

質問 7

質問

材料異方性の入力方法は？

回答（次スライド以降を参照）

- 圧電材料には異方性があり、(弾性定数、圧電定数、誘電率)をマトリクス形式で入力する。
- 材料メーカーの材料表には弾性定数をC,Sと書かれている場合があるが、歴史的な背景から、コンプライアンス行列の添え字はS、スティフネス行列の成分の添え字はCとなっているので注意。
- マトリクスには対称性があるためFemtetの材料定数設定では下三角行列の成分のみ値を設定する。右図の灰色の成分は通常は入力不要。
- 一般的な材料シートには、すべての成分が一覧として記載されていることは少なく、成分の法則を使用し解析に必要な定数を算出する必要がある。
- Femtetではデフォルトで0が入力されている成分がある。通常は0以外の値を設定することはない。

※水晶などの単結晶の場合はデフォルトの成分が0の成分に、0以外の値を入力して使用する場合がある。

弾性定数(コンプライアンス)マトリクス

S11					
S21	S22				
S31	S32	S33			
0.0	0.0	0.0	S44		
0.0	0.0	0.0	0.0	S55	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S66

圧電定数マトリクス

0.0	0.0	0.0	0.0	d15	0.0
0.0	0.0	0.0	d24	0.0	0.0
d31	d32	d33	0.0	0.0	0.0

誘電率マトリクス

ϵ 11		
0.0	ϵ 22	
0.0	0.0	C33

例) 圧電セラミクス(六方晶) d形式

- 圧電体の種類(結晶系)により、材料定数の対称性から入力に必要な位置が異なってくる。
- 圧電セラミクスでd形式を使用した場合、以下の関係がある。

$S_{22}=S_{11}$
 $S_{32}=S_{31}$
 $S_{55}=S_{44}$
 $d_{32}=d_{31}$
 $d_{24}=d_{15}$
 $\epsilon_{22}=\epsilon_{11}$

弾性定数(コンプライアンス)マトリクス(S^E)

S11					
S21	S11				
S31	S31	S33			
0.0	0.0	0.0	S44		
0.0	0.0	0.0	0.0	S44	
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S66

圧電定数マトリクス(d)

0.0	0.0	0.0	0.0	d15	0.0
0.0	0.0	0.0	d15	0.0	0.0
d31	d31	d33	0.0	0.0	0.0

比誘電率行列(ϵ^T)

ϵ_{11}		
0.0	ϵ_{22}	
0.0	0.0	C33

例) 水晶(三方晶) e形式

- 圧電体の種類(結晶系)により、材料定数の対称性から入力に必要な位置が異なってくる。
- 例えば水晶でe形式を使用した場合、以下の関係がある。

$$C22=C11$$

$$C32=C31$$

$$C55=C44$$

$$C42=-C41$$

$$C65=C41$$

$$C66=0.5*(C11-C12)$$

$$e12=-e11$$

$$e25=-e14$$

$$e26=-e11$$

$$\epsilon22=\epsilon11$$

弾性定数(ステイフネス)マトリクス(C^F)

C11					
C21	C11				
C31	C31	C33			
C41	-C41	0.0	C44		
0.0	0.0	0.0	0.0	C44	
0.0	0.0	0.0	0.0	C41	C66

圧電定数マトリクス(e)

d11	-d11	0.0	d14	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	-d14	-d11
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

比誘電率行列(ϵ^S)

$\epsilon11$		
0.0	$\epsilon22$	
0.0	0.0	C33