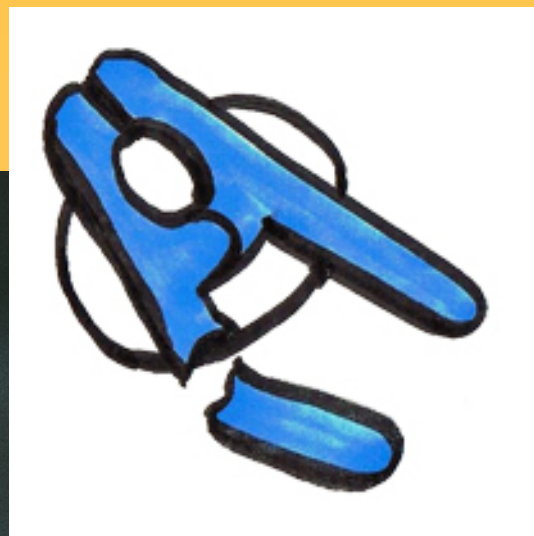
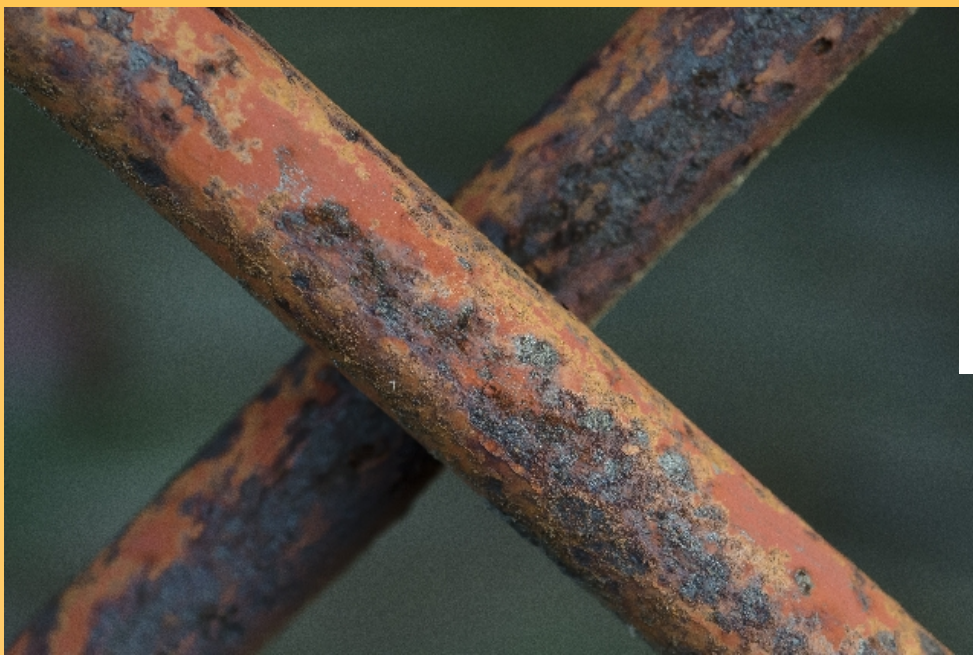


非破壊評価の意義



物は必ず壊れる



多くの人命を預かる物なら**大惨事**になる

橋



ミシシッピ川I-35W橋崩落事故

旅客機



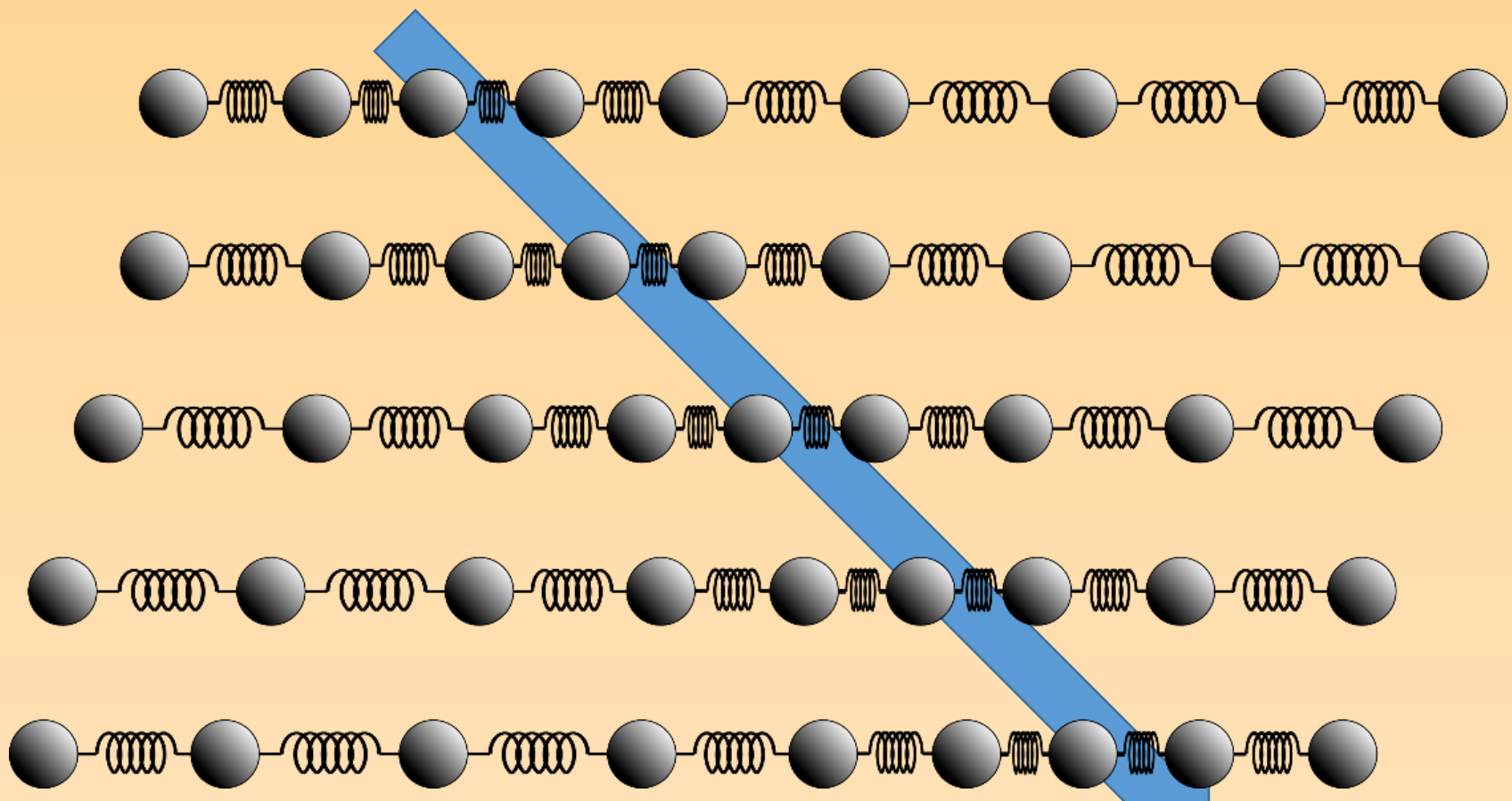
アロハ航空 243便事故



いつ壊れるかを知ることが大事. 物を壊さずに中の状態を「見」よう！

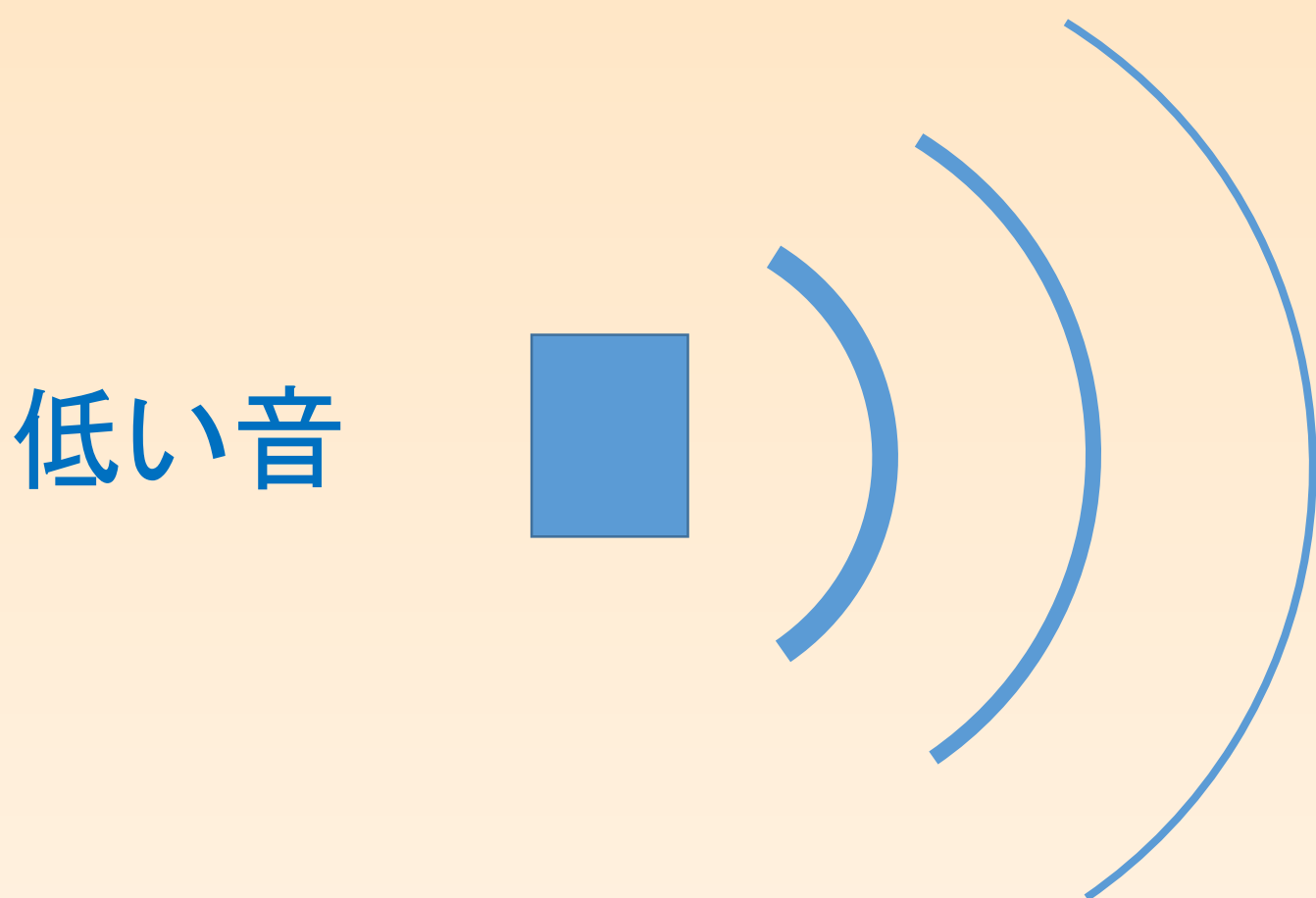
音の性質

音とは物体中の振動のこと(弾性波・音波)

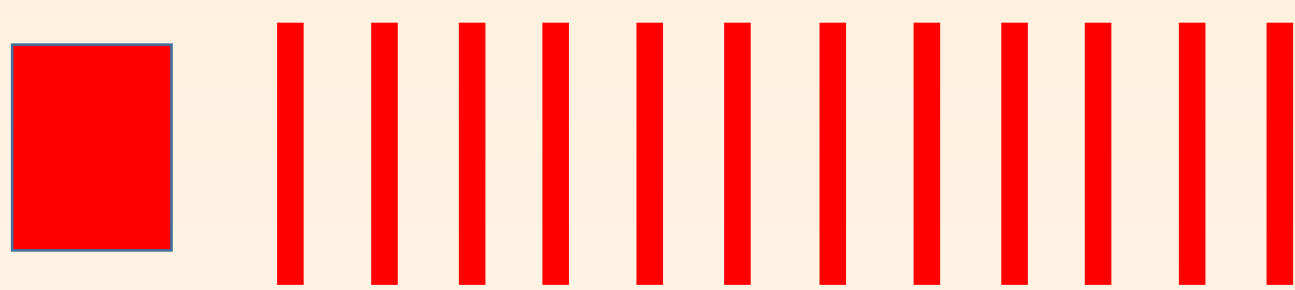


波の伝搬

高い音は、広がりにくく、ビームのように進む

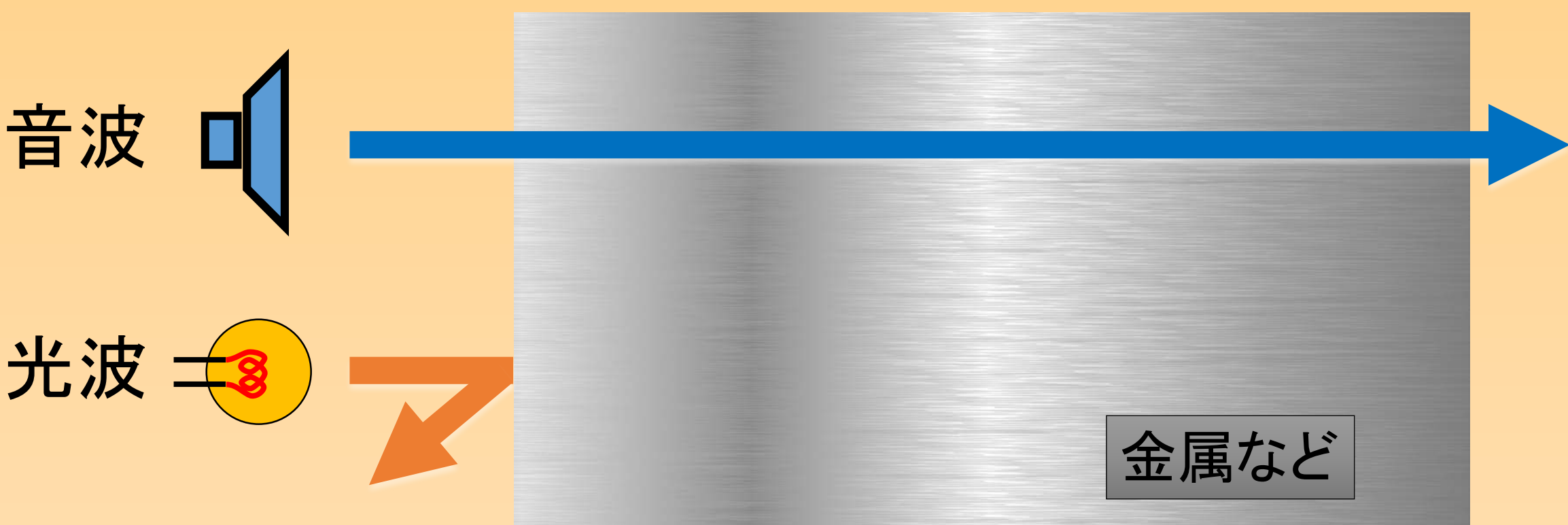


低い音

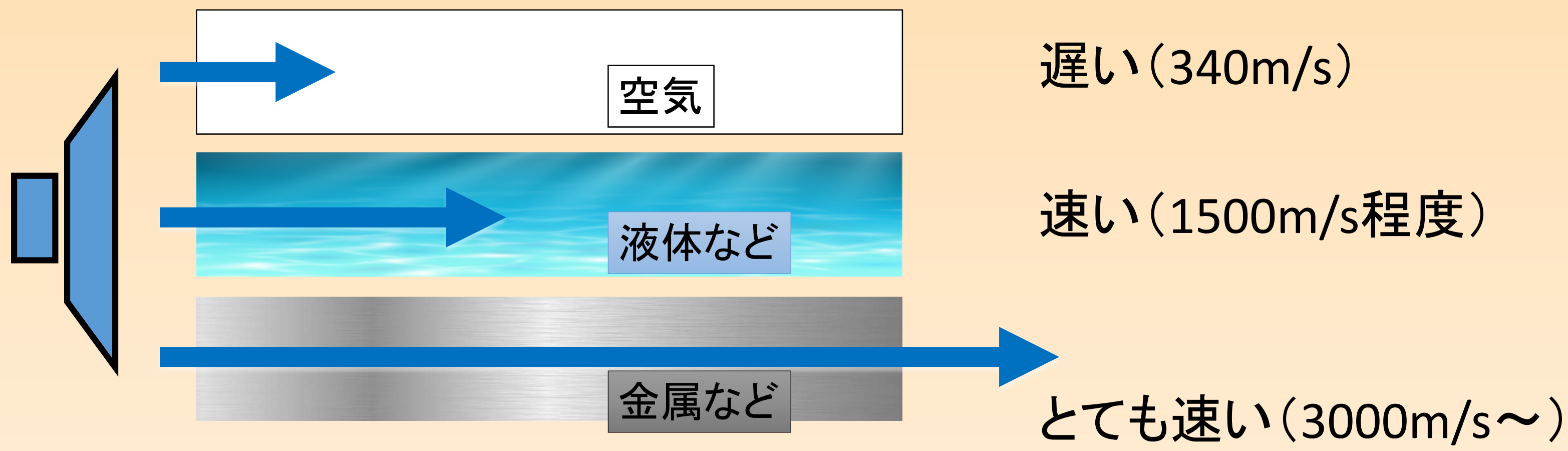


特に高い音は**超音波**と呼ばれる.

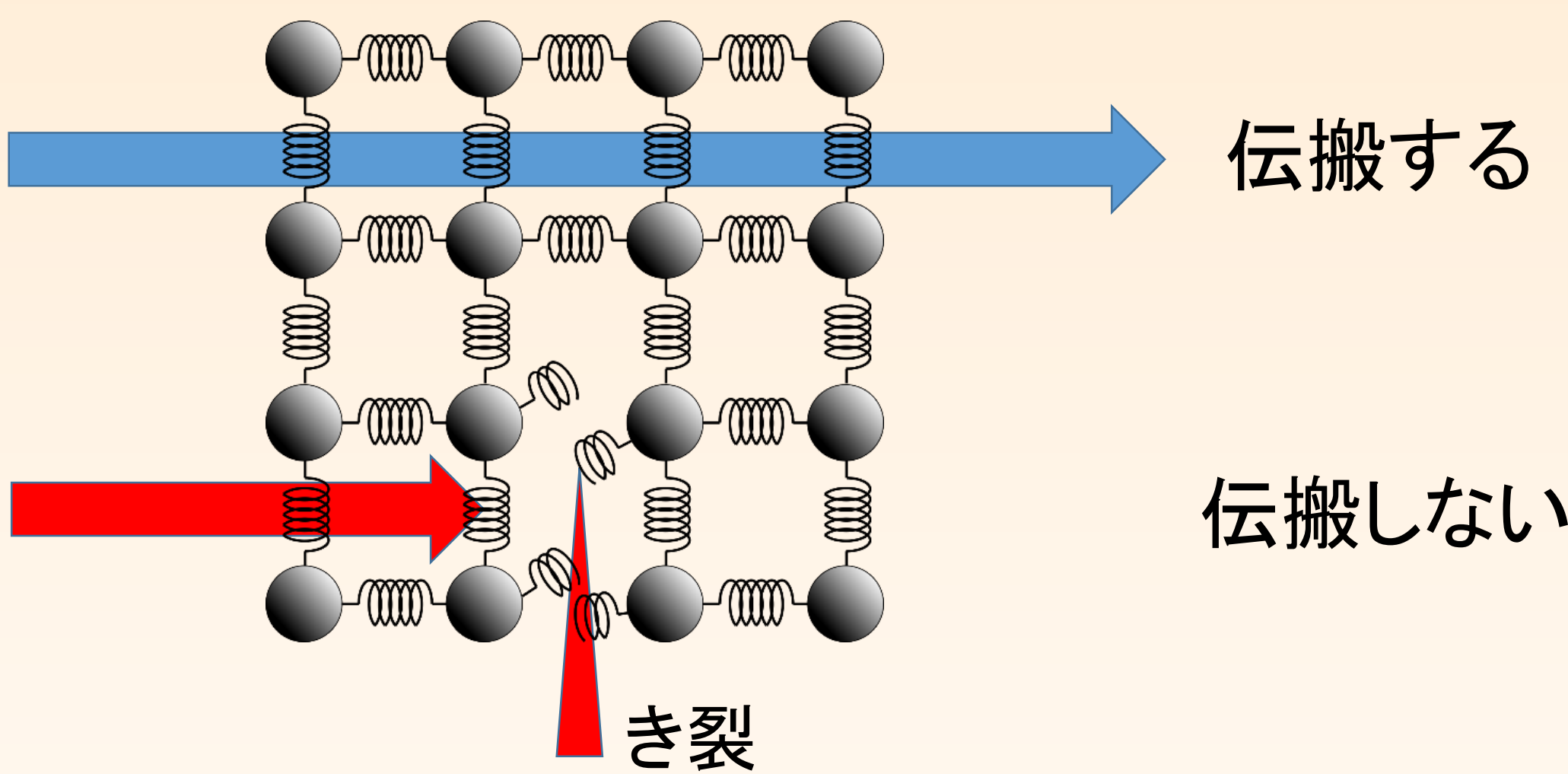
空気中だけでなく、固体・液体中も伝わりやすい



物体によって伝わる速さが異なる



き裂や異物があると通りににくくなる



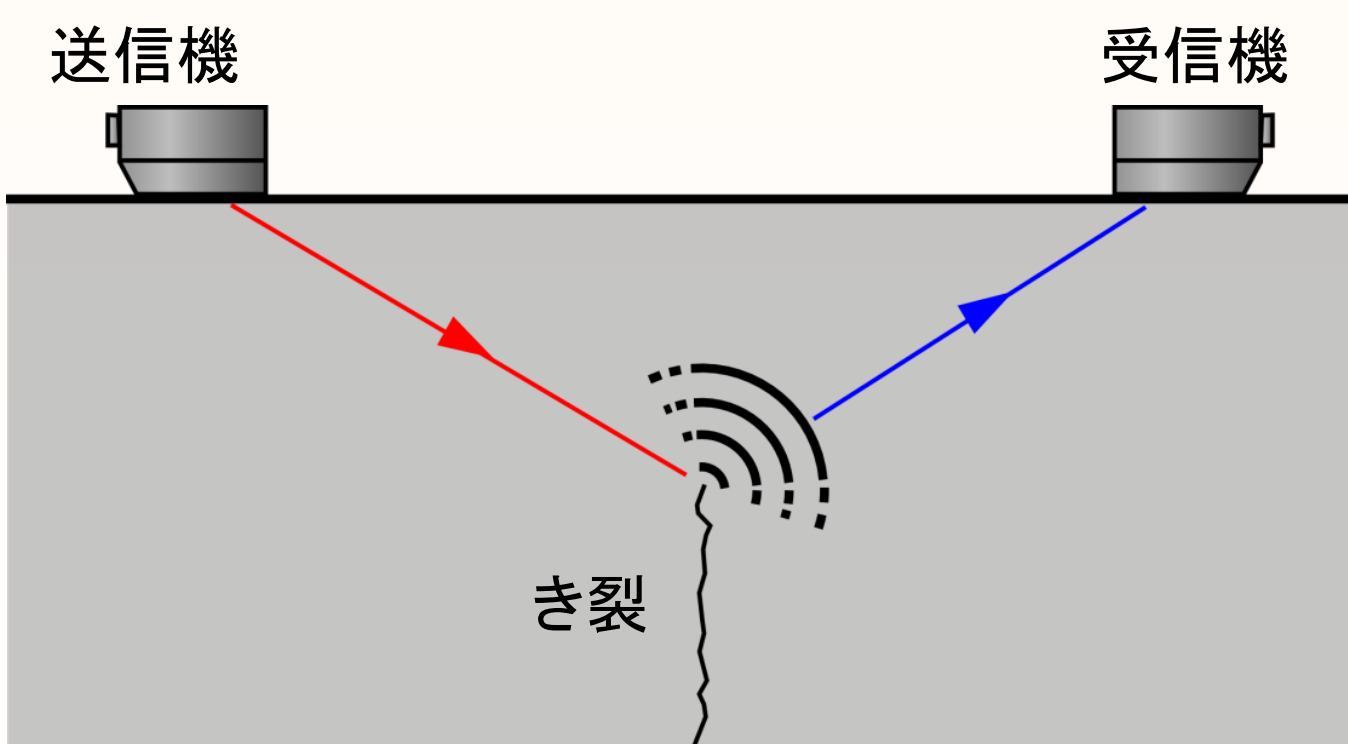
超音波による非破壊評価

超音波によって材料内部の損傷を評価する方法

- ☺ 材料内部の評価が可能な方法である.
- ☺ 装置が比較的小型, 軽量.
- ☺ 放射線等と異なり法的な規制が少ない.
- ☺ 伝搬時間がマイクロ秒オーダーであり, 容易に波形情報が得られる.
- ☹ 材料内部で回折・反射が起こり, 波形の解釈が難しい場合がある.

Our Goal

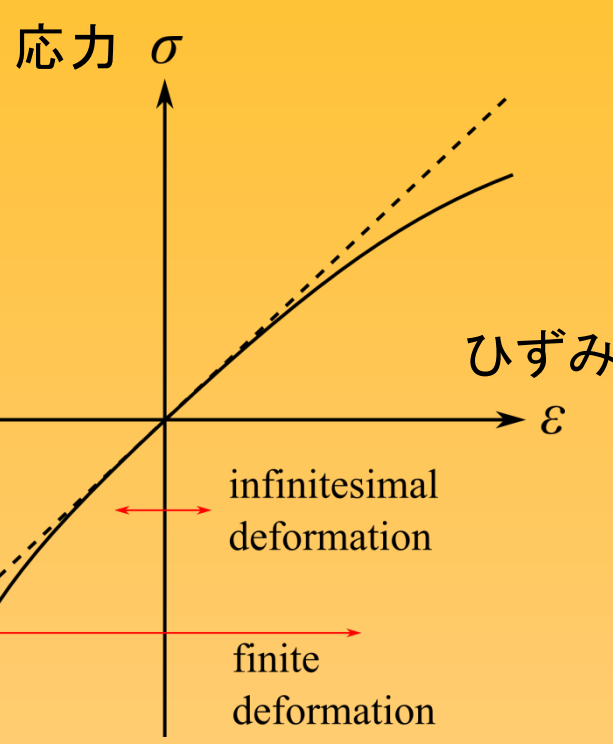
高速・低コストで高感度な非破壊評価法の開発



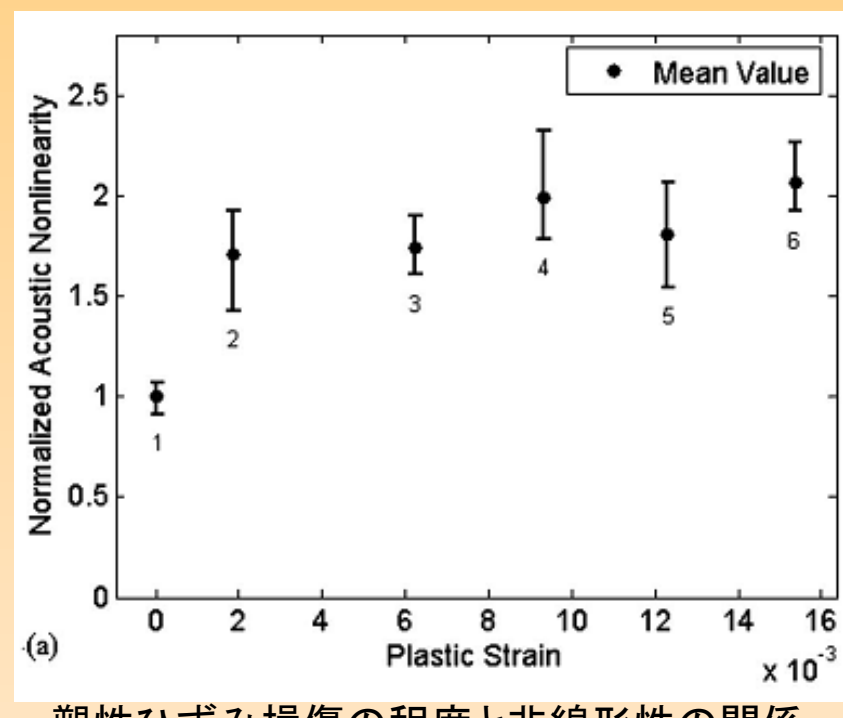
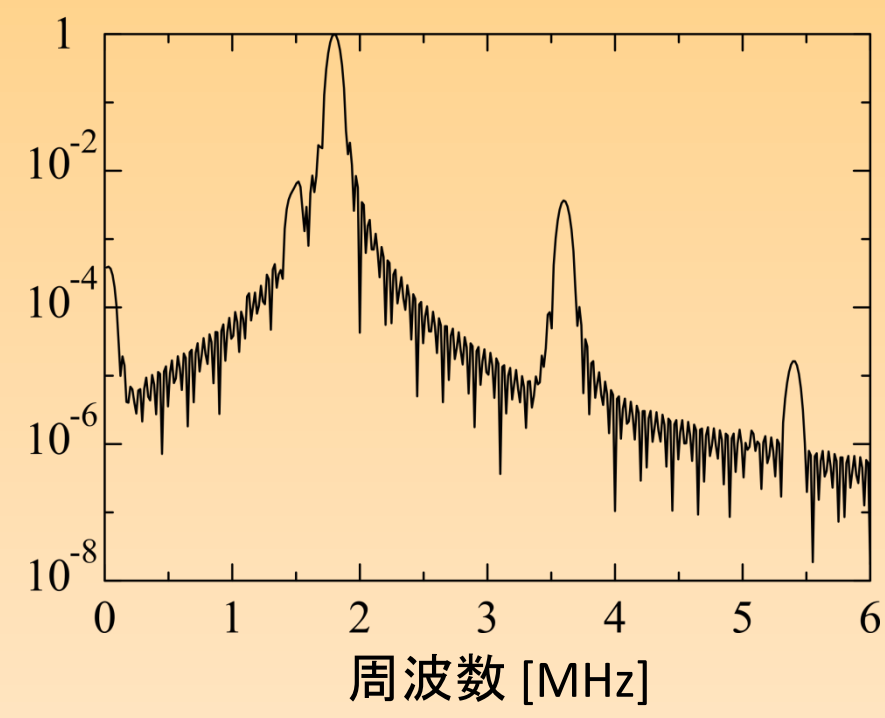
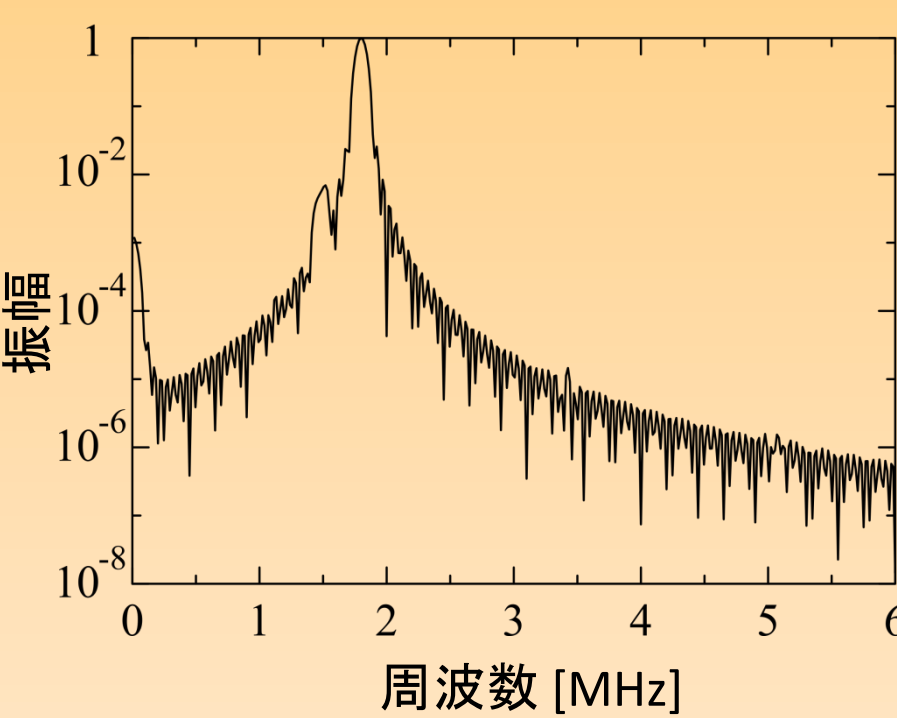
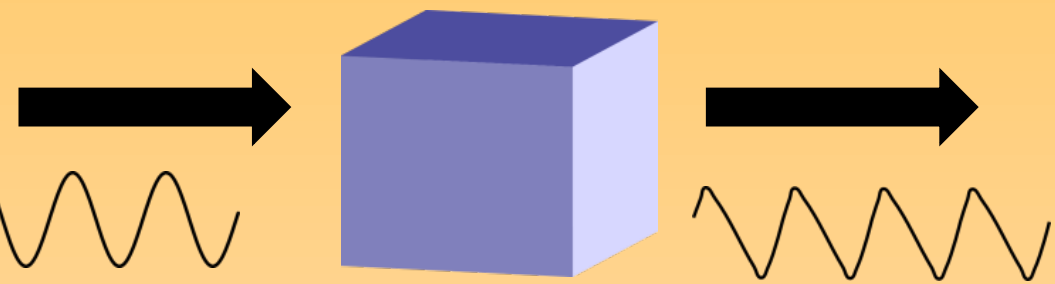
超音波による非破壊評価の例

## 非線形超音波法

応力-ひずみ関係



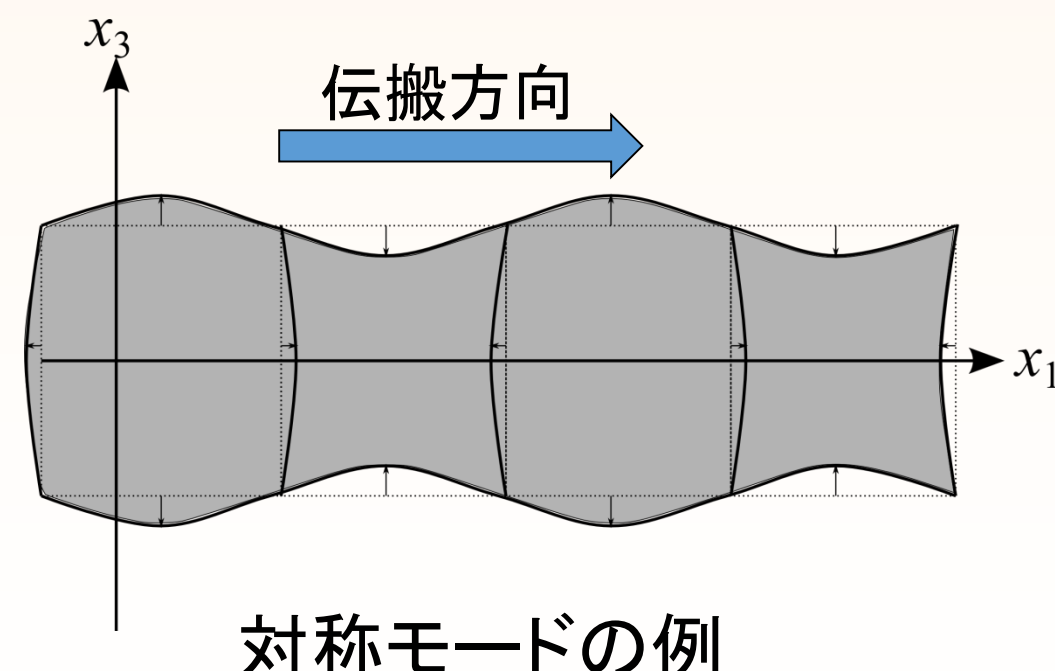
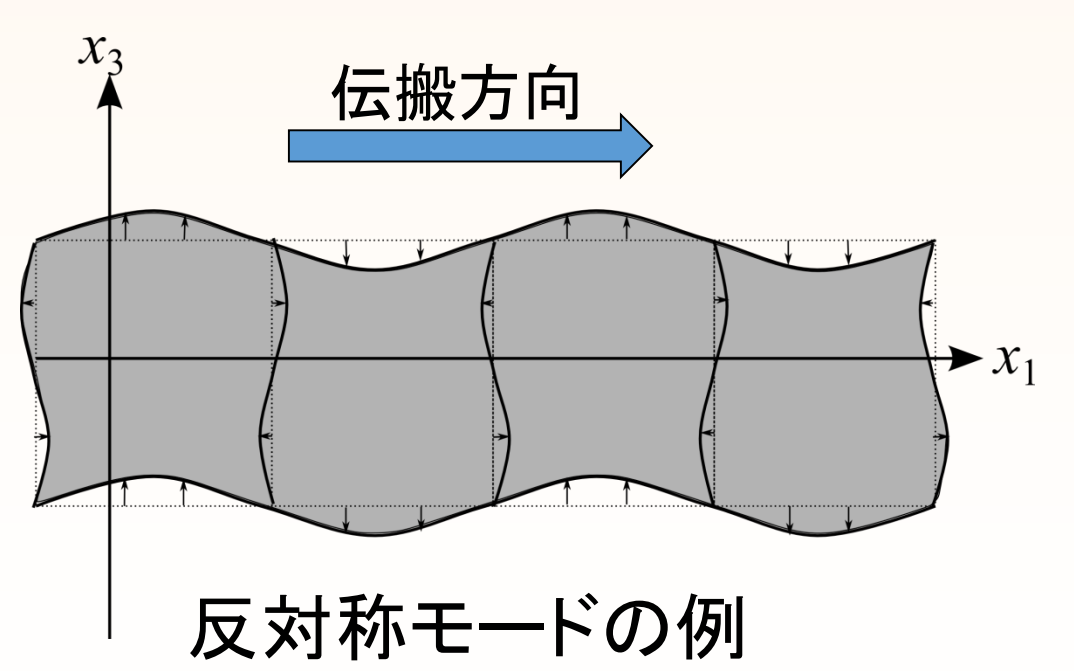
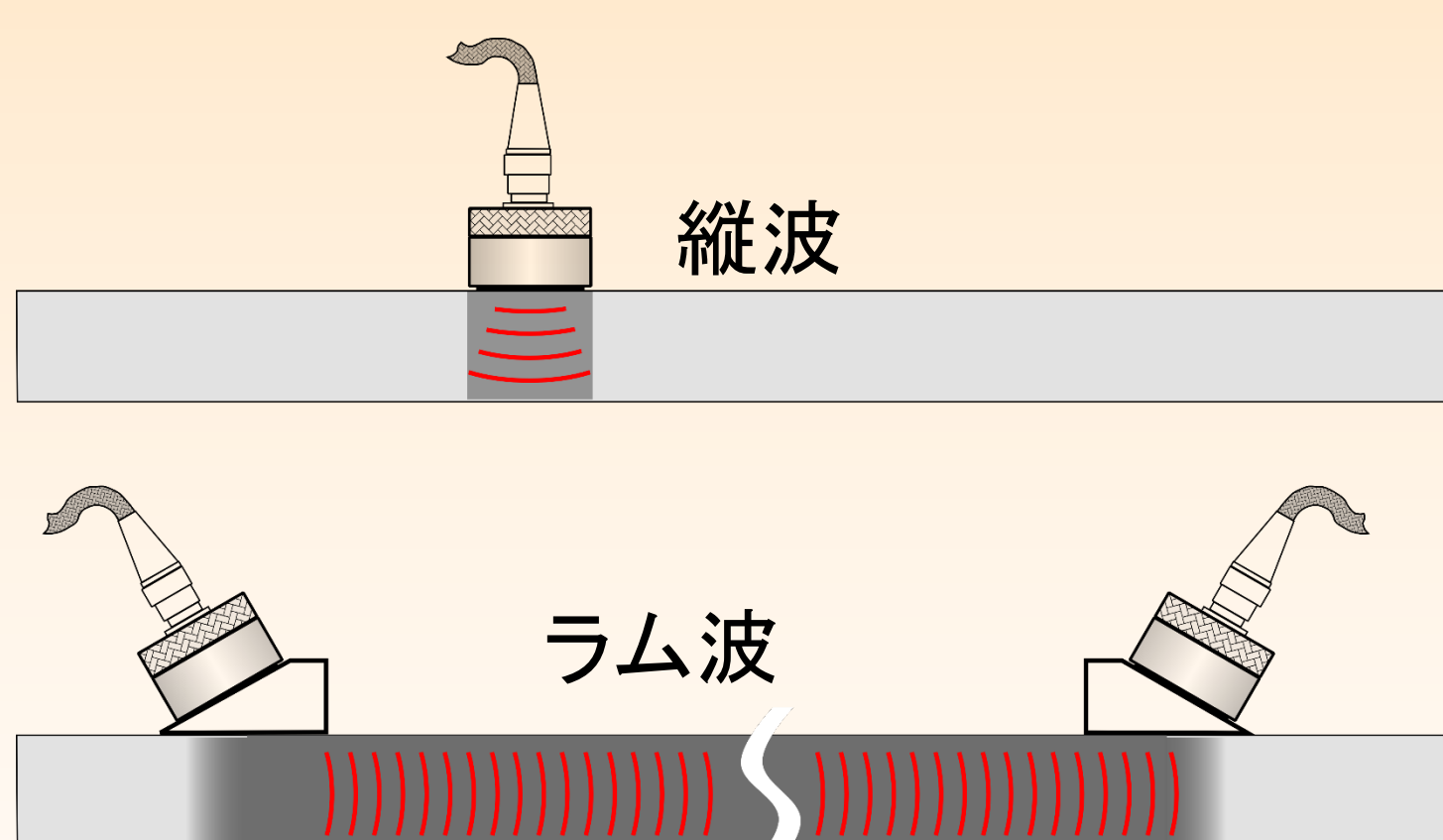
- 材料の力学的な非線形性を測定することにより、**損傷の評価を行う方法**
- 非線形性と材料の塑性ひずみ損傷・疲労損傷の間には強い関係がある。
- 大振幅の超音波を送信し、**高調波**などの振幅を測定することにより非線形性が測定できる。



塑性ひずみ損傷の程度と非線形性の関係  
C. Pruell, J.-Y. Kim, J. Qu, and L. J. Jacobs, Appl. Phys. Lett., 91 (2007), 231911.

## ラム波

- **板中を伝搬する進行波モード**
- 広い範囲を一度に評価可能
- 幾何的減衰が小さい
- 周波数に対する速度分散性を持つ

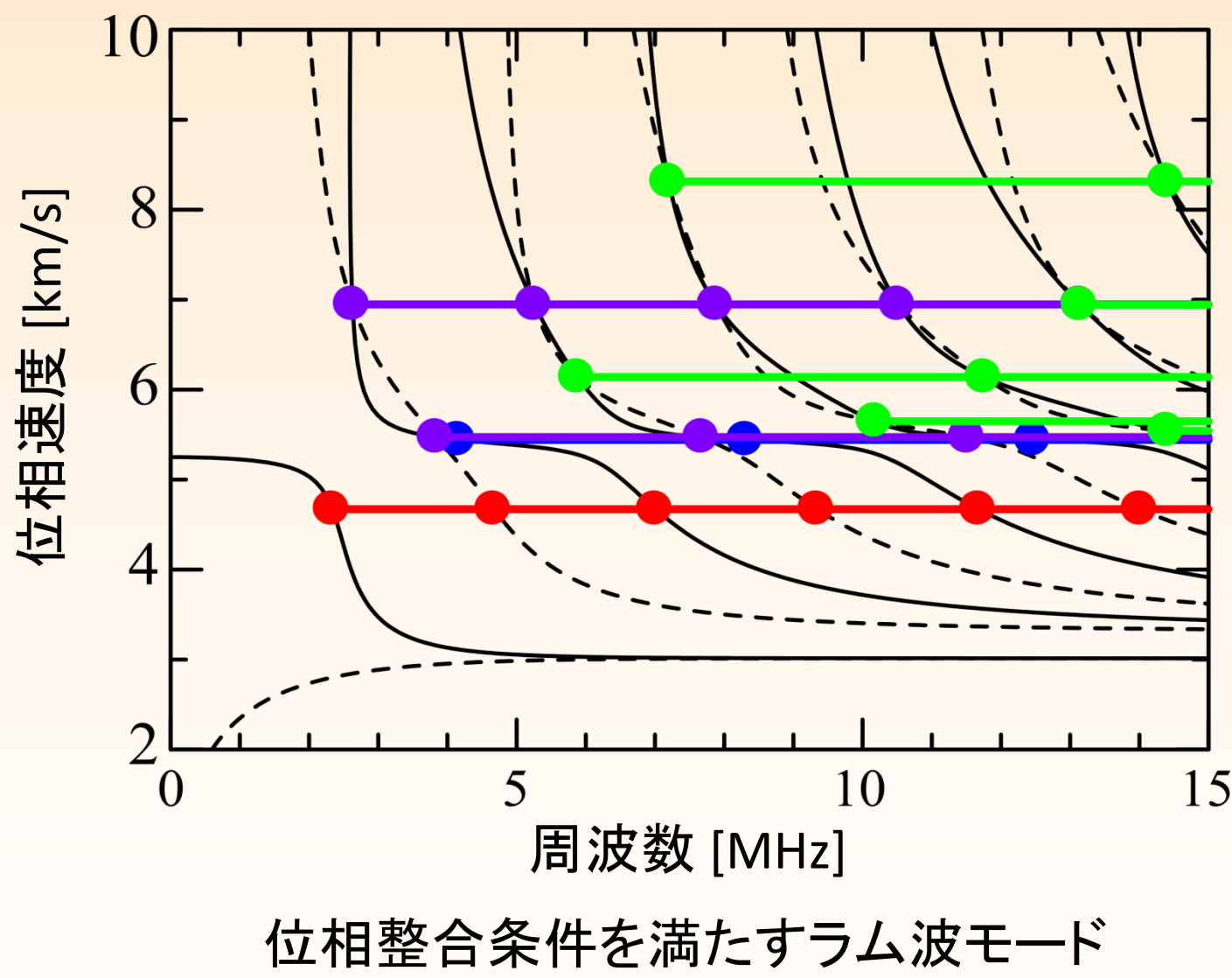


## Results

### ラム波位相整合条件の理論的解析

- 基本波と高調波が位相整合条件を満たされるような周波数において、ラム波高調波が伝搬距離に対して大きく増大する。
- ラム波の分散関係式であるRayleigh-Lamb周波数方程式より、系統的に上記条件を満たすラム波を導出し、4種に分類されることを導いた。

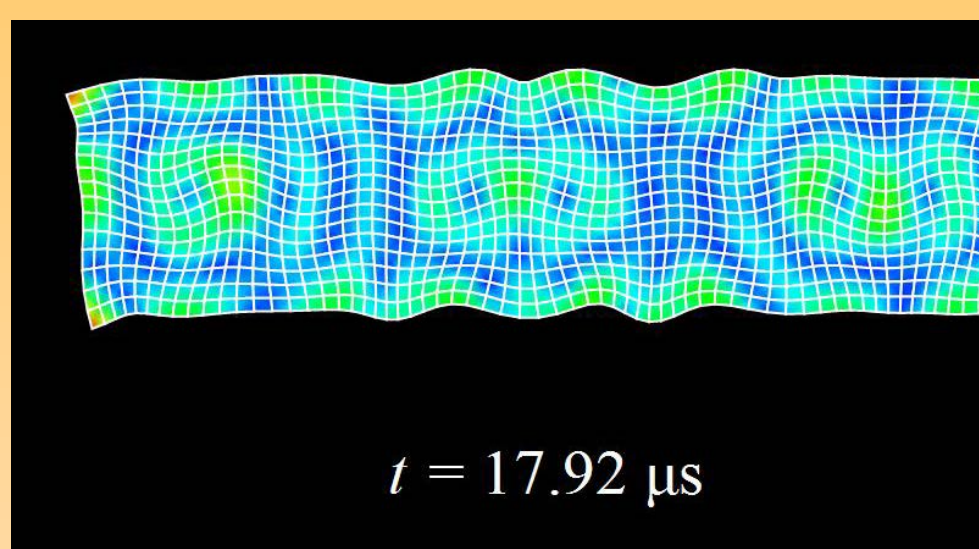
| モード名     | 周波数                                                                                                                |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 横波型      | $f = \frac{Nc_T}{2\sqrt{2}h}$                                                                                      |
| 縦波型      | $f = \frac{Nc_T}{2h\sqrt{1-\zeta^2}}$                                                                              |
| 対称・反対称交点 | $f = \frac{Nc_T}{4h} \sqrt{\frac{1-\eta^2}{1-\zeta^2}}$                                                            |
| 派生型レイリー  | $f = \frac{Nc_T}{2h} \sqrt{\frac{8-2Q \pm 2\sqrt{3}R}{5-2Q \pm 2\sqrt{3}R + \sqrt{\zeta^2(8-2Q \pm 2\sqrt{3}R)}}}$ |



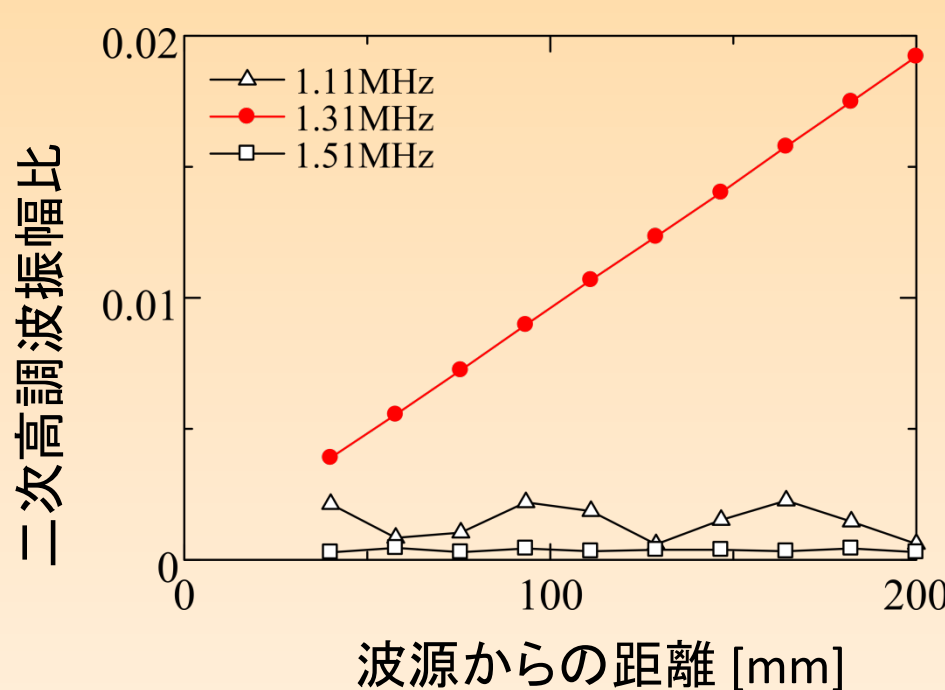
位相整合条件を満たすラム波モード

### ラム波高調波発生挙動の数値解析

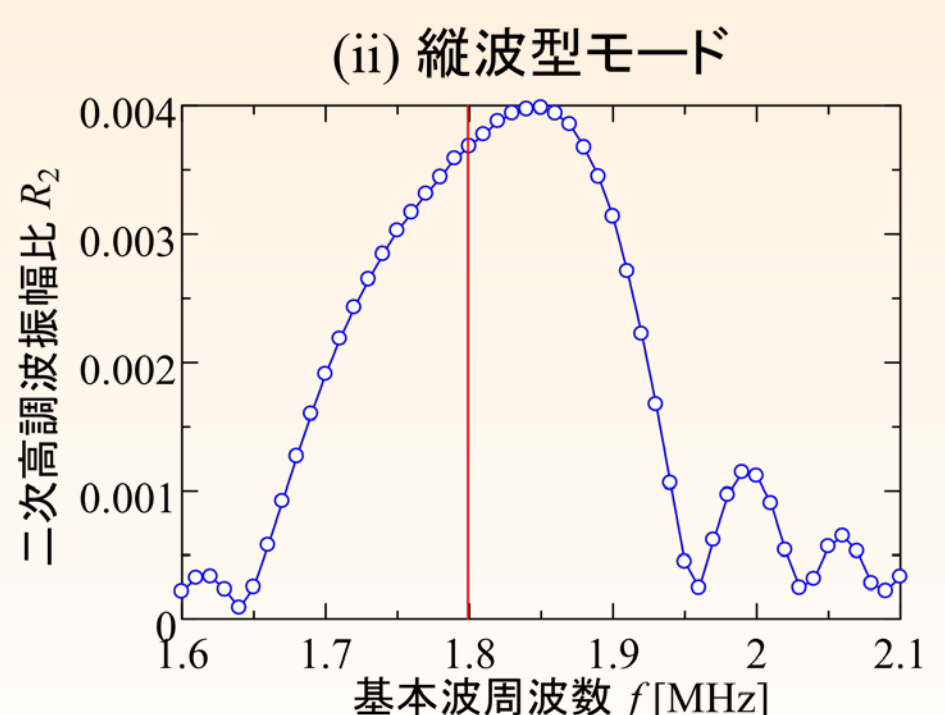
- ラム波の有する分散性と材料の応力-ひずみ非線形性が非線形伝搬挙動に与える影響を適切に理解するために数値解析を行った。
- 理論解析で導いた位相整合条件近くの周波数において、高調波振幅が増大することを示した。



シミュレーション結果例



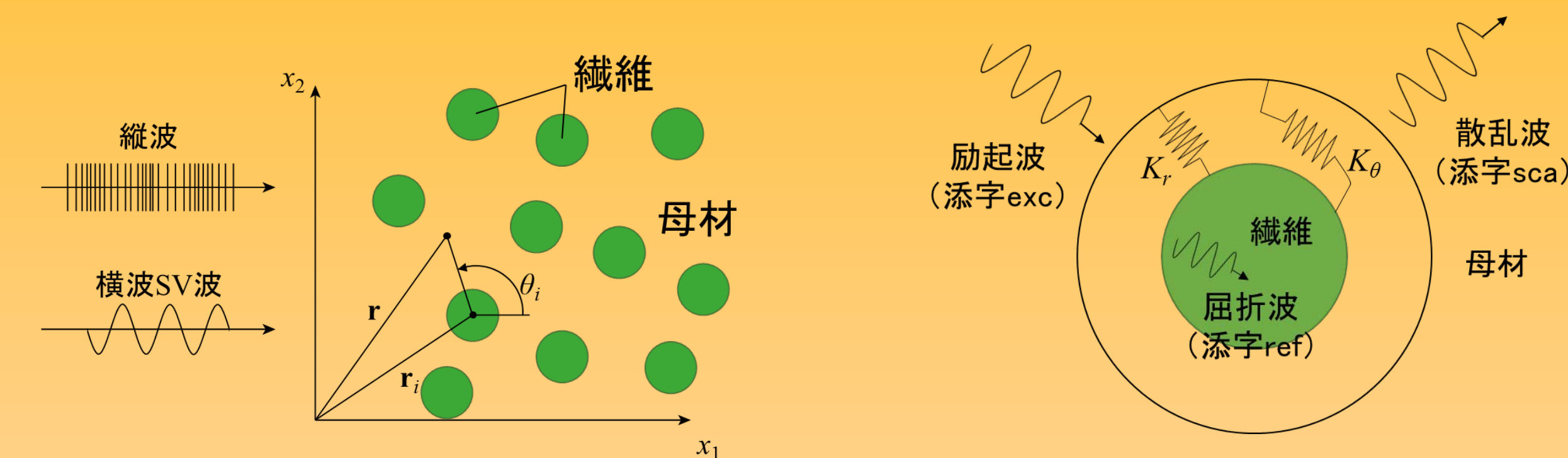
高調波発生量の距離依存性



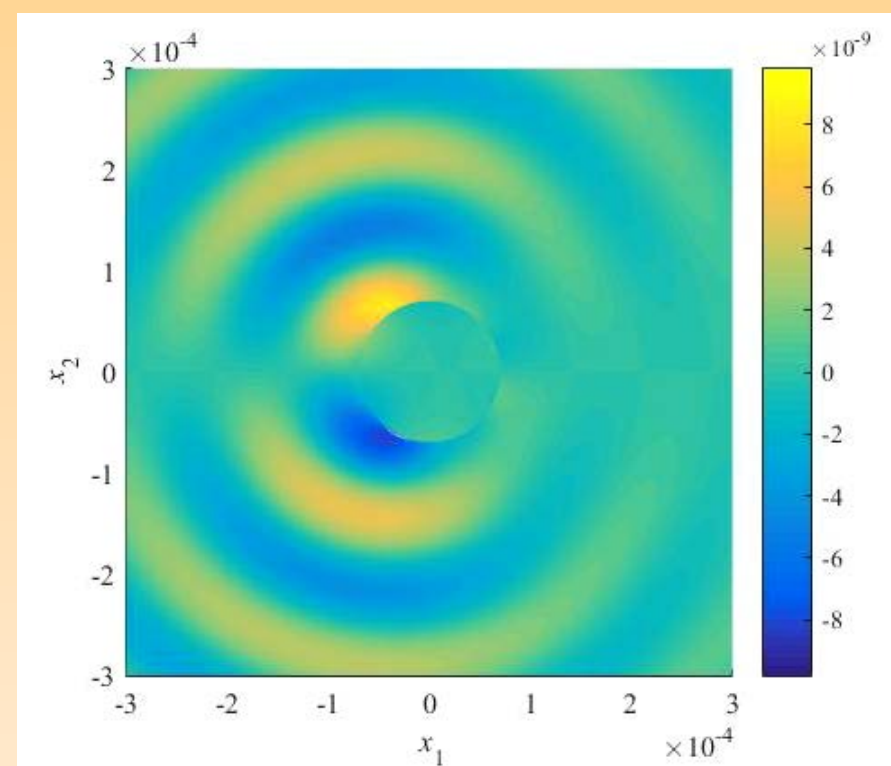
高調波発生量の周波数依存性

### 複合材料中の高調波発生挙動

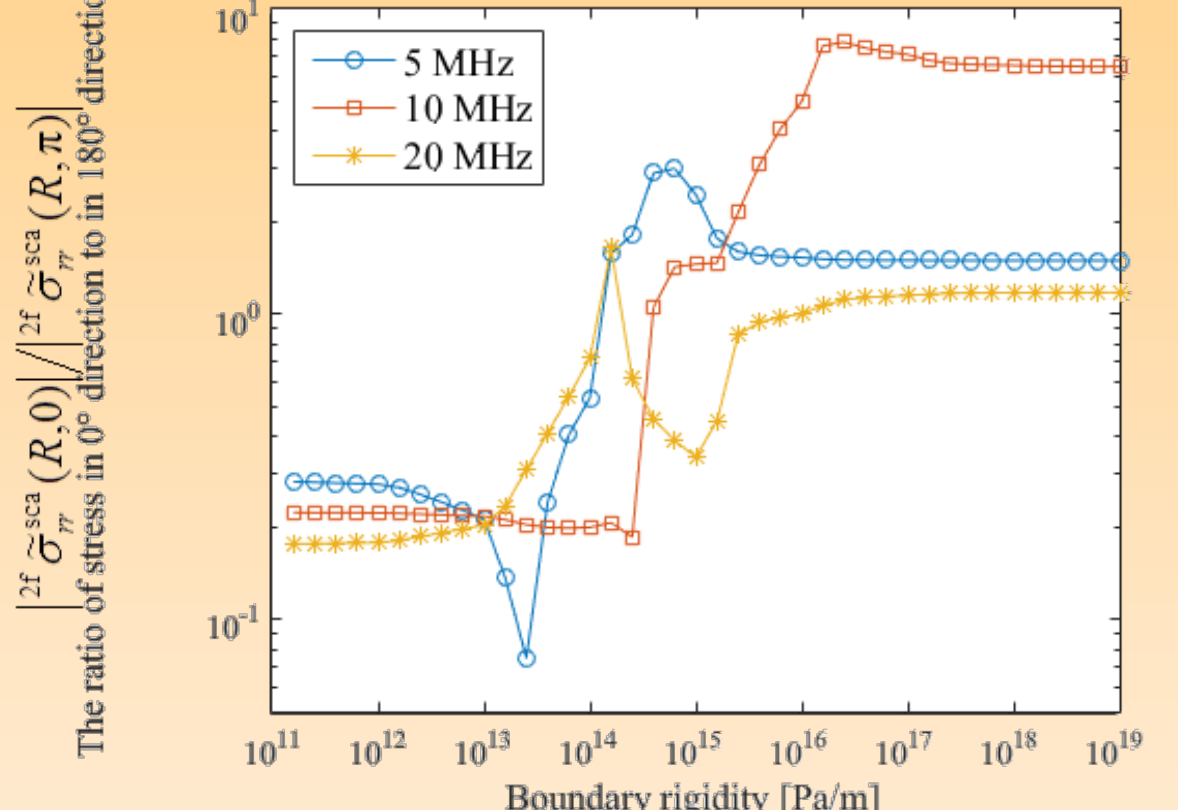
- 繊維-母材界面に非線形性を有するモデルにおいて高調波発生挙動を数値的に解析する手法を提案した。



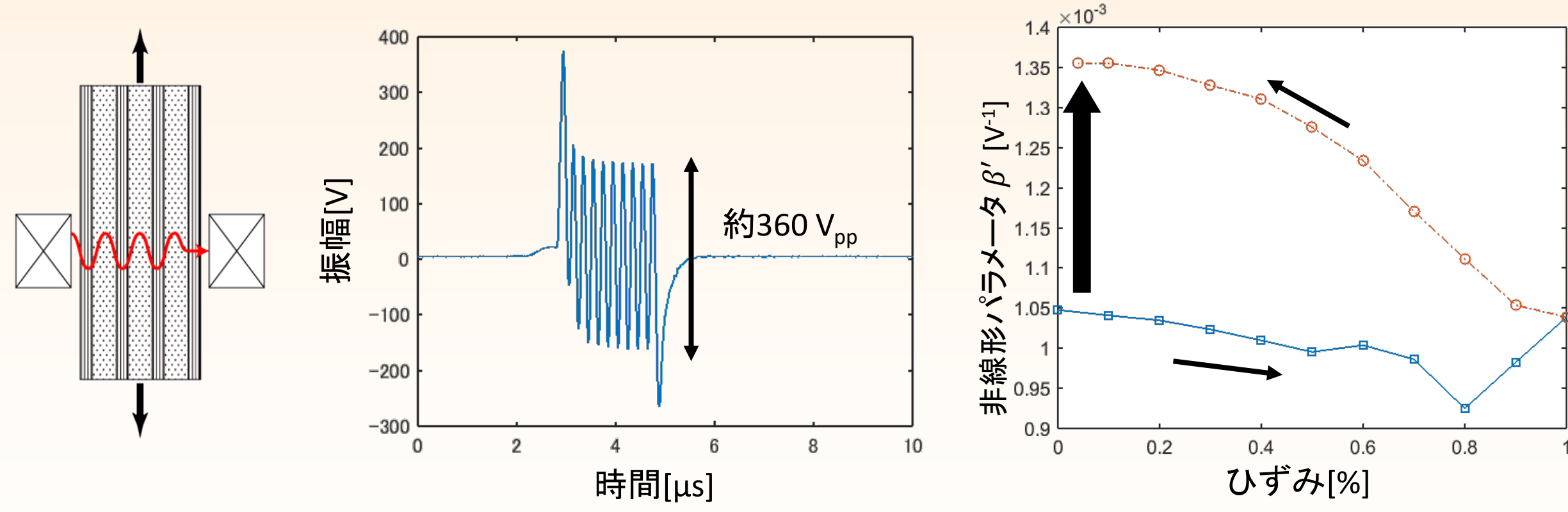
二次高調波の横波成分



透過波と反射波の強度比と界面剛性の関係



- 静的負荷中の複合材料における高調波発生挙動を実験的に評価した。
- 複合材料の不可逆的な変化により高調波振幅が増大することを明らかにした。



薄く広い物体の劣化を早い段階で評価する技術

将来を担う複合材料の高感度な評価技術の基礎の確立

## Acknowledgement

本研究は科学研究費(課題番号24-2517, 25289005, 15H06319 および16K17979)によって行われた。ここに記して謝意を示す。