

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 10 日現在

機関番号：14101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700171

研究課題名（和文）頭部伝達関数の時空間周波数分析

研究課題名（英文）Spatio-temporal frequency analysis of head-related transfer function

研究代表者

西野 隆典（NISHINO TAKANORI）

三重大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40329769

研究成果の概要（和文）：立体音響システムで利用される頭部伝達関数について、計測したインパルス応答に対し時空間周波数解析を用いた解析と、残響除去手法の検討を行った。解析結果から、頭部伝達関数に由来する成分は特定の三角形領域に現れ、拡散性雑音に由来する成分は時空間周波数領域にも現れることを確認した。また、この結果を利用し、頭部伝達関数と対応する時空間周波数領域以外の領域の成分を抑圧する雑音抑圧手法を提案し、効果を検証した。

研究成果の概要（英文）：Spatio-temporal frequency analysis is applied to measured head-related impulse responses (HRIRs), and the method of suppressing a reverberation using spatio-temporal frequency analysis is proposed. From results, the spatio-temporal spectrum of HRIRs concentrated in the triangle region and the spatio-temporal spectrum of diffusive noises appeared outside of HRIR's region. The proposed method can suppress a reverberation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：音響工学

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：頭部伝達関数、時空間周波数解析、拡散性雑音、雑音抑圧、インパルス応答計測、立体音響

## 1. 研究開始当初の背景

音声や音楽の伝送・再生における臨場感を高める技術の一つとして、音源から耳道入口までの音響伝達特性である頭部伝達関数（Head-Related Transfer Function: HRTF）を畳み込む方法が研究されている。HRTF を用いることで、空間的な音響事象を再現し、仮想的な音環境を創りだすことが可能となる。しかし、HRTF は音源方向だけでなく個

人の頭部形状に依存した特性を持ち、測定には「反射が存在しない自由音場で、点音源を用いる」ことが原理的に必要となるが、反射が存在しない環境を用いることは一般には困難である。そのため、雑音や反響がある環境下においても計測ができるよう、簡便かつ精緻に HRTF を計測する技術が必要となっている。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、反射や残響が存在する環境で測定した HRTF が、反射や残響がない、または少ない環境で測定された HRTF と同等となるような処理手法を開発することにある。この方法により、オフィスのような部屋で測定された HRTF を用いても、効果の高い立体音場再生が可能となると考えられる。

通常、実空間における HRTF の計測には、目的とする頭部インパルス応答だけではなく、残響、背景雑音、スピーカ特性、マイクロホン特性、室温変化が含まれる。そのため、計測信号から計測機器や環境による影響を提言、分離、除去するための方法が望まれている。この解決策として、残響や背景雑音が極めて少ない無響室が計測に用いられるなどの対策がなされるが、コストの面で問題が大きい。また、信号対雑音比を向上させるために、計測時に同期加算処理が行われる場合もあるが、頭部インパルス応答の計測においては、計測回数が増加することは計測の対象者に、身体的、時間的な負担を強いることにつながる。

そのため、本課題では、同期加算処理を必要とせず、かつ無響室などのような特殊な実験環境も必要としない、高精度な計測処理手法の構築を目的とし、時空間周波数分析を導入した計測結果に含まれる雑音の低減手法の検討を行った。

## 3. 研究の方法

本課題は大きく分けて、(1) 実測した HRTF の時空間周波数分析、(2) 分析結果に基づいた雑音の抑圧手法の検討、の2項目により実施した。ただし、本課題では、分析対象の HRTF は音源と両耳（観測点）が同一の水平面内にある状況を対象とした。そのため、時空間周波数分析の結果得られる時空間周波数スペクトルは、時間周波数（Temporal frequency）と、方位角周波数（Azimuthal frequency）の2軸上で表現される。ここで時間周波数は、単位時間当たりの音波の振動数に対応し、単位は Hz である。一方、方位角周波数は、方位角に関する単位角度あたりの音波の繰り返しの数を表し、単位は  $\text{rad}^{-1}$  である。

- (1) HRTF が時間と空間位置の関数として表現されることに着目し、時間と空間の両領域で周波数解析をすることで、HRTF が本来有する時空間周波数特性と、その他の反射などに起因する成分を持つ時空間周波数成分の特性の調査を行った。評価対象となる HRTF は、数値解析手法により得られた HRTF、低残響下で測定した HRTF、高残響下で測定した HRTF である。

- (2) 測定した HRTF の時空間周波数解析の結果を踏まえ、HRTF に起因する時空間周波数成分が存在しない時空間周波数領域のみを抑圧することで、残響の影響を除去する手法を検討した。時空間の2次元の帯域抑圧フィルタを設計し、高残響下で測定した HRTF を低残響下で測定した HRTF に近づけることが可能かどうか、ならびに拡散性雑音に対する抑圧効果調査した。

## 4. 研究成果

本課題により得られた成果は、(1) HRTF が有する時空間周波数特性と雑音が有する時空間周波数特性との相違の確認、(2) 提案する雑音抑圧手法の効果の範囲の検証である。

- (1) 数値解析により得られた HRTF は、残響などの環境雑音が含まれていない HRTF とみなせ、理想的な計測条件で得られた HRTF であると考えられる。この数値解析 HRTF の時空間周波数解析結果を、実計測した HRTF の時空間周波数解析結果と比較することで、HRTF そのものの時空間周波数特性と、残響などの時空間周波数特性の振る舞いが明らかとなる。実験結果から、HRTF に起因する時空間周波数特性は、特定の領域にのみ現れることが確認できた（図1）。

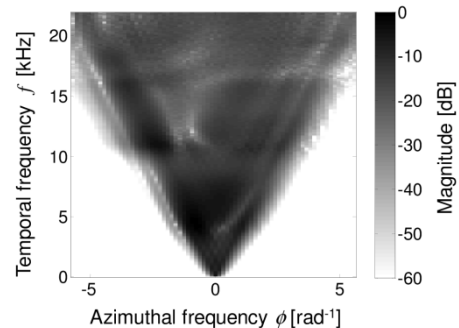
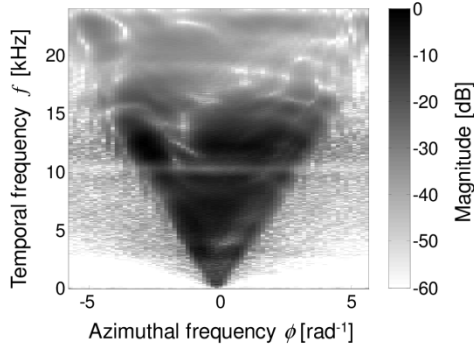


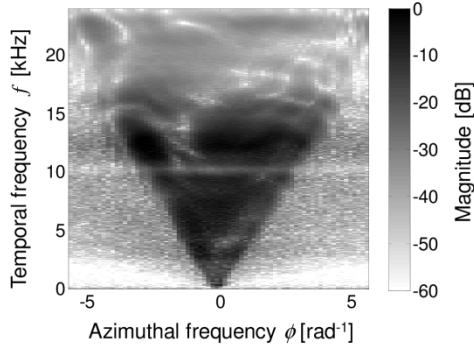
図 1: 数値解析 HRTF の時空間周波数スペクトル

また、低残響と高残響の2条件で測定された HRTF の時空間周波数解析結果の比較から、残響が多くなると HRTF に起因する成分が存在しない時空間周波数領域にエネルギーが強い時空間周波数成分が現れることが確認できた（図2）。これらの検討結果から、時空間周波数領域において、HRTF と雑音とは異なる領域にスペクトルを持つことが確認できた。また、時空間周波数解析による可視化により、計測された頭部インパルス応

答に、雑音が含まれているか否かを検知することが可能であることが明らかとなった。



(a) 低残響下(残響時間 151 ms)



(b) 高残響下(残響時間 459 ms)

図 2: 異なる残響時間の条件で測定された HRTF の時空間周波数スペクトル

- (2) 時空間周波数領域において、2次元の帯域抑圧フィルタを設計し、高残響下で測定された HRTF に適用した。雑音抑圧手法適用後の HRTF と、低残響下で測定された HRTF との時間周波数スペクトルの差(スペクトル歪)を評価尺度とし、実験を行った。実験の結果、高残響下で測定された HRTF を、低残響下で測定された HRTF に近づけることが可能であることが確認できた(表 1)。また、抑圧領域を頭部の大きさから決定する手法について検討した。拡散性雑音を仮定した雑音を用いたシミュレーション実験を行い、信号対歪比の改善量を評価尺度として評価を行った。実験の結果、特に信号対雑音比の低い条件で抑圧効果が顕著となった(図 3)。これにより、抑圧領域の設定に関する指針を示すことができた。

表 1: 高残響下で計測された HRTF の改善結果。数値が小さいほど、低残響下で測定された HRTF と近いことを表す。

	スペクトル歪
処理前	2.53 dB
処理後	2.35 dB

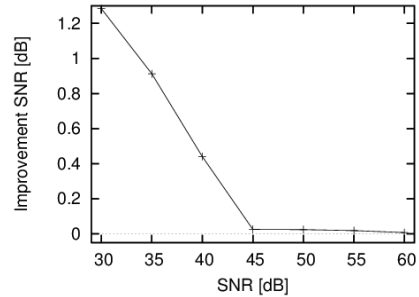


図 3: 付与した雑音量と改善量

## 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 1 件)

- ① 森本泰子、西野隆典、武田一哉、時空間周波数分析を用いた頭部インパルス応答に含まれる残響の検知と抑圧、査読有、電子情報通信学会論文誌、J95-A(7)、2012 (掲載決定)

[学会発表] (計 4 件)

- ① Takanori Nishino、Kazuya Takeda、Improving head-related impulse response measured in noisy environments with spatio-temporal frequency analysis、査読有、IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing 2011 (ICASSP2011)、305-308、2011 年 5 月 26 日
- ② 神谷泰平、江崎知、西野隆典、武田一哉、球形マイクロホンアレイを用いた残響音声の回復、査読無、日本音響学会 2011 年春季研究発表会、857-858、2011 年 3 月 9 日
- ③ 神谷泰平、西野隆典、武田一哉、球形マイクロホンアレイを用いた時空間周波数解析による残響抑圧、日本音響学会 2010 年秋季研究発表会、693-694、2010 年 9 月 15 日
- ④ Yasuko Morimoto、Takanori Nishino、Kazuya Takeda、Visualization and dereverberation of head-related transfer function based on spatio-temporal frequency analysis、査読無、20th International Congress on Acoustics

(ICA2010)、2010年8月25日

〔図書〕(計1件)

- ① Yasuko Morimoto、Takanori Nishino、  
Kazuya Takeda、Analysis of measured  
head-related transfer functions based  
on spatio-temporal frequency charac-  
teristics、Principles and applications of  
spatial hearing (World Scientific、  
ISBN-13 978-981-4313-87-2)、226-235、  
2011

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西野 隆典 (NISHINO TAKANORI)  
三重大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：40329769