Bluetooth™デバイス製造時のバッテリ・ドレイン測定の最適化

Application Note 1396

バッテリ動作時間は、ポータブル・デバイスにとって最も重要なパラメータの1つです。消費者が購入を決めるにあたって最も重視する要素の1つだからです。バッテリ・ドレインを減らして動作時間を延ばすことは、初期の*Bluetooth*デザインにとって最優先の課題です。動作時間が仕様を満たすことを確認するため、製造テスト・エンジニアは、厳しいコストおよびスループット条件の範囲内でバッテリ・ドレイン測定を実行するために適切な状態（ステート）を選択しなければなりません。さらに、*Bluetooth*デバイスのバッテリ・ドレインのレベルの範囲の広さとパルス的性質のために、専用のテスト機器を使って最適なテスト確度とスループットを実現し、製造コストの削減を計る必要があります。

製造試験の主要な代表な状態

*Bluetooth*デバイスには多くの状態があり、それぞれが特定の機能をパワー・ドレインで実現します。これにより、バッテリ動作時間を最適化しながら、ネットワーク・デバイスとしての性能を高めています。バッテリ・ドレイン測定においては、動作時間仕様を最小限のテストで確認するために、主要な状態を定める必要があります。*Bluetooth*のアプリケーションは多岐にわたる可能性があるので、主要な状態は、デバイスが目的とするアプリケーションと動作のダイナミック・レンジに依存し、その決定には困難が予想されます。主要な状態の大多数は4つの大きなカテゴリに属します。これは充電式デバイスの場合のバッテリ充電を含みます。

4つのカテゴリは以下の通りです。
1. アクティブ・コール状態
2. スタンバイ／スキャン状態
3. 低パワー・モード
4. バッテリ充電（当てはまる場合）

アクティブ・コール状態

パワー・ドレインのレベルが最も高いのは、*Bluetooth*がホスト・ネットワークに接続され、アクティブに通信している場合です。パワーのかなりの部分は、*Bluetooth*のRFおよびベースバンド回路に供給されます。消費電力は送信パワーとレートに依存します。例えば、パワー・クラス1のデバイスは最大100 mW（20 dBm）の出力を供給し、レンジは最大100 mです。ローエンドのパワー・クラス3のデバイスは最大1 mW（0 dBm）のRFパワーしか出力せず、ごく狭い範囲で動作します。レートに関しては、例えばヘッドセットのようなデバイスは連続的なレートで伝送するので、それに応じて連続的な高いパワー・ドレインを示します。これに対してルーム・サーモスタットのようなデバイスは、例えば1分間に1回数ミリ秒程度の伝送しか行わないので、消費電力ははるかに小さくなります。

ご注意

2002 年 6 月 13 日より、製品のオプション構成が変更されています。
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。

Agilent Technologies

もう1つパワーのかなりの部分を消費する可能性があるのが、デバイスに固有の機能です。これは*Bluetooth*のRFおよびベースバンド回路とは別に存在します。大きな電力を要する例としては、ライト付きカラー・ディスプレイがあり、最大消費電力は数ワットに達します。

*Bluetooth*はディジタル時分割多重伝送フォーマットです。このため、バッテリ動作の*Bluetooth*デバイスがアクティブ・コールをしている場合、通常は以下の特性を持つパルス状の電流が供給されます。

- 数十mAから数A程度の平均レベルおよびハイ・レベル電流
- 数mAから数百mA程度のロー・レベル電流
- 10倍のオーダのクレスト・ファクタ
- 1.25 msのフレーム・レートの倍数の波形周期

製造試験におけるアクティブ・コール状態の電流ドレインに対する主な測定は以下の通りです。

- DC電流。これはバッテリ動作時間を検証するための最も基本的な測定です。
- ピークおよびハイ・レベル電流。これは過大なバッテリ電圧ドループの原因であり、デバイスの欠陥を示す場合があります。

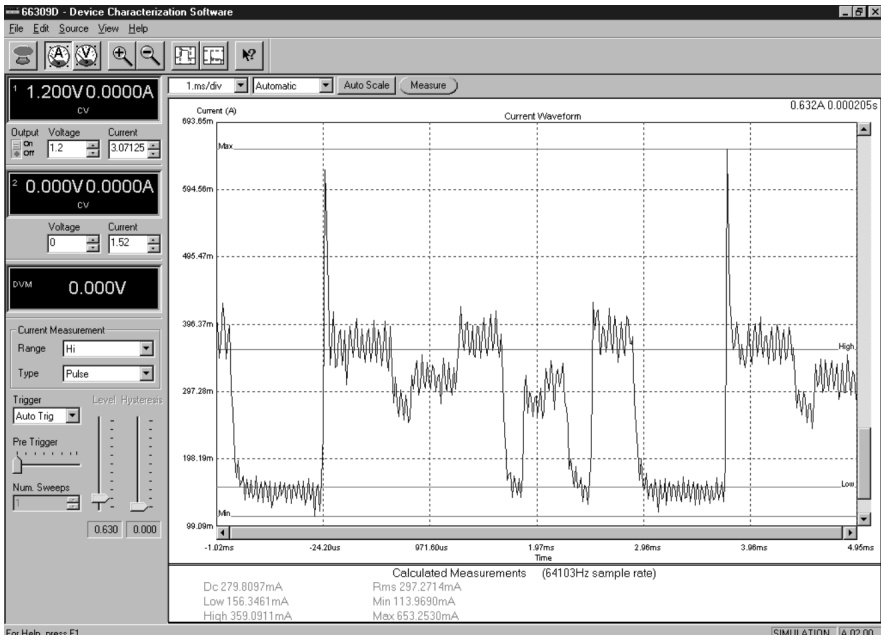

図1 *Bluetooth*ヘッドセット・デバイスのアクティブ・コール電流ドレイン波形の例

これらの測定を行う測定システムのニーズは以下の通りです。

- クレスト・ファクタが大きい信号を扱えること
- 目的のDCレベルに対する確度が0.5%以内であること
- 波形周期の高速かつ正確なアベレージングのために積分時間を調整できること
- 波形の最大値とハイ・レベル値を追跡し、捕捉できること

上記のような特性と測定ニーズは、大多数の試験用機器にとって厳しい条件です。システムDC電源のほとんどはごく基本的な能力しか備えておらず、パルス負荷電流に対しては不十分です。ほとんどのDMMには積分時間の制御機能がありませんが、この機能は高いスループットで正確な測定を行うために不可欠です。同様に、ほとんどの汎用機器にはアクティブ・コール電流のピーク値と最大値を捕捉する機能がありません。

図1に示すのは、アクティブ・コール状態で動作している*Bluetooth*ヘッドセット・デバイスに対する実際の電流ドレイン波形測定の結果です。

スタンバイ／スキャン状態

スレーブ・デバイスとして動作する場合

スレーブとして動作している*Bluetooth*デバイスは、ネットワークに接続されていない間はスタンバイ・モードで動作し、中～低レベルのパワーを消費します。スキャン周期ごとにデバイスはスタンバイから復帰し、ページングや問合わせを受信してチェックします。これにより、以下のような代表的特性を持つパルス電流ドレインが生じます。

- 1.28秒のスキャン周期中に1個または2個の11.25 msパルス
- 数十mAから数百mA程度のハイ・レベル
- 数mAから数十mA程度のDCレベル
- 数十μAから数十mA程度のロー・レベル
- 10倍から1000倍程度のクレスト・ファクタ

スタンバイ／スキャン状態のDC電流ドレインは、デバイスのバッテリ動作時間を検証するための製造時の測定として、アクティブ・コール状態に次いで2番目に重要なものです。スタンバイ時間の長さは、エンドユーザが非常に重視する条件の1つです。

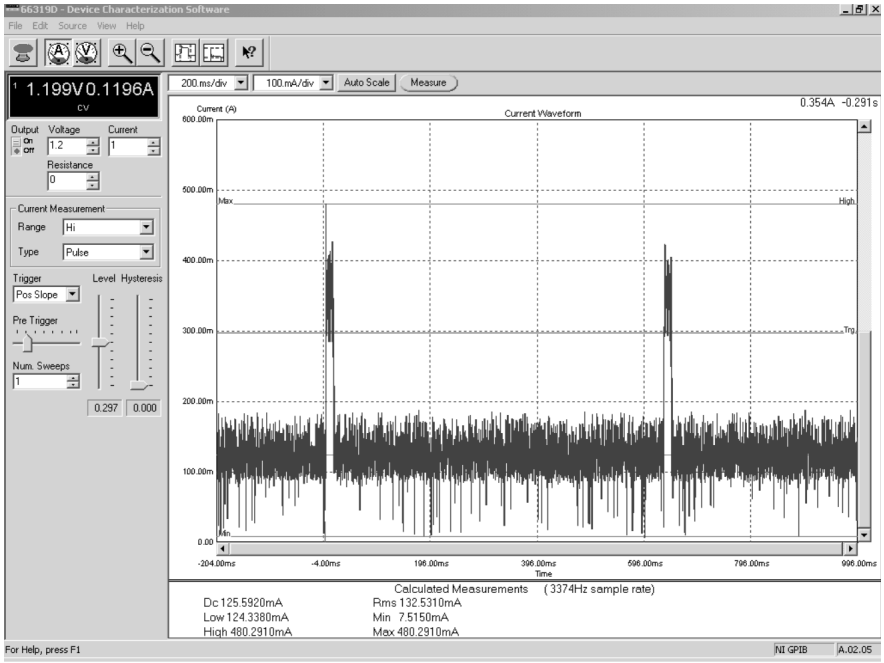

図2 *Bluetooth*ヘッドセット・デバイスのスタンバイ／スキャン状態電流ドレイン波形の例

スタンバイ／スキャン状態測定を行う測定システムのニーズは以下の通りです。

- クレスト・ファクタが非常に大きい信号を扱えること
- 数mAから数十mAの平均レベルに対する確度が0.5％以内であること
- 長い波形周期（1秒超）で正確なアベレージングを行うための積分時間設定

図2に示すのは、スタンバイ／スキャン状態で動作している*Bluetooth*ヘッドセットの電流ドレインの例です。

スタンバイ／スキャン状態の測定は、電流レベルの低さと信号周期の長さゆえに、アクティブ・コール状態よりもさらに困難です。このため、汎用テスト機器やシステムDC電源のほとんどは、これらの測定ニーズを最適なテスト・スループットと確度で満たすことができません。

マスタ・デバイスとして動作する場合

これに対して、マスタとして動作している*Bluetooth*デバイスは、スタンバイ／スキャン周期中にページングや問合わせを送信してスレーブ・デバイスと接続しようとします。この場合のデバイスの電流ドレイン特性と測定ニーズは、アクティブ・コール状態の場合と基本的に同じです。

低パワー・モード動作

*Bluetooth*デバイスの非動作時には、パワーを節約するために、パーク、ホールド、スニフといった低パワー・モード動作に長時間移行させることができます。このモードではデバイスはスリープ・モードに入り、数十から数百μA程度の電流しか消費しません。

さらにパワーを節約するため、*Bluetooth*デバイスをオフ・モードにすることもできます。この場合もデバイスは数十から数百μA程度の電流しか消費しません。例に挙げた*Bluetooth*ヘッドセット・デバイスの場合、オフ・モードでの電流は121 μAでした。

これらの低パワー・モードでの電流ドレインのテストは、異常に大きいバッテリ・ドレインをチェックしたり、デバイスに存在する、あるいは隠れている製造上の欠陥を発見したりするために大いに役立ちます。

測定システムの主なニーズは以下の通りです。

- 10 mA程度の低レベル電流測定レンジ
- 10 μA以内の測定確度
- 安定した測定値を得るために必要な測定遅延と積分時間

システムDC電源のほとんどは、μAレベルの測定に必要な確度を持たないため、低パワー・モード動作の測定ニーズに十分に応えられません。

バッテリ充電モード動作

充電式バッテリを備えたハイ・パワー*Bluetooth*デバイスの場合、充電機能は内蔵されているのが普通です。充電機能を正しく動作させるために、バッテリ充電電流および電圧の測定と校正を、製造試験のプロセスに組み込む必要があります。

測定システムの主なニーズは以下の通りです。

- 充電電流（通常は最大1 A程度）を0.5%以内の確度で測定できること
- 充電電圧（通常は最大9 V程度）を0.2%以内の確度で測定できること

その他のシステム・ニーズとして以下のものが挙げられます。

- DC電源は、充電中のバッテリをエミュレートするため、定電圧負荷および充電電流のシンクの役割を果たすこと
- 充電電流を供給するために別のDC電源が必要

汎用DC電源のほとんどは、定電圧負荷として動作したり、充電電流の全レベルをシンクしたりする能力がないため、製造試験でのバッテリ充電モード動作のテストと校正に必要な機能を備えていません。

最小の測定積分時間での スループットと確度の最適化

*Bluetooth*のアクティブ・コール状態やスタンバイ／スキャン状態のパルス電流ドレインのDC値を測定するためには、測定積分時間の制御が必要です。積分時間を正確に設定することにより、テスト・スループットと確度の最適化が可能です。

パルス電流ドレインの例を図3に示します。測定積分時間をパルス周期の整数倍に正確に設定すれば、測定確度は主に試験用機器のDC確度仕様によって決まります。これに対して、パルス周期と積分時間との間にわずかでも不一致があると、大きな誤差が生じます。この不一致は通常は再現性誤差として現れ、パルスの一部が失われるか、別のパルスの一部が積分中に捕捉された場合に生じます。この不一致誤差を全エラー・バジェットのごく小さい割合に抑えることが重要です。

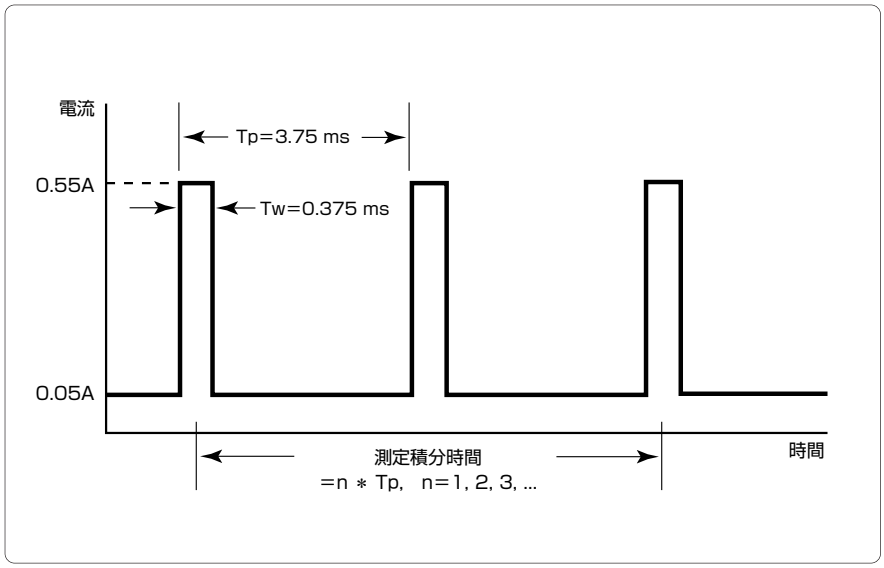

図3 パルス信号に対する測定積分時間の設定

例として、図3の信号で積分時間を適切な値より10%長くし、3.75 msの代わりに4.13 msとした場合、次のパルスが捕捉されたときには約45%の誤差が生じます。積分時間を長くし、アベレージング対象のパルスの数を増やすほど、この誤差は減少します。積分時間を10倍にすれば誤差は10分の1になります。こうして確度は向上しますが、テスト・システムのスループットは低下します。この関係を図4に示します。

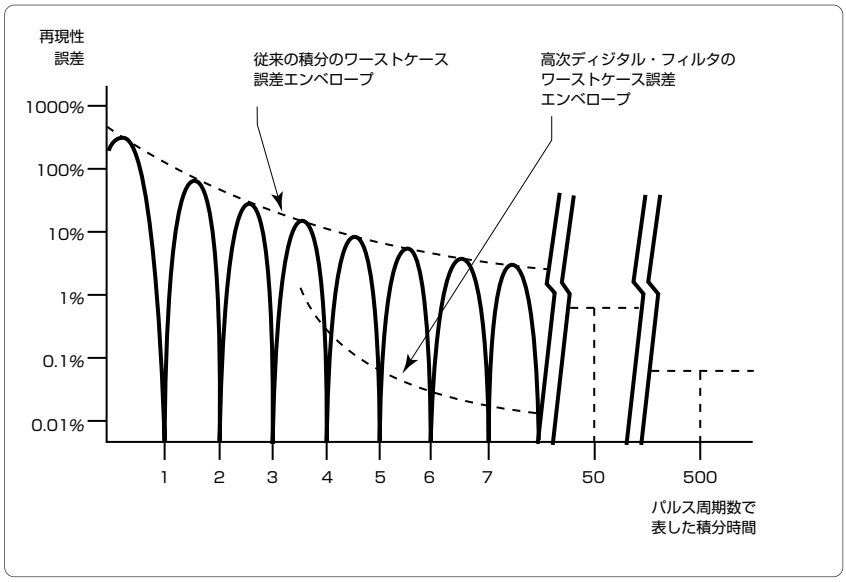

図4 パルス周期信号の一例における減衰および誤差と測定時間との関係

ディジタル・フィルタ—測定スループットと確度を最適化するもう1つの方法

通常のDMMの積分時間は、PLC（Power Line Cycle）単位で設定されます。PLCは電源周波数によって決まり、60 Hzの場合は16.7 ms、50 Hzの場合は20 msです。PLCを使うことで、AC電源からの干渉による誤差を最小限に抑えられるのです。しかし、PLCに基づく限定された積分時間調整しかサポートしない通常のDMMは、PLCと無関係なパルス電流を測定するのには適しません。この場合、不一致誤差を全エラー・バジェットの小さい割合に抑えるには、何百というパルス周期、すなわち数秒単位の積分時間が必要になります。このため、汎用DMMでアクティブ状態とスタンバイ／スキャン状態の測定を数回行おうとすると、数十秒の余分なテスト時間が必要となります。必要な積分時間確度と分解能を備えた専用テスト機器を使用すれば、テスト・スループットと確度を最適化しながら、測定時間を最小限に抑えることができます。

サンプリング測定システムでは、従来の測定積分の代わりにディジタル・フィルタによる信号処理を使うことで、大幅な改良が可能です。収集でサンプリングされた値に重み係数を適用することにより、少数のパルス周期で再現性誤差を非常に小さくすることができ、DC測定のスループットと確度を高めることができます。重み係数の値は、ディジタル・フィルタ関数の次数と形状によって決まります。図4の下の曲線は、高次のディジタル・フィルタによるワーストケース誤差エンベロープの例を示します。この例では、6パルス周期で再現性誤差が無視できる大きさになります。これはエンベロープなので、この低レベルの誤差はパルス周期が正確に一致しているかどうかに関わらず実現されます。このことが大きな利点となるのは、パルス周期が正確に知られていないか制御できない場合、あるいはAC電源周波数による干渉などの別の信号を排除する必要がある場合です。一部の専用サンプリング測定テスト機器には、この種の機能が標準装備されています。

まとめ

バッテリ動作の*Bluetooth*デバイスに対する正確なDC電流測定は、バッテリ動作時間仕様、校正、品質の検証に基本的な役割を果たします。主要なテスト・パラメータとシステム測定ニーズを表1にまとめます。製造テストの最適化の際には、最小限のテストでバッテリ動作時間仕様を検証できるように、これらの主要状態を適切に組み合わせることが重要です。

*Bluetooth*デバイスの電流ドレインのレベルの範囲の広さとパルス的性質のために、製造時の測定には困難が伴います。これらの測定ニーズは、汎用のシステムDC電源や測定機器では十分に満たすことができません。テストの確度、スループット、コストを最適化するには、必要な測定レンジとパルス信号積分機能を備えた専用のテスト機器が必要です。

Agilent 66319B/Dおよび66321B/D DC電源は、バッテリ動作の*Bluetooth*デバイスの製造試験に理想的なソリューションです。これらは専用の高速サンプリング測定システムとディジタル信号処理を組み合わせることで、パルス電流を使用するこれらのディジタル・デバイスのテスト・ニーズに応えることができます。これらのDC電源は、確度とスループットを両立させながら、低コストで最適なテスト結果を実現します。

動作モードとテスト・パラメータ	テスト原理	測定システム・ニーズ
アクティブ・コール状態および ページング／問合わせ状態 ● DC電流	● アクティブ時のバッテリ動作時間の仕様を満たすことを確認	● 大きいクレスト・ファクタを扱えること ● DC平均レベルに対する確度が0.5%以内であること（通常は数十mAから最大数A程度） ● ms単位の波形周期の高速で正確なアベレージングに適した積分システム
アクティブ・コール状態および ページング／問合わせ状態 ● ハイ・レベル電流 ● ピーク電流	● バッテリ最小電圧によるシャットダウンが早すぎないことの確認	● 高速パルス信号のハイ・レベルおよびピーク・レベルの検出回路またはアルゴリズムを装備していること
スタンバイ／スキャン状態 ● DC電流	● スタンバイ時のバッテリ動作時間の仕様を満たすことを確認	● 非常に大きいクレスト・ファクタを扱えること ● 平均レベルに対する確度が0.5%以内であること（通常は数mAから数十mA程度） ● 長い波形周期（1秒超）の高速で正確なアベレージングに適した積分システム
低パワー・モードおよびオフ・モード ● DC電流	● オフ時に予期しないバッテリ・ドレインがないかどうかを確認 ● コンポーネントやアセンブリの潜在的欠陥の検出	● 10 mA程度の低レベル電流測定レンジ ● 10 μA以内の測定確度 ● 安定した値を得るために必要な測定遅延と積分時間
バッテリ充電モード ● DC電圧 ● DC電流	● デバイス校正の一部 ● バッテリ充電機能が正しく動作していることの確認	● 充電（負）電流（通常最大1 A程度）を0.5%以内の確度で測定できること ● 充電電圧（通常最大9 V程度）を0.2%以内の確度で測定できること その他： ● DC電源は、充電中のバッテリをエミュレートするため、定電圧負荷および充電電流のシンクの役割を果たすこと ● 充電電流を供給するために別のDC電源が必要

表1 *Bluetooth*デバイスの製造時のテストおよび測定ニーズのまとめ

66319B/Dおよび66321B/Dの主な特長：

- AからμAレベルまでの高確度電流測定により、ハイ・パワーとロー・パワーの動作モードのテストが可能
- 高速サンプリングによりパルス電流波形をディジタイズし、ピーク・レベルおよびハイ・レベルを含むパラメータを抽出することにより、アクティブ・コール状態でのバッテリ消耗によるシャットダウンが早すぎないかどうかをチェック
- 15.6 μsの積分時間分解能により、従来の積分法によるパルス電流測定を高速かつ正確に実行し、テスト・スループットを最適化
- もう1つのDSPベースのディジタル・フィルタ法により、正確な周期に関係なくパルス電流の正確なDC測定を実行し、テスト・スループットを最適化
- 定電圧負荷動作（電流シンク）により、バッテリ充電回路のテストと校正が可能
- テスト中にバッテリ充電器の代わりをする2つめの出力を装備

サポート、サービス、およびアシスタンス

アジレント・テクノロジーが、サービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。製品の製造終了後、最低5年間はサポートを提供します。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

アジレント・テクノロジーのプロミス

お客様が新たに製品の購入をお考えの時、アジレント・テクノロジーの経験豊富なテスト・エンジニアが現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。お客様がアジレント・テクノロジーの製品をお使いになる時、アジレント・テクノロジーは製品が約束どおりの性能を発揮することを保証します。それらは以下のようなことです。

- 機器が正しく動作するか動作確認を行います。
- 機器操作のサポートを行います。
- データシートに載っている基本的な測定に係わるアシストを提供します。
- セルフヘルプ・ツールの提供。
- 世界中のアジレント・テクノロジー・サービス・センタでサービスが受けられるグローバル保証。

お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率良く解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。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、製品の測定確度の維持をお手伝いします。

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は24時間受付け

TEL 0120-421-345
(0426-56-7832)
FAX 0120-421-678
(0426-56-7840)
E-mail:contact_japan@agilent.com

電子計測ホームページ
http://www.agilent.co.jp/find/tm

- 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 2002
アジレント・テクノロジー株式会社

電子計測UPDATE

www.agilent.com/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。

Bluetooth™ and the *Bluetooth*™ logos are trademarks owned by *Bluetooth*™ SIG, Inc., and licensed to Agilent Technologies, Inc.

Agilent Technologies

June 5, 2002
5988-6064JA
0000-00DEP