高安定セラミックコンデンサの20年間にわたる 経年変化特性の実測

正員 齋田 貢 (日立) 非会員 奈良井 啓一 (村田製作所)
非会員 吉江 達夫 (日立) 非会員 村守 清 (愛知技術短大)
非会員 山名 法明 (村田製作所)

Measurement of Aging Characteristics of a High-Stability Ceramic Capacitor for 20 Years

Mitsugi Saita, Member, Tatsuo Yoshie, Non-member (Hitachi, Ltd.), Noriaki Yamana, Non-member,
Keiichi Narai, Non-member (Murata, Ltd.), Kiyoshi Muramori, Non-member (Aichi College Technology)

The authors started studying and developing a new capacitor used for a 1.5 MHz highly-stable LC tuning circuit in 1963. The high-stability of capacitor was severely required under the conditions that the signal voltage is from 1.4 to 9.2 V, the temperature is from -30 to 65°C and the period is for 20 years. The aging characteristics of the ceramic capacitors available 20 years ago were $\Delta C/C = \pm 0.1\%/ \text{year}$ or so, but the requirements was $\Delta C/C = (-0.01 \pm 0.08)\%/20 \text{ years}$. In addition, no design method to satisfy the requirements was established.

Therefore, the authors developed a ceramic capacitor housed in a low-humidity metallic case using a paraelectric (MgTiO_3) element, considering the stability of aging characteristics for 20 years.

It could be assumed during the study that the aging characteristics would change almost linearly with the logarithm of time under the influence of humidity. So, the authors proposed the characteristics change for 20 years could be expected based on the data for 10 days of the specimen. To confirm that the proposal was correct, they measured the aging characteristics for 20 years, and found that the measurement value was within the specified value of $\Delta C/C$ which was $(-0.01 \pm 0.08)\%/20 \text{ years}$.

キーワード：セラミックコンデンサ、水晶コンデンサ、静電容量の経年変化特性、セラミック誘電体、高安定コンデンサ

1. ま え が き

昭和35年ごろから、我が国において、デジタル伝送方式を用いたPCM通信装置の導入が開始された。その装置には1.5 MHz LC並列同調回路よりなるタイミング信号抽出同調回路を使用した⁽¹⁾。著者らは、その回路に使用されるコンデンサが下記の要求仕様のとおりに、きわめて厳しいものであったので、高安定コンデンサの試作に着手した。このコンデンサの要求仕様の特徴は装置側から要求された特性保証期間が20年間と長いこと、信号電圧が $5.3 \pm 3.9 \text{ V}$ (従来は約 $\pm 1 \text{ V}$)と広いこと、および使用温度が $-30 \sim 65^{\circ}\text{C}$ (従来は $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$)と広く、それらの条件にて静電容量の特性安定度が厳しいことであった。

この要求仕様に対して、当時通信機に使用されているコンデンサのうち、コイルの温度特性の補償を考えると温度補償用セラミックコンデンサが最も望ましいものであ

た。セラミックコンデンサの静電容量経年変化特性において、当時の通信機用市販品の実力レベルは $\Delta C/C = \pm 0.1\%/ \text{年}$ 程度で、本研究の要求仕様 $\Delta C/C = (-0.01 \pm 0.08)\%/20 \text{ 年}$ とは大幅な特性差があった。従って、高安定セラミックコンデンサの経年変化特性を推定する方法がなかった。

そこで、当時の通信機用コンデンサの予備調査を行い、その結果から MgTiO_3 系誘電体素子を用いて、乾燥空気を封入した金属ケース封入型セラミックコンデンサを試作した。信号電圧特性と温度特性は初期特性で確認した。経年変化特性に関しては短期の実測による短期経年変化を求めるとともに、それによって20年間での経年変化を推定した。そのために、20年間にわたり試料の実測を行い、推定方法が妥当であることを確認した。

本研究は、主にセラミックコンデンサの20年間という長期の経年変化特性を明らかにするとともに、その原因に

ついて考察したものである。

2. コンデンサの要求仕様および予備調査

〈2・1〉 コンデンサの要求仕様 装置設計から要求されたコンデンサの要求仕様を表1に示す。特に特性安定度にかかわる信号電圧特性、経年変化特性および温度特性が従来のアナログ方式通信装置に比べて約1桁厳しいレベルであった。使用周波数は1.544 MHzで、静電容量は温度特性の異なる要求仕様A、Bともに、表1に示すように110 pFと230 pFのコンデンサよりなっている。この2個のコンデンサは、実際の電気等価回路上では並列接続回路として使用されることから、2個を1組として、以後は340 pFの単一のコンデンサとして特性を述べる。

要求仕様の内容としては、信号電圧特性は入力信号電圧が5.3±3.9 Vにおいて、 $\Delta C/C = \pm 0.006\%$ と小さい変動幅が要求された。経年変化特性は、セラミックコンデンサの当時の実測資料が長いもので0.7年と短期で、要求仕様の20年とは大きな隔たりがあった。そのため、20年間にわたる変動を何らかのかたちで予測することが必要であった。温度特性は要求仕様AおよびBの2種があり、その偏差は±15 ppm/°Cと従来品の約50%以下という厳しいものであった。

〈2・2〉 予備調査 当時の通信機用コンデンサはシルバードマイカ、ポリスチレンおよびセラミックの各コンデンサが使用されていた。

一方、コンデンサの要求仕様の特性安定度は温度特性と経年変化特性で大半が決定される。温度特性を満足するコンデンサとしては、温度補償用セラミックコンデンサしかないで、セラミックコンデンサを対象にして、他方の要因である経年変化特性の予備調査を行った。

従来、通信機に使用していた表1コンデンサの要求仕様の温度特性に類似している2種類の開放型セラミックコンデンサ(−30、−80 ppm/°C)の経時変化特性は $\Delta C/C = \pm 0.1\%/0.7$ 年で、その詳細は図1に示すとおりである。開放型と同一のコンデンサを乾燥空気封入金属ケース密封型にした場合の経時変化特性は $\Delta C/C = \pm 0.02\%/0.9$ 年と約1桁安定な特性を示した。その詳細は図2に示すとおりである。これより、セラミックコンデンサは温度補償用常誘電体素子を用いて、低湿度密封ケースに封入する構造

表 1 コンデンサの要求仕様
Table 1. Requirements of capacitor.

No.	項 目	要求仕様A	要求仕様B
1	静 電 容 量	110 pF	230 pF
2	tanδ	<0.1%	1 kHz
3	信号電圧特性	$\Delta C/C = \pm 0.006\%$, 5.3±3.9 V	
4	経年変化特性	$\Delta C/C = -0.01\% \pm 0.08\%$, 20年間	
5	温度特性* (ppm/°C)	65°C	−20±15
		−30°C	−40±15

* 20°C基準

図 1 開放型セラミックコンデンサの経時変化特性
Fig. 1. Aging characteristics of open type ceramic capacitors.

図 2 密封型セラミックコンデンサの経時変化特性
Fig. 2. Aging characteristics of encased ceramic capacitors.

とすることによって、安定化が図れることがわかり、本要求仕様を満足する試作品を作る見通しを得た。

3. 高安定セラミックコンデンサの試作

本コンデンサを試作するに当たり、最も注目すべき点は長期間の経年変化特性が安定であること、および厳しい温度係数を満足するセラミックコンデンサを得ることにあった。そのために、誘電体材料の検討、製造方法の検討および経年変化特性の予測と測定法を検討した。以下に示すような検討により、MgTiO₃系常誘電体素子を用いて乾燥空気を封入した金属ケース密封型セラミックコンデンサを試作することとした。

〈3・1〉 誘電体材料の検討 試作品は厳しい長期安定性と温度特性の要求から、酸化チタン系の温度補償用常誘電体が最適と考えた。

低温度係数をもつ温度補償用コンデンサ材料には、MgTiO₃-CaTiO₃系材料、(Zr,Sn)TiO₄系材料、BaO-PbO-Nd₂O₃-TiO₂系材料など数種類のものが知られており、これらはいずれも0から−150 ppm/°Cの温度係数をもちうる。各温度係数に対応する誘電率εは、MgTiO₃-CaTiO₃系材料でεが18から23、(Zr,Sn)TiO₄系材料でεが38から42、BaO-PbO-Nd₂O₃-TiO₂系材料でεが90から100程度である。仕様の静電容量が比較的小さいこと、tan δが小さいこと、経年変化が少ないこと、電圧依存性が少ないことおよび温度係数が厳しいことにより、上

図 3 セラミック誘電体の ϵ と $\tan \delta$
Fig. 3. ϵ and $\tan \delta$ of ceramic dielectrics.

記材料から図 3⁽²⁾に示す MgTiO_3 - CaTiO_3 系材料を選択した。

MgTiO_3 は $\epsilon=18$, $Q>10,000$, $TC=+100 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の誘電特性をもつ低損失材料であり、その結晶構造はイルメナイト構造である。これに対して、 CaTiO_3 は $\epsilon=180$, $Q=5,000$, $TC=-1,800 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の誘電特性をもち、その結晶構造はペロブスカイト構造である。これらを混合して焼成すると、その焼結体には各々の結晶粒が分離して生成し、このため、その誘電特性は各材料の混合比に応じたものとなる。使用誘電体の概要は MgTiO_3 が 90 重量%で CaTiO_3 が 10 重量%の混合物であり、その誘電特性は $\epsilon=21$, $Q>10,000$, $TC=-40 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ である。

〈3・2〉 製造方法の検討 誘電体材料の主材料は MgTiO_3 で、温度係数に応じて CaTiO_3 を添加した。その製造に当たっては、信頼性を向上させるために以下のような製法を施した。

まず、 MgTiO_3 と CaTiO_3 の仮焼粉末をあらかじめ個別に製造し、その後、温度係数の制御を精密に行うために両者を正確に所要の割合で秤量した。秤量した原料は微粉碎を施し、均一で粒子径のそろった最終組成物となった。次に、焼成炉にて適正な焼成温度（最高 $1,350^\circ\text{C}$ 前後）で焼成した。このようにして、得られたセラミック試料はセラミック内部にほとんど水分を吸湿することのない（吸水率が測定限界の 0.01% 以下）高品質なものになった。素子は直径が $14 \text{ mm}\phi$ 、厚さが 0.4 mm の円板形とし、銀電極を焼き付けた後に、静電容量に対応して複数個重ね合わせて、金属ケースに収容した。

湿度⁽³⁾によって静電容量が変動するため、金属ケースに密封することによって、湿度の影響を除くようにした。そのために、ケース蓋は絞りとし、ケース底を周囲を U 字型に加工し、中央部はハーメチック端子構造とした。ケース蓋の先端がケース底の U 字型に入って、はんだ付けが完全にできる密封構造にした。このケース蓋とケース底のはんだ付けは金属ケースの U 字型部分を囲む形状の治具を用いて、高周波加熱はんだ付け法によって周囲を短時間にて同時加熱したので、素子を損傷することなく、また接続部にピンホールなどの発生することもなく完全なはんだ接合が行えた。はんだ封止が終了した金属ケースはデシケータに入れ、ケース蓋の小孔からロータリ式真空ポンプで

図 4 外観と外形寸法
Fig. 4. Exterior and outside size of capacitors.

図 5 セラミックコンデンサの経時変化特性
Fig. 5. Aging characteristics of ceramic capacitors.

真空脱湿を約 12 時間行った。その後、シリカゲル入りガラスパイプを 2 本通った乾燥空気（約 4%RH）をデシケータに流入させて、金属ケース内に乾燥空気を入れたのち、ケース蓋の小孔をはんだ封止した。組立完成品は密封性を確認するために、全数気密試験を実施した。

試作したコンデンサの外観と外形寸法を図 4 に示す。

〈3・3〉 経年変化特性の検討 MgTiO_3 - CaTiO_3 系材料は常誘電体でイオン分極と電子分極しかないので、誘電率の経年変化が少ないと考えられていた。一方、予備調査により経年変化特性は開放型コンデンサ（図 1）より密封型コンデンサ（図 2）のほうが変化量が少ない結果を得た。つまり、経年変化は湿度が低いほうが変化が少ないことを示した。

また、検討当初に通信機用に用いられていた、温度係数が $-30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ と $-70 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ の 2 種類の 100 pF 温度補償用セラミックコンデンサをガラス管中に真空封入した場合の静電容量の経時変化特性を図 5 に示す。温度係数によって変化量は異なるが、両温度係数の試料とも、経過時間の対数値に対して、ほぼ比例して減少した⁽³⁾。

ここでは短時間の経時変化測定結果であるが、経過時間の対数値に比例して減少したので、この結果から経年変化特性は経過時間の対数値に対してほぼ直線的に変化するものと考えた。

この考えに基づき、20 年間の変化量を推定した。図 6 に示すように、試料の静電容量変化を 10 日間測定して、経過日数 1 ～ 10 日（1 decade）の静電容量変化率を求めた。図 7 に示すように、まず製造時に 1 か月のエージング

図 6 短期経時変化特性
Fig. 6. Short term aging characteristics.

図 7 20 年経年変化特性の予測
Fig. 7. Estimation of aging characteristic for 20 years.

を行うとする。その後、それ以後 20 年間の時間変化 (2.4 decade) に、図 6 に示した単位時間 (1 decade) の変化量を乗じたものを 20 年間の経年変化量とした。ばらつきは長期間を裏付けるデータや測定精度の確認が不十分であることから、図 6 の実測値の 2 倍のばらつきがあるとして、図 7 と同一方法にて推定した。

4. コンデンサの特性測定結果

測定試料は温度特性の異なる要求仕様 A, B ともに 110 pF と 230 pF を 1 組としたコンデンサをハーメチック 3 端子付き金属ケースに実装し、窒素封入したものを用いた。

測定周波数は 1 kHz で行った。それはコンデンサの誘電率はイオン分極と電子分極よりなっているので、無線周波までは周波数依存性がない⁽⁴⁾と考えられたからである。実測してみると、試料の 1 kHz と 1.5 MHz の静電容量の差は $\Delta C/C = \pm 0.01\%$ 以下で、ほとんど差異がなかった。また、測定用標準器の国家標準との校正が 1 kHz しかできなかったこと、および 1 kHz の方が配線のインダクタンスや浮遊容量の影響が少なく、測定が安定に行える利点を有していることによる。

〈4・1〉 信号電圧特性と温度特性 入力信号電圧特性は要求仕様 $\Delta C/C = \pm 0.006\%$ に対して、結果は図 8 に示すように、入力信号電圧 5.3 ± 3.9 V において $\Delta C/C = \pm 0.002\%$ と良好な特性を示した。これは常誘電体の誘電率の電圧依存性が極めて小さいことによるものである⁽²⁾。温度特性は表 2 に示すように、要求仕様 A, B ともに要求仕様を満足した。中心値は要求仕様値と測定値がほぼ同

図 8 信号電圧特性
Fig. 8. Signal voltage characteristics.

表 2 温度特性
Table 2. Temperature characteristics.

項 目	65°C		-30°C	
	A	B	A	B
要求仕様値	-20 ± 15	-35 ± 15	-40 ± 15	-70 ± 15
測定値	-14 ± 5	-30 ± 7	-44 ± 9	-64 ± 7

$\bar{X} \pm 3\sigma$, $n=48$, 1 kHz

じ値であったが、ばらつきは厳しい要求仕様値の約 50% 以内であり、誘電体材料の配合や製造管理が適切であったことが確認された。

〈4・2〉 経年変化特性 経年変化特性は図 6 に示す短時間のデータから、静電容量の変化が経過時間の対数値に対して直線的に変化すると予測して、20 年間の変化量を推定した。そこで、確認のために 20 年間にわたって試料の実測を行った。

測定法は長期の信頼性を確保するために、基準となる標準器が必要であった。標準器としては空気コンデンサやシルバードマイカコンデンサがあった。しかし、静電容量は、前者は取扱い時の機械的衝撃で特性ずれが生じ、後者はシルバードマイカ素子のクランプ力の変化で特性ずれが生ずる可能性があることから、採用をとりやめた。そこで、モノリシックな構造で、共振子などにも安定性の実績がある水晶片を用いた水晶コンデンサ (100 pF) を作製した。国家標準と対比すべく日本電気計器検定所で定期的に検定を行い、 $\Delta C/C = \pm 0.01\%/25$ 年の標準器を得ることができた。

試料の測定は 20 ± 0.5°C に管理された標準測定室で行った。測定器は三端子型コンデンサブリッジ (GR 社製 1615 A) を用いた。試料測定前に標準器を測定してブリッジ自体の静電容量ずれを把握してから、試料の測定を行うようにした。標準器および測定器の経年変化や試料などの繰返しによる測定誤差などの考えられる測定誤差をまとめると、表 3 に示すように $\Delta C/C = \pm 0.03\%/20$ 年であった。

試料の測定結果は図 9 に示すように、経過年数の対数値に対してほぼ直線的に減少し、偶然誤差は時間とともに増大する傾向を示した。静電容量の 20 年目の仕様値と測定誤差を含めた測定値を表 3 に示す。中心値はほぼ仕様値と同

表 3 20 年間静電容量経年変化特性
Table 3. Aging characteristics for 20 years of capacitance.

仕様	仕様値 (%)	測定値 (%) ($\bar{X} \pm 3\sigma$)		
		試料測定値	誤差	合計
A	-0.01 ± 0.08	-0.01 ± 0.03	$+0.03$	-0.01 $+0.06$ -0.04
B		-0.02 ± 0.02	-0.01	-0.02 $+0.05$ -0.03

図 9 試料の経年変化特性
Fig. 9. Aging characteristics of specimens.

じであり、偶然誤差は仕様値よりやや小さい値であった。

5. 考 察

試作したコンデンサは 12 時間の真空脱湿処理の後、乾燥空気封入の金属ケース入り構造とした。従って、このコンデンサの静電容量の変動要因としては、この低湿度の条件における水蒸気の影響および $\text{MgTiO}_3\text{-CaTiO}_3$ 系常誘電体素子の誘電率の変化が考えられる。

セラミックコンデンサの湿度の影響による静電容量の変化に関する報告⁽³⁾によると図 10 に示されるように、静電容量は相対湿度が 50%RH 以上では顕著な影響を受ける。また環境条件の相対湿度が比較的大きく変化する場合の吸湿および脱湿プロセスにおける静電容量の変化は、両者ともに(1)式のように一つの緩和時間 τ で指数関数的に変化することが示されている。

$$\Delta C(t) = \Delta C_0(1 - e^{-t/\tau}) \dots\dots\dots (1)$$

$\Delta C_0 > 0$: 吸湿の場合, $\Delta C_0 < 0$: 脱湿の場合,
 ΔC_0 : 静電容量の ∞ 時間までの変化量, $\Delta C(t)$:
静電容量の t 時間までの変化量

しかるに図 5 に示すような、環境条件が真空中 (10^{-2} Torr 程度) のように極めて低い湿度の場合は(1)式では表されないことが示されている。

本研究の場合は、上述のように極めて低い湿度の場合に相当するものと考えられ、この場合の静電容量の経時的変化が $\log t$ に比例して減少することが実験的に示された。

湿度変化の大きく、かつ高湿度の環境条件における吸湿および脱湿プロセスの場合は、セラミックコンデンサ表面の水分子の密度が大きいため、セラミックコンデンサの表面の影響が少ないものと考えられ、従って(1)式のように

図 10 セラミックコンデンサの湿度特性
Fig. 10. Humidity characteristics of ceramic capacitors.

図 11 標準空気コンデンサと湿度との相関
Fig. 11. Capacitance vs. humidity of standard air capacitor.

一つの緩和時間で示される吸湿および脱湿プロセスが支配的であると考えられる。しかし本研究のように、真空脱湿処理されたセラミックコンデンサ表面の水分子密度は小さく、また乾燥空気封入の密封構造であるので、環境条件も極めて低湿度であると考えられる場合は、セラミックスのように表面構造が吸湿および脱湿プロセスに影響するために、緩和時間は一つではなく、広く分布したものになることが予想される。このように緩和時間 τ が分布をもつ場合、その分布関数を $f(\tau)$ とし、 $f(\tau)$ を規格化して(2)式とすると、(1)式は(3)式となる。

$$\int_0^\infty \frac{f(\tau)}{\tau} d\tau = 1 \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta C(t) = \Delta C_0 \left\{ 1 - \int_0^\infty \frac{f(\tau)}{\tau} \exp(-t/\tau) d\tau \right\} \dots\dots\dots (3)$$

そこで分布関数 $f(\tau)$ を、 $\tau_1 \sim \tau_2$ の範囲では一定値で、その外側は 0 と仮定すると、(2)式より(4)式が得られる。

$$f(\tau) = \frac{1}{\ln(\tau_2/\tau_1)} \dots\dots\dots (4)$$

$\tau_1 < \tau < \tau_2$

従って、(3)式は $\tau_1 \ll \tau \ll \tau_2$ の範囲では(5)式となるので、静電容量は $\log t$ に比例して減少することが示され、実験結果と一致する。

$$\Delta C(t) \approx \Delta C_0 \left\{ 1 - \frac{1}{\ln(\tau_2/\tau_1)} (\ln \tau_2 - 0.577 - \ln t) \right\} \dots\dots\dots (5)$$

また、図 11 は常温常湿放置の標準空気コンデンサを湿度管理した測定室 ($20 \pm 0.5^\circ\text{C}$) で測定したもので、3 年間で $\Delta C/C = \pm 0.005\%$ の変化が認められた。この変化の

原因は温度と湿度が考えられるが、温度による変化は $\Delta C/C = 30 \text{ (ppm/}^\circ\text{C)} \times \pm 0.5 \text{ (}^\circ\text{C)} = \pm 0.0015\%$ である。従って、この変化は湿度の影響が大きいと考えられる。また、この変化は測定室内の湿度と対比すると湿度の季節変動データと相似であり、湿気が標準空気コンデンサの電極間を出入りすることによって生じたものと考えられる。そこで、標準空気コンデンサの空気を窒素に置き換えて密封し、変動要因を取り除いた。その結果、3年間の静電容量変動は $\Delta C/C = \pm 0.0002\%$ 以下となった。

これらは静電容量の変化に湿度がかかわっていることを示し、また測定精度自体も高安定コンデンサの検討に足りる精度を有していることを意味している。水分が素子に吸着した場合、水の誘電率は 0°C で約 80 と素子の約 4 倍であることから、静電容量に影響することは明らかである。

図5および図9に示す静電容量が減少する経年変化特性は、脱湿工程完了後に、セラミック素子などの表面に吸着していた水分が乾燥空气中に発散して、経過時間の対数値に対してほぼ直線的に減少した結果と考えられる。

一方、誘電体の誘電率の変化による影響は、 $\text{MgTiO}_3\text{-CaTiO}_3$ 系セラミックは常誘電体材料であるので、その誘電率の発生機構はイオン分極と電子分極によるため、その誘電率の経時変化は極めて少ないものと考えられる。ちなみに、同じ常誘電体材料である $(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$ 系と $\text{BaO-PbO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_3$ 系セラミックの共振周波数の経年変化(誘電率の経年変化の 1/2 倍に相当する)は、10年間で $\Delta C/C = \pm 0.001\%$ 以下(測定限界以下)であったと報告されている⁽⁵⁾。

6. むすび

使用周波数 1.5 MHz、期間 20 年、信号電圧 1.4~9.2 V および温度 $-30\sim 65^\circ\text{C}$ において、高安定特性を満足させるべく $\text{MgTiO}_3\text{-CaTiO}_3$ 常誘電体素子を用いて乾燥空気を封入した金属ケース密封型セラミックコンデンサを試作して、以下の結論を得た。

(1) 信号電圧特性、温度特性の初期特性は、それぞれの要求仕様値を満足した。

(2) 20 年間の静電容量経年変化特性は安定であり、要求仕様値 $\Delta C/C = (-0.01 \pm 0.08)\%$ を満足した。

(3) 静電容量の経年変化特性は、経過時間の対数値に対してほぼ直線的に減少した。これより、短期測定データから長期(20 年)経年変化量を推定する方法が妥当であることが確認された。

(4) 静電容量が時間とともに減少する原因は、誘電体素子表面などに吸着していた水分が時間の経過とともに乾燥空气中に発散した現象によるものと考えられることを示した。

(平成 6 年 6 月 22 日受付、同 7 年 1 月 23 日再受付)

文 献

- (1) M. Saita, T. Yoshie, K. Watanabe & K. Muramori: "High

Reliability Design Method of LC Tuning Circuit and Substantiation of Aging Characteristics for 20 years" *IEICE Trans. Fundamentals*, E77-A, No. 1, 213~219 (1994-1)

- (2) 坂部行雄: 「コンデンサ用セラミックス」, 電子材料, p. 42 (昭 57-11)
- (3) 小林 実: 「コンデンサの容量安定性(その 1)―主として容量の湿度特性について―」, 通研経過資料, No. 1520 (昭 39-7)
- (4) 山口 喬・柳田博明: エレクトロセラミックス, p. 83 (昭 59), 技報堂出版
- (5) K. Wakino, K. Minai & H. Tamura: "Microwave characteristics of $(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$ and $\text{BaO-PbO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ Dielectric Resonators", *J. Amer. Ceram. Soc.*, 67, 278 (1984)

齋 田 貢 (正員) 1934 年 12 月 25 日生。1953 年 3 月県立横須賀工業高校電気科卒業。同年日立製作所入社。伝送装置、交換機、人工衛星などの濾波器、線輪の設計に従事。以後、薄膜・厚膜ハイブリッド IC の設計に従事。現在、同社情報通信事業部技術管理センタ所属。電子情報通信学会会員。

吉 江 達 夫 (非会員) 1955 年 2 月 10 日生。1978 年東京大学工学部応用物理学科卒業。同年日立製作所入社。公衆通信網用デジタル電話交換機、汎用中型計算機のシステム開発、ハードウェア設計に従事。現在、同社情報通信事業部技術管理センタ所属。電子情報通信学会会員。

山 名 法 明 (非会員) 1943 年 10 月 20 日生。1967 年金沢大学工学部電気工学科卒業。同年(株)福井村田製作所入社。単板セラミックコンデンサを経て、積層セラミックコンデンサの商品技術(設計、販売技術)に従事。現在、(株)村田製作所市場開発部所属。

奈良井 啓 一 (非会員) 1950 年 7 月 25 日生。1973 年神戸大学工学部電気工学科卒業。同年日本電池(株)入社。直流電源装置の開発に従事。1985 年(株)出雲村田製作所入社。単板セラミックコンデンサの商品技術(設計、販売技術)に従事。現在、同社所属。

村 守 清 (非会員) 1933 年 8 月 4 日生。1961 年 3 月北海道大学大学院理学研究科博士課程修了。同年日立製作所入社。電子計算機、電子交換用磁性部品、応用システムの開発研究に従事。1992 年より愛知技術短期大学電子工学科教授。理学博士。日本応用磁気学会、電子情報通信学会会員。