

[別紙 2]

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 小野 順貴

近年のセンサのマイクロ化や集積化の進展にともない、進化の中で磨き抜かれた生物の感覚系への着眼は、優れたセンサを実現する上で重要な方法論として広く認知されてきている。本論文は、人間や他の生物の多様な聴覚系の機能・構造への考察を通して、新しい音響信号処理方式および音響センシングの原理を提案した論文であり、全体で2部構成の8章から構成されている。

第1章の序論においては、生物模倣の問題意識が整理されるとともに、これまでの生理学的、計算論的研究を概観し、零点表現に基づくサブバンド信号処理と生物模倣型音源定位センサという論文提出者の二つの主題を、数理的なモデル化と意義付けとその応用という観点で位置づけている。

第I部「零点表現に基づくサブバンド信号処理」は、まず第2章「解析信号と調波間干渉の零点表現」において、音響波形のAM(振幅変動)とFM(周波数変動)の性質を論じるための解析信号表現と零点表現について基本的な性質をまとめている。さらに、人間の聴覚系で同様な表現が得られている可能性について論じている。続く第3章は「対数微分分解に基づくAM-FM解析」と題し、サブバンド信号のAM-FM変動を、従来の各調波のAM成分とFM成分に加え、新たに調波間干渉のAM-FM変動成分に分解する対数微分分解法を提案している。さらに、調波間干渉の成分が直交基底波形で展開されることを証明し、これから導かれる基底波形の最適整合フィルタを音声信号のピッチ抽出や変動解析に応用することによって、従来よりはるかに大きな時間分解能で、それらの特徴が抽出可能であることを示している。第4章は「ピッチ不変な調波間干渉を生じるフィルタバンクの理論」と題し、上記の零点分布をピッチ不変な特徴量とすることを目的として、サブバンドにまたがる零点分布がピッチ変動下においても相似形を保って推移するような、新たなフィルタバンク形状を解析的に導いている。さらに、このフィルタ関数形状と従来の定Qガンマチャープフィルタとの特異な相違点と類似点を指摘している。

続く第II部「生物模倣型音源定位センサ」は、3種類の生物模倣型音源定位センサの具体的研究成果を示している。まず第5章の「単耳音源定位センサ」の章では、人間が耳介の音源方向に依存したフィルタリングを手がかりとして音源の仰角方向を定位するとの知見に基づき、人間の耳介、外耳道、蝸牛基底膜を、最適対数らせん型反射板、指数ホーン、Fishbone型音響センサにより模倣した単耳音源定位センサを実現し、広帯域雑音の音源に対して17°以内の精度で音源定位が可能であ

ることを示している。第6章は「メンクロウをモデルとした2次元音源定位センサ」と題し、非対称な外耳形状により上下左右の音源定位能力をもつメンクロウを模倣し、音源の仰角・方位角情報の強度差・時間差への符号化という原理により、2次元的な音源定位を行なうセンサを提案している。さらに、メンクロウの蝸牛基底膜と神経回路網に類似した構造をもつアルゴリズムを実装して、広帯域の音源を10[ms]程度の高時間分解能、3°以内の誤差で定位できることを示している。第7章は「ハエをモデルとした微分検出型音源定位センサ」と題し、非常に小さな体長でありながら音源に対して鋭い方向知覚を有するヤドリバエの聴覚器官を模倣した音源定位センサについて、中央支持された振動板が逆相成分を偶力として検出するのに非常に適した構造となっていること、同相成分に対する感度を減じ逆相成分への感度を高める構造をもっていることを示し、予備実験として中央支持構造を導入した圧電型のセンサを試作し、方向依存の検出感度を確認している。

最後の第8章は結論であり、以上の成果を総括するとともに、将来の発展方向や応用展開について論じている。

以上、要するに、本論文は、生物の感覚器の数理的なモデル化と意義付けと応用展開という生物模倣型センシングの方法論を人間や他の生物の聴覚系に対して適用し、サブバンド零点表現や対数微分分解法などの新たな非線形信号処理手法の体系的構成に道を開き、かつ新しい発想による音源定位システムとデバイスの構成原理を具体的に与えたもので、本研究のセンシング技術と信号処理技術への波及効果は大きく、計測工学上の貢献が大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。