

機関番号：51303  
 研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2008 ～ 2010  
 課題番号：20500496  
 研究課題名(和文) ウェーブレット変換型両耳信号処理と鼓膜加振デバイスによる次世代補聴システムの開発  
 研究課題名(英文) Development of next-generation binaural speech enhancement system by wavelet transform and new electromagnetic eardrum exciter  
 研究代表者  
 本郷 哲 (HONGO SATOSHI)  
 仙台高等専門学校・専攻科・教授  
 研究者番号：80271881

## 研究成果の概要(和文)：

ウェーブレット変換(WT)型の音声強調システムと鼓膜加振動デバイスを組み合わせて、次世代の補聴システムの検討を行った。WTは、Meyer型のWTが優れており、これに基づくPTI-CWTを用いることが有効であることがわかった。また、両耳信号処理アルゴリズムとして、TS-BASE/WTを提案した。これは、少ない帯域数でも、従来の音声強調法と同様の性能があることが、定量評価、主観的評価においても明らかとなった。有限要素法を用いて、頭部、鼓膜・耳小骨のモデルを解析するとともに、石膏頭部モデルにより、音声の頭部伝達特性の解析を行った結果、音声補聴用としても適していることがわかった。

## 研究成果の概要(英文)：

We have studied the next-generation binaural speech enhancement system by wavelet transform and new electromagnetic eardrum exciter. It was found that Meyer type wavelet and PTI-CWT were best mother wavelet for this application. TS-BASE/WT which provide almost the same performance by objective or subjective evaluation as conventional methods with few bands was proposed. Furthermore, sound propagation around head, eardrum, and auditory ossicle were investigated for performance evaluation test by FEM and measurements of plaster figure.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：補聴器、ウェーブレット変換、鼓膜加振デバイス、FEM、TS-BASE/WT

## 1. 研究開始当初の背景

複数の音が異なる方向から提示されている環境下において、ある音を選択的に入力する選択的両耳聴(カクテルパーティ効果)アル

ゴリズムは、ヒトの聴覚機構の機械による実現という観点から注目されている。これらの分野において国内外の多数の研究がある。

ヒトの聴覚処理(聴覚フィルタ)は対数周

波数軸である  $1/4\sim 1/6$  オクターブ単位であることが知られている。このような聴覚フィルタに整合するウェーブレット変換を用いた処理を行うことにより自然で高性能な音声分離処理の実現が期待でき、本研究代表者は、これまで複素ウェーブレット変換を用いた選択的両耳聴アルゴリズムの研究に取り組んできた。

一方、研究分担者である濱西は、これまでイヤホンを用いない、全く新しい駆動方式の補聴器を理論・実験の両面から検討し、提案してきた。この補聴システムは、鼓膜面に軽量のコイルを留置し、電磁力によってコイルを駆動させることで鼓膜を加振するものであり、聞こえの評価を行った結果では、高度感音性難聴者の聴力改善に有効であることが示唆された。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者の本郷が検討してきた選択的両耳聴覚信号処理と研究分担者の濱西が行った鼓膜加振デバイスを融合し、新しい次世代の補聴システムの開発を行うことを目的とする。

具体的には、下記のような項目について検討していく。信号処理については、主に研究代表者の本郷が担当し、変換の方法や用いるウェーブレット、パラメータなど加振デバイスの聴覚信号処理への最も適合した処理を明らかにする。また、バイノーラル録音した音声を実際に複数のヒトに評価させる。補聴システムのデバイスに関しては、分担者の濱西が担当し、デバイスによりステレオ信号が忠実に難聴者の感覚器で再現できる方法を検討する。

## 3. 研究の方法

### (1) 聴覚構造を模擬したウェーブレット変換の検討と両耳補聴システムへの応用

両耳聴音声強調システムやウェーブレット変換に関する国内外の研究動向を調査するとともに、本研究が目指す選択的両耳聴に適したウェーブレット変換のマザーウェーブレットや変換方法を追究する。また、実際にシミュレーションを行いその性能を評価する。

選択的両耳聴を実現するアルゴリズムについても様々な検討を行う。特に、本研究代表者らがFFTベースで提案しているTS-BASE/SDMFをウェーブレット変換に応用する方法などを検討する。

### (2) システム作成と被験者による評価

上記に示す開発したウェーブレット変換を用いた選択的両耳聴アルゴリズムについて、強調した音声の評価する。音声評価は、Segmental-SNRやLSDなどの定量評価とは別

に、被験者を用いて主観的な評価も行う。

また、上記アルゴリズムをDS-PIC等を用いて実現する。さらに、リアルタイム処理が行われた場合について、処理時間により音声の提示遅れが発生した場合に、音声了解度がどのように変化するかについて、評価実験を行う。

### (3) 加振デバイスのフィッティング評価

加振デバイスの音響的伝達を評価するために有限要素法解析ソフトウェアを用いて鼓膜・耳小骨から成る、有限要素法中耳モデルを作成し、解析を行う。特に、中耳から内耳への伝達特性を調査する。さらに、補聴デバイスそのものもモデル化し、補聴デバイスからの伝達特性も模擬する。

また、石膏で作ったヒト頭部模型の耳に当たる部分に、骨導デバイスを固定し、処理した音声信号を入力し、ヒト頭部模型に伝わる振動を、デバイス近傍に取り付けた加速度センサで計測し、実際にどのような信号が頭部内に伝搬していくかを有限要素法のシミュレーションとともに、模型実験によっても確認していく。

## 4. 研究成果

### (1) 聴覚構造を模擬したウェーブレット変換の検討と両耳補聴システムへの応用に関する成果

① 両耳聴信号処理に適したウェーブレット変換について、国内外の情報を収集するとともに実際にシミュレーションを通して検討を行った。その結果、Meyerウェーブレットが周波数分離能および、局在化の上で優れていることがわかった。さらに最近、戸田、章らが提案した完全シフト不変性を実現する複素数離散ウェーブレット変換が優れていることも明らかになり、完全シフト不変性複素数離散ウェーブレット変換（PTI複素ウェーブレット）を本手法に用いることが有効であることがわかった。

② 前述のように理論検討したウェーブレット変換を用いて、実際にシミュレーションを通して検討を行った。章らが提案した完全シフト不変性を実現する複素数離散ウェーブレット変換が優れていることも明らかになり、完全シフト不変性複素数離散ウェーブレット変換（PTI複素ウェーブレット）を本手法に適用する方法を考案した。これをMATLAB上に実現し、アルゴリズムの性能をシミュレーションにて評価できるようにした。計算量が少なく、性能ともに向上したことが確認されたが、最適パラメータ

の算出は、今後の課題となる。

③新たに、図1に示す TS-BASE/WT を提案した。これは、従来周波数領域で研究代表者らが提案した TS-BASE/SDMF にウェーブレット変換を適用したものである。検討の結果、少ない帯域数（約 50 程度）でも、帯域数(500 バンド)の FFT を用いた従来の音声強調法に遜色ない性能があることがわかった。図2に分離音声を示す。

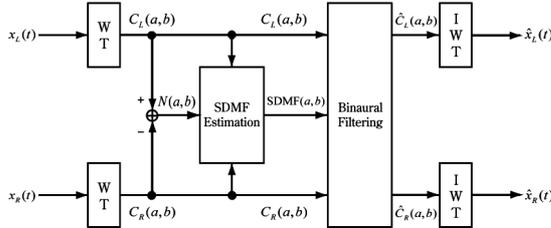


図1 TS-BASE/WT のブロックダイアグラム

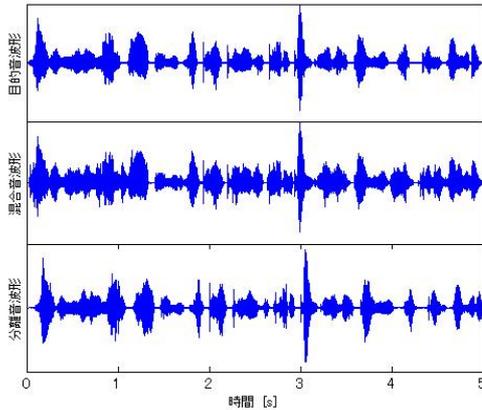


図2 TS-BASE/WT による音声分離波形

(2) システム作成と被験者による評価に関する成果

①バイノーラル音声収集装置を用いて、必要な音声データを収集した。音声は、無響室での収録の他、実環境において、発泡スチロールのダミーヘッドを用いて収録した。また、ウェーブレット変換による音声分離法の有効性を確認するために、音声データベースと頭部伝達関数を用いて原音を作成し、提案法並びに、FDBM との分離性能について、被験者 10 名による主観的評価実験を実施した。結果を図3に示す。提案法は、少ない帯域分割数（処理帯域数）にもかかわらず、FDBM に遜色をとらない性能を有し、かつ自然性が損なわれないことが明らかとなった。

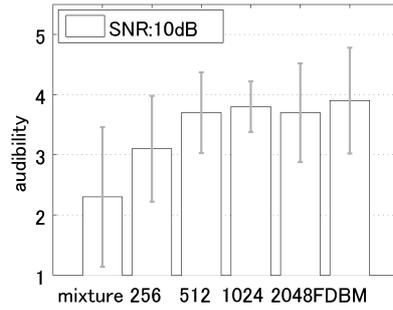


図3 混合音、TS-BASE/WT、FDBM による主観評価結果

②収録したバイノーラル音声データを用い、アルゴリズムの実時間処理を検討した。DSPIC を用いて適用を行った。DSPIC の性能上高いサンプリング周波数では計算量が不足したが、動作させることができた。

③補聴デバイスの主観的性能評価として、今年度は、特に両耳補聴信号に遅れが生じたときに、音声の了解度がどのように変化するかの評価実験を行った。具体的には、10ms, 20ms, 50ms, 100ms と時間遅延を変化させ、直接伝わる音声と補聴デバイスにより処理されて遅れが生じて聴こえるテスト音声を混合し、混合音圧比や SN 比を変化させて、了解度を測定した。その結果、補聴信号の遅れ時間が 20ms から 50ms 付近において、著しく了解度が変化することが明らかとなったものの、具体的にどの遅れ時間が閾値となるのか、また、その原因については、解明には至らなかった。また、定位性能の評価も行った。定位性能については、システムで発生する補聴信号の時間遅れによって優位な差が生じなかった。システムにより生じる補聴信号の時間遅れと人間の音声了解度や音源定位能力の関係については、今後さらに検討が必要と考えられる。

(3) 加振デバイスのフィッティングに関する成果

①本申請で購入した有限要素法解析ソフトを用いて、鼓膜・耳小骨から成る、有限要素法中耳モデルを作成した。鼓膜面に貼り付けるコイルの適切な質量・位置について、解析を行った。その結果、コイルの質量が 20mg 以下であれば、高周波数域においても、伝音特性には影響を及ぼさず、コイルによる加振力が中耳から内耳へと効率よく伝達されることが分かった。また、位置についてはツチ骨部先端（鼓膜面中央部）に張り付ければ、伝音特性が最も良いことがわかった。

②鼓膜加振型デバイスの試作にあたり、加振によって、デバイス自身の形状や材料の機械的特性が振動の減衰特性にどのような影響を及ぼすかは、これまで明らかにされていなかった。そこで、補聴器の形状を模した耳栓、および、ヒト頭部を、本研究費により購入した有限要素解析ソフトを用いてモデル化し、振動の減衰特性を評価した。耳栓の材料としてポリウレタン、シリコン、ABS樹脂等の物性値を用い、ヒト頭部については、骨の主成分であるヒドロキシアパタイトの物性値を用いた。その結果、加振により発生した振動エネルギーの多くが、ヒト頭部内に伝達されることが確認された。

③加振デバイスに入力する際の最適な信号を精査するために、石膏で作ったヒト頭部模型の耳に当たる部分に、骨導デバイスを固定し、処理した音声信号を入力した。また、ヒト頭部模型に伝わる振動を、デバイス近傍に取り付けた加速度センサ(NEC 三洋, SV1112)で計測し、FFTアナライザ(小野測器, CF-7200)で記録した。その結果、音声の周波数帯域である500~1000Hzの伝送効率が良く、本デバイスが音声補聴用として適していることが明らかとなった。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 8 件)

- ① 高橋宗一郎, 濱西伸治, 青木良浩, 和田仁, ”有限要素法を用いたヒト頭部・面防具モデルの衝撃力解析,” 日本機械学会第40回学生員卒業研究発表講演会 2010年3月5日, 秋田大学
- ② 本郷哲, ”バイノーラル音声強調におけるウェーブレット変換の応用, ウェーブレット変換およびその応用に関するワークショップ,” 2009年9月17日, 豊橋技術科学大学
- ③ 本郷哲, 坂本修一, 李軍鋒, 鈴木陽一, ”複素ウェーブレット変換を用いた柔係数決定型2段階バイノーラル音声強調法の検討,” 日本音響学会秋期研究発表会, 2009年9月16日
- ④ 菊地将輝, 本郷哲, 章忠, ”複素ウェーブレット変換を用いた両耳聴音声強調アルゴリズムの研究,” 平成20年度高専連携教

育研究プロジェクト成果発表会, 2009年8月28日

- ⑤ 本郷哲, ”ウェーブレット変換を用いた両耳補聴器用音声強調法, ウェーブレット変換およびその応用に関するワークショップ,” 2008年9月18日, 豊橋技術科学大学

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

本郷 哲 (HONGO SATOSHI)  
仙台高等専門学校・専攻科・教授  
研究者番号: 80271881

### (2) 研究分担者

濱西 伸治 (HAMANISHI SHINJI)  
仙台高等専門学校・機械システム工学科・准教授  
研究者番号: 00374968

### (3) 連携研究者

なし