

氏 名 西 川 敏 夫

学位の種類	工学博士
学位記番号	工博甲第2号
学位授与の日付	平成2年3月25日
学位授与の要件	博士課程修了(学位規則第5条第1項)
学位授与の題目	移動体通信装置用誘電体フィルタの工学的研究
論文審査委員	(主査) 井田良雄 (副査) 武部幹 (副査) 林健一 (副査) 満保正喜 (副査) 畑朋延

学位論文要旨

The dielectric filters were studied to realize high frequency filters for the mobile communication equipments. The miniaturized filters for the mobile station and the high-power filters for the base station were developed, and furthermore, the measurement techniques newly developed for the dielectric filter materials were discussed.

First, the miniaturized filters using TEM mode dielectric resonators were devised with new structures of the filters and design techniques. The design method for the filters using dielectric distributed coupling lines was derived from circuit theory and field analysis. Experimental results agreed well with calculated values.

Second, the high-power filters using TM mode and TE mode dielectric resonators were devised with new structures. The three channel filters and the two antenna filters were developed considering electromagnetic and thermal design. The performances of the filters satisfied the requirement of equipments, and intermodulation distortion level was less than -150dBc under high-power operation. The volume of transmitter multiplexer using TE_{018} mode dielectric channel filters and TM_{110} mode dielectric antenna filter was 137 litre and its stability was within 30 KHz under high power operation. Last, the measurement methods of the design parameters were developed using dielectric resonator methods, which were measuring errors less than $\pm 0.1\%$ for the relative dielectric

constant of ceramic substrates, $\pm 0.05\text{ppm}/^\circ\text{C}$ for temperature coefficient of dielectric resonators, -170dBc for minimum level of the intermodulation distortions, and $\pm 1\%$ for the surface resistance of electrodes.

本論文は誘電体セラミックスを共振器として用いた移動体通信装置用の高周波フィルタの実用化研究に関するものである。移動局装置用小型フィルタ、基地局装置用ハイパワーフィルタの開発及びフィルタを開発する上で必要とし、考案した構成材料の評価方法の研究成果を総括して述べたもので、概要は以下のとおりである。

- (1) 本研究を遂行するに当って必要な要素となる技術を体系化し、現在の技術水準と本研究が要求する水準とを見比べて新たに開発すべき技術の目標を示した。また考案し開発した多くの固有技術が本研究の対象である誘電体フィルタの技術にどのように関連し生かされるかを体系的に示すとともに技術発展の経緯を明らかにした。
- (2) 移動局装置用フィルタとして3種類のタイプの異なったTEMモード共振器フィルタを考案し、構造、設計方法を示すとともに試作品により実験値と良好な一致があることを示した。
 - (a) 同軸型誘電体フィルタにおいては1個の誘電体基板上にフィルタが必要とする全ての結合容量を構成することにより、同軸型誘電体共振器の空間利用効率がよく、作りやすい構造を考案した。結合基板はアルミナ製であり、厚膜電極をエッチングしたパターンにより容量を得ている。このフィルタの固有技術として縦横配列型共振器のフィルタ設計技術に加えて信頼性の高いアースバネによる共振器固定方法および、無電解銅メッキによる共振器の電極形成技術があり、作りやすい構造を得た。開発した設計手法により試作した共用器は要求を満足するものであることを明らかにした。この共用器の構造を図1に示す。

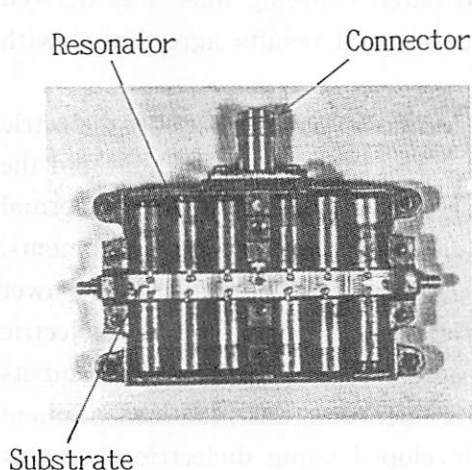


図1 縦横配列型共用器の構造

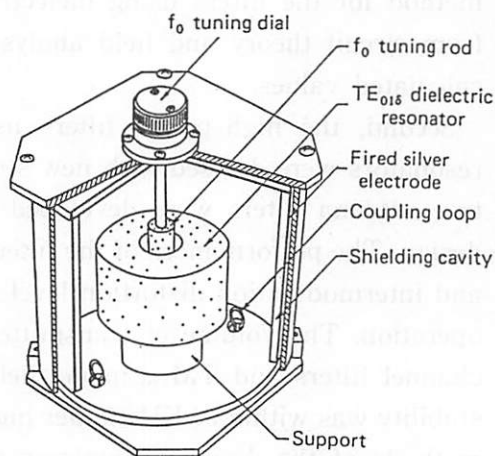
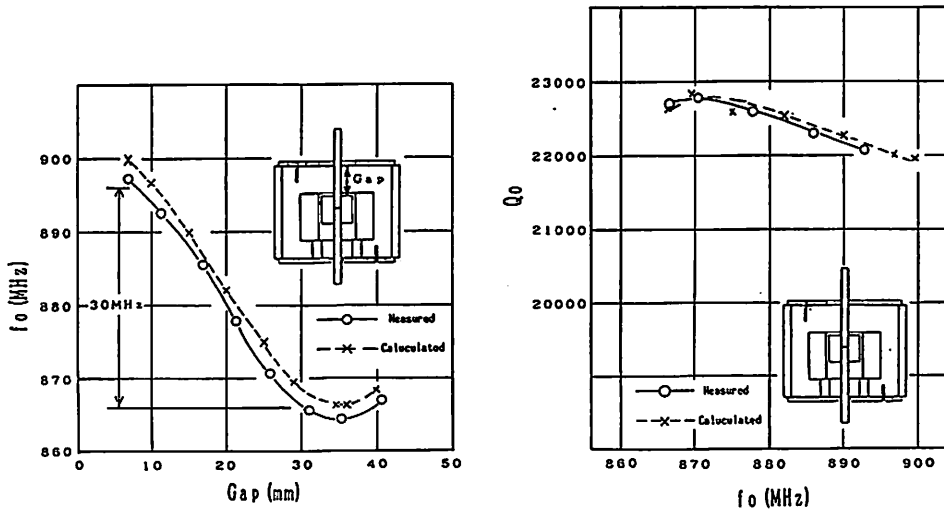


図2 チャンネルフィルタの構造

- (b) 一体型フィルタでは一個のセラミック成型品によりフィルタが構成できることを示し、小型化、量産化に対して飛躍的な技術的効果があることを示した。
- (c) ストリップ線路型フィルタではトリプレート構造により、低挿入損で、SMD 対応のフィルタが得られることを示した。
- (d) 一体型フィルタおよびストリップ線路型フィルタの基本構成要素である誘電体分布結合線路の結合原理を回路論と電磁界解析により明らかにし、結合係数を算定しこれにより構造パラメータが算出できることを示した。(a), (b)の試作結果はこの解析の結果と一致することを示した。
- (3) 基地局装置用フィルタでは、チャンネルフィルタとして共振モードのことなる3種類のフィルタ、ハイパワーフィルタとして共振モードのことなる2種類のフィルタの開発成果を述べた。
- (a) TE_{010} モードを用いたチャンネルフィルタでは共振器材料と同じ線膨張係数の誘電体セラミックスを遮蔽空洞として用いることにより共振周波数の温度係数の再現性を1桁改善した。このチャンネルフィルタの構造を図2に示す。共振器材料と同じ材料をチューニングロッドとして用いることにより、無負荷 Q (Q_0)を変化させずに広帯域にわたりチューナブルなフィルタを得られることを明らかにした。図3はチューニングによる共振周波数及び Q_0 の変化を示したものである。チューニング範囲内のチューニングロッドの移動にたいして共振周波数は直線性がある。一方 Q_0 の変化はその範囲内で5%以内である。
- (b) TM_{010} モード誘電体共振器を用いたチャンネルフィルタでは、共振器と同じ材料の遮蔽空洞を用いて小型で温度安定性のよいフィルタが得られることを示した。



(a) チューニングロッド移動による f_0 の変化

(b) f_0 チューニングによる Q_0 の変化

図3 共振周波数及び Q_0 のチューニング特性

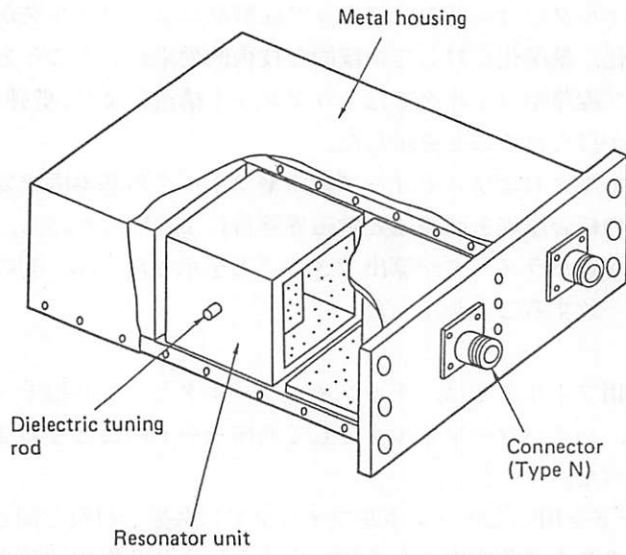


図4 ハイパワーフィルタの構造

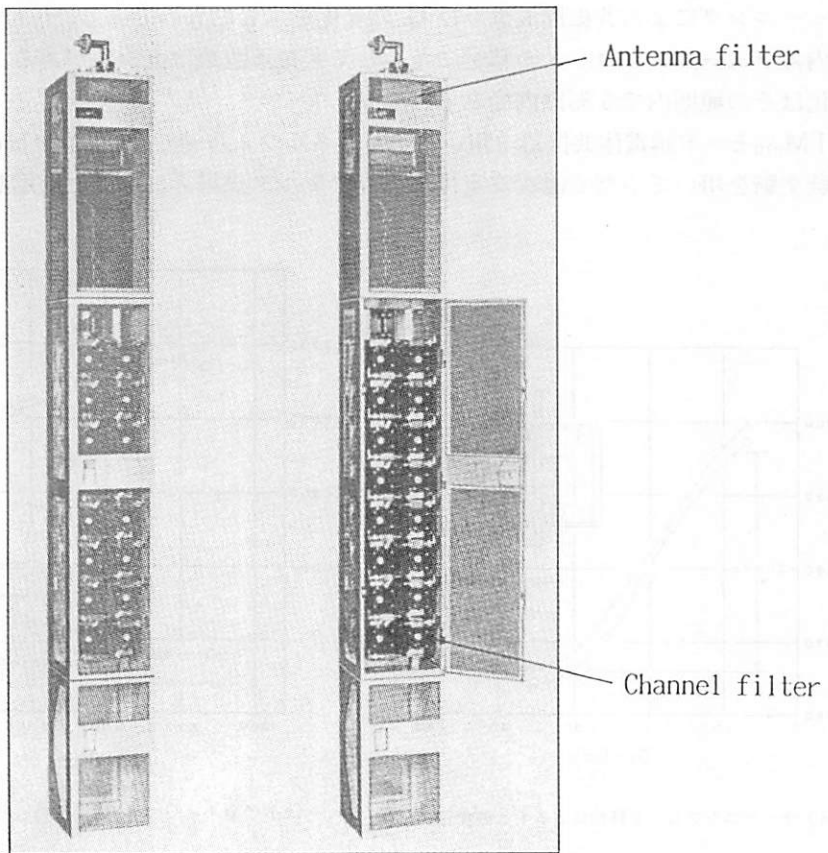


図5 送信共用装置の外観

- (c) TM_{010} 3重モード誘電体共振器を用いたチャンネルフィルタでは3軸直交による独立した3個の共振モードが1個の空洞により構成できることを示し、モード解析により各モード間のアイソレーションを保持しながら共振周波数をチューニングできることを原理的に明らかにした。
- (d) 小型化、スプリアス応答の抑圧、共振器固定方法、熱伝導放散に画期的な改善効果のある $\frac{1}{4}$ 分割 TE_{010} イメージ共振器を考案し、この共振器を用いて構成したハイパワーフィルタに対して高電力印加時の電磁界解析、熱解析による温度上昇の設計を行い、試作結果と良く一致することを示した。さらに、ハイパワーフィルタとして要求される相互変調歪みについて材料レベルからの評価を行い、相互変調歪み低減に有効な材料を選定することにより -150 dBc以下の相互変調歪みを持つフィルタが得られることを明らかにした。
- (e) チャンネルフィルタの研究成果をもとにして考案した、熱放散性がよく量産性に優れた TM_{010} モード一体型共振器を用いて組み立てやすい構造のハイパワーフィルタを考案した。共振電磁界を遮蔽する TM モード共振器の電極は切目のない外側4面のみで構成されたため耐歪み性が向上した。同時に温度の変動による形状の変化は一体型共振器構造のために理想的な相似変形となり、誘電体材料と同じ温度特性が得られるようになった。試作した結果、相互変調歪みが -150 dBcと小さく、高電力動作時でも安定な性能が得られることを明らかにした。このハイパワーフィルタの構造を図3に示す。
- (4) 本研究の過程で得た小型ハイパワー誘電体フィルタを用いて小型で低損失、据え付け調整が容易な送信アンテナ共用装置を開発・実用化した例を示した。複数のチャンネルフィルタを結合プローブを設けた合成回路盤に取りつける機構を考案し、前面操作、システム動作中でもチャンネル数増設の可能な共用装置の構造を決定した。合成回路網に対する回路解析に基づいて挿入損最小となる外部Qの設計公式を導出した。機械的には外部架体から誘電体フィルタへの機械的歪みが伝わらない吸収技術、チャンネルフィルタと合成回路盤間のコネクタを使用しないプラグインタイプの結合技術を開発した。さらに架体全体から外部への自然対流による放熱設計により、動作状態での温度上昇は 7°C に抑えられた。この送信共用装置の外観を図4に示す。
- (5) 本研究を遂行する上で必要な次のような材料特性評価法を述べた。
- (a) 誘電体基板材料の複素誘電率については、2つに分割した TE_{010} モード共振器の間に試料を挿入して複素周波数の摂動により $\pm 0.1\%$ の高精度で測定できることを示した。この方法により複素誘電率が非破壊で局所的に測定でき、基板面内のばらつきを容易に評価できることを明らかにした。
- (b) 誘電体共振器の周波数温度係数については、試料共振器と同じ線膨張係数を持つ誘電体セラミックスからなる空洞で遮蔽することにより温度係数に与える誤差要因を除く構造を考案し、 ± 0.05 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ の高い精度で測定できることを示した。
- (c) 誘電体材料の相互変調歪みを測定する方法として、3個の誘電体共振器の結合に

より構成された共振系で生じる共振モードを解析し、その共振周波数に合わせた2つの入力信号から3番目の周波数信号として低レベルの相互変調歪みが検出できることを明らかにした。試料共振器は遮断円筒導波管の中に配置され、トラップ用誘電体共振器を同じ導波管中に置くことにより2つの入力端間のアイソレーションを確保し、 -170 dBcの高い測定感度が得られることを示した。

(d) 電極の表面抵抗については、誘電体共振器の無負荷 Q の変化から $\pm 1\%$ の精度で測定する方法を考案した。セラミックスの表面に形成した電極の高周波での表面抵抗を非破壊・非接触の状態でも局所的に測定できることを示した。

(6) 本研究に対する技術的な課題と展望について、移動局装置用フィルタとしての課題はなお一層の小型化と高周波化であり、基地局装置用フィルタとしてはデジタル化、マイクロセル化、高周波化、隣接帯域複数システム運用などの多様化した技術的要件があることを述べ、本研究の成果が今後の展開の技術的基盤としても有効であることを示した。

論文審査の結果の要旨

平成2年2月2日、第1回学位論文審査委員会を開催した後、2月8日に審査委員が個別に面接審査を行い、さらに2月14日の口頭発表の後、最終審査委員会を開催し、協議の結果、以下の通り判定した。

本論文は、移動体通信用高誘電体フィルタの研究開発とその実用化に関するもので、下記の成果を得ている。

- (1) 低周波帯におけるフィルタ設計理論に基づき、これをマイクロ波帯で立体回路として実現するに際し、高誘電体セラミックス材料を用い多彩なアイデアと新技術を導入して、超小型化すると同時に高安定で生産性の高い各種のフィルタを実用化した。
- (2) 超小型化のため導入した多彩なアイデアやフィルタの要求特性の高度化は高誘電体セラミックス複合共振回路の境界値問題を極度に複雑化する。そのため有限要素法を駆使しスーパーコンピュータを用いて数値解析を行い、超小型化と高度な要求性能を同時に満足する設計法を開発した。
- (3) フィルタの性能評価と今後のフィルタ設計基準の確立のため下記の新技術を開発した。
 - (a) 誘電体セラミックスの複素誘電率とその温度係数の高精度測定法。
 - (b) 複数の周波数のマイクロ波電磁界中に置かれた高誘電体セラミックス中で発生する相互変調歪みを高精度でかつ低レベルまで測定可能とする新技術。
 - (c) 高周波用電極材料の表面抵抗の高精度測定法。

以上から分かるように、本申請論文は下記の特徴を有する。

- (a) 申請者の10数年にわたる移動体通信用フィルタの研究開発成果の集大成である。
- (b) その内容が設計理論や材料測定技術など比較的基礎的なものからその実用化に至るまでの広範な成果である。

(c) その成果が国内に先がけ、アメリカ及びヨーロッパにおける自動車電話の発達と普及に大きなインパクトを与えたことなど、その工学及び産業社会に対する貢献度が特に高く評価できる。

以上を考慮し工学博士の学位に値するものと判定する。