

# 多モード共振法によるマグネシウム合金の弾性定数の異方性解析

法政大学 理工学部機械工学科 三原崇明 平野元久

## Abstract

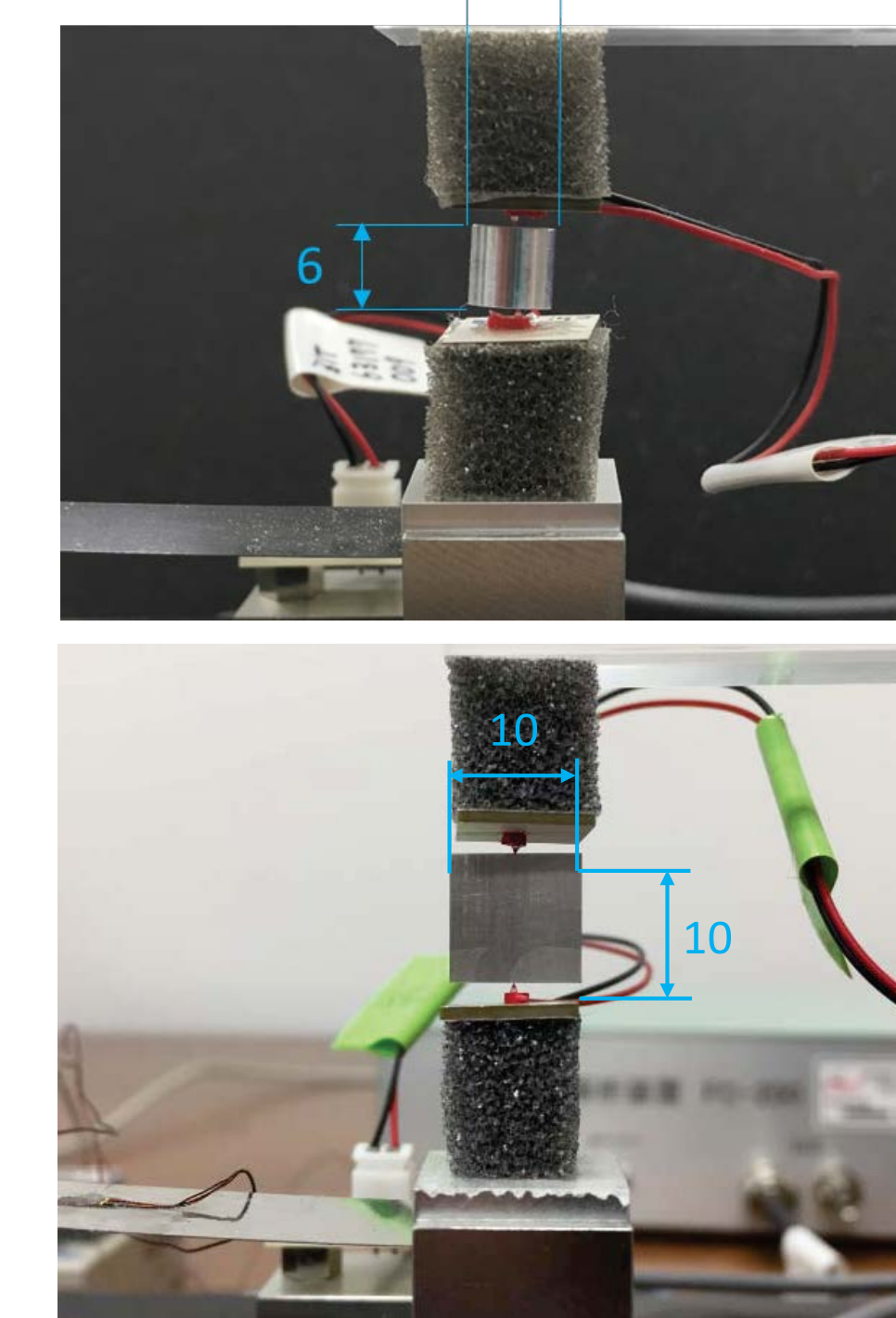
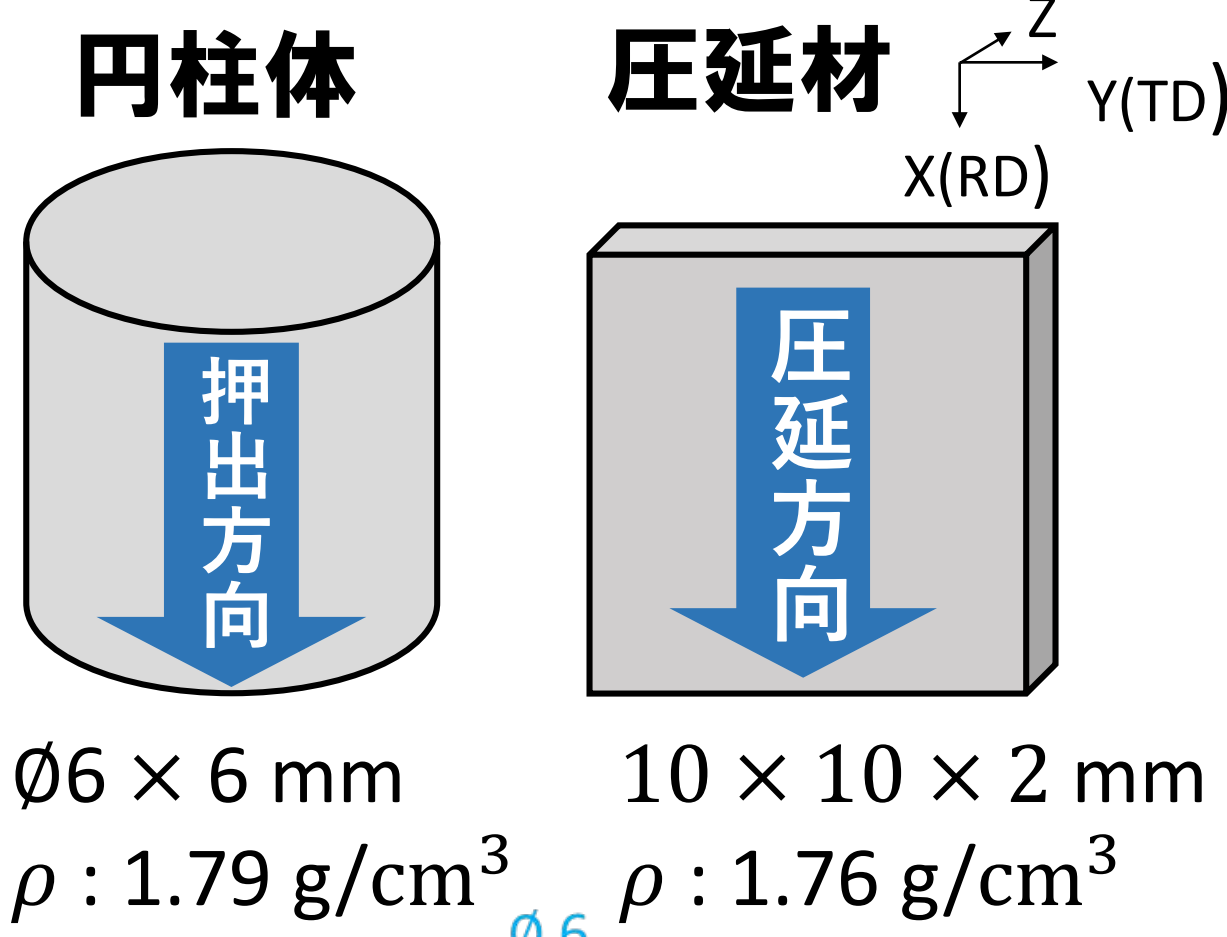
日本機械学会第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム2019年11月19日~21日アクトシティ浜松

弾性定数は材料の変形や固有振動数を支配する重要な物性値である。近年のCFRPなど軽量かつ高強度な材料開発に伴い、高精度な材料の弾性異方性測定が重要課題となっている。本研究では、微小試験片を用いて自由振動下の共振振動数の精密測定法(多モード共振法)を確立し、有限要素法とレイリー・リッツ法を組み合わせた固有振動解析(FEM逆解析法)を完成させ、異方性を有すマグネシウム合金の弾性係数行列を高精度に決定することを目的としている。また、解析による結果の妥当性を検証するため、引張り試験による弾性定数結果を示し、解析の妥当性についても議論する。

## Materials & Methods

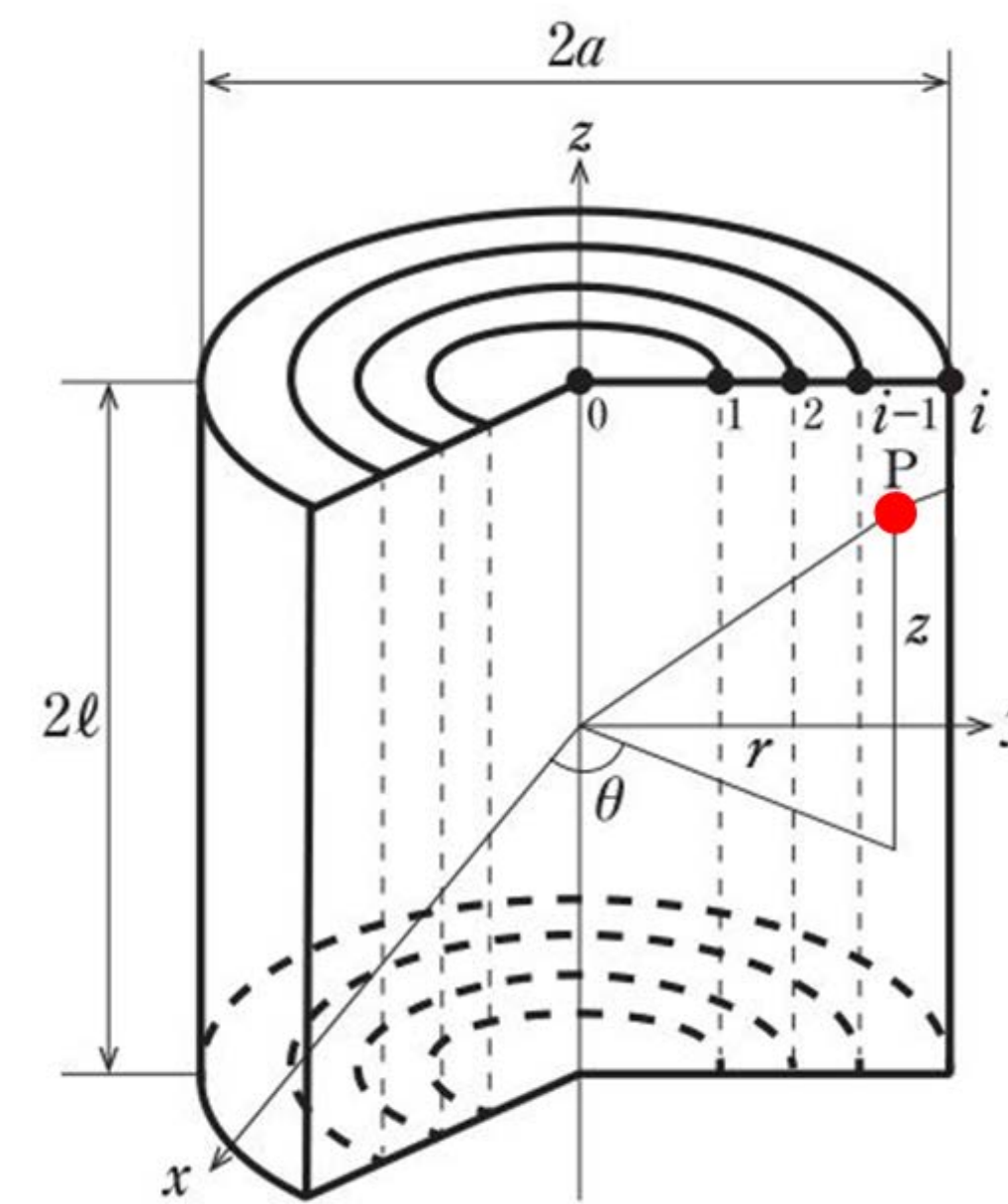
### マグネシウム合金

ASTM	組成	弾性率	剛性率	結晶構造
AZ31B	Mg-Al3-Zn1-Mn	45.7GPa	16.8GPa	最密六方格子



### FEM逆解析法(Rayleigh-Ritz有限要素法)

$$T = \frac{1}{2} \sum \rho \omega^2 \int u^i T u^i d\tau_i = V = \frac{1}{2} \int \epsilon_i^T H \epsilon_i d\tau_i$$

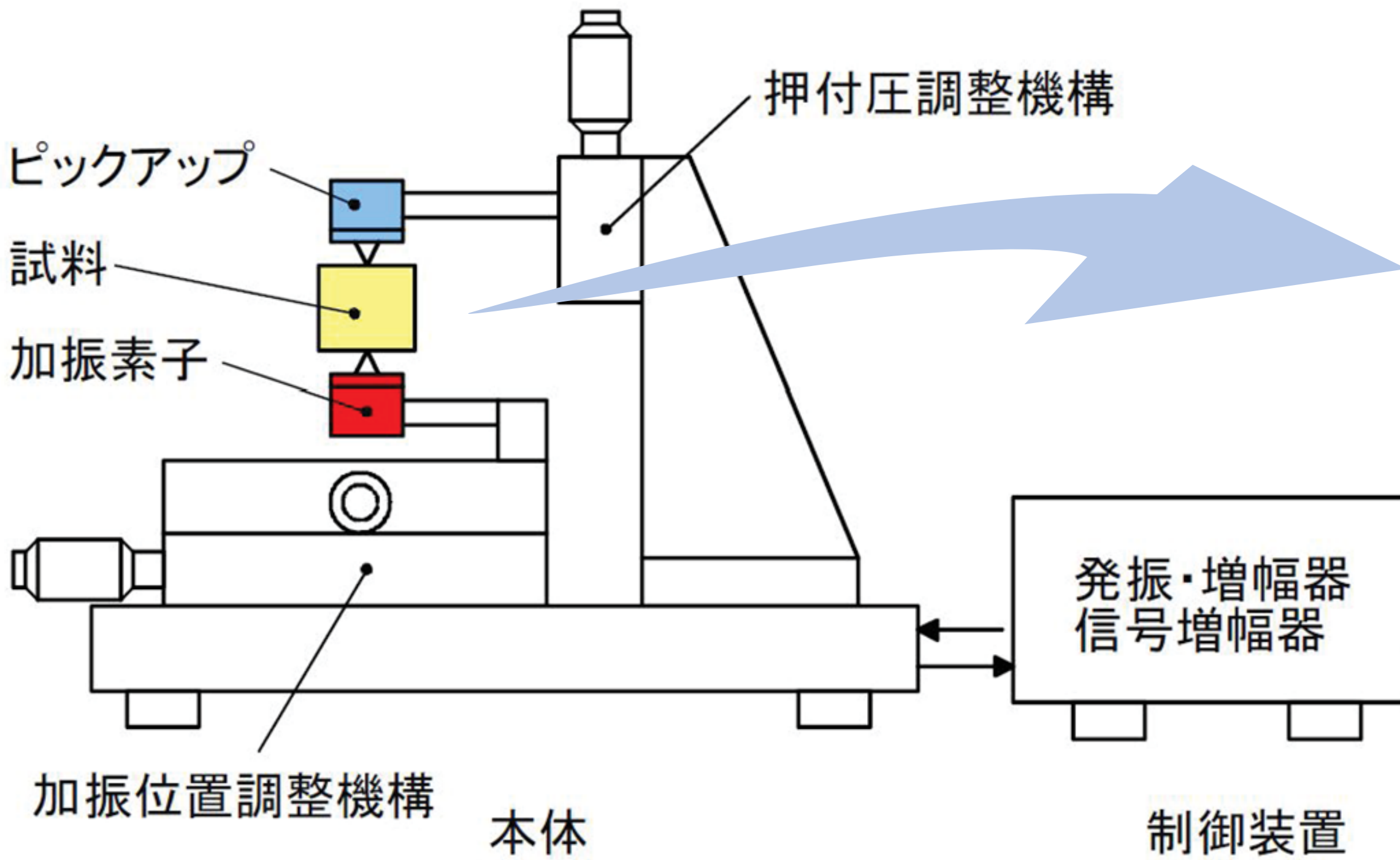


$\lambda = \rho a l \omega^2$  固有値 → 固有振動数

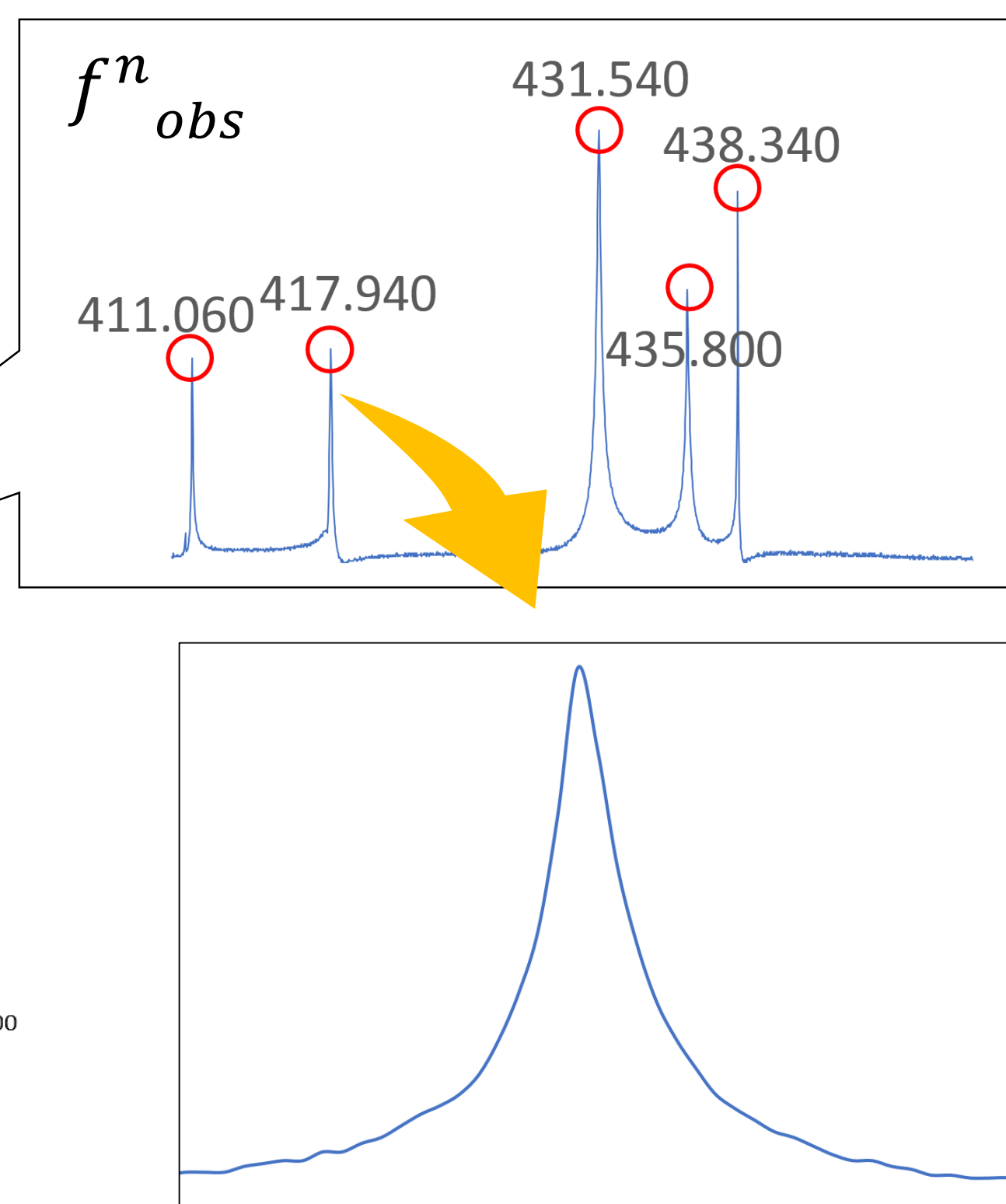
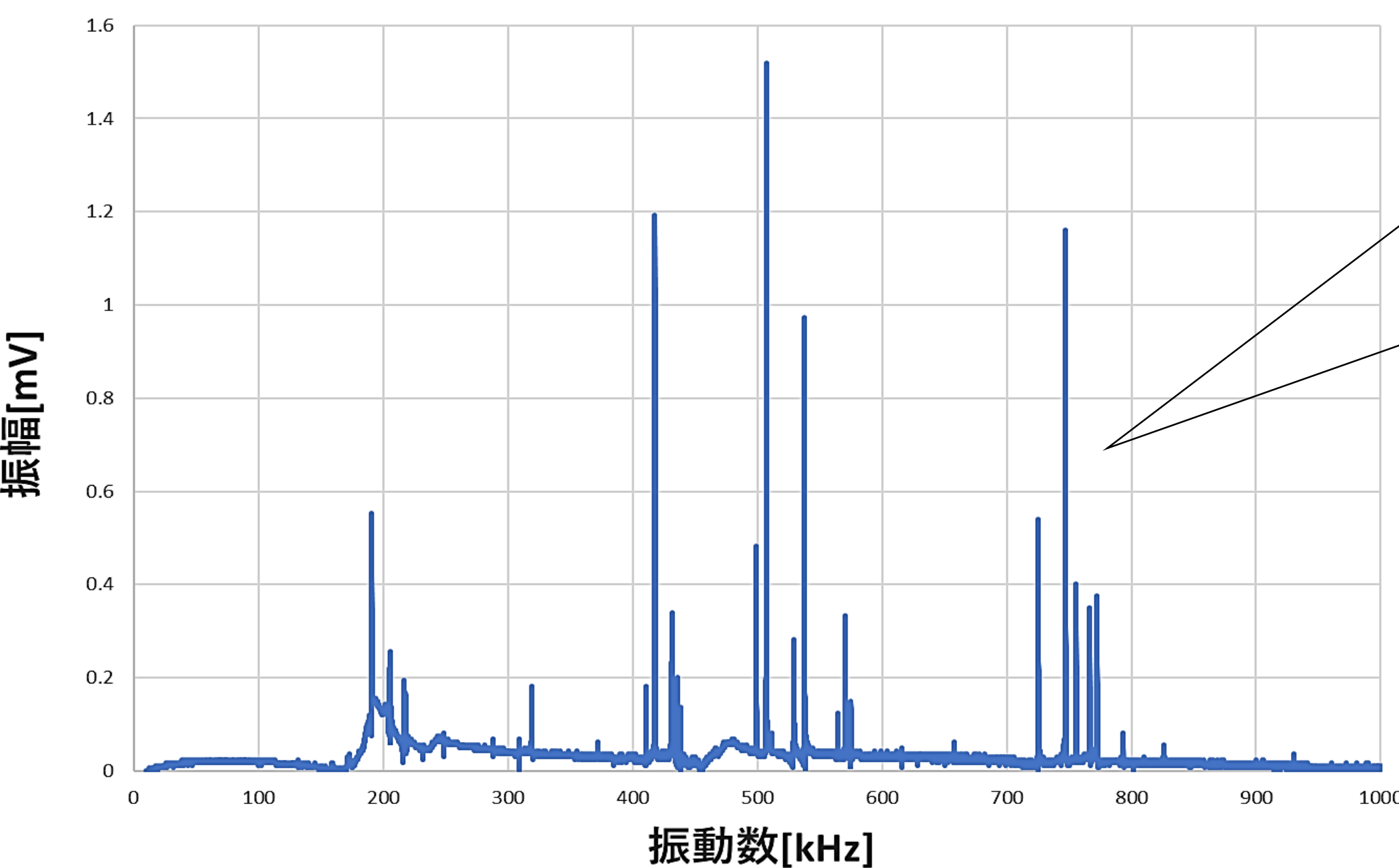
r 方向:有限要素法  
 $\theta$  方向:三角関数  
 Z 方向:ルジャンドル多項式

$$\begin{cases} u = R_u(r)\theta_u(\theta)P_u(z) \\ v = R_v(r)\theta_v(\theta)P_v(z) \\ w = R_w(r)\theta_w(\theta)P_w(z) \end{cases}$$

### 多モード共振法



### AZ31B (圧延材) 共振測定結果



### 初期情報

- 試験片寸法、密度
- 初期値となる弾性係数行列
- 多モード共振法から得られた固有振動数

弾性係数マトリックス  $c_{ij}$  (弾性スティフネス係数)

円柱体 立方晶	弾性係数マトリックス $c_{ij}$	圧延材 斜方晶
$c_{11}$	$c_{11}$	$c_{11}$
$c_{12}$	$c_{12}$	$c_{12}$
$c_{13}$	$c_{13}$	$c_{13}$
$c_{22}$	$c_{22}$	$c_{22}$
$c_{23}$	$c_{23}$	$c_{23}$
$c_{33}$	$c_{33}$	$c_{33}$
$c_{44}$	$c_{44}$	$c_{44}$
$c_{55}$	$c_{55}$	$c_{55}$
$c_{66}$	$c_{66}$	$c_{66}$

No

最適化フィッティング

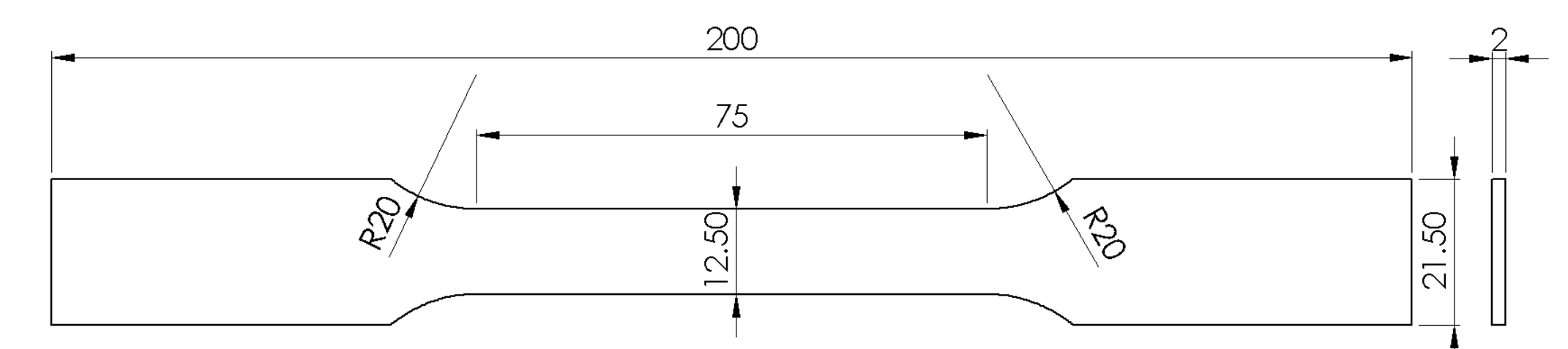
$$\sum (f_{obs}^n - f_{calc}^n)^2 \rightarrow \min$$

YES

弾性係数行列の決定

### 引張り試験

試験片は面内異方性を確かめるため、圧延方向に切り出したもの、圧延直角方向に切り出したものをそれぞれ3つずつ用意し、ひずみ測定には二軸ひずみゲージを用いた。



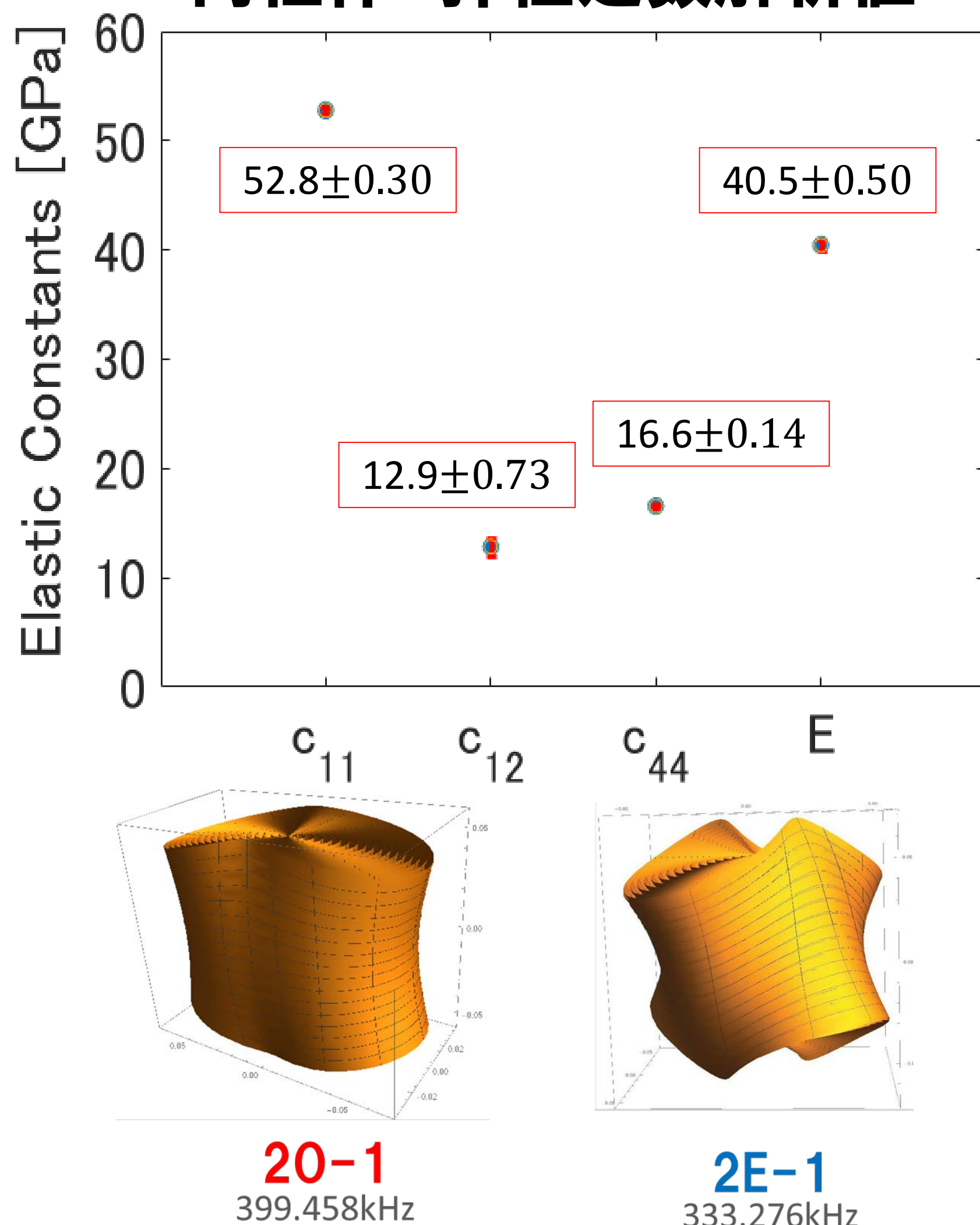
JIS Z2241 13B号 試験片

## Results & Discussion

### 円柱体 固有振動数 (kHz)

Mode No.	$f_{calc}^n$	$f_{obs}^n$
1	250.208	
2	333.276	
3	336.847	
4	344.247	
5	399.458	383.100
6	416.750	
7	427.662	
8	464.388	463.880
9	473.330	468.380
10	500.416	503.980
11	505.147	506.660
12	521.755	521.220
13	525.113	525.980
14	534.056	
15	561.879	554.260
16	572.849	580.680
17	590.829	
18	605.833	
19	613.794	
20	635.426	

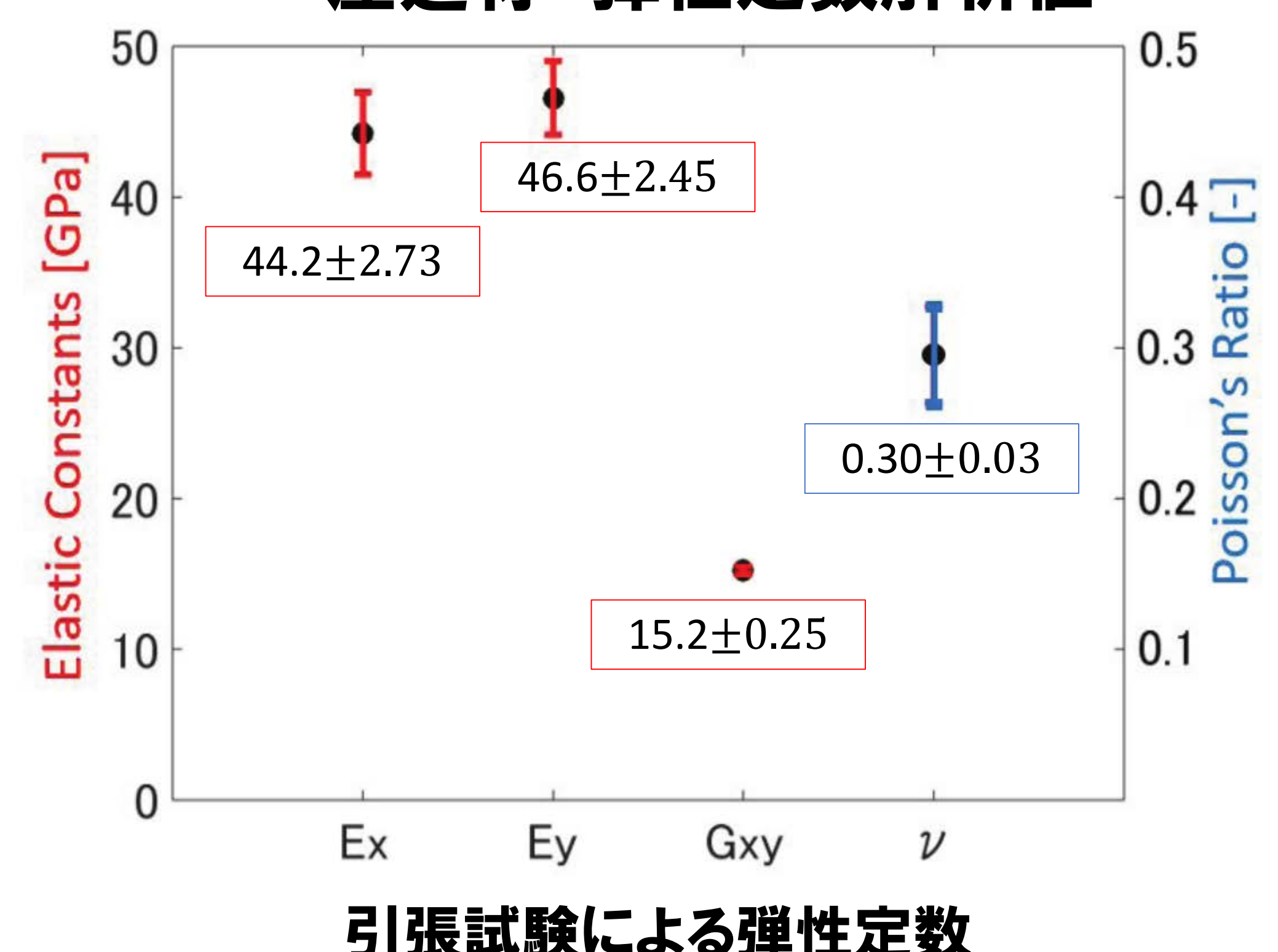
### 円柱体 弾性定数解析値



### 圧延材 固有振動数 (kHz)

Mode No.	$f_{calc}^n$	$f_{obs}^n$
1	74.909	
2	119.527	
3	145.437	
4	181.747	
5	183.062	191.040
6	258.838	
7	288.559	288.140
8	292.069	
9	295.467	
10	306.074	308.840
11	310.057	
12	315.594	
13	323.322	319.220
14	358.410	
15	360.826	
16	412.851	411.060
17	431.033	431.540
18	432.661	
19	437.605	435.800
20	439.274	438.340

### 圧延材 弾性定数解析値



### 引張り試験による弾性定数

	$E_x$ (GPa)	$E_y$ (GPa)	$G_{xy}$ (GPa)	$\nu$ (-)
平均値	40.70	41.76	15.61	0.304
標準偏差	0.393	0.628	0.179	0.004

## Conclusions

- 文献値と同等のマグネシウム合金の弾性定数を確認
- 多モード共振法によって、4個の独立な弾性定数を決定し、面内異方性を確認
- 引張り試験により面内異方性を確認し、本測定方法の妥当性を確認