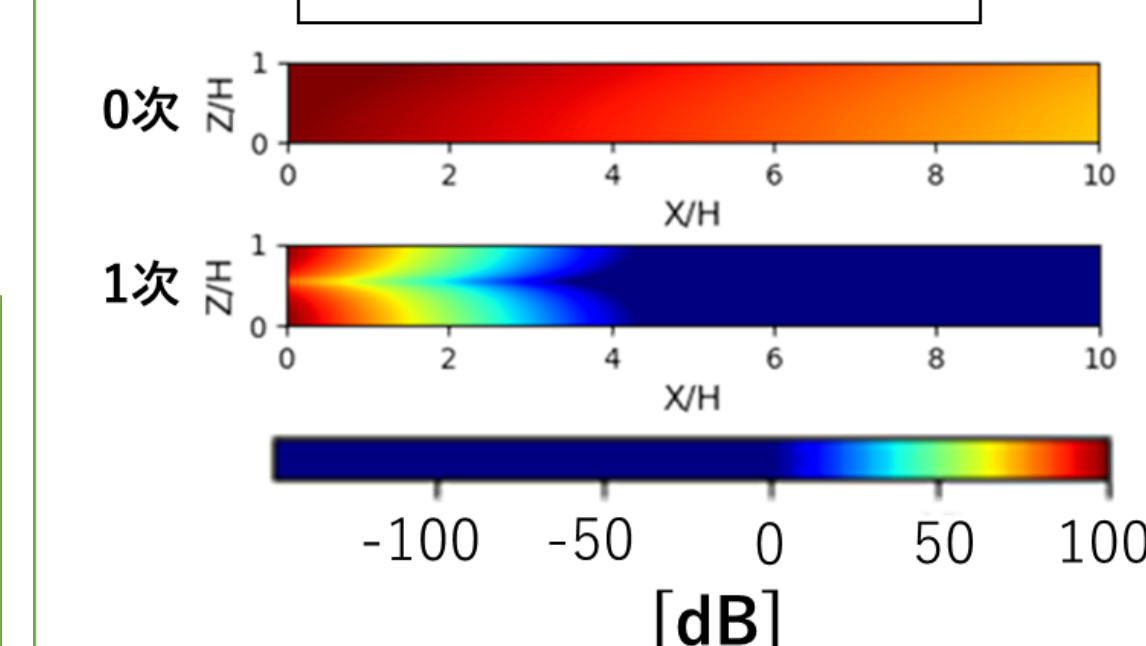
χ, r, ψ についても、 θ と同様に等高線を求める

等高線の交点が、 $\zeta_0 = \theta_0 + i\chi_0$ での k_x/k となる

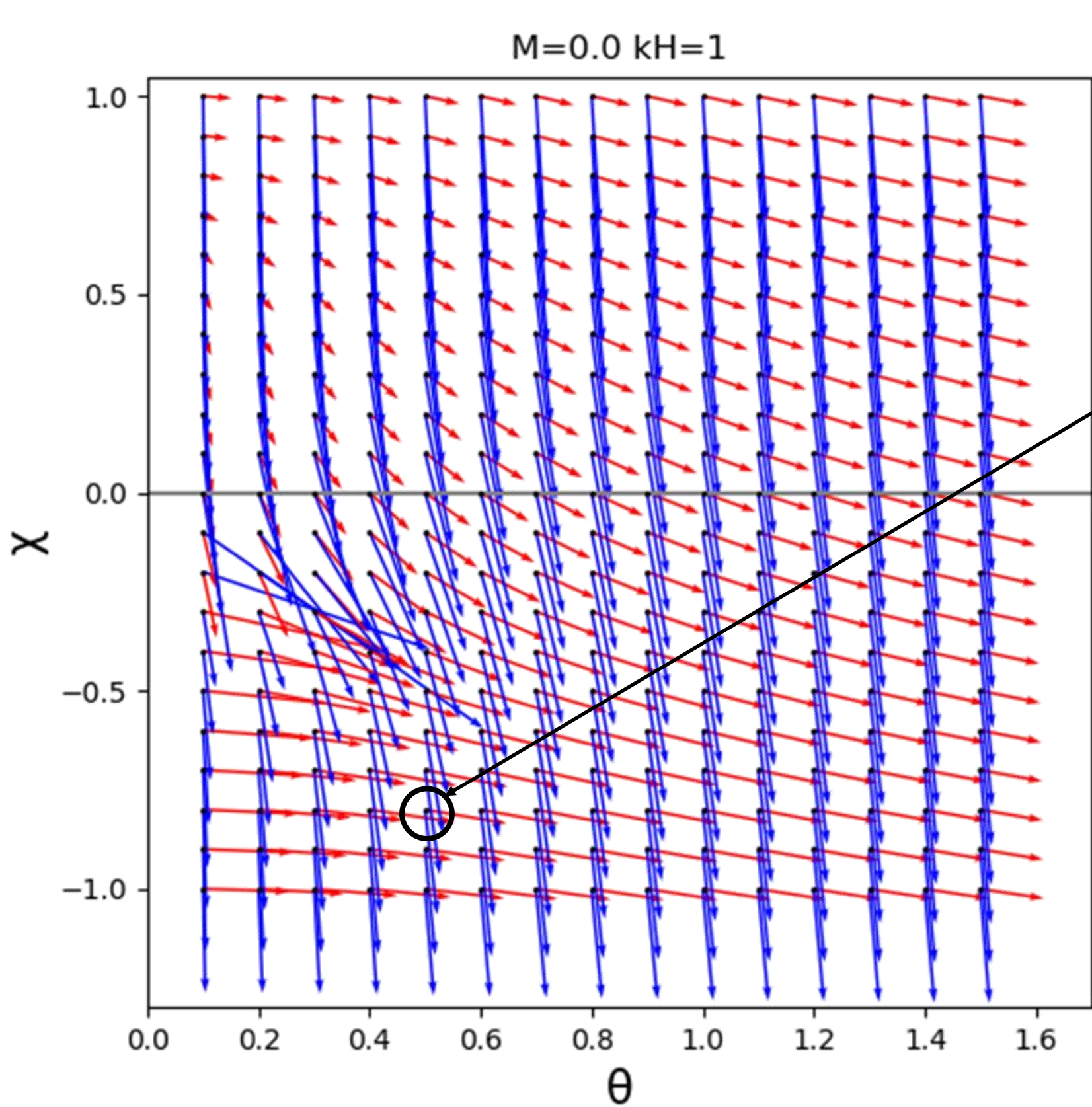
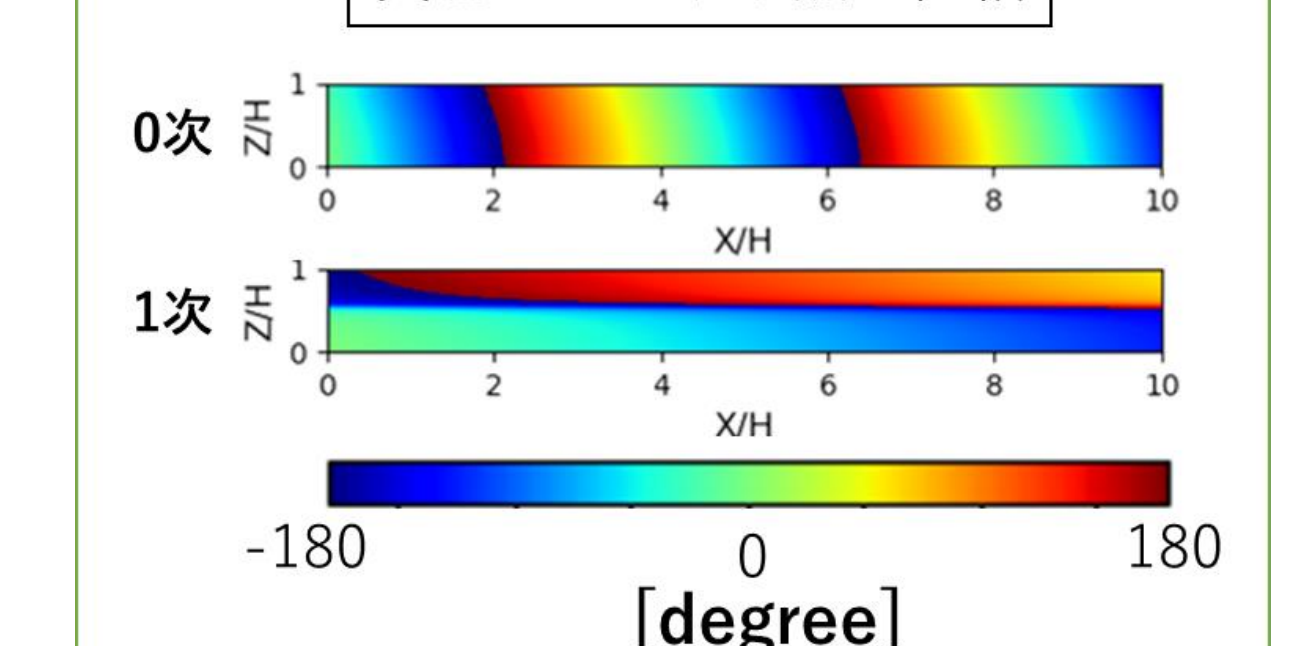
$$\left(r = \sqrt{\theta^2 + \chi^2}, \psi = \tan^{-1} \left(\frac{\chi}{\theta} \right) \right)$$

黄色のプロット点... k_x

黄色のプロット点の振幅



黄色のプロット点の位相



この点に対応
他のインピーダンスも同様に計算

範囲と刻み幅

$$0.1 \leq \theta \leq 1.5, \Delta\theta = 0.1$$

$$-1 \leq \chi \leq 1, \Delta\chi = 0.1$$

1次モードの影響が出る条件

$$\frac{\text{Im}[k_{x1}]}{\text{Im}[k_{x0}]} \leq 5$$

(青矢印の縦方向の長さ/赤矢印の縦方向の長さ)

1次モードの影響が出る領域

M, kH を変えて検討

結言

一様流存在下におけるダクト内音場の0次モードと1次モードの減衰量を調査

$\frac{\text{Im}[k_{x1}]}{\text{Im}[k_{x0}]} \leq 5$ となる(1次モードの影響がある) $\theta - \chi$ の領域について

- M が増加 ... 領域は縮小
中心の θ は減少し、 χ は増加する
- kH が増加 ... 領域が拡大
(高周波数の音であるほど1次モードの影響が大きい)

伝播定数法において1次モードの影響を受ける $\theta - \chi$ の領域は一様流の増加に伴って小さくなる

(ただし一部領域においては一様流の増加に伴い1次モードによる影響が出る可能性がある)

