

マイクロモジュール用セラミックコンデンサ

Microelement Ceramic Capacitor

神 力 喜 *
Kiichi Shinriki

内 容 梗 概

マイクロモジュール用セラミックコンデンサの構造製作過程などの一般的問題について述べ、ついで高密度薄板状磁器の製作について、密度と誘電的性質、磁器の厚さと焼結密度の誘電的性質に対する影響などの点から検討を加えた。最後に現用マイクロモジュール用セラミックコンデンサの特性およびその仕様を付記した。

1. 緒 言

マイクロモジュール用コンデンサは、一般に使用されているコンデンサに比べ、特に次の点に注意が払われなくてはならない。すなわち、

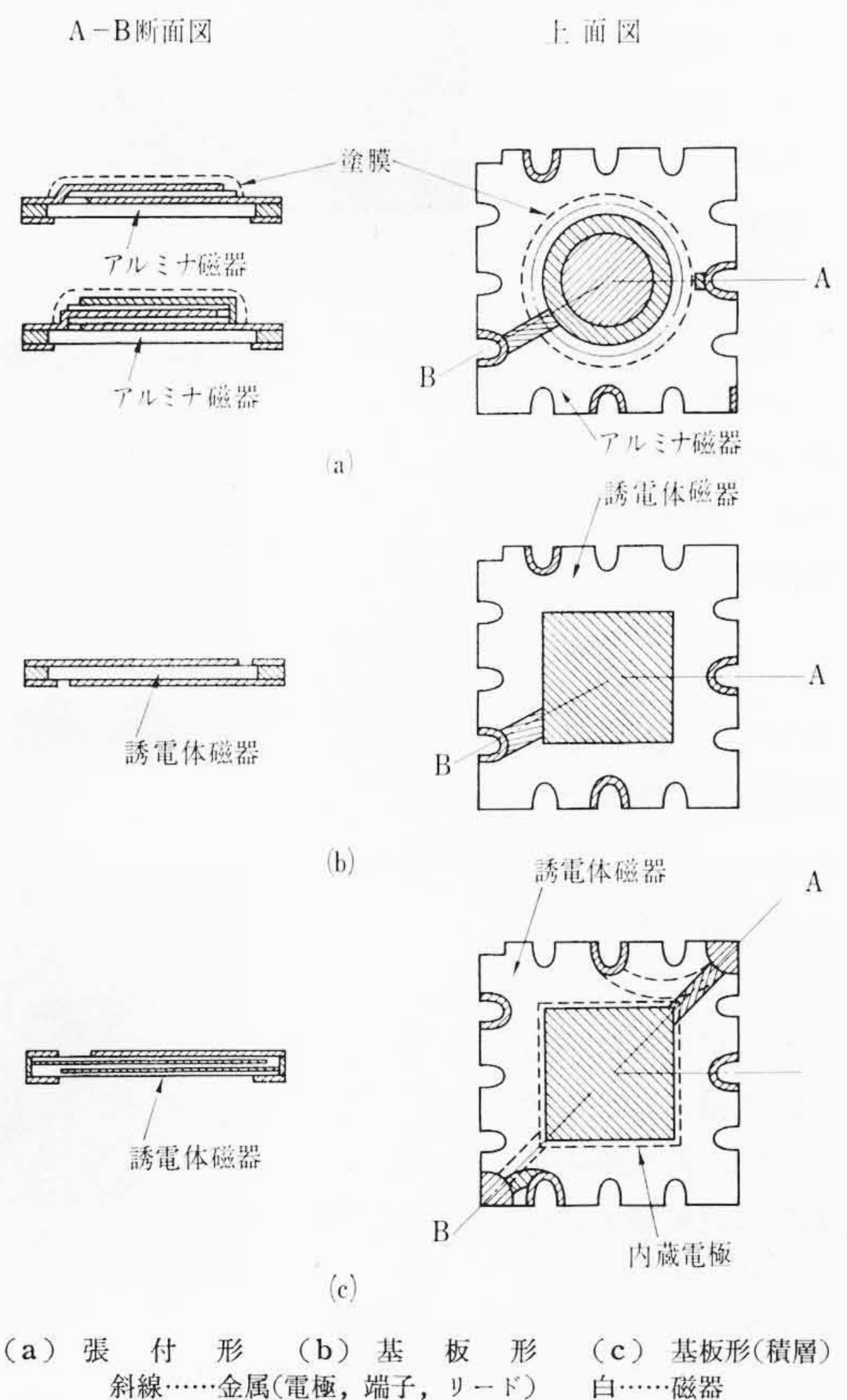
- (1) 寸法、形状が規格化され、その規格内で所要の性能を満足するように設計されなくてはならないこと。
- (2) モジュール組立過程でうけるいろいろな処理、たとえば加熱、洗浄などの操作で特性が変化しないこと。
- (3) モジュールは樹脂でモールドされているから、負荷時に発生する熱の放散が悪く、したがって熱安定性のよい材料で作られていること。
- (4) 組み込まれたコンデンサは交換補修ができないから、特に高信頼性のものであること。

などの点である。以上の点から、高い誘電率を有し、容易に薄膜化しうる無機質誘電材料が好ましい。酸化チタン系、チタン酸バリウム系などの磁器はコンデンサの小形化の第一条件である高い誘電率をもち、しかも価格が低廉で量産性があるので、この点では有利であるが、しかし粉末の焼結現象を利用して、曲り、き裂などの変形が少ない高密度の薄膜状誘電体磁器を作ることが非常に困難で、これにより特性のすぐれた小形コンデンサは得られがたい。このため焼成によらないで真空蒸着などのほかの方法でこれらの薄膜を得ようとする研究が行なわれているが、いまだ実用化の域に達していない。そのほか、酸化ケイ素、酸化チタン、フッ化マグネシウム、窒化ケイ素などの蒸着薄膜や化学的方法による薄膜がコンデンサに使用され、電子装置の小形化の有力な手段となっている。しかしこれらは薄膜の組成が単一成分からなり、セラミックコンデンサのように任意の温度係数のコンデンサをうることはできない。この意味からマイクロモジュール用として温度補償用セラミックコンデンサの開発が必要であり、また小形化という点で問題はあるが価格、量産性などの点で、現在なお薄膜コンデンサよりも有利と考えられる高誘電導磁器によるマイクロモジュール用セラミックコンデンサの製作研究が行なわれてきた。本報告ではマイクロモジュール用コンデンサの概要とそれに関連した二、三の問題について述べる。

2. マイクロモジュール用セラミックコンデンサの構造

第1図に示すように構造上2種類のコンデンサに分けられる。すなわち、アルミナ磁器基板にコンデンサ素子をはりつけて、それぞれの電極を基板端子に連結したもの（張付形と呼ぶ）と誘電体磁器で基板をつくり、その両面に電極をつけて、コンデンサ素子としての機能を兼ねさせたもの（基板形と呼ぶ）とである。後者は基板として必要な機械的強度を要求されるため、極端に薄板化することは

* 日立製作所日立研究所 工博



第1図 マイクロモジュール用セラミックコンデンサの構造

できず、また電極が大きいときは端子間にかなりの漂遊容量が生ずるため、実用上問題となることもある。しかし小容量のコンデンサの場合は張付形よりも全体の厚さが薄くでき小形になる。第1図の(c)は特殊な方法により製作されたもので、磁器内部に白金電極が内蔵された基板形の積層コンデンサである。これはさらに磁器の表面に銀電極を焼きつけることにより、大きな容量のコンデンサになる。このコンデンサは磁器と内部の電極とは一体となっているためただ単に(b)の誘電体基板を積層したものより機械的強度も大きく、同一容量に対して厚さも薄く小形になるが、特性の制御が困難であり、かつ、歩留りが悪いので高価となる。

3. マイクロモジュール用セラミックコンデンサの製作

第2図に張付形セラミックコンデンサの製作過程のフローシートを示す。図中(a)は0.10~0.20mm程度の厚さの磁器板を使用する場合で、コンデンサの信頼性の点からこの方式が最もよい。基板形コンデンサも同様の方法で作りうるがこの場合、厚さは0.20mm程

度以下の基板の使用は機械的強度の点でさけたほうがよい。(b)は樹脂と誘電体粉末よりなるシートと樹脂と金属粉末およびガラス粉末よりなるシートをアルミナ基板上に交互にかさね圧着積層したのち焼成して、コンデンサを作る方法である。電極は磁器板の中に内蔵され、電極間の磁器誘電体層の厚さは0.05~0.10 mm程度で(a)の方法より小形で大きい容量のものがえられるが、高密度の磁器薄板がえられず、耐電圧、耐湿性、 $\tan \delta$ などが悪く、25 V DC以上の電圧印加をする場合十分な信頼性を期待することは困難である。第1図の(c)基板形積層コンデンサは、これと同様の方法で製作することができる。

4. コンデンサ素子 作製上の問題点

高信頼性のセラミックコンデンサは焼結密度の高い磁器素子を使用することである。磁器の密度を高めるためには、予備および本焼成温度と時間、鉍化剤の種類と添加量、原料粉末の性状と粒度、粘結剤の量、カ粒粒子の大きさや形などについて十分に検討を加え、

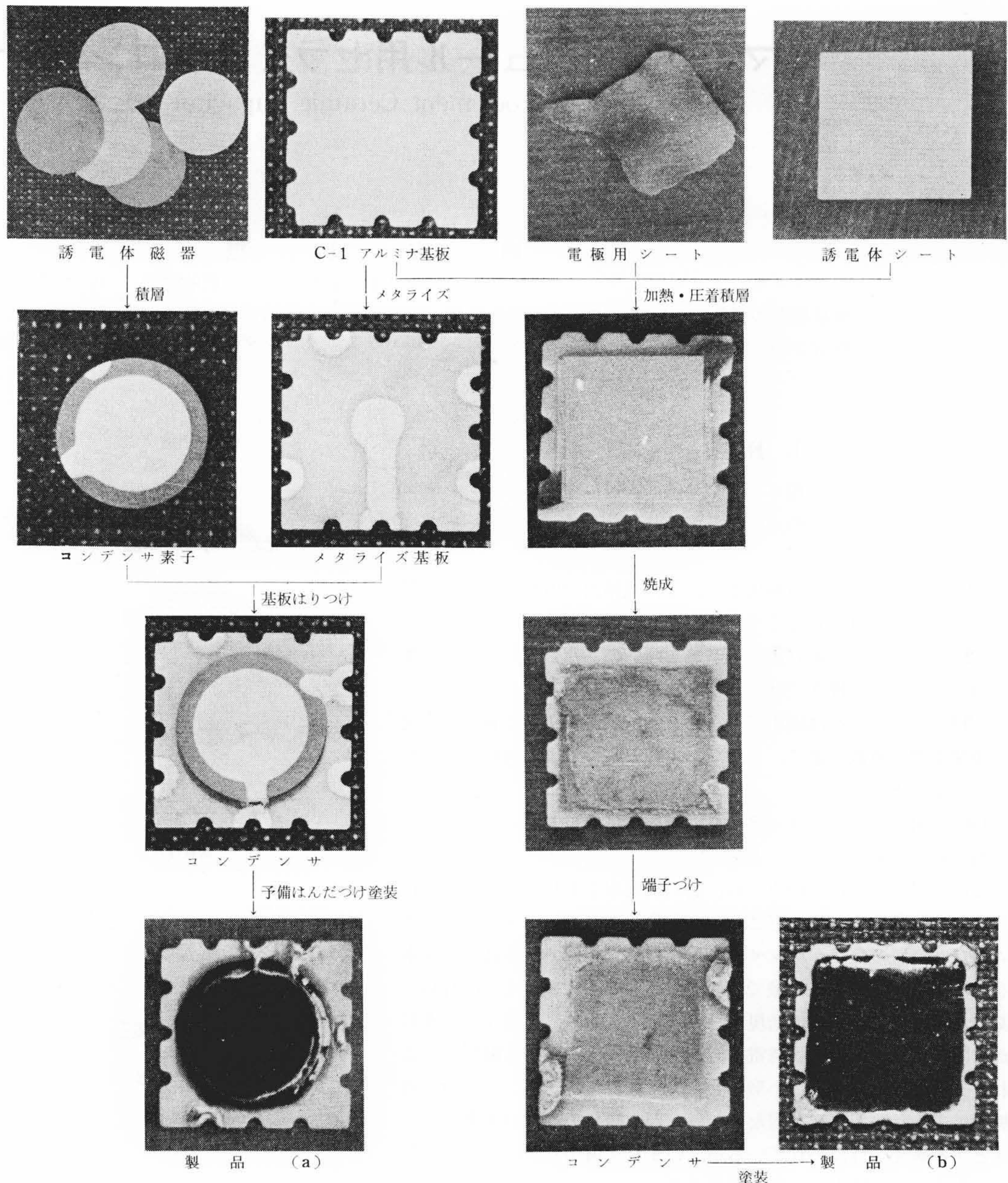
最適の製造条件を選ばなくてはならない。磁器の焼成法は、磁器組織の不均一性、異常収縮による変形などを排除するため、まず予備焼成によって原料粉末粒子間に適度に反応をおこさせ、ついで再粉碎して成形後本焼成を行なう二度焼き法がとられており、この方法は予備焼成を行なわない一度焼き法より、はるかに安定な特性のコンデンサ素子を提供する。磁器の密度は原料粉末が小さいほど、粘結剤の量が少ないほど高くなるが、カ粒粒子の大きさは、金型への粉末の流動性をよくするということのほかに成形物の大きさを考えて決定しなくてはならない。

4.1 磁器の密度と誘電的性質

第3図は、粒子径の異なる粉末成形物を同一条件下で焼成して得た磁器のかさ密度と誘電率の関係である。誘電率はかさ密度の増加とともに、ほとんど直線的に増加し、磁器の誘電率を ε とすると近似的に次式が成立する⁽¹⁾。

$$\varepsilon = \varepsilon_s \left(\frac{\rho_b}{\rho} \right) + \varepsilon_a \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho} \right)$$

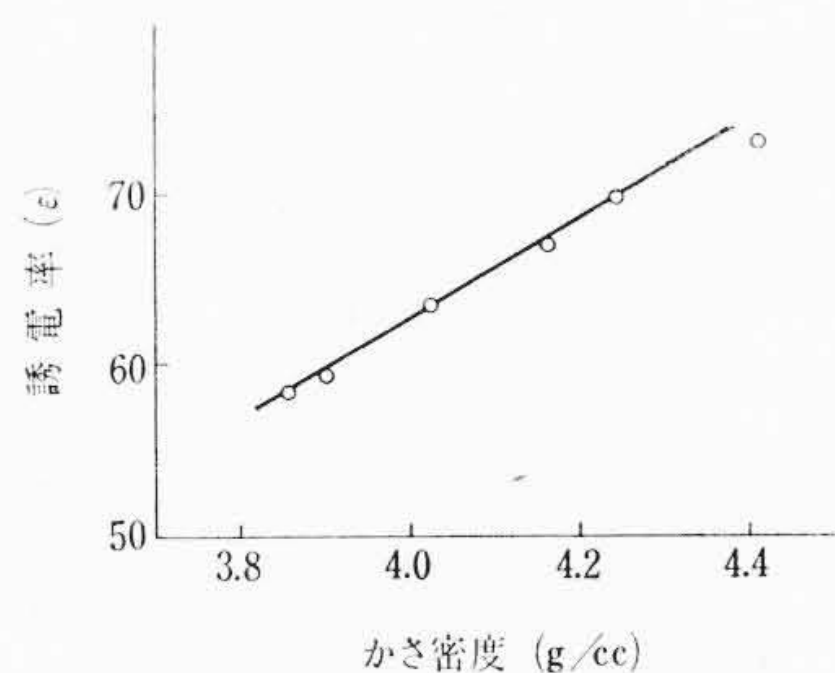
ここで ρ は磁器の固相部分の密度、すなわち真比重で、 ρ_b は磁器内の閉気孔および磁器の表面に開口を有する開気孔を含む磁器の全体積に対する密度、すなわちかさ密度である。また ε_a は空気の誘電



第2図 張付形セラミックコンデンサの製作過程

率、 ε_s は磁器の固相の誘電率である。

第4図は常温常湿中での磁器のかさ密度と Q の関係である。この磁器を加熱乾燥すると、かさ密度と Q の関係は変化しかさ密度が小さい磁器ほど Q 変化が大きい。これらの磁器を再び相対湿度80%の常温気中に10時間放置すると吸湿により Q は再び低下しその低下度はかさ密度の小さい磁器ほど激しい。焼結が十分に行なわれていないときは、磁器表面に多数の毛管状の開口を有する開気孔が存在し、これが吸湿の原因となっていると考えられる。いま開気孔を除外して磁器内部にある閉気孔の体積を求めて求めた磁器の密度を ρ_a (見かけ密度)とすると、磁器の表面の開気孔率は $\left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_a}\right)$ で表わされる。すなわち開気孔率は、かさ密度が小さく、見かけ密度が大きいほど大きい値を示すが、実際の焼結過程では ρ_a の変化は ρ_b に比べ小さく、したがって開気孔率の大小は ρ_b に支配され、かさ密度の小さいもののほど吸湿による Q 劣化が激しいと考えられる。第5図は焼結過程における密度の変化の関係をモデル的に示したもので、(I)は理想的な焼結状態を示し、(II)は実際にみられる焼結進行状態である。(I)のcでは $\varepsilon = \varepsilon_s$ 、(II)のbでは $\varepsilon = \frac{\rho_b}{\rho} (\varepsilon_s - \varepsilon_a) + \varepsilon_a$ 、 $\rho_b \doteq \rho_a$ で吸湿による Q 劣化は少ないが、(II)のa、bでは $\left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_a}\right)$ が大きく吸湿による Q 劣化が起こりうる。



第3図 Z 6-1 磁器の誘電率とかさ密度の関係

第6図では、 Q 劣化に対する機器の結晶成長による影響を示し、相対湿度 95%，温度 55°C，45 V DC を印加した状態での試験結果である。粒子結晶の成長はかさ密度の減少を生じ、第5図(II)の d の状態に相当する。

4.2 磁器薄板の焼結

セラミックコンデンサの小形化には、まず高密度の磁器薄板の製作が必要である。乾式成形プレスでは 0.13 mm 程度の厚さまでは成形可能であるが、焼成中における曲がりや変形、き裂の発生などのため歩留りが悪く、実用性がない。また押し出し機、ロールなどによる薄板の成形は多量の粘結剤を必要とし、高密度の磁器をうる方法としては好ましくない。

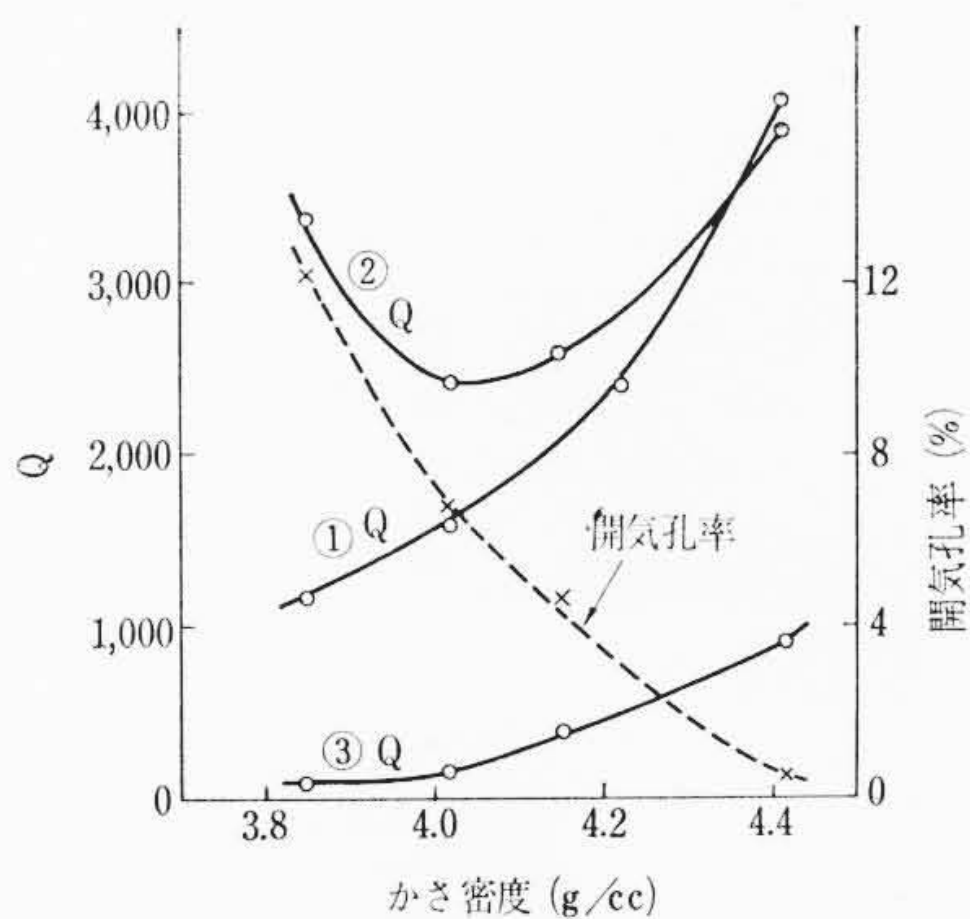
第7図は、成形プレスにより作った成形体の厚さと、直径および厚さ方向の焼成収縮との関係を示す。直径方向の収縮は厚さに関係なく一定であるが、厚さ方向の収縮は成形体の厚さが薄くなるにつれて小さくなる。言い換えれば磁器の密化が進行しがたくなる。このことから高密度の薄板磁器は、厚く成形した後に研磨する方法がとられている。この意味で第2図の(b)によるコンデンサは、特性上、過酷な条件下での使用は避ける必要がある。特に湿気に対して弱く、絶縁抵抗、耐電圧の低下による絶縁破壊の事故を生じやすい。第8図は、厚さの異なるコンデンサ素子を相対湿度 95%，温度 55°C，印加電圧 45 V DC の条件下で 100 時間放置した場合の絶縁破壊による故障率である。最初から薄く成形して焼成したものは故障率が多い。研磨して薄くした場合でも、高誘電率コンデンサ用素子では 0.20 mm 以上、温度補償用コンデンサ素子では 0.15 mm 以上が必要である。

5. マイクロモジュール用セラミックコンデンサの特性と仕様

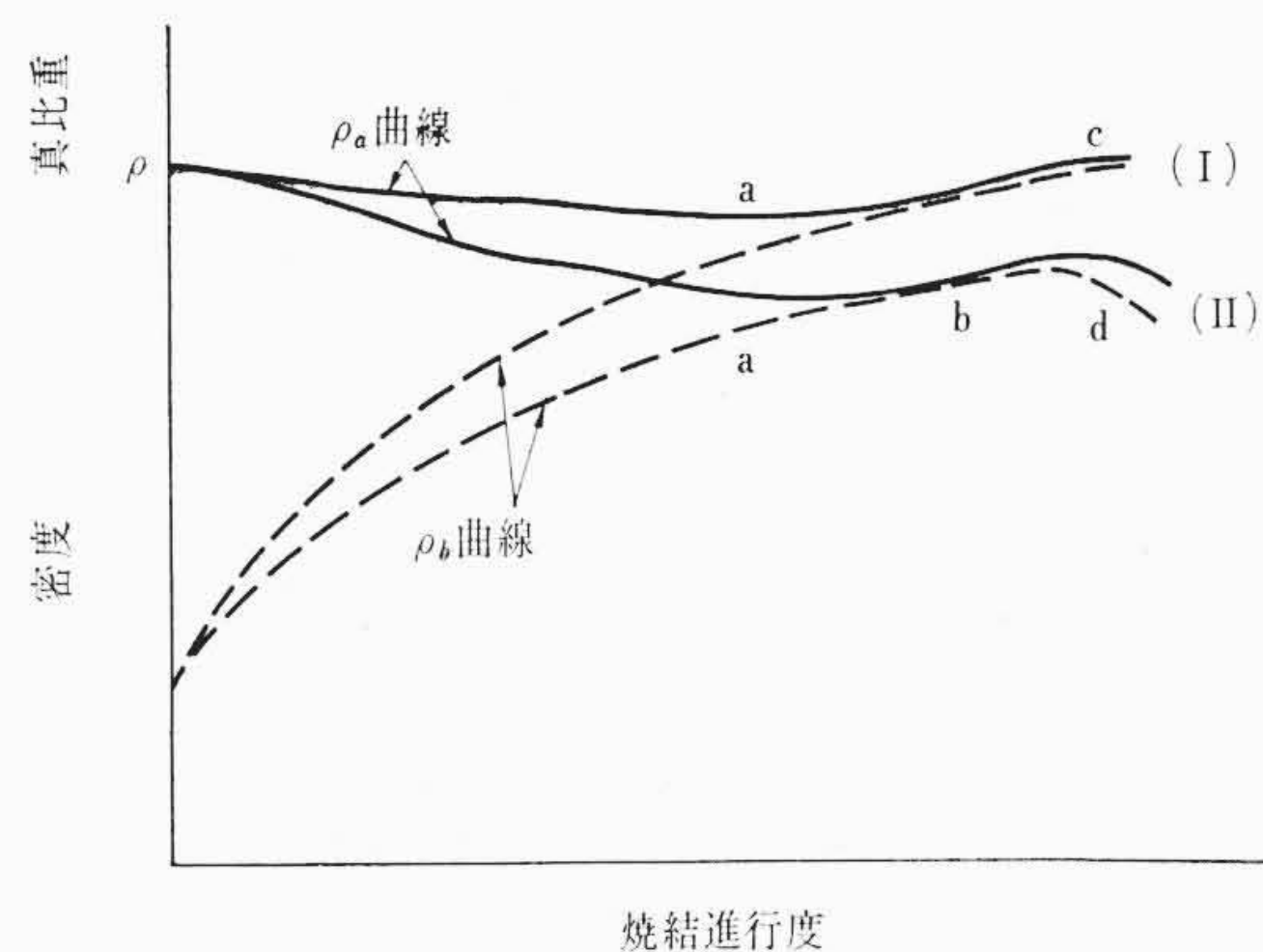
前節で高密度薄板状磁器の製作上の 2，3 の問題点を述べたが、現在実用化されているマイクロモジュール用セラミックコンデンサについて、温度特性、耐湿特性および特性仕様を付記する。

5.1 温度特性

第9，10図に温度補償用ならびに高誘電率セラミックコンデンサ用素子の温度特性をまとめて示した。温度補償用コンデンサ素子と



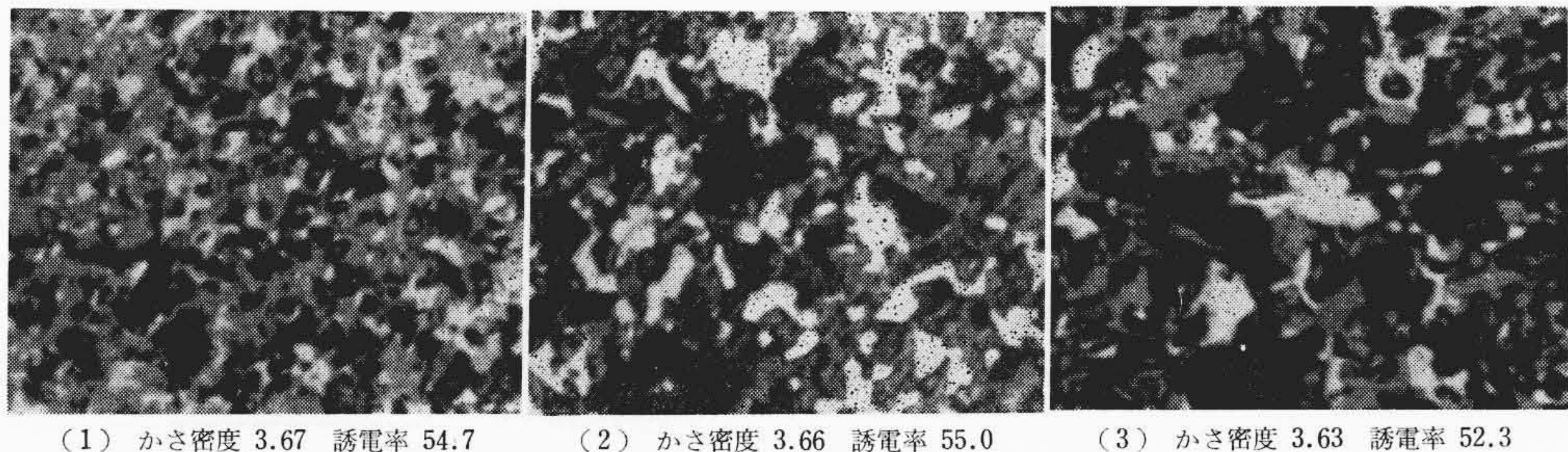
第4図 Z 6-1 磁器の密度による Q 変化



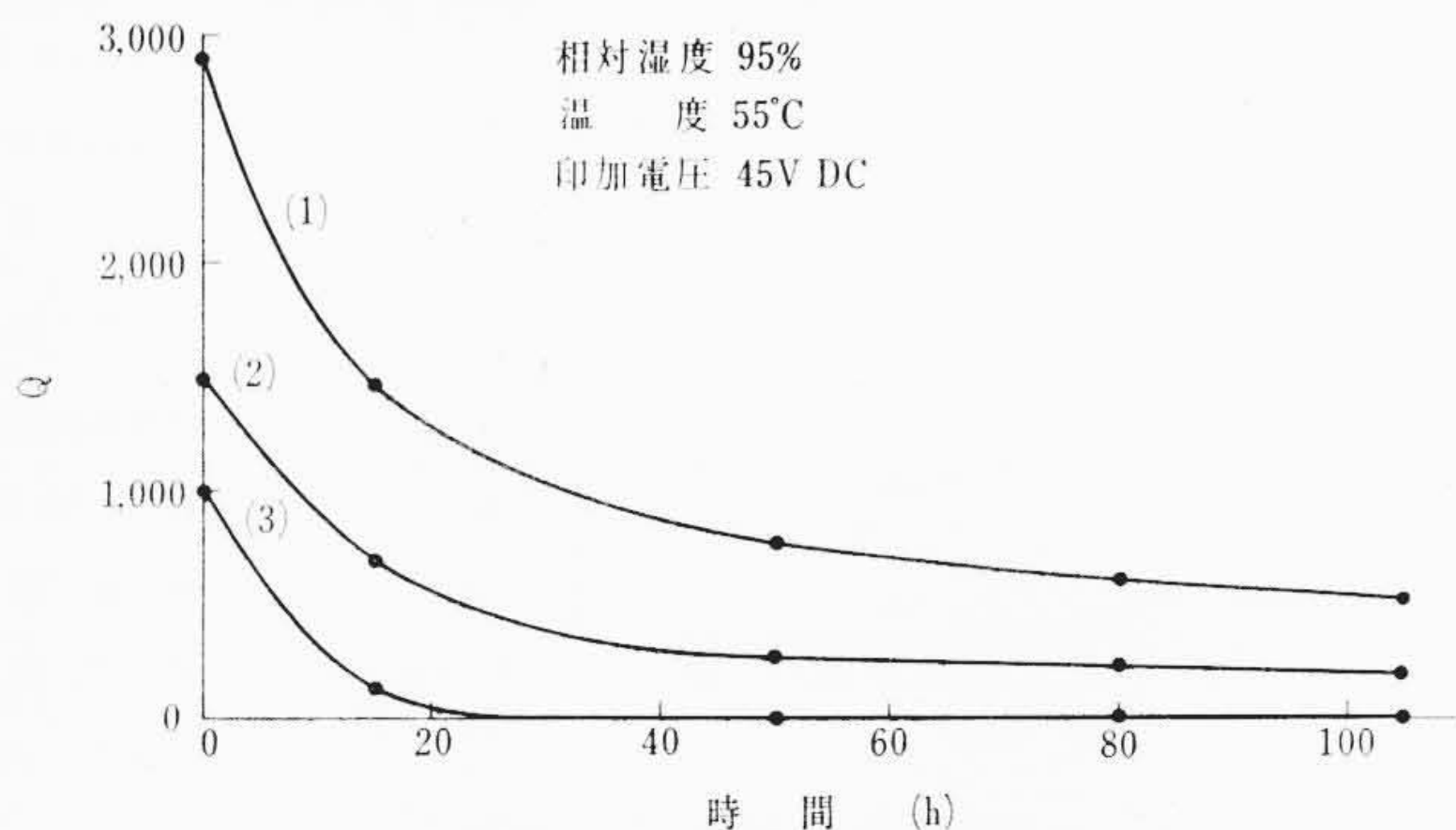
$$\begin{aligned} \text{a: } \epsilon &= \frac{\rho_b}{\rho} (\epsilon_s - \epsilon_a) + \epsilon_a & \text{c: } \epsilon &= \epsilon_s \\ \rho_b &< \rho_a < \rho & \rho_b &= \rho_a = \rho \\ \text{b: } \epsilon &= \frac{\rho_b}{\rho} (\epsilon_s - \epsilon_a) + \epsilon_a & \text{d: } \epsilon &= \frac{\rho_b}{\rho} (\epsilon_s - \epsilon_a) + \epsilon_a \\ \rho_b &= \rho_a < \rho & \rho_b &< \rho_a < \rho \end{aligned}$$

結晶成長大

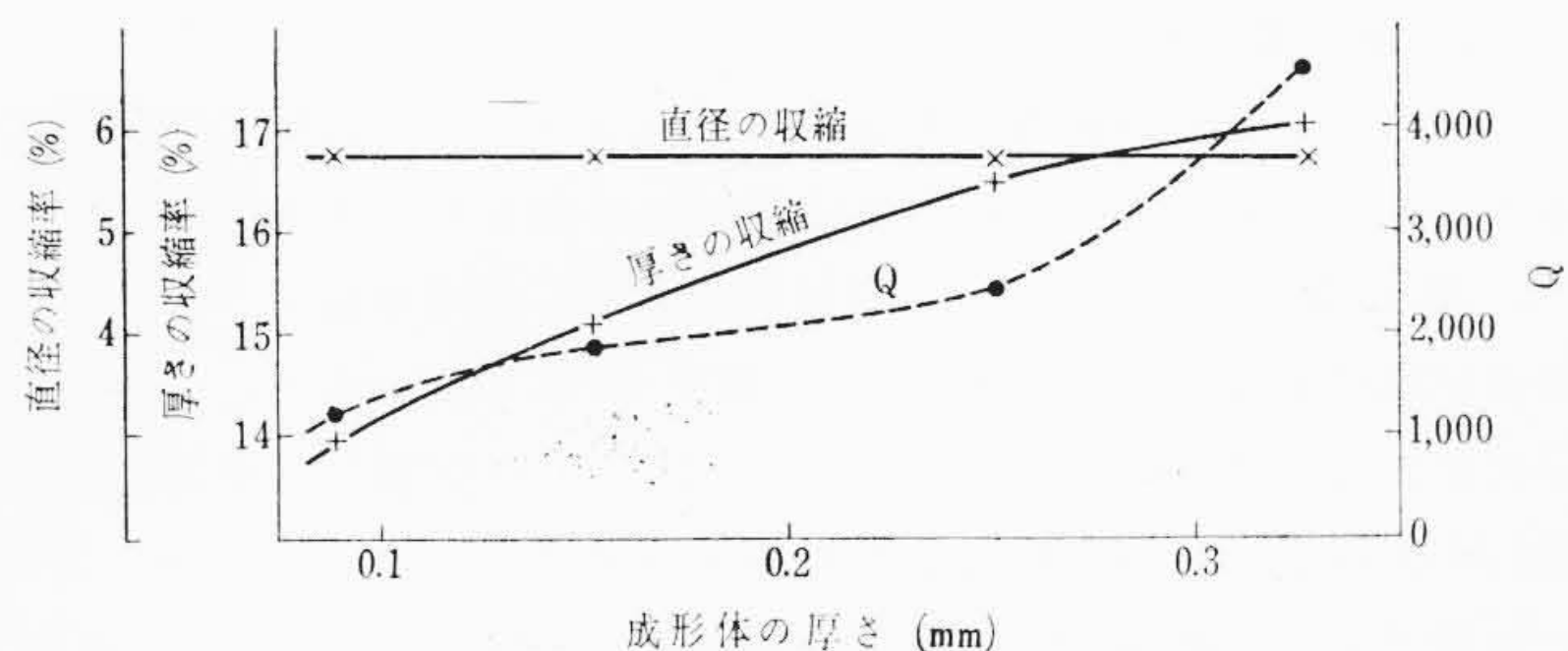
第5図 焼結進行による密度変化のモデル



(1) かさ密度 3.67 誘電率 54.7 (2) かさ密度 3.66 誘電率 55.0 (3) かさ密度 3.63 誘電率 52.3

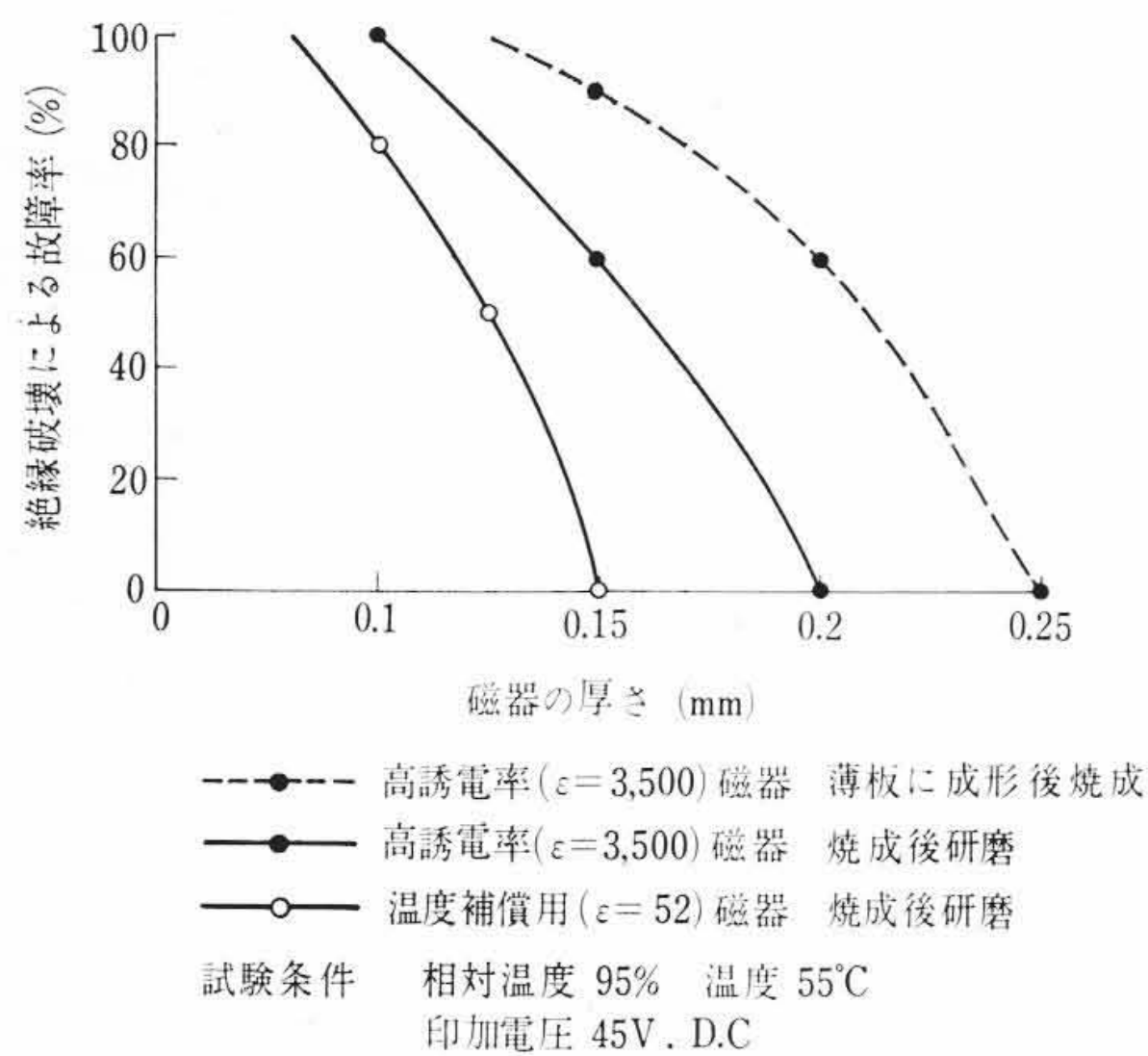


第6図 磁器の結晶成長と Q 劣化速度 (C-250 磁器)

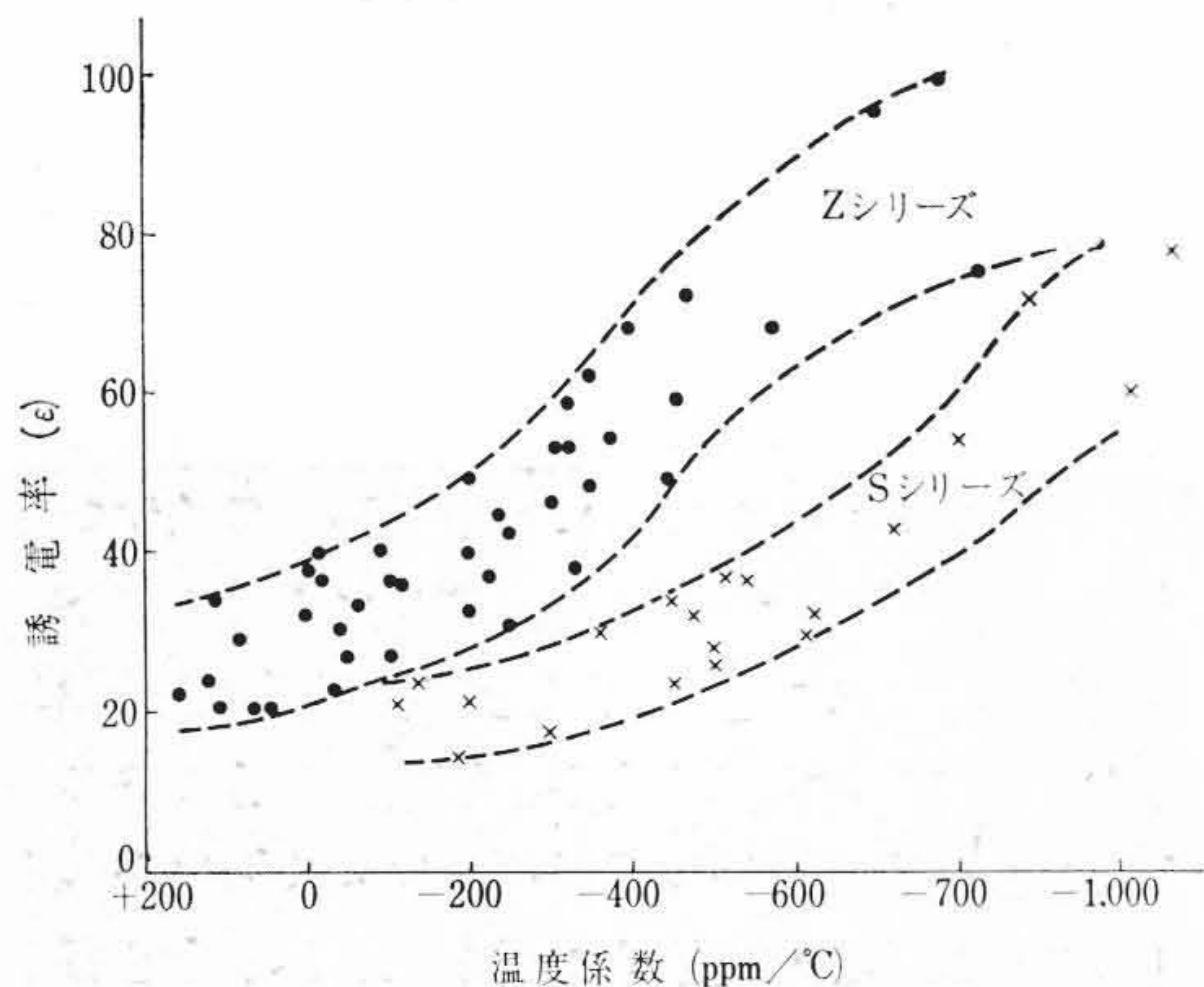


第7図 成形体の厚さと焼結収縮および Q の関係

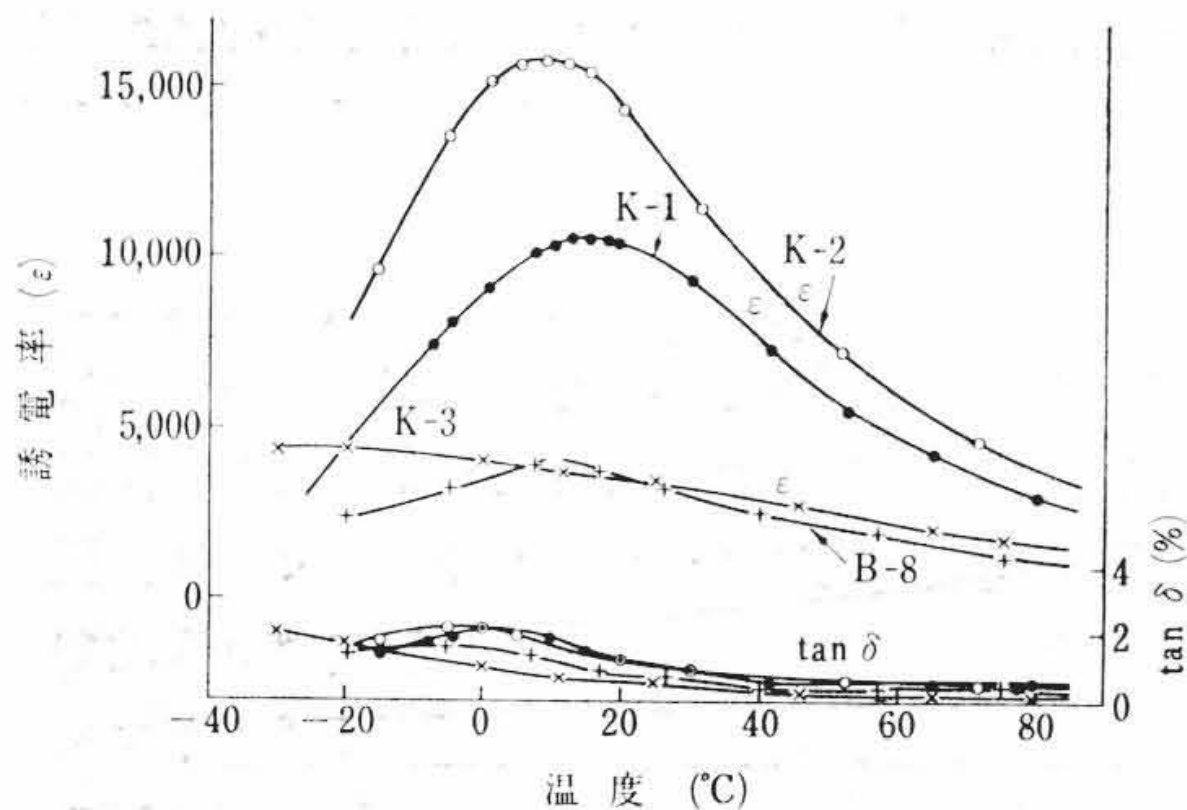
して誘電率の小さい S シリーズは容量調整用コンデンサに使用している。第11図は、K-1 材による静電容量 40,000 pF の高誘電率セラミックコンデンサの温度特性で、第10図の特性より変化の状況は緩和されている。この原因は、素子ごとにキュリー点に多少のばらつきがあるため、積層化によりこれらの性質が平均化された結果であると考えられる。



第 8 図 磁器の厚さと絶縁破壊による故障率



第 9 図 温度補償用コンデンサ素子の誘電率と温度係数

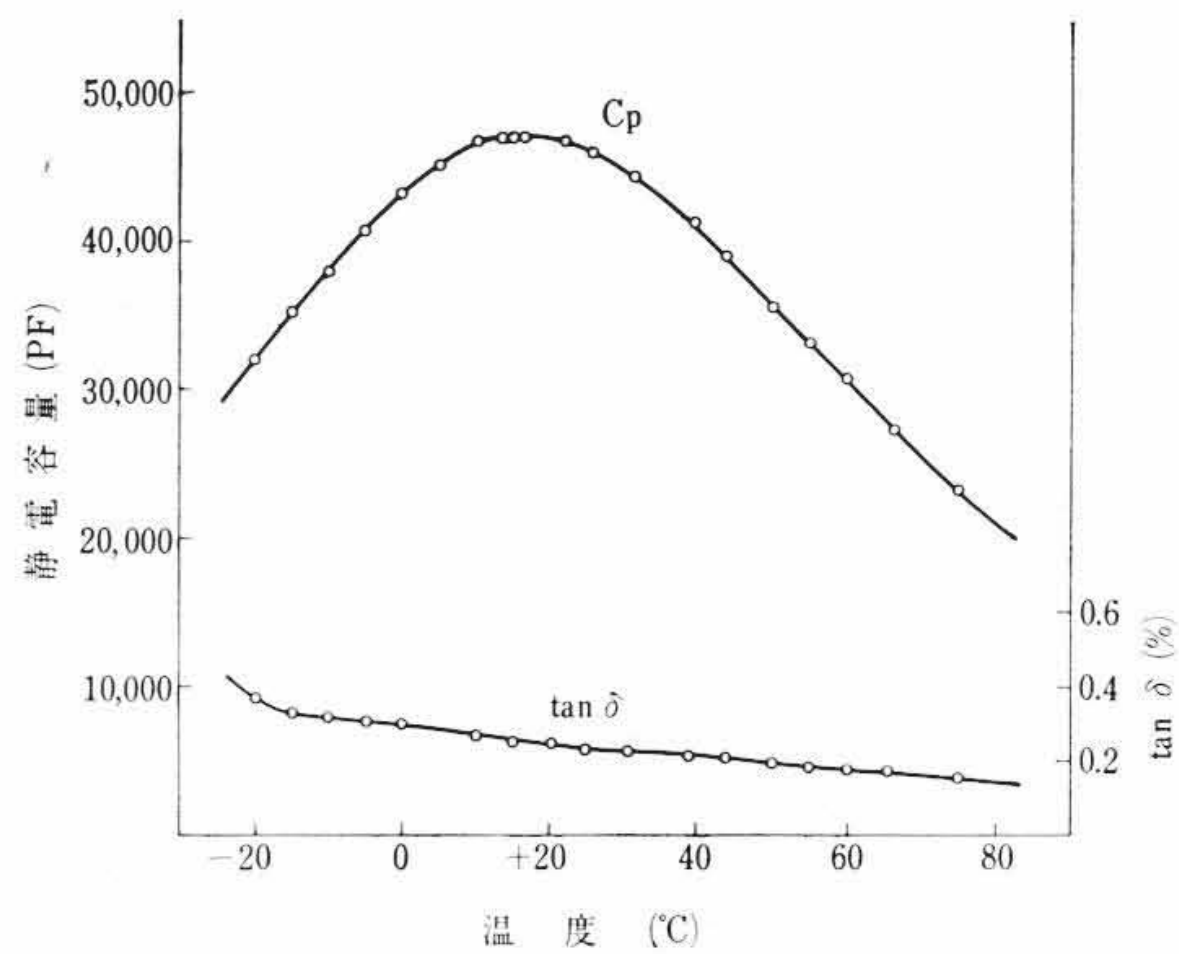


第 10 図 高誘電率コンデンサ素子の温度特性 (1 kc/s)

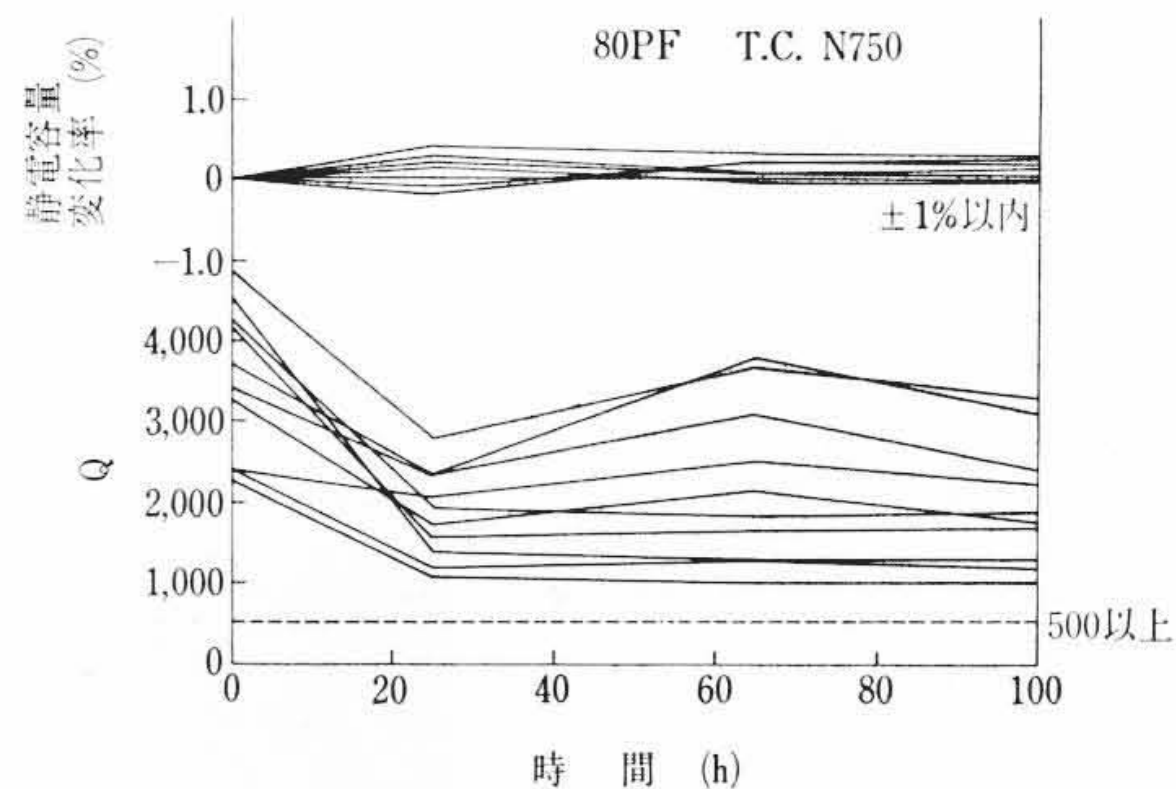
5.2 耐 湿 特 性

コンデンサ素子の耐湿性の向上は、コンデンサの特性の安定化に通ずるという考えのもとに、特に多くの時間をかけて実験を行なった。第 12 図は、一例として耐湿塗装のない温度補償用コンデンサ素子を相対湿度 95%，温度 55℃ で電圧 45 V DC を印加した場合の Q 劣化および容量変化の状況である。この試験では絶縁抵抗が 500 MΩ 以上で Q が 500 以上の材料をマイクロモジュール用コンデンサ素子として使用した。高誘電率セラミックコンデンサについても同様であり、静電容量の変化、 $\tan \delta$ および絶縁抵抗の変化の少ないものを選んだ。

5.3 マイクロモジュール用セラミックコンデンサの特性仕様
セラミックコンデンサの特性仕様を第 1 表に示す。



第 11 図 高誘電率セラミックコンデンサ (YM) の温度特性 (50 kc/s)



試験条件 相対湿度 95% 温度 55℃ 印加電圧 45V DC

第 12 図 素子の耐湿試験結果例

第 1 表 マイクロモジュール用セラミックコンデンサの特性仕様

	温 度 補 償 用	高 誘 電 率 用
静電容量範囲	470 pF	1,000~47,000 pF
静電容量許容差	±2%, ±5%, ±10% (10 pF 以下は ±1 pF, ±0.5 pF)	+100% - 0%
使用電圧	最大 100V	最大 100V
温度特性	N 750, N 470, N 330, N 220 N 150, N 80, N 30, NP 0 P 30, P 100	YY, YM
温度特性許容差	±30, ±60, ±120, ±250 ±500 ppm/°C	+100% - 0%
Q または $\tan \delta$	Q 1,000 以上	$\tan \delta$ YY 2.5% 以下 YM は 5% 以下
絶縁抵抗	1,000 MΩ 以上 (定格電圧以下の電圧で測定)	1,000 MΩ 以上 (定格電圧以下) (の電圧で測定)
使用温度	-55~+85℃	-55~85℃
大きさ (厚さ)	0.20~1.2 mm	0.20~1.2 mm 以下

6. 結 言

高安定、高信頼性のマイクロモジュール用セラミックコンデンサは、高密度の薄板状磁器よりなるコンデンサ素子を使用することであるという考えのもとに、高密度薄板状磁器の製作について検討したが、焼成後薄板状に研磨する方法が最も高密度の磁器薄板を得るのに適していた。さらに磁器内に電極を内蔵した積層コンデンサについては、小形化の点ですぐれているが価格、特性などの点で問題がある。最後に日立製作所のマイクロモジュール用セラミックコンデンサの特性、ならびにその仕様を示した。

参 考 文 献

- (1) 岡, 中田共著: 固体誘電体論 p.283 岩波書店発行 (1960)