

# FFT\_Analyzer (Ver.1.1) の使い方と実験例

## 1. ソフトウェアの概要

- ① Windows PC 用のソフトウェアである（プログラムから Mac 版、Linux 版も作成可能）。インストールしないで利用できる。PC の適当な場所（デスクトップ等）において起動すればよい。
- ② マイクロフォンから音を入力して、その周波数分布をリアルタイムに表示する。
- ③ 表示画面を単一画像または連続画像として簡単に保存できる。
- ④ 測定範囲は 10 ～ 3000Hz である。プログラムの一部を変えると測定範囲を簡単に変更できる。
- ⑤ 測定の精度（周波数分解能  $\text{BandWidth} = \text{samplerate} / \text{buffersize}$ ）は 10Hz である。  
（ $\text{samplerate} = 40960$  ,  $\text{buffersize} = 4096$  に設定してある）

## 2. 使い方

### ① 起動

実行ファイル FFT\_Analyzer.exe をダブルクリックする。

### ② 縦軸の倍率（感度）

1 から 5 の範囲で上下の矢印キーで変更可能（↑キーで 1 増、↓キーで 1 減）。初期値は 3。画面の左上に「sensitivity 4」のように表示される。

### ③ フレームレート

毎秒描画する回数を示す frameRate は左右の矢印キーで変更可能（→キーで 10 増、←キーで 10 減）。範囲は 10 から 60、初期値は 30。画面の左上に「frameRate 20/sec」のように表示される。

### ④ 一時停止及び解除

S キーを押すと一時停止状態になる。一時停止中は画面上に「Stop」の表示ができる。もう一度 S キーを押すと一時停止状態の解除になる。

### ⑤ 画面サイズ切り替え

F キーを押すと画面サイズが（1200,600）と（840,420）に交互に切り替わる。初期値は（1200,600）、単位は pixel。

### ⑥ 窓関数 Hamming オン・オフ切り替え

H キーを押すと窓関数 Hamming をオン・オフ出来る。初期状態はオフ。

（窓関数については 4. 資料の③参照）

### ⑦ 保存画像名入力テキストボックス表示

T キーを押すと保存画像につける名前を入力するテキストボックスが表示される。「onsa」、「音叉」等適当な名前を入れると保存ファイル名に反映する。初期値は「img」（何もしないとこの名前が付く）。

### ⑧ 画像保存

Enter キーを押すとそのときの画面の画像を保存する。保存ファイルは tiff 形式で、img1.tif、img2.tif のように連番になる。保存先は〈実行ファイルが入っているフォルダ〉である。一時停止中も機能する。保存画像サイズは、画面サイズが（1200,600）のとき 2.0MB、（840,420）のとき 1.0MB。

## ⑨連続画像保存

スペースキーを押すと連続的に画面の画像を保存する。保存停止はもう一度スペースキーを押す。停止しないと 10 秒後に自動的に保存停止になる。保存中は画面上方に赤丸が付く。一時停止中は連続画像保存機能は無効である。また、連続画像保存中に S キーを押して一時停止状態にすると、その後の連続画像保存は解除される。保存ファイルは tiff 形式で c\_img1.tif、c\_img2.tif のように連番になる。保存先は〈実行ファイルが入っているフォルダ〉である。フォルダ内に以前に保存した画像が残っていると、新たに FFT\_Analyzer を起動して画像を保存するときに、同じ名前のファイルが存在すれば上書きされてしまう。注意が必要である。測定を終えてソフトウェアを終了したときには、保存画像を名前を付けたフォルダに入れて整理しておくことが重要である。

## ⑩キー割り当て説明画像の表示・非表示

I キーを押すと表示・非表示が切り替わる。非表示状態で測定可能。初期画面はこの画像が表示されている。

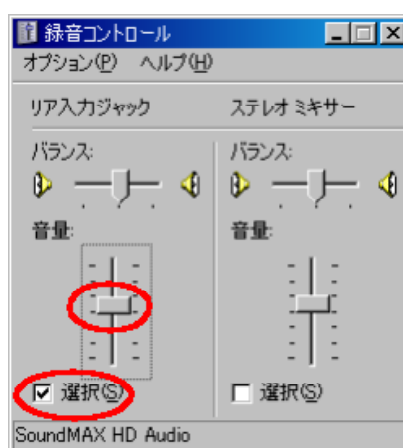
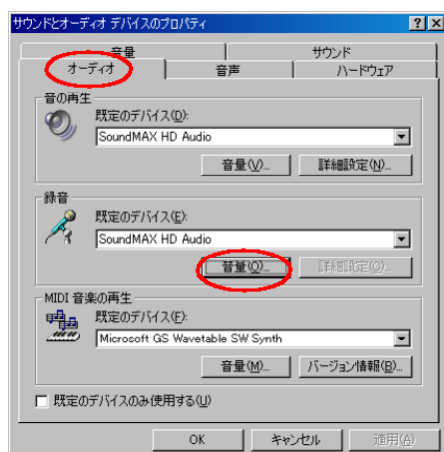
画面の上部に表示 : frameRate sensitivity window function Stop (一時停止時表示) 赤丸 (連続画像保存時点灯)

### FFT\_Analyzer がアクティブなときキー操作が有効



## ⑪マイクロフォンの設定

マイクロフォンを P C に接続して、使用可能状態に設定する。



## windows XP の場合

スタート→設定→コントロールパネル→サウンドとオーディオデバイス→「オーディオ」を選択して録音の「音量」をクリック→録音コントロールを表示  
(タスクバーにある音量アイコンを右クリックして「ボリュームコントロールを開く」→「オプション」→「プロパティ」→「録音」を選択して録音コントロールを表示 という方法でも良い)

録音コントロールでマイク (PC によってはリア入力ジャック等) を選択する。  
入力レベルを適当に設定する (ここで入力レベルを変えることができる)。

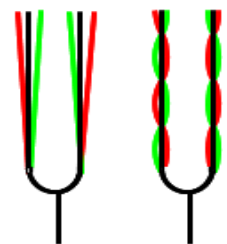
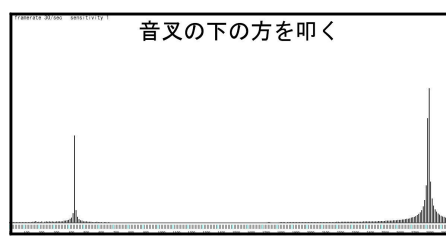
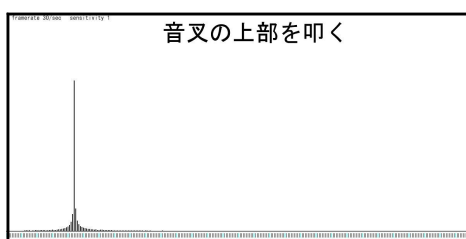
## 3. 実験例

画像を見やすくするため、ネガ・ポジ反転で表示している。Hamming 窓はオフ。

### Enter キーを押して画像を保存する方法で実験

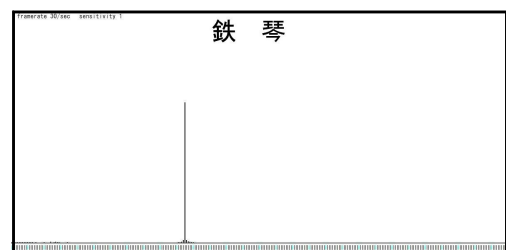
#### ①音叉

共鳴箱をつけないで、440Hz の音叉の上部をゴム球でたたくと左図のようになるが、音叉の下の方を強くたたくと右図のようになり、2820Hz 位の音も出ていることがわかる。音叉はそれぞれ右のような振動をしているようである。



#### ②鉄琴

鉄琴をかかると基本音だけが出ている様子が見える。



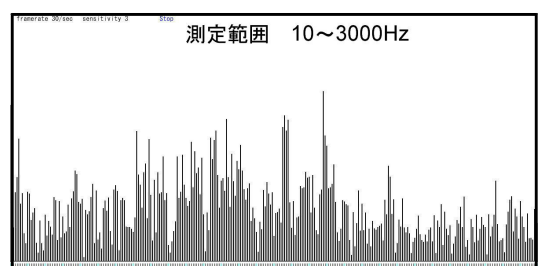
#### ③ホイッスル

ホイッスルを吹くと、さまざまな周波数の音が出ていることがわかる。

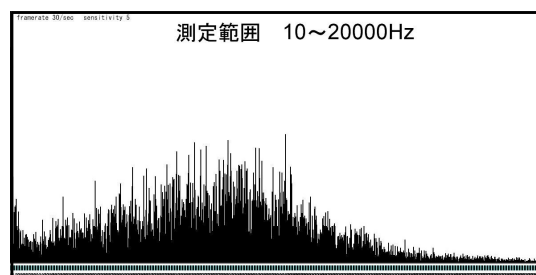


#### ④ポリ袋を手でもんだときの音

ポリ袋を手で軽くもんだときの周波数分布である。低周波から 3000Hz ほどの音まで実に沢山の音が出ている様子が見える。プログラムを変えて、2万 Hz まで表示できるようにす

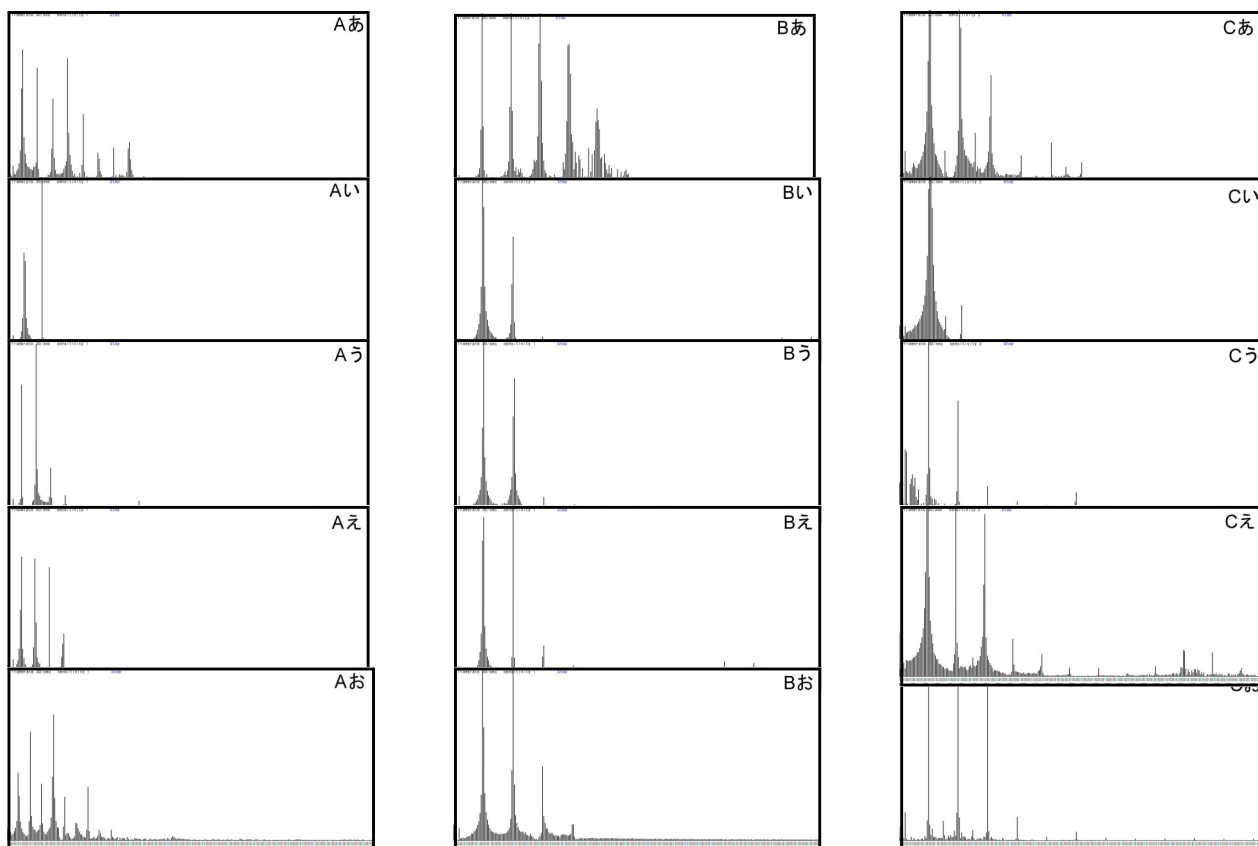


ると右図下のようなになる。右端が2万 Hz なの  
 でおよそ1万5千 Hz までのかなり高音も出て  
 いる様子がわかる。このようにプログラムを  
 一部変えるだけで簡単に測定範囲を変更でき  
 る。



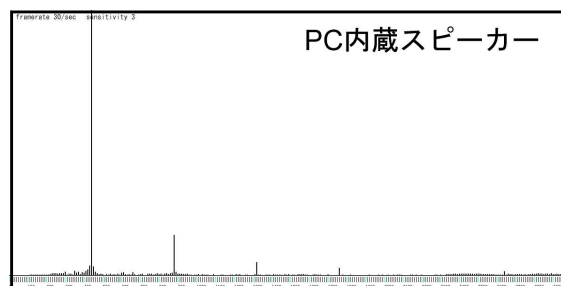
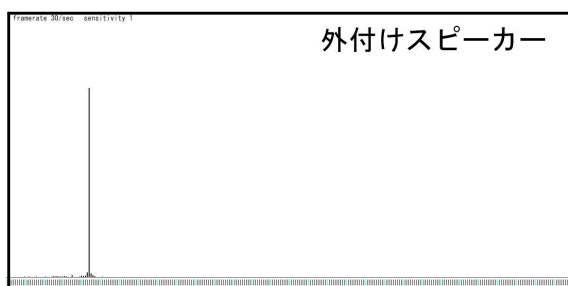
## ⑤ 母音

3人の母音を表示する。上から「あ、い、う、え、お」。縦の列が同一人物。  
 周波数分布が母音ごとに異なるが、人が違ってもそれぞれの母音は同じような分  
 布になっていることがわかる。



## ⑥ PC 内蔵スピーカーからの倍音

PC から発振器（連続低周波発振器やはつね Generato 等）で 438Hz の正弦波に  
 して、外付けスピーカーから音を出し、それをマイクロフォンに入力して周波数  
 分析すると 440Hz にピークが出る（左図）。ところが PC 内蔵スピーカーから音  
 を出すと 440Hz 以外に 880Hz、1320Hz、1760Hz の音が出ていることがわかる（右  
 図）。それぞれ 2 倍音、3 倍音、4 倍音になっている。発振周波数以外の音が出  
 ているのは、電気回路の問題ではなく、PC 内蔵スピーカーの形状やサイズ等の問  
 題であると思われる。

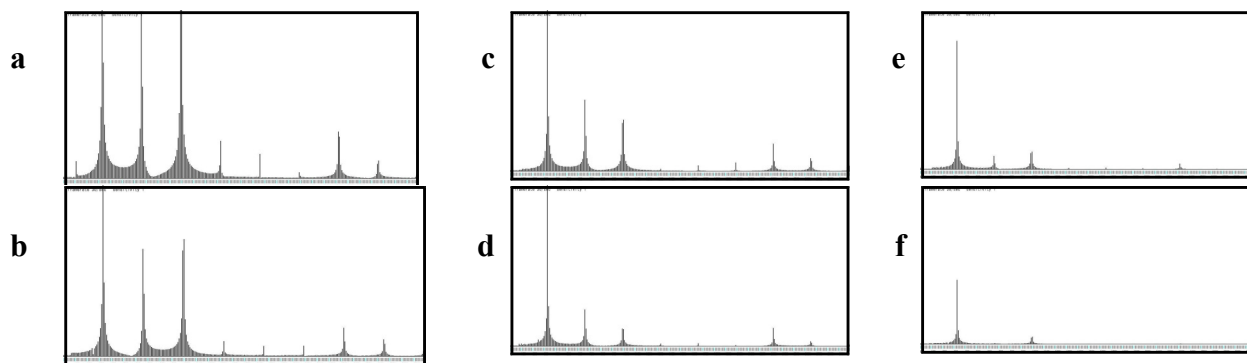


## スペースキーを押して画像を連続保存する方法で実験

短時間に変化する現象を把握するために連続的に画像を保存して分析する。

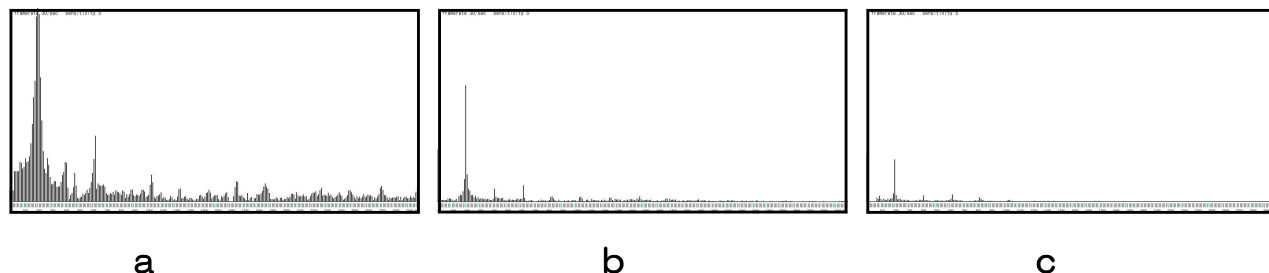
### ⑦ギターの弦の振動

スペースキーを押してからギターの弦を弾いて、出てくる音が短時間に変化する様子を調べる。画像は a から f の順番である。最初は強い倍音も出ているが次第に基本音だけになっていくことがわかる。



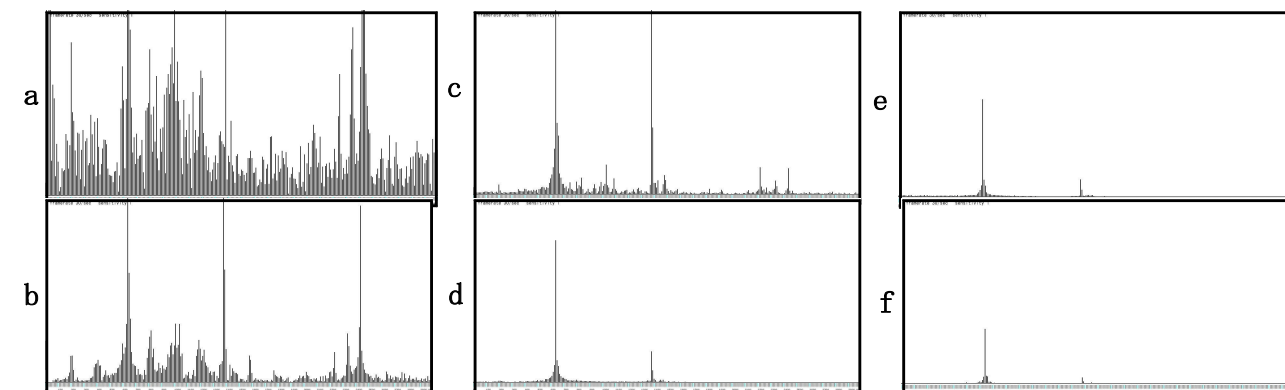
### ⑧輪ゴムの振動

輪ゴムを適当に引っ張って、指で弾くとギターと同じように基本音だけが残っていく様子が見える。画像はabcの順番である。



### ⑨電気スタンドの傘の振動

電気スタンドの傘（右写真）を金属棒でたたく。最初、広範囲の周波数の振動が出ているが、次第に傘の固有振動数になっていく様子が見える。画像は a から f の順番。

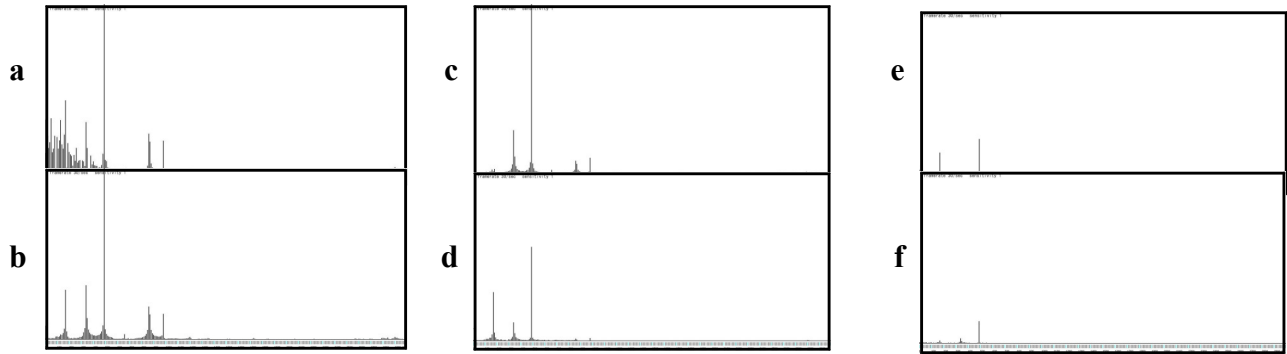


### ⑩金属製ボールの振動

直径 26 cmの金属製ボール（右写真）をゴム球でたたく。電気



スタンドの傘同様、次第に固有振動数に落ち着いていくことがわかる。画像は a から f の順番。



## 4. 資 料

### ①スペック（機種）の違いによる「連続画像保存」数

A：ASUS EeePC Intel Atom 1.6GHz 0.99GB RAM Windows XP

B：HP Intel Core2 1.66GHz 0.99GB RAM Windows XP

C：HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP

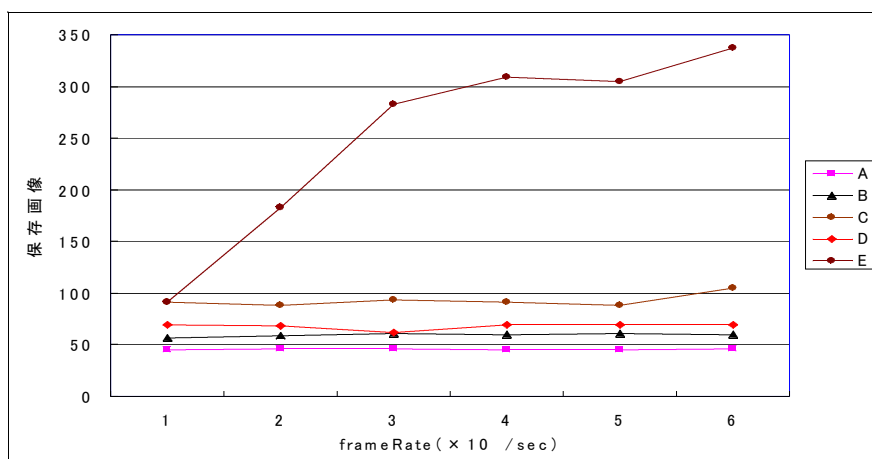
D：Lenovo Inter Core2 duo 2.33GHz 1.96GB RAM Windows XP

E：HP Inter Core i7 2.80GHz 8GB RAM Windows 7

上記5台のPCによる測定結果のデータ及びグラフを示す。

画面サイズ 1200 × 600 tiff 形式で保存 どれも画像サイズは 2.0MB

frameRate \ PC	A	B	C	D	E
10	45	57	91	69	91
20	46	59	88	68	183
30	46	61	94	62	283
40	45	60	91	69	309
50	45	61	88	69	305
60	46	60	105	69	337





サイズを 840 × 420 にすると画像サイズは 1.0MB になり、保存画像数も 1.5 倍から 2 倍に増える。

以上の測定は、このソフトウェアに設定してある、スペースキーを押して 10 秒後に自動的に画像保存が停止する仕組みを使った。プログラムは時間（秒）の計算に PC の時計を使っているのでスペースキーを押すタイミングによって実際の画像保存時間は 9 秒より大きく 10 秒以下になる。

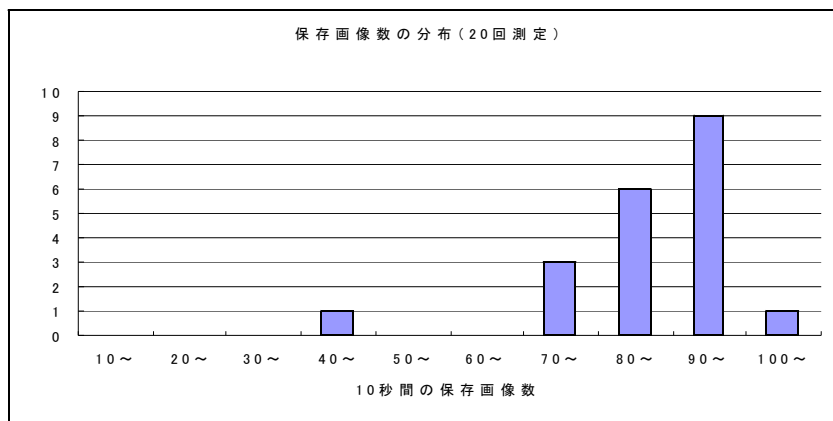
スペックが高くない PC ではむやみに frameRate を大きくしても意味がない。

## ②ばらつき度

画面サイズ 1200 × 600、保存データ数を 20 回測定（測定値は下の表）。使用 PC は上記の C（HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP）。frameRate20、ストップウォッチで 10 秒間測定。

同一条件で測定しても、保存画像数にはかなりのばらつきがあることがわかる。

回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
画像数	76	96	95	89	91	97	80	49	92	106
回	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
画像数	97	98	90	91	89	80	78	80	78	84



前頁のデータのグラフ

## ③窓関数について

どのような波形も正弦波と余弦波の無限級数によって表現することが出来る（フーリエ級数）。波形の周波数分析を PCで行うためには、音声等の連続した変化を、一定間隔に区切って点で示す必要がある。このようにすると有限の時間で計算処理することが出来る。これが DTF（離散フーリエ変換）である。これを高速処理できるようなアルゴリズムで処理したものが FFT（高速フーリエ変換）である。

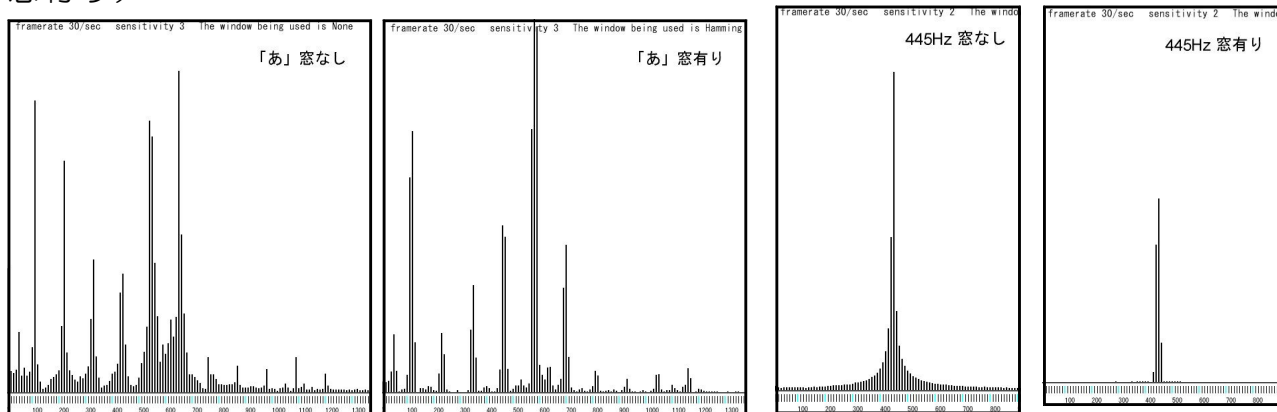
しかし、FFT は切り出すデータが次に切り出すデータと連続的に繋がっていて、且つ周期的に変化しているという仮定で計算しているが、実際のデータはそうっていない。従って FFT を実行すると漏れ誤差（leakage）が発生する。これを減らすために、切り出したデータに窓関数といわれる関数を掛ける。この窓関数は代表的なものでも 6 種類ほどあり、それぞれ特長がある。

Processing の Library のひとつ Minim に用意されている窓関数（Window Function）

は「Hamming」だけであるが、Window(HAMMING)というコードだけで実行させることができるので、大変簡単である。

精度（分解能）は窓関数をかけない方がよいが、漏れ誤差は大きい。Hamming 窓はダイナミックレンジ、精度の両方をバランスよく備えているので音声分析にはよく使われる。漏れ誤差を小さくしてスペクトルをきれいに表示したいときには Hamming 窓を使うとよい。窓関数の詳細についてはインターネットで検索したり書籍を見てほしい。また、WaveSpectra WS140 (<http://www.ne.jp/asahi/fa/efu/>) のヘルプに詳しく書かれており、非常に参考になる。

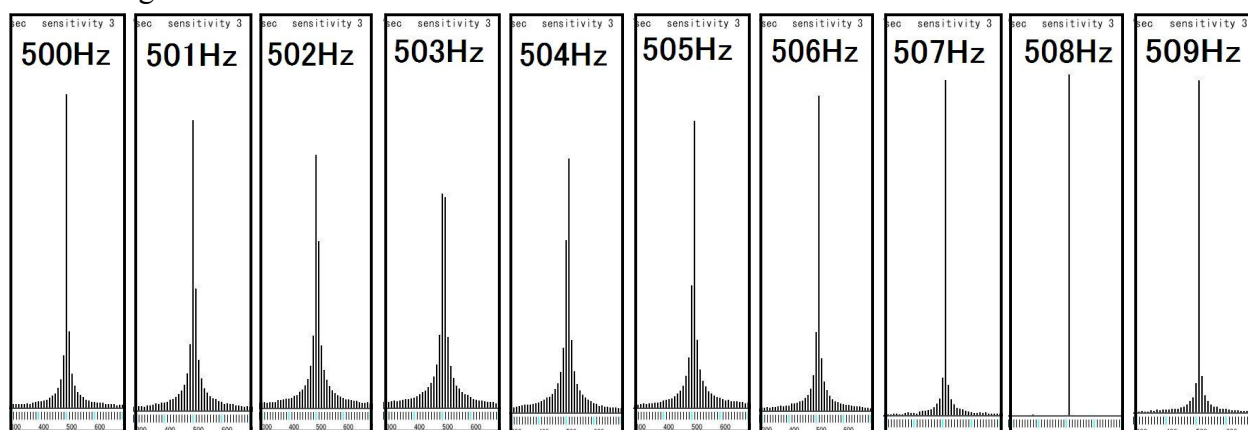
窓関数を使うと計算が余計に入ってくるが、10秒間の保存画像数を測定してみると、Hamming 窓を使っても使わなくてもほとんど差は無かった。保存画像数に大きく影響するのは画像表示なので、これを多くしたいときは B キーを押して表示画面を小さくするとよい。以下に Hamming 窓を使った場合と使わなかった場合を載せる。（左から母音「あ」窓なし、窓有り、445Hz の正弦波窓なし、窓有り）



#### ④単一周波数の表示のされ方

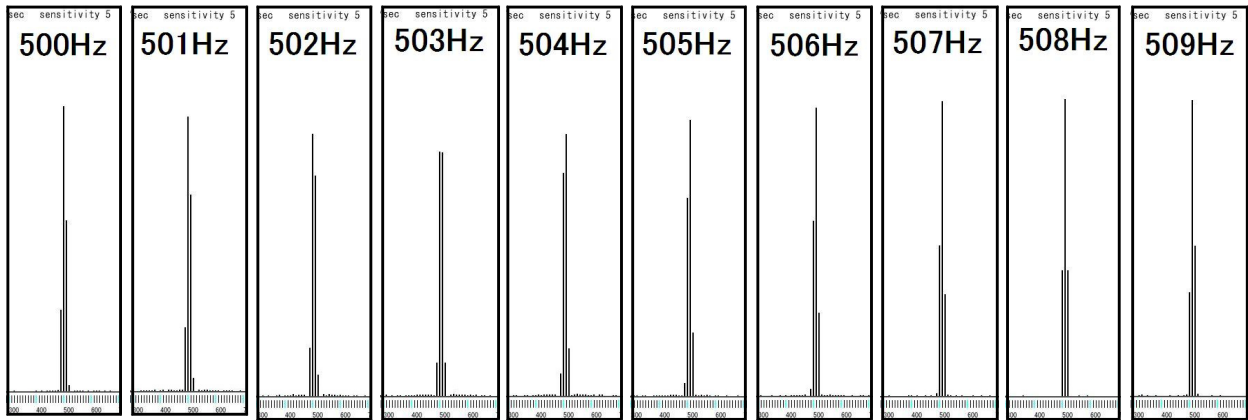
発振器から正弦波を発振して FFT 分析すると本来の周波数のところに一本の線（スペクトル線）が出られると思うが、上記で説明したように漏れ誤差が発生して本来の周波数の前後にスペクトルが表れる。この様子を 500Hz から 509Hz まで 1Hz ずつ増加して測定した様子を図示する。Hamming 窓無しと有りを表示する。300Hz から 700Hz の範囲をトリミングしてネガポジ反転処理をして表示している。PC は HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP を使用した。

〈Hamming 窓無し〉





## 〈Hamming 窓有り〉



図を見ると、500Hz から 509Hz の範囲では 503Hz の時、〈500Hz のスペクトル〉と〈510Hz のスペクトル〉がほぼ同じ高さ（強さ）になっている。しかし、周波数帯が変われば〈半々〉になる周波数も変わってくる。また、PC の機種が変わればサウンドデバイス等の影響を受けて〈半々〉になる周波数も変わる。

## 5. 開発環境

開発言語 Processing1.5.1

使用 PC HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP SP3

## 6. 動作確認

Windows XP / Vista / 7 / 8 で動作確認済み

Processing は Java をベースに 2001 年に開発されたプログラミング言語なので、実行環境として Java がインストールされていることが必要である。実行ファイルをダブルクリックしたとき「javaw.exe が見つかりません」と表示されたら、PC に Java のホームページから Java をダウンロードしてインストールすると正常に起動する。

## 7. Processing を学習するためのウェブサイトの紹介

以下のウェブサイトは Processing の基礎を学習する上で大変参考になった。

### ① Processing 導入 - 教員のためのプログラミング入門

<http://wiki.bmoon.jp/wiki.cgi/Programming?page=Processing%C6%B3%C6%FE>

### ② Processing 学習ノート

<http://www.d-improvement.jp/learning/processing/#>

### ③ Processing 基礎最速入門

<http://www.catch.jp/wiki/?Processing%B4%F0%C1%C3%BA%C7%C2%AE%C6%FE%CC%E7>

### ④ Processing 入門講座

<http://ap.kakoku.net/>

### ⑤ Processing によるデータ視覚化: 第 1 回 言語と環境

<http://www.ibm.com/developerworks/jp/opensource/library/os-datavis/>

## 8. その他

### ①エラー表示

Processing2.0 で「スケッチ」から Windows の実行ファイルを作り、この実行ファイルから起動しようとしたとき「Java Virtual Machine Launcher Could not find the main class.」等のエラー表示が出ることがある。このときは最新の Java をインストールすると解決する。

### ②用語のまとめ

FFT に関しては、色々なウェブサイトや書籍で説明されている。その中で使われている語句がまちまちであるので、混乱しやすい。一部をまとめて表示する。

(a) 連続的なデータを離散的なデータにする（標本化する）ときの1秒間の数

samplerate（単位は/sec） サンプリグ周波数（単位は Hz） サンプリグ数

(b) 一度に処理するデータ数

バッファサイズ(buffer size) サンプルデータ数 サンプル数 サンプリグ点数  
フーリエ変換するデータ点数

(c) FFT の結果得られる最小感度の周波数の幅

（最小）周波数分解能 精度 BandWidth

### ③バッファサイズ・サンプリグ周波数の取り得る範囲

このプログラムではバッファサイズ＝ 4096、samplerate ＝ 40960、精度＝ 10Hz である。今バッファサイズを半分の 2096、samplerate も半分の 20960 にすると、精度は 10Hz と上と同じになる。一見どちらでもよいように見えるが、バッファサイズを小さくすると FFT の結果、表示される値と本来の値との間にズレが生じることがある。

参考に、精度を変えた場合も以下に載せておく。プログラムを変えて、測定精度を変えることが簡単にできるが、正常に表示される範囲について注意する必要がある。さらに、ナイキスト定理により、測定可能周波数はサンプリグ周波数の2分の1であることも考慮する必要がある。

下記範囲よりバッファサイズを小さくすると、実際の周波数と表示される周波数の間にズレが生じる。精度を高めるためには、バッファサイズを大きくしなければならないが（Hamming 窓を掛けても同じ）、下記範囲より大きくすると、表示されなくなる。計算量が飛躍的に増え、PC の能力を超えるためである。1Hz の場合は表示に遅れが生じる。以下に測定結果を示す。

測定結果 使用 PC：HP Inter pentium dual 1.80GHz 2.99GB RAM Windows XP SP3

「連続可変低周波発振器」で正弦波を発振して調べた。frameRate は 30/sec。

《各精度ごとのバッファサイズの取り得る範囲》

精 度 \ 4096 の倍率	1/2	1	2	4	8	16	32
10Hz							
5Hz							
2Hz					●		
1Hz						●	

#### ④精度と連続画像保存の関係

WaveSpectra WS140 (efu) のヘルプに詳しく書いてあるが、精度が 10Hz の場合、本来の結果を得るためにはデータが 0.1 秒間程変化しないことが要求される。連続画像保存で每秒 10 駒 (frameRate10) より大きくした場合、測定対象の時間変化量について考慮する必要がある。

#### ⑤フリーソフト・オープンソース

このソフトウェアはフリーソフトウェアとして公開している。また、ソースコード (Processing ではスケッチという) も公開しており、自由に変更して使っていただけるようにしている。

2014 年 2 月  
札幌北高等学校定時制課程教諭  
高木伸雄