

# 強誘電体・圧電体の理解

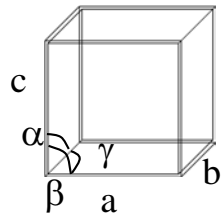
presented by K.Kusumoto ( 2005年6月13日版 )

文章では理解しにくい部分があること、及び私の知識の整理のために、図を用意しました。

すべての図については、所有の文献を参考にしています。

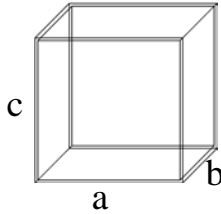
著作権の関係上、そのままは載せられないので、「概略図、おおまかな傾向」として参照下さい。

間違いは、分かり次第、随時修正しています。



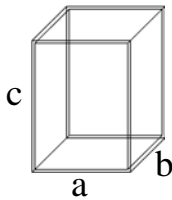
立方晶 (Cubic crystal phase)

$$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



擬立方晶 (Pseudo-cubic crystal phase)

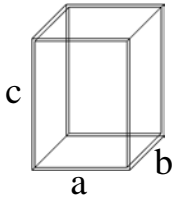
$$a = b \doteq c$$



正方晶 (Tetragonal crystal phase)

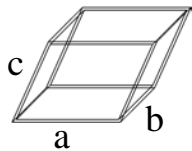
$$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

例)  $\text{BaTiO}_3 \rightarrow c/a = 1.01$   
 $\text{PbTiO}_3 \rightarrow c/a = 1.06$



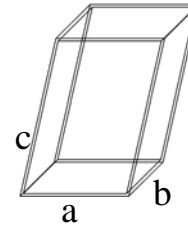
斜方晶 (Orthorhombic crystal phase)

$$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



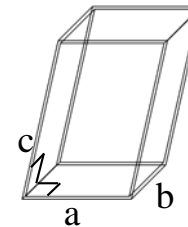
菱面体晶 (Rhombohedral crystal phase)  
 =三方晶

$$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



三斜晶 (Triclinic crystal phase)

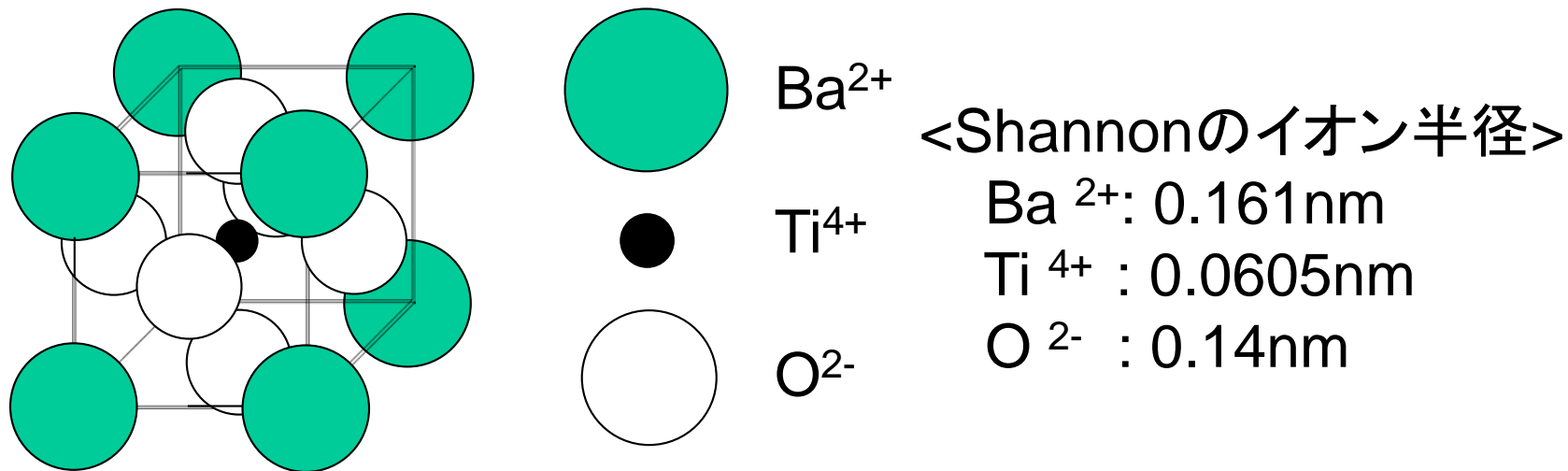
$$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



単斜晶 (Monoclinic crystal phase)

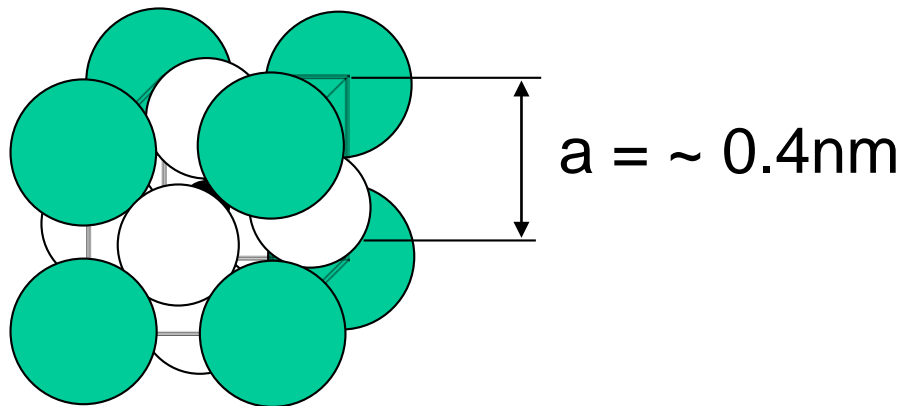
$$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$

図1 強誘電体で、よく出てくる結晶相と特徴の一覧



**図2 チタン酸バリウム(BaTiO<sub>3</sub>)立方晶系の結晶構造**

注) Tiイオンを見やすくするために、格子間隔は多少誇張。各イオンの大きさの比は、ほぼ合わせている。



**図3 チタン酸バリウム(BaTiO<sub>3</sub>)立方晶系の結晶構造**

注) 各イオンの大きさ及び格子定数の大きさの比を、合わせたほぼ現実の姿。

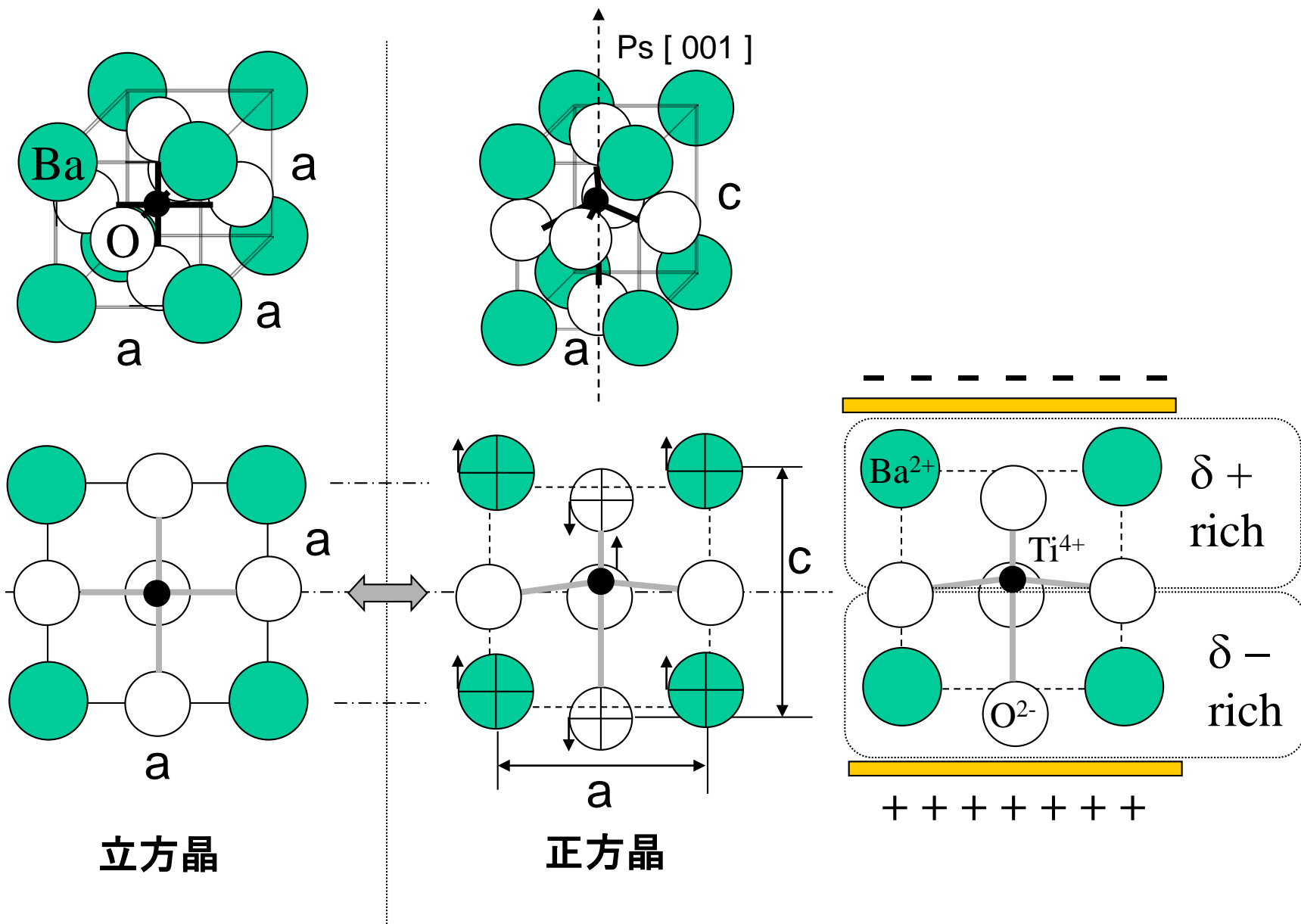


図4 BaTiO<sub>3</sub>基本格子のイオン配列の変化

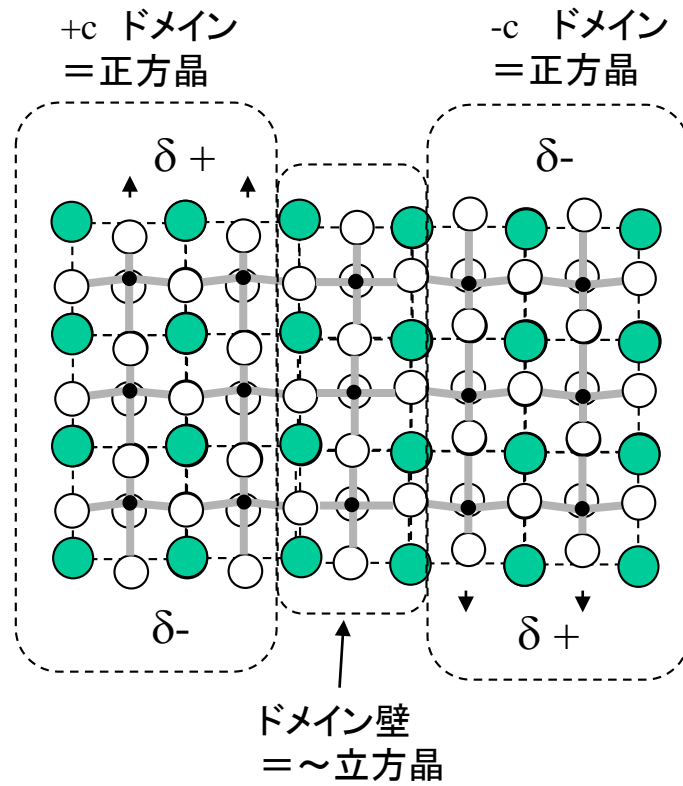


図5 正方晶の180° ドメイン壁付近の詳細

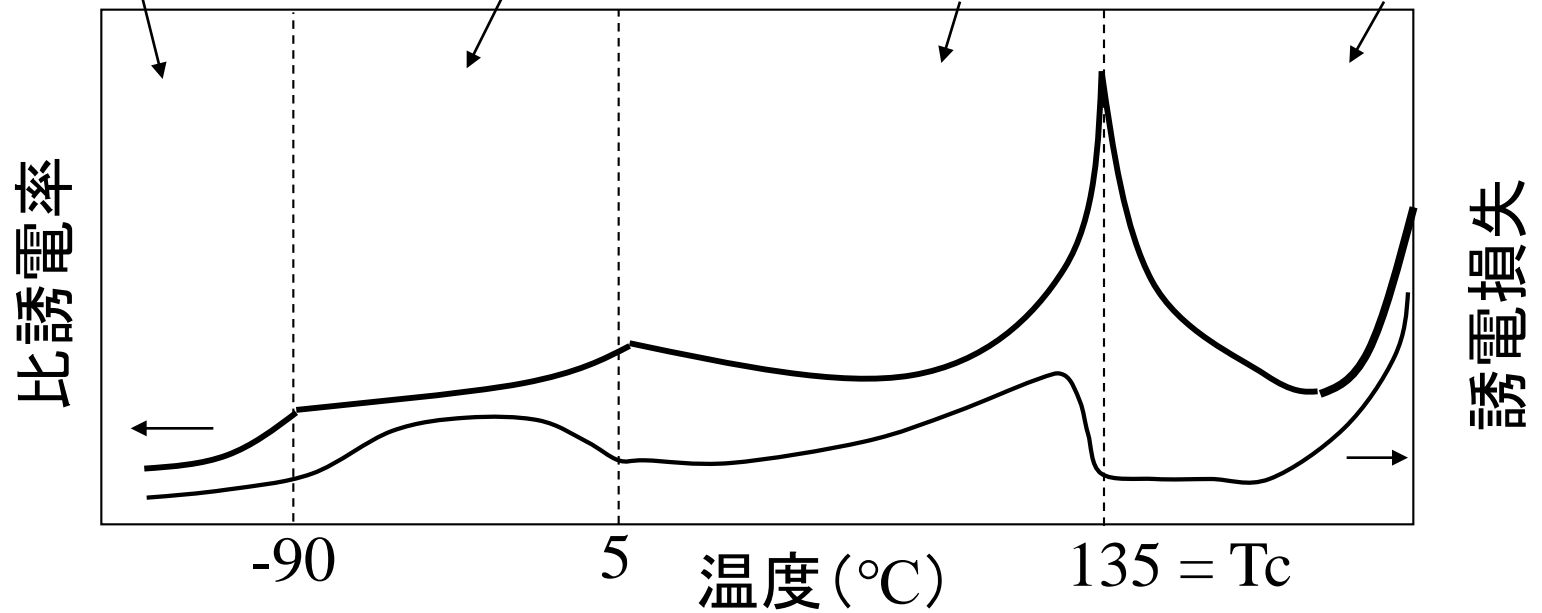
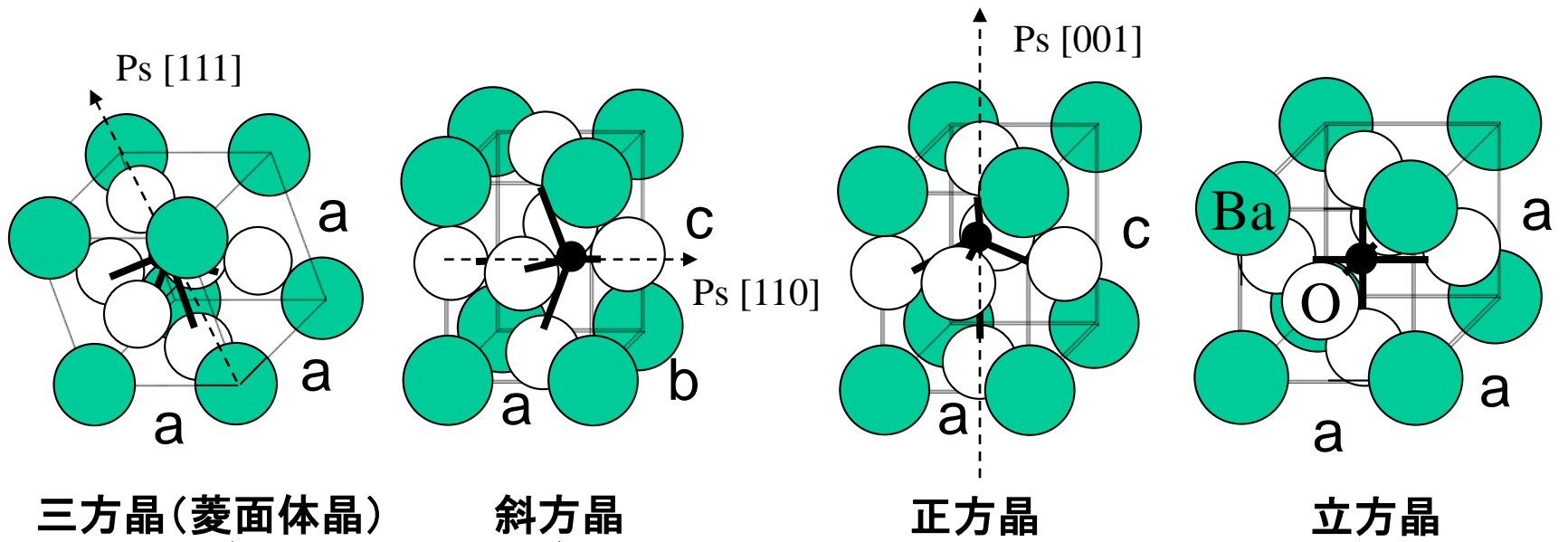


図6 BaTiO<sub>3</sub>セラミックスの誘電特性の概略

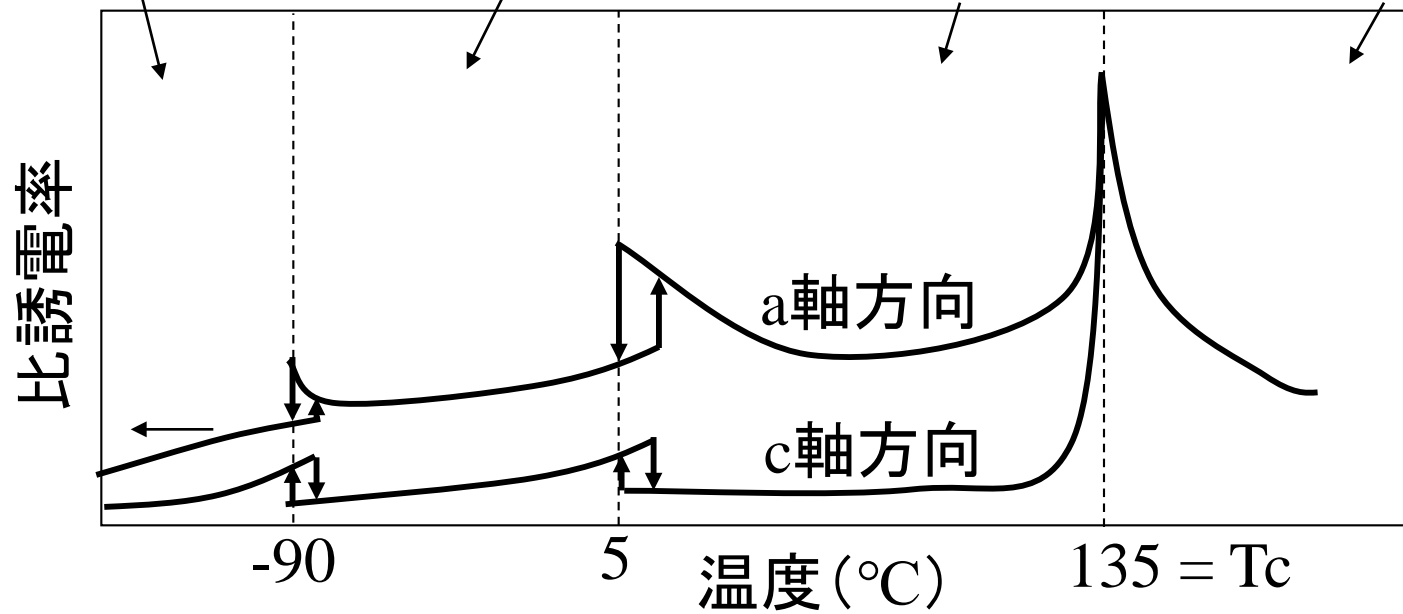
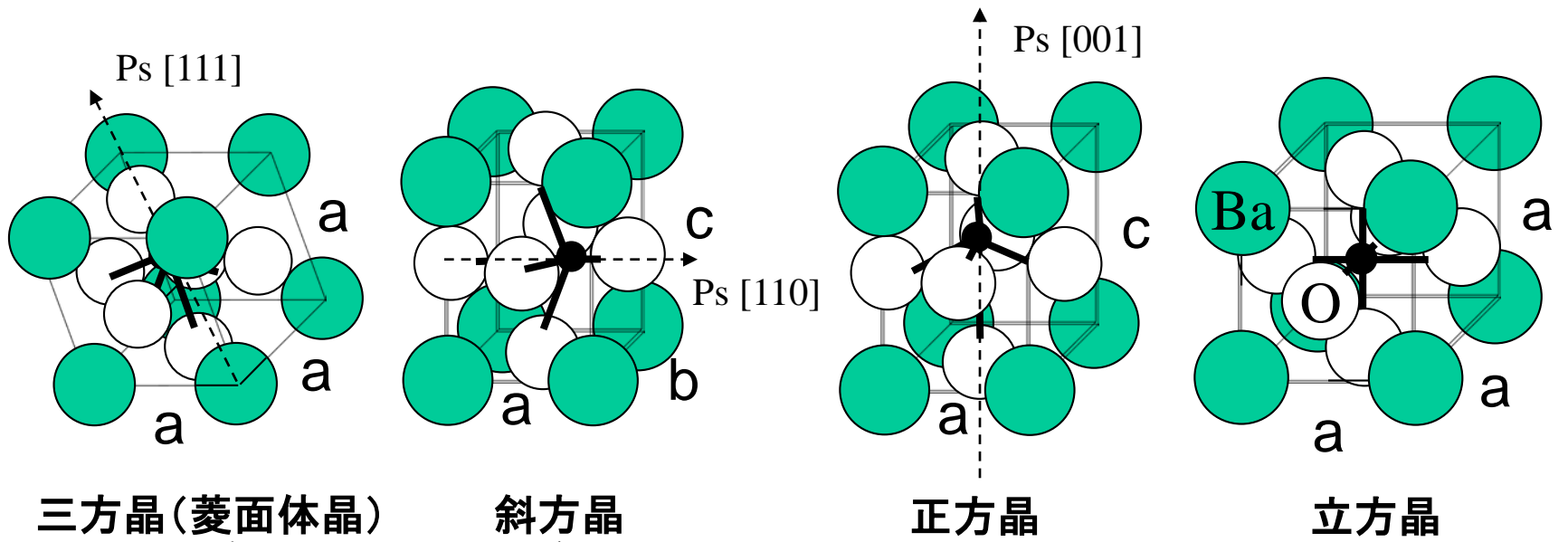


図7 BaTiO<sub>3</sub>単結晶の誘電特性の概略

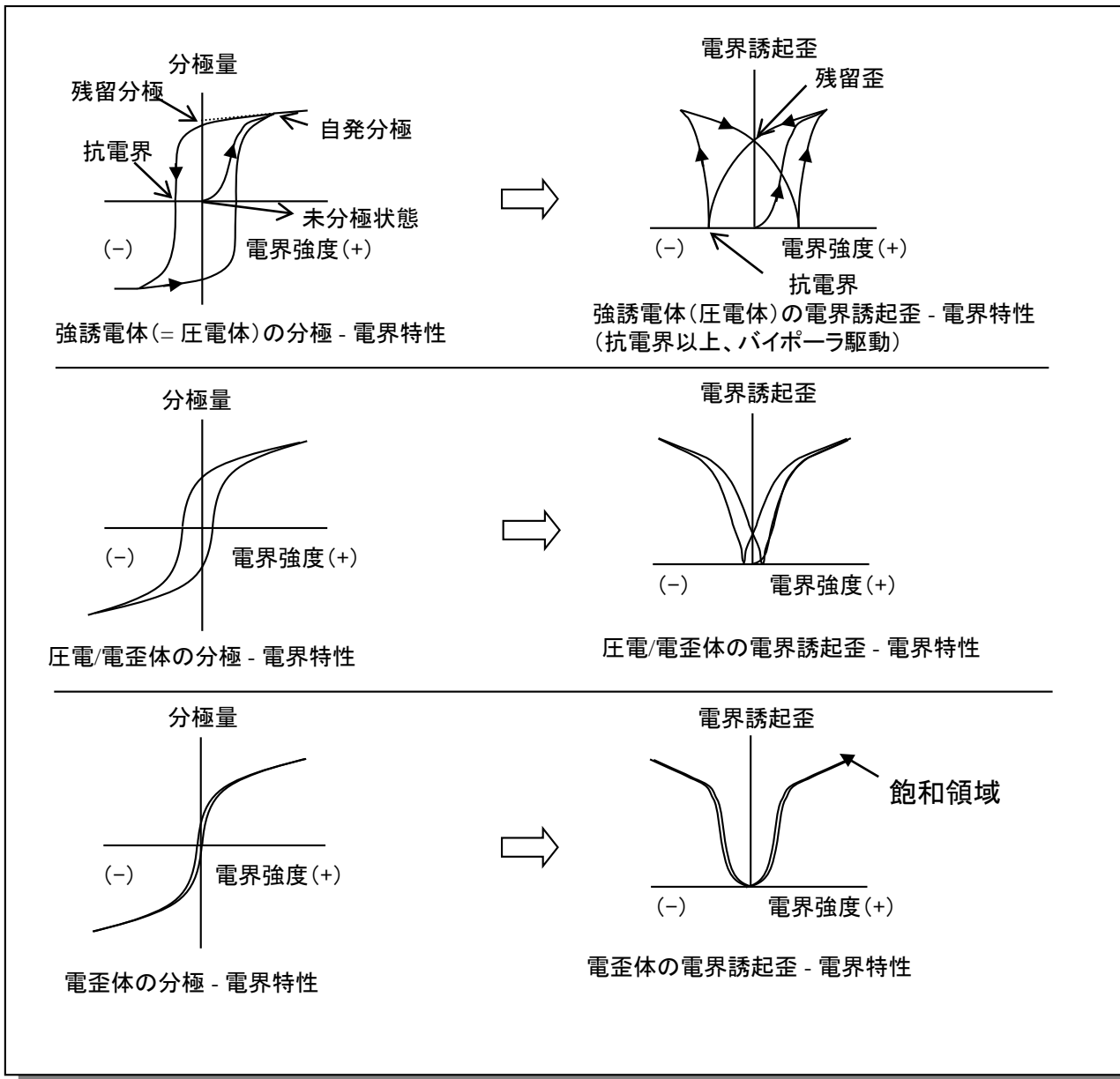
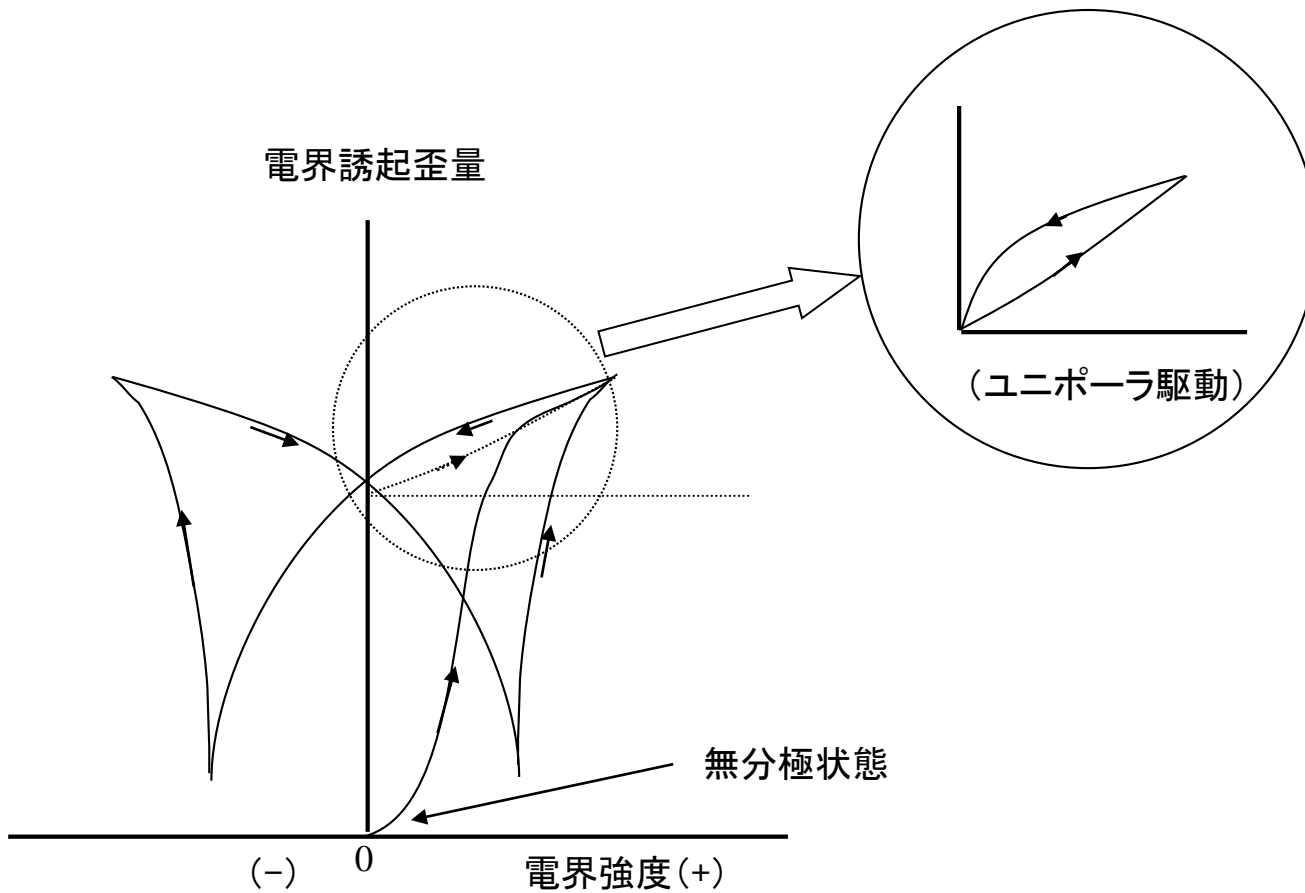


図8 分極量(P) - 電界(E)のヒステリシスカーブと電界誘起歪の形の関係





強誘電性セラミックスの電界誘起歪 - 電界特性  
 (抗電界以上、バイポーラ駆動)

図9 電界誘起歪 - 電界の関係 (バイポーラ駆動、ユニポーラ駆動)

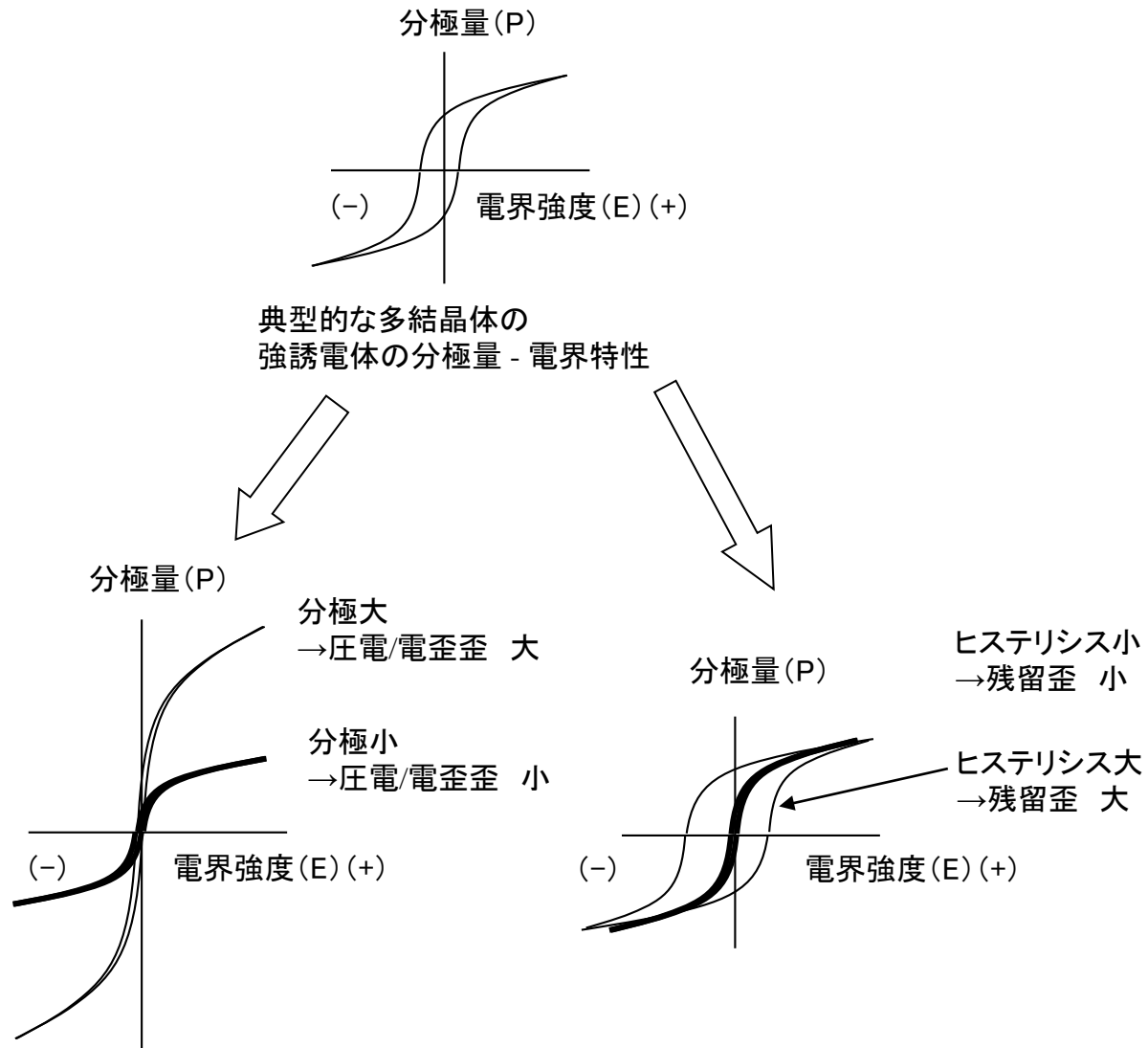
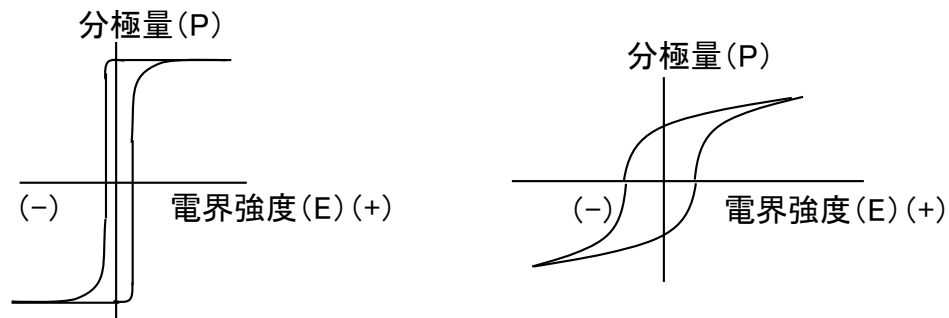


図10 さまざまな分極量(P) - 電界(E) ヒステリシスカーブの形



強誘電体単結晶の分極量 - 電界特性    強誘電体多結晶の分極量 - 電界特性

図11 単結晶と多結晶の分極量(P) - 電界(E) ヒステリシスカーブの形の違い

注>上記の図は、JME材料科学「セラミストのための電気物性入門」、内田老鶴圃を参考にした。

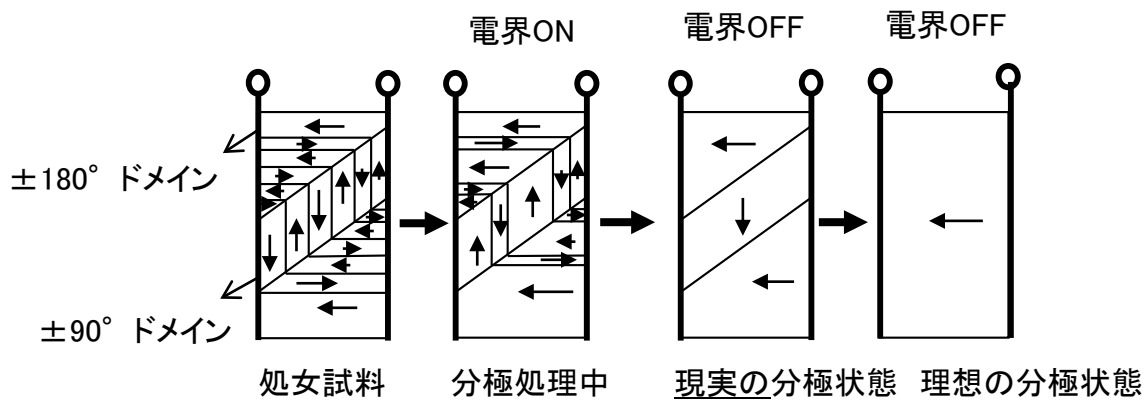


図12 正方晶系マルチドメイン単結晶の分極処理過程におけるドメインの挙動

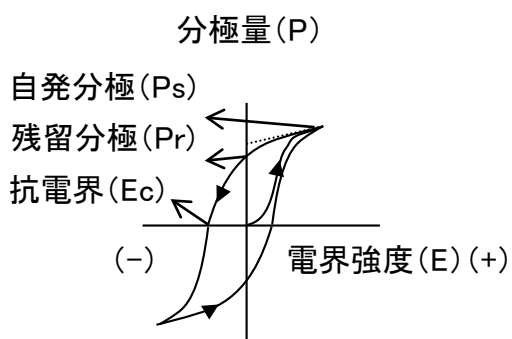


図 典型的な強誘電体の分極量 - 電界特性

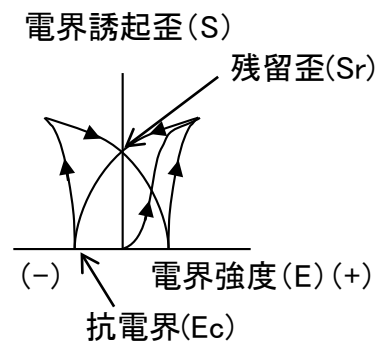


図 典型的な強誘電体の電界誘起歪 - 電界特性  
(抗電界以上、バイポーラ駆動)

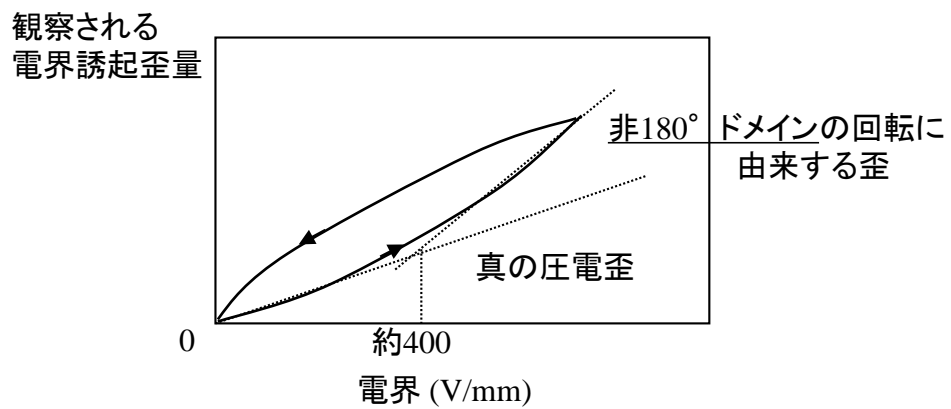


図13 PZTにおける電界誘起歪のヒステリシスの内訳  
(低周波領域で高電界下でのユニポーラ駆動の場合)

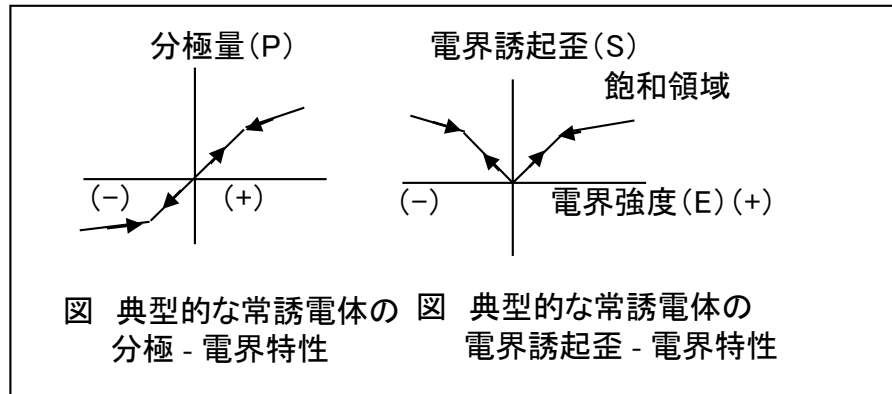
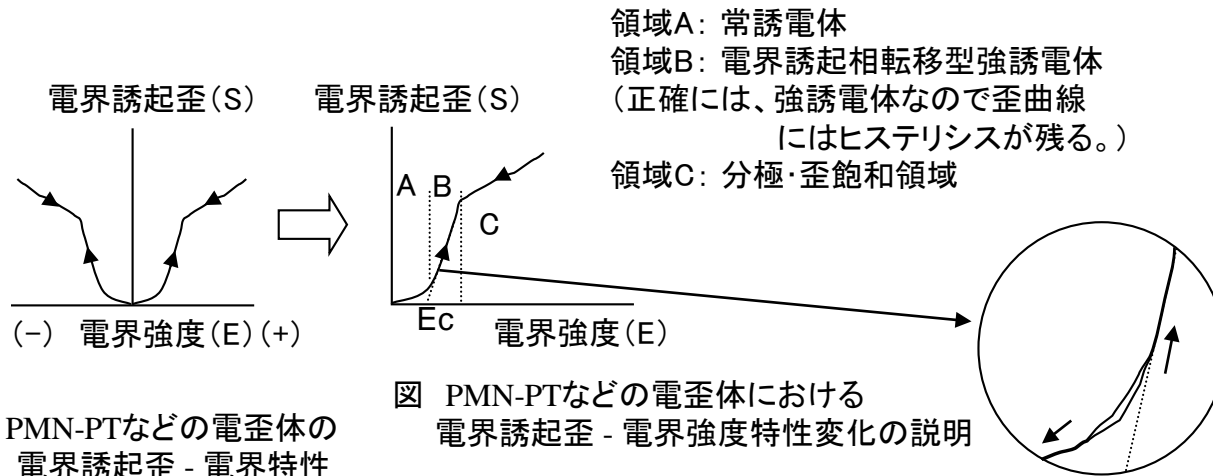


図14 常誘電体及び電歪体の分極 - 電界特性

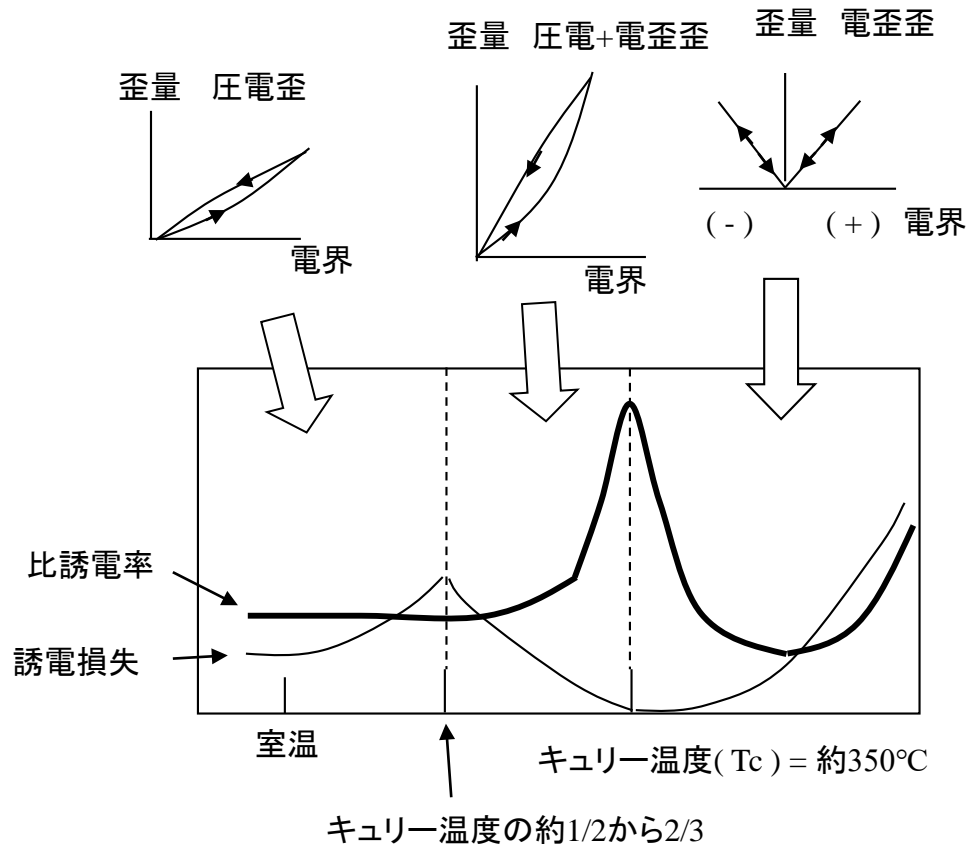


図15 PZT系 圧電セラミックスにおける誘電特性及び各温度領域における発生歪形の模式図

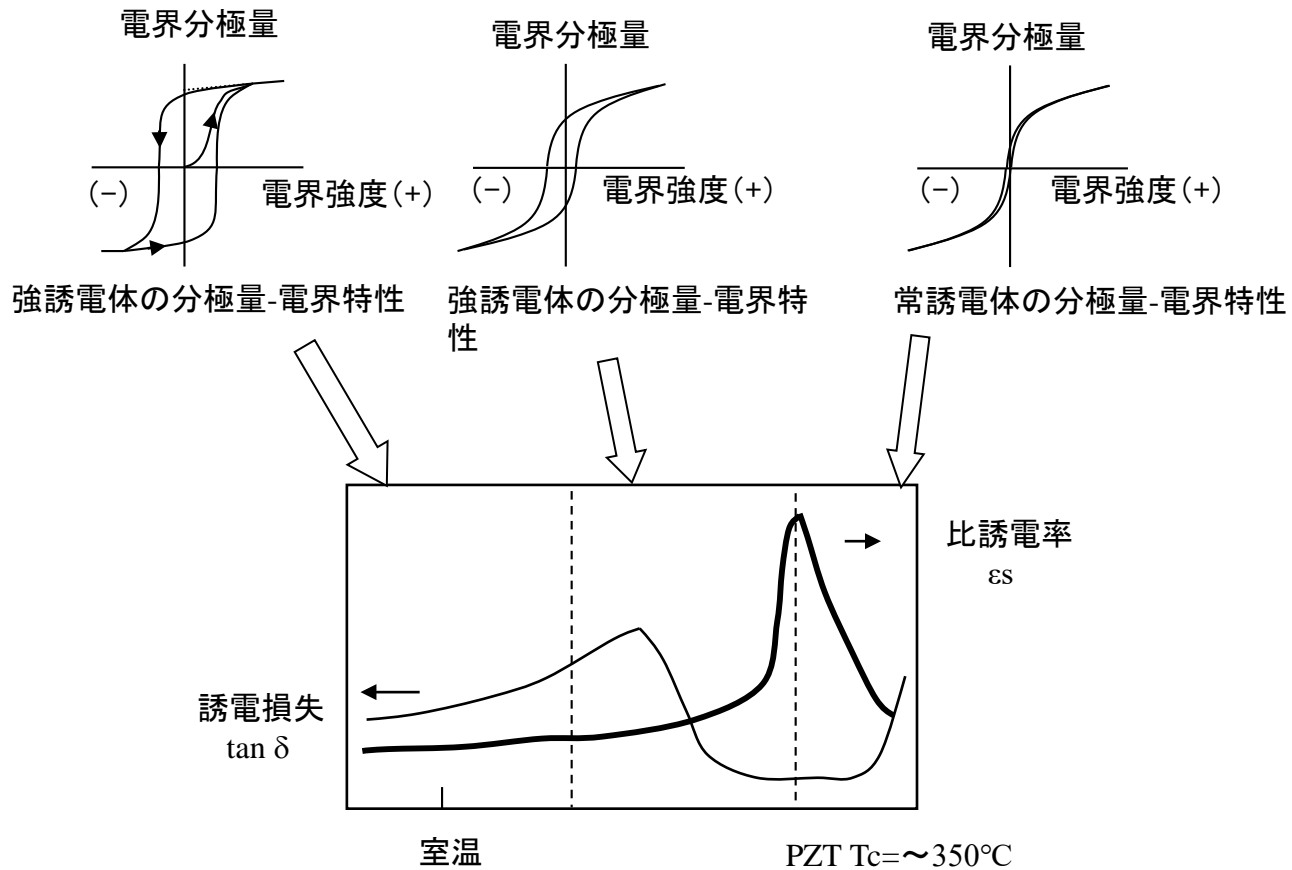


図16 誘電特性と分極量(P)-電界(E)ヒステリシスカーブの関係



残留分極量

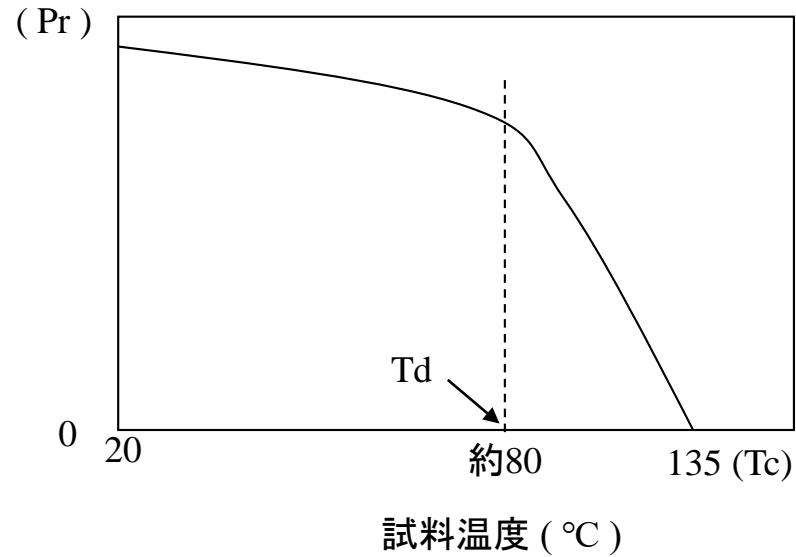


図17 BaTiO<sub>3</sub>系 圧電体の残留分極量 - 温度特性の模式図

Td: Depolarization Temperature (脱分極温度)

注>本図は、「新技術シリーズ3 ニューセラミックス(New Ceramics)[材料・製法から応用まで]」、パワー社の図を参考にして作製した。

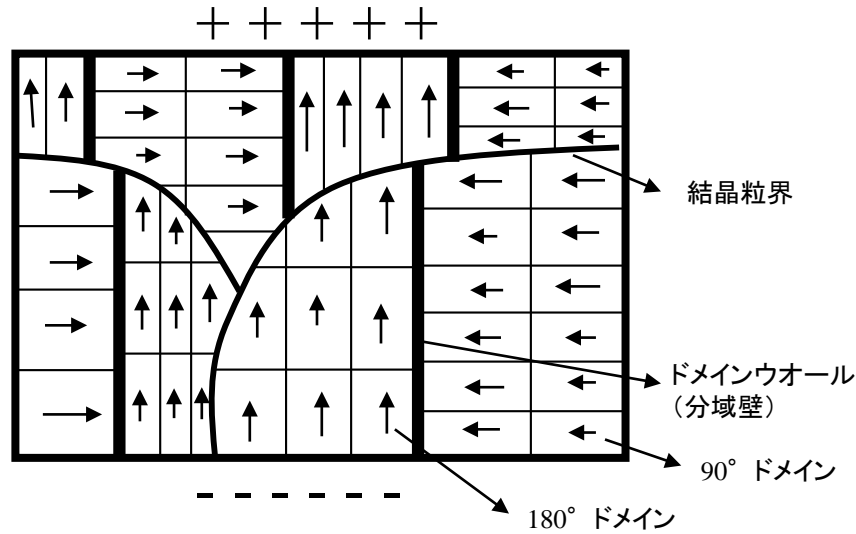
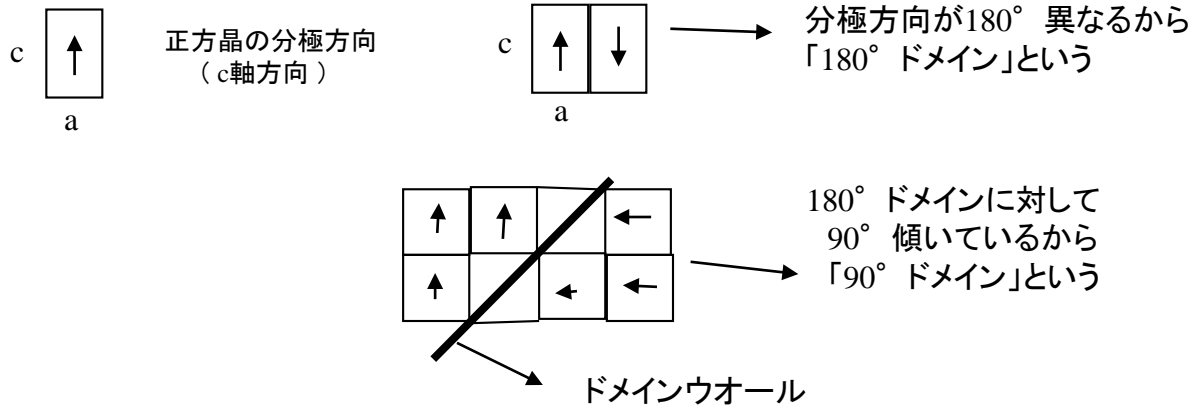
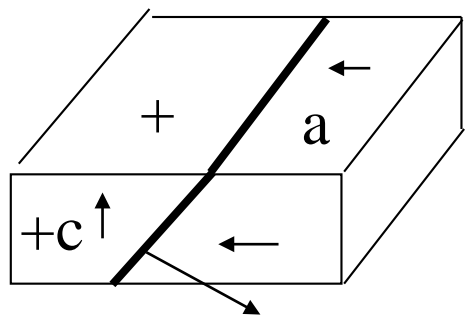
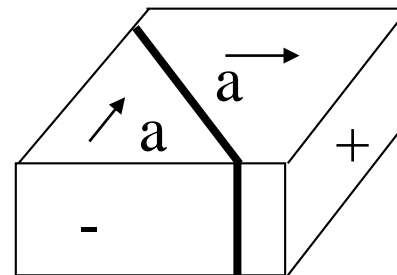


図18 正方晶系 多結晶 圧電体のドメイン構造の模式図

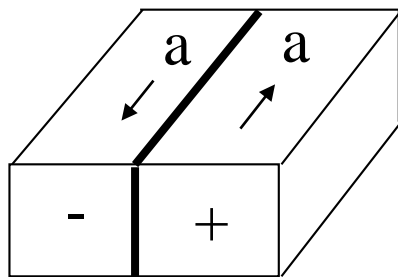




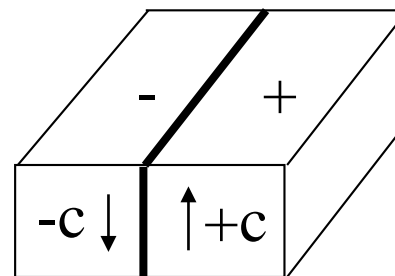
90° a - cドメイン壁



90° a - aドメイン壁

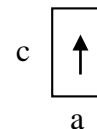


180° a - aドメイン壁



180° c - cドメイン壁

図19 正方晶系 強誘電体におけるドメイン壁の分類  
(正方晶にはa軸とc軸がある。)



正方晶の分極方向  
(c軸方向)

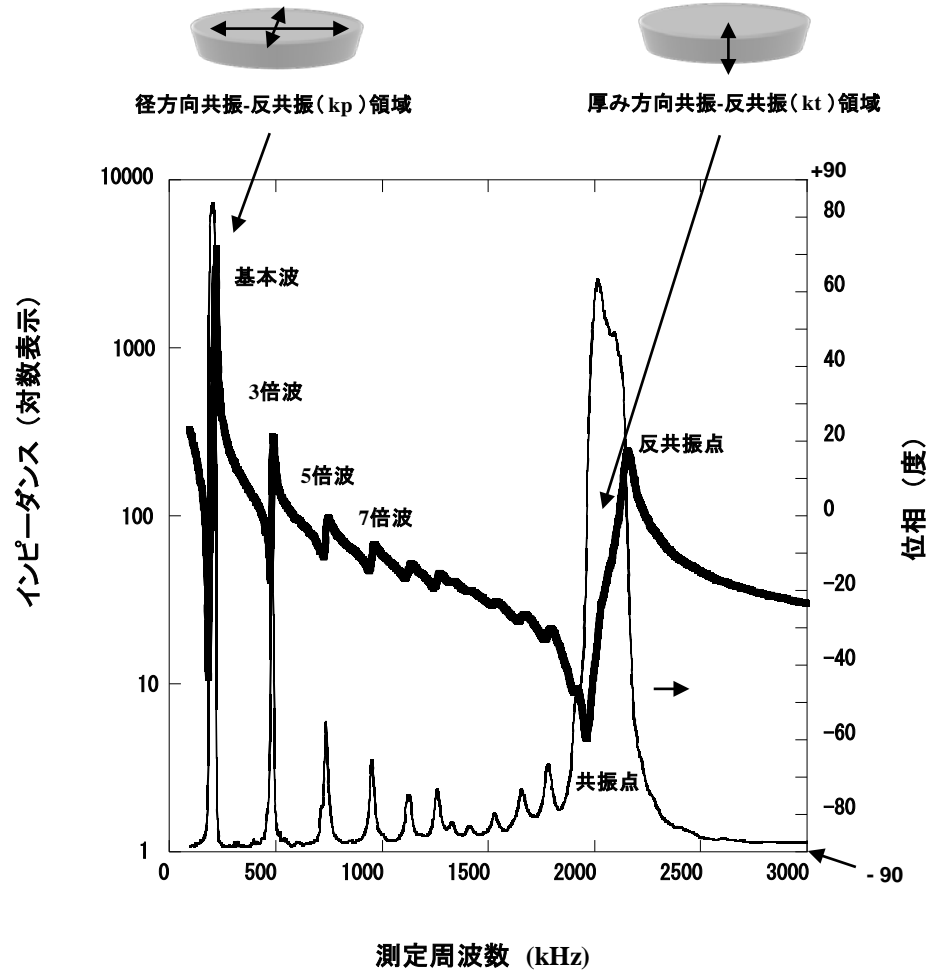


図20 0.50Pb(Ni<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>-0.35PbTiO<sub>3</sub>-0.15PbZrO<sub>3</sub>圧電セラミックスの  
広い周波数域での共振-反共振特性曲線例

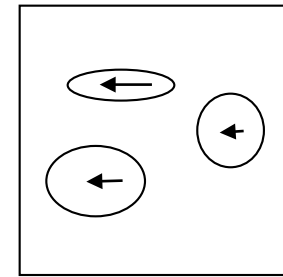
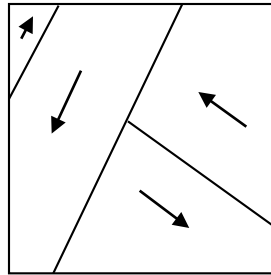
(ソフト材,  $k_p = 0.62$ ,  $Q_m(k_p) = 55$ ,  $k_t = 0.45$ ,  $Q_m(k_t) = 22$ )

(この試料は完全には分極されていない(位相が+90まで到達していない)事に注意)

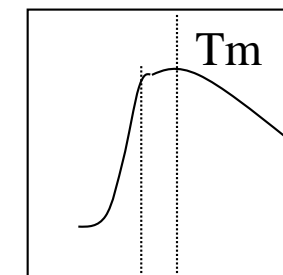
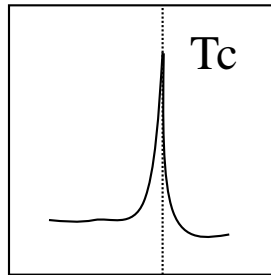
通常の強誘電体

リラクサー型強誘電体

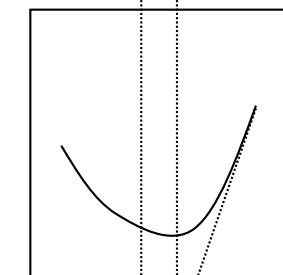
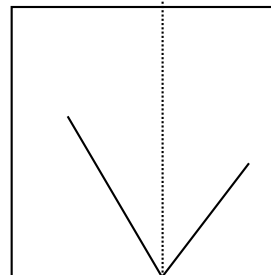
ドメインの  
状態



比誘電率:  $\epsilon S$



$1/\epsilon S$



$T_c (= T_{cw})$

$T_c$   $T_m$   $T_{cw}$

$T_c$ : Curie Temp.

$T_{cw}$ : Curie-Weiss Temp.

$T_m$ :  $\epsilon$ Maximum Temp.

図21 通常とリラクサー型強誘電体の電気的特性の違い

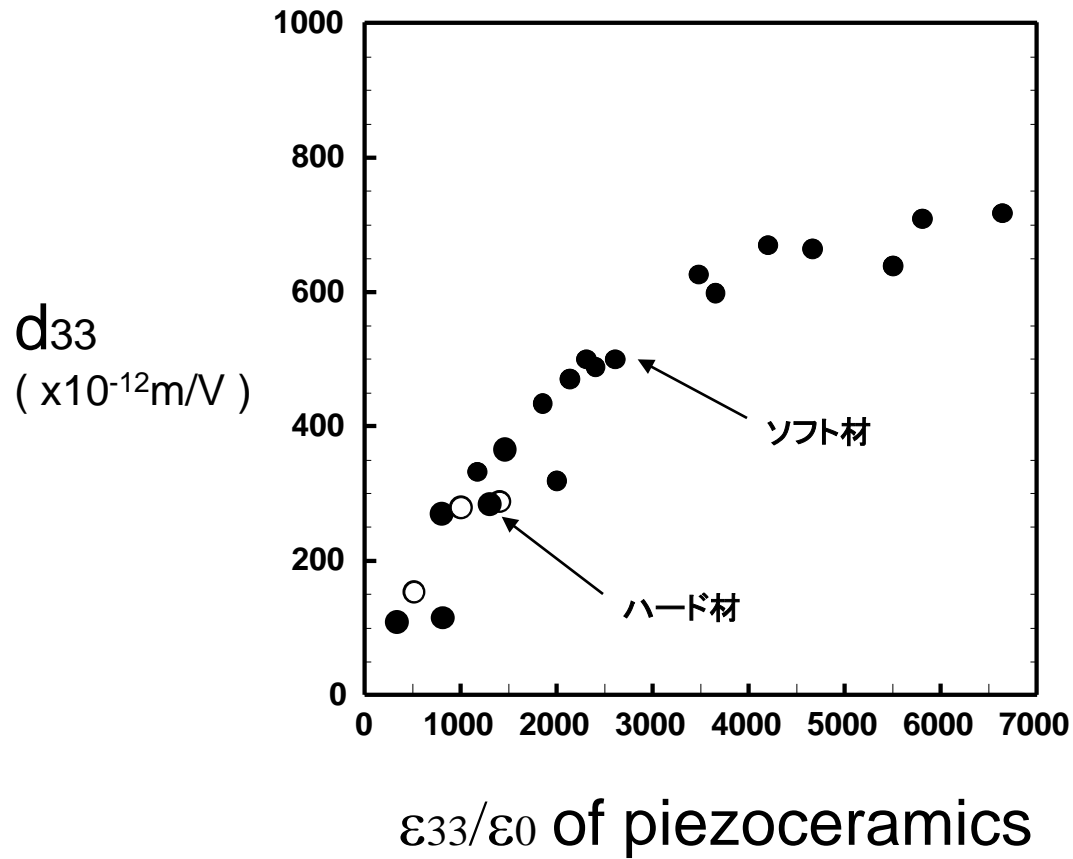


図22 圧電セラミックスの $d_{33}$ 値と $\epsilon_{33}$ 値の関係  
 ( 某圧電セラミックスメーカーのカタログよりプロット )

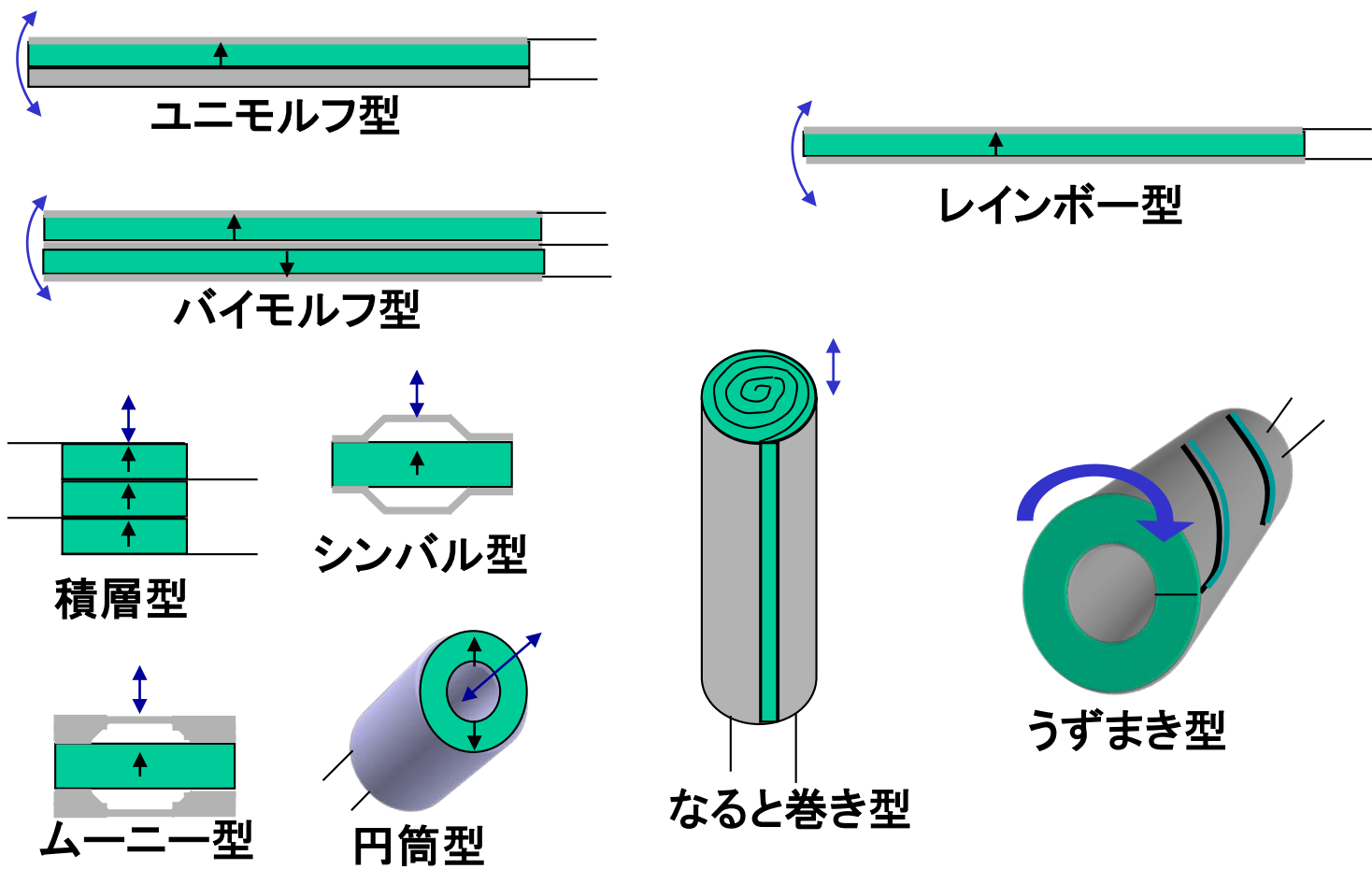


図23 さまざまな圧電セラミックアクチュエータ  
(固体型)

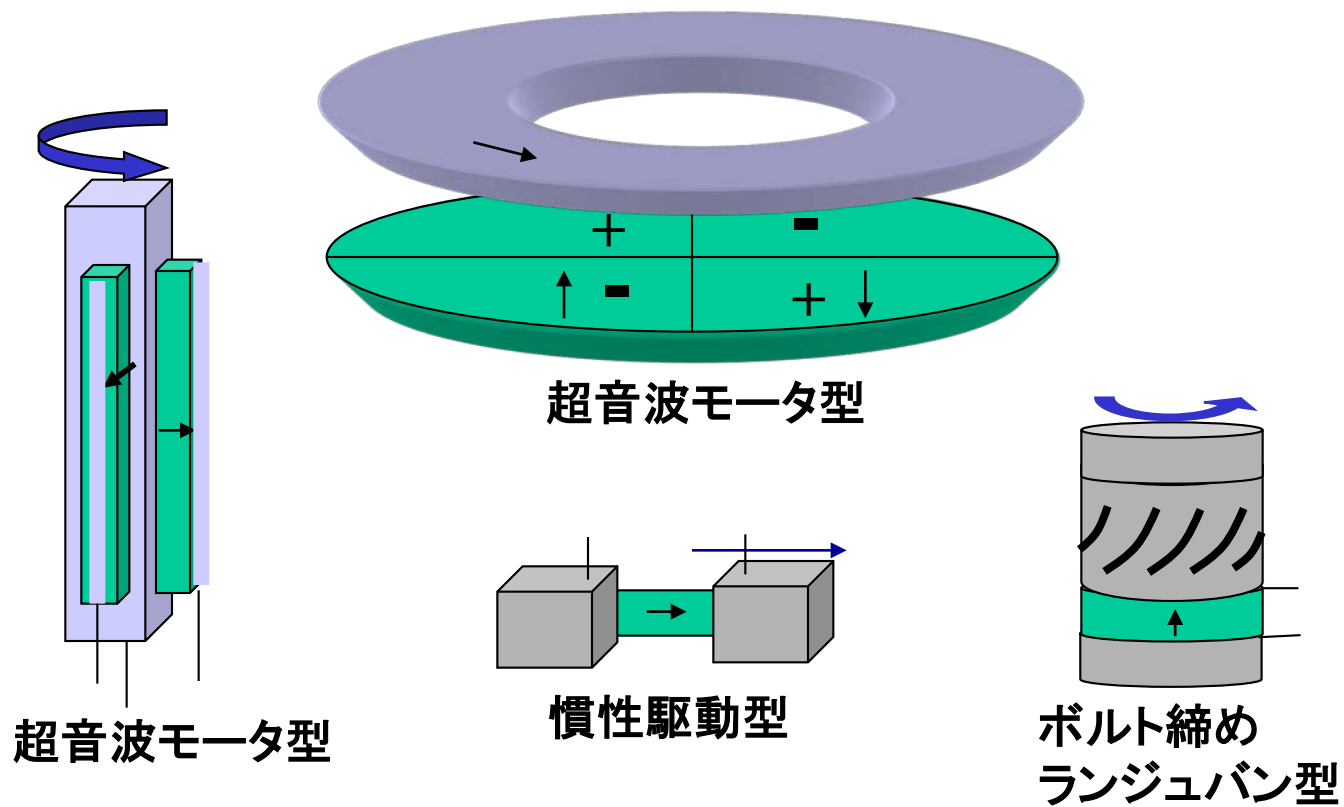
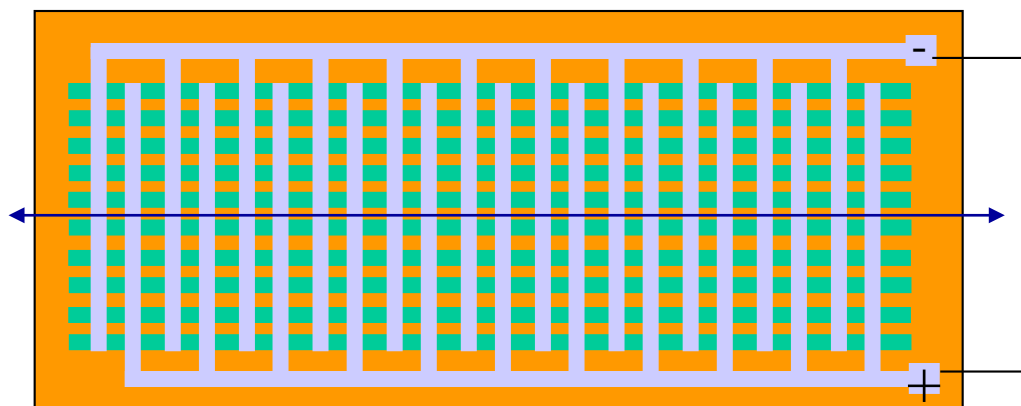
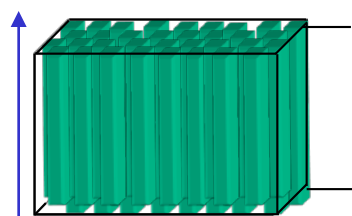


図24 さまざまな圧電セラミックアクチュエータ  
(超音波駆動型)





ファイバーコンポジット型



コンポジット型

図25 さまざまな圧電セラミックアクチュエータ  
(圧電コンポジット型)