

[24]

氏名	岩居健太
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	理工博第23号
学位授与の日付	平成27年3月31日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	非線形信号処理を用いた動電型スピーカシステムの非線形歪み補正法に関する研究
論文審査委員	主査教授 梶川嘉延 副査教授 棟安実治 副査教授 三好誠司

## 論文内容の要旨

本論文は、音響信号処理における非線形信号処理を用いた動電型スピーカシステムの非線形歪み補正法について、非線形歪み補正フィルタのパラメータの推定法および非線形歪み補正効果の改善のためのフィルタ構成方法を提案し、まとめたものである。本論文では、動電型スピーカシステムの非線形微分方程式を利用したMirrorフィルタを研究対象とし、(1)その物理パラメータの推定法として“Volterra核を用いたパラメータ推定法”を、(2)非線形歪み補正効果の改善のためのフィルタの実現法として、従来法である非線形2次IIRフィルタを拡張した“非線形3次IIRフィルタによる実現法”を提案している。以下に本論文の構成を示す。

第1章は緒論であり、研究背景と目的、動電型スピーカシステムの非線形歪み発生要因とそのモデル化、先行研究の問題点、および本論文の構成について述べている。

第2章では、スピーカシステムの非線形歪み補正を行うためのMirrorフィルタの非線形2次IIRフィルタによる実現法、およびMirrorフィルタを設計する際に必要となるスピーカシステムのパラメータ推定法として振動板変位特性を用いた密閉型スピーカシステムのパラメータ推定法について述べている。まず非線形2次IIRフィルタによるMirrorフィルタの実現法について説明するとともに、その残された課題について示している。次に、振動板変位特性を用いた密閉型スピーカシステムのパラメータ推定法について説明し、その解決すべき課題について言及している。

第3章では、第一の研究成果である、Volterra核を利用した密閉型スピーカシステムのパラメータ推定法について述べている。本章では、まず従来の振動板変位特性を利用したパラメータ推定法の問題点について述べている。その後、提案法であるVolterra核を利用したパラメータ推定法について述べている。そして、実スピーカシステムを用いたパラメータ推定結果および推定パラメータにより設計されたMirrorフィルタの非線形歪み補正実験の結果を示している。実験結果より、Volterra核を利用したパラメータ推定法により得られたパラメータを用いた場合、従来の振動板変位を利用したパラメータ推定法により得られたパラメータを用いた場合に比べ非線形歪み補正効果が高くなり、Volterra核を利用

したパラメータ推定法は動電型スピーカシステムのパラメータ推定法として有効であることを示している。

第4章では、第二の研究成果である、非線形3次IIRフィルタによるMirrorフィルタの実現法について述べている。本章では、まず自己インダクタンスの影響を考慮した動電型スピーカシステムの微分方程式を示している。次に、非線形3次IIRフィルタによるMirrorフィルタの実現法を詳述している。そして、実スピーカシステムを用いた非線形歪み補正実験の結果を通じて提案する非線形3次IIRフィルタによる実現法の有効性を検証している。実験では、パラメータ推定法の性能が非線形歪み補正効果に与える影響を除外するために、Klippel測定器により得られた線形・非線形パラメータを用いてMirrorフィルタを設計している。従来の非線形2次IIRフィルタおよび提案法である非線形3次IIRフィルタによる非線形歪み補正結果より、非線形3次IIRフィルタにより中高域における非線形歪み補正効果の劣化が改善されることが示されている。次に、第二の結果として、Volterraフィルタを利用した線形化システムと非線形3次IIRフィルタの演算量および非線形歪み補正結果の比較を行っている。実験結果より、Volterraフィルタを利用した線形化システムと非線形3次IIRフィルタの非線形歪み補正効果が同等の場合、線形化システムの演算量は非線形3次IIRフィルタの演算量の約42倍となり、さらに特定の周波数において線形化システムに比べ非線形3次IIRフィルタの非線形歪み補正効果が高くなることが示されている。以上の結果より、非線形3次IIRフィルタは動電型スピーカシステムの非線形歪み補正法として有効であることが示されている。

第5章は結論であり、本研究によって得られた成果を要約するとともに、今後に残された課題について述べている。

## 論文審査結果の要旨

本論文ではスピーカシステムの音質を改善するための非線形信号処理手法について検討を行っている。スピーカシステムはその構造が複雑なためさまざまな歪みを発生し、それらが原因で音質が劣化する。その中でもスピーカシステムの力係数、スティフネス、自己インダクタンスというパラメータが有する非線形性が原因で発生する非線形歪みはスピーカシステムの音質を著しく劣化させることで知られている。そこで本論文ではそれらのパラメータの非線形性を考慮した新たな非線形歪み低減（補正）手法を提案している。具体的には高い精度でパラメータ値を推定する手法ならびにより広い帯域で非線形歪みを補正するための非線形デジタルフィルタの実現法について提案している。

まず、非線形歪みを発生する要因である力係数、スティフネスなどの非線形パラメータの推定法に関して、高い推定精度を達成可能な手法を提案している。このパラメータ推定法は、非線形システムをモデル化できるVolterra核をスピーカモデルとして利用し、非線形フィルタであるMirrorフィルタの補正量を計算機シミュレーションにより算出して評価関数とし、これを最大とするようなパラメータを探索するものである。本推定法の特長は必要とされる機材が標準マイクロホンのみで特殊な機材を必要としないこと、また、パラメータ推定時に用いる励起信号に制約がないことがあげられる。これらは従来のパラメータ推定法では実現不可能であった特長である。従来の振動板変位を利用した推定法および提

案法により実スピーカシステムの力係数、スティフネスのパラメータを推定し、それらのパラメータにより設計されたMirrorフィルタの非線形歪み補正効果を比較することで提案法の有効性を検証している。実験結果より、Volterra核を利用したパラメータ推定法は振動板変位を用いた従来のパラメータ推定法と同等またはそれ以上の精度でパラメータを推定可能であることを実証している。

次に、非線形デジタルフィルタである Mirror フィルタの実現法に関して、従来の実現法である非線形 2 次 IIR フィルタで考慮されていた力係数、スティフネスの非線形性に加え、自己インダクタンスの非線形性を考慮した非線形微分方程式より導出される非線形 3 次 IIR フィルタによる実現法を提案している。これにより、非線形 2 次 IIR フィルタの問題点である中高域における非線形歪み補正効果の改善が見込まれる。提案する実現法の有効性を示すために、Klippel 測定器により測定された実スピーカシステムの線形・非線形パラメータを用いて、非線形 2 次 IIR フィルタおよび非線形 3 次 IIR フィルタを設計し、これらの非線形歪み補正効果の比較を行っている。実験結果より、中高域において非線形 3 次 IIR フィルタの非線形歪み補正効果は非線形 2 次 IIR フィルタの補正効果に比べ高くなっていることが示されている。また、非線形 3 次 IIR フィルタとサブバンドパラレルカスケード Volterra フィルタ (SPCVF) を適用した線形化システムの非線形歪み補正効果およびその演算量についても検討している。実験結果より、両手法が同等の非線形歪み補正効果となる場合、その演算量は非線形 3 次 IIR フィルタのほうが非常に少ないことを示している。以上の結果より、非線形 3 次 IIR フィルタが動電型スピーカシステムの非線形歪み補正法として有効であることを示している。

以上の 2 つの成果から、スピーカシステムの音質改善において重要となる非線形歪みの影響を低減できることが実証されたため、携帯情報端末などさまざまなところで実装されている安価なスピーカシステムの音質改善に今後寄与するものと思われる。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。