

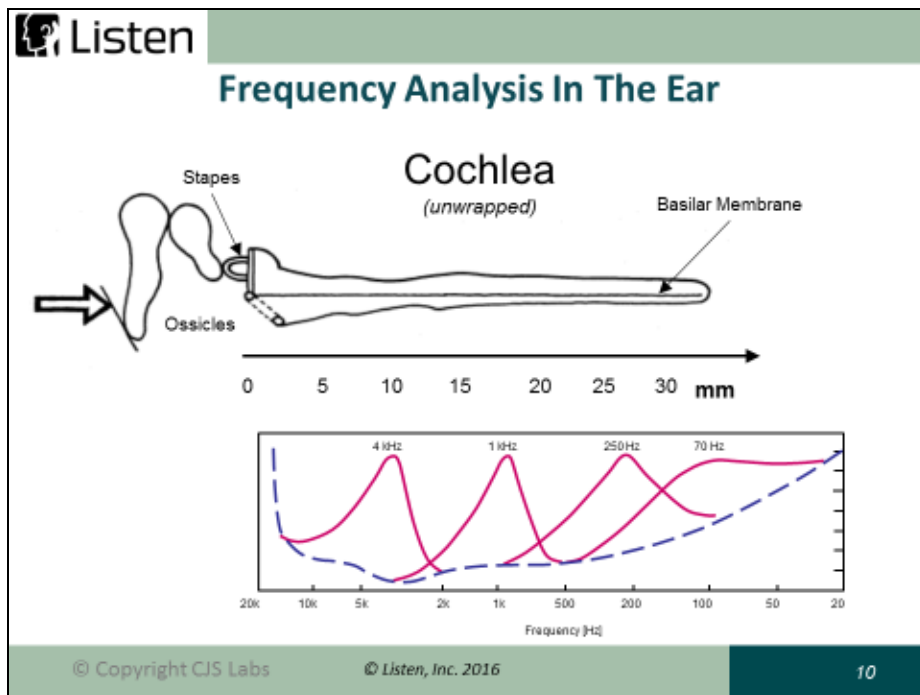
## 特集:2016年「カンファレンス」

## ハイレゾ時代における測定技術-測定と聴感の一致に向けて&lt;抜粋&gt;

Listen 社 CEO Steve Temme

(訳、補足 オーディオテック 寺岡 朋彦)

ディザ処理された 16 ビット信号は 120dB のダイナミックレンジに相当するが、120dB のイメージは「部屋のどこかにいる蚊の羽音」と「目の前にある削岩機から出る騒音」の差よりも大きい。一般的に録音された音楽のダイナミックレンジはその多くが 60dB 以下である。一方、ほとんどの楽器から 20kHz 以上の音は出ておらず、人間の耳では 40 歳くらいまでに 15kHz 以上は聴こえなくなるのが普通と言われている。下図は中耳内の小さな 3 つの骨＝ツチ骨、キヌタ骨、アブミ骨と伸ばした状態の蝸牛だが、蝸牛の基底膜の各部位が特定の周波数帯域に対して高感度になっており、高い周波数は蝸牛入口の卵円窓へと伝えられる。この入り口近くの部位こそ、入ってくる音、特に大きなインパルス音によるダメージを受けることになるため、年齢を重ねると高い周波数の音が聴こえにくくなる。



では、上記のことがありながら、何故 20kHz 以上の成分に着目する必要があるのか？

まず一つは、20kHz までのフラットな位相特性を得るには 40kHz までのフラットな振幅が必要であることがあげられる。定義によれば共振点で 90 度の位相シフトが起こる。もう一つの理由は、混変調歪によるビートダウンの影響である。次ページ（上図）にて、30kHz と 33kHz の信号が生み出す混変調歪が可聴帯域内に現れている通り、超音波帯域信号の可聴域への影響が確認されている。

**Listen**

### Why Exceed 20kHz?!

- In order for a transducer to have a flat **phase response** up to 20kHz requires a flat magnitude out to 40kHz
  - By definition, at resonance, there is a 90deg phase shift
- But inaudible high frequency components, eg. 30k & 33kHz resonances, can produce intermodulation products that “beat” down into the audio band of frequencies

© Listen, Inc. 2016 11

High-Res Audio の測定には 192kHz のサンプリングレートと 24bit 以上のスペック、少なくとも 40kHz まで測定可能なマイクロホンが必需品である。100kHz 以上の計測が可能な 1/4 インチ、1/8 インチのマイクロホンもある。

B&K 社のマイクロホンハンドブックによると（下図）、振幅の特性が 40kHz までフラットであっても、位相特性が 40kHz までフラットとは限らない。最も高域までフラットな特性が伸びている 1/4 インチのマイクロホンでも、20kHz のところでは-30 度まで落ちていることは把握しておかなければならない。

**Listen**

### Phase Response of Measurement Mics

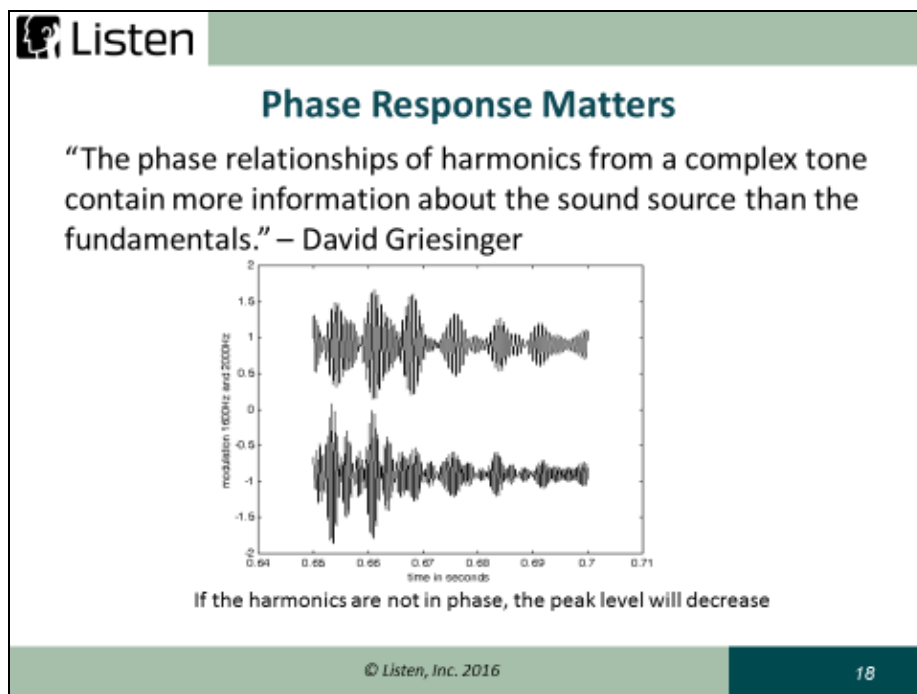
- From B&K Microphone Handbook
  - Even a 1/4 inch microphone only has a flat phase response to 1kHz!

Phase of frequency responses (pressure) for :

- 1 inch microphone
- 1/2 inch mic
- 1/4 inch mic

© Listen, Inc. 2016 17

また、図に見るとおり高調波成分の位相が合っていないとピークレベルは低くなる。下図の 2 つの信号は、実際に聴こえ方も異なる。David Griesinger 氏が「音源に関する情報は、基本波よりも位相特性から多くが得られる。」と述べている通り、位相特性の測定は重要である。



今回ご紹介するもう一つの興味深い実験は、異なる録音レベルの音源で行った車室内音響システムの歪の聴感実験である。先に行ったヘッドホンを使った聴感実験では、異なるヘッドホンを同じ特性にイコライズすることが難しく、訓練されたリスナーであっても聴こえる歪成分を特定してランク付けするには苦労が多かった。実験対象を車室内の音響システムに変更しラウドネスレベルが整えられた音源を基準の低歪ヘッドホンで再生することで、歪の聴こえ方 vs レベル、知覚される音質のインパクトに焦点を当てることが可能になった。

最初の実験は次ページ（上図）のシステム配置で、Head Acoustics 社の HATS とフロントエンドモジュールを使い、ボリュームレベル 20 から最大の 40 までを 2 メモリ刻みで 48kHz、24bit のバイノーラル録音し、これを Stax 社の SR303 ヘッドホンを再生用に用い、ITU-R 勧告 BS.1116-1 に基づき、隠れ基準付き 3 刺激二重盲検法で分散分析と t 検定を行った。

NISSAN INFINITI Listen

### Audio System Layout

- A typical sedan audio system was used for the study consisting of:
  - Head Unit
    - without distortion limiting
    - 25W continuous max output <10% THD
  - 6 speakers
    - 3.5" instrument panel
      - HP filtered at 1.2kHz 6dB/octave
    - 6.5" front door full range (low front location)
    - 6x9 rear parcel shelf full range



29

音源は一般音楽 CD で、男性ポップボーカル、女性ポップボーカル、ヒップホップソングの 3 曲。リスナーは 19-61 歳の 28 名（男性 26、女性 2）で中位年齢は 35.5 歳、大別すると熱心な音楽愛好家と時折音楽を楽しむタイプのリスナー。

各実験では、下図のようにリスナーの年齢や音楽愛好家であるかどうかによる有意差は認められず、曲の違い／音源の種類やボリュームレベルが重要であることが確認された。

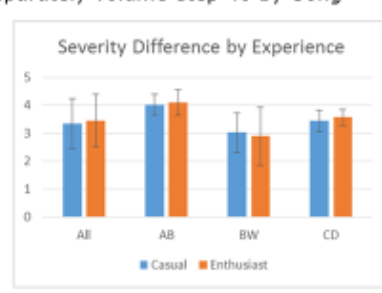
NISSAN INFINITI Listen

### Statistical Analysis: ANOVA & T-Tests

- T-Test : Listener Experience - Enthusiast vs Casual Listener

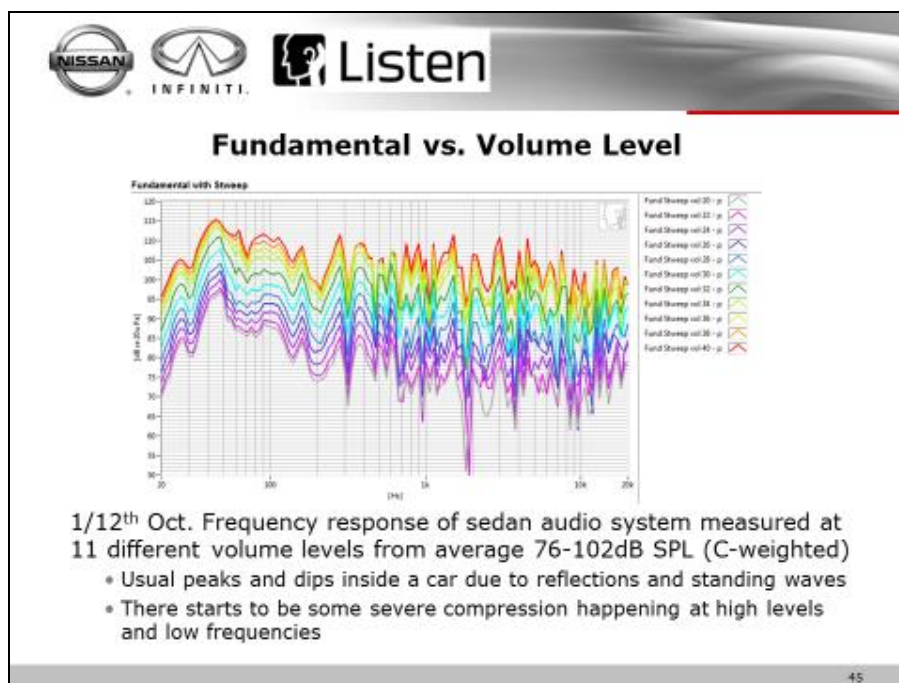
**No Significance**

- Performed two ways:
  - With all volume step 40 (max) combined
  - Separately volume step 40 by Song

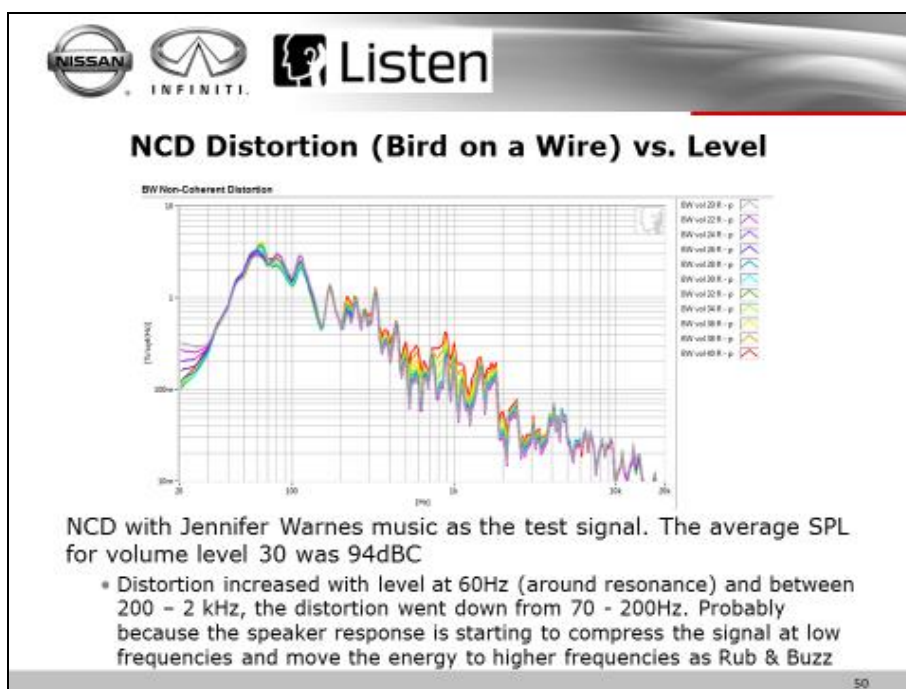


43

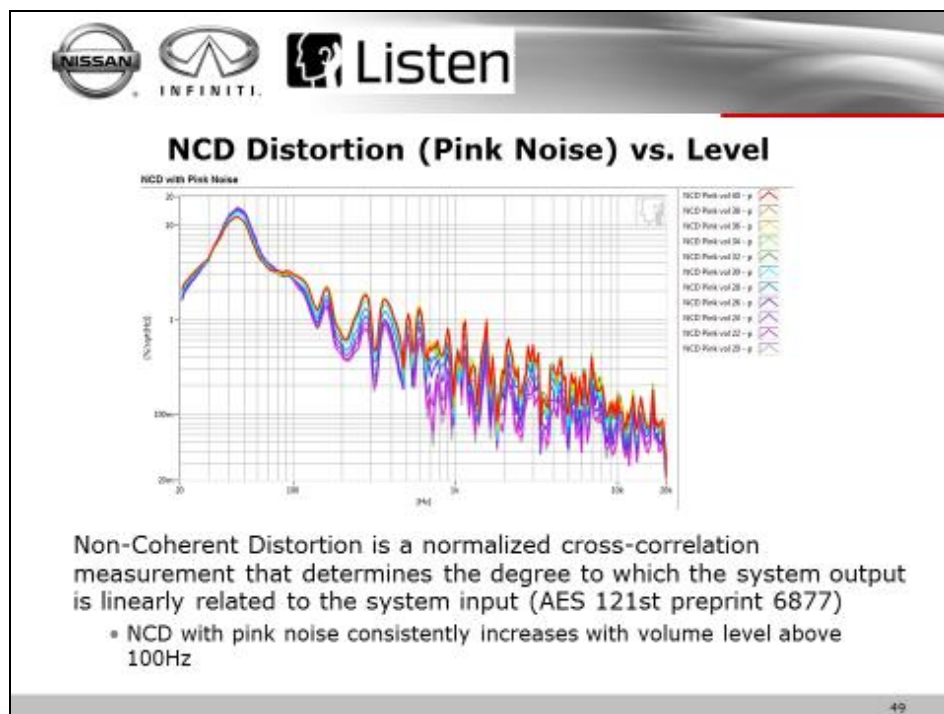
次の歪測定実験では前ページに記した同じ音楽信号を使って、11段階の再生ボリュームレベルの違いを THD、Perceptual Rub & Buzz、Total IMD および Non-Coherent Distortion (NCD) を用いて比較した。下図は 1/12 オクターブの周波数特性であるが、録音レベルの違いによる差が明確に表れており、THD、Perceptual Rub & Buzz および Total IMD でも同様であった。



一方、ノーマライズした相互相関測定である NCD では、下図（音源は前述の女性ポップボーカル、Jennifer Warnes の Bird on a Wire）のように再生レベルの差により受ける影響が少ないことが判る。



音源をピンクノイズ (1/12 オクターブ) に変えても同様の結果を得た。これらより、NCD と人間の耳との相関性が高いことが判る。



NCD の有効性については他のカーオーディオシステムやヘッドホンなどで更に進んだ試験を行い、知覚モデルへの応用を目指す。人の耳への聴こえ方と主観的品質を事前に知ることが出来るような歪計測方法を確立したい。

※ NCDに関する詳細： S.Temme, 121st AES Convention paper 6877 (2006年)

#### ■ 執筆者プロフィール



Steve Temme (スティーブ・テミー) Listen 社創業者・CEO

1985年にTufts大学機械工学科を卒業。Briel & Kjaer社にて電気音響測定アプリケーション、オーディオアナライザー等の開発に携わり、1995年にListen社を創業。ソフトウェアベースの音響計測システムSoundCheckの開発を続けながら音響試験に関する論文を多数発表し講演を行っている。Audio Engineering Society 会員。

なお、この内容に関するお問合せは、オーディオテック 寺岡 朋彦 [teraoka@audio-tech.jp](mailto:teraoka@audio-tech.jp) までお願いします。