

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 2 日現在

機関番号：13201

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23650110

研究課題名（和文）時間分解能と周波数分解能を両立させる超精度の次世代型聴覚指標の検討

研究課題名（英文）An investigation of next-generation hearing index by using the ultra-accuracy spectral analysis to satisfy both of the frequency and the time resolution.

研究代表者 吉澤 壽夫 (YOSHIKAWA TOSHAO)

富山大学・大学院理工学研究部（工学）・助教

研究者番号：20262503

## 研究成果の概要（和文）：

オーディオ機器の評価に関する研究では、主観的評価によるものが多い。オーディオ機器の一部であるオーディオケーブルに関する研究は、電気的特性の違いが少ないため、明確な評価は困難であり、ほとんど主観的評価によるものである。またその研究の数も少ない。本研究ではNHA (Non-Harmonic Analysis) を用いることにより、ケーブルでの信号周波数の伝達において、微小な時間的な遅れとその変動があることを検出した。その結果より、このような電気的特性とケーブルの評価の関係についての新しい知見を得た。

## 研究成果の概要（英文）：

Performance of audio equipment is often evaluated subjectively. That of audio cables is also evaluated subjectively. However, there are few studies of them because of being difficult to finding the difference of acoustical characteristics of them.

In this study, we were able to visualize the very small frequency changes in the TSP audio signal passed through the audio cables by using the NHA (Non-Harmonic Analysis). From the results, we got new knowledge about the relationship between the electrical characteristic and the subjective evaluation of cables.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,900,000	870,000	3,770,000

## 研究分野：

科研費の分科・細目：

キーワード：聴覚指標、周波数分析

## 1. 研究開始当初の背景

高級オーディオシステムの市場の中には、忠実な原音再生あるいはより良い音質の付加などを特別に望む利用者がいる。ラウドスピーカーやヘッドホンのようなオーディオ

機器はその周波数特性が可視化しやすいため、多くの論文等でその評価に関する研究が行われている。たとえば、2011年に発表された倉片等の研究[1]のように、最近でもオーディオ機器の評価に関する研究は少なくな

い。

一方、オーディオ機器の中でも、スピーカーケーブルの評価に関する研究は、その特性に違いが出にくく、微小な数値として計測・解析することが難しいため、論文数が少ない。また、その評価方法も主観的なものが多く、主観評価では再現性に乏しいことや、微小な変化を聞きわけることが難しいこともあり、未だスピーカーケーブルを評価をする手法が確立されていない。したがって、高額な製品の中には科学的な実証データがないという意見もある。特に高額なスピーカーケーブルの価格は1mあたり10万円から100万円程度まであり、その費用対効果が利用者にとって大変重要な課題である。スピーカーケーブルを科学的に評価する指標の一つとしてブラインド状態で行う主観的評価があるがその結果は再現性が乏しく、問題が多いと思われる。

客観的評価としてスピーカーケーブルの周波数特性を測定する方法がある。一般的には静的な測定方法であり、有意な差異を見出すことは困難なようである。また、その測定方法は動的に周波数が変化する実際の使用法とは異なるために問題がある。本研究では被測定信号が直線的にその周波数が変化する TSP 信号を用いてその周波数特性を測定した。この場合、従来のスペクトル解析法 FFT ではこの条件を満たしていないため、周波数分解能と時間分解能が同時に優れたスペクトル解析法が望まれる。

## 2. 研究の目的

主観的な相対スケールで評価されているオーディオシステムの評価に対して、新しい定量的な音質評価技術を確立することを目的とする。特に電気的特性の違いが少ないオーディオケーブルの研究を行う。本研究では、申請者等の開発した NHA (Non Harmonic Analysis) を用いることにより、パワースペ

クトルー辺倒の周波数特性解析から、時間的に変動する繊細な周波数の振る舞いを可視化し、主観的な評価の要因を見出すための新しい実験的な研究を試みる。

## 3. 研究の方法

実験では、6つケーブル製造会社のものを使用した。wireworld、belden、monstercable はXLR端子のケーブル、oyaide、panasonic、sanwa\_supplyはRCA端子のケーブルを使用した。それぞれのケーブルにTSP信号を流し、それを時間分解能と周波数分解能を両立させるNHAによって解析することでケーブル内の信号の微小変化を可視化することを試みる。

音源に用いたTSP 信号は、サンプリング周波数を96 kHzとし、「0~48 kHz」「0~4.8 kHz」「0~480 Hz」の帯域で周波数を時間に対して線形に変化させた。なお、信頼性、再現性のため、連続したTSP 信号10本を再生し、計測を行った。

## 4. 研究成果

6種類のケーブルそれぞれに、にTSP信号を流し、それをNHAによって解析することでケーブル間の信号の微小変化を可視化した。図1はケーブルを流れるTSP信号の主要なスペクトルである。48k Hz-0 Hzの全体を見た時、ケーブル間の差は非常に小さいため比較することができない。

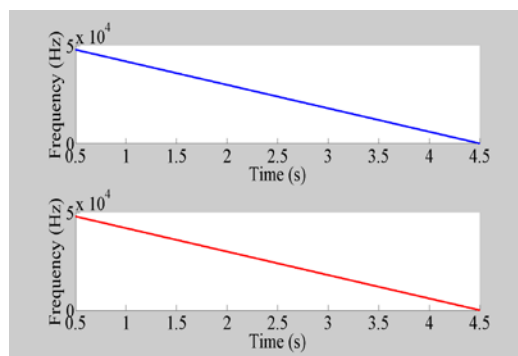


図1 TSP 信号の出力。(wireworld(上),

belden(下), 48 kHz-0 Hz)

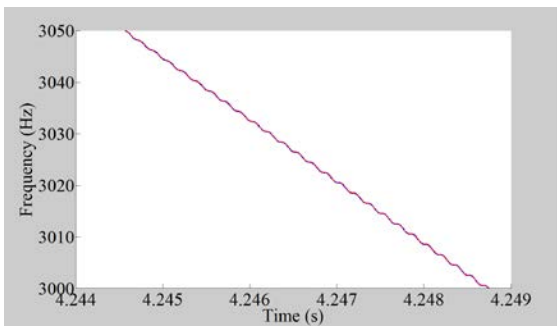


図2 TSP信号出力の拡大表示(wireworld (青), belden(赤), 3000 Hz-3050 Hz)

図2はその範囲の一部を拡大したものである。スペクトルが少し波打つように変動していることがわかる。さらに、この周波数変動を時間変動として表現し、周波数の中域、高域部分を拡大表示すれ

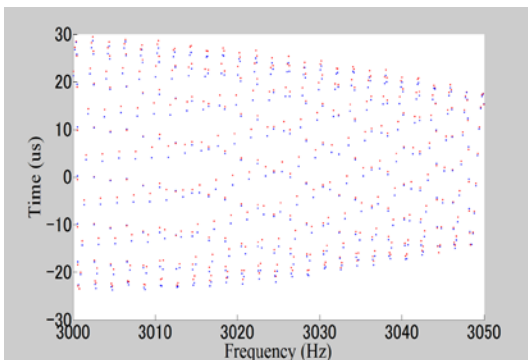


図3 中域周波数の時間変動 (wireworld (青) belden (赤) 3000 Hz-3050 Hz)

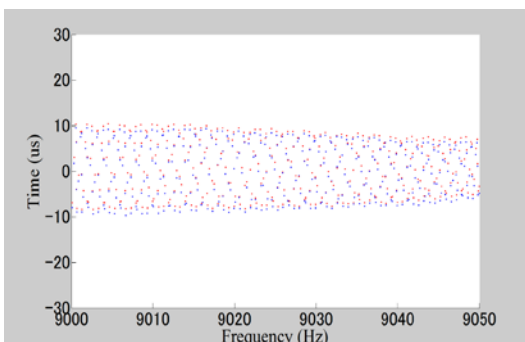


図4 高域周波数の時間変動 (wireworld (青) belden (赤) 9000Hz-9050Hz) ば、図3および図4のようになる。この結果

より、周波数が9000 Hzから9050 Hzのような高域において、時間の幅に変化が見ることができ、周波数が3000 Hzから3050 Hzのような中域においては、周波数が高域の時よりも時間の幅が大きくなることがわかった。wireworld とbelden では $2\mu s$  の差が見ることができ、またwireworld とsanwa\_supply では $8-10\mu s$  近くの遅れが観測された。佐藤宗純等の先行研究に記載された結果では、一般的な人の知覚域は $10\mu s$  となっているが、それと近い結果となった。また専門家のなかには $500ns$  まで知覚する人もいることから、ケーブル間の違いを知覚できる可能性がある。

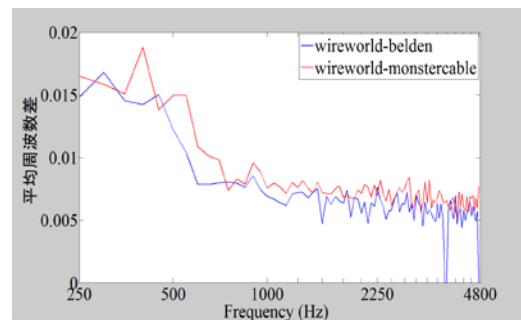


図5 t 検定による2つのケーブル間の周波数変動の差 (wireworld-belden, wireworld-, monstercable)

さらに、NHA による解析結果に対して t 検定を用いることによって、より差のある周波数帯域がわかるようになった。図5は、wireworld とbeldenを比較したときの周波数の差と、wireworld とmonstercableを比較したときの周波数の差の結果に t 検定を行い、それをそれぞれグラフに表したものである。青い方が前者、赤いほうが後者である。この結果をみると、周波数が500Hz 以下の観測の場合に、比較的周波数の差が大きくなる傾向が見られた。また、XLR ケーブルと、monstercableの二つのケーブルを比較した場合、400Hz あたりで信号の差が大きくなっ

ていることが確認できた。XLR ケーブルと RCA端子 の一部のケーブルにおいて比較を行った結果、周波数が高域の時の加減がそれぞれの端子同士の比較のときよりも、大きくなっていることが確認できた。XLR ケーブルの方がノイズの影響が受けにくい構造しているためにこのような結果になったものと考えられる。また、人の聴覚は振幅方向の変化より、時間方向の変化に対しての知覚が優れている。この違いが大きくなる帯域は人の知覚できる可聴域20Hz～20 kHzに入る、そのためケーブルを変えた時に、音が変わったと知覚できると考えられる。

t検定を用いた結果と、実際に周波数の変化を観測し比較した結果では、周波数が高域の場合における周波数の差が小さくなり、低域では周波数の差が大きくなるという同様の結果を得ることができた。実際に周波数の変化をみて違いを探す方法より、t検定を用いることで、より周波数特性の違う帯域を見つけやすくなることがわかった。今回の実験ではTSP 信号10 本における結果にばらつきが出にくいため、t検定に使ったケーブル信号の母数は10 本で行った。一般的なt検定の母数が少ないため、本数を増やすことで、t検定の精度があがる可能性がある。

本研究では、ケーブル間の微細な周波数変化の可視化を行うことができ、またt検定によって、周波数特性の違う帯域を調べることができた。これにより、特性の違いがでにくく、主観的評価が困難なオーディオ機器においても、評価が可能であることが示された。特に500Hz近辺で約0.01Hz程度の変動があり、低周波でさらに増加する傾向にあった。また、周波数変動を時間変動として看做したとき、スピーカケーブルにより異なるが250Hz近傍では数10  $\mu$ sより数100  $\mu$ sの時間変動があり、3KHzや9KHzの高周波になるにつれて少なく

なり、数  $\mu$ sの時間変動があることもわかった。

## 6. 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2件)

T. Yoshizawa, S. Hirobayashi, T. Misawa, "Noise reduction for periodic signals using high-resolution frequency analysis", EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2011:5, 2011年9月

T. Ichinose, S. Hirobayashi, T. Misawa and T. Yoshizawa, "Forecast of stock market based on Non-Harmonic Analysis used on NASDAQ since 1985", Applied Financial Economics, 2012, 22, 197-208

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉澤 壽夫 (Yoshizawa Toshio)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・  
助教

研究者番号：20262503

### (2) 研究分担者

広林 茂樹 (Hirobayashi Shigeki)

富山大学・大学院理工学研究部 (工学)・  
教授

研究者番号：40272950