

ランダム振動制御システム

**K2+**

ソフト・クリッピング オプション  
取扱説明書

IMV 株式会社

文 書 名           取扱説明書

適合システム       K2+

ソフトウェア<RANDOM>

Version 20.0.0 以降

\*本オプションを使用するためには、ソフト・クリッピング オプションが必要です

## 版 歴

版番号	年月日	内容
1.0.0	2020.10.16	初版



# 目次

第1章 概要.....	1-1
1.1 本機能について .....	1-1
1.2 ガウス性ランダム信号 .....	1-1
1.3 クリッピングの必要性 .....	1-2
1.4 ハード・クリッピング .....	1-3
1.5 ソフト・クリッピング .....	1-4
第2章 操作法.....	2-1
2.1 ソフト・クリッピングの指定.....	2-1
2.2 振幅確率密度関数の分析の設定 .....	2-3
2.3 特記事項：制御周波数レンジ $f_{max}$ の推奨設定値.....	2-5
2.4 加振の実施 .....	2-5
2.5 振幅確率密度分布関数 PDF のグラフ表示.....	2-7
2.6 実行ステータス .....	2-9
2.7 CPU 負荷エラーが起きた場合の処置.....	2-10



# 第 1 章 概要

## 1.1 本機能について

本機能は、ランダム振動制御システム K2+/RANDOM システムによるランダム振動試験の実施において、加振システムのアンプへの入力信号として本システムが出力する電圧信号（以下、「ドライブ信号」と呼ぶ）のピーク値を常に一定レベル以内に収めることを目的として行なう処理（クリッピング処理）を、従来よりも改良されたよりよい性能で実施するためのものです。

本機能は、オプションです。

## 1.2 ガウス性ランダム信号

ランダム振動制御システムが出力するドライブ信号は、基本的にはその振幅確率密度関数 PDF が正規分布の形をした「ガウス性ランダム信号」です。

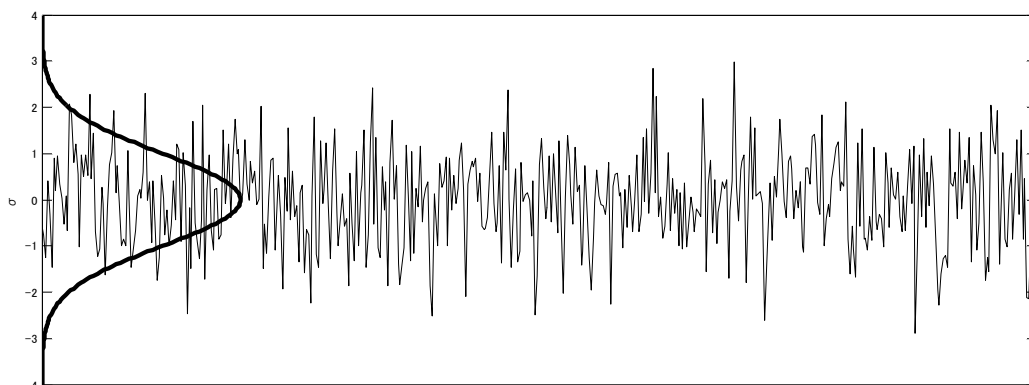


Fig. 1

Fig.1 に示したのは典型的なガウス性ランダム振動波形の例です。

そして、この時系列に重ね描きされた釣鐘状の形のグラフは、ガウス分布（正規分布）の振幅確率密度関数であり、数学的には次のような式で表わされます：

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{①}$$

この例のように、ランダム振動波形を分析すると、多くの場合、その PDF はガウス確率密度関数でほぼ正確に書き表すことができることが知られています。このことを、われわれの目に触れるランダム振動のうちの多くのものは「ガウス性」である、と表現することができます。それは、数学的には「中心極限定理」が成り立っていることの結果であると言えます。（この定理は難しそうな名前がついていますが、身の回りで起きる現象のごく基本的な性質について述べているものです。）

ガウス性ランダム信号の統計的な性質は、平均値  $\mu$  と標準偏差  $\sigma$  とで特徴づけられています。また、通常は、ランダム振動信号は  $\mu=0$  である（DC 成分がない）信号なので、不規則変動量の統計的指標としての標準偏差  $\sigma$  の値と、信号の rms 値（「実効値」とも言う。2 乗平均値の平方根）とは一致しま

す。従って、グラフの縦軸（ $\sigma$ ）の目盛が' 1' の位置がこの信号の rms 値の大きさを示しています。

ランダム信号のレベルを表現するとき、「その信号レベルは rms 値（ $=\sigma$ ）の何倍である」という言い方をすることがよく行なわれます。標準偏差  $\sigma$  を基準にした信号レベルが分かれば、確率密度関数がガウス性だとすると、そのレベルの信号の発生確率もすぐに分かります。

この理由から、信号のピーク値  $A_p$  が rms 値  $A_{rms}$ （ $=\sigma$ ）の何倍あるかということを使い表すのに、「クレスト・ファクタ（波高率）」という量を使うことがよく行なわれます。すなわち、クレスト・ファクタを記号 CF で表わすと、CF は下記のように定義されます：

$$CF = \frac{A_p}{A_{rms}} = \frac{A_p}{\sigma} \quad \text{②}$$

### 1.3 クリッピングの必要性

ランダム振動制御システムが出力するドライブ信号はガウス性であるため、一定の低い確率で rms 値の 4~5 倍以上の大きなピーク電圧が出力されることがあります。

加振レベルが低い時には、たとえ大きな CF に相当するピーク電圧が出力されてもとくに問題は発生しません。加振システムの定格加振力付近で運転を行なっている場合には、アンプもその入出力信号レベルの定格値付近で作動しているので、このような大きなピーク電圧が入力されると定格オーバーとなり、試験が中断されることが起きる可能性があります。また、大きな CF に相当する想定以上の大きなピーク加振力が加振テーブルに発生し、供試体に加わる可能性があります。



## 1.4 ハード・クリッピング

そのような事態の発生を防ぐために、本システムには「クレスト・ファクタによるハード・クリッピング」機能が標準装備されています。これは、ドライブ信号の電圧波形を、あらかじめ定めておいたクレスト・ファクタ CF 相当の電圧値で頭打ちさせる（クリッピング）機能であり、その処理の様子を Fig.2 に示します：

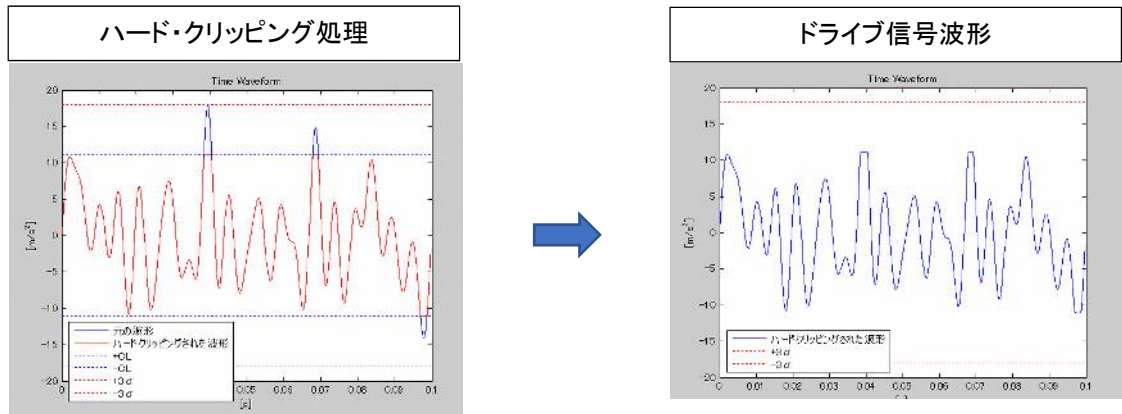


Fig. 2

指定された CF 値とその時点での rms 値 ( $=\sigma$ ) とで決まる電圧レベルを超える信号は、すべてその制限レベルの電圧値に置き換えられます。この処理は簡単明瞭ですが、乱暴に信号波形の頭を平坦な形に揃えてしまうだけなので、信号のスペクトル成分(PSD)が、クリッピングの量に応じて変化を受けます。

また、クリッピングはデジタル・データに対して実施されますが、そのデータを D/A 変換器でアナログ信号に変換したとき、頭を平坦にされた部分を厳密にそのままに保ったアナログ電圧信号が出てくることはありません。回路素子等の示す過渡現象のためにオーバーシュートした波形が出てくるでしょう。

この結果、ピーク電圧は予定したよりも大きくなってしまいます。波形の形が変わるので、クリッピング処理は元の信号の周波数成分にいくらかの変化を与えます。そして、その分だけ振動の PSD 制御の精度に影響が出る可能性があります。

## 1.5 ソフト・クリッピング

この問題をスマートに解決するため、非ガウス性・ランダム振動制御の技法を使って、与えられたランダム信号の PSD は変化させず（従って、rms 値も変化させず）、波形全体に亘って信号のピーク値が所定の電圧値を超えないような処理をするのが、本機能「ソフト・クリッピング」です。

Fig.3 にこの処理を実施した例を掲げます。Fig.2 のものと元波形は同じですので、比較してみてください。ソフト・クリッピングの場合には、波形の上面だけが強制的に平坦にされた部分はありません。平坦化を避けながらドライブ信号の PSD を元のスペクトルのままに保つため、波形の他の部分にも少しずつ変化が加えられています。

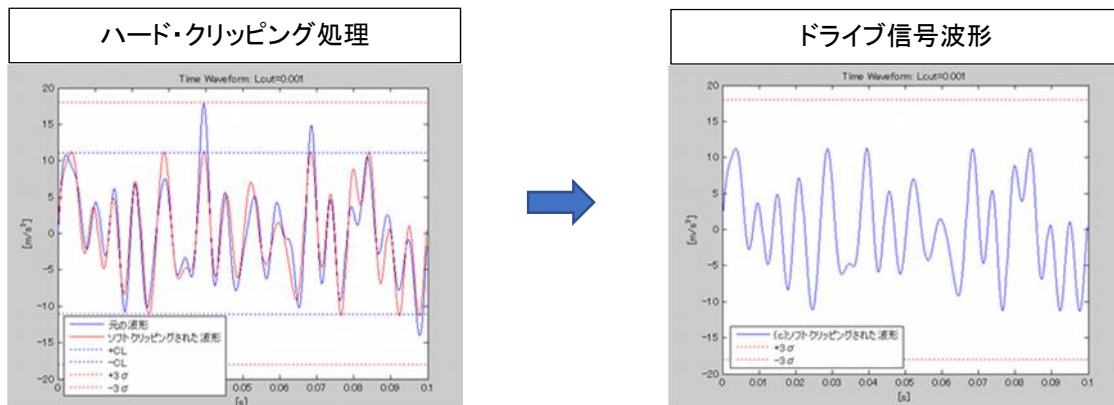


Fig. 3

また、ハード・クリッピングの場合は、クリッピングレベルはその時点でのドライブ rms 値に指定された CF 値を掛けた電圧になるので、加振レベルが低いときでも必ずクリッピング処理が行なわれた電圧波形が出力されますが、ソフト・クリッピングの場合は当該テストの加振レベルが 0dB の時の電圧 rms 値に 指定された CF 値を掛けた値によってクリッピング電圧を決めているため、加振レベルが低くてドライブ電圧が全体に低い段階では、信号の CF の制限は起きません。（このようにして、あくまで必要なときにだけ出力電圧の最大値を指定値内に収めるような信号処理をしています。）

## 第 2 章 操作法

### 2.1 ソフト・クリッピングの指定

テスト定義モードにおいて、[加振システム設定] をダブルクリックすると、下記の加振システム設定ウィンドウが現れます：

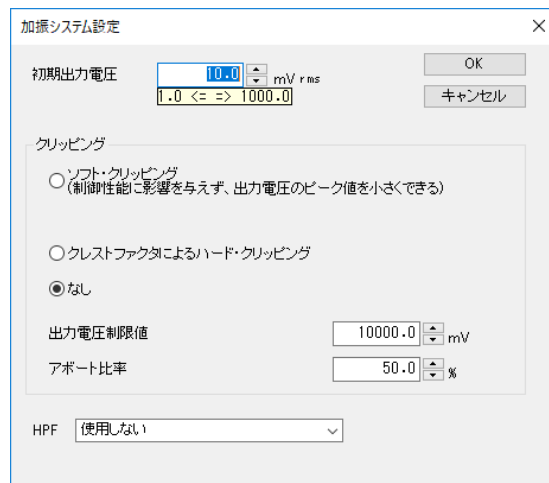


Fig. 4

加振システム設定ウィンドウにおいて、クリッピング種別選択ラジオ・ボタンの [ソフト・クリッピング] を選択します。

「ピーク電圧制限」のデフォルト設定は“標準”になっていますが、状況に合わせて次の選択肢から選択が可能です (Fig.5 参照)：

- 標準 : ピーク電圧制限値を、 $3\sigma$  相当の値に設定します (ただし、設定されている制御条件によっては ‘3.0’ よりも大きな値が設定されることがあります)。
- 緩い : ピーク電圧制限値を、“標準” の設定値よりも  $0.2\sigma$  相当分だけ高く設定します。
- 厳しい : ピーク電圧制限値を、制御最大周波数  $f_{max}$  と制御ライン数  $L$  とで決まる設定可能な最小値に設定します。
- 数値指定 : CF を設定可能な数値の範囲内で指定することにより、ピーク電圧制限値を指定します (Fig.6 参照)。

## HPF の使用選択の制限

[ソフト・クリッピング] を選択した場合は、[HPF] の使用/不使用の選択が制限され、設定は強制的に「使用しない」に固定されます。

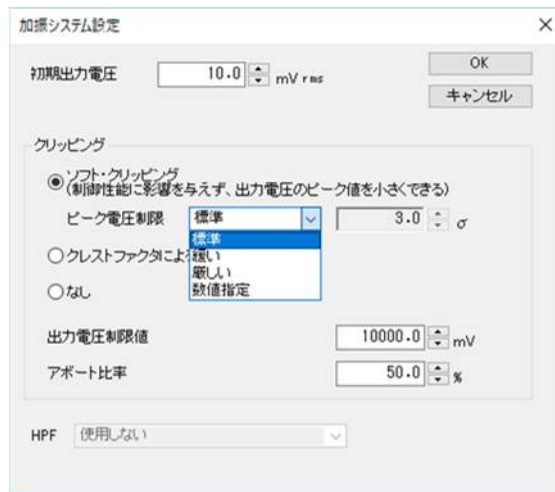


Fig. 5



Fig.6

## 2.2 振幅確率密度関数の分析の設定

本オプション機能が有効な場合、入力信号をリアルタイム分析して信号の振幅確率密度関数（PDF）をモニタすることができます。

ただし、PDF 分析の実施は一定の演算負荷を伴うので、PDF のモニタが不要である場合は、本分析機能を設定する必要はありません。

PDF 分析の実施は、制御チャンネルに指定されている応答入力信号に対して選択指定することができます。

また、本システムの出力であるドライブ電圧信号の PDF 分析結果をグラフ表示することもできます。

ただし、ROR/SOR など、ドライブ信号スペクトルが激しく時間変化し得る試験においては、ドライブ信号 PDF のグラフ表示は行なわれなくなります。PDF 分析は、本来、定常的な信号に対して行なわれるべきものであるからです。

### <設定法>

- (1) [テスト定義情報] の一番下にある [振幅確率密度分析] をダブルクリックします。  
すると、下図のように振幅確率密度分析の設定ウィンドウが現れます：



Fig.7

- (2) 振幅確率密度分析の設定ウィンドウには、すべての制御チャンネルの名前がリストアップされています（この例では、‘Z1’ と ‘Z2’）。デフォルト設定は、[実施する] になっていますが、実施する必要のないチャンネルがある場合には [実施しない] を設定する操作をし、PDF 分析をしたい入力チャンネルの設定だけが、[実施する] になるようにします（Fig.8 参照）。

[分析時間] には、PDF 分析を行なう分析対象とする入力時系列信号の長さを指定します。デフォルト設定は ‘120sec’ であり、グラフには常に直近の 120 秒間の信号の分析結果が表示されます。一方、定常的ではない信号が入力される ROR/SOR の場合には、デフォルト設定は ‘5sec’ としていますが、本ウィンドウにて適宜設定変更することが可能です。

(3) すべての設定が終了したら、[OK] ボタンを押します。

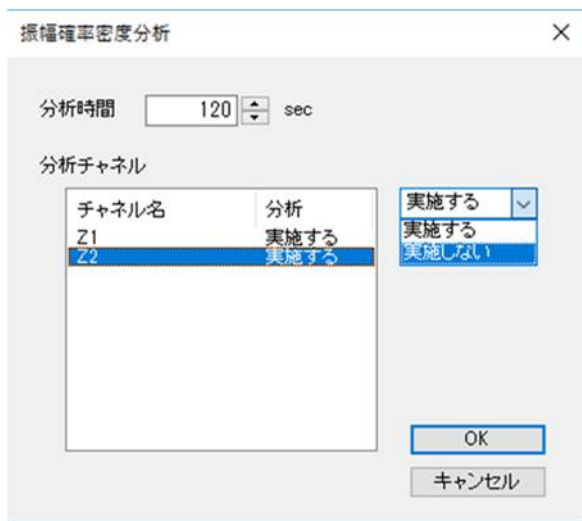


Fig.8

すると、下図のように、[テスト定義情報] の内容が更新されて、いま設定された内容が表示されるようになります。

また、画面の一番左のアイコンのうち、テスト定義情報のものが画面に見るような状態に変わります。

もし、この PDF 分析の定義を未定義状態に戻したい時には、このアイコンを押せば PDF 分析の定義がリセットされて未定義状態に戻ります。

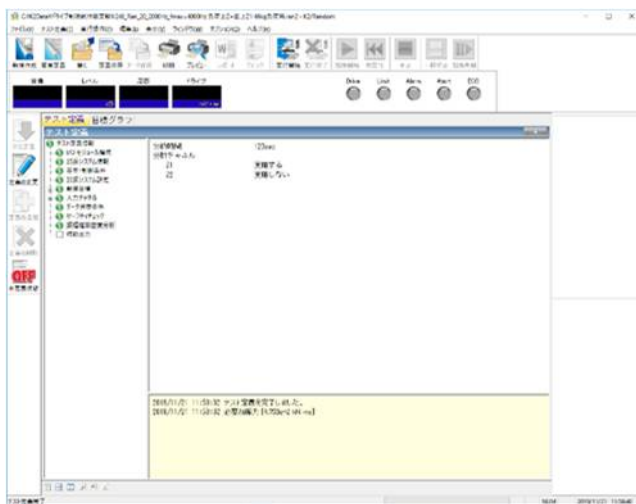


Fig.9

## 2.3 特記事項：制御周波数レンジ $f_{max}$ の推奨設定値

目標スペクトルの定義されている周波数帯域が  $[f1, f2]$  であるとしします。

ここに、 $f1$  は目標スペクトルの下限周波数、 $f2$  は上限周波数を表わします。

さて、1.4 節で述べたように、出力されたドライブ信号のクレスト・ファクタの実測値  $CF$  は、クリッピング指定のために設定された値  $CF_s$  よりもやや大きめの値になるのが通常です。そして、この傾向は、上限周波数  $f2$  が制御周波数レンジ  $f_{max}$  に近いほど顕著になります。

試験実施状況がクリティカルで、実際のドライブ信号の持つ  $CF$  値ができるだけ小さな値を持つ、すなわち指定した  $CF$  にできるだけ近い値を持つようにしたい場合には、制御周波数レンジ  $f_{max}$  の設定値が目標スペクトル上限周波数  $f2$  の 2 倍程度になるように設定を行なってください。

## 2.4 加振の実施

加振の実施における操作は、これまでの通常の  $K2+/RANDOM$  の操作法と基本的に同じです。

クリッピングの指定作業が完了したら、テスト定義画面で「実行開始」を押して、実行モードに入ります：

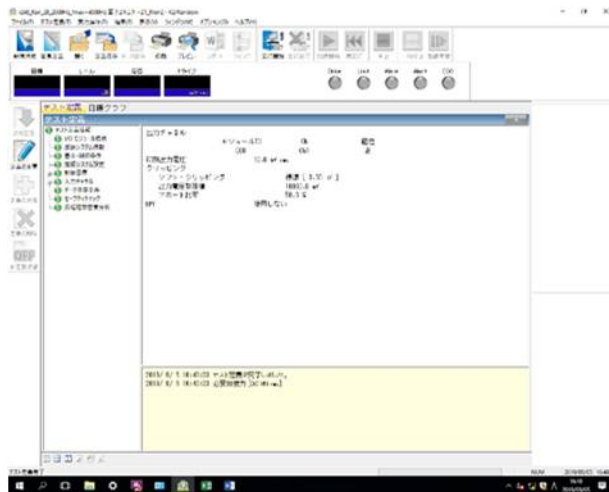


Fig.10

すると、下図のように、システムは実行モードへの遷移を開始します。下図は加振システムが省エネシステム ISM-EM を搭載している場合の例です。

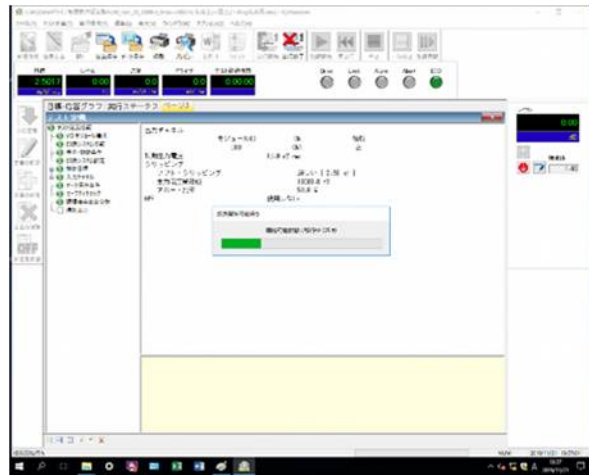


Fig.11

実行モードへの移行が完了すると、下図のように「実行開始」のボタンが有効になります。

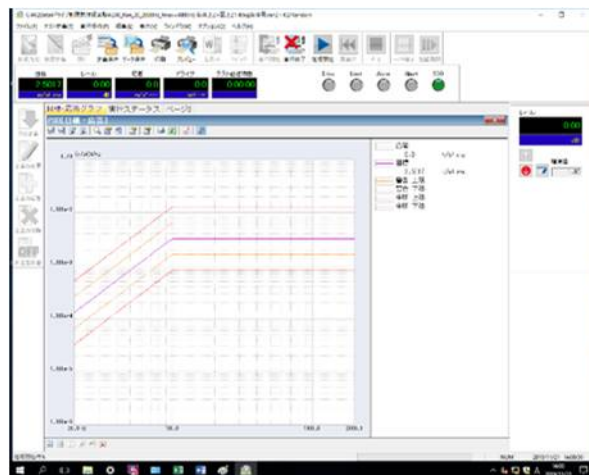


Fig.12



[実行開始] ボタンを押下すると、ドライブ電圧の出力が開始され、応答加速度 PSD を目標 PSD に一致させるためのドライブ信号スペクトルの調整処理（初期イコライゼーション）を経て、応答加速度 PSD が与えられた目標 PSD に一致するランダム振動試験が開始されます：

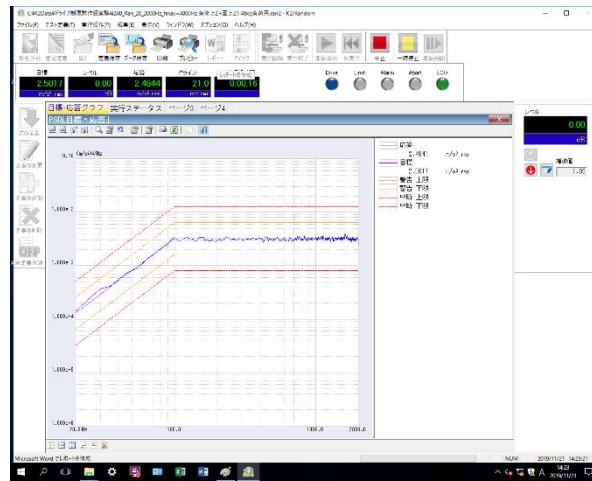


Fig.13

## 2.5 振幅確率密度分布関数 PDF のグラフ表示

本オプション付きシステムでは、あらかじめ設定された入力チャネルへの入力波形信号のヒストグラム解析が加振運転中にリアルタイムで実施されており、その分析結果を振幅確率密度分布関数 PDF としてグラフ表示をすることができます。

PDF のグラフ表示をするには、グラフを付加したいページをアクティブにした状態で、一番上段のリボン [ウィンドウ] を押して [グラフ] を選択すると、下図のようにグラフの選択ウィンドウが現れるので、[振幅確率密度] を選び、グラフ表示したい入力チャネル信号名を選択します。

- 正規分布を表示： 参照用にガウス分布関数が表示されます。
- 横軸を rms で正規化： 横軸が CF による目盛になります。
- ドライブを表示： ドライブ信号の PDF を表示します（他との重ね描きは不可）。

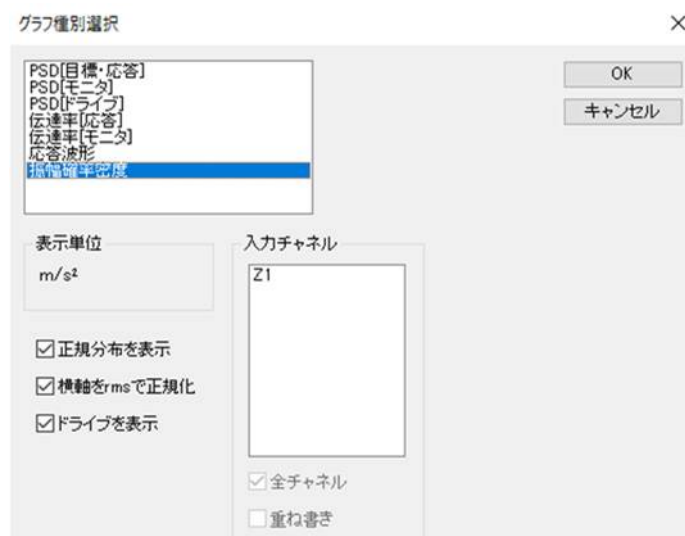


Fig.14

グラフ選択設定を完了して [OK] を押すと、下図のように、選択した波形データの PDF グラフが表示されます：

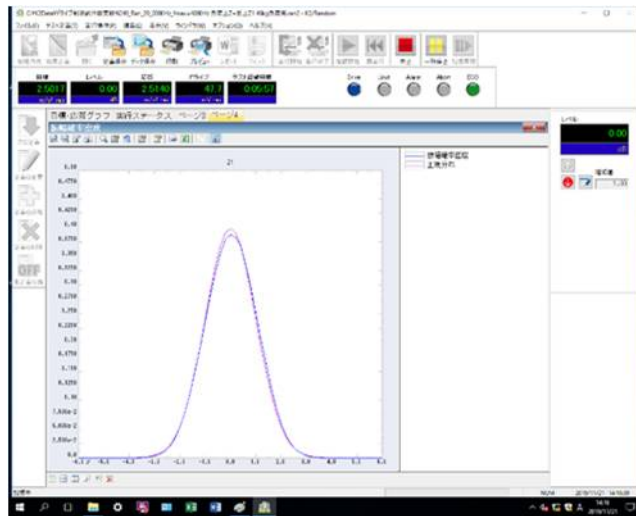


Fig.15

CF の大きい部分での PDF の観察をするには、PSD を対数表示した方が全体傾向が見やすいので、グラフ表示仕様設定ボタンから [スケール] を選択して縦軸メモリを [対数] に設定するのがよいでしょう：

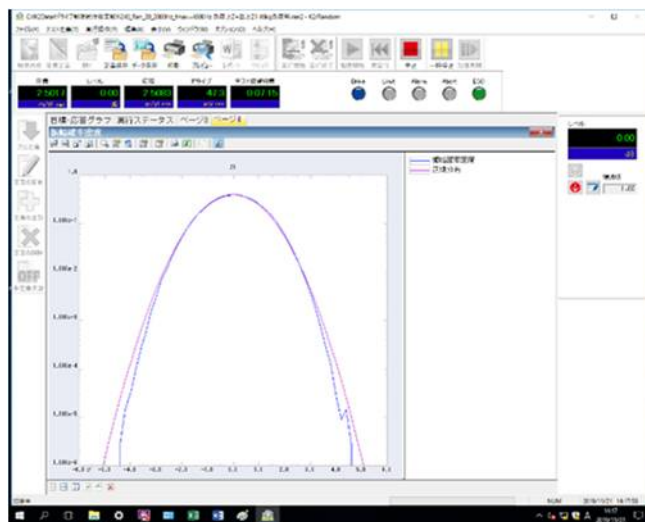


Fig.16

## 2.6 実行ステータス

[実行ステータス]の中には、各チャンネルの信号のrms値と、PDF分析の実施が指定された入力チャンネル信号とドライブ信号のクレスト・ファクタとが、それぞれ該当欄に表示されています：

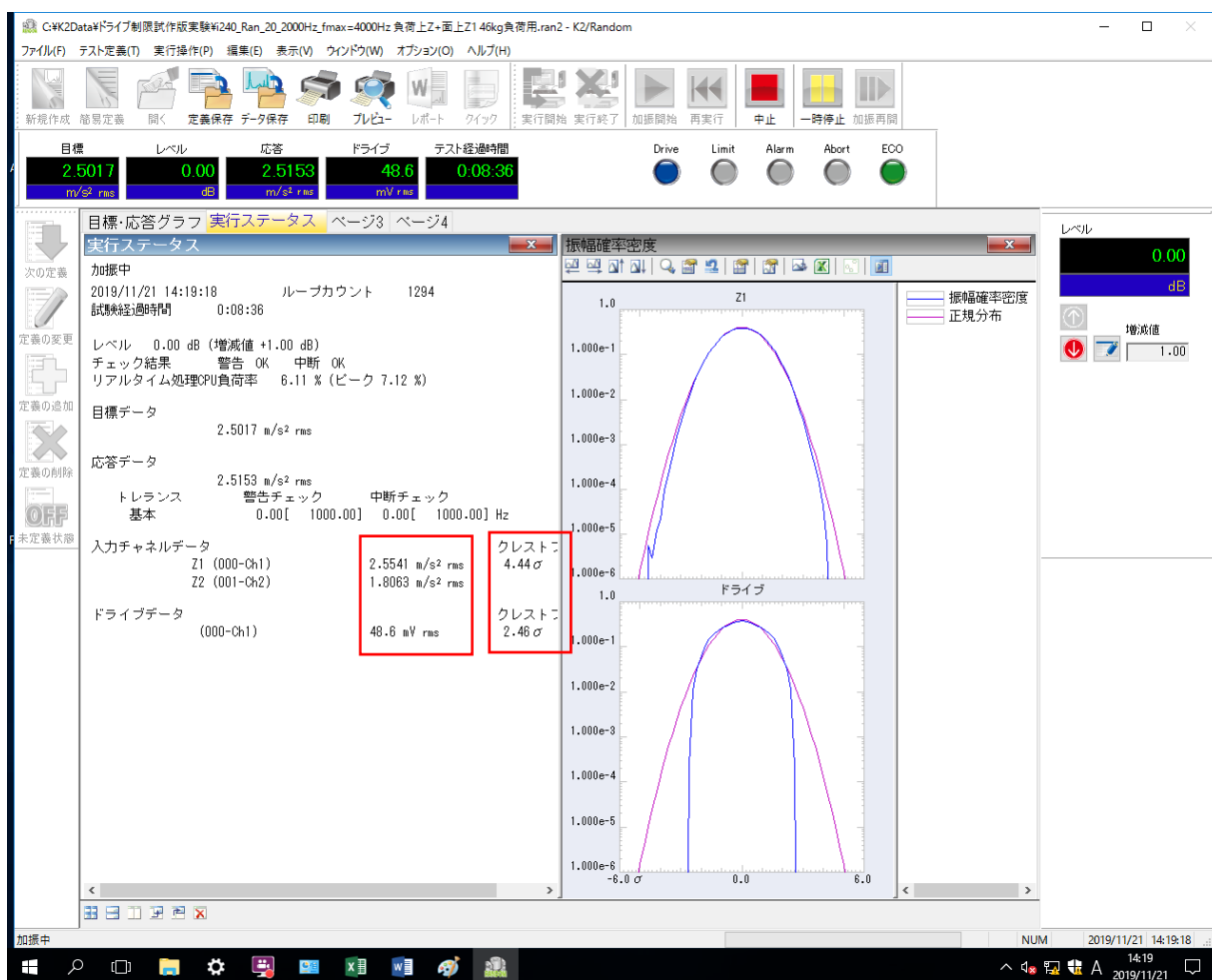


Fig.17

ただし、これらの値は、制御系内部でのデータ処理上の「理論値」です。実際に出力されたアナログ電圧信号を計測してみると、CFの値は「理論値」よりも少し大きくなっているのが普通です。これは、1.4節で述べたアナログ回路通過時に発生する過渡応答のせいですが、ソフト・クリッピングの方が「理論値」からの乖離が少ないことが実験的に確かめられています。

なお、上記の画面例では、1枚のページに実行ステータスとPDFグラフとを2画面表示しています。

### PDFグラフの自動リセット動作に関する特記事項

加振システムが省エネ制御システム (ISM-EM) 付きである場合は、加振が開始された後、省エネのための運転条件最適化により励磁電流の再設定が行なわれ、その結果ドライブ信号の大きさが変化します。この影響でPDFの横軸目盛を新しい信号の大きさに合わせる必要があるため、最適化動作完了後、PDFグラフデータのリセットが自動的に実施されます。

## 2.7 CPU 負荷エラーが起きた場合の処置

本機能は、0dB 加振レベルにおけるドライブ信号の CF が常に指定された値以下に保たれるようにするものですが、その実現には「非ガウス性ランダム信号発生」の技法が駆使されています。

そして、指定する CF の値が小さいほど多くの演算が要求され、CPU への負荷は大きくなります。細かく言うと CPU への負荷は運転条件 ( $f_{max}$ , L) に依存し、また被制御系の伝達特性によっても変わります。K2+/RANDOM のアプリケーションを走らせている PC に搭載されている CPU のクロック周波数やメモリの大きさにも依存することは言うまでもありません。

それで、状況によっては CPU 負荷が大きすぎて制御運転が実施できないという事態も発生し得ます。もし、そういう事態が発生した場合は、下記のような表示が出て、制御器は制御動作を自動的に停止します。「CPU 過負荷エラー」による運転停止の際、ドライブ信号は安定的に静かにゼロになりますから、危険は一切ありません。：

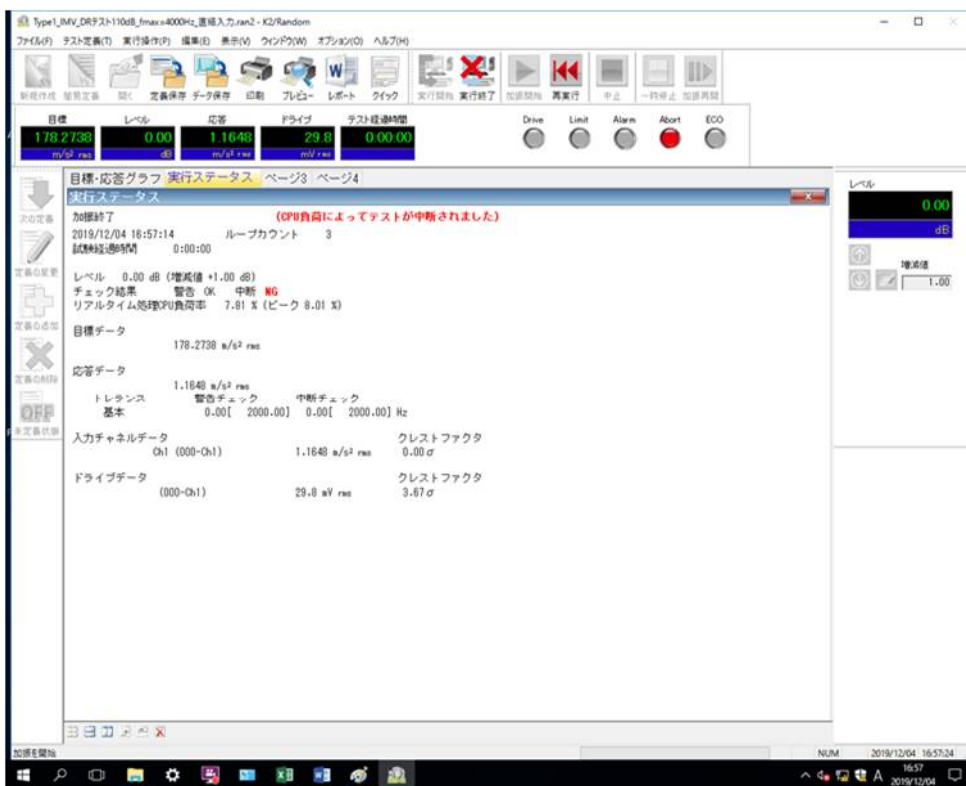


Fig.18

このようなことが起きた場合は定義画面に戻り、[加振システム] で設定ウィンドウを起動して、設定 CF の設定値を今よりも大きくして、制御運転を再度実施してみてください。（“標準” でやっていたのなら“緩い” に設定してみる。または“数値指定” で CF の値を 0.1 だけ大きく設定して再度加振を試みる。）

また、設定 CF 値が同じでも、演算負荷は制御条件のライン数 L が大きいほど大きくなりますから、もしライン数を減らしても制御が破綻しないのであれば、ライン数 L を小さくすることも CPU 負荷エラー発生の事態を回避する有効な手段のひとつでしょう。