10 のヒント
周波数カウンタの活用

Application Note

カウンタは、プラグアンドプレイ測定器として使用できるため、一見簡単そうに見えます。信号を接続すると、周波数などのパラメータがデジタル値として表示されます。しかし、正確な結果を得るには、カウンタ測定の設定に注意する必要があります。

最適なカウンタの選択

最初のステップは、最もニーズに適合したカウンタを選択することです。さまざまな周波数で測定できる、複数の製品があります。

- **ユニバーサル・カウンタ**
  周波数とタイム・インターバル測定、およびその他の関連パラメータを測定できます。
- **RF 周波数カウンタ**
  3 GHz までの周波数を正確に測定できます。
- **マイクロ波周波数カウンタ**
  40 GHz までの周波数を正確に測定できます。
- **タイム・インターバル・アナライザ**
  タイム・インターバルの測定に最適化されています。
- **モジュレーション・ドメイン・アナライザ**
  周波数対時間、位相対時間、タイム・インターバル対時間などの変調指標を測定できます。

Agilent Technologies

ヒント 1

分解能と確度の違い

桁数が多いからといって測定の確度が高いとは必ずしも言えません。分解能と確度を同一視することは、よくある間違いです。これらには関連がありますが、別の概念です。

カウンタの分解能とは、非常に近接した周波数を区別できる能力の指標です。その他の事柄（測定時間、製品コストなど）がすべて等しければ、桁数が多いほど優れていますが、画面に表示される桁が、確度によって裏付けられている必要があります。その他の誤差によりカウンタの分解能力が実際の周波数から外れると、桁が当てにならなくなる可能性があります。すなわち、カウンタが、不正確な周波数を非常に正確に読み取っている可能性があります。

ランダム誤差と系統誤差の両方により、カウンタの確度が決まります。ランダム誤差は、分解能の不確かさの原因となり、以下が含まれます。

- **量子化誤差**
  カウンタが測定を実行すると、最下位桁に±1カウントのあいまいさが存在します。これは、内部クロック周波数と入力信号との不一致により生じます。
- **トリガ誤差**
  入力チャネルからのノイズによりトリガする可能性があります。
- **タイムベース誤差**
  実際のタイムベース発振器の周波数とその公称周波数の違いに起因する誤差は、直接測定誤差になります。

系統誤差は測定システム内のバイアスであり、これにより読み値が信号の実際の周波数からずれてしまいます。この誤差には、エージング、温度変動、電源電圧変動などのタイムベースの水晶発振器に対する影響も含まれています。

図1で、2つのカウンタを比較します。カウンタAは優れた分解能を備えていますが、大きな系統誤差があるため、ほとんどの場合、低分解能でも系統誤差の小さいカウンタBより、確度が低下します。

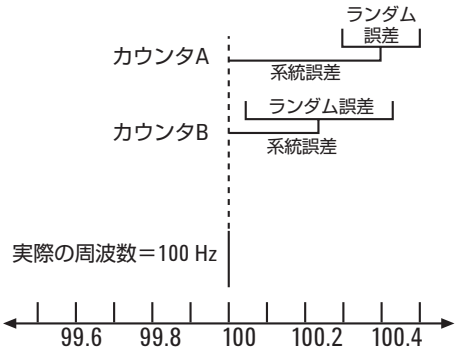

図 1. 分解能と確度の簡単な説明。タイムベースに関連した系統誤差により、表示周波数が実際の周波数から「ずれ」ます。ランダム誤差により、カウンタが信号を区別できない周波数レンジが生じます。

ヒント 2

カウンタ測定法の理解

周波数カウンタは基本的に、ダイレクト・カウンタとレシプロカル・カウンタの2つのタイプに分けられます。ニーズに最適なカウンタを選択して、正しく使用するには、この2つの手法を理解する必要があります。

ダイレクト・カウンタは、信号のサイクルを既知の期間（ゲート時間）カウントします。得られたカウントは、表示のためにカウンタのディスプレイに直接送られます。

この手法は単純で安価ですが、ダイレクト・カウンタの分解能がHzに固定されます。例えば、ゲート時間が1秒の場合、カウンタが検出できる最低周波数は1 Hzです（定義により、1秒で1サイクルの信号が1 Hzです）。すなわち、10 Hzの信号を測定している場合は、1秒のゲート時間に対して期待できる最大分解能は、1 Hz（2桁）です。1 kHzの信号の場合は、1秒のゲートで4桁になります。100 kHz信号の場合は、6桁になります（以下同様）。図2に、この関係を示します。また、ダイレクト・カウンタのゲート時間として選択可能な値は1秒の倍数と約数のみなので、測定の柔軟性が制限される可能性があります。

レシプロカル・カウンタは、入力信号の周期を測定し、その逆数を計算して周波数を取得します。測定アーキテクチャが同じ場合、得られる分解能は、与えられたゲート時間に対する表示桁数（Hzではない）に固定されます。

すなわち、レシプロカル・カウンタは、入力周波数に関係なく、常に同じ桁数の分解能が得られます。レシプロカル・カウンタの分解能は、特定のゲート時間に対する桁数（10桁/sなど）として仕様化されています。

カウンタがダイレクトかレシプロカルかは、周波数分解能の仕様を見ると判断できます。分解能がHzで仕様化されている場合は、ダイレクト・カウンタです。分解能が桁/sで仕様化されている場合は、レシプロカル・カウンタです。

カウンタ業界は、1秒のゲート時間を基準にした測定で標準化しています。図3は、ダイレクト・カウンタとレシプロカル・カウンタの分解能を比較したものです。低周波では、レシプロカル・カウンタはダイレクト・カウンタよりかなり優れています。例えば、1 kHzで、ダイレクト・カウンタは1 Hz（4桁）の分解能を示します。10桁/sのレシプロカル・カウンタは1 μHz（10桁）の分解能を示します。

高分解能が優先事項でない場合でも、レシプロカル・カウンタには、速度の点でも明らかな利点があります。レシプロカル・カウンタが1 msで1 mHzの分解能を実現するのに対し、ダイレクト・カウンタは、1 Hzの分解能を実現するのに1秒かかります（図4）。レシプロカル・カウンタでは、ゲート時間を（ディケード（10倍または1/10倍）のステップでなく）連続的に調整できるので、必要な分解能が短時間で得られます。

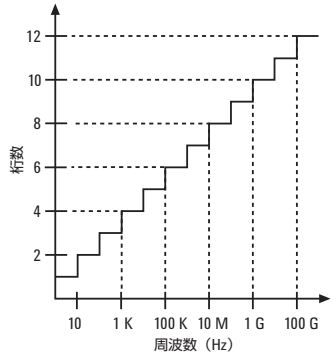

図2. ダイレクト・カウンタで表示可能な桁数対周波数（1 sのゲート時間）

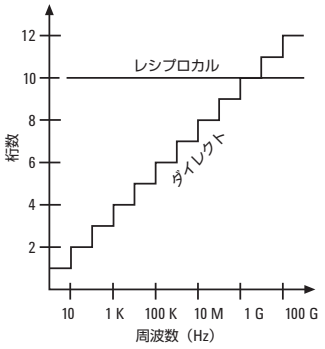

図3. ダイレクト・カウンタとレシプロカル・カウンタの分解能の比較（1 sのゲート時間）

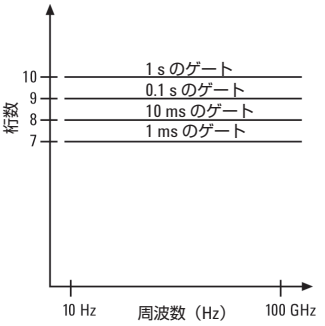

図4. 10桁/sのレシプロカル・カウンタでさまざまな分解能を得るために必要なゲート時間

分解能や速度がそれほど重要ではなく、コストのほうが重要な場合にはダイレクト・カウンタが適しています。高速、高分解能の測定にはレシプロカル・カウンタが必要になります。

ヒント 3

適切なタイムベースの選択

周波数カウンタの測定確度は、タイムベースの安定度に依存します。タイムベースは、入力信号を測定する際の基準になります。タイムベースが優れているほど、測定品質が向上します。水晶振動子の振動周波数は、周囲温度に大きく影響されます。タイムベース・テクノロジーは、これに対応する方法に応じて3つのカテゴリに分けられます。

- **室温水晶発振器（RTXO）**
  このタイプのタイムベースは、温度補償または温度制御を利用しません。このタイプの発振器は、通常0℃～50℃の温度範囲で周波数変動が最小になるように製造されています。これは、製造プロセス中にクリスタル・カットを適切に選択することにより実現されます。高品質のRTXOでは、この温度範囲での変動は約2.5 ppmです。これは、1 MHzの信号では± 2.5 Hzになるので、測定の大きな誤差因子となる可能性があります。安価であるという利点がありますが、大きな周波数誤差が生じます。

- **温度制御水晶発振器（TCXO）**
  温度変動による周波数変化を補償するための1つの方法として、相補的な熱応答を持つコンポーネントを利用して、より安定した周波数を得る方法があります。この方法により、熱的な動作が十分に安定化し、タイムベース誤差をRTXOに比べて1桁（約1 ppm（1 MHzの信号で± 1 Hz））減少できます。

- **オーブン制御水晶発振器（OCXO）**
  この手法では、水晶発振器はオーブン内に入っていて、オーブンが、熱応答曲線の特定のポイントの温度を維持します。そのためタイムベース安定度が非常に優れ、誤差（代表値）は0.0025 ppm（1 MHzの信号で± 0.0025 Hz）です。さらに、オーブン制御タイムベースは、クリスタル・エージングの影響にも対応できます。すなわち、校正のために頻繁にカウンタの使用を中止する必要がありません。

ヒント 4

要求性能に合わせるための校正スケジュール

カウンタを校正する頻度は、複数の因子に依存します。

- タイムベースの種類
- 測定中のカウンタの条件
- 測定で必要な確度

校正は複雑な問題となる可能性があり、カウンタの確度に直接関係しています。画面に表示される測定品質は、以下の 4 つの因子に依存します。

1. カウンタの時間変動しない性能因子(タイムベースの温度安定度など、ヒント 3 を参照)
2. カウンタの時間変動する性能因子(タイムベースのエージング・レートなど)
3. 入力信号のクリアさとノイズ・レベル
4. カウンタの設定と構成

校正の対象となるのは項目 2 です。カウンタは、電気信号を測定する電子測定器ですが、すべてのカウンタのタイムベースの心臓である水晶振動子は、メカニカル・デバイスです。メカニカル・デバイスなので、水晶振動子は物理的な障害の影響を受けやすく、振動周波数が変化し、カウンタの確度に大きな影響を与える可能性があります。このようなさまざまな障害が累積された影響を、クリスタル・エージングと呼んでいます。カウンタの校正ではこのエージングを補正します。

エージングは、かなり簡単に予測でき、校正により簡単に補償できる因子です。校正が必要かどうかを判断するには、カウンタのデータ・シートのエージング・レート仕様を参照してください。

例:エージング・レートが 4×10^{-8}/ 日で、校正から 300 日経過している場合は、エージングにより、全体の確度計算に 1.2×10^{-5} のタイムベース誤差が追加されます。この不確かさ(1 MHz の信号で ± 12 Hz)と、前述の固有の誤差を足した値が測定で許容可能であれば、校正は不要です。許容できない場合は、校正を行います。

ヒント5

高確度の測定

- **適切なアーミング・モードの選択**
  測定をすばやく行いたい場合は、周波数カウンタの自動アーミング・モードを使用するのが最も簡単です。しかし、代表的な4つのアーミング・モード（自動、外部、時間、桁）のうち、自動モードは確度が最も劣ります。外部、時間、桁のいずれかのアーミング・モードを使ってゲート時間を長くすることにより、分解能と系統的な不確かさ（測定誤差の2つの要素、ヒント2を参照）を改善できます。

- **最良のタイムベースを使用して頻繁に校正**
  タイムベースの品質と校正の頻度は、測定確度に影響を与えます。ほとんどのアプリケーションでは、確度、タイムベース品質、校正間隔の間にトレードオフがあります。高品質のタイムベースを購入すると、校正間隔を伸ばすことができます。校正を頻繁に実行すると、安価なタイムベースでも確度要件を満足できる可能性があります。タイムベースは周波数カウンタ内部になくてもかまいません。カウンタ外部の精密信号源や社内標準を使って、測定確度を改善することができます。

- **カウンタのタイムベースの保温**
  ヒント3で説明したように、精密周波数カウンタの大部分は、温度補償周波数発振器（TCXO）またはオーブン制御周波数発振器（OCXO）を搭載しています。周波数発振器を常に動作させておくことにより、リトレースや出力周波数のシフトを防ぐことができます。短時間でも発振器をオフにすると、発振器が安定した周波数に達するまでパワーオン時の変動サイクル（リトレース）が生じます。水晶振動子の最も安定した動作を保証するには、以下を実行します。

  - カウンタを、電源プラグを抜く必要がない場所に配置し、オンとスタンバイ・モードが交互に切り替わるようにします。
  - タイムベースの校正の際には、カウンタの電源を抜かなくて済むように、校正機器をカウンタの近くに持っていきます。
  - 周波数カウンタに風をあてないようにして、温度変化から保護することによっても安定度が改善します。

  短時間でもカウンタの電源を抜いた場合は、エージング・レートは再び1日のエージング・レートから始まります。

- **トリガのタイミング誤差のモニタ**
  タイミング測定（タイム・インターバル、パルス幅、立ち上がり時間、立ち下がり時間、位相、デューティ・サイクル）を行う場合は、トリガのタイミング誤差の影響を考慮する必要があります。主な要素として、トリガ・レベル回路の分解能と確度、入力増幅器の忠実度、トリガ・ポイントでの入力信号のスルーレート、入力ヒステリシス・バンドの幅などがあります。

  これらの影響を減らすには、正弦波または方形波信号のオフセット値でトリガします。こうすることにより、スルーレートが最大になり、ヒステリシス・バンドの誤差が最小になります。オフセットからオフセットまで（1周期分、2つの信号間の位相差が0°）を測定すると、ヒステリシス・ウィンドウの影響は打ち消し合ってなくなります。ほとんどのカウンタは、0Vのトリガ・レベル設定に最適化されています。

- **すべてのタイムベースを1つのクロックにロック（可能な場合）**
  2つの独立したタイムベース間のスキューやジッタは、誤差の原因になります。独立したタイムベースを使用することは、映画を見るときに映像と音声を別々の装置で再生するようなものです。最初は映像と音声が同期していても、時間とともに2つの間の微妙なずれが明らかになってきます。最新の電子計測機器を使用した多くのアプリケーションでは、このスキューは無視できます。

ヒント 6

高速測定

最新の周波数カウンタは、1秒当たり数百回の読み取りが行えるように構成できます。これは、時間で変動する信号の特性評価に便利です。周波数カウンタは、安定した信号またはゆっくり変化する信号の測定に対して最適化されています。また、正確な測定には、平均化するのではなく、1回で正確な測定が行なえるようにします。

- **カウンタを既知のステートに設定**
  リセット・コマンドを送信して、測定器を既知の状態にします。このとき他のコマンドを送信しないようにします。プログラムに1秒の待ち時間を追加すると、大部分の測定器が準備完了ステートに戻ります。測定器がリセット中にコマンドを受信すると、コマンドが失われる可能性があります。

- **測定器で使用されるデータの種類に適した出力フォーマットを選択**
  これにより、ポスト・プロセッシング中に測定器がデータを別のフォーマットに変換するための遅延を防止できます。

- **すべてのポスト・プロセッシングと印刷操作をオフ**
  これらの機能をオフにすると、プロセッサは、画面の更新などの余分な割り込みに対応する必要がなく、リソースを測定とコンピュータへの送信に割当てることができます。

- **予想周波数を設定**
  Agilent 53100シリーズ・カウンタには、測定中の周波数に基づいて設定を最適化する機能があります。この機能を使用するには実際の信号がコマンドで指定する値の10%以内に存在する必要があります。

- **トリガ・レベルの設定**
  入力信号がコマンドで設定されたトリガ・レベルを通過するときにトリガ信号が生成されます。トリガ・レベルが最大スルーレートで信号と交差するようにトリガ・レベルを設定すると、トリガ条件を満足するためにかかる時間が最小になります。正弦波や方形波のスルーレートは、ゼロ交差で最大になります(オフセットが0 Vの場合)。

- **デュアル・トリガ・レベルの即時トリガ**
  測定器がデュアル・レベル・トリガを使用している場合は、両方のトリガ条件が満足されないと測定が行われません。このとき、一方のトリガ条件を即時に設定すると、最初のトリガ・レベルはすぐに満足され、もう一方のトリガ条件でのみトリガするようになります。

ヒント 7

ノイズ・トリガを回避するための感度調整

最新のカウンタは広帯域測定器で、敏感な入力回路を備えています。一方カウンタで測定される信号には、正弦波、方形波、高調波、ランダム雑音はあり、すべてゼロ交差信号です。カウンタは、これらのゼロ交差でトリガすることにより、信号の周波数を測定します。信号がクリーンであれば、プロセスは比較的簡単です。しかしノイズの大きな信号では、スプリアスでトリガが発生します。このような場合は、期待した測定にはなりません。

この問題を解決するには以下の方法があります。

- カウンタがゼロ交差を記録するには、信号が下限と上限の両方のヒステリシスしきい値を通過する必要があります。これらの2つのレベルの間のギャップは、トリガ感度、ヒステリシス·バンド、またはトリガ·バンドと呼ばれます。

- 高品質のカウンタを使用すると、このバンドを調整して、不要なトリガを最小限に抑えることができます。図5に、測定で問題を引き起こしているノイズのある信号を示します。トリガ・バンドがかなり狭いので、不要なノイズ（ポイント1および3）と実際の信号（ポイント2および4）の両方でカウンタがトリガします。実際には2サイクルの信号が、4サイクルとカウントされています。

トリガ・バンドを調整してカウンタの感度を下げることにより、これらのスプリアス・トリガを回避できます。図6では、トリガ·バンドが十分に広い（感度が十分に低い）ので、スプリアスがゼロ交差としてカウントされません。カウンタは、2つの有効なゼロ交差を記録し、周波数を計算します。信号に何かノイズの問題があると考えられる場合は、カウンタを低感度モードに切り替えてみてください。表示される周波数が変化した場合は、ノイズでトリガしている可能性があります。

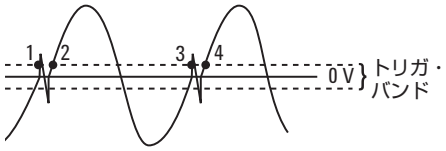

図5. トリガ・バンドの設定が狭すぎるため、2つの小さいピーク（この場合はスプリアス信号）が、ポイント1とポイント3で不要なトリガを生成しています

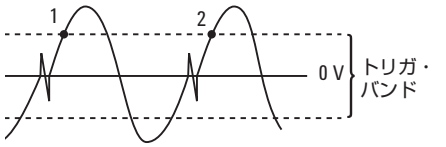

図6. トリガ・バンドを広げてトリガ感度を下げることにより、正確にカウントできます

ヒント 8

表示の変化が激しいときの対応

下位の桁がめまぐるしく変動する場合、表示を見て調整したり、カウンタの表示に基づいてその他の作業をするのが難しくなります。このような場合カウンタの機能に応じて、複数の対策があります。

- **表示桁数の削減**
  ほとんどのカウンタには「桁数削減」機能があります。これにより表示を安定させることができますが、回路動作に関する決定に必要な情報が隠される可能性があります。これは、単なる表示機能で、実際の測定には影響を与えません。

- **リミット・テストの使用**
  信号がある周波数バンド内に存在するかどうかだけを知りたい場合は、ビジュアル・インジケータ（カウンタにこの機能がある場合）を使ったリミット・テストを行います。

- **アベレージングの使用**
  アベレージング（多くのカウンタではラベル“Mean”）は、信号の変化が激しいときにいつでも使用できる良い方法です。単に表示桁数を減らす場合と異なり、アベレージングは実際に測定の品質を改善します。信号内のランダム変動の影響を減らすことで、表示の変動が減少します。

ヒント 9

低周波測定の改善

ヒント 7 では、信号内のノイズでトリガされる問題について説明しました。この問題は、低周波信号（約 100 Hz 以下）の方が深刻な場合があります。無関係の高周波成分によるスプリアス・トリガの可能性が増加するからです。さらに、信号のスルーレートがトリガ確度に影響します。スルーレートが遅いほど、エラーの可能性が増加します。

以下の手順を実行すると、低周波信号でのカウンタ測定の品質を改善できます。

- **ローパス・フィルタの利用**
  使用可能な場合は、これを使用することにより、高調波および高周波ノイズでトリガする可能性が減少します。

- **手動トリガの使用**
  自動トリガを使用するようにカウンタを設定すると、カウンタが信号の p-p レベルを評価し、トリガ・レベルを決定するために中間ポイントを計算します。通常、この方法により優れた結果が得られますが、低周波信号では、これが問題になる場合もあります。たとえば、自動トリガを計算する時間よりも、信号が遅い場合です。このような場合、実際の信号の最小値と最大値ではなく、誤った信号の最大値、最小値でトリガ・レベルを設定する可能性があります。これを解決するには、自動トリガをオフにして、トリガ・レベルを手動で設定します。

- **DC 結合の使用**
  多くのカウンタでは、プライマリ入力チャネルで DC 結合または AC 結合を選択できます。AC 結合は、信号から DC オフセットを除去し、DC 結合では、信号全体（オフセットなどをすべて）が入力されます。AC 結合の問題は、低周波も減衰することです。このため、一部のカウンタでは、AC 結合を使用する場合は、ある周波数より下の性能が仕様化されていません。

- **カウンタ感度の調整**
  低周波信号は通常、低スルーレートです。すなわちステートの変化がゆっくりしています。スルーレートが遅いほど、再現性があるトリガの作成が困難になります。このような場合には、カウンタの感度を下げる方法が有効です。カウンタが正常にトリガするためには、信号が上限しきい値と下限しきい値を通過する必要があります。トリガ・バンド（上限しきい値と下限しきい値間の差）は、カウンタの感度によって決まります。カウンタの感度を下げると、上限しきい値と下限しきい値間の差が増加し、トリガ・バンドが広がります。

- **ステータス・レジスタのモニタ**
  低周波測定は、完了までに時間がかかる可能性があります。カウンタをコンピュータから制御している場合は、読み値を要求する前にステータス・レジスタを確認できます。カウンタは、測定の終了を示す 2 番目のトリガ条件を受信するまで測定を続けます。入力信号が切断されると、カウンタは、測定が完了するまで無期限で待機します。このような状況で測定結果を要求すると、コンピュータはカウンタの測定が終了するまで待ち続けることになります。これを避けるには、読み値を要求する前に、ステータス・レジスタをチェックして測定が完了していることを確認します。

ヒント 10

リミット・テスト機能

カウンタが毎秒 10 ～ 12 桁の読み取りを行うことは稀ではありません。リミット・テストを使用すると、読み値をより簡単に解釈できます。リミット・テストの設定と使用には、複数の方法があります。

- リミット外の読み値であることを示すために、ディスプレイのビジュアル・インジケータを点灯できます。
- リミットに達したときに読み取りを停止するようにカウンタを設定できます。
- 読み値がリミット外であることを示すために、GPIB インタフェースで SRQ を送信するようにカウンタに指示できます。
- リミット外の読み値が発生したことを示すハードウェアが備わっています。
- 統計測定からリミット外の読み値を除外するようにカウンタを設定できます。

リミット・テストをカウンタの統計やスケール／オフセット機能と使用できます。スケールやオフセットは、周波数測定を物理測定（例えば、速度や rpm）に変換するために使用されます。

また、リミットを超えた後に読み取りを続行または停止するようにカウンタを設定できます。カウンタが停止したように見える場合は、読み値がリミットを超えたら停止するように設定されている可能性があります。また、外部信号を出力するようにカウンタを設定すると、電源が入れなおされ、デフォルト・ステートで起動するので、周波数カウンタのセットアップを保存して、リコールする必要があります。

電子計測UPDATE

www.agilent.co.jp/find/emailupdates-Japan
Agilent からの最新情報を記載した電子メールを無料でお送りします。

Agilent Direct

www.agilent.co.jp/find/agilentdirect
測定器ソリューションを迅速に選択して、使用できます。

Agilent Open

www.agilent.co.jp/find/open
Agilent は、テスト・システムの接続とプログラミングのプロセスを簡素化することにより、電子製品の設計、検証、製造に携わるエンジニアを支援します。Agilent の広範囲のシステム対応測定器、オープン・インダストリ・ソフトウェア、PC 標準 I/O、ワールドワイドのサポートは、テスト・システムの開発を加速します。

LXI

www.lxistandard.org
LXIは、GPIBのLANベースの後継インタフェースで、さらに高速かつ効率的なコネクティビティを提供します。Agilentは、LXIコンソーシアムの設立メンバです。

Remove all doubt

アジレント・テクノロジーでは、柔軟性の高い高品質な校正サービスと、お客様のニーズに応じた修理サービスを提供することで、お使いの測定機器を最高標準に保つお手伝いをしています。お預かりした機器をお約束どおりのパフォーマンスにすることはもちろん、そのサービスをお約束した期日までに確実にお届けします。熟練した技術者、最新の校正試験プログラム、自動化された故障診断、純正部品によるサポートなど、アジレント・テクノロジーの校正・修理サービスは、いつも安心で信頼できる測定結果をお客様に提供します。

また、お客様それぞれの技術的なご要望やビジネスのご要望に応じて、

- アプリケーション・サポート
- システム・インテグレーション
- 導入時のスタート・アップ・サービス
- 教育サービス

など、専門的なテストおよび測定サービスも提供しております。

世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、測定器のメインテナンスをサポートいたします。詳しくは：

www.agilent.co.jp/find/removealldoubt

アジレント・テクノロジー株式会社

本社〒192-8510 東京都八王子市高倉町 9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-19:00（土・日・祭日を除く）

FAX、E-mail、Web は 24 時間受け付けています。

TEL ■■ 0120-421-345
(042-656-7832)

FAX■■ 0120-421-678
(042-656-7840)

Email contact_japan@agilent.com

電子計測ホームページ
www.agilent.co.jp

● 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Copyright 2008
アジレント・テクノロジー株式会社

Agilent Technologies

May 26, 2008
5989-8431JAJP
0000-00DEP