

人工知能を用いた打音試験による 2Dフィルターの品質判定

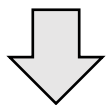
(株)木村鋳造所 平本雄一
長岡技術科学大 堰代大智



1. 背景

鋳物用フィルターとは

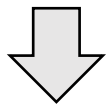
- 鋳造方案での湯流れを制御する
- 溶湯中の異物を除去する(保険)



稀に手で割れる不具合品が混在

⇒ 注湯時に破損し、製品に混入するおそれあり

目視検査：時間がかかり、見落としが発生する



打音試験によるフィルター検品システムの開発

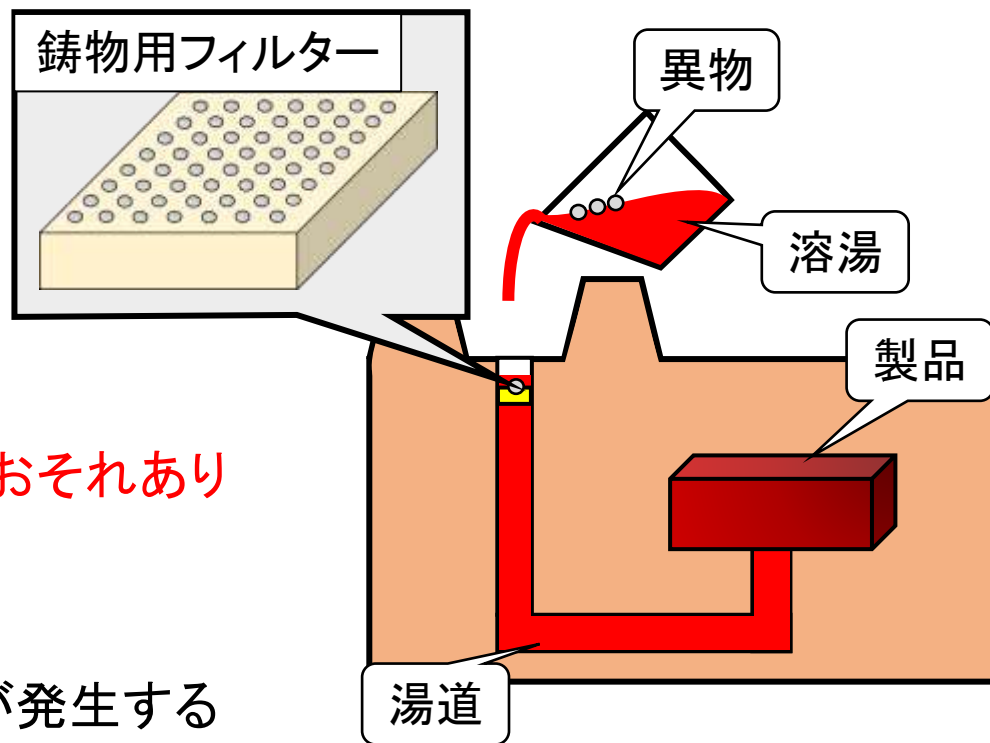


図1. 注湯の様子



2. 目的

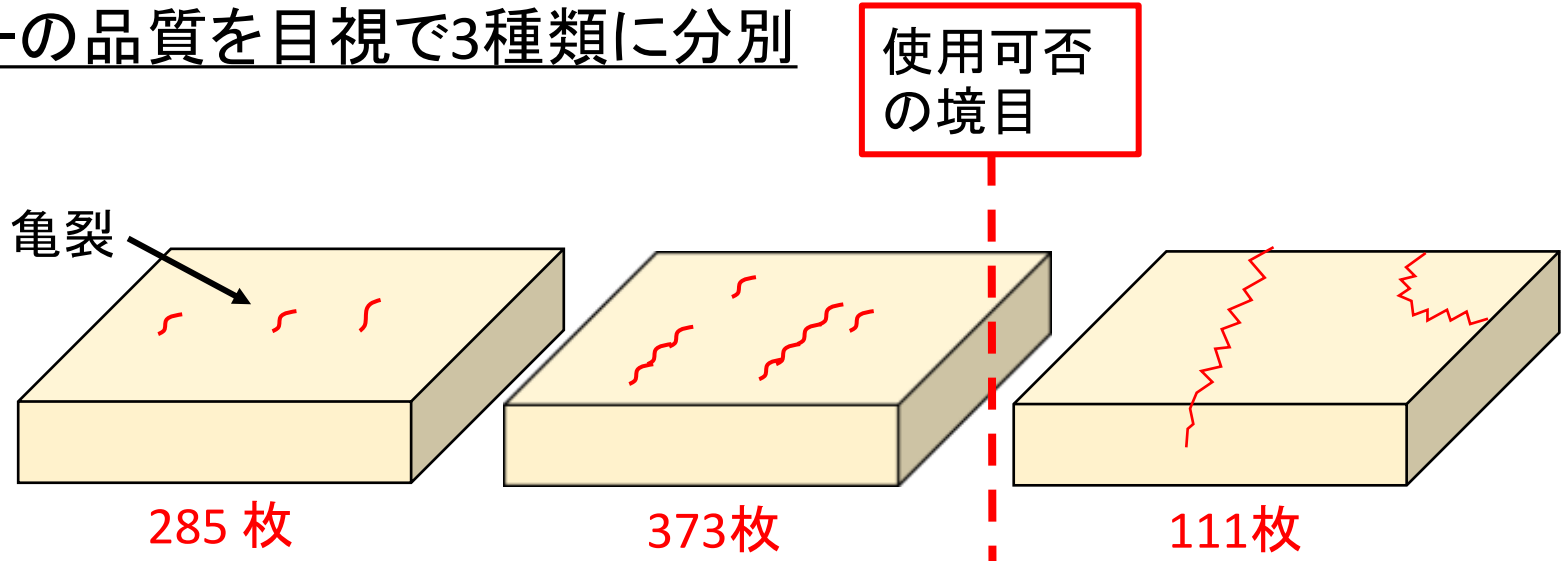
打音試験は簡単で、非破壊的な試験方法として知られている。
今回、打音データを機械学習させることで、品質の判定は可能であるのかを検証しました。



図. 打音試験の流れ

3. 実験手順

フィルターの品質を目視で3種類に分別



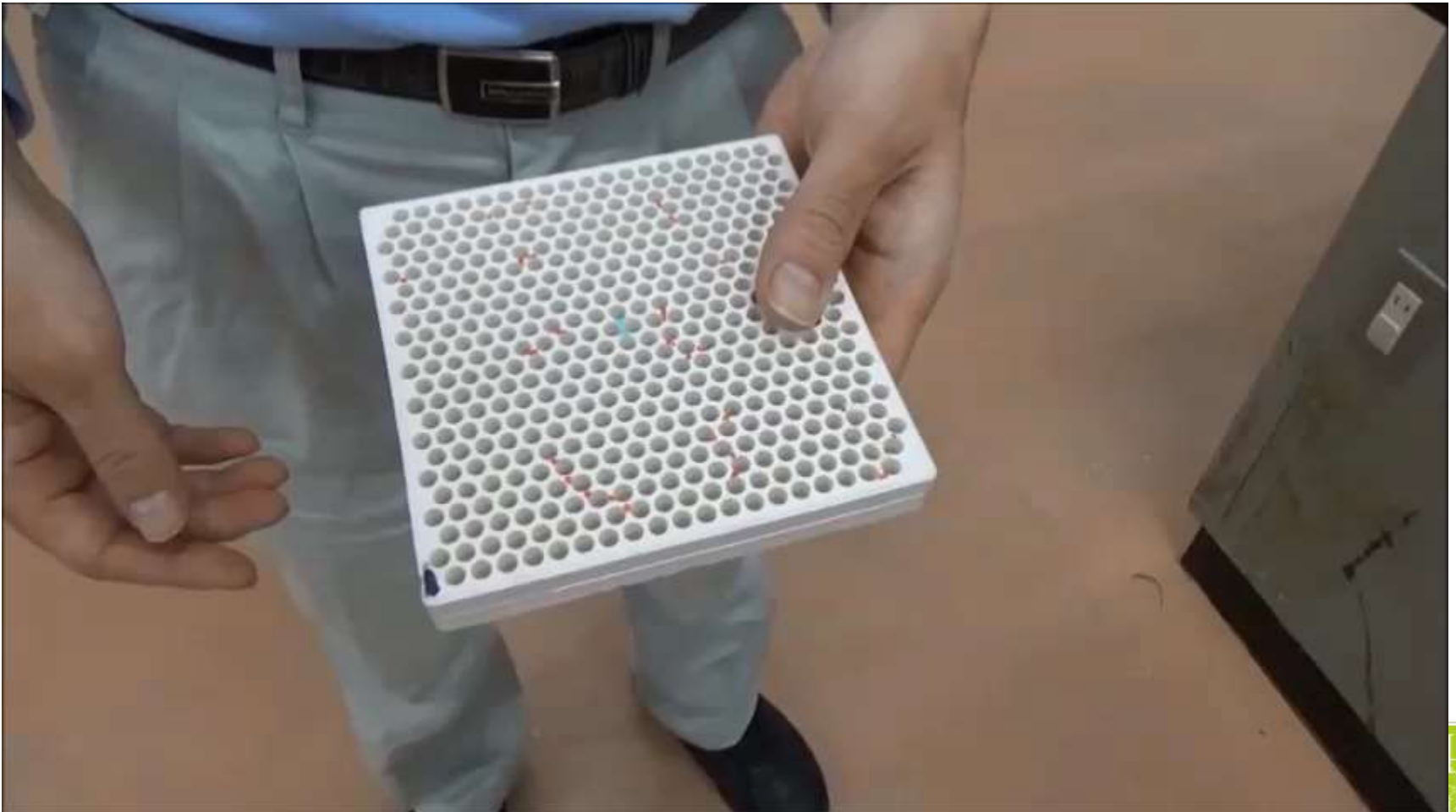
	A	B	C
特徴	良品	(亀裂がある)	不良品
亀裂	浅い 一部のみ	深い 少し繋がっている	深い 繋がっている
耐久性	非常に強い	やや強い	弱い
使用	◎	○	×



3. 実験手順

参考: B品の耐久性

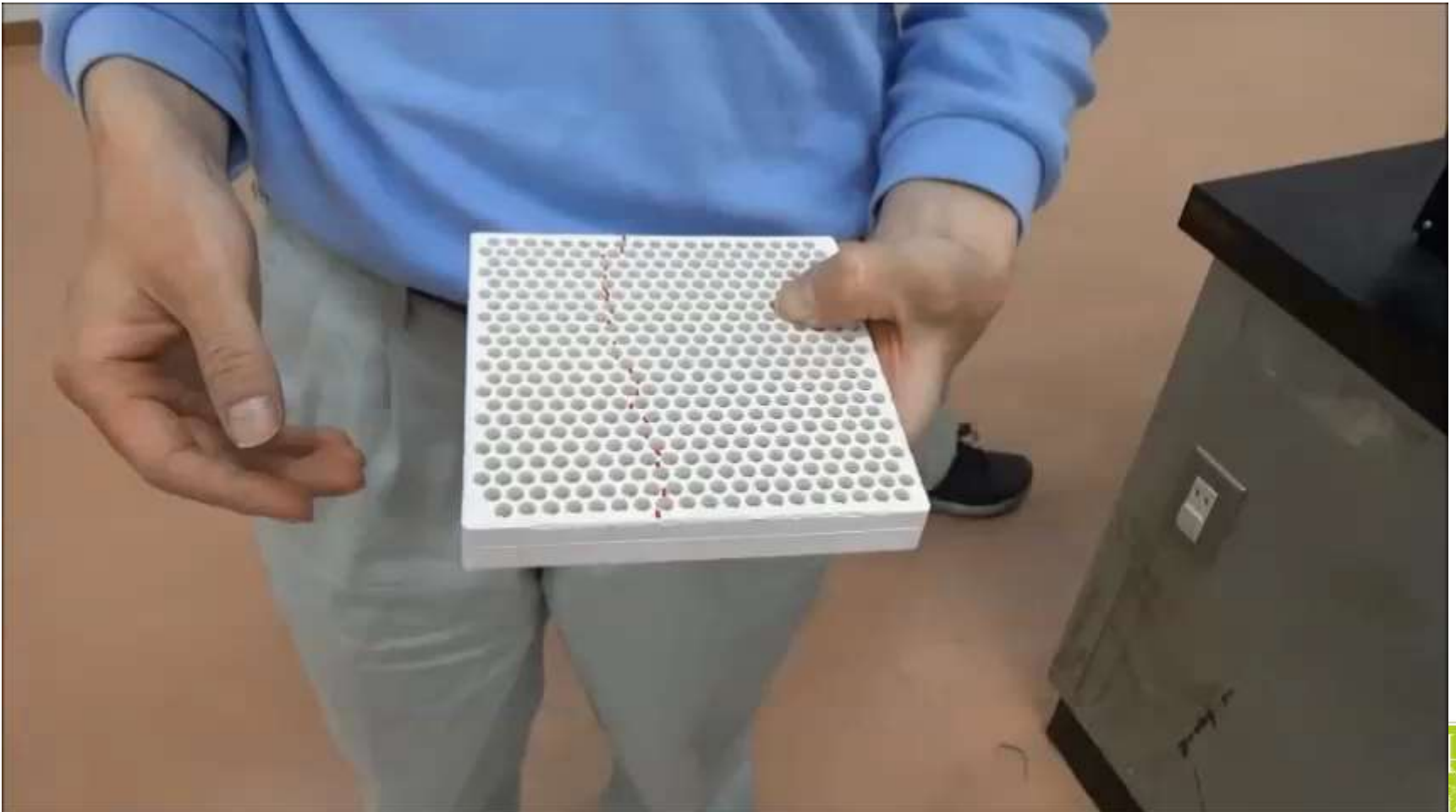
3点曲げで約70kgf



3. 実験手順

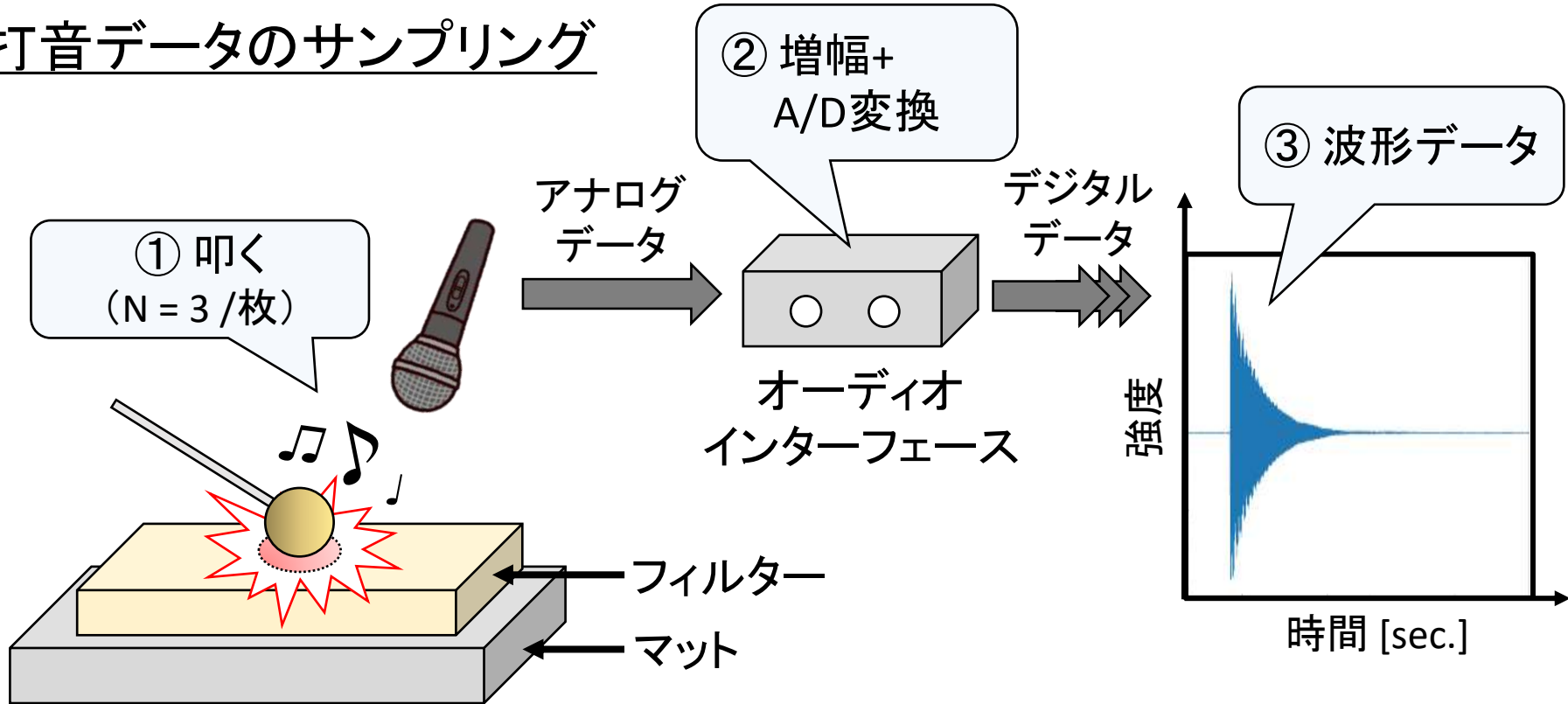
参考: C品の耐久性

3点曲げで15kgf以下と推定



3. 実験手順

打音データのサンプリング



3. 実験手順

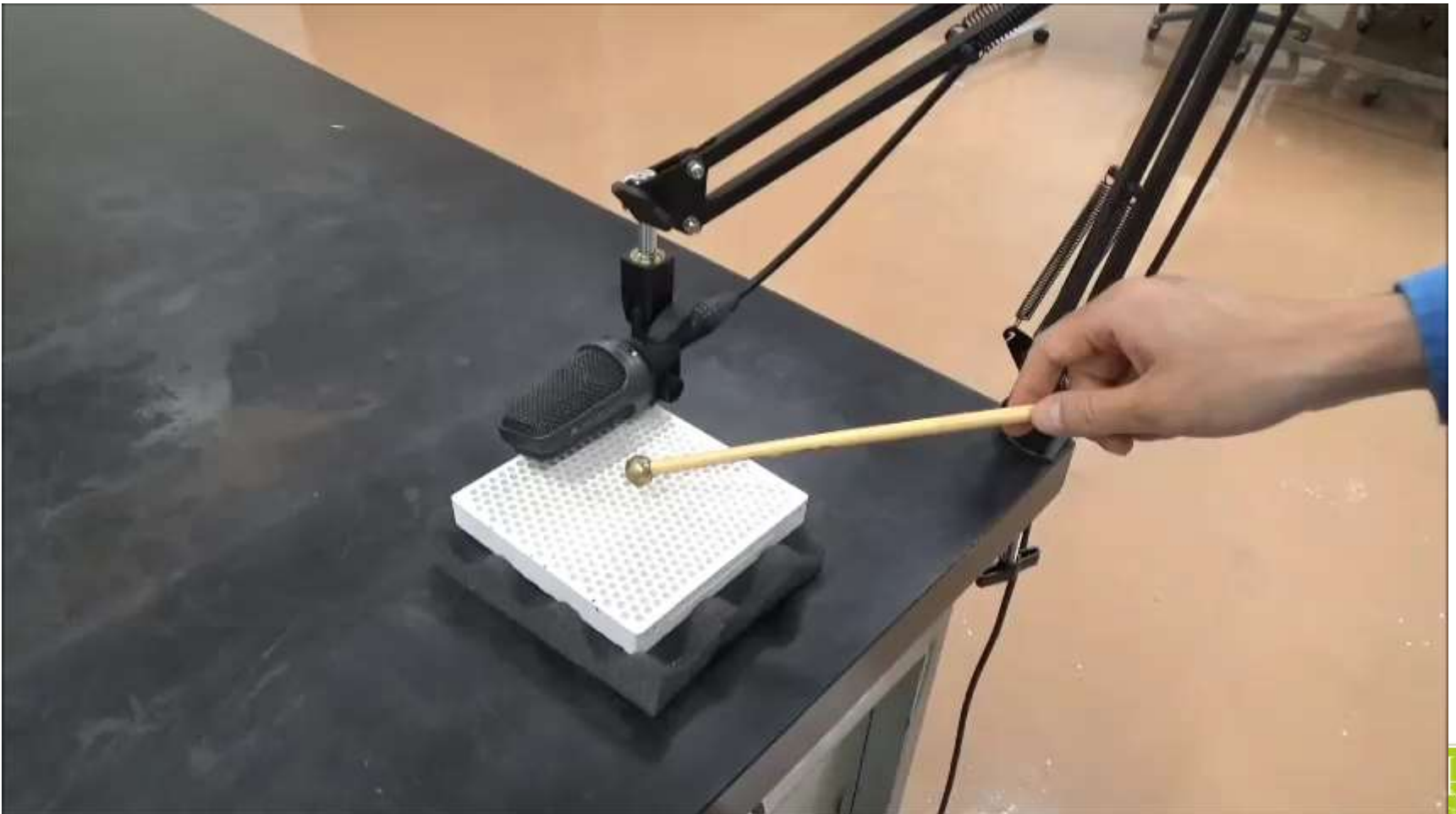
参考: 打音試験の様子



Pic. 打音試験に用いる装置

3. 実験手順

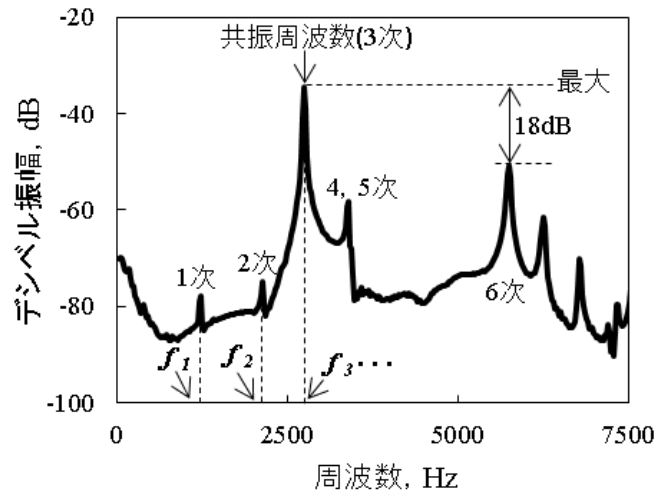
参考: 打音試験の様子



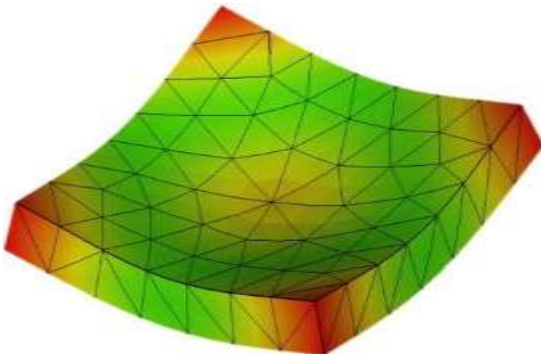
3. 実験手順

打音サンプリング条件を適正化

○周波数スペクトル解析



○シミュレーションによるモード解析



○マイク

- ・周波数特性
- ・指向性
- ・集音方向と位置
- ・固定具の特性

○ハンマー

- ・材質、質量
- ・振動モード
- ・打撃方向と位置
- ・打撃強度

○アンプ

- ・増幅量
- ・周波数特性

○マット

- ・材質
- ・振動特性

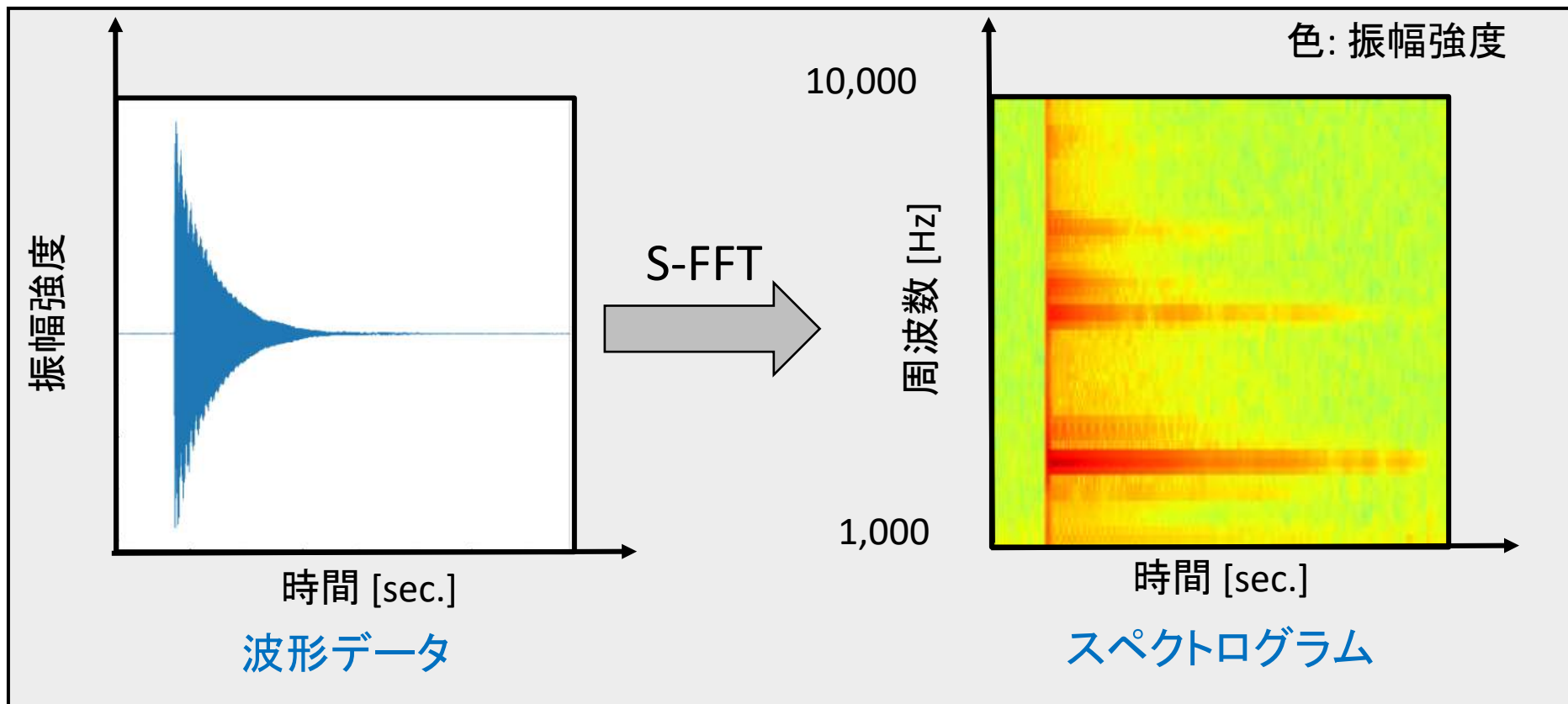
○信号処理

- ・ハイパスフィルタ
- ・ヒルベルト変換
- ・高速フーリエ変換
- ・短時間フーリエ変換

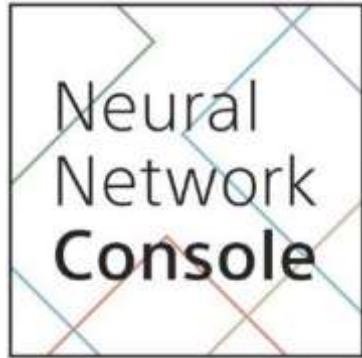


3. 実験手順

機械学習に用いるデータは、簡単に特徴付けができるデータが好ましい。
今回、特徴が明確となるスペクトログラムのデータを用いた。



3. 実験手順



Neural Network Console（以下、**NNC**と略）

ニューラルネットワークを用いた機械学習のプログラムで**人工知能(AI)**を**直感的に組むことができるソフトウェア**です。

ニューラルネットワークとは

数ある機械学習の手法の一つであり、**人間の脳の働きを数式的なモデルで表現した概念**のことを指します。**入力層**、**中間層**、**出力層**の三層によって構成されており、複雑な関数近似を行うことができる。

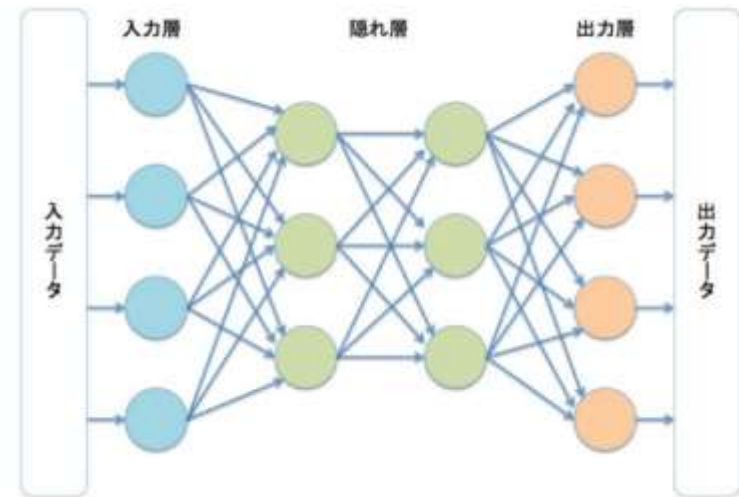
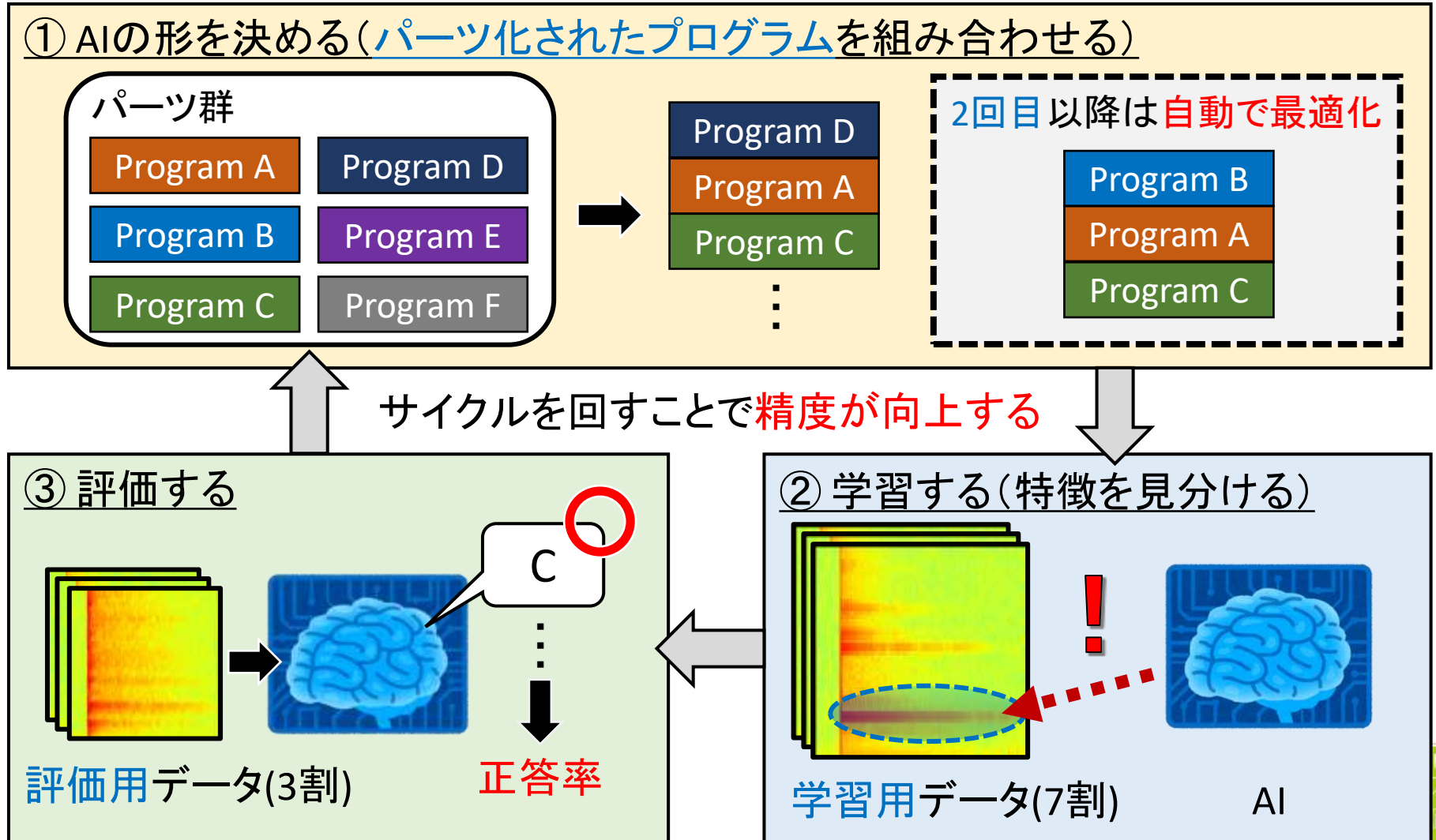


Fig 3-1. ニューラルネットワークの仕組み



3. 実験手順

機械学習の流れ



4. 結果

AIの作製に用いたデータ数

AIを3種作製し、弱点をカバーするようにバージョンアップさせてきました。完成形であるver. 3では、約 1,100 件のスペクトログラムを機械学習に使用し、フィルターの品質を判定させるAIを完成させました。

表: バージョンごとの機械学習に用いたデータ数

	A品	B品	C品	合計
ver. 1	319	621	35	975
ver. 2	390	534	154	1,078
ver. 3	411	534	154	1,099



4. 結果

AIの性能評価

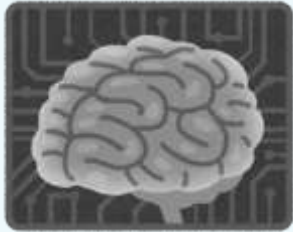
初期のver. 1では, 正答率は5割に留まっていたましたが, ver.3 のAIは, 全体的に約 8 割の精度で正答が得られました. このAIは, 与えられたスペクトログラムからそれぞれの品質の特徴的な部分を抽出できていることがわかります.

データ数	AI の正答率				
		A	B	C	全体
A: B: C = 33: 72: 33	ver. 1	78.8 %	37.5 %	66.7 %	56.5 %
	ver. 2	72.7 %	50.0 %	84.9 %	63.8 %
	ver. 3	87.9 %	79.1 %	93.9 %	84.8 %

ver. 3のAIは, 課題であるC品(不良品)に対しては, 約 9 割の精度で正しい結果を返すことができます.

5. 考察

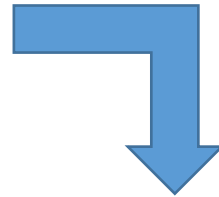
各バージョンにおける特徴



正答率 57 %

ver. 1

データ数が少なく、
全体的に見分けが
ついていません。



+ A品データ

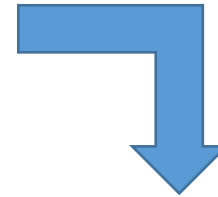
+ 人工的に作ったC品のデータ



正答率 64 %

ver. 2

C品の特徴を少しつかんだと思わ
れますが, **A品とB品, 特定のC品の
違いがまだ見分けられていません。**



+ A品データ



正答率 85 %

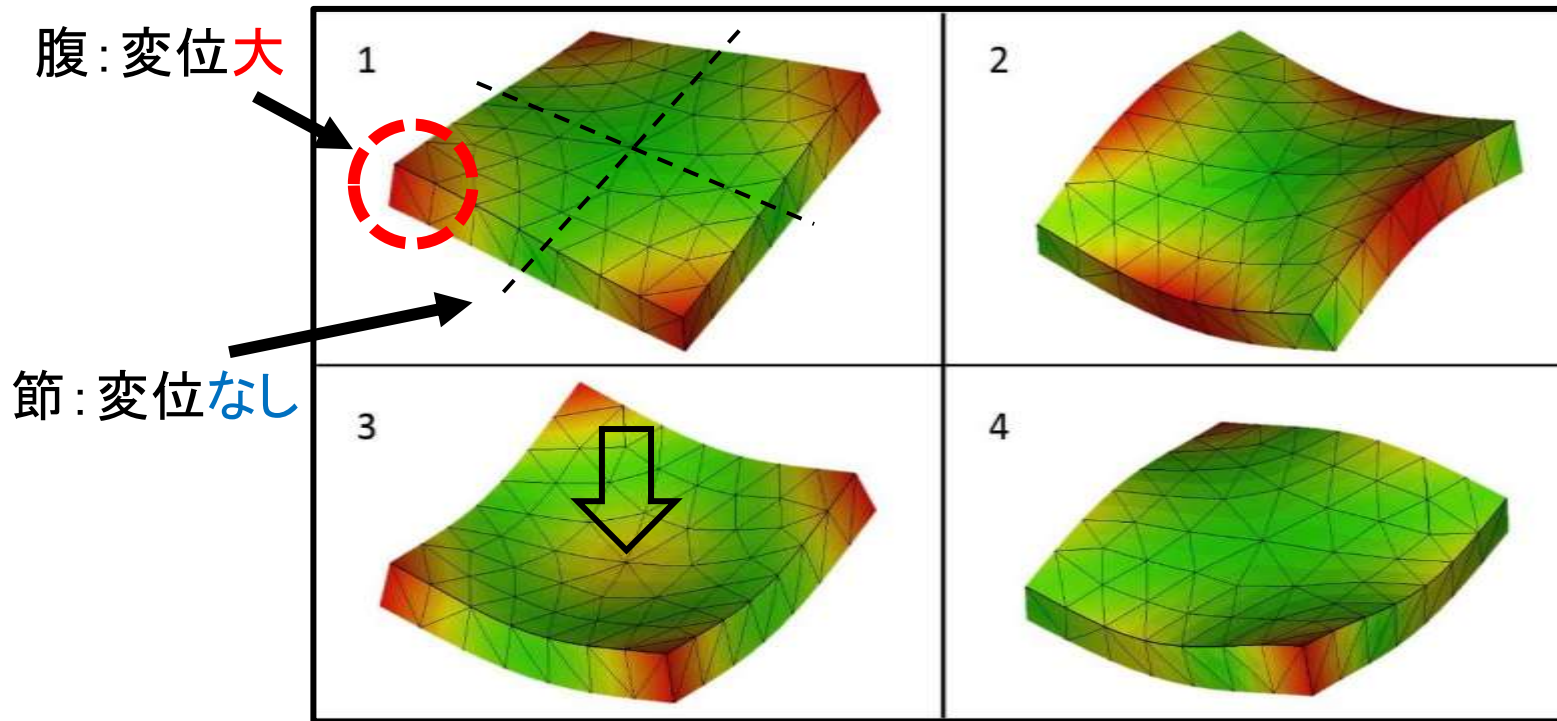
ver. 3

A品の特徴をつかんだことで, 課題であったB品およびC品との
見分けがつくようになり, **全体的に正答率が向上したもの**と考
えられます。

5. 考察(予備知見)

○モードについて

物体は決まったモード(振動形態)でしか振動できない。
叩く位置によって、モードの動きやすさが異なる。

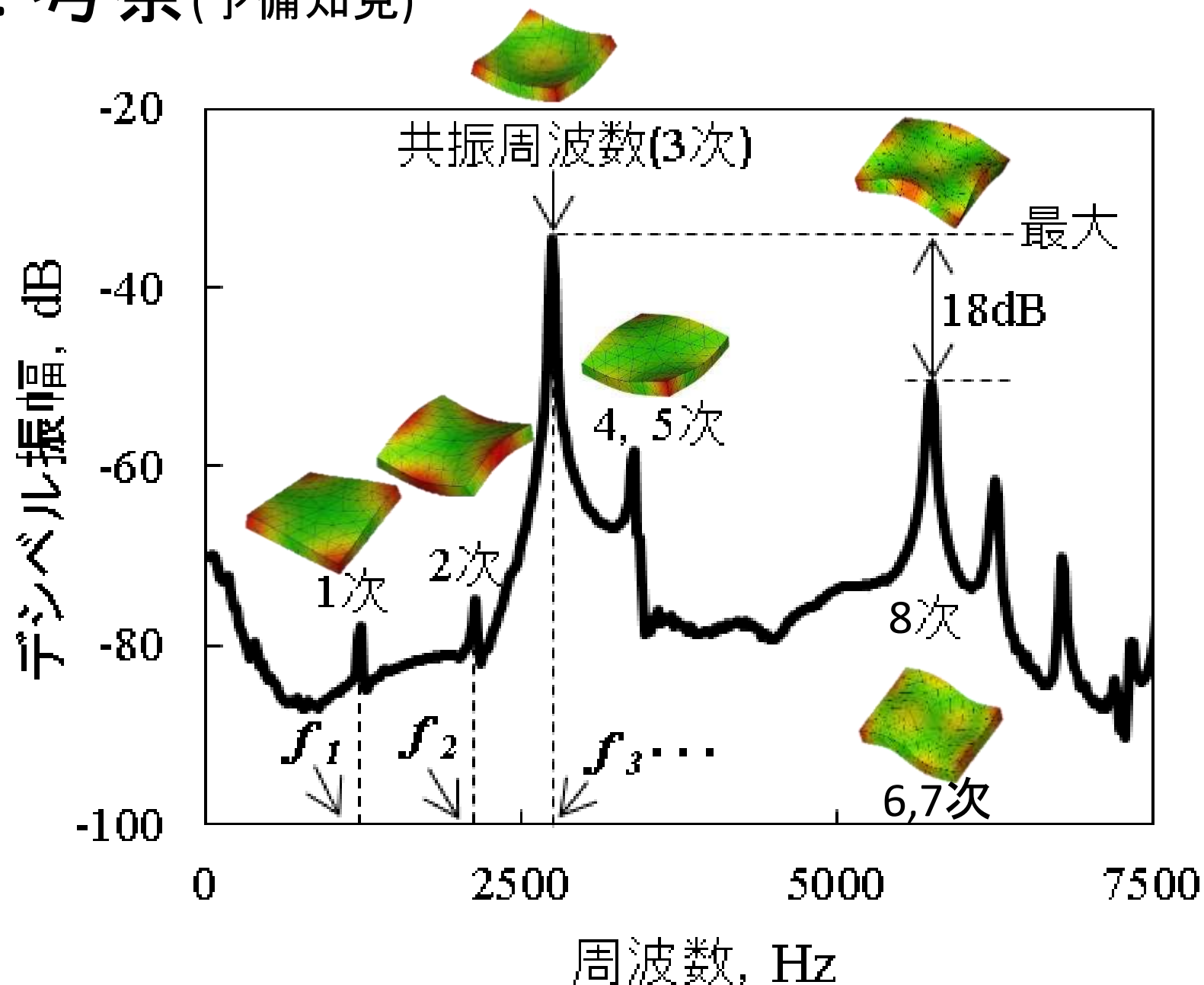


右上の数値
はモードの
次数を示す

図. 無垢平板のモード解析の結果



5. 考察(予備知見)



鋳物用フィルターの打音スペクトル(中央加振)

5. 考察(予備知見)

無垢と多孔の平板

複数の丸孔をもつ平板の「**低次のモード**」は、無垢平板のモードと変わらない。

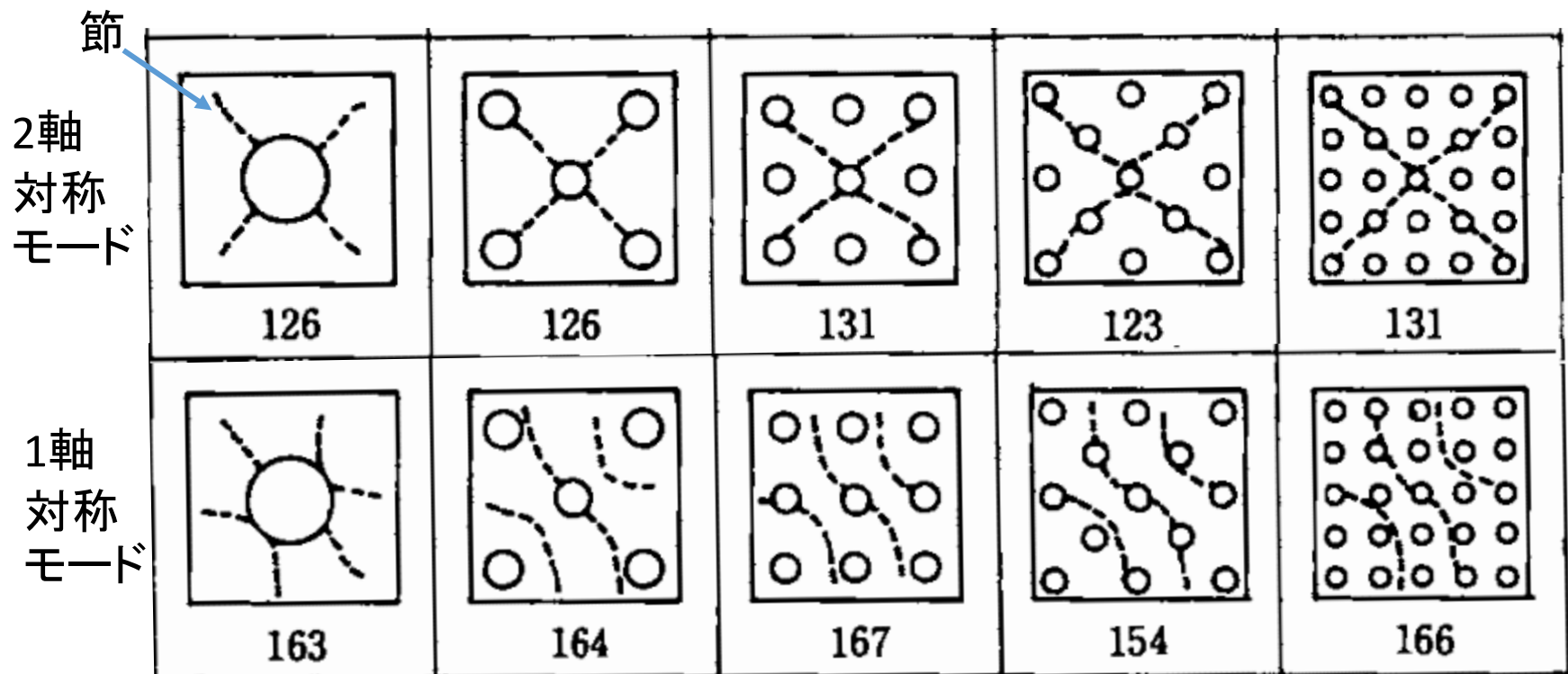


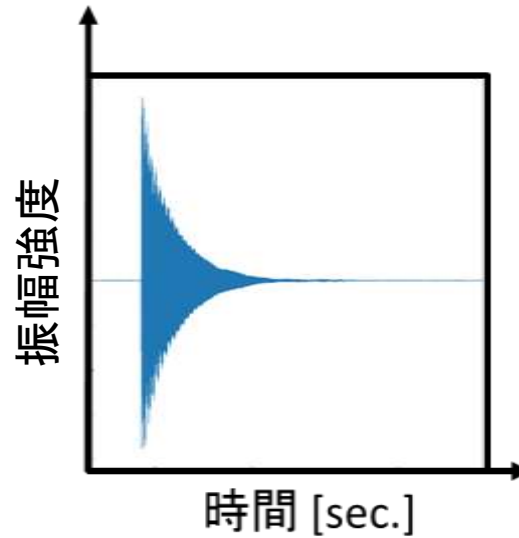
図 多数丸孔をもつ平板の節(周辺固定CC-CC)²⁾

2)佐藤秀紀:金沢大学工学部紀要2(1979)p.79



5. 考察

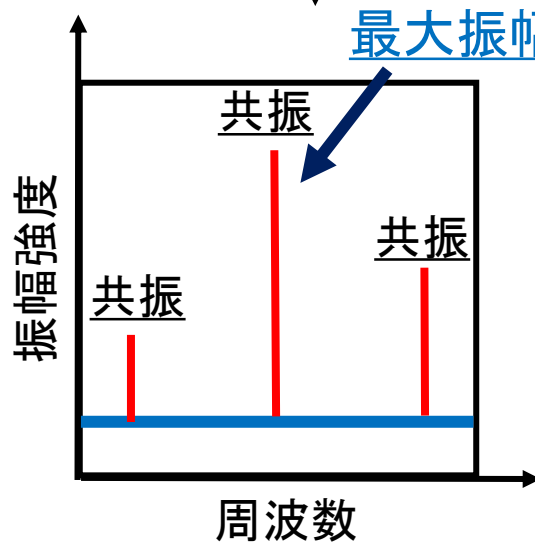
波形データを変換



打音の生データ

FFT

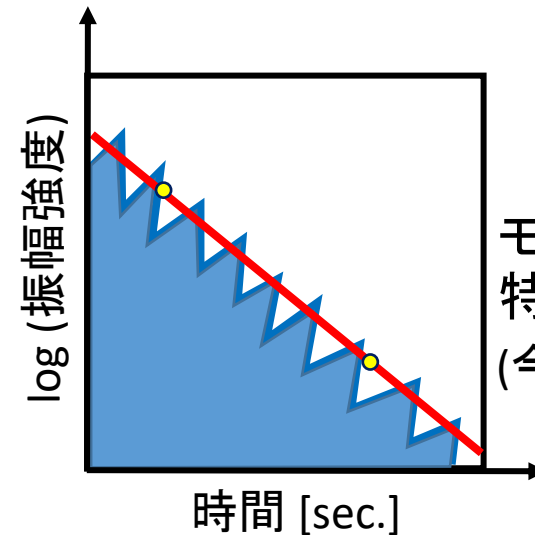
対数化



最大振幅の周波数

共振周波数

モード特有の
周波数



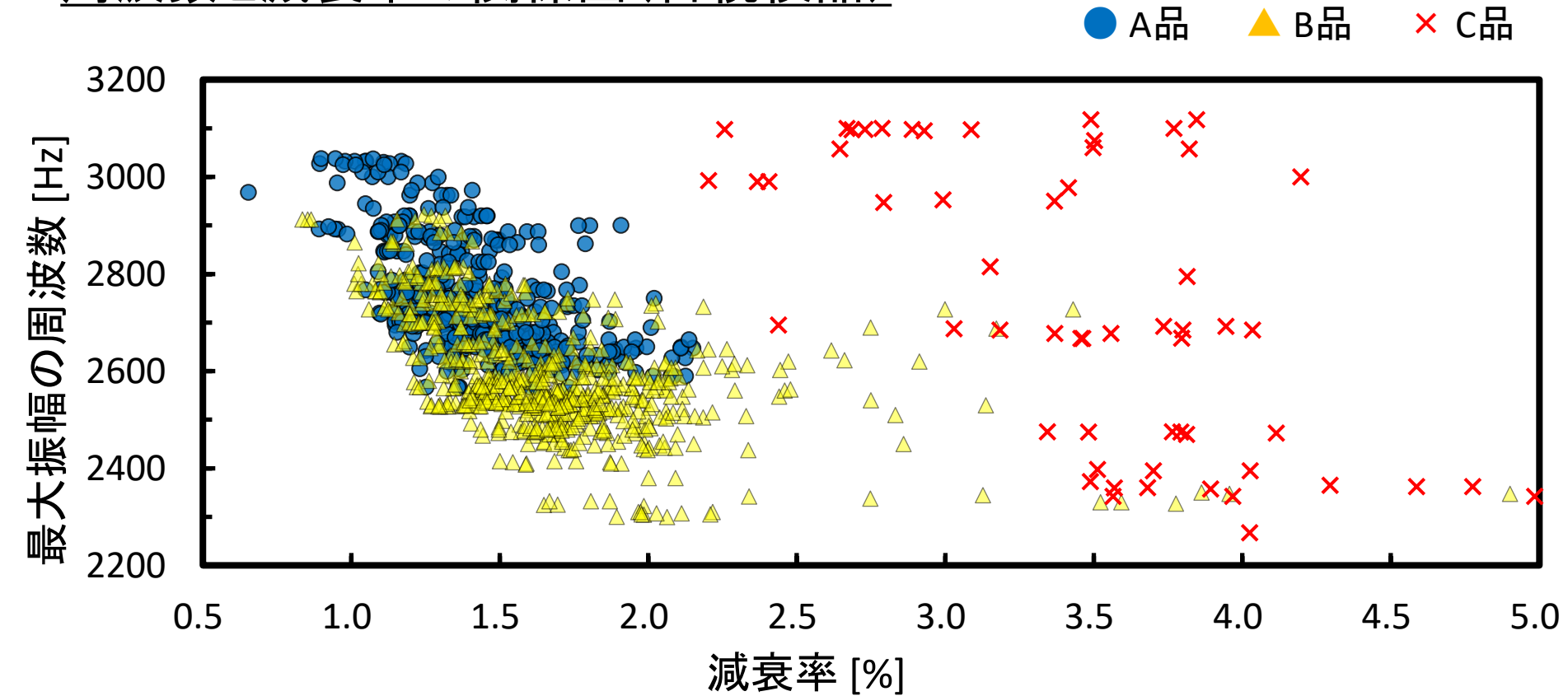
対数減衰率

モード単独の減衰
特性を表す係数.
(今回はモード複数)



5. 考察

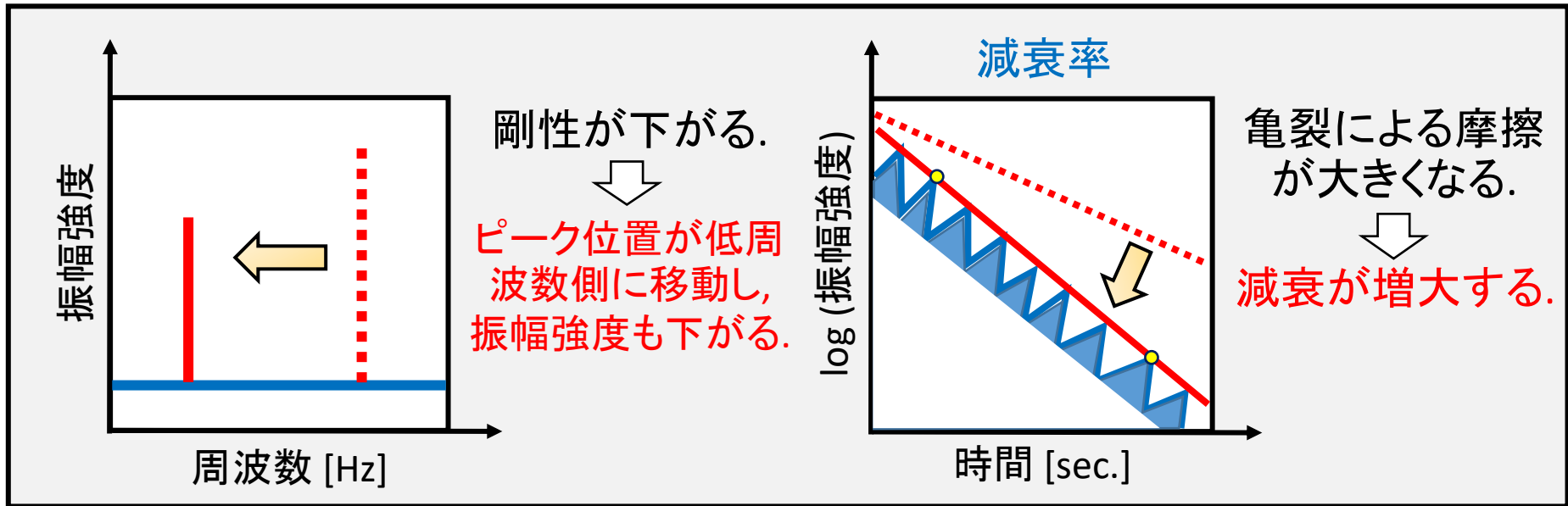
周波数と減衰率の関係図(目視検品)



5. 考察

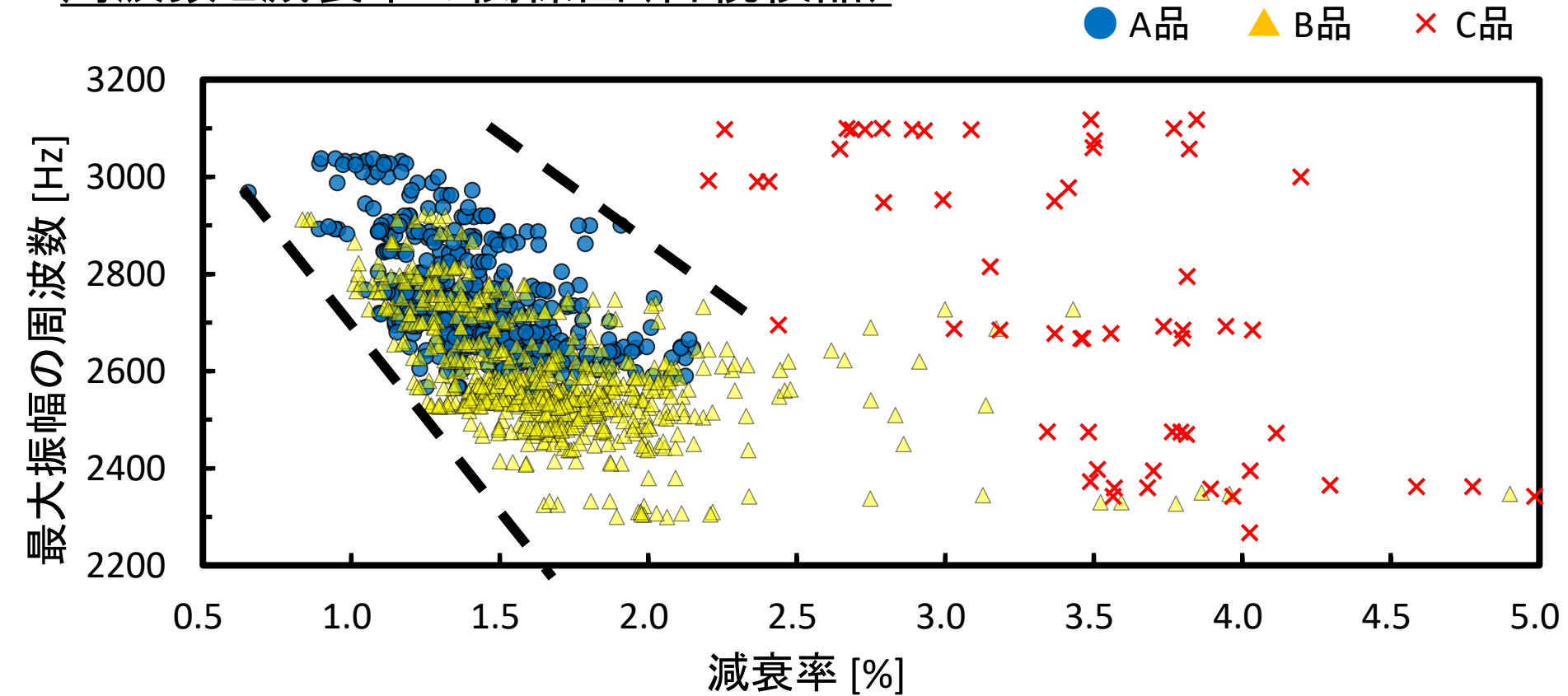
フィルターの亀裂との関係

フィルターに亀裂が入ると, 剛性が下がり, その部分の摩擦力が大きくなる。



5. 考察

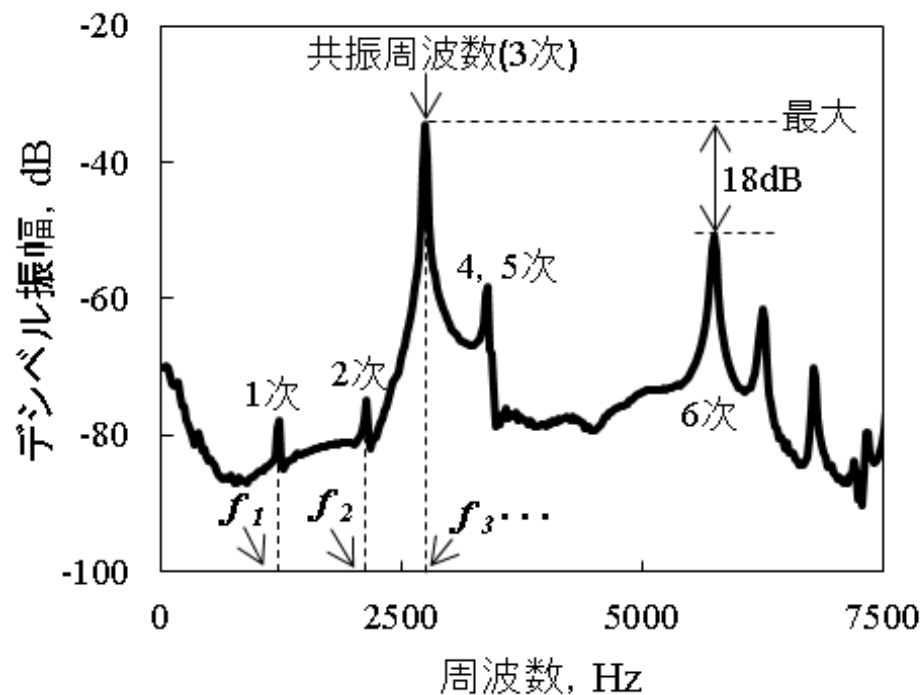
周波数と減衰率の関係図(目視検品)



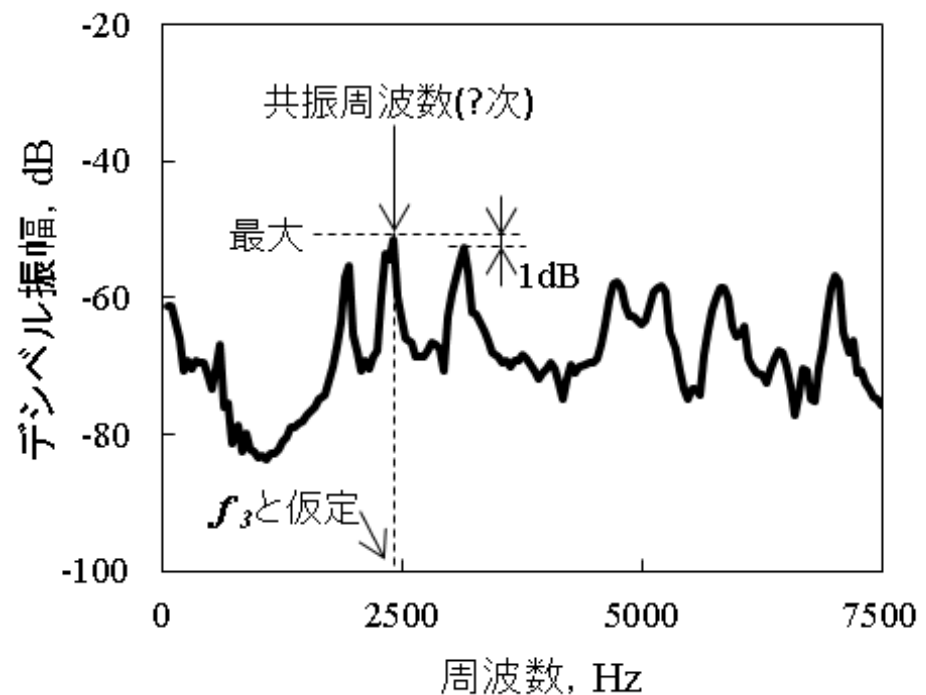
5. 考察

A品、C品の打音スペクトルは異なる。

⇒C品では低次のモードが無垢平板と異なっている



A品の打音スペクトル(B品も類似)

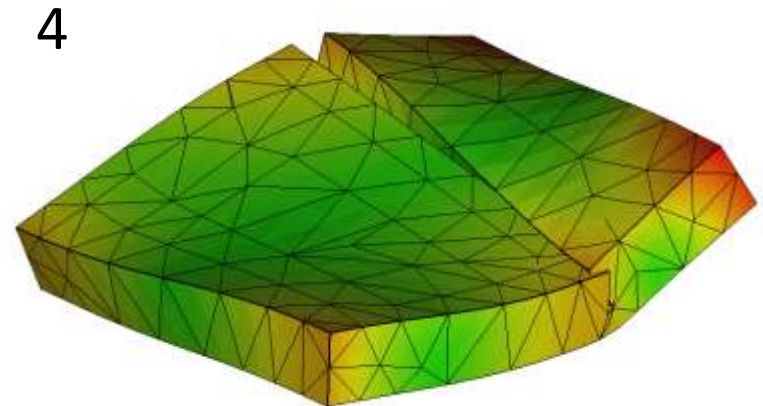
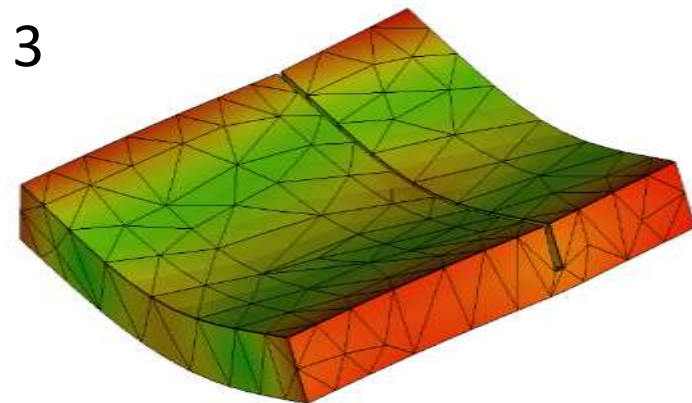
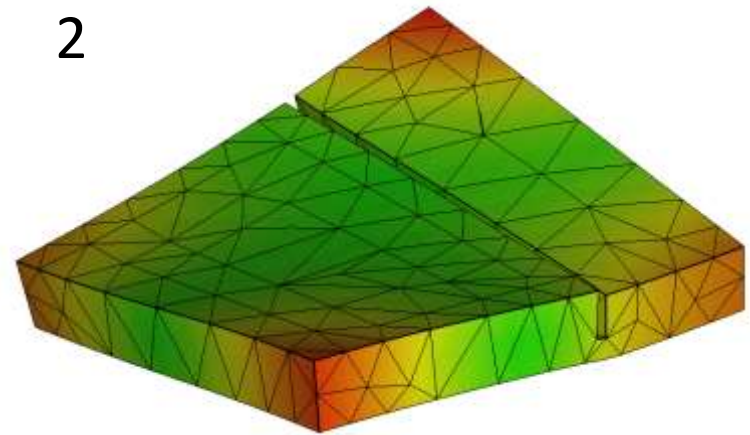
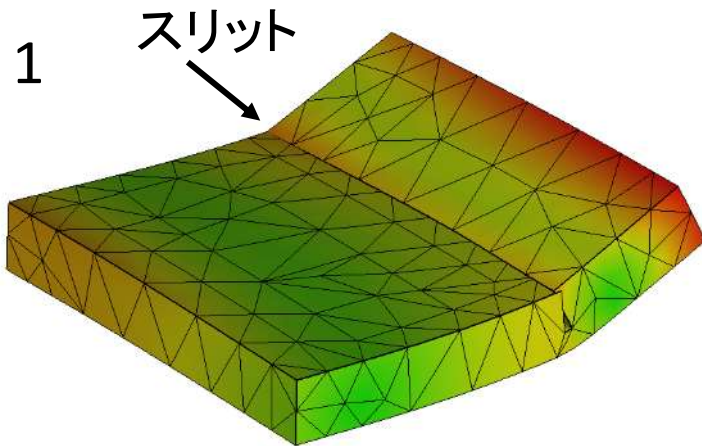


C品の打音スペクトル



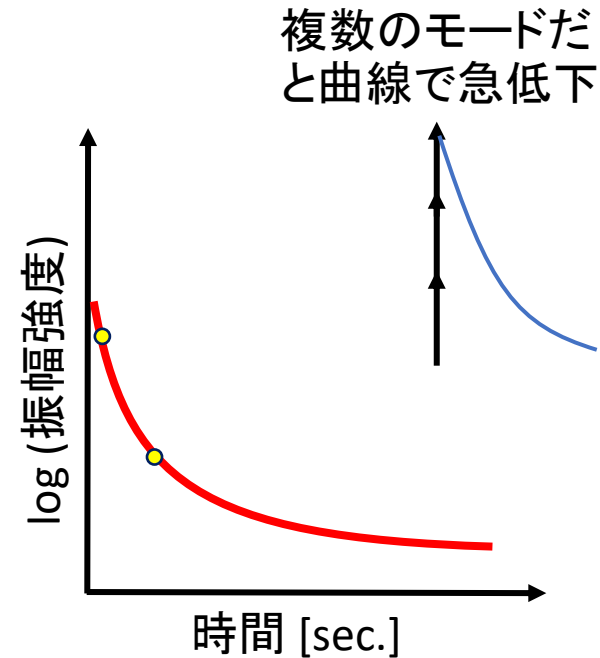
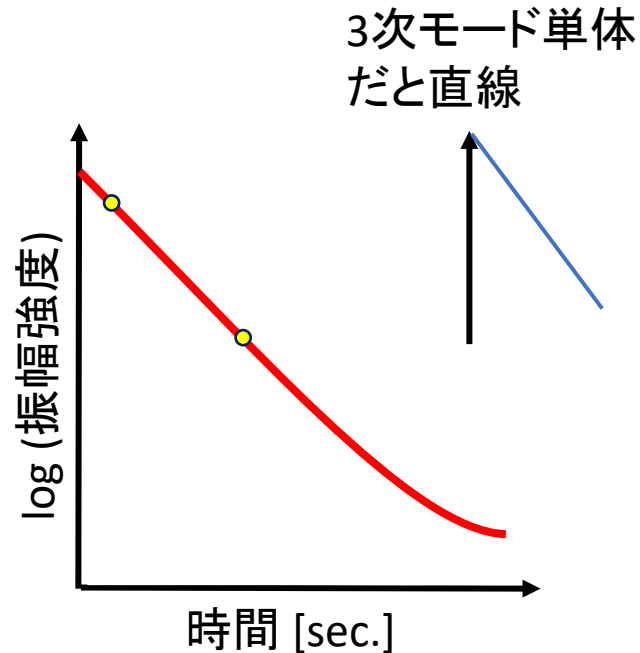
5. 考察

甚大なスリット(厚みの6割)があると、低次モードが変わり、中央を打撃すると複数のモードから応答が返ってくる。



5. 考察

対数減衰率について

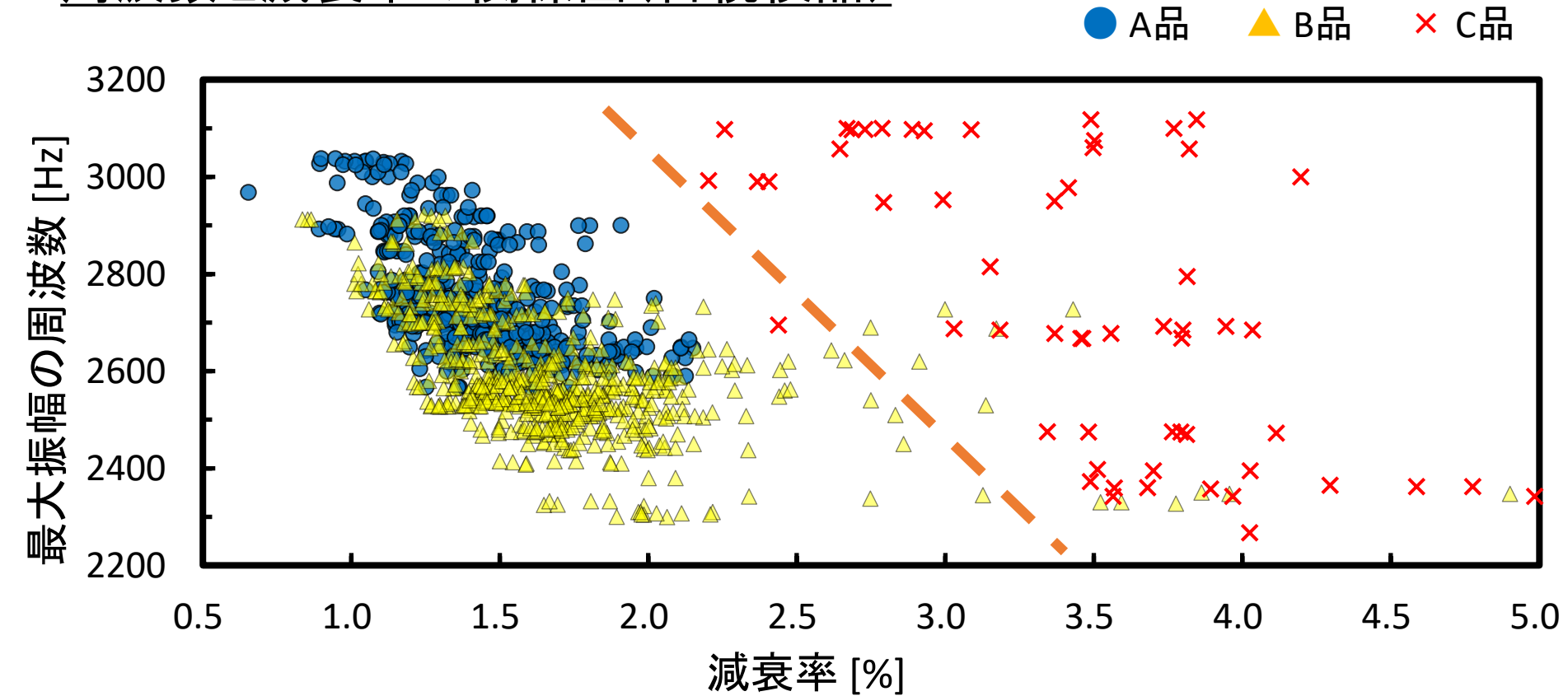


C品については, 近しい強さのピークが複数出現し, 最大周波数の位置関係が変わります. 複数ピークの重ね合わせによって減衰率は非常に大きな値をとります.



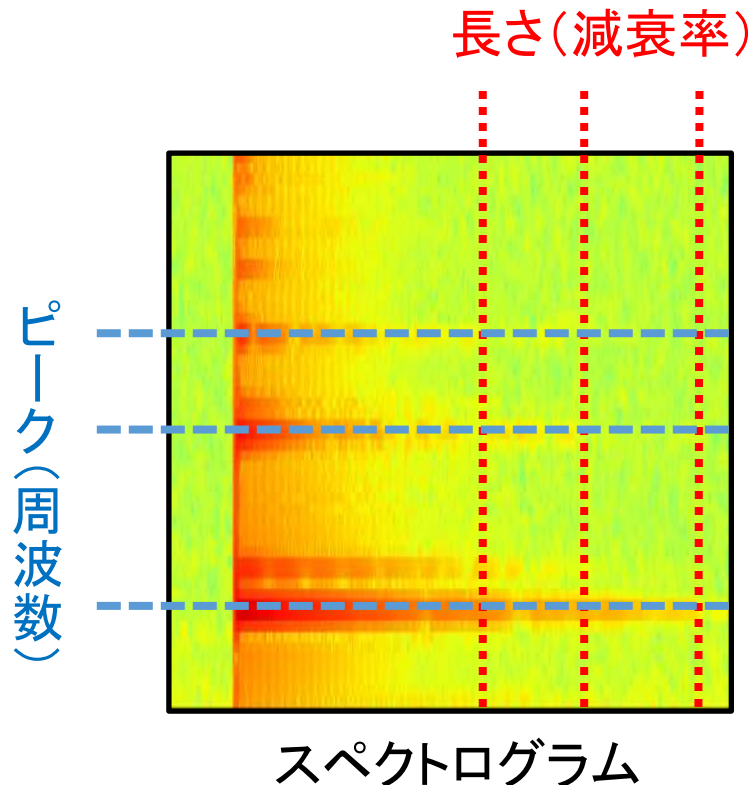
5. 考察

周波数と減衰率の関係図(目視検品)



5. 考察

以上のことから, AIはピークの位置とその長さから品質を判定しているのではないかと考えました.



経験則的に数値から品質を判定することも可能ですが, どの範囲までが良品であるか, といった線引きが難しいため, AIの結果と組み合わせることで, より精度の高い結果が望めるのではないかと思います.



6. まとめ

- AIは, 打音試験によって得られた**スペクトログラム**から, **A品とB品(良品), C品(不良品)**の判別ができることがわかりました.
- **C品(不良品)**は経験則的に, **減衰率で見分けることができるもの**と考えられます.
- 実用には, **AIの判定のみならず, 経験則も活かす**ことで, より高い精度で**C品**を見抜くことができると思われます.



7. その後

2020年5月14日

打音回路 電源 オーディオインターフェース

PC

検査台+マイク

ハンマー

コイル

鉄心

検査台の中身



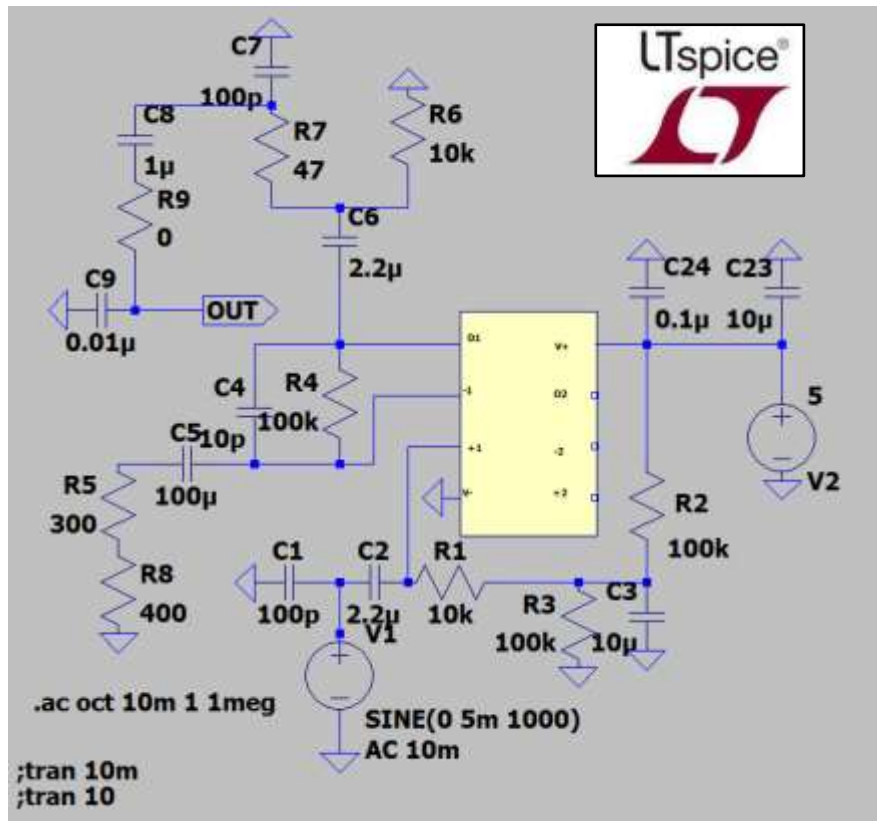
7. その後



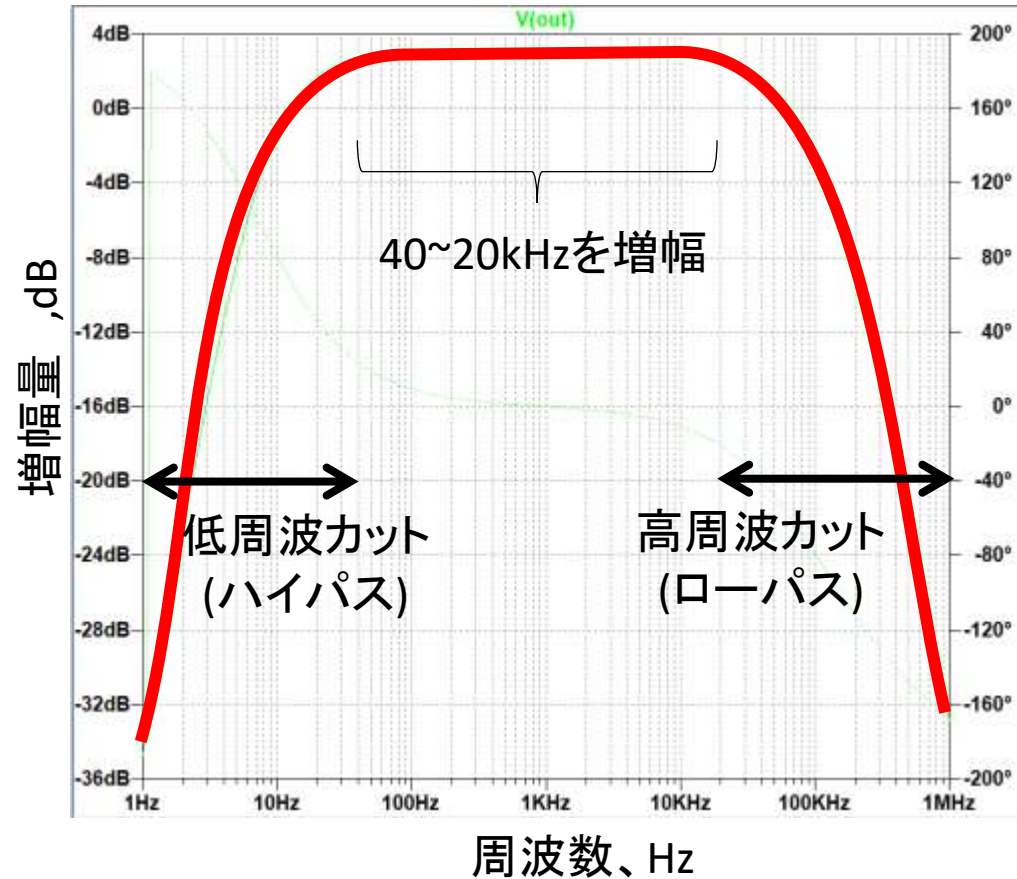
7. その後

回路CAE

(铸造シミュレーションの様なもの)



アンプ回路の電子回路(LTspice XVII)



周波数、Hz

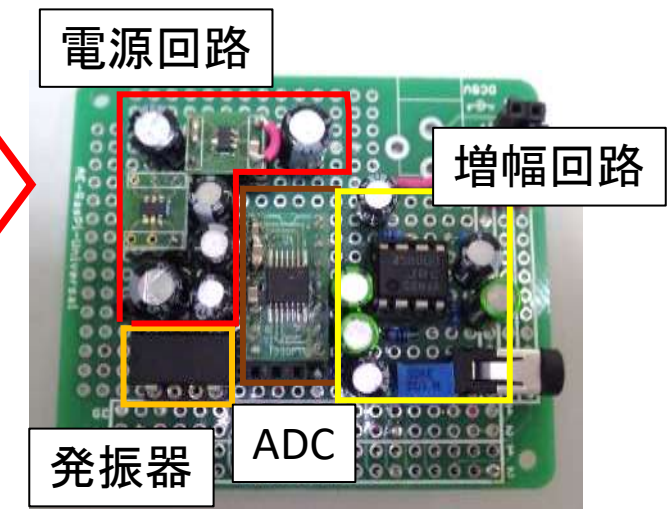
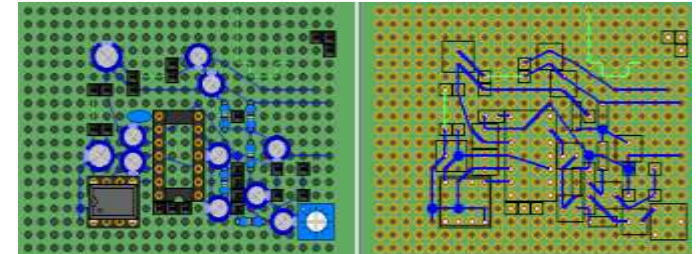
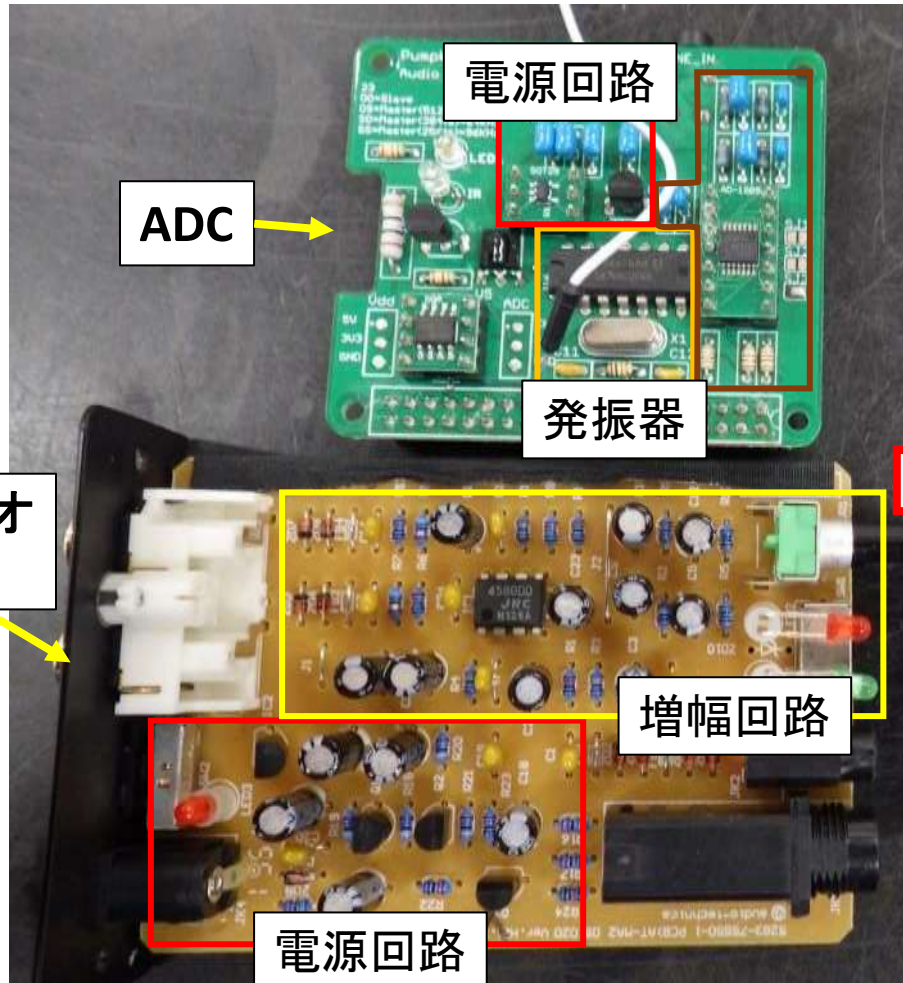
解析結果



7. その後

2020年8月19日

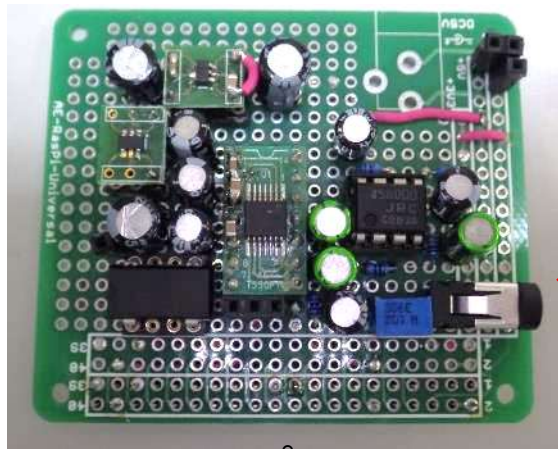
回路CAEから市販品を組み合わせて、電子基板を作りました。



Raspberry Pi用
アンプ+ADC
Ver2.0



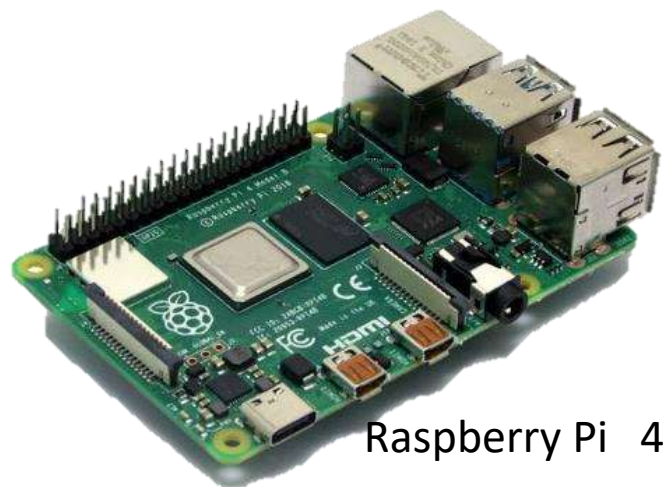
7. その後



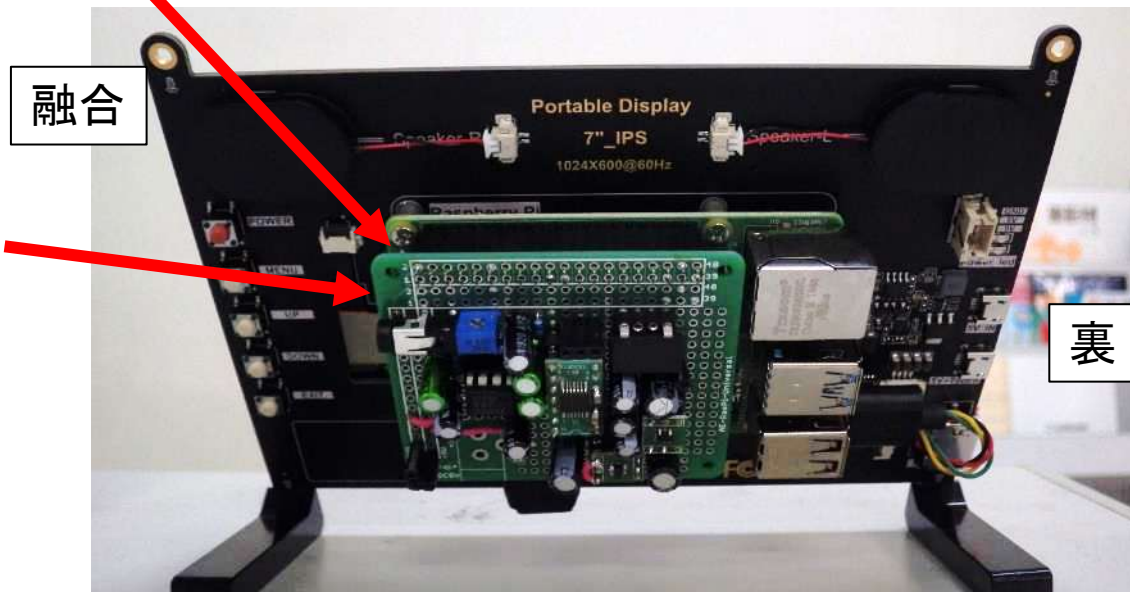
アンプ+ADC



表



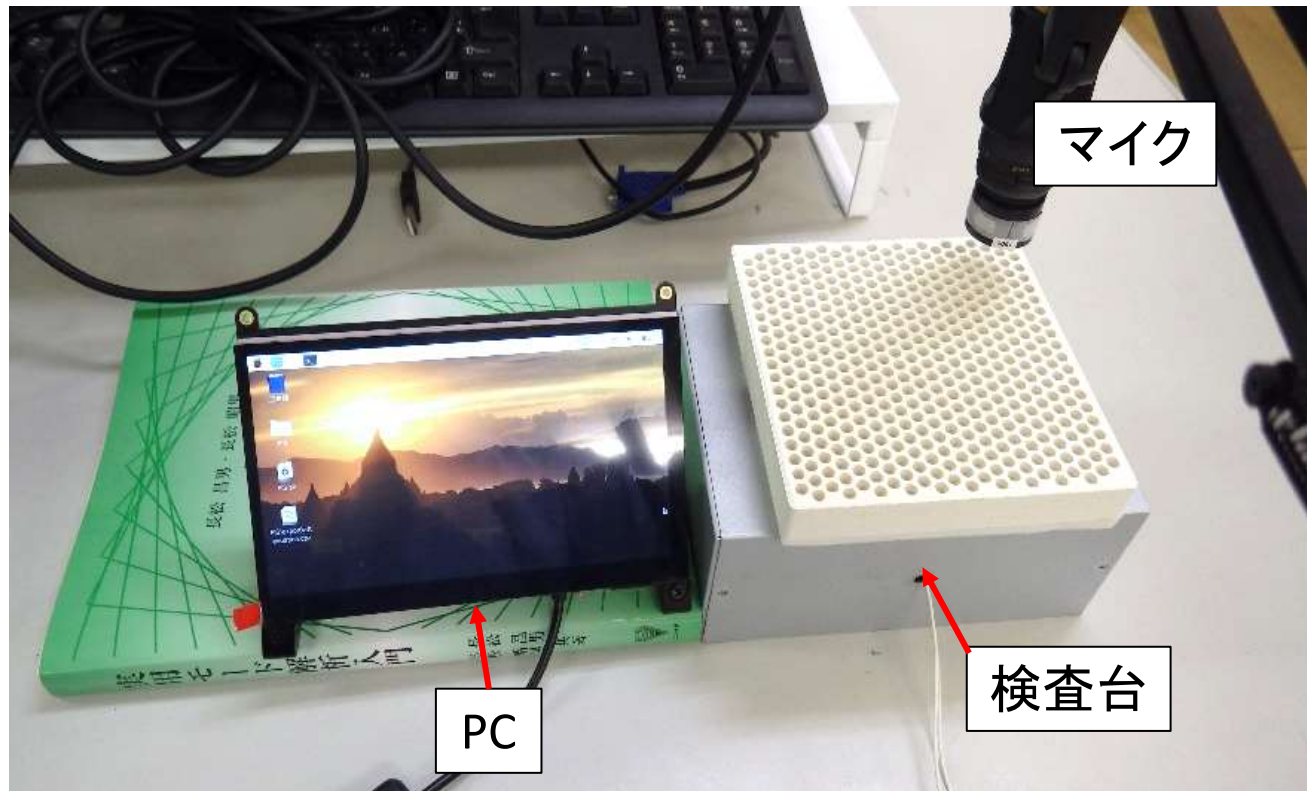
Raspberry Pi 4



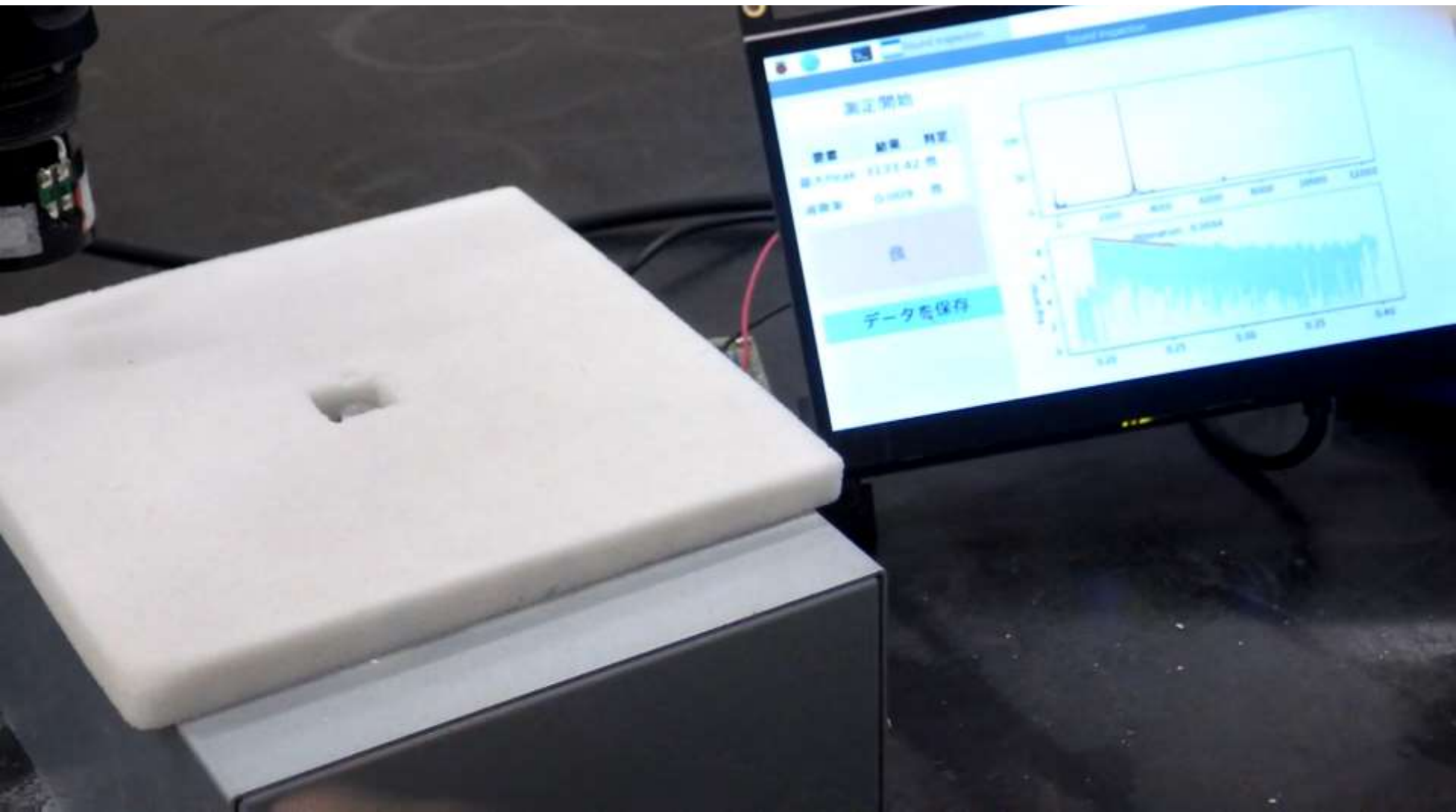
融合

裏

7. その後



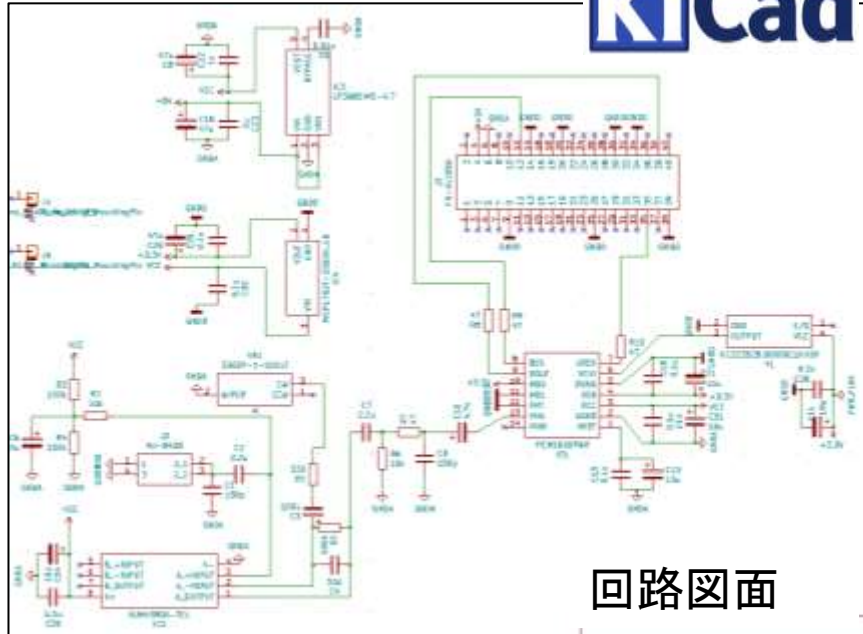
7. その後



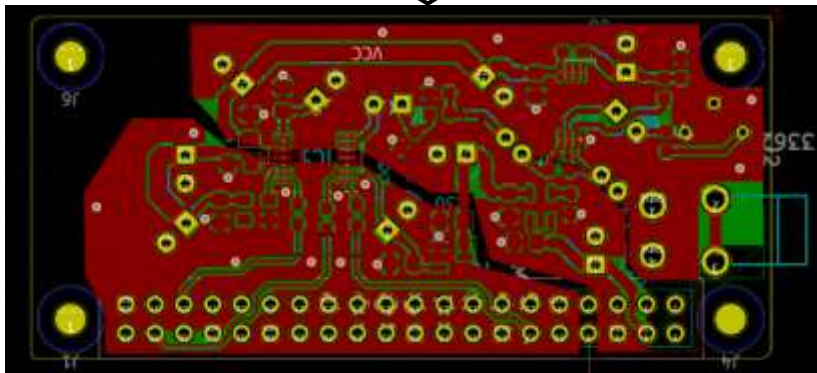
7. その後

回路設計CAD

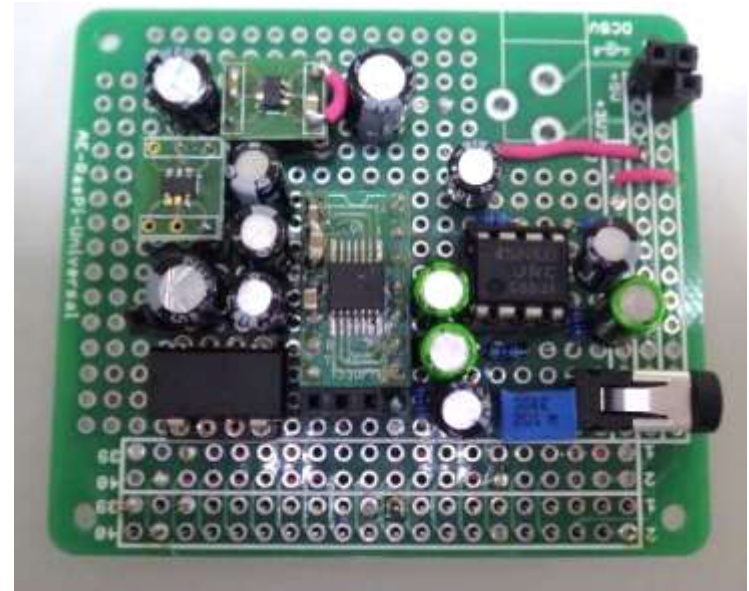
KiCad



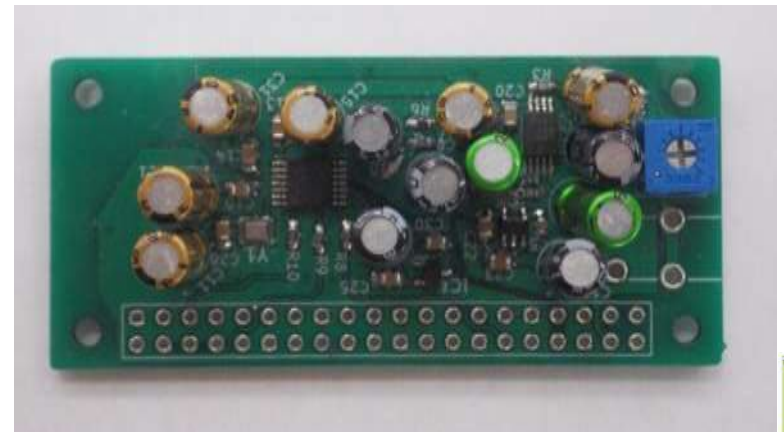
回路図面



基板図面



小型化



7. その後

工場導入時にいろいろな問題があって、経験的な共振周波数と減衰率に閾値を決めて、運用している。

- ・ 鋳物フィルターのロットによる音響特性のズレが大きい。
- ・ ラボと工場(建屋の振動が大きい)での打音データの違い。

AI判定は実用化に至っておらず、今後の課題となる。



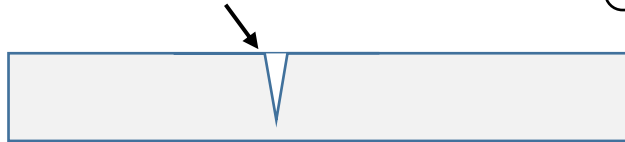
ご清聴ありがとうございました。



補足

①見える亀裂

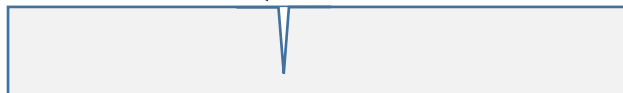
乾燥収縮で発生する
亀裂は広がったまま



メーカーの目視検査で除外

②見えない亀裂

衝撃時に亀裂
が進展する



出荷以降に発生

無負荷では
亀裂が閉じる



目視では判別不可で、打音で
初めて気が付いたものもある。
さらに、この亀裂は強度低下甚大

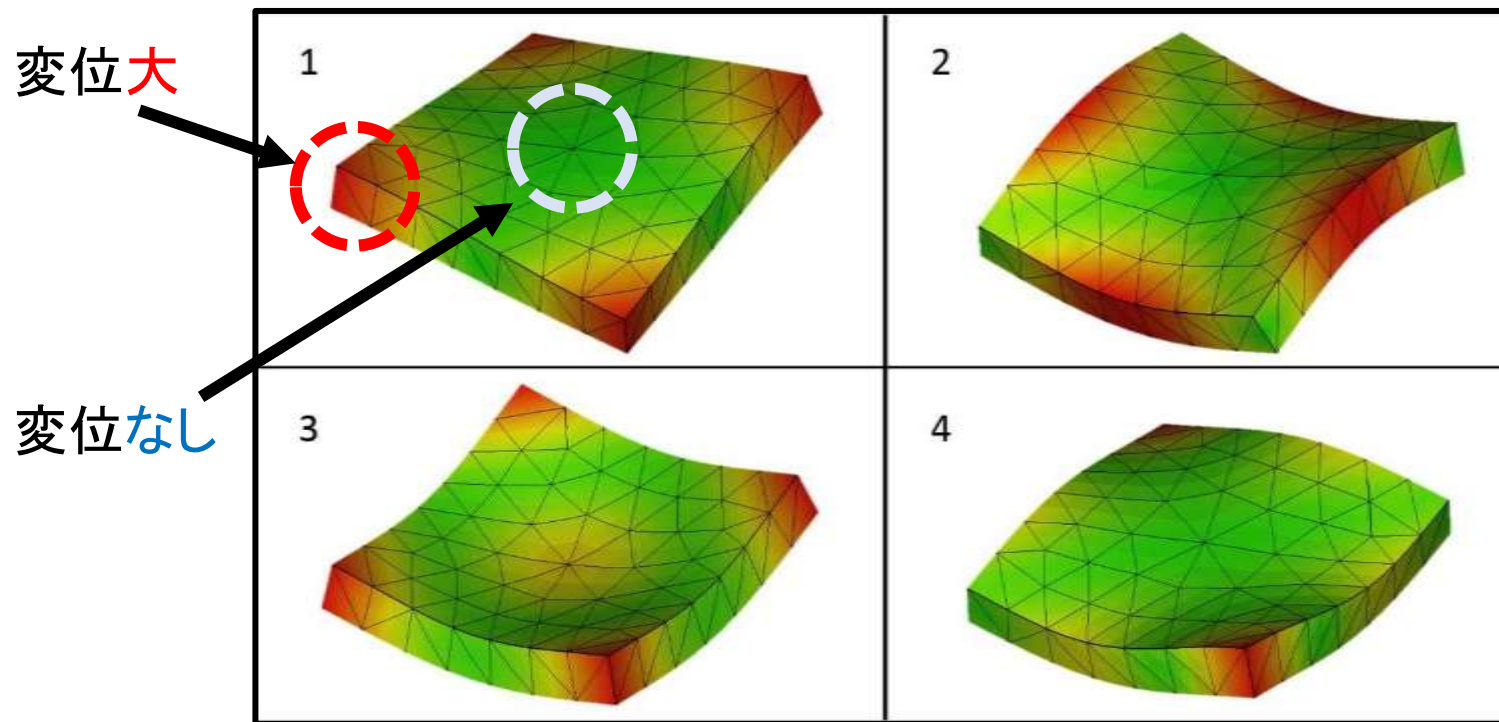
目に見える亀裂はさほどでもなく、見えない亀裂は致命的である。



以下、質問回答資料



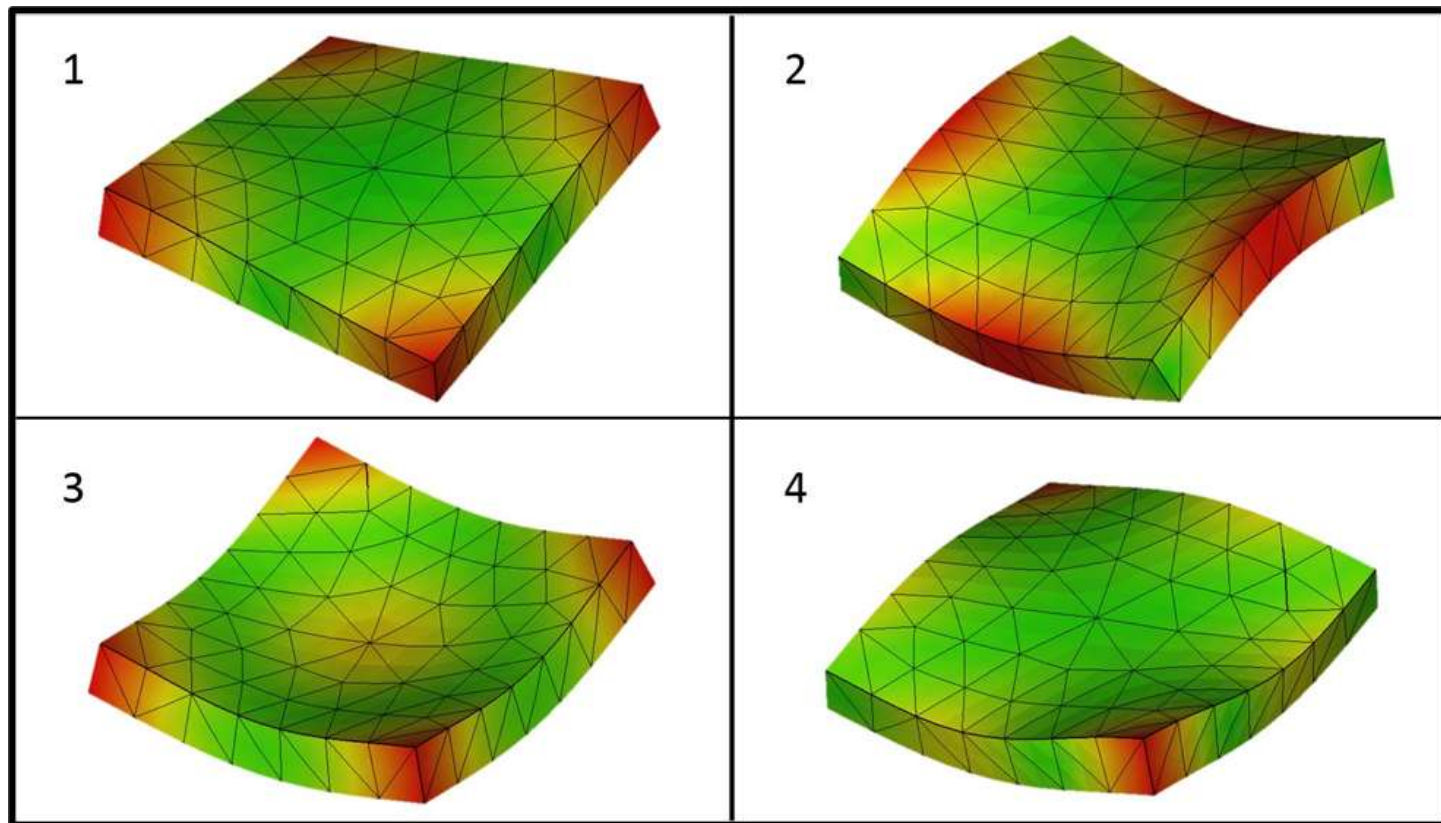
捕捉. 固有モード



右上の数値
はモードの
次数を示す

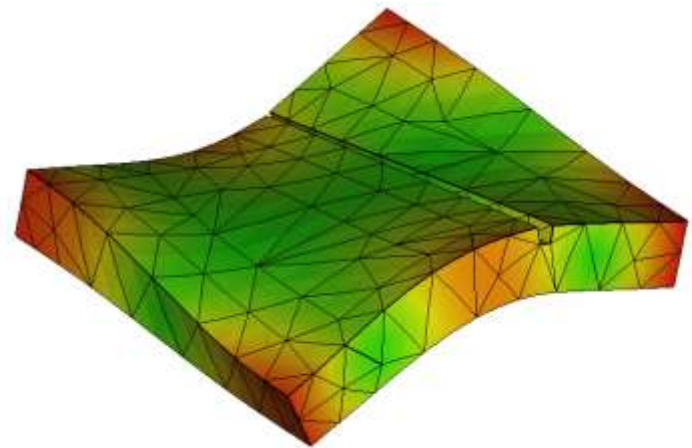
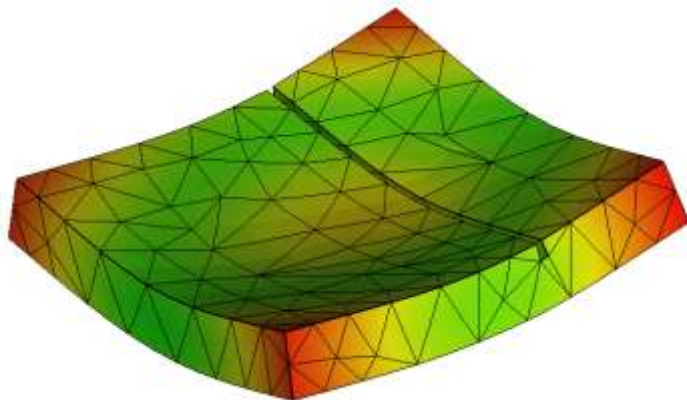
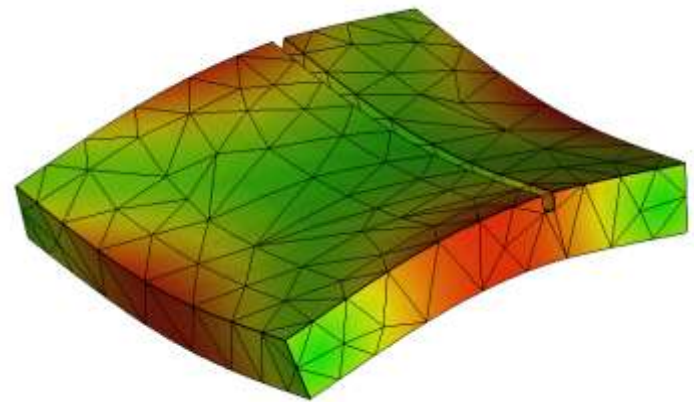
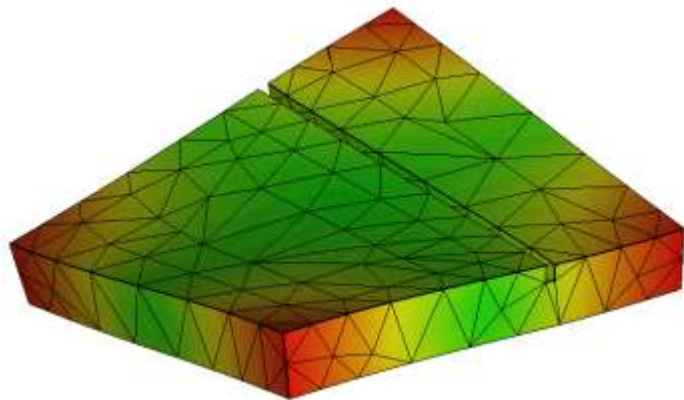
図. 平板のモード解析の結果



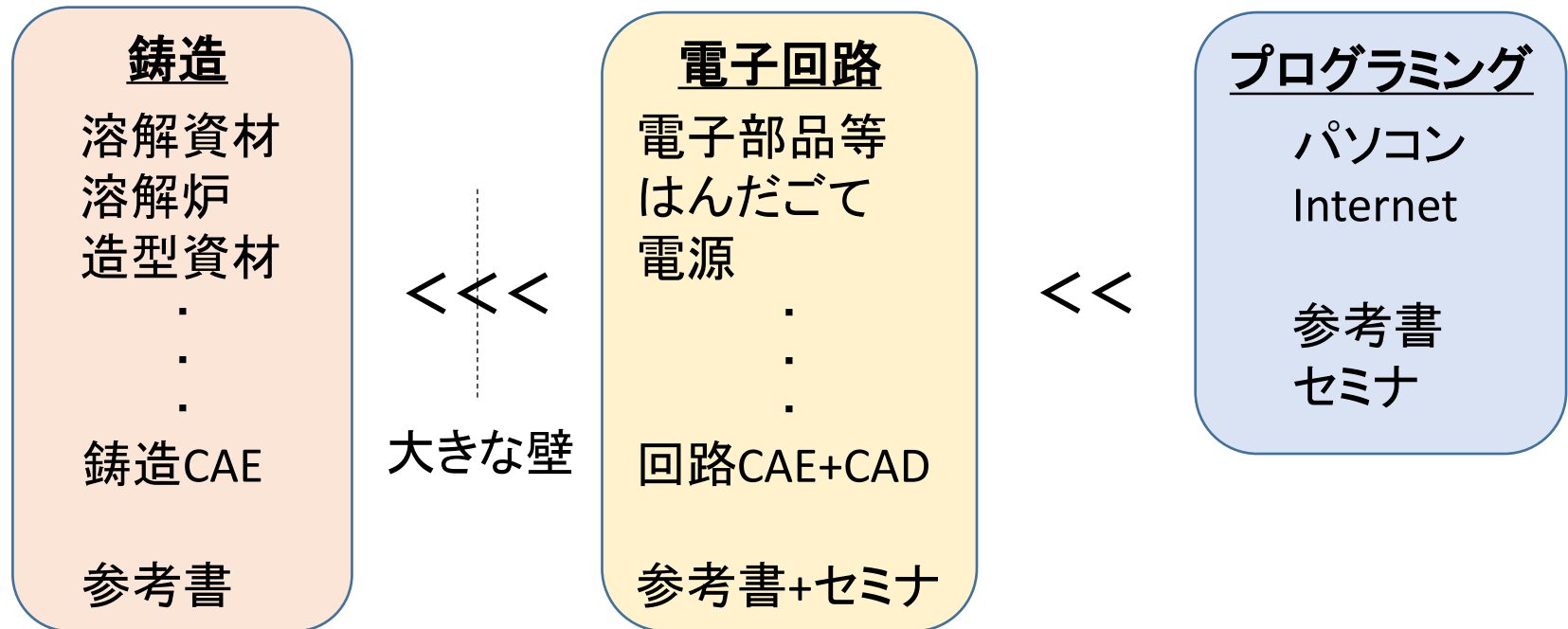


5. 考察

厚みの2～3割のスリットがあっても、3次モードから
甚大なスリットが入ると、低次モードが変わり、
中央を打撃しても無垢平板とは大幅に異なる。



他分野を見て思ったこと



- ・鋳造は、何をするにも難しい



5. 考察(予備知見)

無垢平板のモード

