

計測コラム emm143 号用

音の測定事例 — 第7回「FFT 分析とオクターブバンド分析（その3）」

今回は前々回、前回（2013 年 4 月、6 月）に引き続き、オクターブバンド分析と、FFT 分析の 2 つの方法による分析結果を紹介します。

今回の分析対象は、コーヒー缶の打撃音と、自転車のベル音の 2 つです。いずれも衝撃的な音で継続時間が短いもので、その音圧レベルを測定する際でも、分析方法や分析条件により測定結果が異なってきます。この現象はとくに測定対象物の動作確認や良否判定の際の閾値の定め方に大きく影響します。

● コーヒー缶の打撃音の分析

コーヒー缶の打撃音は次のような信号です（波形データ内をクリックすると、WAV ファイルが開き、実際の音を聞くことができます）。

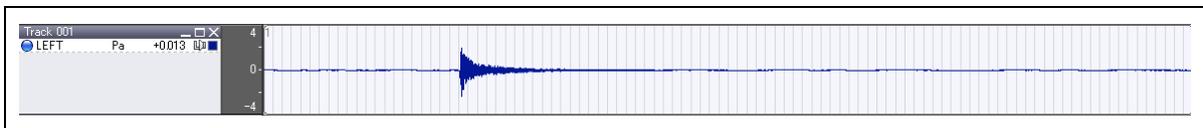


図1 コーヒー缶の打撃音（データ長；1 秒）

(1) コーヒー缶の打撃音の FFT 分析

コーヒー缶の打撃音のような衝撃音で、継続時間が短く、FFT 時間長のうちにほぼ無音になる場合は、トリガをかけ FFT 分析する方法が使われます。

コーヒー缶の打撃音を FFT 分析した結果を図 2、図 3 に示します。周波数レンジは 25 kHz、窓関数はレクタングラウインドウで、トリガをかけて分析しました。サンプル点数は 4096 点および 16384 点で、それぞれ FFT 時間長は 64 ms、256 ms になります。

Overall 値は、サンプル点数 4096 点（64 ms）のとき 83.56 dB、16384 点（256 ms）のとき 77.72 dB となり一致しません。パワースペクトルの各周波数成分の値、東ねオクターブの各バンドの値も同様に一致しません。Overall 値は、時間波形の振幅 2 乗値の平均値に一致しますので、FFT 時間長が長いと後半の無音部分も平均に加えられてしまい、サンプル点数が多い（FFT 時間長が長い）ほど測定値は小さくなります。理論上は時間長が倍になると 3 dB 下がります。



図2 コーヒー缶の打撃音のFFT分析結果 (25 kHz レンジ、4096 点)

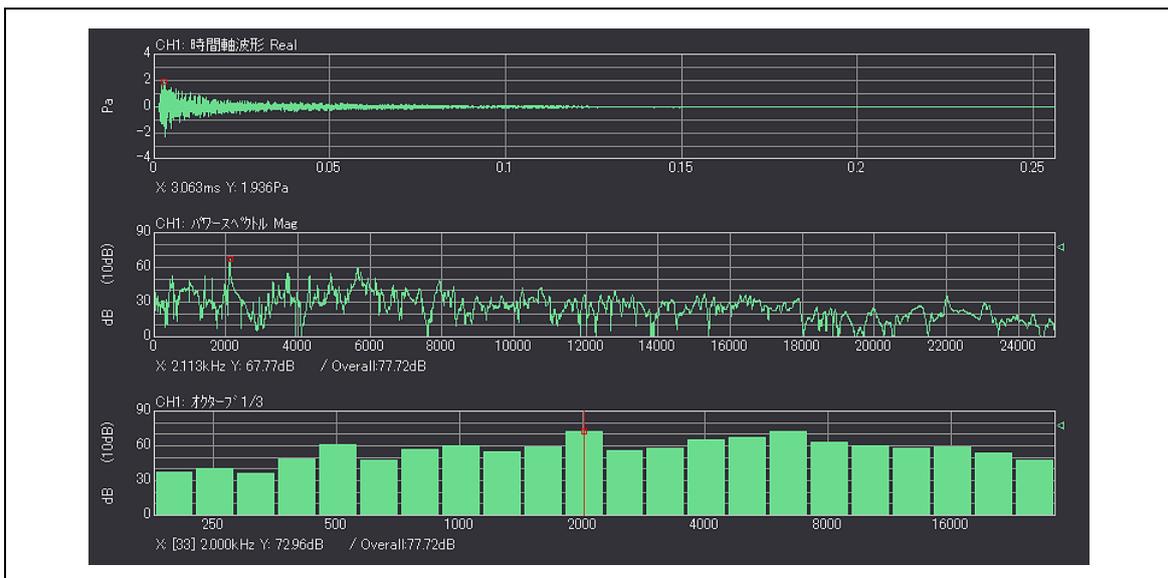


図3 コーヒー缶の打撃音のFFT分析結果 (25 kHz レンジ、16384 点)

(2) コーヒー缶の打撃音の FFT 定時間スケジュール分析

FFT 定時間スケジュール分析は、一定時間間隔で繰り返し FFT 分析をおこない、その結果から Overall 値や特定の周波数成分の時間変化を計測するものです。

コーヒー缶の打撃音を分析した結果（Overall 値および 1.9 kHz ～ 2.1 kHz のパーシャルオーバーオール）を図 4 に示します。周波数レンジは 25 kHz、窓関数はハニングウィンドウで、時間間隔は 10 ms。サンプル点数は 1024 点/4096 点/16384 点の 3 種類で、それぞれ FFT 時間長は 16 ms、64 ms、256 ms になります。

Overall 値の最大値はそれぞれ 88.31 dB、86.20 dB、81.61 dB でした。サンプル点数が多いほど値が小さくなる傾向にあります。また、グラフの形状も分析条件に大きく依存するため、衝撃音のような時間変化の激しい信号の分析には向きません。

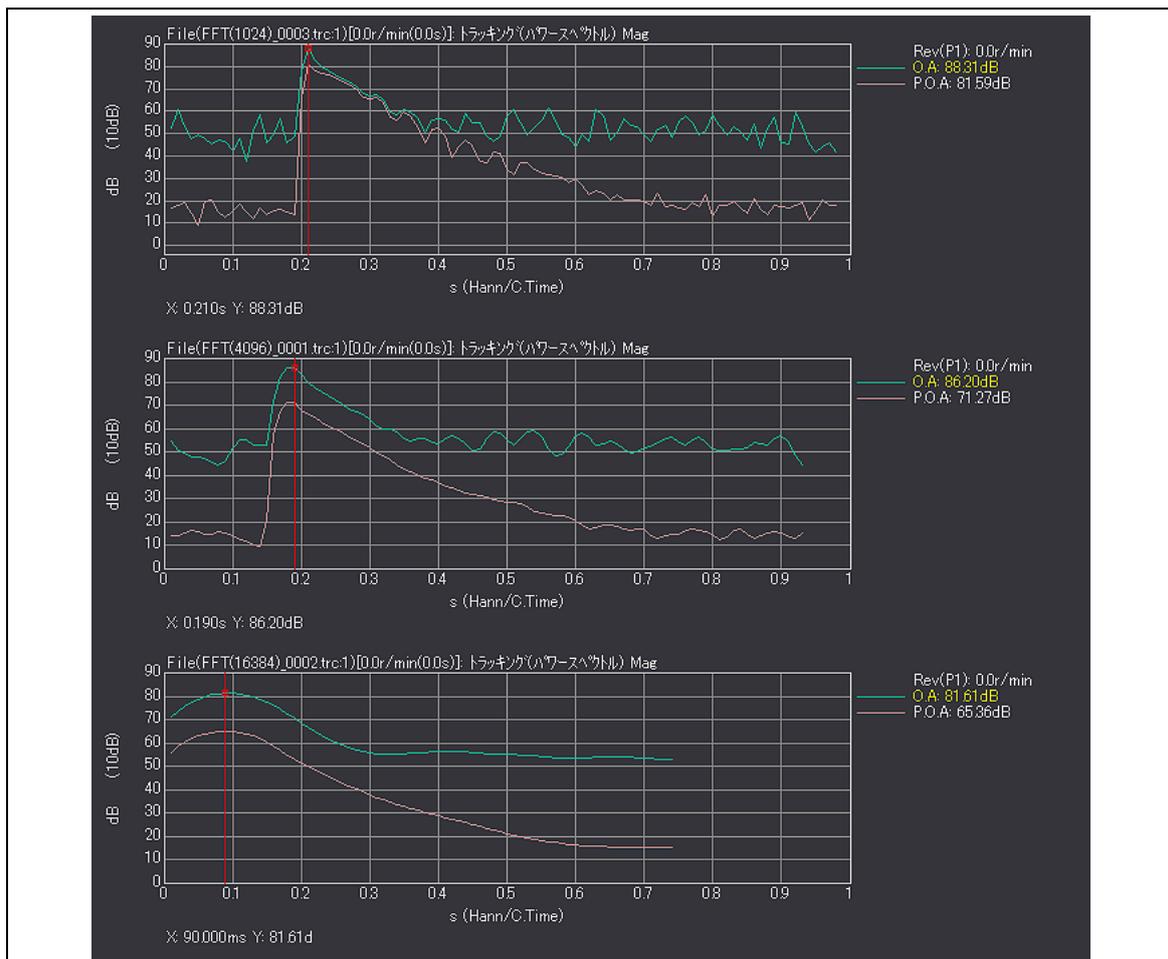


図 4 コーヒー缶の打撃音の FFT 定時間スケジュール分析（25 kHz レンジ、10 ms 間隔）
サンプル点数 1024 点（上段）、4096 点（中段）、16384 点（下段）

(3) コーヒー缶の打撃音のオクターブタイムトレンド分析

オクターブタイムトレンド分析はオクターブ分析の結果を一定時間間隔で並べたもので、その結果から Overall 値や特定のオクターブバンドの時間変化を計測するものです。

コーヒー缶の打撃音を分析した結果（Overall 値および 2 kHz バンド）を図 5 に示します。分析条件は 1/3 オクターブ、演算間隔は 1 ms、周波数重み付けは Z、動特性（時間重み付け特性）は、10 ms と 125 ms です。

Overall 値の最大値は動特性が 10 ms の場合が 87.36 dB、125 ms の場合が 79.23 dB と異なります。また、FFT 定時間スケジュールの結果とも一致しません。

動特性ですが、測定対象物の音を人が耳で聞いたときにどう感じるかを評価したい場合は、騒音レベルの測定条件と同じ 125 ms で分析します。対象物の動作確認や良否判定の場合で、音の継続時間が短い場合は 125 ms より短い値を使う場合もあります。ただ、測定値は測定条件によって異なりますので、動作確認や良否判定などの閾値は、分析方法や分析条件を決めてから定める必要があります。

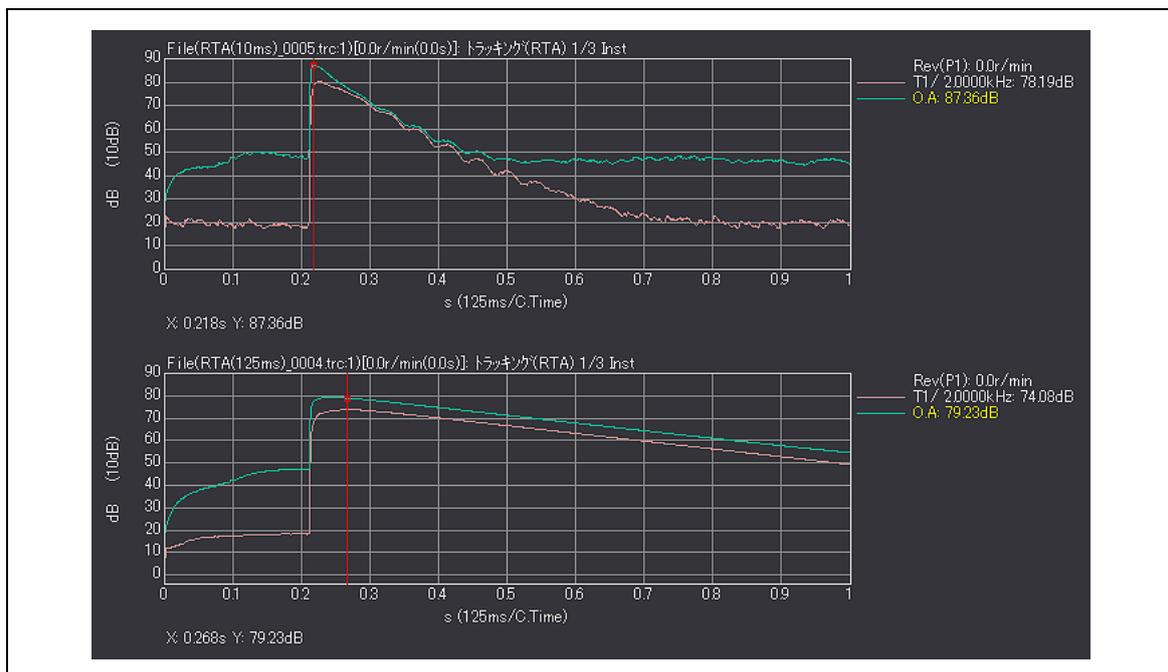


図 5 コーヒー缶の打撃音のオクターブタイムトレンド分析（Z 特性、10ms 間隔）
動特性（時間重み付け特性）：10ms（上段）、125ms（下段）

●自転車のベル音の分析

自転車のベル音は次のような信号です（波形データ内をクリックすると、WAV ファイルが開き、実際の音を聞くことができます）。

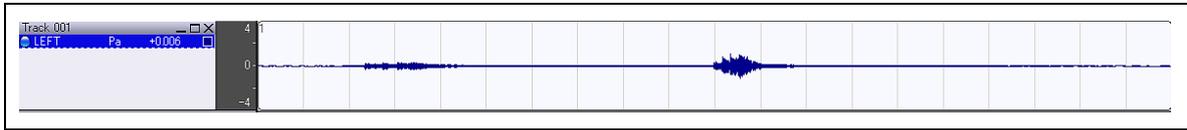


図 6 自転車のベル音（データ長：2 秒）

(1) 自転車のベル音の FFT 分析

自転車のベル音のような 2 回以上の音が鳴り継続時間も長い場合、1 回の FFT 時間長には納まりませんので、FFT 分析する際に信号全体を平均化処理（アベレージ）することがあります。平均化処理の演算方法には、パワースペクトル加算平均、パワースペクトル MAX OA、パワースペクトルピーク保持など、何通りかの方法があります。

周波数レンジは 25 kHz、サンプル点数は 4096 点、オーバーラップは 75%、窓関数はハニングウィンドウで、平均時間は 2 秒（信号全体）で分析しました。

図 7 にパワースペクトル加算平均の結果、図 8 にパワースペクトル MAX OA の結果、図 9 にパワースペクトルピーク保持の結果を示します。MAX OA は 2 秒間の間で Overall が一番大きかったときのパワースペクトルを求めます。ピーク保持は周波数成分ごとの最大値を保持します。

Overall 値は、加算平均が 70.07 dB、MAX OA が 84.66 dB、ピーク保持が 85.58 dB でした。

パワースペクトル加算平均の結果は無音区間も含めたパワー平均であり測定結果は小さめの値を示しますが、信号全体を反映した値です。また、騒音計で測定した時間平均サウンドレベル (L_{eq}) と比較的よく一致します。ただし、平均時間の長さは常に同じにする必要があります。

パワースペクトル MAX OA の結果は信号が一番大きかったときのスペクトルを示します。ただし、今回の信号のように 2 つ以上の区間からなる信号の場合、分析結果には大きいほうの区間の音だけしか反映されません。

パワースペクトルピーク保持の各周波数成分は同一時刻のものとは限らないのですが、良否判定用途などで良品・不良品での差が顕著に出るケースでは使用されることもあります。なお、ピーク保持においてはそのスペクトルから束ねたオクターブバンドデータには意味がありませんので、図には表示していません。

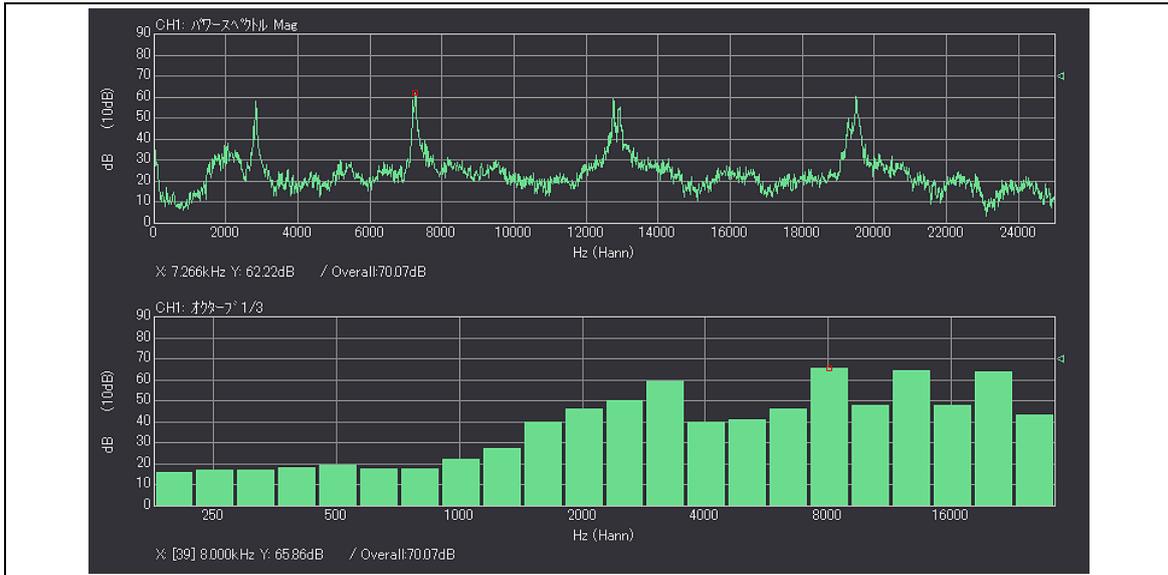


図7 自転車のベル音のFFT分析 (パワースペクトル加算平均)



図8 自転車のベル音のFFT分析 (パワースペクトル MAX OA)

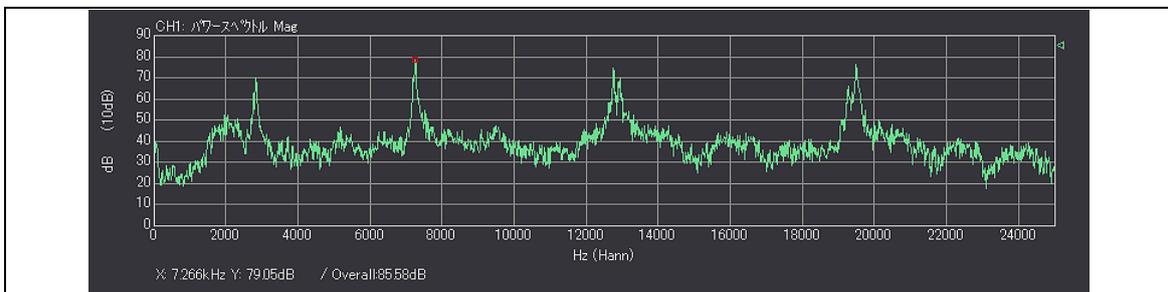


図9 自転車のベル音のFFT分析 (パワースペクトルピーク保持)

(2) 自転車のベル音の FFT 定時間スケジュール分析

FFT 定時間スケジュール分析は、一定時間間隔で繰り返し FFT 分析をおこない、その結果から Overall 値や特定の周波数成分の時間変化を計測するものです。

自転車のベル音の打撃音を分析した結果（Overall 値および 1.9 kHz ～ 2.1 kHz のパーシャルオーバーオール）を図 10 に示します。周波数レンジは 25 kHz、窓関数はハンニングウィンドウで、時間間隔は 10 ms。サンプル点数は 1024 点/4096 点/16384 点で、それぞれ FFT 時間長は 16 ms、64 ms、256 ms になります。

Overall 値の最大値はそれぞれ 86.19 dB、84.55 dB、81.56 dB でした。サンプル点数が多いほど値が小さくなる傾向にありますが、サンプル点数等を変えた際に結果が何 dB 変化するかは理論的には求まりません。また、グラフの形状も分析条件に大きく依存するため、このような信号の時間変化を分析したり比較したりする場合は、あらかじめ分析条件を定めて計測します。

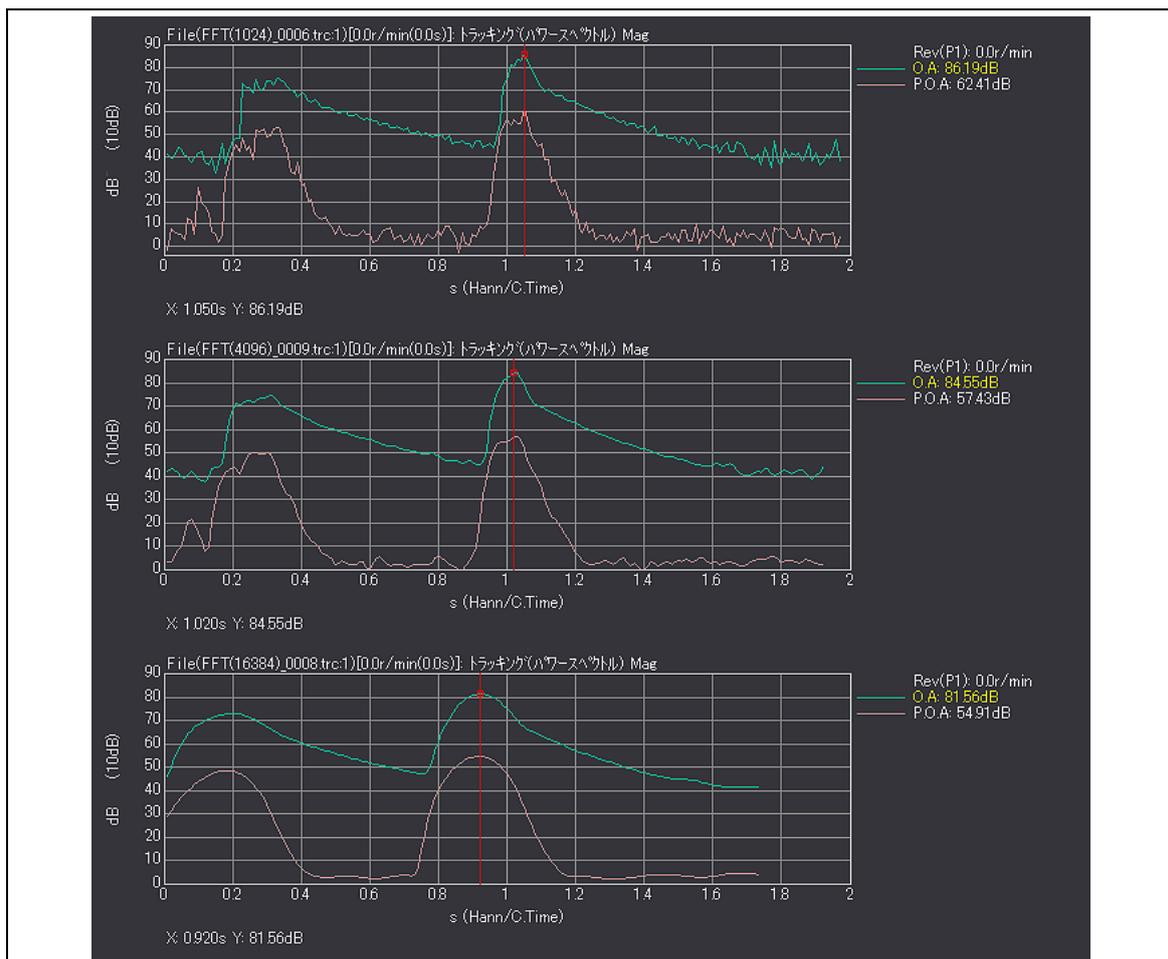


図 10 自転車のベル音の FFT 定時間スケジュール計測（25 kHz レンジ、10 ms 間隔）
サンプル点数 1024 点（上段）、4096 点（中段）、16384 点（下段）

(3) 自転車のベル音のオクターブタイムトレンド分析

オクターブタイムトレンド分析はオクターブ分析の結果を一定時間間隔で並べたもので、その結果から Overall 値や特定の周波数成分の時間変化を計測するものです。

自転車のベル音をタイムトレンド計測した結果（Overall 値および 2 kHz バンド）を図 11 に示します。分析条件は 1/3 オクターブ、演算間隔は 1 ms、周波数重み付けは Z、動特性（時間重み付け特性）は、10 ms と 125 ms です。

Overall 値の最大値は動特性が 10 ms の場合が 85.23 dB、125 ms の場合が 79.77 dB と異なります。また、FFT 定時間スケジュールの結果とも一致しません。動特性ですが、測定対象物の音を人が耳で聞いたときにどう感じるかを評価したい場合は、騒音レベルの測定条件と同じ 125 ms で分析します。対象物の動作確認や良否判定の場合で、音の継続時間が短い場合は 125 ms より短い値を使う場合もあります。ただ、測定値は測定条件によって異なりますので、動作確認や良否判定などの閾値は、分析方法や分析条件を決めてから定める必要があります。

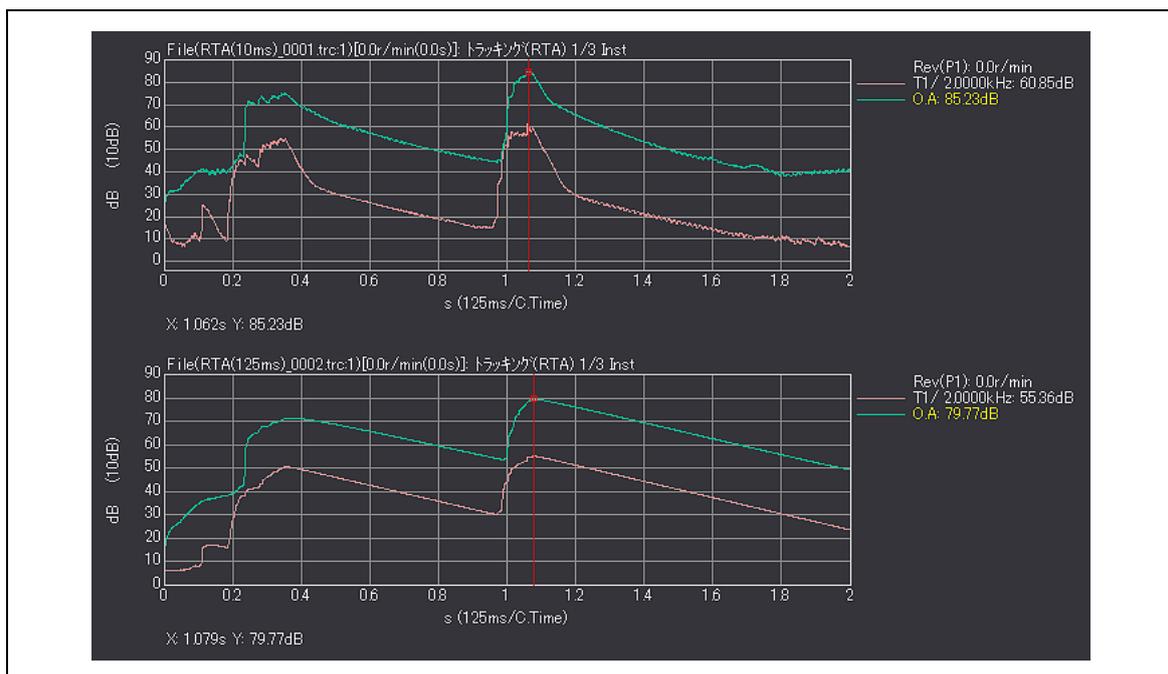


図 11 自転車のベル音のオクターブタイムトレンド分析（Z 特性、10 ms 間隔）
動特性（時間重み付け特性）：10 ms（上段）、125 ms（下段）

● **まとめ**

今回はオクターブバンド分析と、**FFT 分析**について、「コーヒー缶の打撃音」と「自転車のベル音」の分析結果を紹介し、分析方法にどのような差が出るかを示しました。

リアルタイムオクターブ分析器がない場合には、**FFT アナライザ**による **FFT 分析**を検討する場合がありますが、一般に結果は一致せず、その差は分析対象信号の性質や分析条件によって変わってきます。

とくに測定対象物の動作確認や良否判定をおこなう場合には、分析方法・分析条件を決めた上で、閾値を定める必要があります。動作確認や良否判定の閾値を定めた場合には、分析方法・分析条件もあわせて記録します。分析条件等が不明であると、後日、同一の結果を得ることが困難になります。

やむを得ない事情で分析方法や分析条件などを変更しなければならない場合には、閾値の補正が必要です。この補正量を理論的に求める事ができるケースはまれで、多くの場合は実際のデータを 2 つの方法で分析し、相関があることを確認した上でその補正量を求めることが必要になります。

以上

(YK)