

技術資料：FVN（周波数領域 velvet noise）ツール群

河原 英紀

1:11am, 2019 年 8 月 19 日
(Start date: July 10, 2019, 7/11, 8/16)

目 次

1	はじめに	1
2	allInOneFVNmeasurement:FVN による音響測定	2
2.1	説明	2
2.2	使い方	2
2.2.1	対象とする音響系	2
2.2.2	較正：規定値での使用	2
2.2.3	測定：規定値での使用	3
2.2.4	分析と資料化	5
2.3	規定値以外での較正と測定	5
2.3.1	非線形成分の計測が不要な場合：簡易測定	6
2.3.2	非線形成分を調べる場合：較正音圧の設定	6
2.3.3	その他の引数	7
2.4	関数の Help	7
2.4.1	呼び出し方	7
2.4.2	入力引数の説明	8
2.4.3	出力の説明	8
3	oneThirdSpecDisplayForFVN:測定状況の表示	10
3.1	説明	10
3.2	使い方	10
3.2.1	関数の呼び出し方	12

4	standingWvViewer:対話的実時間音響特性計測、ステレオ用	13
4.1	測定系の設定と動作の説明	13
4.2	操作法	14
4.2.1	マイクロフォンの感度の較正	15
4.2.2	測定時のマイクの動かし方と、妨害音について	15
4.3	表示される情報	15
4.3.1	振幅周波数特性：1/3 オクターブ平滑化：左上のグラフ	16
4.3.2	インパルス応答：14 ms まで：左下のグラフ	16
4.3.3	インパルス応答：全体、dB 表示：右下のグラフ	17
4.3.4	室内音響（定在波）確認用応答表示：右上のグラフ	17
4.4	操作ボタン	17
4.5	記録されるデータ	18

図目次

1	測定結果の表示例。青線：インパルス応答から求められた振幅周波数特性。線形成分に対応する。赤線：振幅周波数特性に含まれる暗騒音の影響。黄色の破線：システムの非線形性により生じた成分。これらの値は、1/3 オクターブ幅の矩形関数により平滑化されている。自乗平均値。	5
2	簡易測定の結果。非線形成分の測定が省略されている。	7
3	非線形成分の音圧レベル依存性。	8
4	上左：A 特性で重みづけられた音圧レベルの軌跡。上右：試験信号と暗騒音のパワースペクトル。縦軸は FFT-bin 毎の音圧レベル。下：試験信号と暗騒音の平滑化されたパワースペクトル。縦軸は、横軸の周波数を中心とする 1/3 オクターブの範囲に含まれる成分の音圧レベル。	11
5	実時間対話的音響計測ツールを使用する際の、機器の接続。	13
6	実時間対話的音響計測ツールの起動時の画面。右端の上にある棒グラフは、MSB を 0 dB とした、入力レベル表示。9 秒後から下のように測定結果が表示され始める。	14
7	実時間対話的音響計測ツールの測定実行中の画面。左上は、1/3 オクターブで平滑化した伝達特性と誤差、左下は、インパルス応答、右上のグラフは、350Hz までの、平滑化なしの伝達特性と誤差。右下は、長時間のインパルス応答の絶対値 (dB 表示)、右端の上にある棒グラフは、MSB を 0 dB とした、入力レベル表示。	16

表 目 次

- 1 FVN の個数と計測応答の長さによる、測定に要する時間（単位：秒）の変化。 6

1 はじめに

ここでは周波数領域 velvet noise[1, 2] を用いたツール群 [3] と、その基盤となる関数群について説明する。最初のリリースでは主に音響測定への応用 [4, 3] について説明する。

2 allInOneFVNmeasurement:FVN による音響測定

FVN に基づいた音響測定に必要な、較正、測定、分析、記録を一括して行う関数。

2.1 説明

この関数は、音響システム（例えばスピーカーからマイクまで）のインパルス応答と、測定時の暗騒音と、暗騒音による測定結果への影響、線形成分では説明できない成分（システムの非線形性により生ずる入力信号に依存する成分）を測定する。また、そのために必要な録音系の感度の較正と、測定結果の分析と資料化を行う。これらが、一つの関数としてまとめられている。

2.2 使い方

MTLAB の command window で、関数の名前（allInOneFVNmeasurement）を打ち込んでリターンキーをタイプすると、以下の説明 2.4 にある関数の Help 情報が表示される。

2.2.1 対象とする音響系

マイクとスピーカーが、MATLAB が動作するマシンに接続されている系。正しく較正できるためには、測定対象のマイクに、較正に用いる装置のマイクを近づけることができる構造になっている必要がある。（較正しない場合には、不要）マイクとスピーカーは、同一の内部クロックで A/D 変換と D/A 変換が動作している必要がある。（クロックの同期を確認するためのツールを用意してある。）

2.2.2 較正：規定値での使用

ここでは、予め設定されている条件で使用する場合について説明する。MTLAB の command window で、以下をタイプしリターンキーをタイプする。

```
allInOneFVNmeasurement('calibration')
```

すると、以下が表示されて、11 秒間、雑音のように聴こえる試験信号がスピーカーから出力される。

```
Test signal plays 13 seconds.
```

```
Adjust the test signal level to 80 dB at the microphone
```

この試験音が出ている最中に、測定対象のマイクに、較正に用いる装置のマイクを近づけて音圧レベルを測定する。音圧レベルの測定は、A-weight fast の設定 [5, 6] で行う。(特に指定しなければ、この設定になっている装置が多い)

この較正用の装置の音圧レベルの値が 80 dB となるように、マシンあるいは、マシンに接続されているオーディオインタフェースの volume つまみを操作する。

試験音が終わると、以下のいずれかのメッセージが出力される。

マイクの感度が適切な場合

OK! MaxValue: XXXX

(XXXX には、マシンに取り込まれた信号の絶対値の最大値が表示される。信号は-1 と 1 の間の値を取る) また、この後には関数からの戻り値が表示される。戻り値は無視してかまわない。

マイクの感度が低すぎる場合

Increase the mic sensitivity. MaxValue: XXXX

マイクの感度が高すぎる場合

Reduce the mic sensitivity. MaxValue: XXXX

なお、音圧レベルの調整が終わる前に試験音が終わってしまう場合には、もう一度以下をタイプしリターンキーをタイプして試験音を再生して、音圧レベルの調整を続ける。

```
allInOneFVNmeasurement('calibration')
```

標準の設定では、試験音の長さが 13 秒で、かなり短い。まず、最初はスピーカーから出る音の音圧レベルを調整する。音圧レベルを設定した後で、メッセージを確認し、必要な場合には、マイクの感度を調整するとよい。

2.2.3 測定：規定値での使用

ここでは、予め設定されている条件で使用する場合について説明する。MTLAB の command window で、以下をタイプしリターンキーをタイプする。

```
allInOneFVNmeasurement('XXXXXXXX')
```

ここで、“XXXXXXXX”には、“calibration”以外の任意の文字列を書き込む。書き込んだ文字列は、出力される図のタイトル欄に表示される。

上記の命令をタイプすると、以下が表示されて、11 秒間、雑音のように聴こえる試験信号がスピーカーから出力される。

Measurement starts. Be quiet for 34 seconds. Please.

音が停止した後の 25 秒程度は、測定を行なっている環境の暗騒音を測定している。測定が終わって、図 1 に示すようなグラフが表示され、command window に以下のような出力が表示されるまで、物音を立てないように待つ。

```
fvnFile: 'fvnMin200ms'
averagedThirdOctaveResponse: [1 × 16384 double]
averagedThirdOctaveNonlinearComp: [1 × 16384 double]
averagedThirdOctaveBackground: [1 × 16384 double]
    averagedResponseWaveform: [15876 × 1 double]
    individualResponseWaveform: [15876 × 4 double]
    averagedBackgroundWaveform: [15876 × 1 double]
    individualBackgroundWaveform: [15876 × 4 double]
    memoText: 'test'
    number_of_FVNs: 4
    responseLength: 0.3000
    soundPressureLevel: 80
        signalRange: [294135 310010]
        backgroundRange: [792464 808339]
    samplingFrequency: 44100
    modeOfOperation: 'measurement'
    creationDate: '10-Jul-2019 23:46:27'
    levelStructure: [1 × 1 struct]
    elapsedTime: 37.1656
    recordedWaveform: [1510400 × 1 double]
```

測定が終了すると、命令を実行したディレクトリに、以下のようなファイルが出力される。

```
-rw-r--r--  1 kawahara  staff    961551  7 10 23:46 fvn44k20190710T234626.eps
-rw-r--r--  1 kawahara  staff    4531244  7 10 23:46 fvn44k20190710T234626.wav
-rw-r--r--  1 kawahara  staff    93931780  7 10 23:46 fvn44k20190710T234626.mat
```

ファイル名（例えば“fvn44k20190710T234626”の部分）は、日付と時刻から自動的に生成され、重複しない。拡張子“eps”は、図 1 に対応する画像ファイルを表す。拡張子“wav”は、この測定で録音された信号のオーディオファイルを表す。規定値では WAVE 形式、44100 Hz、24 bit で記録されている。拡張子“mat”は、測定条件などと分析結果全てを含んだ MATLAB の“mat”形式のファイルであることを表す。このファイルには、録音された信号は含まれていない。

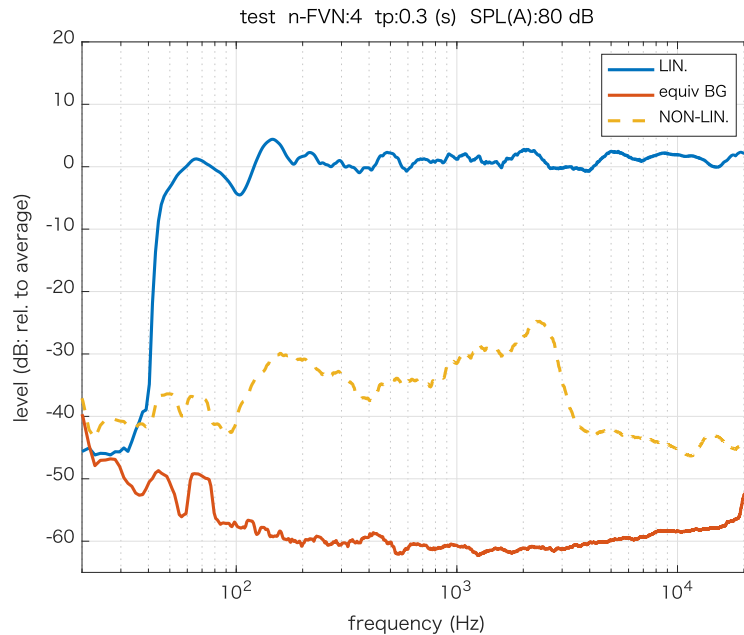


図 1: 測定結果の表示例。青線：インパルス応答から求められた振幅周波数特性。線形成分に対応する。赤線：振幅周波数特性に含まれる暗騒音の影響。黄色の破線：システムの非線形性により生じた成分。これらの値は、1/3 オクターブ幅の矩形関数により平滑化されている。自乗平均値。

2.2.4 分析と資料化

規定値での測定では、簡単な資料として拡張子“eps”を持つ図が出力される。測定条件などと分析結果全てを含んだMATLABの“mat”形式のファイルと、録音された信号のオーディオファイルを読み込んで詳細な資料を作成することができる。詳細な資料化のためのツールは別に用意する。

2.3 規定値以外での較正と測定

関数“allInOneFVNmeasurement”は、以下の引数を用いて呼び出すことができる。

```
output = allInOneFVNmeasurement(memoText, number_of_FVNs, response_length, spl, exmode)
```

実際の測定に用いる際には、最初の引数以外は省略することができる。目的に応じて、これらの引数を設定することができる。

表 1: FVN の個数と計測応答の長さによる、測定に要する時間（単位：秒）の変化。

response length	#FVN=2	#FVN=3	#FVN=4	#FVN=5	#FVN=6
0.3 (default)	18	24	34	55	98
0.2	10	14	21	35	63
0.1	5	7	10	17	31

2.3.1 非線形成分の計測が不要な場合：簡易測定

非線形成分の測定が不要な場合には、短時間で測定を終えることができる。まず、引数 “number_of_FVNs” の値として “2” あるいは “3” を設定する。この場合には、非線形成分の測定を行わない。また、引数 “response_length” の値を規定値の 0.3 秒よりも短くする。通常の室内でスピーカーとマイクの距離が数 m 以内であれば、0.1 秒としても問題は無い。これらの値の組合せと、測定に要する時間を表 1 に示す。表では、非線形成分の計測を行う場合についても記した。

図 2 に、簡易測定の例を示す。振幅周波数特性は、いずれもほとんど同じである。暗騒音の影響は、FVN の個数を 3 とした方が少なくなっている。これは、実質的な同期加算回数が多いためである。

2.3.2 非線形成分を調べる場合：較正音圧の設定

非線形成分は入力に依存して変化する。その影響を調べるためには、異なった音圧レベルでの測定が必要となる。引数 “spl” を設定することで、影響を調べることができる。

ここでは、スピーカーの軸上 50 cm での音圧レベルが 70 dB の場合と 85 dB の場合について測定した。まず、以下の命令で試験信号を再生して音圧レベルを較正する。

```
allInOneFVNmeasurement('calibration',4, 0.3, 70)
```

音圧レベルが設定できたら、以下の命令で測定を実行する。

```
allInOneFVNmeasurement('test',4, 0.3, 70)
```

実際の実験では、“test” の部分に、実験の条件などのメモを記す。音圧レベル 85 dB についても、同様に較正し、測定する。

図 3 に、測定結果を示す。70 dB の場合と比較すると、85 dB では、非線形成分が 10 dB 以上も増加している。なお、著者が音楽を鑑賞する通常の音圧レベルは 65 dB から 70 dB 程度である。スピーカーからの距離は、ほぼ 1 m である。

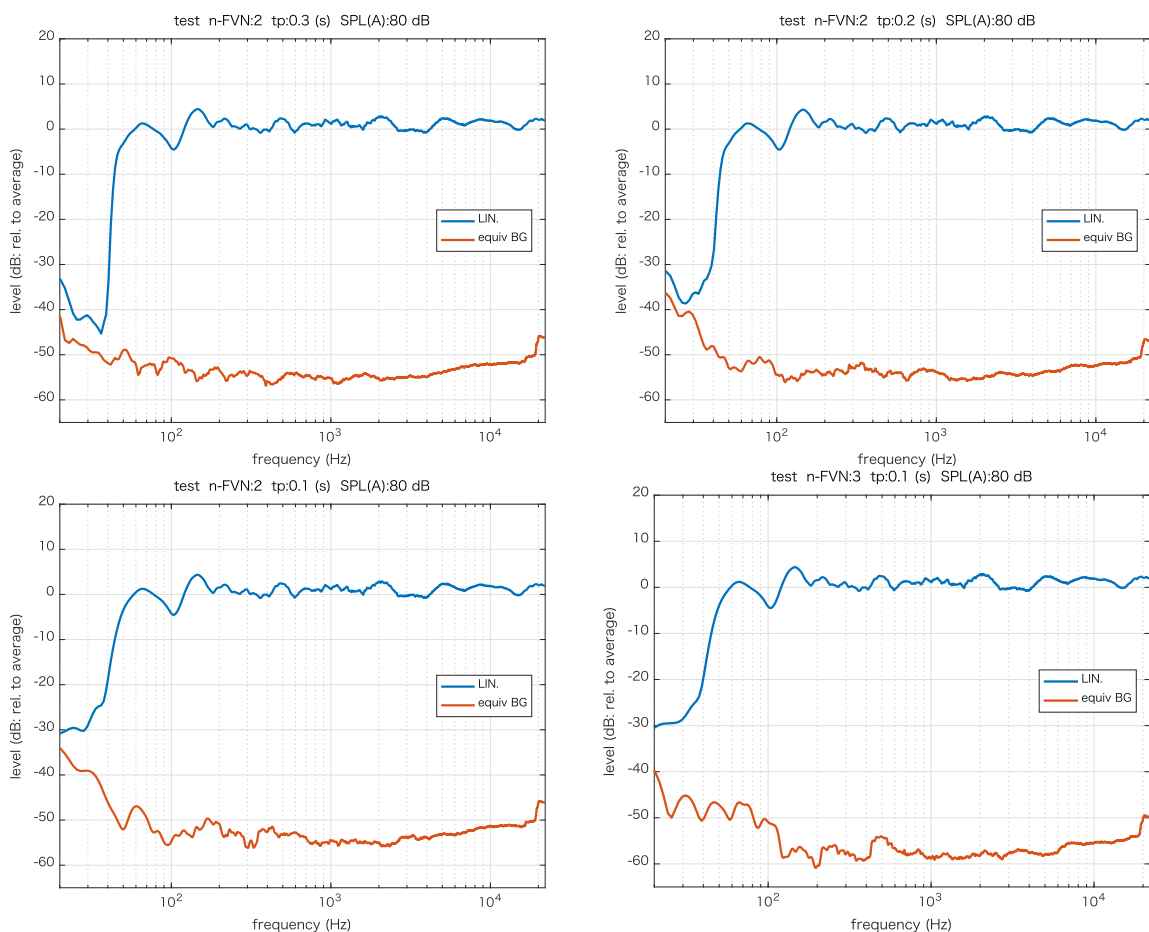


図 2: 簡易測定の結果。非線形成分の測定が省略されている。

2.3.3 その他の引数

引数“exmode”は、測定の拡張条件を設定するための部分であり、現在は、“measurement2ch”だけが実装されている。この条件では、右チャンネルも同時に記録される。例えば、信号をスピーカーに送ってからマイクに届くまでの時間を測定するために用いることができる。

2.4 関数の Help

2.4.1 呼び出し方

% Acoustic impulse response and nonlinear component measurement

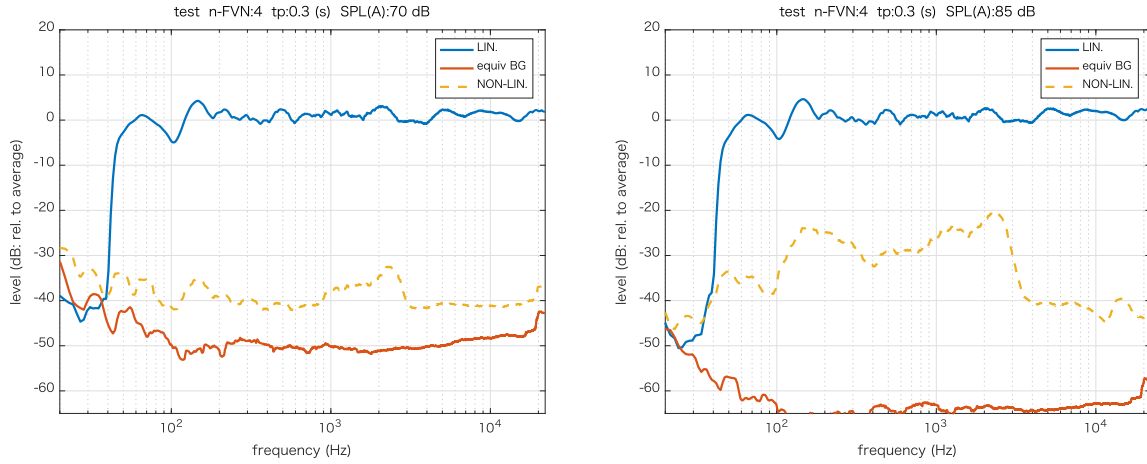


図 3: 非線形成分の音圧レベル依存性。

```
% How to call
% output = allInOneFVNmeasurement(memoText)
% output = allInOneFVNmeasurement(memoText, number_of_FVNs)
% output = allInOneFVNmeasurement(memoText, number_of_FVNs, response_length)
% output = allInOneFVNmeasurement(memoText, number_of_FVNs, response_length, spl)
% output = allInOneFVNmeasurement(memoText, number_of_FVNs, response_length, spl, exmode)
```

2.4.2 入力引数の説明

```
% Argument
% memoText      : text string
% number_of_FVNs : number of FVN sequences for nonlinearity measurement
%                must be equal or larger than 4.
%                The default value is 4.
% response_length : observation length of the impulse response (s)
%                The default value is 0.3 (s)
% spl           : sound pressure level at microphone in A-weighting (dB)
%                The default value is 80 dB
% exmode        : execution mode selector
%                'measurement', 'measurement2ch', 'calibration', 'diagnosis'
%                default 'measurement'
```

2.4.3 出力の説明

```
% Output
```

```

% output      : structure with the following fields
%              Field name explains itself
%              averagedThirdOctaveResponse: 1-d vector double
%              averagedThirdOctaveNonlinearComp: 1-d vector double
%              averagedThirdOctaveBackground: 1-d vector double
%              averagedResponseWaveform: 1-d vector double
%              individualResponseWaveform: matrix
%              averagedBackgroundWaveform: 1-d vector double
%              individualBackgroundWaveform: matrix
%              memoText: text string
%              number_of_FVNs: integer
%              responseLength: double (s)
%              soundPressureLevel: double (dB)
%              signalRange: indecies of start and end
%              backgroundRange: indecies of start and end
%              samplingFrequency: double (Hz)
%              creationDate: text string
%              levelStructure: structure with calibration info.
%              elapsedTime: double (s)
%              recordedWaveform: 1-d vector double

```

3 oneThirdSpecDisplayForFVN:測定状況の表示

FVN による音響測定関数 “allInOneFVNmeasurement” で録音された信号の音圧レベルと暗騒音の音圧レベル、パワースペクトルを表示する。

3.1 説明

A 特性の周波数重み付けを信号に行い、fast と slow の軌跡を表示する。また、パワースペクトルそのものと、1/3 オクターブで平滑化した、試験信号と暗騒音を表示する。

3.2 使い方

以下のように、“allInOneFVNmeasurement” により記録されたファイルを読み込み、関数に信号と標本化周波数、較正を行なった音圧レベルを与えて実行させる。

```
>> [x,fs] = audioread('fvn44k20190710T234626.wav');  
>> oneThirdSpecDisplayForFVN(x, fs, 80)
```

ここで、“>>” は、MATLAB からのプロンプトである。

すると、すぐに以下の出力と図 4 に示すようなグラフが表示される。¹

```
sigWavePower: 2.3887e+08  
time_axis: [1510400 × 1 double]  
fastSPLdB: [1510400 × 1 double]  
slowSPLdB: [1510400 × 1 double]  
rawLevelAnalysisStructure: [1 × 1 struct]  
signalPowerSpectrum: [1048576 × 1 double]  
backgroundPowerSpectrum: [1048576 × 1 double]  
frequencyAxisPowerSpec: [1048576 × 1 double]  
fft1: 1048576  
samplingFrequency: 44100  
signalOneThirdDB: [524288 × 1 double]  
backgroundOneThirdDB: [524288 × 1 double]  
frequencyAxisOneThird: [524288 × 1 double]  
calibrationFactor: 113.3825
```

¹この測定は、閑静な住宅街で家人が寝た後にエアコンなどの騒音を出す機器を止めて行われた。用いたマイクは DPA-4066 で、等価入力雑音レベルは 26 dB である。図 4 の時系列とスペクトルを見ると、1 kHz 以上での暗騒音は、マイクから発生する固有雑音によると考えられる。

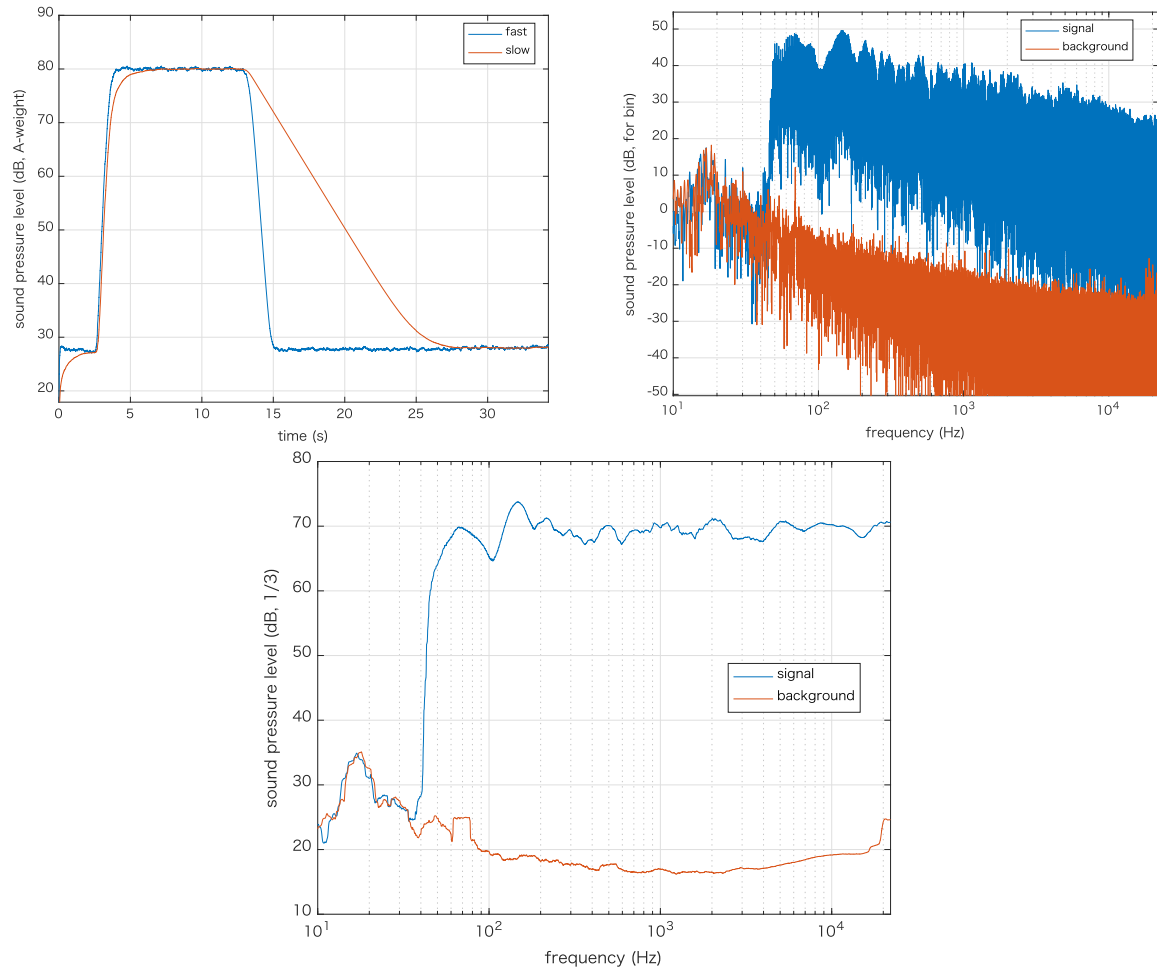


図 4: 上左：A 特性で重みづけられた音圧レベルの軌跡。上右：試験信号と暗騒音のパワースペクトル。縦軸は FFT-bin 毎の音圧レベル。下：試験信号と暗騒音の平滑化されたパワースペクトル。縦軸は、横軸の周波数を中心とする 1/3 オクターブの範囲に含まれる成分の音圧レベル。

これらの情報を用いると、図 4 に示すグラフと同じものを描くことができる。また、最後のフィールド “calibrationFactor” に示された値 $c_{f\text{dB}} = 113.3825$ を用いると、記録された信号の値 $x(t)$ を物理的に意味のある単位 (Pa) で表された信号の値 $p(t)$ に換算することができる。(音圧レベルの基準となるレベルである 0 dB は、 $20 \mu\text{Pa}$ である。) そのためには、

信号の値に係数 $10^{c_{f\text{dB}}/20}$ を掛ける。

$$p(t) = 10^{c_{f\text{dB}}/20} x(t) \quad (1)$$

これらの図は表示されるだけなので、必要に応じてファイルに記録する。

3.2.1 関数の呼び出し方

関数 “oneThirdSpecDisplayForFVN” の呼び出し方を以下に示す。

```
output = oneThirdSpecDisplayForFVN(x, fs, spl, displayOn, msgText)
```

引数 “x” は、記録された信号を表す一次元のベクトル, 引数 “fs” は、標本化周波数を表すスカラー, 引数 “spl” は、較正された音圧レベルを表すスカラーである。これらは省略できない。以下の引数は省略できる。

引数 “displayOn” は、図を表示するかを指示するスイッチで “1” の場合には表示し、“0” の場合には表示しない。規定値は “1” である。引数 “msgText” は、図のタイトルに表示される文字列。規定値は空白である。

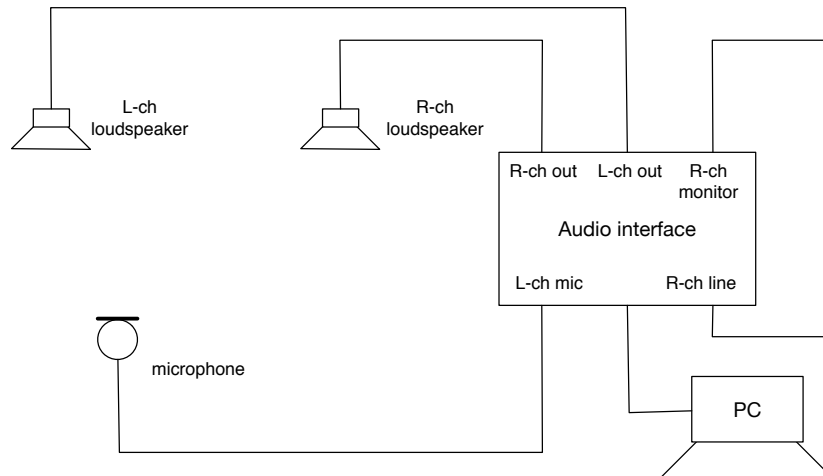


図 5: 実時間対話的音響計測ツールを使用する際の、機器の接続。

4 standingWvViewer:対話的実時間音響特性計測、ステレオ用

FVN による室内音響の実時間での対話的計測を行うアプリケーション。

4.1 測定系の設定と動作の説明

対話的に二つのスピーカからマイクまでの伝達特性、インパルス応答、低域の特性、残響、レベルを測定し、表示する。本ツールを使用するための装置の設定を図に示す。

同時に複数のチャンネルのインパルス応答を求めるために、二つの直交系列（左チャンネルは、同一の極性、右チャンネルは、交番する極性）を用いて異なったFVNの極性を設定した二系列の試験信号を、それぞれ左と右のスピーカから再生する。スピーカから再生された音は、左チャンネルのマイク入力に接続した一個のマイクで収録している。また、時間軸の基準として、モニター出力の右チャンネルを、ライン入力の右チャンネルに加えている。オーディオインタフェースは、ステレオのモニタ出力と、二系統のマイクあるいはライン入力があれば良い。今回は、44,100 Hz の標本化周波数を用いている。

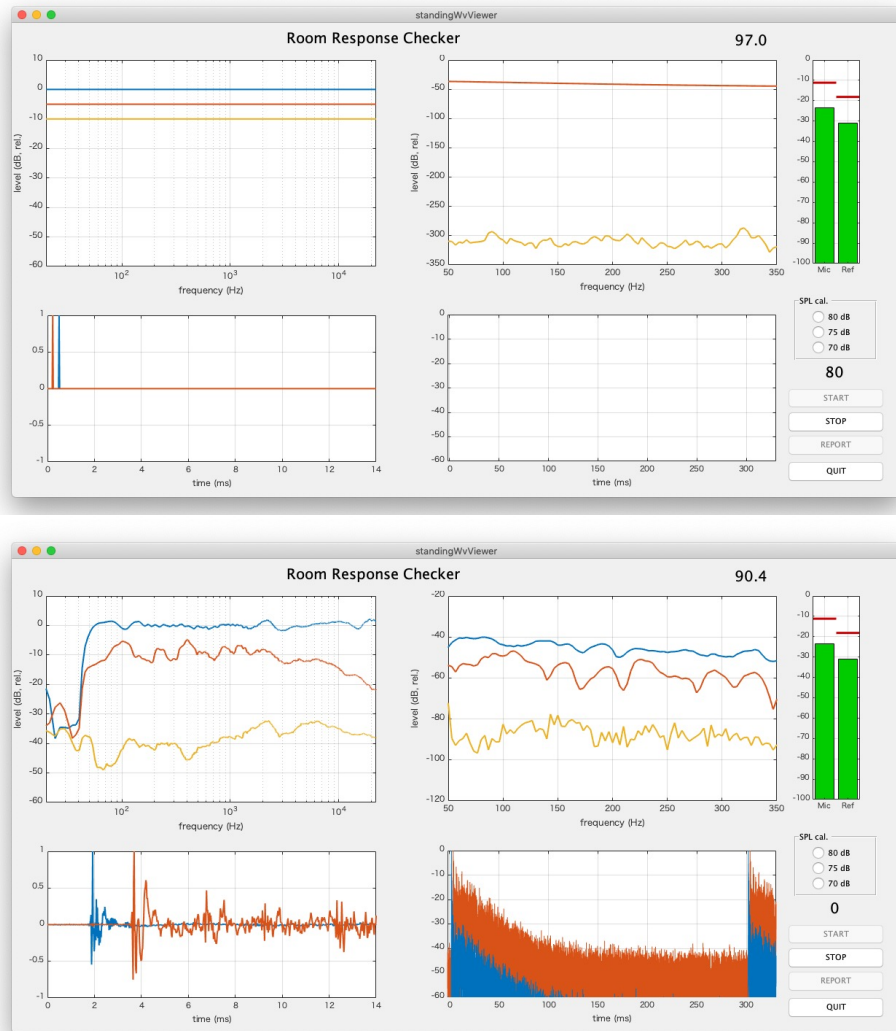


図 6: 実時間対話的音響計測ツールの起動時の画面。右端の上にある棒グラフは、MSB を 0 dB とした、入力レベル表示。9 秒後から下のように測定結果が表示され始める。

4.2 操作法

図 5 のように接続したシステムで MATLAB を起動し、command window で以下の命令を入力することによりアプリケーションを起動する。

`standingWvViewer`

起動すると、図 6 の上に示すインターフェースが表示されて数秒後から測定用の信号（雑音のように聴こえる）が始まり、9 秒後から、図 6 の下に示すような測定結果が表示され始め

る。ここで、右端の中段にある“SPL cal.”と記されたパネルを利用して、使用するマイクロフォンの感度を校正し、測定を開始する。“Mic.”と書かれた棒グラフが、L-ch mic の入力を表し、“Ref.”と書かれた棒グラフが、R-ch line の入力を表す。棒グラフの長さは、入力の最大値を 0 dB と定義した表示での入力の自乗平均値（RMS: Root Mean Squared）を表す。赤い横棒は、画面の更新周期ごとの入力の絶対値の最大値を表す。

4.2.1 マイクロフォンの感度の校正

この段階では、レベル表示だけを使う。インタフェースの他の表示は無視する。まず、入力レベルが過大になっていないことを確認する。目安は、赤い横棒が -6 dB を超えないことである。そのような状態で、緑の棒の長さは、長い方がよい。

使用しているマイクのすぐ近くに、音圧レベルの測定に用いることのできる騒音計（IEC レベル 1、あるいは 2）のマイクを保持して音圧レベルを監視する。ここで、再生系の音量を調整して、騒音計が示す音圧レベル（A 特性での dB）が、80 dB, 75 dB, 70 dB のいずれかになるようにする。また、マイクの感度も、この節の最初で説明したように調整する。調整を終え、音圧レベルが安定した時点で、“SPL cal.”と記されたパネルの該当するレベルのラジオボタンをクリックする。すると、画面の表示が図 7 のように変化し、測定が開始される。この例では、音圧レベルを 80 dB と設定した。

4.2.2 測定時のマイクの動かし方と、妨害音について

このツールでは、測定対象が線形時不変システムであることを前提としている。インパルス応答を求める際に用いる一つの FVN の長さは、求めるインパルス応答の長さの 10 倍以上になる。そのため、このツールの既定値として用いている 300 ms というインパルス応答の場合、正しく応答を測定するには、マイクが 4~5 秒以上静止している必要がある。マイクの移動が無視できない場合には、誤差が増加する。

L-ch, R-ch に加えた FVN に基づく試験信号は、FVN の配置間隔の逆数の 1/2 のみに成分を有する。これらの成分を取り除いた信号には、暗騒音と、システムの線形時不変性からの外れによる成分が含まれる。これらを逆フィルタ（FVN およびピンクノイズ）処理した結果は、計測結果に含まれる誤差の目安を与える。

4.3 表示される情報

図 7 に示した測定中の画面には、以下のような情報が表示され、リアルタイムに更新される。具体的な更新内容は、ツールの MATLAB の関数 `stadingWaveViewer` のソースコードの 255 行目から始まる内部の関数 `update_display` に記述されている。

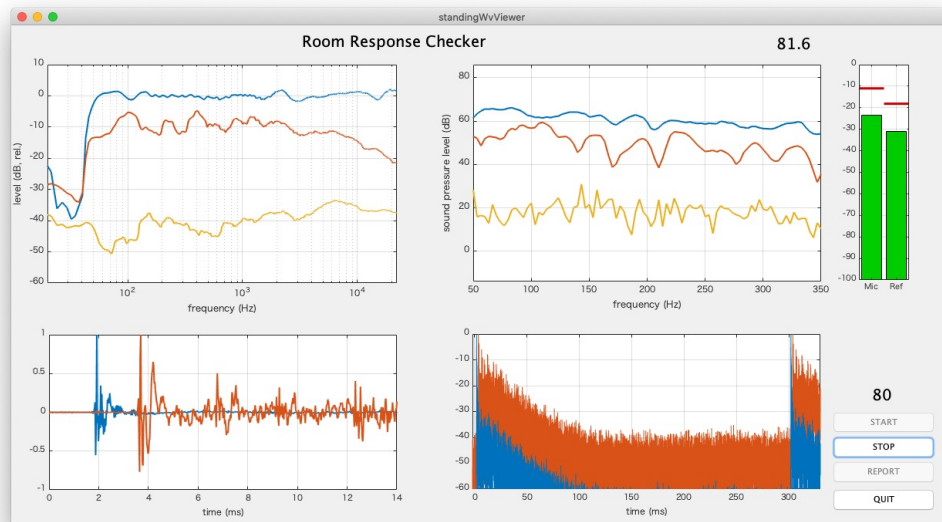


図 7: 実時間対話的音響計測ツールの測定実行中の画面。左上は、1/3 オクターブで平滑化した伝達特性と誤差、左下は、インパルス応答、右上のグラフは、350Hz までの、平滑化なしの伝達特性と誤差。右下は、長時間のインパルス応答の絶対値 (dB 表示)、右端の上にある棒グラフは、MSB を 0 dB とした、入力レベル表示。

4.3.1 振幅周波数特性：1/3 オクターブ平滑化：左上のグラフ

図 7 の左上に表示される。求められたインパルス応答から各周波数でのパワーを求め、1/3 オクターブ幅の矩形の平滑化関数により平滑化した結果を表示している。青線が左チャンネル、赤線が右チャンネル、黄色の線が誤差成分を表す。

ここでは、表示を見易くするために、振幅伝達特性の平均値が大きな方のチャンネルの平均値が 0 となるように、全ての表示に同一のバイアスを加えている。振幅伝達特性の平均値は、100 Hz から 10 kHz までの 1/24 オクターブ毎の、平滑化された振幅伝達特性の値の自乗平均値を用いる。図 7 に示した例では、左チャンネルの平均値が 0 dB となるように設定されている。

4.3.2 インパルス応答：14 ms まで：左下のグラフ

図 7 の左下に表示される。左右の各チャンネルのインパルス応答を、それぞれの最大振幅で正規化して表示している。ここでも、青線で左チャンネル、赤線で右チャンネルの応答を

示す。この例では、マイクに近い位置（距離 26 cm）にある左チャンネルのスピーカからの応答では、直接波が支配的であり、反射波の影響はほとんど見えない。一方、マイクから遠い位置（距離 85 cm）にある右チャンネルのスピーカからの応答では、直接波に比べて反射波が大きいため、直接波の応答が減衰した部分に多数の波が見える。インパルス応答は、加えたインパルスの時刻を 0 として表示している。

4.3.3 インパルス応答：全体、dB 表示：右下のグラフ

図 7 の右下に表示される。ここでは、横軸の範囲を FVN の配置間隔よりもやや広く設定して、インパルス応答全体（と次のインパルスに対する応答の最初の部分）を表示している。ここでも、青線で左チャンネル、赤線で右チャンネルの応答を示す。インパルス応答は指数関数的に減衰するため、ここでは、インパルス応答の絶対値を、片対数（縦軸を dB）で表示している。ここでも、それぞれのチャンネルの応答の最大値が 0 dB となるように設定している。

4.3.4 室内音響（定在波）確認用応答表示：右上のグラフ

図 7 の右上に表示される。FVN によりパルス圧縮された信号は、左チャンネルは nf_0 に、右チャンネルは $(n - 1/2)f_0$ の成分から構成されている。ここで f_0 は、FVN の配置間隔の逆数である。それぞれの成分の中間で値が 0 となるような窓関数を用いて信号を分析し、成分の周波数を中央とする f_0 幅の区間で積分したパワーを表示している。その際、マイク感度の較正結果を用いて、0 dB = 20 μ Pa とする音圧レベルを縦軸として表示している。ここでは正の周波数と負の周波数のパワーを合計してあり、標本化周波数の半分までの成分を合計すると、波形のパワーと一致する。

ここでも、青線で左チャンネル、赤線で右チャンネルのパワーを示す。黄色の線は、誤差成分のパワーを示す。この例では、マイクに近い左側のスピーカの音は、ほぼ直接音に支配されており、ほぼ平坦な特性を示すのに対し、マイクから遠い右側のスピーカの音は、部屋の定在波を反映した間接音に支配されている様子が認められる。

4.4 操作ボタン

この GUI は、右の最上部にあるカウンターが正の間、動き続ける。この状態で操作できないボタンは、薄い色になり操作できない状態であることを示している。以下のボタンがある。

START 停止している状態から再起動する。

STOP 動作中に動作を停止する。

REPORT 停止時の画面を EPS ファイルとして記録し、得られたデータをファイルに記録する。ファイル名は、日時に基づいてユニークに設定される。

QUIT ツールを終了する。

4.5 記録されるデータ

以下にファイルに記録される構造体変数と内容を示す。

`measuredData =`

フィールドをもつ `struct`:

```
    recordedWave: [308701 × 2 double]
        x10rg: [79380 × 1 double]
        x20rg: [79380 × 1 double]
        x30rg: [79380 × 1 double]
        x1: [79380 × 1 double]
        x2: [79380 × 1 double]
        x3: [79380 × 1 double]
        x_ref: [79380 × 1 double]
reference_location: 27780
    zero_idx: 88
    calLevel: 80
    levelBias: 111.1546
samplingFrequency: 44100
```

それぞれのフィールドを、以下に説明する。

`recordedWave` 録音されたデータ。

`x10rg`, `x20rg`, `x30rg` 対応する FVN によりパルス復元された、左、右、誤差信号。

`x1`, `x2`, `x3`, `x_ref` パルス復元された信号を pink noise (LPC により近似した IIR) の逆フィルタにより白色化した、左、右のインパルス応答、誤差信号と、LINE 入力の右チャンネルに記録された、モニターの右チャンネルの信号。

`reference_location` モニター信号から求めた、インパルスの開始位置。

`zero_idx` 表示用の定数。2 ms に対応するサンプル数。

calLevel 較正した際に用いた音圧レベル。A 特性。dB

levelBias 信号を較正された音圧レベルに換算するための係数。dB。 $10^{\text{levelBias}/20}$ 倍し、さらに 2×10^{-5} 倍することで、信号を物理的に意味のある圧力の単位 Pa を用いて表すことができる。

samplingFrequency 標本化周波数。Hz

参考文献

- [1] 河原英紀, 津崎実, 坂野秀樹, 森勢将雅, 松井淑恵, and 入野俊夫, “velvet noise とその変種の聴覚心理・生理研究への応用可能性について,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol. IEICE-117, no. 470(HIP), pp. 99–104, 2017.
- [2] H. Kawahara, K.-I. Sakakibara, M. Morise, H. Banno, T. Toda, and T. Irino, “Frequency domain variants of velvet noise and their application to speech processing and synthesis,” in *Proc. Interspeech 2018*, Hyderabad, India, 2018, pp. 2027–2031.
- [3] 河原英紀, 榊原健一, and 水町光徳, “周波数領域 velvet noise を用いた音響計測手順の拡張について,” 電子情報通信学会技術研究報告（応用音響）, vol. IEICE-119, no. 115, pp. 77–82, 2019.
- [4] 河原英紀, 森勢将雅, and 水町光徳, “周波数領域 velvet noise とパワースペクトルの静的表現を用いた音響計測の可能性について,” 電子情報通信学会技術研究報告（応用音響）, vol. IEICE-118, no. 190, pp. 89–96, 2018.
- [5] 日本規格協会, 電気音響-サウンドレベルメータ（騒音計）- 第一部：仕様, 2019, JIS C 1509-1:2017, (IEC 61672-1:2013).
- [6] 日本電気計測器工業会. 5-3 騒音・振動計測器. (Access:10-July-2019). [Online]. Available: <https://www.jemima.or.jp/tech/5-03.html>