

# オーディオ・アナライザ R&S<sup>®</sup>UPVによる 音響測定用の マイクロフォンと音源の校正 アプリケーションノート

製品：

| R&S<sup>®</sup>UPV

このアプリケーションノートでは、オーディオ・アナライザ R&S<sup>®</sup>UPV で音圧レベルの直接入力や直接読み取りを行うことができるようにするための音響校正の方法を説明します。また、マイクロフォンとスピーカの校正に必要な測定を行い、校正値を管理して適切なユーザ定義セットアップに入力するためのアプリケーション・プログラムについても説明します。

# 目次

1	概要.....	3
2	はじめに.....	4
3	UPVでの基準値の使用.....	5
4	アプリケーション・プログラムのインストール.....	8
5	アプリケーション・プログラムの操作.....	9
5.1	マイクログホン校正.....	9
5.2	スピーカ校正.....	10
5.3	校正値の使用.....	11
6	ハードウェア要件とソフトウェア要件.....	12
7	付録：クイック・ラウンチ・ボタンの使用.....	13
8	オーダー情報.....	14

# 1 概要

このアプリケーションノートでは、オーディオ・アナライザ R&S®UPV で音圧レベルの直接入力や直接読み取りを行えるようにするための音響校正の方法を説明します。

また、マイクロフォンとスピーカの校正に必要な測定を行い、校正値を管理して適切なユーザ定義セットアップに入力するためのアプリケーション・プログラムについても説明します。

以下、このアプリケーションノートでは、オーディオ・アナライザ R&S®UPV を「UPV」と略記します。

## 2 はじめに

音響測定では、音圧レベルまたは音場、もしくはその両方を測定する必要があります。標準的な例としては、騒音測定、スピーカ測定、マイクロフォン測定、および補聴器や携帯電話などのシステムに関する測定があります。

たとえば騒音計は、通常、音圧レベルを dB SPL (20  $\mu$ Pa を基準とした dB 値) で直接表示します。UPV のように電圧を測定するオーディオ・アナライザをこの目的で使用する場合は、マイクロフォンの感度

$$S_M = \frac{\tilde{V}_M}{\tilde{p}}$$

を決定する必要があります。ここで  $\tilde{V}_M$  はマイクロフォンの出力電圧の rms 値、 $\tilde{p}$  はその電圧を発生させる音圧の rms 値です。音圧値は、測定電圧をこの感度値で割ることによって得られます。

マイクロフォン感度を知るための測定は、一般にマイクロフォン校正と呼ばれます。マイクロフォン校正のための音圧レベルは、いわゆる音響校正器で発生させます。この校正器は、定められた周波数 (一般に 1 kHz) と音圧 (通常は 1 Pa または 10 Pa) の正弦波信号を生成します。測定用マイクロフォンは小型で、明快な機械的構造をしており、その感度は一定の周波数範囲内であれば周波数に関係なく一定です。したがって、校正は 1 つの周波数について行うだけで十分です。

測定の内容によっては、一定のポイントで定められた音圧を発生させる必要があります。UPV のジェネレータで必要な音圧レベルを設定できるようにするには、スピーカの感度

$$S_L = \frac{\tilde{p}_L}{\tilde{V}_G}$$

を決定する必要があります。ここで、 $\tilde{p}_L$  はあらかじめ定められた測定ポイントでスピーカから発生する音圧、 $\tilde{V}_G$  はその音圧を発生させるジェネレータの出力電圧です。

スピーカの機械的構造は測定マイクロフォンよりもはるかに複雑な上に、放射効果が周波数と測定ポイントの違いに応じてスピーカの感度に影響を与えるので、スピーカの感度は周波数によって異なるのが普通です。このような理由から、スピーカの校正は 2 つの段階に分けて行われます。

1. 1 つの周波数における絶対感度の測定
2. この周波数を基準とした周波数応答の測定

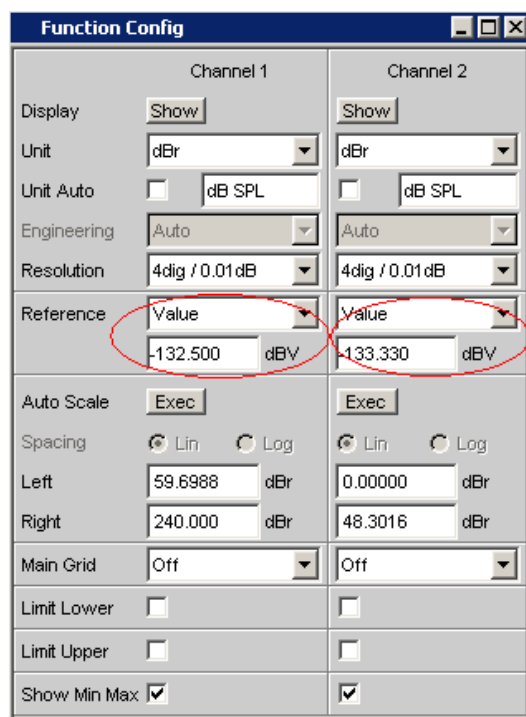
測定ポイントにおいて定められた音圧を生成するためには、ジェネレータの出力電圧を、必要音圧をスピーカ感度で割った値に設定し、逆周波数応答によって補正する (イコライゼーション) 必要があります。

ここで、スピーカ校正が有効なのは校正ポイント付近だけである、という点に注意する必要があります。これは、音波の伝搬特性によるものです。

周波数によって異なる振幅を補正するという意味でのイコライゼーションが可能なのは、(スイープされた) 正弦波信号や多重正弦波信号のように、周波数ドメインで定義された信号だけです。スピーチのように、時間ドメインで定義された複雑な信号のイコライゼーションには、フィルタが必要です。

### 3 UPV での基準値の使用

数値関数の結果については、マイクロフォン感度を基準値として Function Config（関数設定）パネルに入力することができます。



基準値として入力した値が 1 Pa の音圧によって生成されるマイクロフォン出力である場合、結果として表示される値の単位は dBPa（1 Pa を基準とした dB 値）となります。dB SPL（20  $\mu$ Pa を基準とした dB 値）で表示したい場合は、20  $\mu$ Pa に対するマイクロフォン出力電圧を基準値として入力する必要があります。この値は、1 Pa で測定した電圧レベルから 94 dB を引くか、その電圧を 50000 で割ることによって得られます。

レベル表示は単位を「dBr」に設定する必要があります。音圧表示の単位は「V/Vr」に設定する必要があります。ディスプレイのラベルは、「Unit Auto」（自動単位）チェックボックスのチェックマークが外れていれば、希望の単位に変更することができます（上の例を参照）。

スイープを行う場合は、Sweep Graph Config（スイープグラフ設定）パネルで基準値を入力することができます。あるいは、スイープグラフ設定パネルの「Reference」（基準）を「Meas Panel」（測定パネル）に設定することができます。この場合は、Function Config（関数設定）パネルに入力した基準値がコピーされます。これは、FFT スペクトラム（FFT Graph Config（FFT グラフ設定）パネル）と 1/n オクターブ・スペクトラム（Bar Graph Config（棒グラフ設定）パネル）の場合も同じです。

入力モニタとレベル・モニタについては、それぞれ、Input Config（入力設定）パネルまたは Level Mon Config（レベル・モニタ設定）パネルの数値関数の結果に従って基準値を設定することができます。違いは、両方のチャンネルに対して 1 つの共通基準値があるという点だけです。

ジェネレータ側については、Generator Config（ジェネレータ設定）パネルから基準値として感度を入力することができます。

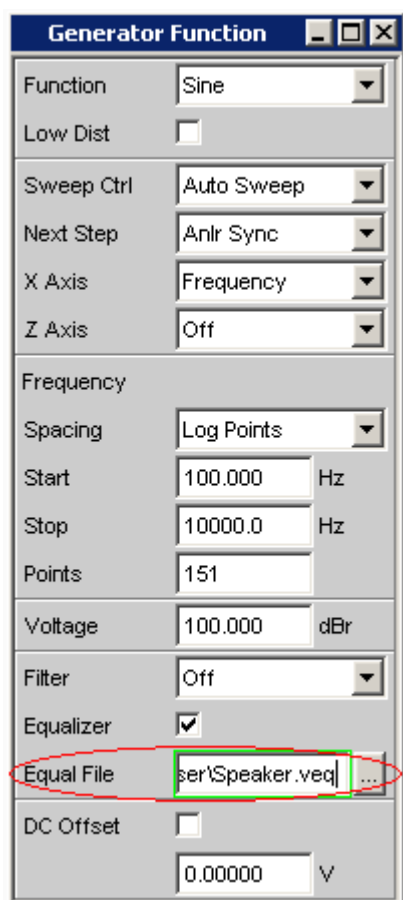
Generator Config	
Instrument	Analog
Channel	1
Output Type	Unbal
Impedance	5 Ω
Common	<input type="radio"/> Float <input checked="" type="radio"/> Ground
Bandwidth	22 kHz
Volt Range	<input type="radio"/> Auto <input checked="" type="radio"/> Fix
	10.0000 V
Ref Voltage	-90.3300 dBV
Ref Frequency	1600.00 Hz

スピーカの周波数応答は、Sweep Graph Config（スイープ・グラフ設定）パネルからイコライゼーション・リストとして保存できます。

Sweep Graph1 Config	
Main Grid	Auto medium
Sub Grid	2
Resolution	3dig / 0.1 dB
Store Traces	
Store Trace as	Equalization List Trace <input checked="" type="radio"/> A <input type="radio"/> B
Norm Freq	1000.00 Hz Invert <input checked="" type="checkbox"/> Modify Equ. <input type="checkbox"/>
Store Trace to	d:\JPV\user\Speaker.veq

測定した周波数応答をイコライゼーションのために反転させるには、「Invert」（反転）チェックボックスをオンにする必要があります。「Norm Freq」（基準周波数）は、絶対感度を測定した周波数に設定しなければなりません。

保存したイコライゼーション・リストは、周波数定義されたジェネレータ信号により、イコライゼーション・ファイルとして開くことができます。



振幅は、イコライゼーション・ファイルに含まれる係数によって周波数ごとに個々に補正されますが、この際、周波数はファイル内の周波数によって補間されます。

## 4 アプリケーション・プログラムのインストール

アプリケーション・プログラムを使用するには、UPV-K1 オプションをインストールする必要があります。アプリケーション・プログラムは、実行型プログラムとしてインストールしたり、変更や新たなコンパイルを行うために Visual Basic .NET の IDE で開いたりすることができます。実行型プログラムを使用するだけの場合は、インストーラ・ファイル CalibrationTool.msi、Config.ini、dotnetfx.exe、Settings.ini、および Setup.exe を UPV のハードディスクにコピーし、Setup.exe をダブルクリックしてインストールを開始します。.NET ランタイム・フレームワークがすでに UPV 上にある場合（たとえば VB.NET IDE がインストールされている場合や、他の .NET アプリケーション・プログラムをインストールしたことがある場合）は、CalibrationTool.msi をコピーして起動するだけで済みます。

プログラムは、Rohde&Schwarz¥CalibrationTool¥CalibrationTool.exe の下のプログラム・ファイル・フォルダに保存されます。また、インストーラは UPV のデスクトップにショートカットを作成します。

さらに、インストーラは必要なセットアップ・ファイルをプログラム・フォルダにコピーし、プログラムは、最初の起動時に D:¥UPV¥Calibrations フォルダを自動的にインストールします。IDE からプログラムをコンパイルして起動する場合は、あらかじめ D:¥UPV に「Calibrations」フォルダを作成しておくとともに、2つのセットアップ・ファイル MicCal.set と SourceCal.set を、そのフォルダにコピーしておく必要があります。

ソースコードの編集とコンパイルを行うにはプロジェクト・フォルダを解凍し、解凍したファイルを UPV のハードディスク（たとえば D:¥Visual Studio Projects）へコピーします。Visual Basic IDE 開始ページの「Open Project」（プロジェクトを開く）をクリックしてそのフォルダへ移動し、AcousticCalibration1.sln を開きます。

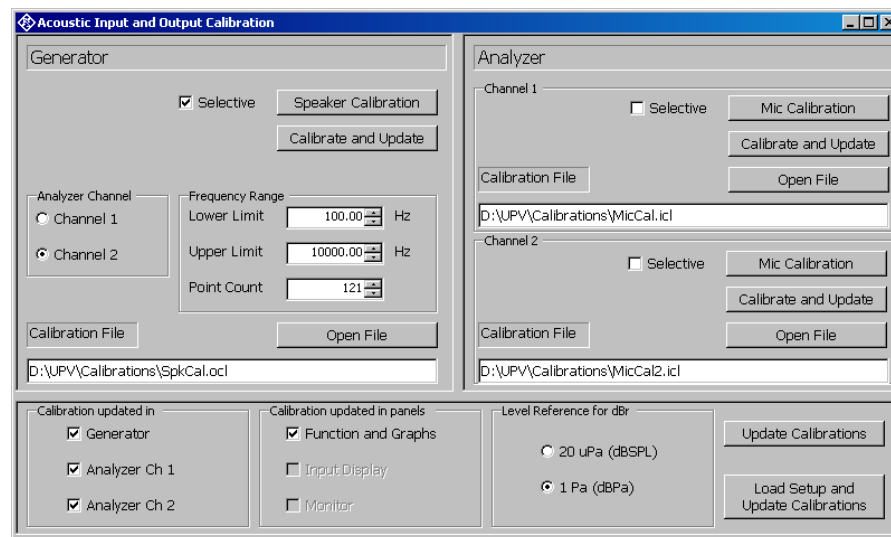


## 5 アプリケーション・プログラムの操作

アプリケーション・プログラムを使用するには、基準値を入力して適用するために、それぞれの測定セットアップを設定する必要があります。詳細については、上記第 3 項を参照してください。このアプリケーションノートには、スピーカと 2 つの異なるマイクロフォンの校正用に、SweepExample.set というサンプル・セットアップも付属しています。

特に、ツールによってマイクロフォン校正を入力するチャンネルは、セットアップによってアクティブにしておく必要があります。グラフの基準は「Meas Panel」（測定パネル）で設定します。スピーカの校正を正しく行うには、「Equalizer」（イコライザ）チェックボックスを有効にする必要があります。さらに、セットアップ時には、ジェネレータがオーバーレンジとならないように、Generator Function（ジェネレータ関数）パネルで dBr 振幅値を十分低い値に設定しておく必要があります。校正値の入力によって規定外の処理状態が発生した場合はエラー・ウィンドウが表示され、アプリケーション・プログラムは終了します。

AcousticCalibration1.exe が起動すると、UPV に次のエントリ・ウィンドウが表示されます。



ウィンドウは 3 つのパネルに分割されています。1 つがスピーカ校正用、1 つがマイクロフォン校正用、そして 1 つが UPV セットアップに合わせて保存された校正値を更新するためのウィンドウです。

### 5.1 マイクロフォン校正

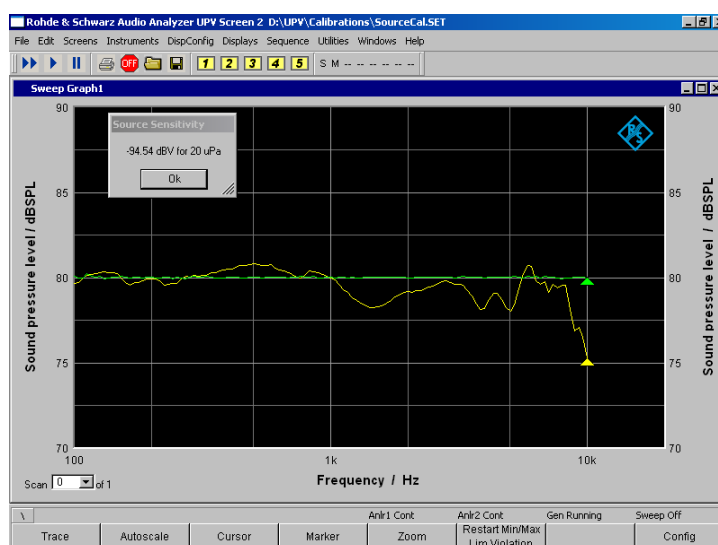
マイクロフォン校正は、2 つの入力チャンネルのそれぞれについて行うことができます。「Mic Calibration」（マイク校正）をクリックすると校正ルーチンが開始されます。校正ルーチンが正常に終了すると、結果を保存するためのファイルを指定することができます。このファイル名は「Calibration File」（校正ファイル）テキスト・ボックスにも同時に入力され、これによって UPV セットアップに入力される校正値の取得元ファイルが指定されます。「Calibrate and Update」（校正と更新）をクリックすると、Function Config（関数設定）パネルの値が自動的にそれぞれのチャンネルに入力されます。校正ルーチンを実行せずにファイルの校正値を選択するには、「Open File」（ファイルを開く）を使用します。

マイクロフォンを校正するには、使用するアナライザ入力にマイクロフォンを接続し、マイクロフォンを音響校正器に挿入して校正器のスイッチを入れます。各チャンネルの「Mic Calibration」（マイク校正）ボタンをクリックすると、校正器が測定した SPL の入力を求めるウィンドウが表示されます。「Selective」（選択）チェックボックスを有効にすると、1/3 オクターブ・バンドパス・フィルタを使用して校正測定が行われます。したがってこの場合は、校正器によって生成された信号の周波数も入力する必要があります。以上が完了すると、一連の電圧測定が開始されます。1つの結果が十分に一定である場合は、そのマイクロフォンの感度が表示され、値を保存するファイルの名前を入力するためのファイル選択ボックスが表示されます。

## 5.2 スピーカ校正

スピーカ校正を行うには、スピーカの校正測定に使用するアナライザ・チャンネルに対して、有効なマイクロフォン校正が行われている必要があります。この使用チャンネルは、「Analyzer Channel」（アナライザ・チャンネル）で選択します。「Lower Limit」（下限値）、「Upper Limit」（上限値）、および「Point Count」（ポイント数）は、校正測定中に行う周波数応答スイープのためのパラメータを指定します。「Selective」（選択）は、スピーカの広帯域測定と選択的測定の切り替えに使用します。

スピーカを校正するには UPV 出力の 1 つにスピーカを接続しますが、必要に応じて出力アンプを挿入することもできます。アナライザ入力の 1 つにマイクロフォンを接続してそのマイクロフォンを校正するか、マイクロフォンの有効な校正結果をファイルからロードします。次に、スピーカ校正用に適切なアナライザ・チャンネルを選択し、校正を行うスピーカの前にマイクロフォンを配置します。配置したら、「Speaker Calibration」（スピーカ校正）をクリックして校正用の SPL を入力してください。スピーカは非線形性を有しているため、異なるレベルで校正を行うと、その感度と周波数応答に差が出ます。異なるレベルの組み合わせで校正を行って、それぞれの結果を異なるファイル名で保存することも可能です。レベルが確認されると、まず 1 kHz における絶対感度を決定することから校正が開始され、そこを基準として相対的な周波数応答が測定されます。3 回目のスイープを行う前に、校正結果を検証するため、2 回目の測定で得られたイコライゼーションの確認と補正が行われます。測定の完了後は、校正値を保存するためのファイルの名前を入力します。その後、UPV はローカル制御に戻り、スイープを表示するために校正ツールのウィンドウは最小化されます。



「OK」をクリックして「Source Sensitivity」（ソース感度）ウィンドウを閉じると、校正ツール・ウィンドウが再表示されて、直前の UPV 設定に戻ります。  
一度校正を行ったら、その校正を使用して行う試験を開始するまで、試験設定（出力アンプの利得、スピーカの位置、および測定対象のデバイス）を変更しないようにしなければなりません。

## 5.3 校正値の使用

「Update Calibrations」（校正を更新）をクリックすると、チェックボックスで指定されたジェネレータとアナライザ・チャンネルの基準値として、3つのテキスト・ボックスに指定されたファイルの校正値が入力されます。入力とモニタ表示の更新は、シングル・チャンネル・モードでのみ可能です。セットアップおよびディスプレイの dBr 値は、dB SPL（20  $\mu$ Pa 基準）とするか dB Pa（1 Pa 基準）とするかを選択できます。

「Load Setup and Update Calibrations」（セットアップをロードして校正を更新）をクリックすると、UPV セットアップをロードして、アクティブになった校正値を、基準値としてそのセットアップへ自動的に入力できます。

各操作が終了すると、アプリケーション・プログラムは UPV ファームウェアをローカル制御に戻します。したがって、アプリケーション・プログラムは UPV 使用中も開いたままにできますが、校正ツール・ウィンドウが開いている間に別のリモート制御アプリケーションを実行することはできません。セットアップをロードして更新するとウィンドウが最小化されますが、Windows のタスク・バーから再度開くことができます。

## 6 ハードウェア要件とソフトウェア要件

オーディオ・アナライザ UPV を使用するには、バージョン 1.4.1 以降のファームウェアが必要です。  
また、アプリケーション・プログラムを使用するには、UPV-K1 オプション（シーケンス・コントロール）が必要です。

## 7 付録：クイック・ラUNCH・ボタンの使用

UPV には 8 個のクイック・ラUNCH・ボタンがあり、あらかじめ定義したセットアップのロードや、定義済みのマクロの実行に使用できます。

ボタンの割り当ては、「Utilities → Quick Launch Config ...」（ユーティリティークイック・ラUNCH設定）で定義できます。

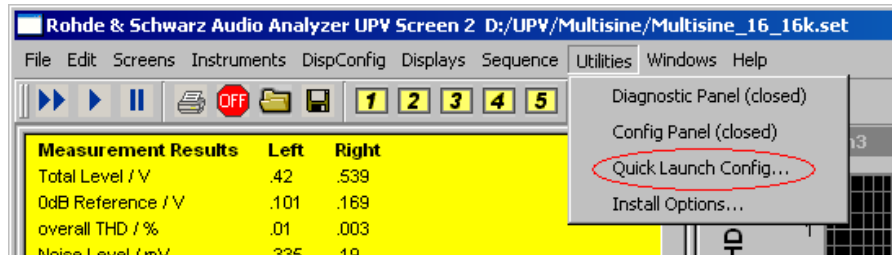


図1：Quick Launch Config（クイック・ラUNCH設定）パネルの表示

このメニューを選択すると、次に示す設定パネルが表示されます。

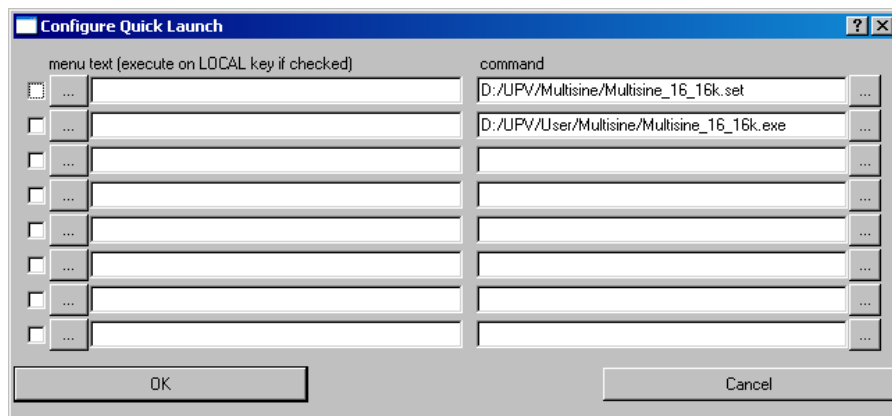


図2：Quick Launch Config（クイック・ラUNCH設定）パネル

右側にある「...」ボタンを使用すると、それぞれのボタンで呼び出すセットアップ・ファイルや実行ファイルが表示されます。左側にある「...」ボタンを使用すると、ボタンのアイコンを指定できます。左側のテキスト・ボックスに入力したテキストは、マウス・カーソルをボタンに重ねたとき、そのボタンのツールチップ・テキストとして表示されます。

## 8 オーダー情報

UPV	オーディオ・アナライザ、DC ~ 250 kHz	1146.2003.02
UPV-K1	シーケンス・コントローラ	1401.7009.02

オーディオ・アナライザおよびその他の測定器の詳細については、ローデ・シュワルツのウェブサイト [www.rohde-schwarz.com](http://www.rohde-schwarz.com) をご覧ください。

#### ローデ・シュワルツについて

ローデ・シュワルツ・グループ（本社：ドイツ・ミュンヘン）は、エレクトロニクス分野に特化し、電子計測、放送、無線通信の監視・探知および高品質な通信システムなどで世界をリードしています。

75 年以上前に創業し、世界 70 カ国以上で販売と保守・修理を展開している会社です。

#### ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

本社／東京オフィス

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1

住友不動産西新宿ビル 27 階

TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285

神奈川オフィス

〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜 2-8-12

Attend on Tower 16 階

TEL:045-477-3570 (代) FAX:045-471-7678

大阪オフィス

〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-23-20

TEK 第 2 ビル 8 階

TEL:06-6310-9651 (代) FAX:06-6330-9651

サービスセンター

〒330-0075 埼玉県さいたま市浦和区針ヶ谷 4-2-11

さくら浦和ビル 4 階

TEL:048-829-8061 FAX:048-822-3156

E-mail: [info.rsjp@rohde-schwarz.com](mailto:info.rsjp@rohde-schwarz.com)

<http://www.rohde-schwarz.co.jp/>

Certified Quality System  
**ISO 9001**  
DQS REG. NO 1954 QM

Certified Environmental System  
**ISO 14001**  
DQS REG. NO 1954 UM

このアプリケーションノートと付属のプログラムは、ローデ・シュワルツのウェブサイトのダウンロード・エリアに記載されている諸条件に従ってのみ使用することができます。

掲載されている記事・図表などの無断転載を禁止します。

おことわりなしに掲載内容の一部を変更させていただくことがあります。あらかじめご了承ください。

#### ローデ・シュワルツ・ジャパン株式会社

〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-20-1 住友不動産西新宿ビル 27 階

TEL:03-5925-1288/1287 FAX:03-5925-1290/1285

[www.rohde-schwarz.co.jp](http://www.rohde-schwarz.co.jp)