

論文の内容の要旨

専攻名 システム創成工学

氏名 笠島 崇

近年のトラフィック量の増加に伴う移動体通信用の基地局の増設・増強に対応するため、基地局フィルタに使用されている TM_{010} モード誘電体セラミック共振器には、軽量・高性能かつ優れたコストパフォーマンスが求められる。共振器を軽量・小型にするためには、高誘電率材料を用いるのが良く、一方高性能化のためには低損失性の優れた材料、すなわち $Q \cdot f$ 値の大きい材料を用いれば良い。しかし、誘電率の高さと $Q \cdot f$ 値の大きさは一般に相反するので、実際には使用周波数帯に応じて、小型性と低損失性のバランスを図り、適当な誘電体材料の選択がなされている。

昨今、移動体通信に使用される周波数帯は多様化の一途を辿っており、それとともに誘電体材料に対するニーズも多様化している。具体的には比誘電率 ϵ_r が50~70の誘電体セラミック材料が必要とされているが、この範囲の比誘電率を持ち、通信用フィルタに使用できるほどの温度安定性を確保でき、さらに適正な $Q \cdot f$ 値を満足する誘電体は未だ開発されていない。

本研究では、既開発の高誘電率材と低誘電率材を用いて、実効的な比誘電率 ϵ_r が50~70となり、かつ適正な $Q \cdot f$ 値を満足する共振器構造を考案し、設計・試作した。さらにその材料の高周波特性評価法についても考察を行い、この種の誘電体セラミック共振器の開発・生産に適用可能なその高精度かつ効率的な材料評価手法を確立した。

前者については、円筒中心部に高誘電率材、外側に低誘電率材を配した複合共振素子を開発した。円筒空洞内に誘電体円柱を配置して構成される TM_{010} モード誘電体共振器の電界強度は中心部分が最も強く、中心から離れるにつれ徐々に減少する分布を持つ。従って誘電体共振子内の誘電率分布を径方向に変化させても、共振電磁界が乱れることはない。既開発の高誘電率材と低誘電率材を同軸上成形し、径方向に誘電率分布を持たせることにより、実効的な比誘電率を操作することができる。このとき、高誘電率材と低誘電率材の割合を適切に選ぶと、電界は誘電損失が少ない低誘電率材側に適度にしみだし、かつ誘電体外部の磁界強度が抑えられ、外側の空洞内壁に流れる高周波電流が減少することを見出した。これにより誘電体損失と導体損失の両方を極力抑え、所望の $Q \cdot f$ 値を得ることに成功した。電磁界解析に基づいた設計チャートを作成し、一般に使用可能な複合共振素子設計手法を確立した。設計に基づいた数種類の複合共振素子を実際に試作し、その共振特性を評価して設計の妥当性を実証した。

後者については、 TM モード共振子形状の誘電体を、非破壊で簡便かつ正確に評価可

能な高周波特性評価方法として、平行導体板型誘電体共振器法とカットオフ導波管型誘電体共振器法を提案した。平行導体板型 $TM_{01\delta}$ モード誘電体共振器法では平行に置かれた2枚の導体板間に誘電体を導体板に非接触で設置する。側面が開放されている状態なので、試料の出し入れが容易で、多くの試料を短時間で評価する手法として有望である。ただしこの場合、共振器外部に電磁界の放射が起きると測定精度が劣化する恐れがあるが、導体板の平行度を保ち、かつ導体板間隔を半波長以下として遮断状態とすると導体板端部の電磁界が急峻に減衰し、共振器外部への電磁界放射が無視できるほど小さくなることを、電磁界計算によって確認した。また、試料誘電体を設置する台の位置や形状、励振・検波に用いるアンテナ位置などの最適化すると、高い測定精度が得られることを実験的に示した。この結果、提案法により誘電率については不確かさ1.0%以下、 $Q \cdot f$ 値については不確かさ20%以下で測定できることが可能であることを示した。

キャビティ（円筒導波管）の長手方向の両端を開放した構造の中央に誘電体をキャビティに非接触で設置するカットオフ円筒導波管型 $TM_{01\delta}$ モード誘電体共振器法についても同様に、外部への電磁界放射を抑制するための検討を行い、比誘電率に関しては不確かさ0.22%以下、 $Q \cdot f$ 値に関しては4.4%以下で測定可能であることを実験的に明らかにした。本手法は、低損失性の評価に適していることから、材料開発の段階で有用なものとして位置づけられる。