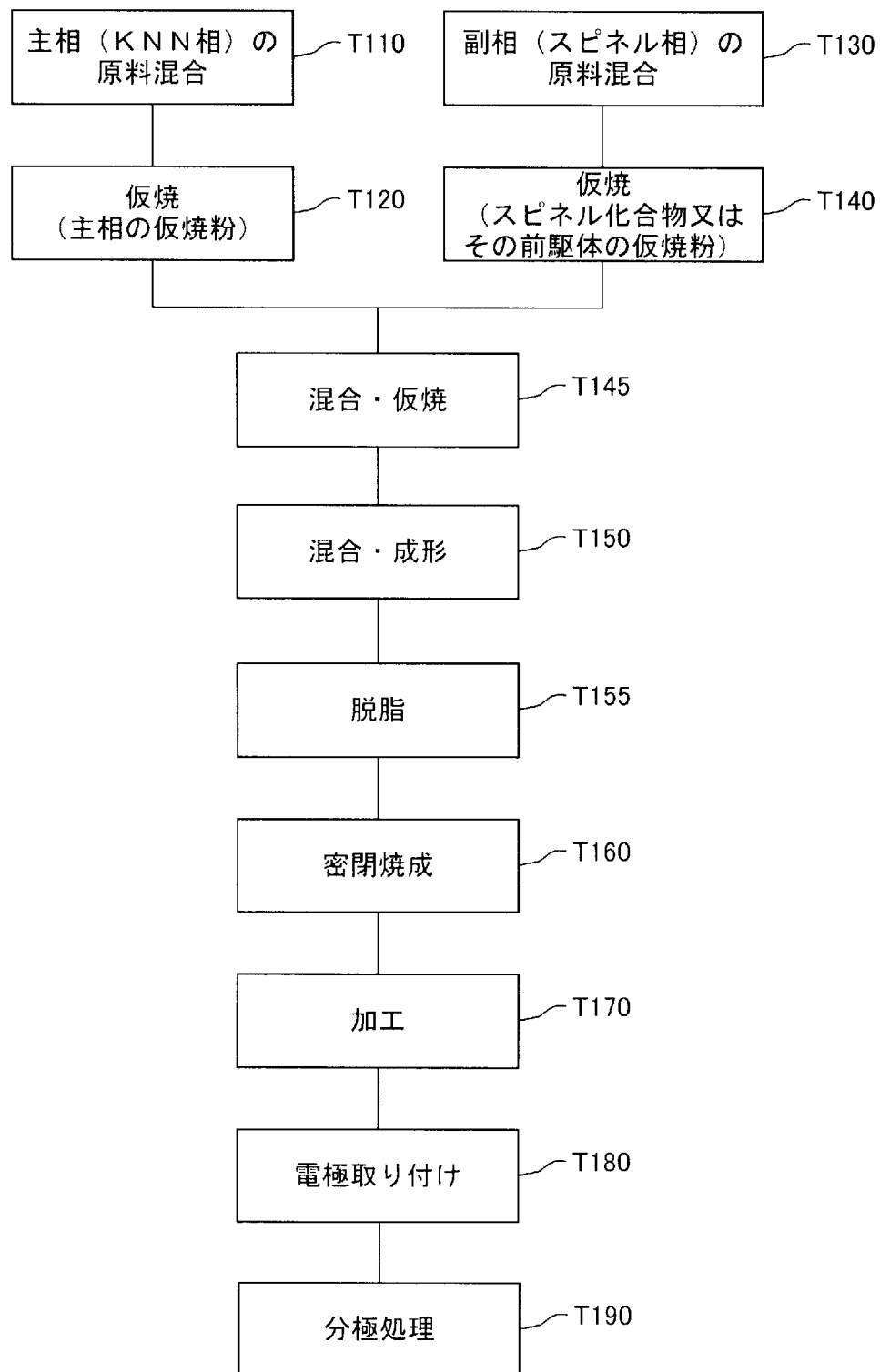
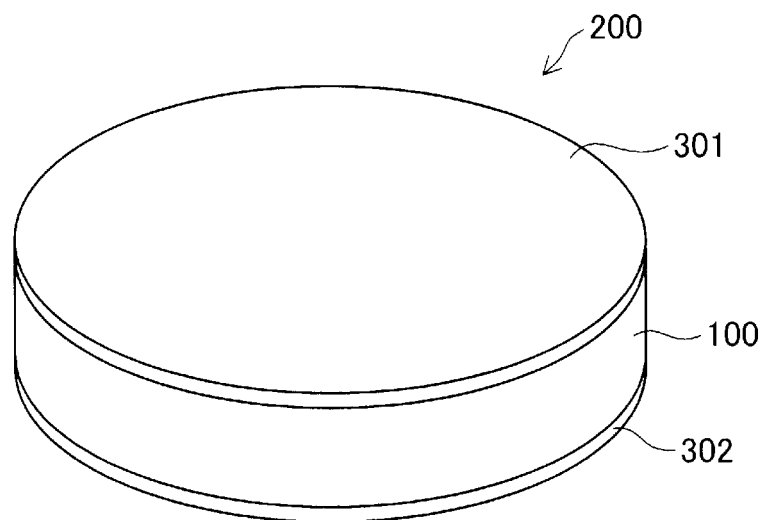


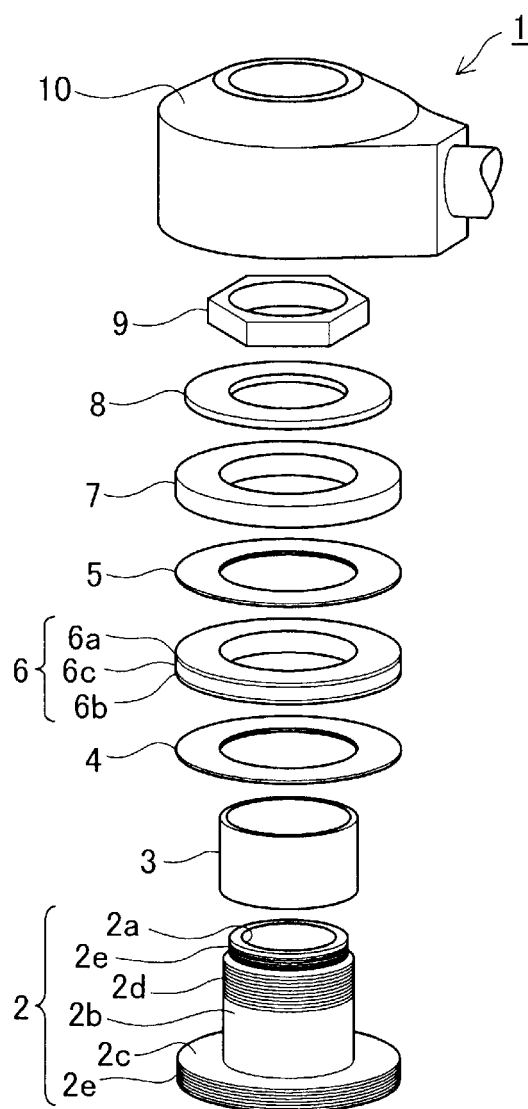
[図1]



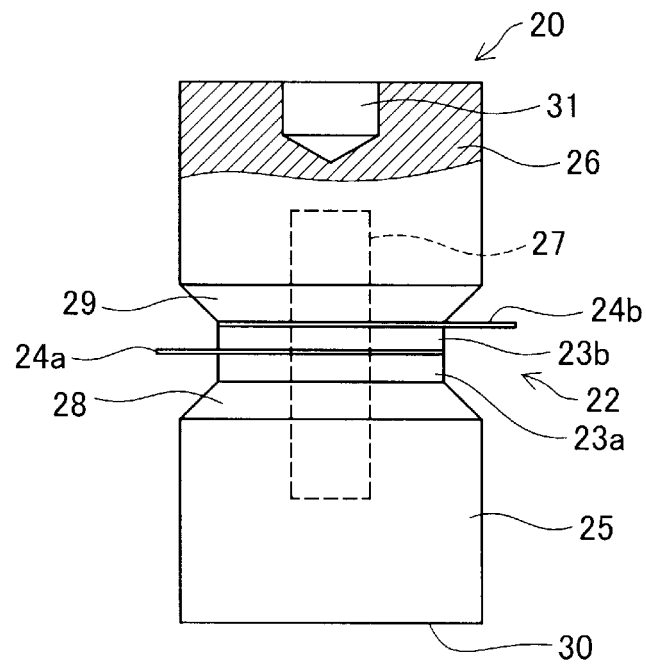
[図2]



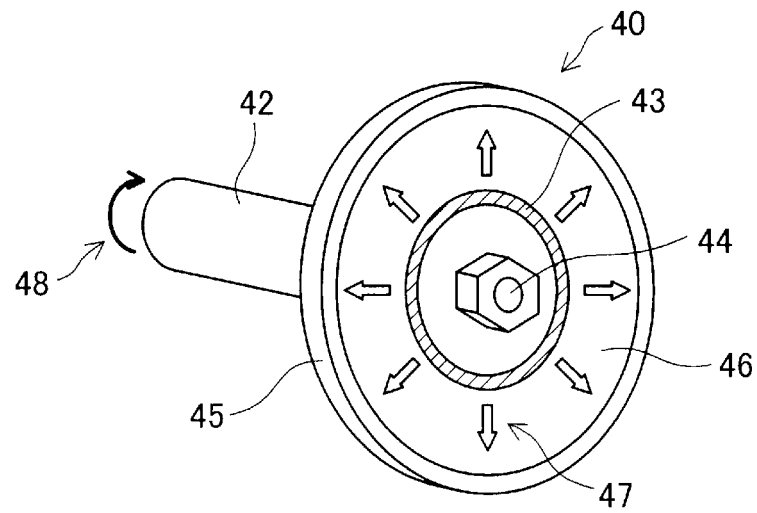
[図3]



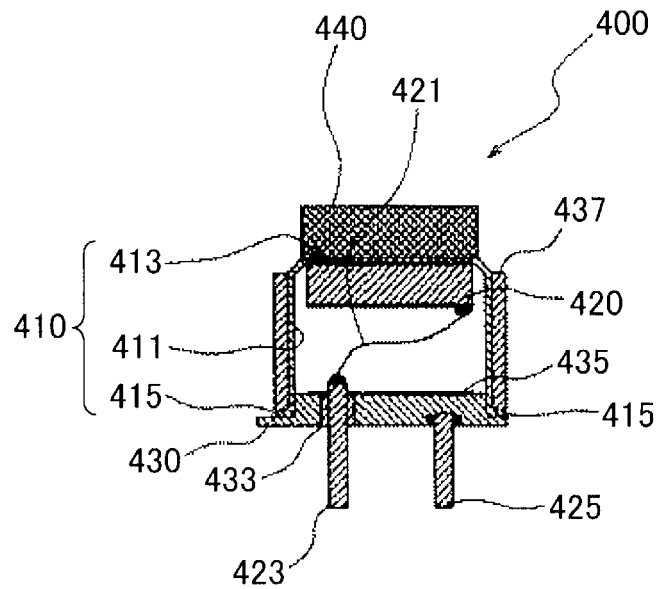
[図4]



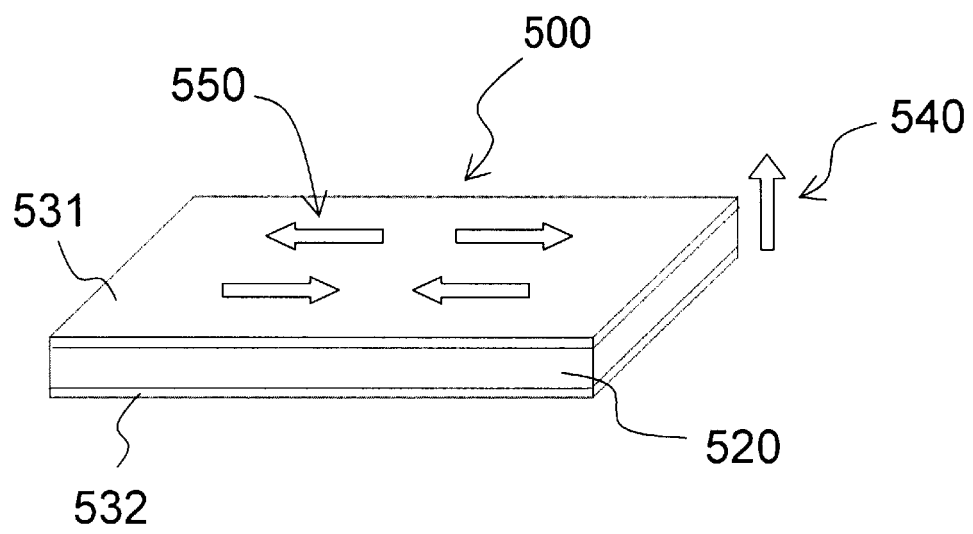
[図5]



[図6]



[図7]



[図8A]

副相割合による圧電特性への影響

| サンプル   | 第1結晶相<br>(主相) |            |        |       |       |       |             |       |      |         |       | 第2結晶相<br>(副相) |         |       |    |                |        |
|--------|---------------|------------|--------|-------|-------|-------|-------------|-------|------|---------|-------|---------------|---------|-------|----|----------------|--------|
|        | 元素C           | 元素D        | 元素E    | a     | b     | c     | 元素C<br>の係数d |       | e    | 元素Dの係数f |       |               | 元素Eの係数g |       |    | 副相割合<br>(Vol%) | 元素M    |
|        |               |            |        |       |       |       | d1          | d2    |      | f1      | f2    | f3            | g1      | g2    | g3 |                |        |
| S01(*) | —             |            | —      | 0.500 | 0.500 | 0     | 0           | 0     | 1.00 | 1.00    | 1.000 | 0             | 0       | 0     | 0  | 0              | —      |
| S02(*) | —             |            | —      | 0.490 | 0.490 | 0.020 | 0           | 0     | 1.00 | 1.00    | 1.000 | 0             | 0       | 0     | 0  | 0              | —      |
| S03    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 0.44           | Co, Zn |
| S04    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 0.80           | Co, Zn |
| S05    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 1.24           | Co, Zn |
| S06    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 1.33           | Co, Zn |
| S07    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 1.42           | Co, Zn |
| S08    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 1.90           | Co, Zn |
| S09    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 2.43           | Co, Zn |
| S10    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 3.54           | Co, Zn |
| S11    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 4.42           | Co, Zn |
| S12    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025         | 0.005   | 0.005 | 0  | 5.30           | Co, Zn |

第一結晶相 (主相) :  $(K_xNa_{1-x}Li_xC_d)_e(D_fE_g)O_h$

(元素CはCa, Sr, Baの一種以上、元素DはNb, Ta, Ti, Zrのうちの少なくともNb又はTaを含む一種以上、

元素EはMg, Al, Sc, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Yの一種以上、 $a+b+c+d=1$ 、 $e$ は任意、 $f+g=1$ 、 $h$ はペロブスカイトを構成する任意の値)

第二結晶相 (副相) :  $M_xTiO_y$

(元素MはLi, Mg, Al, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Y, Zrの一種以上、

係数 $x$ 、 $y$ はTiの含有量に対する相対値であり、 $0.5 \leq x \leq 5.0$ 、 $y$ はスピネルを形成する任意の値)

(\*) は比較例を示す

[図8B]

副相割合による圧電特性への影響

| サンプル   | 第1結晶相<br>(主相) | 第2結晶相<br>(副相)  |        |                      | 比誘電率<br>$\epsilon_{33}/\epsilon_0$ | 圧電定数<br>$d_{33}(\text{pC/N})$ | 電気機械<br>結合係数<br>kr | 室温<br>相転移点 |
|--------|---------------|----------------|--------|----------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------|------------|
|        | 組成            | 副相割合<br>(Vol%) | 元素M    | 組成                   |                                    |                               |                    |            |
| S01(*) | 図8A           | 0              | -      | -                    | 430                                | 90                            | 0.30               | 有          |
| S02(*) | 同上            | 0              | -      | -                    | 430                                | 95                            | 0.31               | 有          |
| S03    | 同上            | 0.44           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1470                               | 91                            | 0.21               | 無          |
| S04    | 同上            | 0.80           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1520                               | 208                           | 0.42               | 無          |
| S05    | 同上            | 1.24           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1554                               | 255                           | 0.46               | 無          |
| S06    | 同上            | 1.33           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1700                               | 298                           | 0.53               | 無          |
| S07    | 同上            | 1.42           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1761                               | 288                           | 0.52               | 無          |
| S08    | 同上            | 1.90           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1650                               | 245                           | 0.49               | 無          |
| S09    | 同上            | 2.43           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1600                               | 211                           | 0.41               | 無          |
| S10    | 同上            | 3.54           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1560                               | 194                           | 0.40               | 無          |
| S11    | 同上            | 4.42           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1530                               | 190                           | 0.37               | 無          |
| S12    | 同上            | 5.30           | Co, Zn | CoZnTiO <sub>4</sub> | 1500                               | 122                           | 0.24               | 無          |

第一結晶相(主相) :  $(\text{K}_a\text{Na}_b\text{Li}_c\text{C}_d)_e(\text{D}_f\text{E}_g)\text{O}_h$

(元素CはCa, Sr, Baの一種以上、元素DはNb, Ta, Ti, Zrのうちの少なくともNb又はTaを含む一種以上、

元素EはMg, Al, Sc, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Yの一種以上、 $a+b+c+d=1$ 、 $e$ は任意、 $f+g=1$ 、 $h$ はペロブスカイトを構成する任意の値)

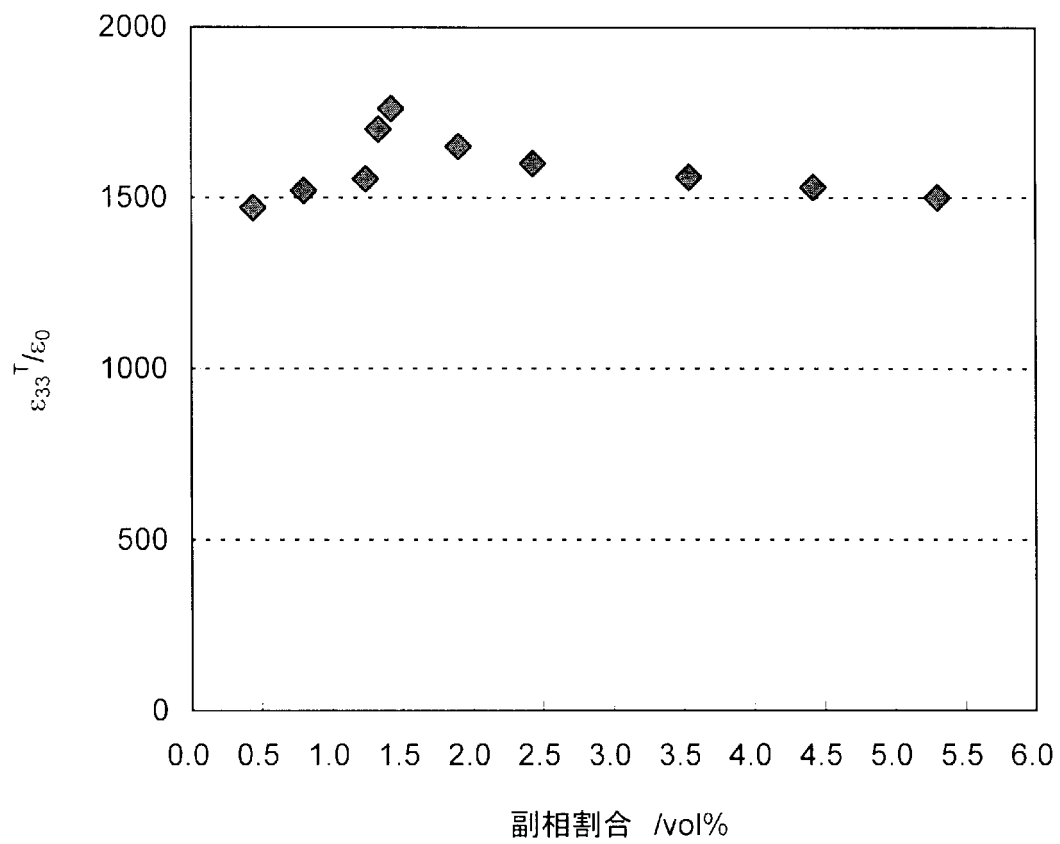
第二結晶相(副相) :  $\text{M}_x\text{TiO}_y$

(元素MはLi, Mg, Al, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Y, Zrの一種以上、

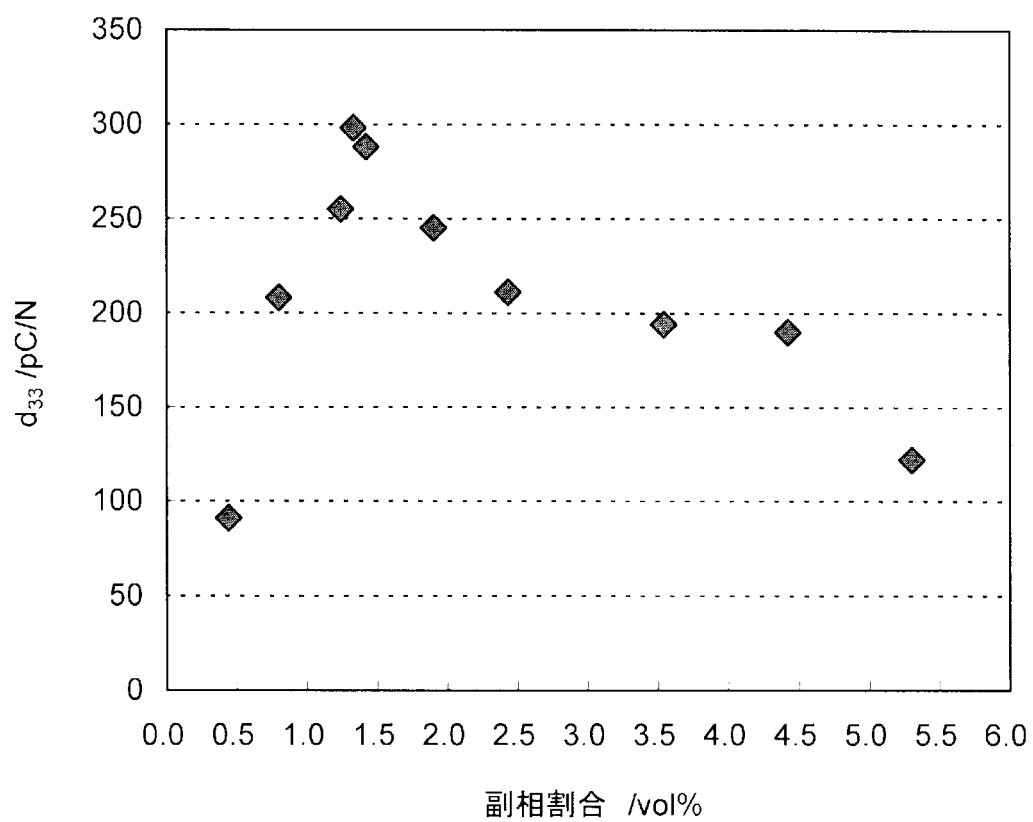
係数 $x$ 、 $y$ はTiの含有量に対する相対値であり、 $0.5 \leq x \leq 5.0$ 、 $y$ はスピネルを形成する任意の値)

(\*) は比較例を示す

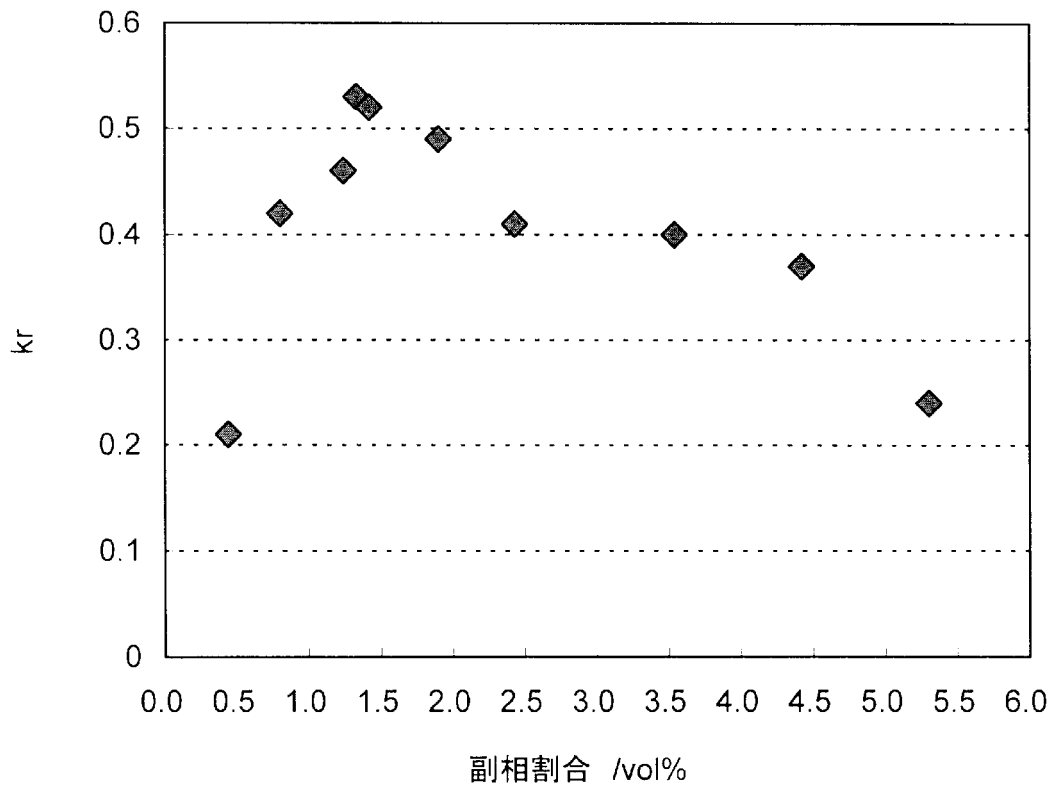
[図9A]

副相割合と比誘電率  $\varepsilon_{33}^T / \varepsilon_0$  の関係

[図9B]

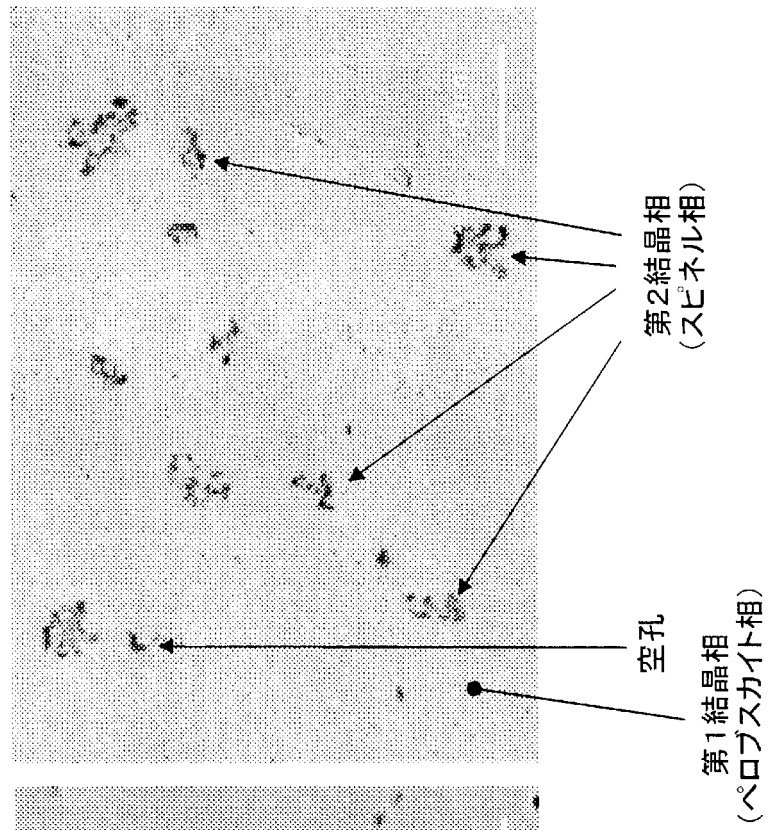
副相割合と圧電定数 $d_{33}$ の関係

[図9C]

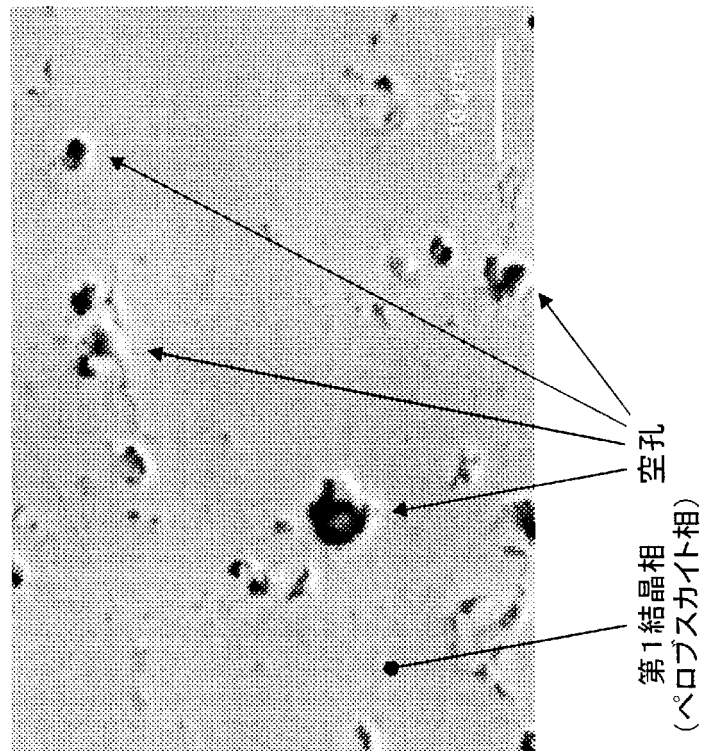
副相割合と電気機械結合係数 $k_r$ の関係

[図10]

(B) サンプルS006の反射電子像



(A) サンプルS001の反射電子像



[図11A]

副相の金属元素Mの種類による影響(その1)

| サンプル   | 第1結晶相<br>(主相) |            |            |       |       |       |             |       |      |         |       |       |         | 第2結晶相<br>(副相) |       |                |            |
|--------|---------------|------------|------------|-------|-------|-------|-------------|-------|------|---------|-------|-------|---------|---------------|-------|----------------|------------|
|        | 元素C           | 元素D        | 元素E        | a     | b     | c     | 元素C<br>の係数d |       | e    | 元素Dの係数f |       |       | 元素Eの係数g |               |       | 副相割合<br>(Vol%) | 元素M        |
|        |               |            |            |       |       |       | d1          | d2    |      | f1      | f2    | f3    | g1      | g2            | g3    |                |            |
| S06    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co, Zn     | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.01 | 0.945   | 0.021 | 0.025 | 0.005   | 0.005         | 0     | 1.33           | Co, Zn     |
| S13    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Co         |
| S14    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Zn         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Zn         |
| S15    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Fe         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Fe         |
| S16    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Al         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Li, Al     |
| S17    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Mn         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Mn         |
| S18    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Mg         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Mg         |
| S19    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Ni         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Ni         |
| S20    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | —          | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.033 | 0       | 0             | 0     | 1.40           | Li, Zr     |
| S21    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Fe, Zn     | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.007   | 0.002         | 0     | 1.40           | Fe, Zn     |
| S22    | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Fe, Zn, Co | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.007   | 0.002         | 0.008 | 1.40           | Fe, Zn, Co |
| S23(*) | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Sr         | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.00 | 0.953   | 0.022 | 0.025 | 0.008   | 0             | 0     | 1.40           | Sr         |

第一結晶相(主相) :  $(K_aNa_bLi_cC_d)_e(D_fE_g)O_h$ 

(元素CはCa, Sr, Baの一種以上、元素DはNb, Ta, Ti, Zrのうちの少なくともNb又はTaを含む一種以上、

元素EはMg, Al, Sc, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Yの一種以上、a+b+c+d=1、eは任意、f+g=1、hはペロブスカイトを構成する任意の値)

第二結晶相(副相) :  $M_xTiO_y$ 

(元素MはLi, Mg, Al, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Y, Zrの一種以上、

係数x、yはTiの含有量に対する相対値であり、 $0.5 \leq x \leq 5.0$ 、yはスピネルを形成する任意の値)

(\*) は比較例を示す

(サンプルS23は、第2結晶相がスピネル化合物を形成せず、ペロブスカイト相を形成した)

[図11B]

副相の金属元素Mの種類による影響(その1)

| サンプル   | 第1結晶相<br>(主相) | 第2結晶相<br>(副相)  |            | 比誘電率<br>$\epsilon_{33}/\epsilon_0$                        | 誘電損失<br>$\tan \delta$ | 圧電定数<br>$d_{33}(\text{pC/N})$ | 電気機械<br>結合係数 | 電気機械<br>結合係数 | 機械的<br>品質係数 | キュリー<br>点<br>$T_c(^{\circ}\text{C})$ |
|--------|---------------|----------------|------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------------------------------|
|        | 組成            | 副相割合<br>(Vol%) | 元素M        |                                                           |                       |                               |              |              |             |                                      |
| S06    | 図11A          | 1.33           | Co, Zn     | $\text{CoZnTiO}_4$                                        | 0.018                 | 298                           | kr           | kt           | Qm          | 315                                  |
| S13    | 同上            | 1.40           | Co         | $\text{Co}_2\text{TiO}_4$                                 | 0.022                 | 283                           | 0.51         | 0.47         | 50          | 323                                  |
| S14    | 同上            | 1.40           | Zn         | $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$                                 | 0.025                 | 257                           | 0.51         | 0.40         | 61          | 322                                  |
| S15    | 同上            | 1.40           | Fe         | $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$                                 | 0.024                 | 301                           | 0.54         | 0.49         | 61          | 310                                  |
| S16    | 同上            | 1.40           | Li, Al     | $\text{LiAlTiO}_4$                                        | 0.023                 | 270                           | 0.51         | 0.45         | 56          | 320                                  |
| S17    | 同上            | 1.40           | Mn         | $\text{Mn}_2\text{TiO}_4$                                 | 0.016                 | 233                           | 0.46         | 0.37         | 91          | 322                                  |
| S18    | 同上            | 1.40           | Mg         | $\text{Mg}_2\text{TiO}_4$                                 | 0.027                 | 270                           | 0.52         | 0.55         | 62          | 321                                  |
| S19    | 同上            | 1.40           | Ni         | $\text{Ni}_2\text{TiO}_4$                                 | 0.034                 | 295                           | 0.54         | 0.46         | 59          | 330                                  |
| S20    | 同上            | 1.40           | Li, Zr     | $\text{Li}_{1.33}(\text{Zr}, \text{Ti})_{1.67}\text{O}_4$ | 0.026                 | 256                           | 0.49         | 0.40         | 71          | 320                                  |
| S21    | 同上            | 1.40           | Fe, Zn     | $\text{FeZnTiO}_4$                                        | 0.022                 | 299                           | 0.56         | 0.47         | 57          | 315                                  |
| S22    | 同上            | 1.40           | Fe, Zn, Co | $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_2\text{TiO}_4$         | 0.021                 | 274                           | 0.52         | 0.47         | 60          | 340                                  |
| S23(*) | 同上            | 1.40           | Sr         | $\text{SrTiO}_3$                                          | 0.037                 | 116                           | 0.28         | 0.28         | 97          | 300                                  |

第一結晶相(主相) :  $(\text{K}_a\text{Na}_b\text{Li}_c\text{C}_d)_e(\text{D}_f\text{E}_g)\text{O}_h$ 

(元素CはCa, Sr, Baの一種以上、元素DはNb, Ta, Ti, Zrのうちの少なくともNb又はTaを含む一種以上、

元素EはMg, Al, Sc, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Yの一種以上、a+b+c+d=1、eは任意、f+g=1、hはペロブスカイトを構成する任意の値)

第二結晶相(副相) :  $\text{M}_x\text{TiO}_y$ 

(元素MはLi, Mg, Al, Sc, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Y, Zrの一種以上、

係数x、yはTiの含有量に対する相対値であり、 $0.5 \leq x \leq 5.0$ 、 $y$ はスピネルを形成する任意の値)

(\*) は比較例を示す

(サンプルS23は、第2結晶相がスピネル化合物を形成せず、ペロブスカイト相を形成した)

[図12A]

副相の金属元素Mの種類による影響(その2)

| 第1結晶相(主相):(K <sub>9</sub> Na <sub>6</sub> Li <sub>6</sub> C <sub>6</sub> )e(D <sub>1</sub> E <sub>2</sub> )O <sub>h</sub> |      |       |             |        |       |       |             |       |       |         |       |       |       |         |       | 第2結晶相<br>(副相) |              |      |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|-------------|--------|-------|-------|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|-------|---------------|--------------|------|------------|
| サンプル                                                                                                                      | 元素C  | 元素D   | 元素E         | a      | b     | c     | 元素C<br>の係数d |       | e     | 元素Dの係数f |       |       |       | 元素Eの係数g |       |               | 割合<br>(Vol%) | 元素M  |            |
|                                                                                                                           |      |       |             |        |       |       | d1          | d2    |       | f1      | f2    | f3    | f4    | g1      | g2    | g3            |              |      |            |
|                                                                                                                           |      |       |             |        |       |       |             |       |       |         |       |       |       |         |       |               |              |      |            |
|                                                                                                                           |      |       |             |        |       |       |             |       |       |         |       |       |       |         |       |               |              |      |            |
|                                                                                                                           | S100 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Ni, Fe | 0.491 | 0.422 | 0.021       | 0.044 | 0.023 | 1.00    | 0.944 | 0.021 | 0.025 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Ni, Fe     |
|                                                                                                                           | S101 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Mg, Fe | 0.490 | 0.422 | 0.021       | 0.042 | 0.024 | 0.99    | 0.942 | 0.022 | 0.025 | 0       | 0.008 | 0.004         | 0            | 1.80 | Mg, Fe     |
|                                                                                                                           | S102 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Fe, Al | 0.487 | 0.422 | 0.021       | 0.045 | 0.025 | 1.06    | 0.954 | 0.019 | 0.016 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Fe, Al, Li |
|                                                                                                                           | S103 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Mn, Al | 0.490 | 0.423 | 0.021       | 0.044 | 0.022 | 1.06    | 0.954 | 0.019 | 0.016 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Mn, Al, Li |
|                                                                                                                           | S104 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Mg,Mg  | 0.486 | 0.427 | 0.021       | 0.042 | 0.024 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Mg,Mn      |
|                                                                                                                           | S105 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Ni,Mg  | 0.532 | 0.383 | 0.021       | 0.041 | 0.022 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Ni,Mg      |
|                                                                                                                           | S106 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Ni     | 0.481 | 0.430 | 0.021       | 0.043 | 0.025 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.026 | 0       | 0.005 | 0             | 0            | 1.80 | Ni, Zr     |
|                                                                                                                           | S107 | Ca,Ba | Nb,Ti,Hf    | Ni     | 0.481 | 0.430 | 0.021       | 0.043 | 0.025 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.026 | 0       | 0.005 | 0             | 0            | 1.80 | Ni, Hf     |
|                                                                                                                           | S108 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Ni, Zn | 0.486 | 0.427 | 0.021       | 0.042 | 0.024 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Ni, Zn     |
|                                                                                                                           | S109 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Fe,Ni  | 0.486 | 0.427 | 0.021       | 0.042 | 0.024 | 1.04    | 0.939 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.016 | 0.005         | 0            | 1.80 | Fe,Ni      |
|                                                                                                                           | S110 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Sc     | 0.486 | 0.427 | 0.021       | 0.042 | 0.024 | 1.06    | 0.954 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.000         | 0            | 1.80 | Sc, Li     |
|                                                                                                                           | S111 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Co, Mg | 0.488 | 0.409 | 0.027       | 0.026 | 0.050 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Co, Mg     |
|                                                                                                                           | S112 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Co, Ni | 0.488 | 0.409 | 0.027       | 0.026 | 0.050 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Co, Ni     |
|                                                                                                                           | S113 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Mg, Zn | 0.488 | 0.409 | 0.027       | 0.026 | 0.050 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Mg, Zn     |
|                                                                                                                           | S114 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Co, Fe | 0.488 | 0.409 | 0.027       | 0.026 | 0.050 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Co, Fe     |
|                                                                                                                           | S115 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr    | Co, Fe | 0.435 | 0.487 | 0.022       | 0.021 | 0.035 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Co, Fe     |
|                                                                                                                           | S116 | Ca,Ba | Nb,Ti,Ta    | Co, Fe | 0.435 | 0.487 | 0.022       | 0.021 | 0.035 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Co, Fe     |
|                                                                                                                           | S117 | Ca,Sr | Nb,Ti,Zr    | Co, Fe | 0.435 | 0.487 | 0.022       | 0.021 | 0.035 | 1.05    | 0.949 | 0.019 | 0.021 | 0       | 0.005 | 0.005         | 0            | 1.80 | Co, Fe     |
|                                                                                                                           | S118 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr,Sn | Zn     | 0.435 | 0.487 | 0.022       | 0.021 | 0.035 | 1.04    | 0.935 | 0.019 | 0.021 | 0.021   | 0.005 | 0.000         | 0            | 1.80 | Zn, Sn     |
|                                                                                                                           | S119 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr,Sb | Zn     | 0.435 | 0.487 | 0.022       | 0.021 | 0.035 | 1.04    | 0.935 | 0.019 | 0.021 | 0.021   | 0.005 | 0.000         | 0            | 1.80 | Zn, Sb     |
|                                                                                                                           | S120 | Ca,Ba | Nb,Ti,Zr,Si | Zn     | 0.435 | 0.487 | 0.022       | 0.021 | 0.035 | 1.05    | 0.944 | 0.019 | 0.021 | 0.010   | 0.005 | 0.000         | 0            | 1.80 | Zn, Si     |

[図12B]

副相の金属元素Mの種類による影響(その2)

| サンプル | 第1結晶相(主相):(K <sub>a</sub> Na <sub>b</sub> Li <sub>c</sub> O) <sub>e</sub> (D <sub>f</sub> E <sub>g</sub> )O <sub>h</sub> |          |          |       |       |       |             |       |      |         |       |       |    |         |       |       | 第2結晶相<br>(副相) |            |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|-------|-------|-------|-------------|-------|------|---------|-------|-------|----|---------|-------|-------|---------------|------------|
|      | 元素C                                                                                                                      | 元素D      | 元素E      | a     | b     | c     | 元素C<br>の係数d |       | e    | 元素Dの係数f |       |       |    | 元素Eの係数g |       |       | 割合<br>(Vol%)  | 元素M        |
|      |                                                                                                                          |          |          |       |       |       | d1          | d2    |      | f1      | f2    | f3    | f4 | g1      | g2    | g3    |               |            |
| S121 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Fe       | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.06 | 0.954   | 0.019 | 0.021 | 0  | 0.005   | 0.000 | 0     | 1.80          | Fe         |
| S122 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Ni       | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.06 | 0.954   | 0.019 | 0.021 | 0  | 0.005   | 0.000 | 0     | 1.80          | Ni         |
| S123 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Mg       | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.06 | 0.954   | 0.019 | 0.021 | 0  | 0.005   | 0.000 | 0     | 1.80          | Mg         |
| S124 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Zn       | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.06 | 0.954   | 0.019 | 0.021 | 0  | 0.005   | 0.000 | 0     | 1.80          | Zn         |
| S125 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Mn       | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.06 | 0.954   | 0.019 | 0.021 | 0  | 0.005   | 0.000 | 0     | 1.80          | Mn         |
| S126 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Co       | 0.435 | 0.487 | 0.022 | 0.021       | 0.035 | 1.06 | 0.954   | 0.019 | 0.021 | 0  | 0.005   | 0.000 | 0     | 1.80          | Co         |
| S127 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Fe,Zn,Co | 0.507 | 0.403 | 0.023 | 0.043       | 0.024 | 1.04 | 0.947   | 0.028 | 0.021 | 0  | 0.002   | 0.002 | 0.003 | 1.50          | Fe, Zn, Co |
| S128 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Fe,Zn,Co | 0.500 | 0.405 | 0.023 | 0.045       | 0.026 | 1.03 | 0.947   | 0.028 | 0.022 | 0  | 0.002   | 0.002 | 0.002 | 1.60          | Fe, Zn, Co |
| S129 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Fe,Zn,Co | 0.498 | 0.407 | 0.023 | 0.047       | 0.026 | 1.02 | 0.947   | 0.027 | 0.022 | 0  | 0.002   | 0.002 | 0.002 | 1.70          | Fe, Zn, Co |
| S130 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Fe,Zn,Co | 0.426 | 0.507 | 0.019 | 0.029       | 0.018 | 1.00 | 0.956   | 0.022 | 0.020 | 0  | 0.001   | 0.001 | 0.001 | 1.60          | Fe, Zn, Co |
| S131 | Ca,Ba                                                                                                                    | Nb,Ti,Zr | Fe,Zn,Co | 0.429 | 0.509 | 0.019 | 0.031       | 0.012 | 1.00 | 0.961   | 0.024 | 0.013 | 0  | 0.001   | 0.002 | 0.001 | 1.50          | Fe, Zn, Co |

[図12C]

副相の金属元素Mの種類による影響(その2)

| サンプル | 第1結晶相<br>(主相) |              |            | 第2結晶相<br>(副相)                                        |              |                                                                | 第3結晶相<br>(副相) |      |       | 比誘電率<br>$\epsilon_{33}/\epsilon_0$ | 誘電損失<br>$\tan \delta$ | 圧電定数<br>$d_{33}(\text{pC/N})$ | 電気機械<br>結合係数<br>kr | 電気機械<br>結合係数<br>kt | 機械的<br>品質係数<br>Qm | キュリー<br>点<br>$T_c(^{\circ}\text{C})$ |
|------|---------------|--------------|------------|------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------|------|-------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|
|      | 組成            | 割合<br>(Vol%) | 元素M        | 組成                                                   | 割合<br>(Vol%) | 組成                                                             | 割合<br>(Vol%)  |      |       |                                    |                       |                               |                    |                    |                   |                                      |
| S100 | 図12A          | 1.80         | Ni, Fe     | NiFeTiO <sub>4</sub>                                 | 0.1以下        | (Ba,Na,K) <sub>3</sub> (Nb,Ni,Fe) <sub>5</sub> O <sub>15</sub> | 0.1以下         | 1720 | 0.021 | 317                                | 0.55                  | 0.48                          | 62                 | 317                |                   |                                      |
| S101 | 同上            | 1.80         | Mg, Fe     | MgFeTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1650 | 0.022 | 319                                | 0.55                  | 0.47                          | 60                 | 318                |                   |                                      |
| S102 | 同上            | 1.80         | Li, Fe, Al | LiFe <sub>0.5</sub> Ti <sub>1.5</sub> O <sub>4</sub> | 無            | -                                                              | 無             | 1800 | 0.024 | 285                                | 0.52                  | 0.45                          | 74                 | 319                |                   |                                      |
| S103 | 同上            | 1.80         | Li, Mn, Al | LiMn <sub>0.5</sub> Ti <sub>1.5</sub> O <sub>4</sub> | 無            | -                                                              | 無             | 1700 | 0.014 | 245                                | 0.50                  | 0.44                          | 146                | 327                |                   |                                      |
| S104 | 同上            | 1.80         | Mg,Mn      | MgMnTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1620 | 0.013 | 257                                | 0.51                  | 0.45                          | 143                | 325                |                   |                                      |
| S105 | 同上            | 1.80         | Ni,Mg      | MgNiTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1680 | 0.023 | 299                                | 0.53                  | 0.47                          | 65                 | 323                |                   |                                      |
| S106 | 同上            | 1.80         | Ni,Zr      | Ni <sub>2</sub> (Ti,Zr)O <sub>4</sub>                | 0.3          | (Ba,Na,K) <sub>3</sub> (Nb,Ni,Zr) <sub>5</sub> O <sub>15</sub> | 0.3           | 1720 | 0.020 | 316                                | 0.56                  | 0.49                          | 53                 | 328                |                   |                                      |
| S107 | 同上            | 1.80         | Ni,Hf      | Ni <sub>2</sub> (Ti,Hf)O <sub>4</sub>                | 0.3          | (Ba,Na,K) <sub>3</sub> (Nb,Ni,Hf) <sub>5</sub> O <sub>15</sub> | 0.3           | 1800 | 0.022 | 300                                | 0.54                  | 0.46                          | 60                 | 320                |                   |                                      |
| S108 | 同上            | 1.80         | Ni,Zn      | ZnNiTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1560 | 0.027 | 277                                | 0.52                  | 0.45                          | 67                 | 324                |                   |                                      |
| S109 | 同上            | 1.80         | Fe,Ni      | Ni <sub>1.5</sub> FeTi <sub>0.5</sub> O <sub>4</sub> | 0.1以下        | (Ba,Na,K) <sub>3</sub> (Nb,Ni,Fe) <sub>5</sub> O <sub>15</sub> | 0.1以下         | 1540 | 0.020 | 314                                | 0.54                  | 0.46                          | 60                 | 319                |                   |                                      |
| S110 | 同上            | 1.80         | Sc,Li      | LiScTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1750 | 0.020 | 292                                | 0.54                  | 0.45                          | 55                 | 316                |                   |                                      |
| S111 | 同上            | 1.80         | Co, Mg     | CoMgTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1680 | 0.021 | 318                                | 0.54                  | 0.47                          | 66                 | 324                |                   |                                      |
| S112 | 同上            | 1.80         | Co, Ni     | CoNiTiO <sub>4</sub>                                 | 0.1以下        | (Ba,Na,K) <sub>3</sub> (Nb,Co,Ni) <sub>5</sub> O <sub>15</sub> | 0.1以下         | 1710 | 0.022 | 288                                | 0.54                  | 0.47                          | 59                 | 321                |                   |                                      |
| S113 | 同上            | 1.80         | Mg, Zn     | ZnMgTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1690 | 0.021 | 293                                | 0.53                  | 0.46                          | 62                 | 326                |                   |                                      |
| S114 | 同上            | 1.80         | Co, Fe     | CoFeTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1715 | 0.021 | 295                                | 0.55                  | 0.48                          | 60                 | 316                |                   |                                      |
| S115 | 同上            | 1.80         | Co, Fe     | CoFeTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1650 | 0.020 | 320                                | 0.55                  | 0.48                          | 54                 | 315                |                   |                                      |
| S116 | 同上            | 1.80         | Co, Fe     | CoFeTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1830 | 0.024 | 282                                | 0.53                  | 0.46                          | 52                 | 307                |                   |                                      |
| S117 | 同上            | 1.80         | Co, Fe     | CoFeTiO <sub>4</sub>                                 | 無            | -                                                              | 無             | 1880 | 0.025 | 300                                | 0.54                  | 0.46                          | 55                 | 318                |                   |                                      |
| S118 | 同上            | 1.80         | Zn, Sn     | Zn <sub>2</sub> (Ti,Sn)O <sub>4</sub>                | 無            | -                                                              | 無             | 1820 | 0.018 | 301                                | 0.52                  | 0.45                          | 49                 | 323                |                   |                                      |
| S119 | 同上            | 1.80         | Zn, Sb     | Zn <sub>2</sub> (Ti,Sb)O <sub>4</sub>                | 無            | -                                                              | 無             | 1720 | 0.024 | 278                                | 0.52                  | 0.46                          | 58                 | 309                |                   |                                      |
| S120 | 同上            | 2.00         | Zn, Si     | Zn <sub>2</sub> (Ti,Si)O <sub>4</sub>                | 無            | -                                                              | 無             | 1710 | 0.022 | 290                                | 0.52                  | 0.45                          | 51                 | 300                |                   |                                      |

[図12D]

副相の金属元素Mの種類による影響(その2)

| サンプル | 第1結晶相<br>(主相) |              |            | 第2結晶相<br>(副相)                                     |              |                                                                                                 | 第3結晶相<br>(副相) |                                                                                                 | 比誘電率<br>$\epsilon_{33}/\epsilon_0$ | 誘電損失<br>$\tan \delta$ | 圧電定数<br>$d_{33}(\text{pC/N})$ | 電気機械<br>結合係数<br>kr | 電気機械<br>結合係数<br>kt | 機械的<br>品質係数<br>Qm | キュリー<br>点<br>$T_c(^{\circ}\text{C})$ |
|------|---------------|--------------|------------|---------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|
|      | 組成            | 割合<br>(Vol%) | 元素M        | 組成                                                | 割合<br>(Vol%) | 組成                                                                                              | 割合<br>(Vol%)  | 組成                                                                                              |                                    |                       |                               |                    |                    |                   |                                      |
| S121 | 図12B          | 1.80         | Fe         | $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$                         | 0.2          | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe})_5\text{O}_{15}$                       | 0.2           | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe})_5\text{O}_{15}$                       | 1730                               | 0.021                 | 263                           | 0.52               | 0.46               | 65                | 310                                  |
| S122 | 同上            | 1.80         | Ni         | $\text{Ni}_2\text{TiO}_4$                         | 0.1以下        | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Ni})_5\text{O}_{15}$                       | 0.1以下         | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Ni})_5\text{O}_{15}$                       | 1760                               | 0.018                 | 270                           | 0.50               | 0.45               | 62                | 319                                  |
| S123 | 同上            | 1.80         | Mg         | $\text{Mg}_2\text{TiO}_4$                         | 無            | -                                                                                               | 無             | -                                                                                               | 1745                               | 0.018                 | 271                           | 0.51               | 0.46               | 61                | 321                                  |
| S124 | 同上            | 1.80         | Zn         | $\text{Zn}_2\text{TiO}_4$                         | 0.2          | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Zn})_5\text{O}_{15}$                       | 0.2           | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Zn})_5\text{O}_{15}$                       | 1600                               | 0.030                 | 250                           | 0.51               | 0.44               | 62                | 322                                  |
| S125 | 同上            | 1.80         | Mn         | $\text{Mn}_2\text{TiO}_4$                         | 0.2          | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Mn})_5\text{O}_{15}$                       | 0.2           | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Mn})_5\text{O}_{15}$                       | 1590                               | 0.011                 | 222                           | 0.45               | 0.41               | 120               | 322                                  |
| S126 | 同上            | 1.80         | Co         | $\text{Co}_2\text{TiO}_4$                         | 無            | -                                                                                               | 無             | -                                                                                               | 1700                               | 0.022                 | 262                           | 0.49               | 0.41               | 55                | 323                                  |
| S127 | 同上            | 1.50         | Fe, Zn, Co | $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_2\text{TiO}_4$ | 0.1以下        | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 0.1以下         | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 1760                               | 0.018                 | 295                           | 0.52               | 0.47               | 68                | 324                                  |
| S128 | 同上            | 1.60         | Fe, Zn, Co | $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_2\text{TiO}_4$ | 0.1以下        | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 0.1以下         | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 1510                               | 0.022                 | 290                           | 0.51               | 0.46               | 75                | 328                                  |
| S129 | 同上            | 1.70         | Fe, Zn, Co | $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_2\text{TiO}_4$ | 0.1以下        | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 0.1以下         | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 1340                               | 0.024                 | 280                           | 0.51               | 0.44               | 75                | 330                                  |
| S130 | 同上            | 1.60         | Fe, Zn, Co | $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_2\text{TiO}_4$ | 0.1以下        | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 0.1以下         | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 1630                               | 0.015                 | 285                           | 0.50               | 0.46               | 66                | 320                                  |
| S131 | 同上            | 1.50         | Fe, Zn, Co | $(\text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_2\text{TiO}_4$ | 0.1以下        | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 0.1以下         | $(\text{Ba}, \text{Na}, \text{K})_3(\text{Nb}, \text{Fe}, \text{Zn}, \text{Co})_5\text{O}_{15}$ | 1845                               | 0.018                 | 310                           | 0.56               | 0.49               | 48                | 318                                  |

## [図13]

## 絶縁性評価結果

| サンプル   | 副相割合   | $d_{33}$<br>(pC/N) | 分極条件 (分極時間30min) |             |             |
|--------|--------|--------------------|------------------|-------------|-------------|
|        | (Vol%) |                    | 25°C_7kV/mm      | 40°C_7kV/mm | 80°C_9kV/mm |
| S01(*) | 0      | 90                 | NG               | NG          | NG          |
| S03    | 0.44   | 61                 | OK               | OK          | NG          |
| S06    | 1.33   | 298                | OK               | OK          | OK          |
| S08    | 1.90   | 245                | OK               | OK          | OK          |

直流電圧を印加し素子の破損状態を評価

(\*) は比較例を示す

## [図14]

## 高温耐久性評価

| サンプル   | 圧電特性 $d_{33}$ (pC/N) |        | 劣化率 (%) |
|--------|----------------------|--------|---------|
|        | 初期                   | エージング後 |         |
| S01(*) | 90                   | 60     | -33.3   |
| S22    | 274                  | 264    | -3.6    |

200°C\_10h熱エージング後の圧電特性を比較

(\*) は比較例を示す

## [図15]

## 熱サイクル試験結果

| サンプル   | 圧電特性 $d_{33}$ (pC/N) |        |        |
|--------|----------------------|--------|--------|
|        | 初期                   | 熱サイクル後 | 劣化率(%) |
| S02(*) | 95                   | 63     | -66    |
| S129   | 280                  | 276    | -1.4   |
| S130   | 285                  | 279    | -2.1   |
| S131   | 310                  | 299    | -3.5   |

(\*) は比較例を示す

[図16A]

第1結晶相(主相)の係数e<sub>1</sub>による影響(その1)

| サンプル     | 第1結晶相<br>(主相) |            |     |       |       |       |             |       |       |         |       | 第2結晶相<br>(副相) |                |      |    |
|----------|---------------|------------|-----|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|---------|-------|---------------|----------------|------|----|
|          | 元素C           | 元素D        | 元素E | a     | b     | c     | 元素C<br>の係数d |       | e     | 元素Dの係数f |       |               | 副相割合<br>(Vol%) | 元素M  |    |
|          |               |            |     |       |       |       | d1          | d2    |       | f1      | f2    | f3            |                |      | g  |
| S01(*)   | —             | Nb         | —   | 0.500 | 0.500 | 0     | 0           | 0     | 1.00  | 1.000   | 0     | 0             | 0              | 0    |    |
| S24      | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 0.800 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
| S25      | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 0.880 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
| S26      | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 0.940 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
| S27      | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 0.980 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
| S28(S13) | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.000 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
|          | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.030 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
| S30      | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.070 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |
| S31      | Ca, Ba        | Nb, Ti, Zr | Co  | 0.488 | 0.409 | 0.027 | 0.026       | 0.050 | 1.100 | 0.953   | 0.022 | 0.025         | 0.008          | 1.40 | Co |

第一結晶相(主相) :  $(K_aNa_bLi_cC_d)_e(D_fE_g)O_h$

(元素CはCa, Sr, Baの一種以上、元素DはNb, Ta, Ti, Zrのうちの少なくともNb又はTaを含む一種以上、

元素EはCo, Zn, Fe, Al, Mn, Mg, Ni, Y, Sc, Gaの一種以上、 $a+b+c+d=1$ 、eは任意、 $f+g=1$ 、hはペロブスカイトを構成する任意の値)

第二結晶相(副相) :  $M_xTiO_y$

(元素MはLi, Co, Zn, Mg, Ni, Fe, Al, Y, Sc, Ga, Mn, Zrの一種以上、

係数x, yはTiの含有量に対する相対値であり、 $0.5 \leq x \leq 5.0$ 、yはスピネルを形成する任意の値)

(\*) は比較例を示す

[図16B]

第1結晶相(主相)の係数eによる影響(その2)

| サンプル     | 第1結晶相<br>(主相) |      | 第2結晶相<br>(副相)  |     | 比誘電率<br>$\epsilon_{33}^T/\epsilon_0$ | 圧電定数<br>$d_{33}(\text{pC/N})$ | 電気機械<br>結合係数<br>kr |
|----------|---------------|------|----------------|-----|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
|          | 組成            | e    | 副相割合<br>(Vol%) | 元素M |                                      |                               |                    |
| S01(*)   | 図14A          | 1.00 | 0.0            | -   | 430                                  | 90                            | 0.30               |
| S24      | 同上            | 0.80 | 1.40           | Co  | 890                                  | 103                           | 0.28               |
| S25      | 同上            | 0.88 | 1.40           | Co  | 1400                                 | 205                           | 0.40               |
| S26      | 同上            | 0.94 | 1.40           | Co  | 1430                                 | 220                           | 0.42               |
| S27      | 同上            | 0.98 | 1.40           | Co  | 1560                                 | 255                           | 0.48               |
| S28(S13) | 同上            | 1.00 | 1.40           | Co  | 1772                                 | 283                           | 0.51               |
| S29      | 同上            | 1.03 | 1.40           | Co  | 1620                                 | 244                           | 0.46               |
| S30      | 同上            | 1.07 | 1.40           | Co  | 1540                                 | 232                           | 0.45               |
| S31      | 同上            | 1.10 | 1.40           | Co  | 1500                                 | 98                            | 0.26               |

第一結晶相(主相) :  $(\text{K}_a\text{Na}_b\text{Li}_c\text{C}_d)_e(\text{D}_f\text{E}_g)\text{O}_h$

(元素CはCa, Sr, Baの一種以上、元素DはNb, Ta, Ti, Zrのうちの少なくともNb又はTa一種以上、  
元素EはCo, Zn, Fe, Al, Mn, Mg, Ni, Y, Sc, Gaの一種以上、 $a+b+c+d=1$ 、eは任意、 $f+g=1$ 、hはペロブスカイトを構成する任意の値)

第二結晶相(副相) :  $\text{M}_x\text{TiO}_y$

(元素MはLi, Co, Zn, Mg, Ni, Fe, Al, Y, Sc, Ga, Mn, Zrの一種以上、  
係数x, yはTiの含有量に対する相対値であり、 $0.5 \leq x \leq 5.0$ 、yはスピネルを形成する任意の値)

(\*) は比較例を示す

[図17]

第1結晶相(母相)の係数 $e$ と圧電定数 $d_{33}$ の関係

