

「AE 計測技術・実用編—その2」 VTR による波形解析実践

中村 英之 ^{*1}
Nakamura Hideyuki

これまで、AE 計測技術の基礎シリーズとして「その1—ハードから計測条件の設定まで」、「その2—AE 波伝播特性とデータ解析」、「その3—波形解析と波形自動識別」を、AE 計測技術・実用編シリーズとして「その1—AE 装置および周辺機器」というテーマで解説文を本誌に掲載した。その続編として、本稿では、当社が販売する波形解析ソフト Visual TR(以下 VTR。なお TR は波形データ=Transit Record data の略称)の機能と実践的な使い方を解説する。

キーワード：Acoustic Emission(AE)、AE 計測、ノイズ、データ採取、AMSY、波形解析

1. はじめに

実際の AE 計測データは、ノイズや有意信号以外の信号が含まれる場合が多い。これらの有意信号以外の信号が全体に占める割合が小さい場合には、生データで試験結果を判断することは可能であるが、生データでは判断が難しい場合には、AE パラメータや波形データに基づきノイズを識別・削除したうえでデータのトレンドを観察する。また波形やその周波数は、AE 音源の特徴を示すが、波形に処理を施すことで有意信号の特徴をより際立たせることが可能となる場合がある⁽¹⁾。ただし、これらの手法は、使用方法によっては意図的に自らが考えるセオリーに合致するデータを創造することにもつながる可能性があるため、データ処理を施した場合はその処理内容をトレースできるよう示すことが重要である。

本稿では、波形解析ソフト VTR の中でも比較的

使用頻度の高いいくつかの機能について、実際のデータへの適用例を示しながら、実践的な使い方を解説する。

なお本稿では、波形解析ソフトの使用方法や効果を説明するために、一例としてデータを示すが、データ取得時の試験方法や試験片の詳細説明は省略する。また、AE 計測は、当社が販売する AMSY-6 を用いることを前提として説明する。

2. VTR のメニュー

VTR とは、波形データ解析ソフトのパッケージソフトの名称であり、その中には図 1 に示すように各種波形解析ソフトが含まれる。基礎シリーズ—その3では、主なソフトの機能を紹介している。VTR に含まれる Feature Extractor は、FFT Feature Extractor (FFT 特徴抽出ソフト)、Visual Class Classifier(波形自動識別ソフト)、および Spectral Ratio Extractor(スペクトル比抽出ソフト)の三つのソフトで構成さ

*1：研究開発センター 博士(工学) 日本非破壊検査協会理事、日本非破壊検査工業会理事

れるが、本稿では、FFT Feature Extractor と Spectral Ratio Extractor の二つに加え TR-Filter (周波数フィルタソフト)の機能と処理効果について説明する⁽²⁾。

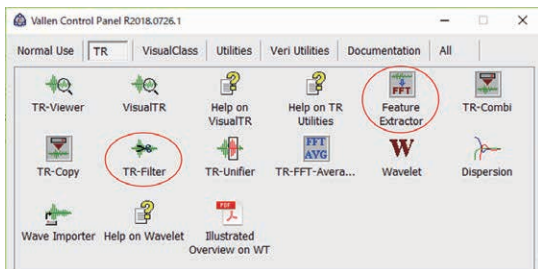


図1 VTRのメニュー画面

2.1 FFT Feature Extractor (FFT 特徴抽出ソフト)

FFT Feature Extractor は、波形データに含まれるすべての波形に対しFFT解析したうえで、波形の特徴を表すピーク周波数(The frequency spectrum has maximum amplitude/FMXA)と重心周波数(The frequency center of gravity /FCOG)を数値データとして抽出し、AEパラメータデータと同列に書き込むソフトである。この処理を行ったデータは、ピーク周波数(周波数スペクトルにおける最大振幅を示す周波数)や重心周波数(周波数スペクトル上でその周波数を境に低周波側と高周波側の面積が等しくなる周波数)を他のAEパラメータと同様に取り扱え、グラフ表示などが可能となる。

図2は波形と周波数スペクトルを示している。通常のAE計測では、波形と周波数スペクトルまでは特別の処理を施すことなくリアルタイムで表示するが、スペクトル上に矢印で示すようなピーク周波数と重心周波数の数値はFFT Feature Extractorで処理した結果である。この処理は、計測中にリアルタイムで行うことができるが処理する波形のサンプル数と波形の数に応じ数秒から数分の時間を要し、データ表示にタイムラグが生じる場合がある。

図3にCFRP試験片の引張試験において二つの140kHz共振型AEセンサ(感度帯域が100～450kHz)を用い、周波数フィルタを設定せずに計測した波形データから重心周波数とピーク周波数を抽出した結果を示す。図中、緑プロットはCh1センサで得られた信号を、赤プロットはCh2で得られた信号を、青線は引張荷重を示している。周波数フィルタを設定せずに計測を行った場合には、ピーク周波数はセンサ特性や試験体の共振の影響も含む音源由来の周波数となるが、重心周波数は波形に含まれる高周波成分までが計算に用いられるため、図3の左図に示すように広範囲の周波数帯域にプロットが分布し、有意信号の傾向を確認することが難しくなる。このような場合には、周波数特徴の抽出において図4に示すような振幅値

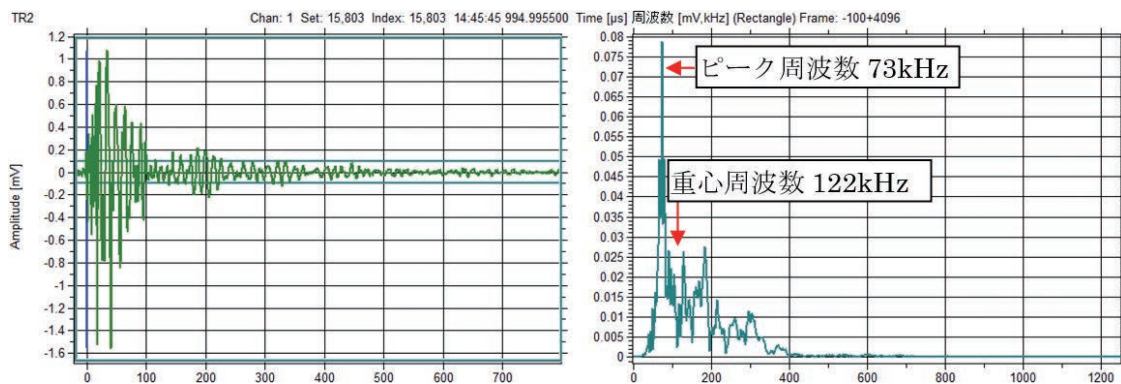


図2 波形データとFFT周波数解析データ

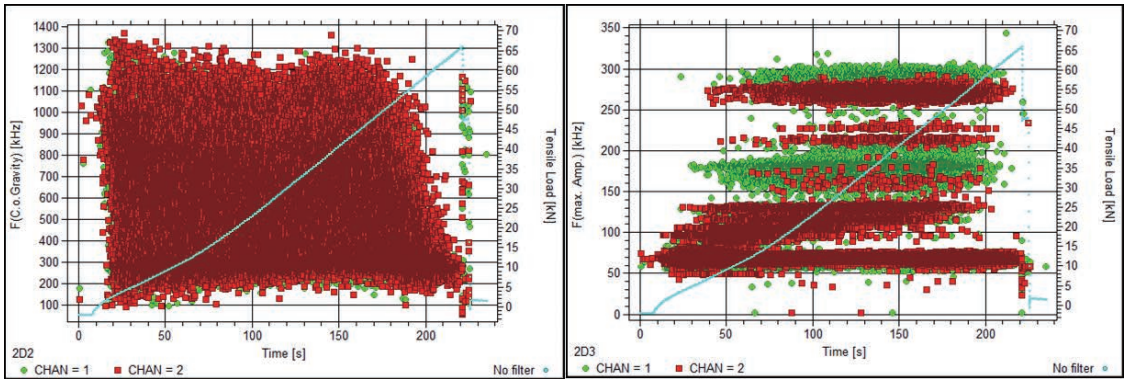


図3 重心周波数とピーク周波数のデータ例（生データ）
（左図：重心周波数、右図：ピーク周波数）

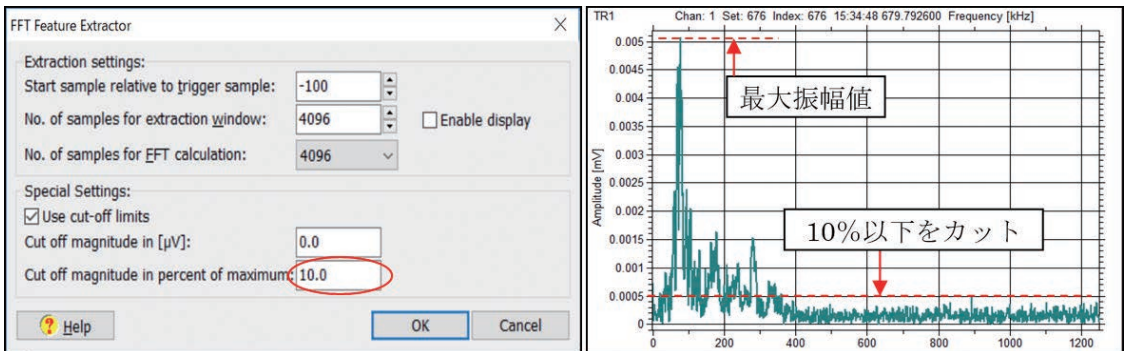


図4 周波数特徴抽出条件の設定

が一定レベル以下のスペクトルを除いて計算する方法がある。図4では、スペクトル分布における最大振幅値の10%以下をカットして計算する設定であるが、この他に一定電圧以下となる分布を

カットする設定もある。

図3に示すデータに対し、図5に最大振幅値の10%カットで特徴抽出を行った結果を、図6に最大振幅値の20%カットで特徴抽出を行った結果

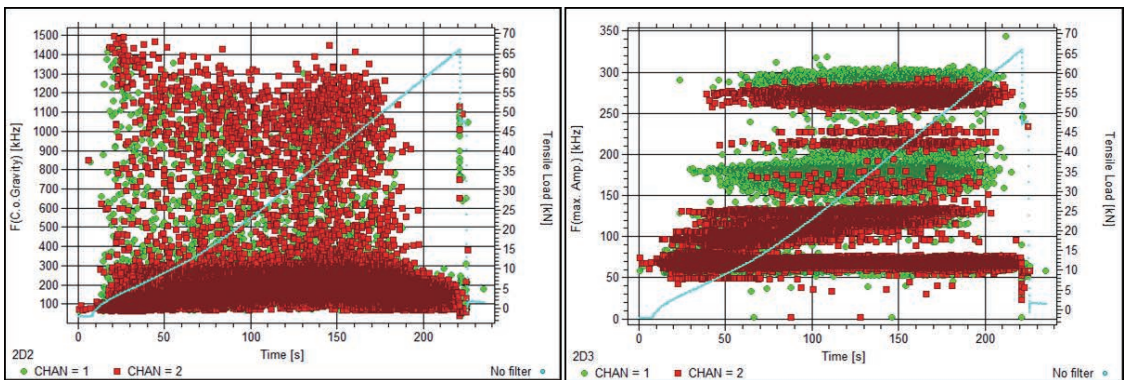


図5 最大振幅の10%カットによる抽出結果

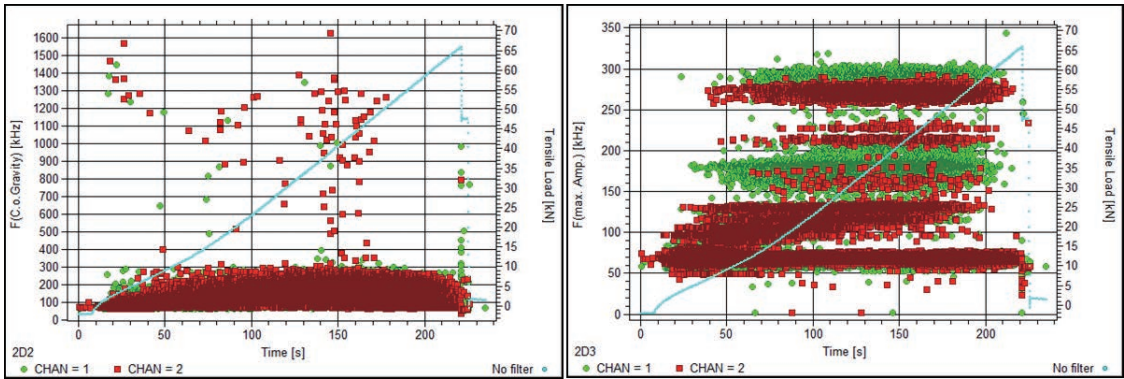


図6 最大振幅の20%カットによる抽出結果

を示す。いずれの場合もピーク周波数のデータには変化がないが、重心周波数はカットレベルが上がることで高周波成分の影響が小さくなることが確認できる。

以上のデータは、データ取得時に周波数フィルタを使用していない極端な例であり、実際のAE計測では有意信号の周波数帯域に合致した周波数フィルタを設けるため図3に示すような分布になることは稀である。あらかじめ、周波数フィルタを設けて計測すれば高周波成分の影響は低減し、後処理の必要性は低くなる。

2.2 TR-Filter

AE計測では、データ取得時はあまり条件を設けずあらゆるデータを採取し、後処理でノイズと有意信号を識別・除去するという方法もあるが、AE計測システムには単位時間あたりの計測可能なデータ量に限界があり、計測システムがノイズの計測に忙しく有意信号を取りこぼす可能性もある。このため、有意信号の周波数帯域に応じた周波数フィルタを設けてデータを採取するのが一般的である。この場合でも、さらに周波数帯域を絞り解析を行う必要が生じることがある。

VTRに含まれるTR-Filterは、取得済みの波形データに対し後処理で任意の帯域の周波数フィル

タを設け処理を行うソフトである。

図7に周波数フィルタの設定メニューを示す。フィルタのタイプは、High Pass、Low Pass、Band Pass、Band Rejectionから選択し、それぞれの周波数を設定する。また、ある周波数を境にすべてをカットした場合、データが不自然に見えることから、徐々に信号を減衰させるスロープを設ける。図7は、20kHzから160kHzのBand Passフィルタに加え80dB/オクターブのスロープを設ける設定を示している。この80dB/オクターブのスロープとは、高周波側で160kHzから320kHzの間（オクターブ＝倍音）に80dB減衰させるスロープを設け、低周波側で20kHzから10kHzの間に80dB減衰させるスロープを設けることを示している。

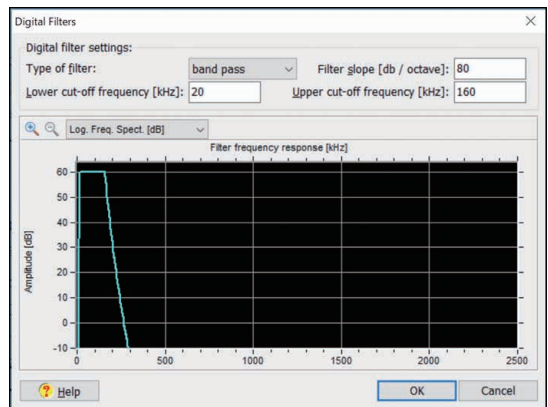


図7 周波数フィルタの設定

図8に、同一波形に対する周波数フィルタリング処理の前後のデータを一例として示す。図8の上段は処理前のフィルタ無しのデータ、中段は20～200kHz Band Pass フィルタ処理後、下段は、20～160kHz Band Pass フィルタ処理後の波形とそれぞれのFFT解析結果を示す。Low Pass フィルタの周波数が下がるにしたがって、波形では高周波成分である信号が込み合う部位が無くなり、FFT解析結果では高周波数側の領域で成分が無くなるこ

とがわかる。

一方、波形の振幅値は、上段に示す処理前は2.9mVであった最大振幅値が下段では2.2mVに下がっていることが確認できる。これは処理前の波形は、高周波成分などが重なることで波形の最大振幅値が高まっていたためと推定する。したがって周波数フィルタ処理を施したデータは、処理前とは最大振幅値やエネルギー、波形持続時間などの波形から抽出されるAEパラメータは異なる。

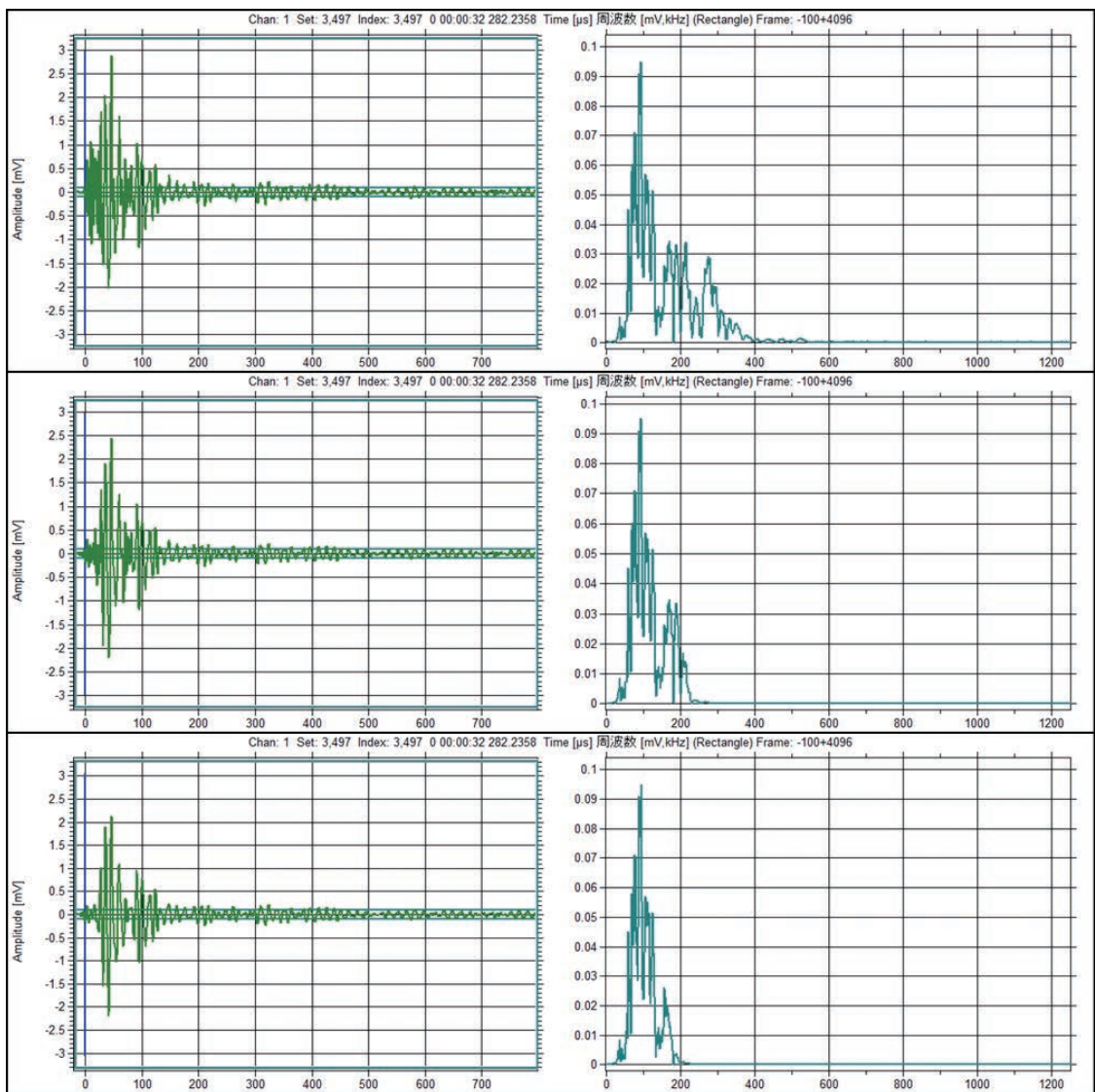


図8 周波数フィルタ処理前後の波形（上段：フィルタ無し、中段：20～200kHz、下段：20～160kHz）

しかしながら、AE 計測システム (AMSY-6) では、計測時に波形から抽出された AE パラメータデータと波形データはそれぞれが独立したデータファイルとして書き込まれ、それぞれのパラメータデータは波形データが持つ ID 番号で関連付けられるだけである。このため、後処理で波形データの周波数フィルタ処理を施しても、Hit 数や振

幅値などのパラメータは計測時のままであり、変化することはない。後処理で周波数フィルタリングした後の波形に基づき、AE パラメータデータを抽出する方法については 2.3 節で解説する。

次に周波数フィルタの効果を重心周波数とピーク周波数のデータで比較したものを図 9 に示す。

図 9 は、図 3 に示す CFRP 試験片の AE データ

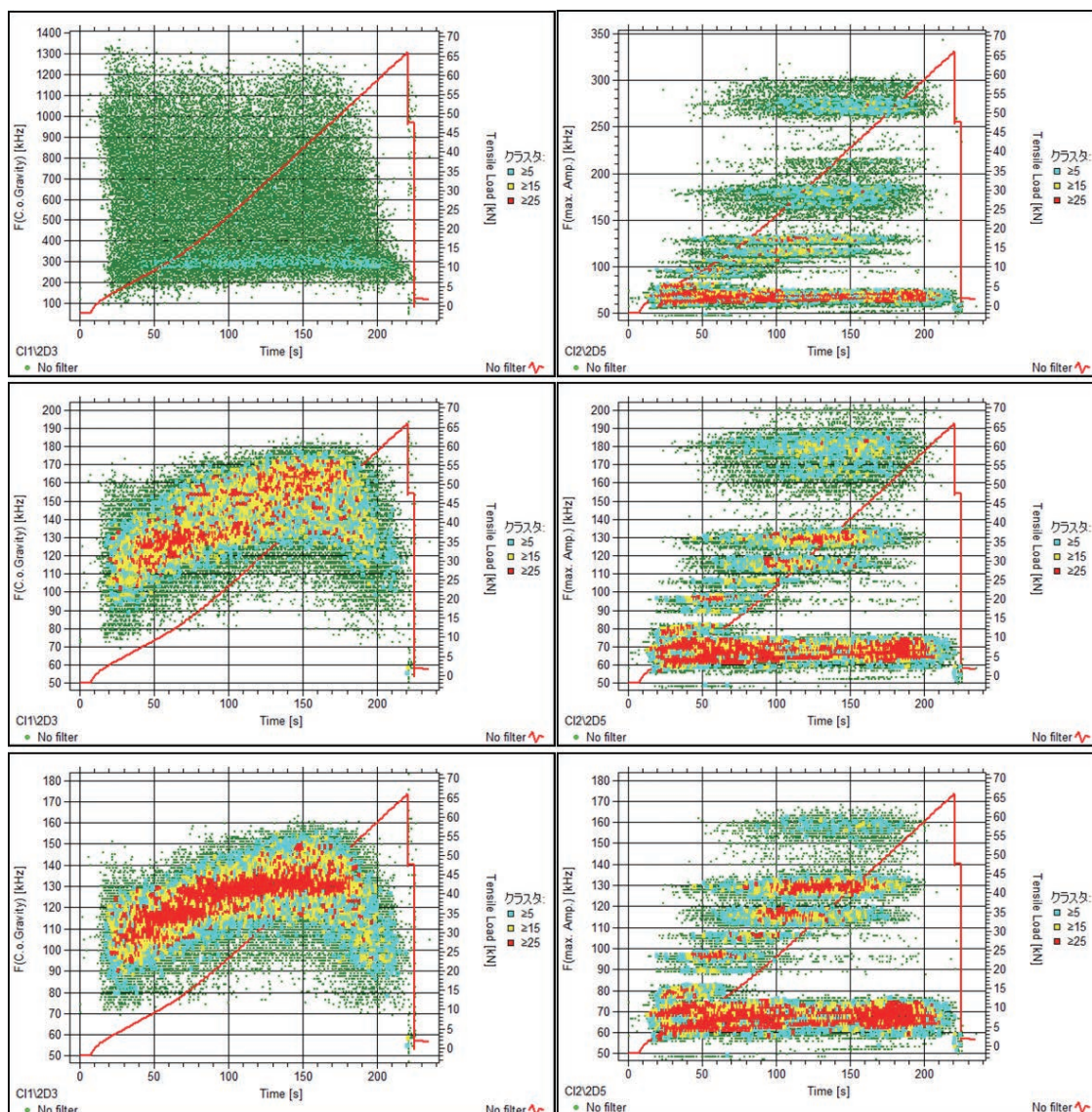


図 9 重心周波数およびピーク周波数で見た周波数フィルタの効果
 (左図：重心周波数、右図：ピーク周波数、
 上段：フィルタ無し、中段：20～200kHz、下段：20～160kHz)

に対し、周波数フィルタ無し(上段)、20～200kHzのBand Passフィルタ(中段)、20～160kHzのBand Passフィルタ(下段)の処理後を施したデータであり、左図が縦軸重心周波数(kHz)、右図がピーク周波数(kHz)でそれぞれの時間履歴を示している。さらに図9のデータは、クラスター処理(あらかじめ設定した枠内に入るプロット数で集中度合いを示す処理)を施し、2秒×2kHzの枠内のプロット数に応じ、5個以上水色、15個以上黄色、25個以上赤色の枠で囲い表示し、処理の効果が確認しやすいよう縦軸レンジを変更している。

これらのデータの比較では、周波数帯域を狭めることで、ピーク周波数では大きな傾向の変化が見られないが、重心周波数ではデータは圧縮され変化の傾向が明確になることがわかる。

一方、後処理で周波数フィルタ処理を行ったデータは、フィルタ処理で加工した波形から計算された重心周波数とピーク周波数がプロットされるが、プロットの数(波形の数)は、計測時のデータと変わらない。図9に示すデータには、もし計測時に周波数フィルタを設定した場合は、しきい

値を超えることなく計測されなかったAE波も含まれていることを考慮する必要がある。

2.3 Spectral Ratio Extractor (スペクトル比抽出ソフト)

図10にSpectral Ratio Extractorの設定メニューを示す。この処理は、波形を時間軸上で任意の数に区分し、それぞれの時間帯における波形特徴を抽出するためのソフトである。この機能を使い、後処理で周波数フィルタ処理を施した波形から最大振幅値や波形持続時間(Duration)などを求めることが可能である。なお、この場合には、Time segmentsを0に設定し、Start sampleとNo. of samplesを波形全体となるよう設定する。

図11は、図3に示すCFRP試験片のAEデータに対し、後処理による周波数フィルタ処理前後のHit数の時間履歴を示したものである。左図は、処理前のしきい値40dB(0.1mV)で計測したデータを示す。一方、右図は、周波数20～160kHzのBand Passフィルタを施した波形データから、さらにSpectral Ratio Extractorを用い最大振幅値(mV)を

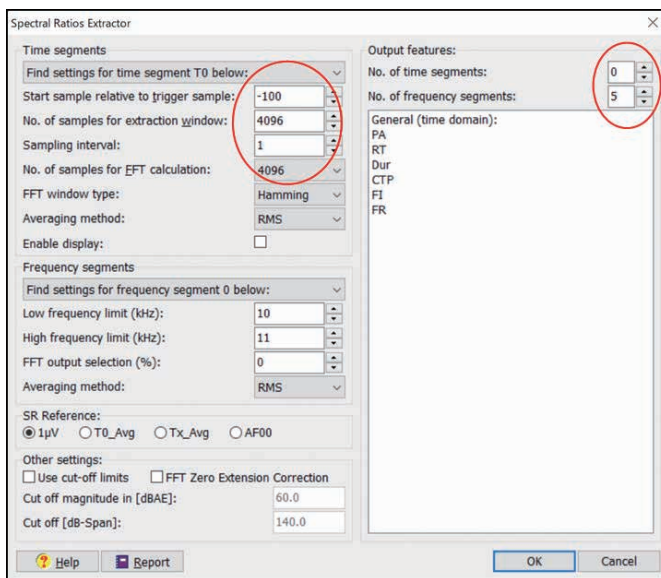


図10 Spectral Ratio Extractor 設定メニュー

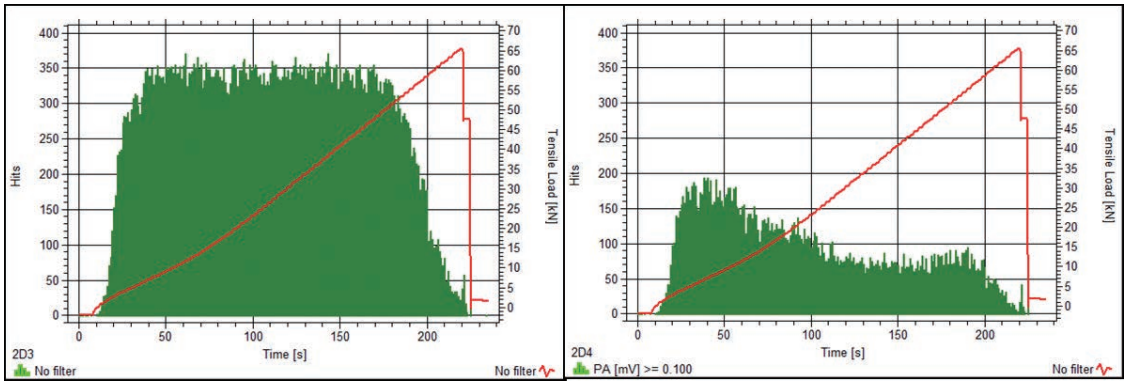


図 11 周波数フィルタ処理前後の Hit 数の比較

抽出したうえで、しきい値 40dB と同じ条件である最大振幅値 0.1mV 以上となる AE 波のみを抽出した Hit 数を示す。右図に示す処理後のデータは、左図の処理前と比較して Hit 数が減少するとともに増減の傾向も変化していることがわかる。このように、後処理で周波数フィルタを施した場合には、Hit 数や最大振幅値などの AE パラメータが変わるため、Spectral Ratio Extractor を用い加工後の波形から AE パラメータを抽出し、さらにしきい値以上となる AE 波を抽出したうえで、評価する必要がある。

図 12 は、図 3 に示すデータに対し 20 ~ 140kHz Band Pass フィルタを施し、さらに前述と同様のク

ラスタ処理を施したピーク周波数の時間履歴である。図 13 は、図 12 において青色のポリゴン処理 A1 (ポリゴン処理：任意の線で囲った範囲のデータを分別する処理) で周波数領域を限定した範囲に分布する AE 波の Hit 数の時間履歴を示す。

図 13 の左図は、計測時の AE パラメータに基づく Hit 数で、右図は Spectral Ratio Extractor を用い、最大振幅値が 40dB 以上となる AE 波の Hit 数を示している。図 13 の左右の比較では、絶対値は異なるが増減の傾向は同様である。これは、図 9 の右図や図 12 で見られるように、ポリゴン処理 A1 と重なるピーク周波数が 55kHz 以上 85kHz 以下の領域では、フィルタ処理前も処理後も同様に AE

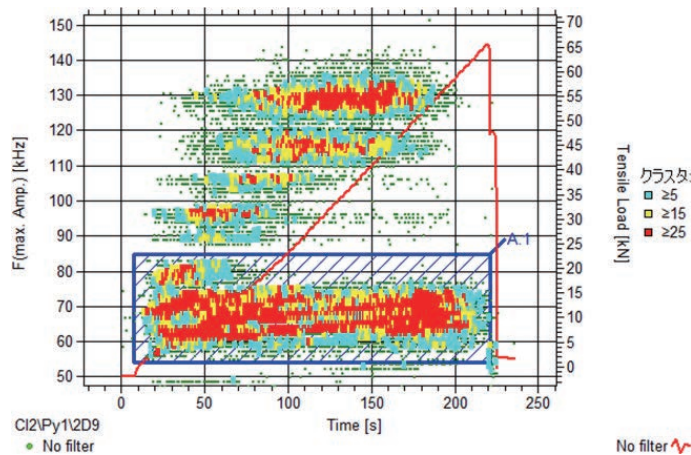


図 12 CFRP 試験片引張試験の AE 試験データ・ピーク周波数 (20 ~ 140kHz Band Pass フィルタ)

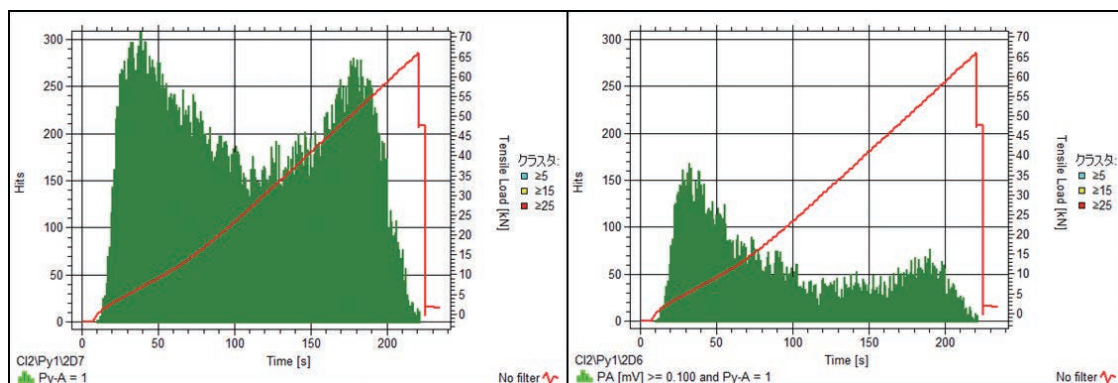


図 13 周波数領域を限定した Spectral Ratio Extractor 処理前後の Hit 数 (左図：処理前、右図：処理後)

群が存在しているためである。

このように、周波数帯域によっては Spectral Ratio Extractor による特徴抽出をしなくても増減の傾向を確認できる場合もある。

3. まとめ

今回は実践シリーズその2として、当社が販売する波形解析ソフト VTR の中でも使用頻度の高い、FFT Feature Extractor (FFT 特徴抽出ソフト) と TR-Filter (周波数フィルタソフト) の機能を説明した。これらのソフトに含まれる波形解析と波形加工の処理は、処理条件によりデータの見え方が大きく異なり、評価結果を左右する可能性がある。

したがって、これらの処理を施す場合には、処理条件を明確に示し、データの透明性と信頼性を保つことを考慮しなければならない。

本稿が、波形解析ソフトのユーザーにとって、さらなる実践的な解析を試みるきっかけとなれば幸いである。

参考文献

- (1) 大森征一、大森真実、中村英之、川崎拓：AE 計測における F.C.O.G. 手法のリアルタイム処理化、IIC REVIEW、2018/04、No.59、pp.11-16
- (2) Vallen Systeme 社：AMSY-6 Operation Manual Version 04-2017、pp.128-134



研究開発センター 博士(工学)
日本非破壊検査協会理事、
日本非破壊検査工業会理事

中村 英之

TEL. 045-791-3522

FAX. 045-791-3547