

インピーダンス壁を持つ矩形ダクト内における 一様流流速による音響伝播定数の変化

生体システム解析学研究室 前田空龍(2022年度卒)

研究概要

課題：流れを伴うダクトの吸音予測

指標：無次元比音響インピーダンス (ζ)

$$\zeta = \frac{1}{\rho c} \frac{p}{u}$$

ρ : 気体密度 c : 音速
 p : 音圧 u : 粒子速度

音響インピーダンス予測



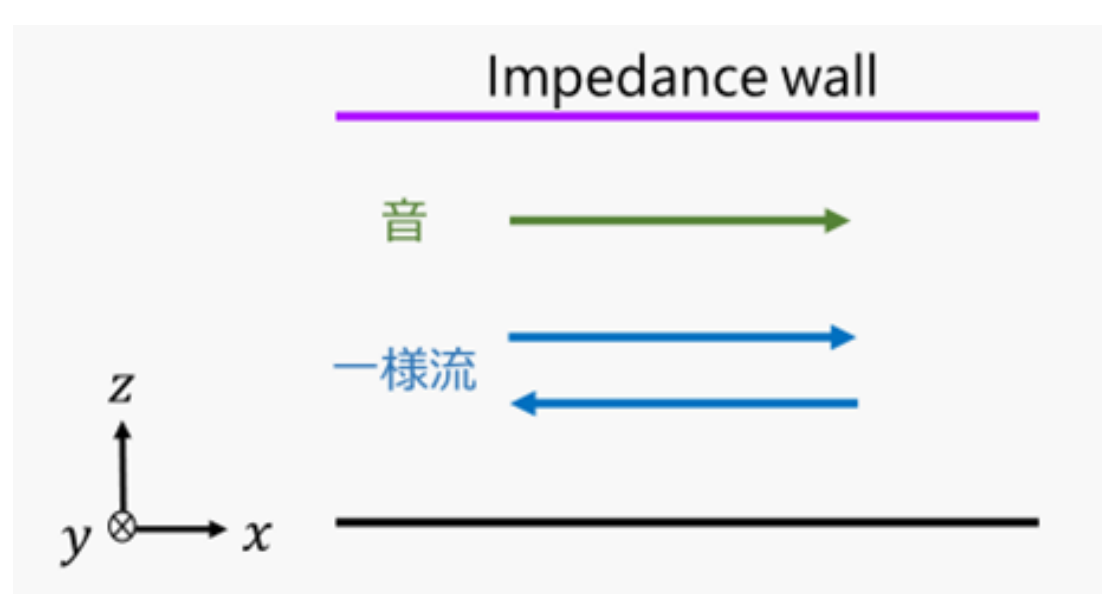
伝播定数を用いて行う

伝播定数

$$p_n(x, z, t) = A_n e^{-ik_{x,n}x} (e^{-ik_{z,n}z} + e^{-ik_{z,n}z}) e^{i\omega t}$$

p : 音圧 n : モードの次数 A : 複素数定数
 $k_{x,n}$: x 方向の伝播定数 $k_{z,n}$: z 方向の伝播定数
 ω : 角振動数 t : 時間

問題設定



ダクト内に音と流れが存在する状況を想定

音響インピーダンスと伝播定数

無次元比音響インピーダンス： ζ

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

p : 音圧 ρ : 気体密度
 c : 音速 u : 粒子速度
 θ : レジスタンス χ : リアクタンス

伝播定数を用いた場合

$$\zeta = -\frac{k}{k_{z,n}} \left(1 - M \frac{k_{x,n}}{k} \right)^2 \frac{1}{\tanh \left(i \frac{k_{z,n}}{k} kH \right)}$$

$$\frac{k_{z,n}}{k} = \pm \sqrt{1 - 2M \frac{k_{x,n}}{k} - (1 - M^2) \left(\frac{k_{x,n}}{k} \right)^2}$$

n : モードの次数 $k_{x,n}$: x 方向の伝播定数 $k_{z,n}$: z 方向の伝播定数
 kH : 波数×ダクト高さの比 M : マッハ数

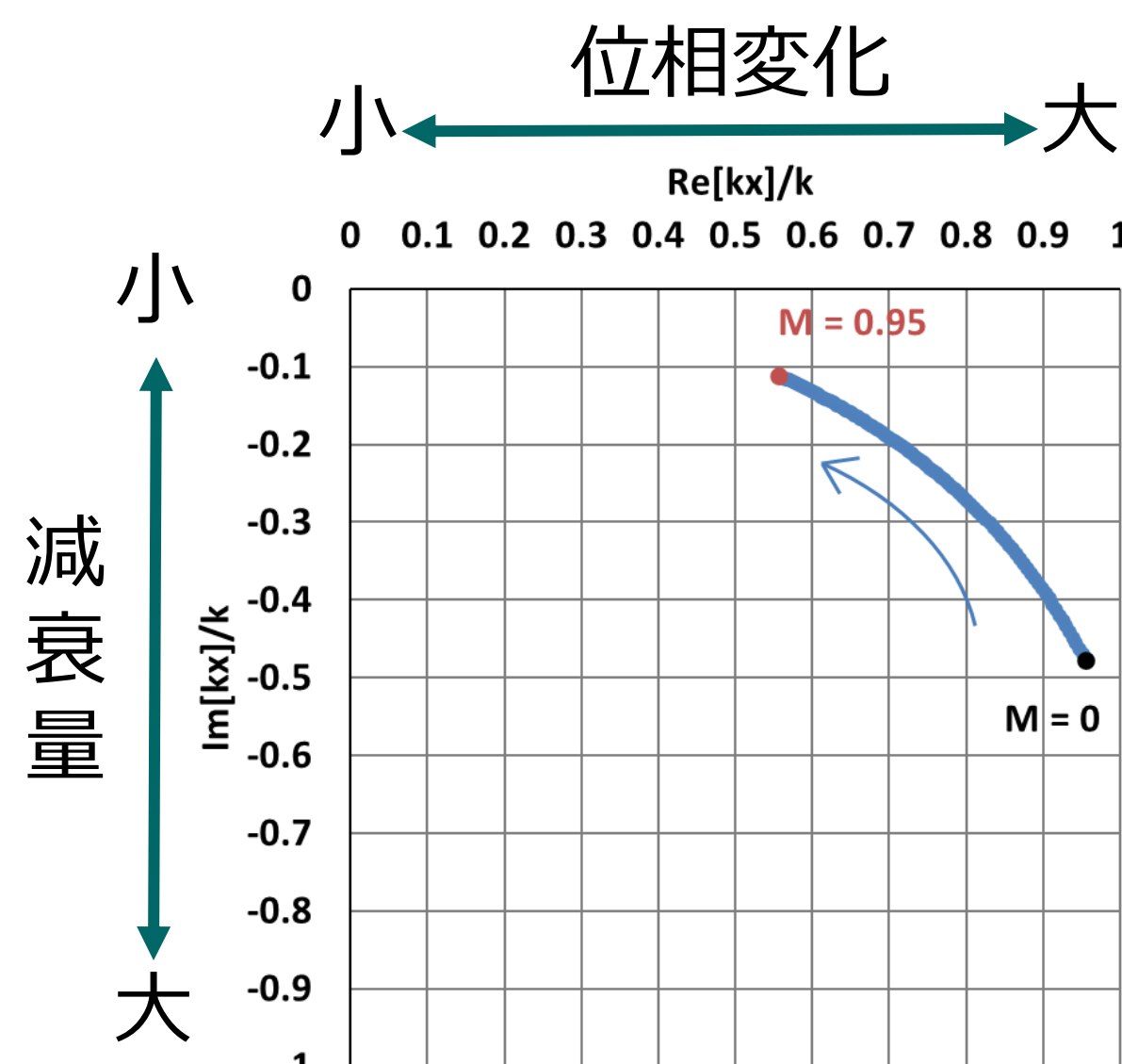
θ, χ, kH, M をパラメータとして伝播定数の変化を調査.

一様流流速による変化($kH = 1.0, \theta = 1, \chi = 0$)

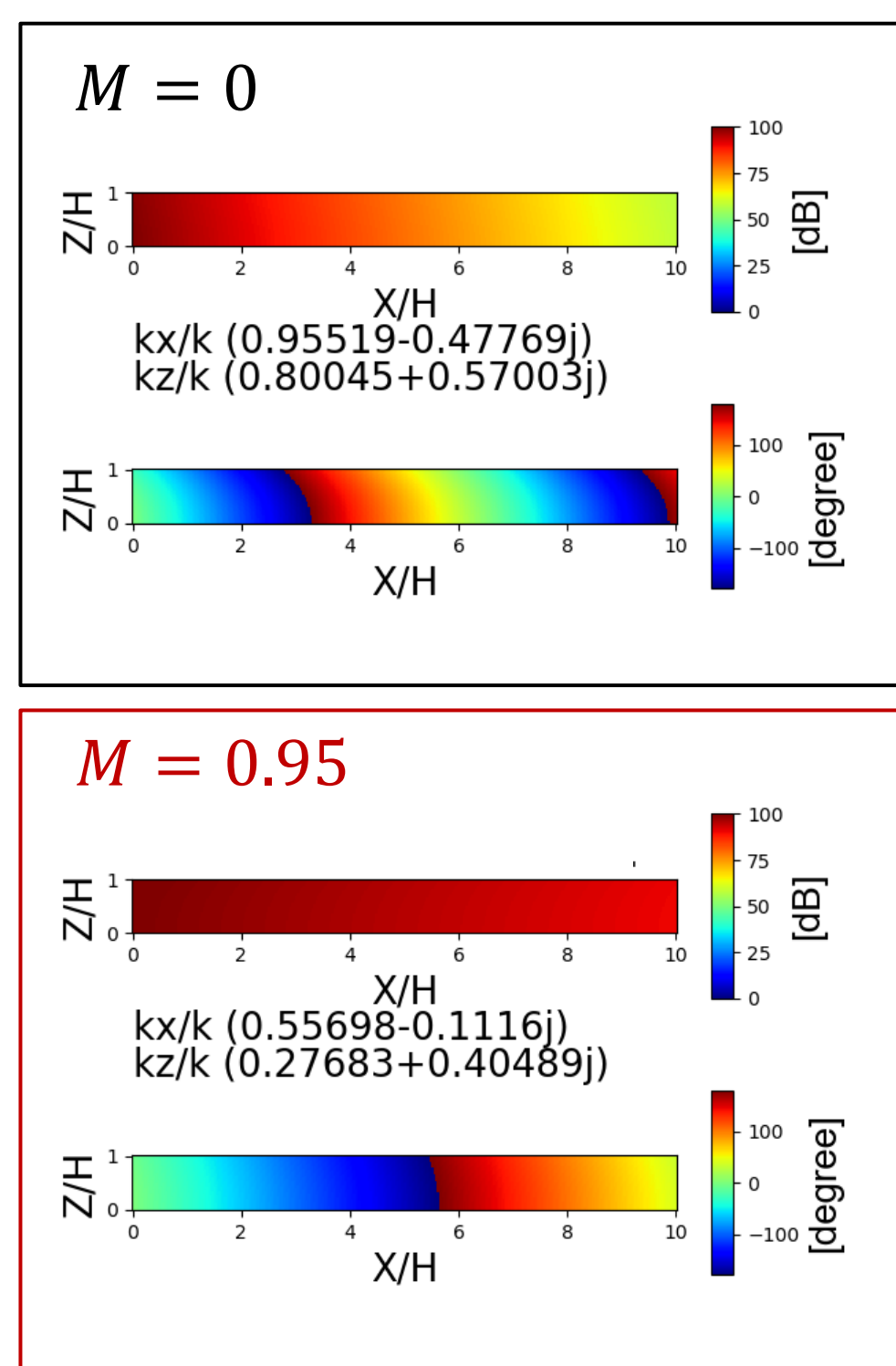
音と流れの向きが同じ場合

伝播定数の変化

位相変化



ダクト内の音圧と位相の変化

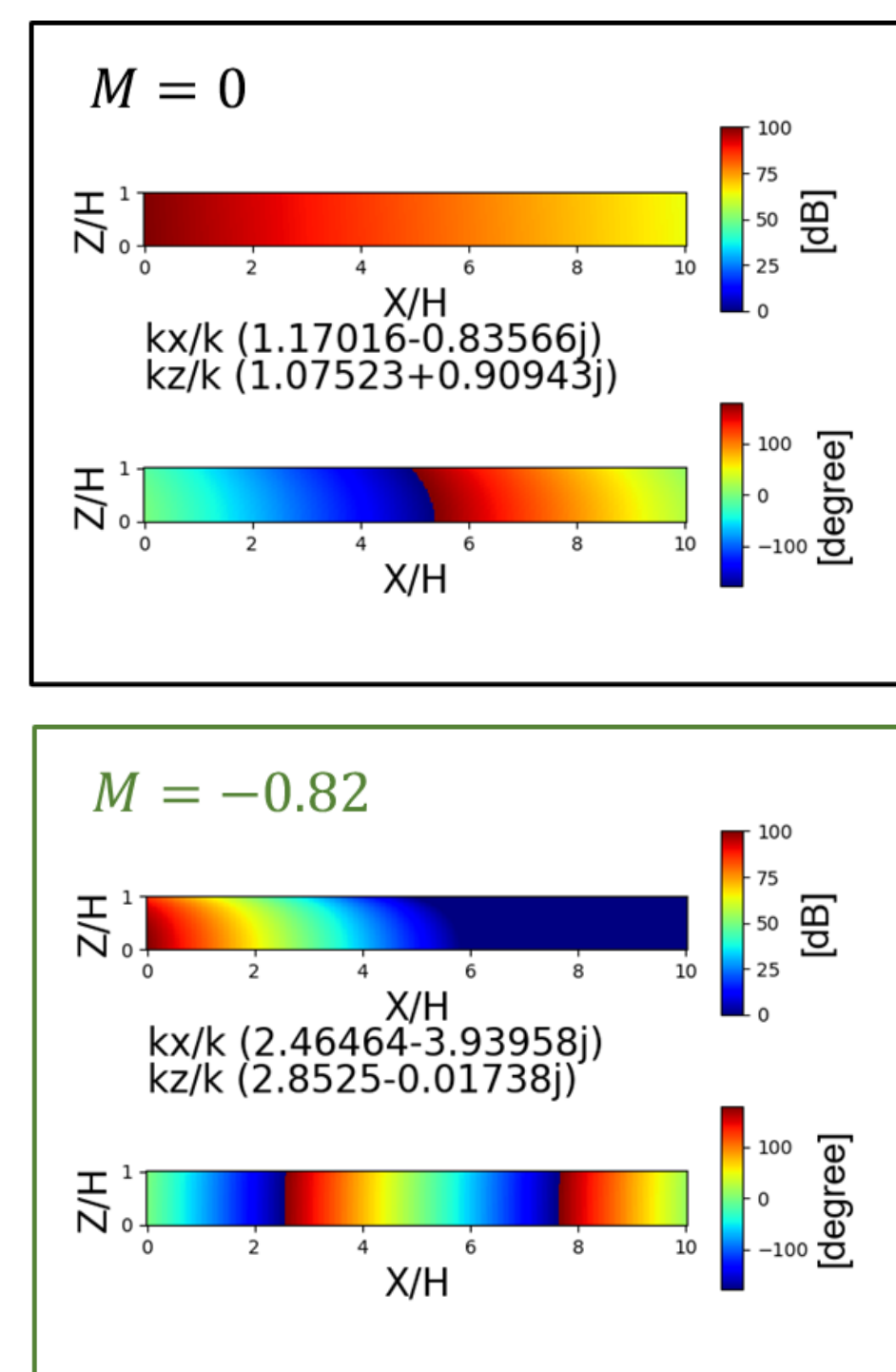
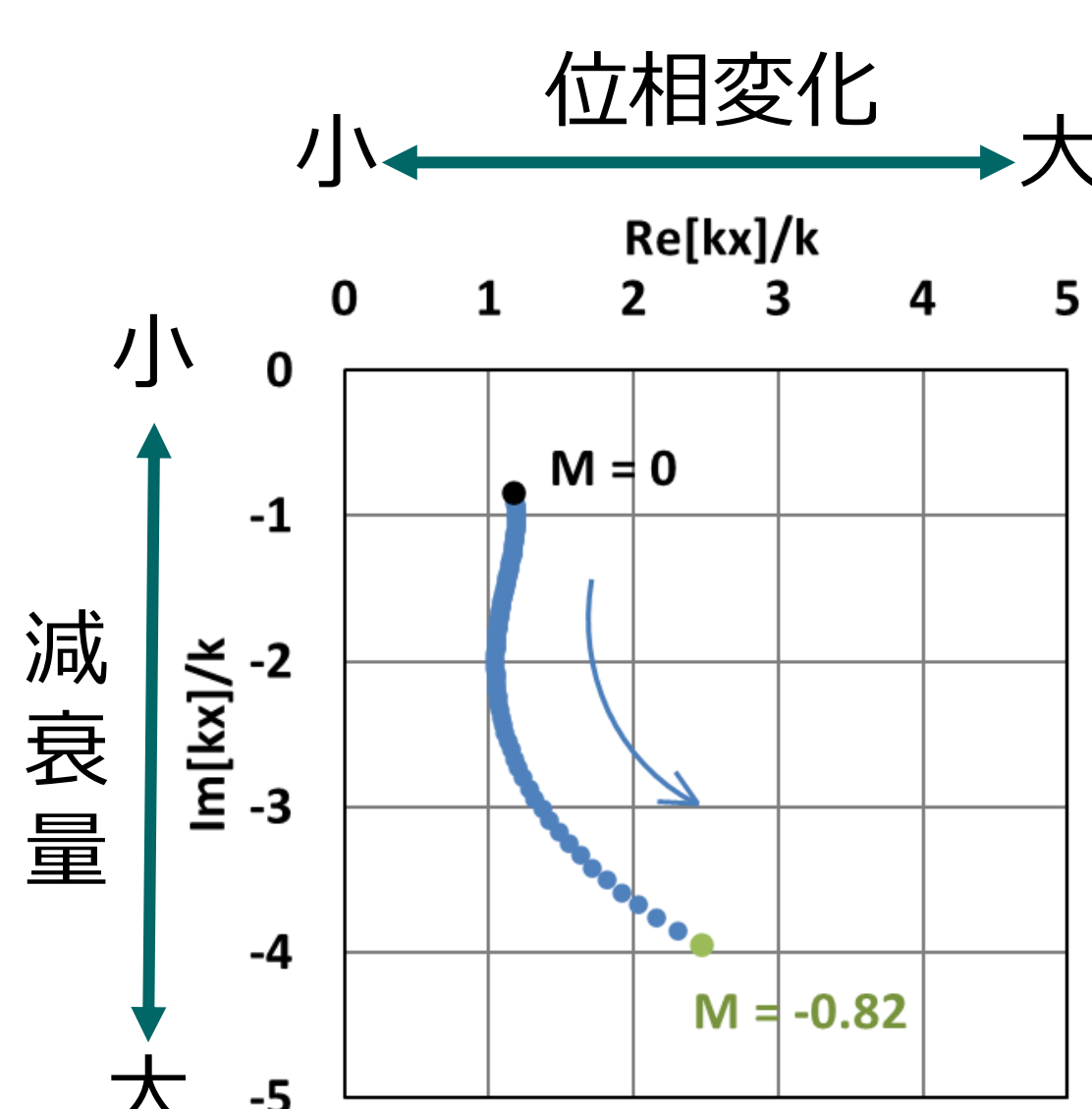


音圧の減衰量：減少 位相変化：小

音と流れの向きが逆の場合

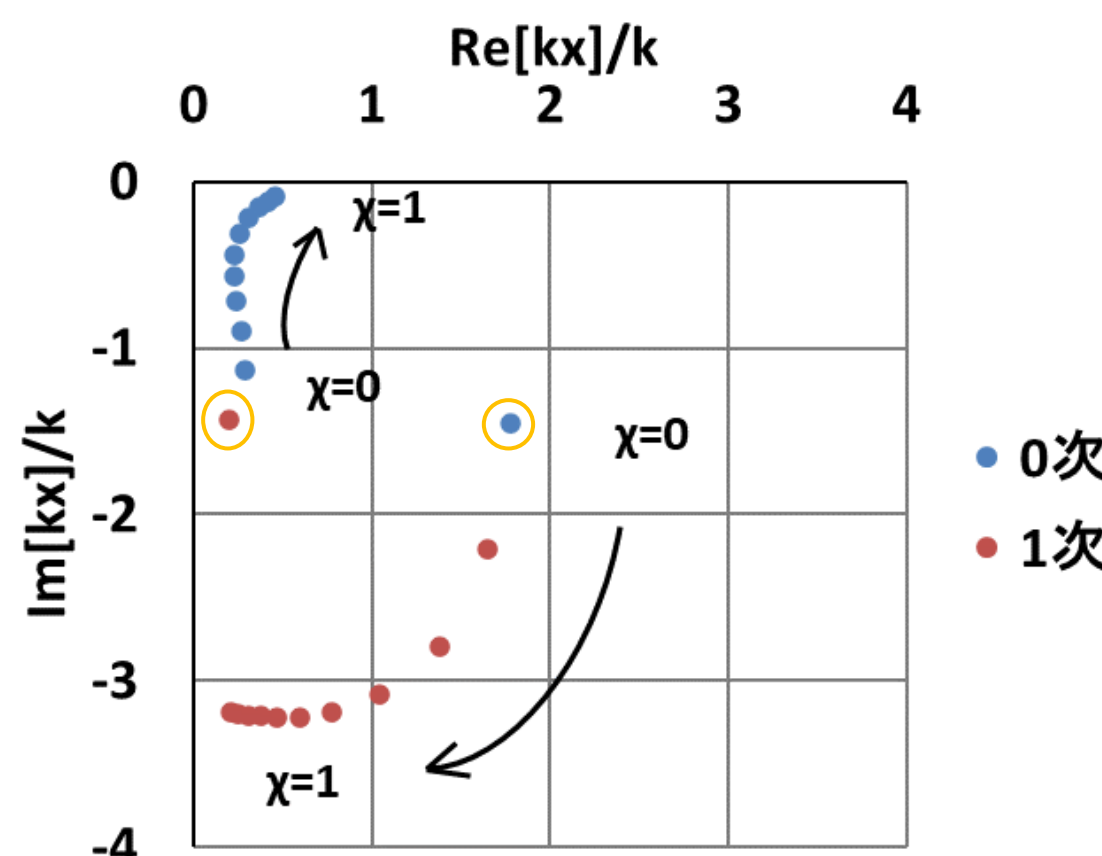
伝播定数の変化

ダクト内の音圧と位相の変化



音圧の減衰量：増加 位相変化：大

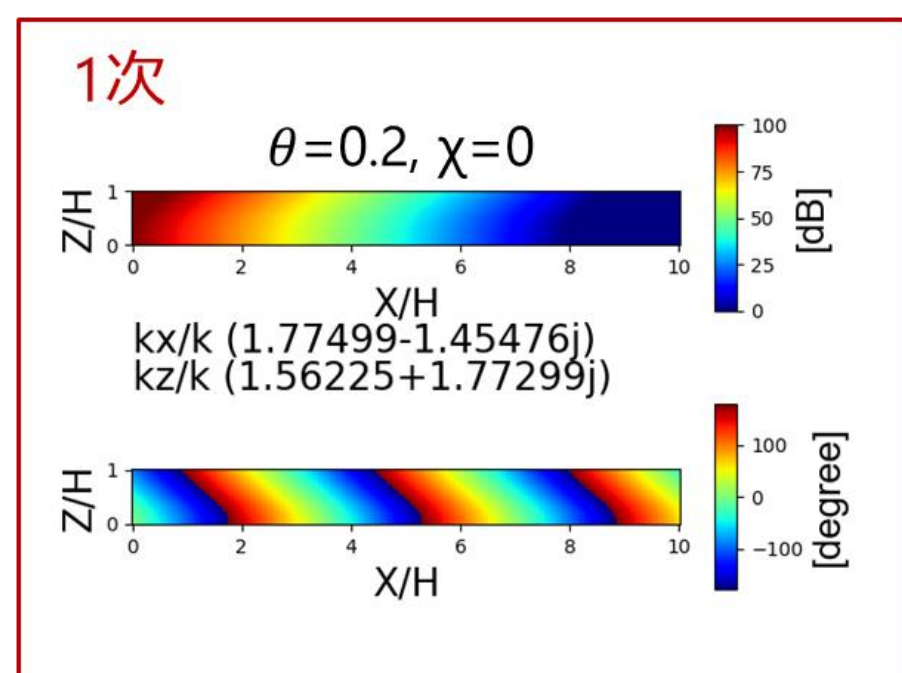
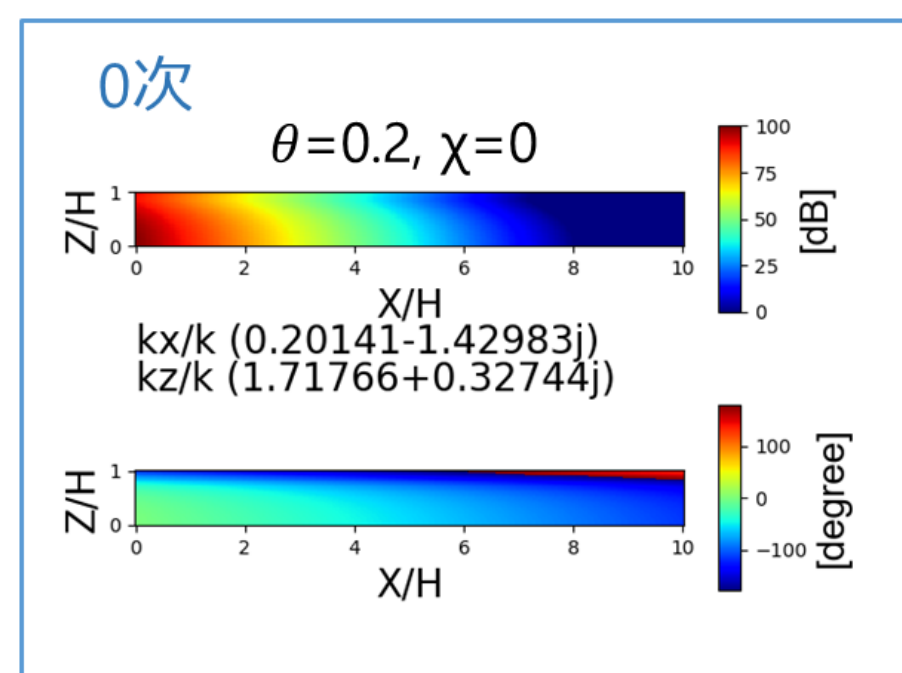
ζ が変化したときの k_x/k ($kH = 1.0, M = 0.2$)



$\theta = 0.2, 0 \leq \chi \leq 1$

○ : $\text{Im}[k_x]/k$ が同程度

ダクト内の音圧と位相の変化



※音と流れの向きが同じとき

結言

1. 流速が変化した場合

M の増加に伴い位相変化は小さくなり、減衰量は減少する。
ただし、 $M < 0$ において kH, θ, χ の値によっては位相変化が大きくなり、減衰量は減少する場合がある。

2. インピーダンスが変化した場合

2つのモードの減衰量が同程度になる解が確認された。