

氏 名	なが た 隆 永 田 隆
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 5 0 年 1 2 月 3 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 3 2 年 3 月 東 北 大 学 工 学 部 通 信 工 学 科 卒 業
学 位 論 文 題 目	厚 み 振 動 を 用 いた 圧 電 磁 器 共 振 子 に 関 す る 研 究
論 文 審 査 委 員	東 北 大 学 教 授 清 水 洋 東 北 大 学 教 授 佐 藤 利 三 郎 東 北 大 学 教 授 柴 山 乾 夫 東 北 大 学 教 授 池 田 拓 郎

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

圧電磁器共振子は濾波器，発振子などの信号処理回路を小形・無調整化する固体共振素子としてその実用化が注目されているが，MHzのような高周波領域における圧電磁器共振子とその応用に関する研究はまだ不十分であり，期待通りの成果を上げるにはいたらなかった。このような高周波領域では，主に圧電磁器薄板の厚み振動が利用されるが，この厚み振動は輪郭振動と異なり，希望の共振応答以外に多くの不要振動応答を有し，これらの存在が磁器厚み共振子とその応用に関する大きな障害となっていた。不要振動抑圧に関して導かれたエネルギーとじこめ理論とその展開は，これまでの厚み共振子の開発を飛躍的に発展させる転機となったが，個々の圧電磁器薄板の厚み振動の解析が不十分なため，理論の適用される範囲には限界があった。

本研究では，高周波厚み共振子の工学的応用分野の拡大を図ることを目標に，上に述べた厚み

振動と不要振動に関する諸問題を共振子の形状，圧電磁器材質および波動伝搬時の問題に大別し，これらの性質の解明を試みた。

第2章 圧電磁器円板の基本厚みすべり振動と不要振動

高周波領域における圧電磁器円板の基本厚みすべり共振子については試作報告もなく，その振動の性質については不明な点が多い。本章では，共振周波数の温度依存性，経時変化の小さい $\text{PbZrO}_3\text{-Pb}(\text{Mg}_{1/3}, \text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-PbTiO}_3$ 系圧電磁器を用い，磁器円板厚みすべり共振子の振動特性を追究する。まず，共振子の製法を明らかにし，この共振子の詳細な周波数スペクトラムを測定した。このスペクトラムは図1に示すように等方性弾性円板で理論的に解析されている周波数スペクトラムとはほぼ一致し，この結果，振動に関する弾性的な性質は等方性弾性板と類似し，また圧電磁器の粒径，気孔などの不均一性が振動特性におよぼす影響は無視できることが明らかになった。

基本厚みすべり振動の周波数付近の不要振動は高次屈曲振動と厚みねじれ振動に分類され，これらの共振応答の大きさは直径と厚さの寸法比に依存し，寸法比を選択すると不要振動の抑圧が可能であることが明らかになった。

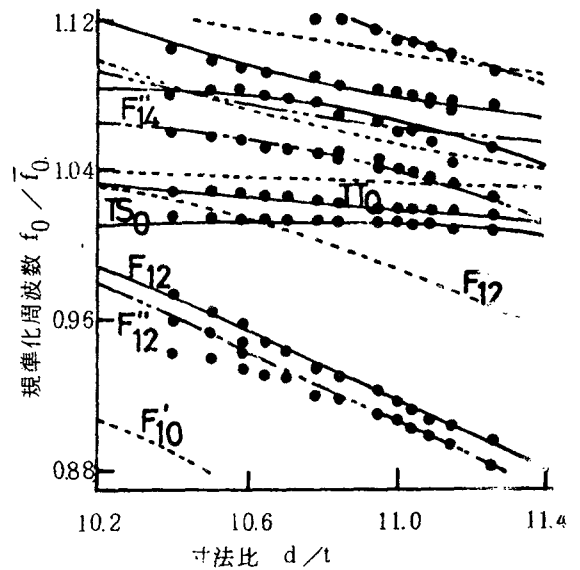


図1 磁器円板厚みすべり共振子の周波数スペクトラム

第3章 PbTiO_3 磁器板の基本厚み縦振動のエネルギーとじこめ

ポアソン比が $1/3$ より小さい圧電板の基本厚み縦振動のエネルギーとじこめ条件は存在しないと考えられ，したがってこのとじこめ形共振子は実現されていなかった。本章では，この場合の基本厚み縦振動の波動伝搬の性質を考察し，新しいエネルギーとじこめ法の提案を行う。ポアソン比の小さい PbTiO_3 系磁器板の一部に電極を付け，無電極部分の板厚を厚くし，無電極部分に伝搬した波動は指数関数的に減衰し，従来のとじこめ形共振子と同様に，不要振動応答の抑圧が可能となることが明らかになった。新しいエネルギーとじこめ形共振子の周波数スペクトラム

は図2に示され、これらの性質を調べた結果、この非調和高次振動は従来のとじこめ形共振子とは反対に、振動次数が高くなると共に共振周波数が低くなる非調和アンダートンとなることが明らかになった。

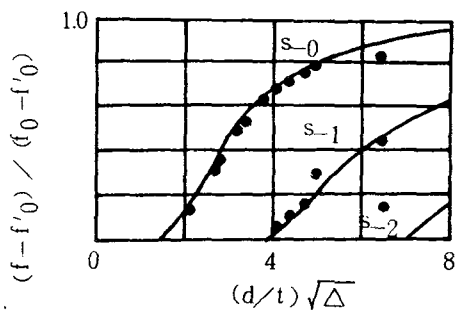


図2 PbTiO₃系磁器板の基本厚み縦振動に関するエネルギーとじこめモードの周波数スペクトラム

第4章 高次厚み振動のエネルギーとじこめ

高次厚み振動のエネルギーとじこめ条件が従来の型となるか、第3章で提案した新しい型となるかは分散曲線の性質に依存し、ポアソン比 $1/3$ が境になるとは限らない。これを判別するために、本章では、分散曲線のしゃ断周波数における曲率の符号を用いる方法を検討し、等方性弾性板で近似した場合の数値解析と実験による確認を行った。この結果によると、振動次数と磁器板のポアソン比に応じてとじこめの型が複雑に変化するので、ポアソン比の僅かに異なる二種の

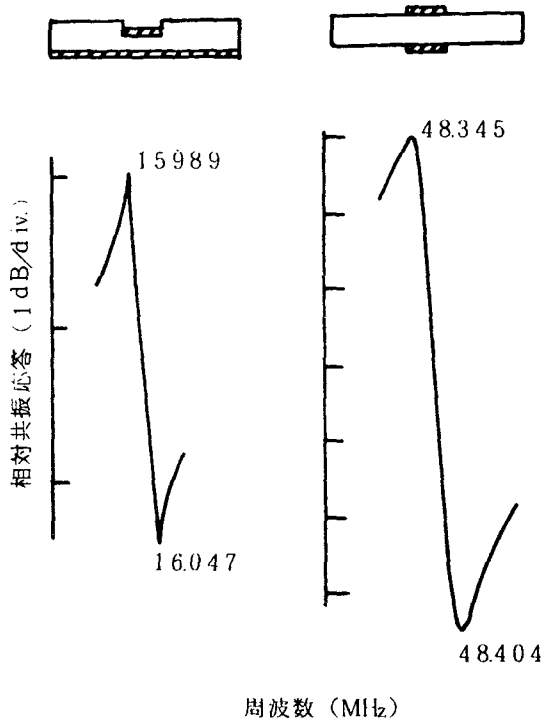


図3 ポアソン比の異なる二種のPbTiO₃系磁器板の第11次厚み縦振動に関し、二つの型のエネルギーとじこめを適用して実現されたエネルギーとじこめモードの共振応答曲線

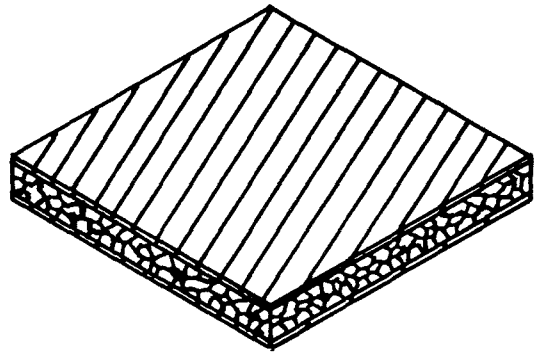
PbTiO₃ 磁器板について、第 1 3 次厚み縦振動までのエネルギーとじこめを観測し、解析結果と比較した。両者のとじこめの型が互いに異なる第 1 1 次厚み縦振動についての観測例は図 3 に示されるように、数値解析の結果とよく一致しており、本研究で求めた判別式は近似式ではあるが、実用上有効であることが確かめられた。

第 5 章 全面電極を有する厚み縦振動磁器共振子の不要振動とその抑圧

共振子形状および電極寸法が小さくなり過ぎるために、これまで実現するにいたらなかった VHF 帯圧電磁器共振子に着目し、本章では、厚み縦振動とその不要振動におよぼす圧電磁器の材料諸定数および共振子形状の影響を実験的に調べた。この結果、厚み縦振動の電気機械結合係数 k_t に対し輪郭振動の電気機械結合係数 k_p の小さい PbTiO₃ 系磁器方形板の寸法比を適当に選ぶと共に、輪郭周辺を磁器の粒境界に沿って不均一にすると、電極寸法を制御することなく、不要振動の抑圧された VHF 帯磁器共振子を実現されることがわかった。

PbTiO₃ 系磁器の方形板をスクライブ・ブレイク加工法によって加工すると、輪郭周辺が、図 4 に示すように、磁器の粒境界に沿って、 $1 \sim 20 \mu\text{m}$ の粗面となり、また、このようにして得られる素子をガラス保持器に封入することによって信頼性の高い VHF 磁器共振子が製作可能となることを明らかにした。

図 4 磁器の粒径に沿って不均一な輪郭周辺を有する VHF 帯磁器共振子の構造



第 6 章 高周波圧電磁器共振子の応用

第 2 章から第 5 章で述べた高周波磁器厚み共振子の共振周波数の温度変化、経時変化はそれぞれ約 $3.0 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ および約 $0.05\% / \text{time decade}$ の小さな値を有し、無調整化部品として優れた特性をもつが、等価回路定数およびスプリアス抑圧特性については、それぞれ固有の性質を有する。本章では、これらの固有の性質と信号処理回路の効果的な組合せを追求し、特にテレビ受

像機の音声中間周波回路，映像中間周波回路およびワイヤレスマイク送信機の変調用発振回路などの信号処理回路に共振子を導入する際の方法を検討し，各回路について得られた性能を示した。磁器共振子と集積回路をカラーテレビ受像機の主要な信号処理回路に導入して無調整化回路を実現した場合のブロック図を図5に示す。これらの共振子を導入すると，従来実現されるにいたらなかった信号処理回路の大幅な小形・無調整化が可能となるばかりでなく，部品点数の削減が可能となることが具体例によって示された。

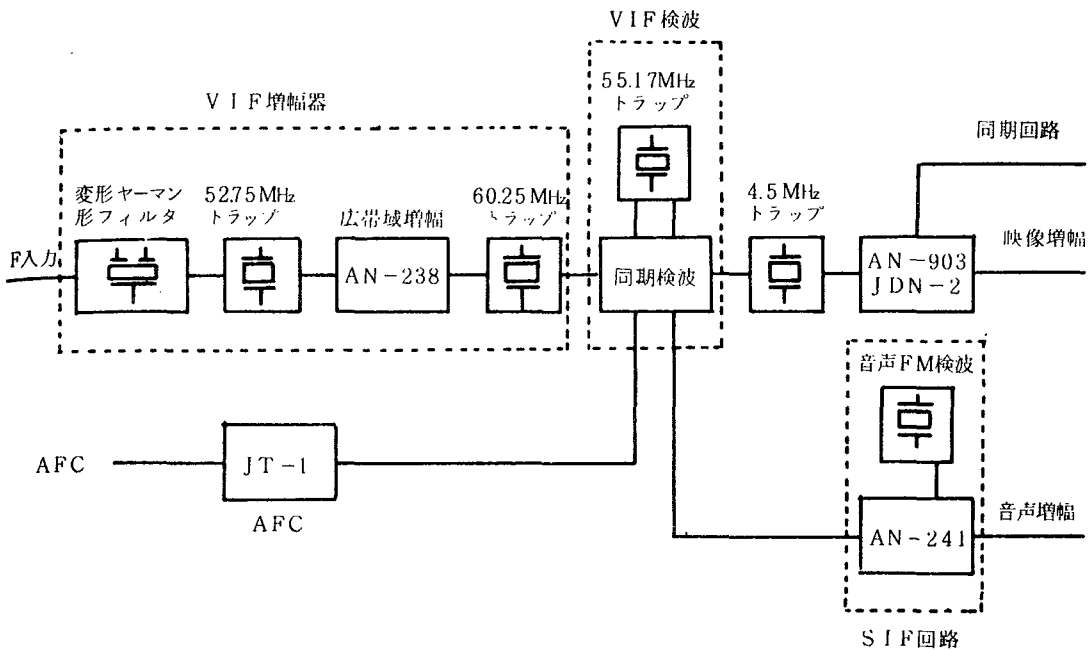


図5 磁器共振子とICによるカラーテレビ受像機の無調整化信号処理回路のブロック図

第7章 結 論

本研究で得られた内容を要約し，結論としてまとめている。

審査結果の要旨

通信機の各種信号処理回路に対する小形・無調整化の要請から、圧電磁器共振子に期待がかけられているが、板の厚み振動を用いる高周波用の共振子は、輪郭振動を用いる場合と異なり、主共振の近くに多くの不要振動応答を生じ、これが応用上の大きな障害となっていた。著者はHF帯及びVHF帯で磁器厚み共振子を実用化するための種々の問題点とくに不要振動の抑圧法を追究してきた。本論文はその成果をまとめたもので、全文7章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、厚みすべり振動を用いる圧電磁器円板共振子の新しい作成法を確立したのち、その共振子の周波数スペクトラムとアドミタンス特性を詳細に検討している。その結果、円板の寸法比を適当に選べば不要振動応答はかなり小さくなることを見出し、良好な特性の厚みすべり共振子を実現している。

PbTiO₃磁器板のような、ポアソン比が1/3以下の圧電板の基本厚み縦振動には、分散曲線の性質からエネルギーとじこめ条件は存在しないと考えられていた。第3章では、これに対して電極部のしゃ断周波数を周辺部より高くするという新しい型のエネルギーとじこめ法を考案し、不要振動応答の著しい抑圧を達成している。また、この共振子の非調和高次振動の周波数が、従来のとじこめと異なり高次のものほど低くなることを明らかにしている。これらは注目すべき新しい知見である。

第4章では、高次厚み振動のエネルギーとじこめを実現するために第3章で示した新しい方法を必要とするか否かを判別する条件式を導き、実験結果との比較によりその有効性を確かめている。

第5章では、全面電極を有する厚み縦振動磁器共振子について、その不要振動と共振子の輪郭形状および材質定数との関係を実験的に調べている。その結果、輪郭振動の電気機械結合係数が厚み縦振動のそれに比べて著しく小さいPbTiO₃磁器の方形板を用い、その寸法比を適当に選ぶと共に、輪郭周辺の形を不規則にすることにより、不要振動応答を大幅に減らしうことを示している。さらに、スクライブ・ブレイク加工法で得られる方形板周辺の粗面を利用したVHF帯用磁器共振子の作成法を確立し、圧電磁器共振子をVHF帯ではじめて実用化している。これは評価できる成果である。

第6章では、以上で得られた圧電磁器厚み共振子のそれぞれの特徴を活かした、テレビ受像機などの各種信号処理回路への導入を検討し、これにより回路の大幅な小形・無調整化、部品点数の削減が可能となることを具体例によって示している。第7章は結論である。

以上要するに本論文は、厚み振動を用いる圧電磁器共振子に関し、不要振動と共振子の形状及び材質定数との関係を系統的に追究して、三種の不要振動抑圧法を見出し、テレビ受像機などの諸回路に実用し得るHF帯及びVHF帯用圧電磁器共振子の設計法を与えたもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。