

コンプライアンスのための USB 2.0のデバッグ

Application Note 1382-3

はじめに

長年言われているように、パーソナル・コンピュータ (PC) の使い勝手を良くするには、接続性や拡張性にも配慮する必要があります。USB (ユニバーサル・シリアル・バス) は1995年に、電話機を壁面ジャックに差し込むのと同様の手軽さで周辺機器をPCに追加できる、低コストの外部拡張バスとして開発されました。その最終目標は「プラグアンドプレイ」環境の構築でした。すべてのデバイスは、クラス定義にしたがっている限り、オペレーティング・システムによってサポートされます。USBの外部拡張アーキテクチャは、主に以下から構成されています。

- PCホスト・コントローラ・ハードウェア/ソフトウェア
- コネクタおよびケーブル・アセンブリ
- マスタ-スレーブ・プロトコル
- 拡張用のマルチポート・ハブ

従来の周辺機器、ハブ、ホストは、Full Speed (12 Mb/s) またはLow Speed (1.5 Mb/s) で動作します。これらの速度は、マウス、キーボードなどのヒューマン・インタフェース・デバイスには適していますが、高解像度プリンタ/スキャナ、ビデオ会議用カメラや、DVDドライブなどの高密度ストレージ・デバイスなどの次世代デバイスでは大きな制約となります。Full Speed USBの40倍の、目標値480 Mb/sまでデータ・スループットを増加させるために、Hi-Speed USBが開発されました。USB 2.0は、Low Speed、Full Speed、Hi-Speedに対応した新しいバージョンです。USB 2.0規格ではUSB 1.1との互換性が維持され、USB 1.1と同じケーブル、コネクタ、ソフトウェア・インタフェースが使用できるので、顧客が使用モデルに対する変更を意識することはありません。

目次

| | |
|-------------------------|---|
| はじめに..... | 1 |
| USBの発展..... | 2 |
| シグナル・インテグリティの重要性..... | 3 |
| 詳細への注意による電流違反の防止..... | 4 |
| データ・インテグリティの検証..... | 5 |
| ツールの統合で単純化..... | 6 |
| USB 1.1と2.0の解析プローブ..... | 7 |
| 関連カタログ..... | 7 |



Agilent Technologies

USBの進化

バージョン2.0への進化を理解するには、USBシステムの主要要素（ホスト、ハブ、周辺機器）について説明する必要があります。PCのUSBソフトウェアが、アプリケーション・ソフトウェアの入出力（I/O）システムを担当し、周辺機器のダイナミックな取り付け／取り外しを管理します（列挙と呼ばれます）。実行時に、ホストPCは特定の周辺機器とのトランザクションを開始します。各周辺機器は、そのトランザクションに応答します。また、ホストPCソフトウェアは、周辺機器をシステムの電源管理機構に組み込みます。

ハブを使用して、USB周辺機器をさらに接続することができます。ハブは、接続された周辺機器に管理された電源を供給し、周辺機器のダイナミックな取り付けを認識します。ハブは、5段階の深さまでカスケード接続できます。ハブは双方向リピータとして動作し、上り（ホストに向かう）ケーブルや下り（周辺機器に向かう）ケーブルにUSB信号を繰り返します。

USB周辺機器はすべて、定義されたプロトコルにしたがうスレーブです。USB周辺機器は、ホストPCによって送信される要求トランザクションに回答する必要があります。周辺機器は、USBデータ・フォーマットを使ってホストとデータの送受信を行います。このホストPCとの標準化されたデータ移動と周辺機器による解釈により、USBは非常に柔軟性が高く、ホストPCソフトウェアの変更がほとんど不要になります。

USB 2.0は、前のUSB 1.1仕様を発展させたもので、インタフェース性能が向上しています。図1に示すように、1つのUSBシステムで3種類の速度すべてが同時に動作します。現在のLow/Full Speedコネクタおよびケーブルは、変

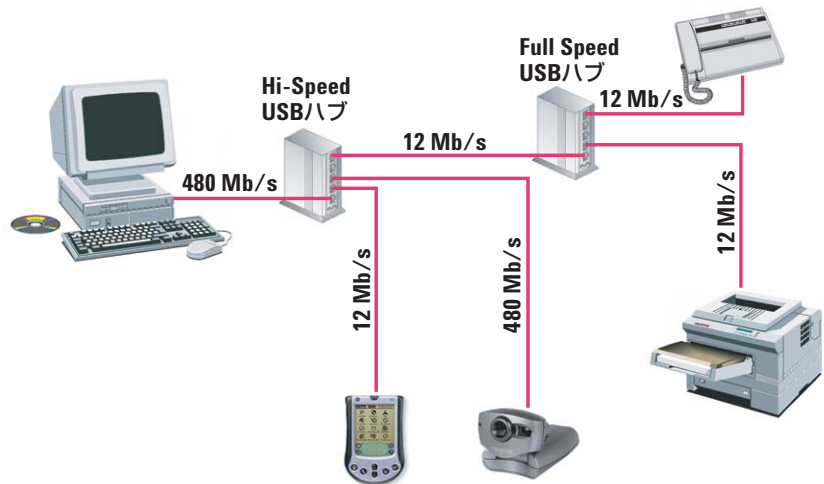


図1. USBシステムは、3つのデータ・レートすべてを同時に処理できます。

更なしでより高速の480 Mb/sをサポートします。この図では、ルート・ハブ（ホストPC内）と外部高速（HS）ハブ間、および外部HSハブとビデオ会議用カメラ（HS USB周辺機器）間がHi-Speedで接続されています。その他のすべての接続は、Full Speed USBデータ・レートです。外部HSハブは、その下りポートで3つのデータ速度すべてをサポートすることができます。HS USBハブの下りポートが、任意の速度のUSBデバイスのダイナミックな取り付けをサポートできます。

Hi-Speed USBデータ・レートにより、帯域幅の不足する周辺機器がUSBシステムを使用できるようになりましたが、一方でデバッグの問題も発生しています。Low Speed USBの場合にも、シグナリング・レートがわずか1.5 Mb/sであるため問題は生じませんでした。現在、High Speedデータ・レート（480 Mb/s）ではアナログの影響により、RFのみならずマイクロ波デザイン手法も使用する必要があります。シ

グナル・インテグリティは、すべてのデザインの重要な部分となっています。しかしながら、デジタルの世界、すなわち「データ領域」でも、デバイスの相互作用、マルチ速度トラフィック、大量のデータなど、デザイナーに影響を及ぼす問題が発生しています。アナログ動作とデジタル動作には相互関係があるので、Hi-Speed USBデバイスのデザインは、全体的な視点からデザインのデバッグ、検証、特性評価を行う必要があります。

テスト・プロセスの最初のステップは、ハードウェアの最初の電源オンで、基本アナログ信号の送受信をオシロスコープを使って観察することです。主なアナログ測定は、レビューが必要で、最終的にコンプライアンス・テストで必要になります。USB 2.0測定スイートには、シグナル・インテグリティ、突入電流、ドロップ、ドループなど多くの測定機能が含まれています。

シグナル・インテグリティの重要性

最初のハードウェア・テストでは、図2に示すように、オシロスコープを使ってD+ラインとD-ラインを表示し、USB Implementers Forum (USB-IF) の電気テスト仕様に適合することを確認します。これらのテスト要件は、オシロスコープを使用した後、USB-IFテスト・スクリプトを使ってMATLAB® 解析ソフトウェアにより確認します。この一連の測定の最終目標は、信号品質 (EOP (end-of-packet) 幅、測定シグナリング・レート、クロスオーバー電圧レンジ、ジッタなどのパラメータを含む) およびデータ信号のアイをテストして、データが仕様アイダイアグラム・パラメータに適合することを検証することです。

USB-IFコンプライアンス・テストを再現するには、Agilentプローブとテスト・フィクスチャ、または「ブレイクアウト・ボード」を備えたAgilent Infiniium 54800シリーズ・オシロスコープが不可欠です。Infiniium USBテスト・オプションにより、USBシグナル・インテグリティ・コンプライアンス・テストが自動測定と変わらないほど簡単になります。Infiniiumを使用すると、オシロスコープのデータを別のPCに手動で転送して解析を行う必要

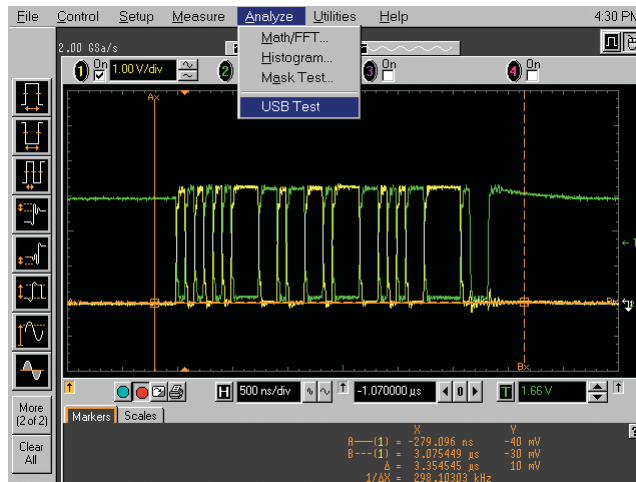


図2. D+のデータ信号とD-のデータ信号が、Agilent Infiniium 54800シリーズUSBテスト・オプションによって自動的に括弧で囲まれています。

がないので、USBテストに関連した作業が大幅に減少します。またランタイム・バージョンのMATLABがオシロスコープに組み込まれ、USB-IFテスト・スクリプトと一緒に使用されます。このようなワンボックス・ソリューションにより、信号品質テストが高

速化します。図3はランタイムMATLABソフトウェアを使用して、Agilent Infiniium 54800シリーズ・オシロスコープで行ったアイダイアグラム測定です。

この段階でのフェールは、さまざまな条件により生じます。上限または下限電圧レベルに適合しない場合は通常、終端が不適切です。データ・アイが小さいか、つぶれている原因としてはジッタが挙げられます。ジッタの一般的な原因はクロックまたは電源からのノイズですが、その他にも多くの原因を考慮する必要があります。

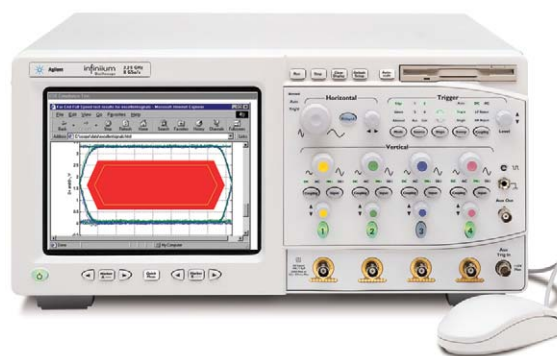


図3. Infiniium 54800シリーズ・オシロスコープにMATLABを組み込むと、USB測定が容易になります。

詳細な注意による電流違反の防止

詳細な注意が必要なもう1つのアナログ問題が電流測定です。デバイスがセルフパワーかバスパワーかに関係なく、電流条件には多くの組み合わせがあります。USB 2.0 デザイナーは、ホットプラグ条件、低パワー・ステート、サスペンド・ステートなどの条件で電流引き込みを測定する必要があります。動作時の電流引き込みとサスペンド時の電流引き込みは、単純なDC電流計で測定できるDC電流値です。ホットプラグ突入電流、ピーク動作電流などの過渡電流測定には、オシロスコープと電流プローブが必要です。電流仕様の多くはダイナミックな性質を持っているので、これが測定値を収集する唯一可能な方法です。Infiniium 54800 シリーズ・オシロスコープと1147A電流プローブにより、こうした過渡電流イベントを捕捉できます。特

定の瞬間にバスを測定するには、オシロスコープのトリガ機能も必要です。図4に、オシロスコープでのピーク/平均電流測定を示します。ピーク・パワー値と平均パワー値は、これらの測定された電流値を使ってオシロスコープのソフトウェアで計算できます。

電流仕様に対する最も一般的なタイプのフェールは、最大電流引き込みを超えたときに発生します。これは通常、ホットプラグ条件時に発生します。サスペンド電流要件に適合させるには、回路内の可能性のあるすべてのものを注意深くオフにします。セルフパワー・デバイスの場合は、 $+5V_{dc}$ と V_{bus} は互いに完全にアイソレートする必要があります。

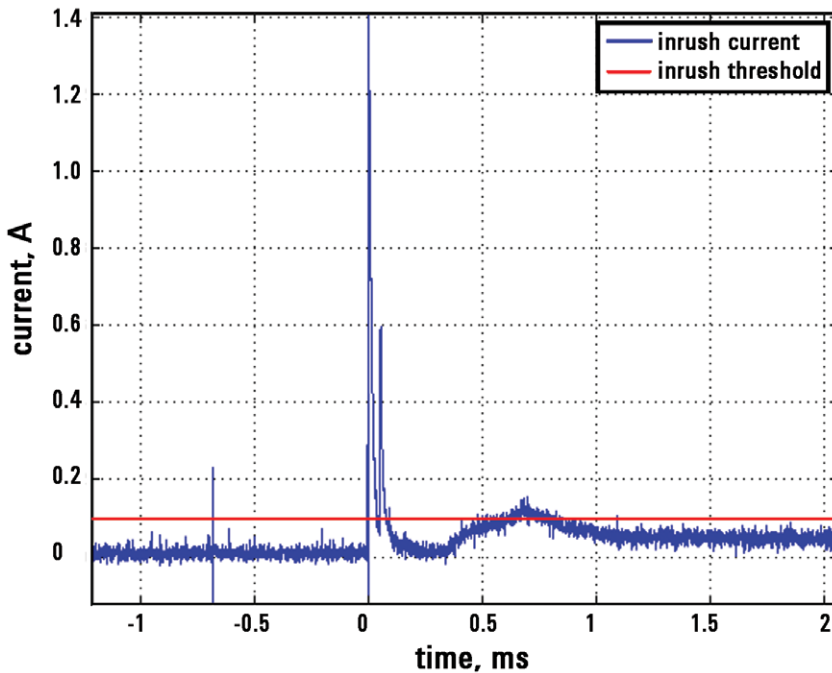


図4. オシロスコープで測定したピーク電流値と平均電流値

データ・インテグリティの検証

USB 2.0の電圧、シグナル・インテグリティ、電流要件に適合したDUTは、物理的なレベルではバスのメンバーとして問題ないはずですが、しかし次の問題として、デバイスに対してUSB-IF (Universal Serial Bus Implementers's Forum) の相互運用性とのコンプライアンスをテストする必要があります。バス上の周辺デバイスは、そのハブと通信できなければなりません。ハブは、ホストとの相互通信と、最大7つの周辺機器との通信を行いながら、3つのデータ転送レートすべてと、アイソクロナスおよびバルク・データ転送を処理する必要があります。

USBシステムは、さまざまな相互依存性を持つネットワークなので、データ・エラーや性能上の問題の原因を判断することが非常に難しい場合があります。ロジック・アナライザにはデータ・トラフィックの表示、クリティカルなタイミングの測定、プロトコル検

証の機能が備わっているので、列挙の失敗、破損データ・パケットなどの上位レベルの問題の検出とデバッグにはロジック・アナライザが最適です。ロング収集メモリと強力なリアルタイム・トリガを使用すると、捉えにくい問題も、すぐに高い信頼性で捕捉することができます。

図5のロジック・アナライザのプロトコル (またはトランザクション) リストは、巡回冗長検査 (CRC) エラーでトリガされたものです。デザイナーは、ロジック・アナライザのロング収集メモリを使って、フェールに至るまでのイベント (プリトリガ・イベント) と、デバイスがこのエラー条件にどのように応答するか (ポストトリガ・イベント) を表示することができます。入力や出力のNAK応答をオフにできるので、メモリを効率的に使用でき、不要な情報をチェックする必要がなくなります。

要求、確認などのイベント間の時間関係の測定は、広範囲の問題をデバッグするためのツールとして重要です。この測定手法は、イベント・タイミングと呼ばれています。ロジック・アナライザやその他のプロトコル・ツールには、タイムスタンプを使ったイベント・タイミング機能が内蔵されています。タイムスタンプは、各スタート・イベント間の時間を記録する単なるカウンタです。この重要な機能はロジック・アナライザに常に内蔵されていて、4 nsの確度でイベント・タイミングを測定できます。

4 nsより正確な確度が必要な場合、または真の非同期タイミングが必要な場合は、オシロスコープをD+ラインとD-ライン、またはトランシーバ・インタフェース・チップの出力に接続します。

| ADDR | FUTUREPLUS SYSTEMS | PID | DATA | ENDPNT | PID | ADR | MCLK |
|------|------------------------|-----------|------|--------|-----|-----|--------|
| Hex | USB BUS TRANSACTIONS | Symbols | Hex | Hex | Hex | Hex | Binary |
| 021 | IN ADDR=02 END_POINT=1 | IN | FD2F | 1 | 02 | 02 | 0 |
| 021 | NO ACKNOWLEDGE | NCK | FD2F | 1 | 1A | 02 | 0 |
| 021 | IN ADDR=02 END_POINT=1 | IN | FD2F | 1 | 02 | 02 | 0 |
| 021 | DATA0= 0000 | DATA0 | 0000 | 1 | 05 | 02 | 0 |
| 021 | DATA0= 0052 | DATA0 | 0052 | 1 | 05 | 02 | 0 |
| 021 | DATA0= 0000 | DATA0 | 0000 | 1 | 05 | 02 | 0 |
| 021 | DATA0= 0000 | DATA0 | 0000 | 1 | 05 | 02 | 0 |
| 021 | DATA0 CRC=4D62 | DATA0 CRC | 4D62 | 1 | 07 | 02 | 0 |
| 021 | ACKNOWLEDGE | ACK | 4D62 | 1 | 19 | 02 | 0 |
| 021 | IN ADDR=02 END_POINT=1 | IN | 4D62 | 1 | 02 | 02 | 0 |
| 021 | NO ACKNOWLEDGE | NCK | 4D62 | 1 | 1A | 02 | 0 |
| 021 | IN ADDR=02 END_POINT=1 | IN | 4D62 | 1 | 02 | 02 | 0 |
| 021 | NO ACKNOWLEDGE | NCK | 4D62 | 1 | 1A | 02 | 0 |
| 021 | IN ADDR=02 END_POINT=1 | IN | 4D62 | 1 | 02 | 02 | 0 |
| 021 | NO ACKNOWLEDGE | NCK | 4D62 | 1 | 1A | 02 | 0 |

図5. CRCエラーでのトリガを示したロジック・アナライザのプロトコル・リスト。

ツールの統合による簡素化

正確なアナログ・オシロスコープ測定、電流測定を実行し、データの捕捉と解析を行うには、さまざまなツールが必要です。オシロスコープ、MATLABソフトウェア、ロジック・アナライザ、ブレイクアウト・ボードを単に使用するだけでは、デバッグ、性能の特性評価、仕様コンプライアンス・テストなどの作業が煩雑になるばかりです。PCとテスト機器の統合による利点を活かして、ツールを利用して処理を簡素化することができます。例えば、MATLABソフトウェアをInfiniium 54800シリーズ・オシロスコープに統合すると、測定後にデータをPCに転送して解析を行う必要がなくなります。これらのステップすべてを1つの測定ステップとして実行することができます。これは、オシロスコープを使用した電流測定の場合にも当てはまります。最新のロジック・アナライザとオシロスコープを統合すると、クロストリガと1つの画面でのデータの共有により、デバッグ・プロセスが容易になります。

現在使用可能なもう1つの重要なテスト/デバッグ手法が、クロスバス解析です。問題の根本原因を特定するには、ハブの入力と出力の同時測定と個別測定、ハブとUSB/PCIアダプタ・カード上のPCIバスの調査、USB、PCI、PCメモリ・システム間の相互作用のモニタが必要です。ロジック・アナライザを使用すると、複数のバスの同時表示、1つのバスによる別のバスのトリガ、すべての時間相関データの1つの画面で表示できます。

USB 2.0は、PCの世界の便利さと機能を改善する高速で信頼性の高いバス・アーキテクチャです。しかし、これは低速の単純なデジタル・バスではありません。複雑かつ高度であるため、デザイナーにはスキルと適性が求められます。USB-IFによって示されたガイドラインとアドバイスにしたがって、高速アナログ/デジタル用に設計されたツールを使用すると、信頼性の高いUSB 2.0製品を開発し、製品をすばやく市場に投入できます。

| Infiniiumオシロスコープ | オペレーティング・システム | ソフトウェア・リビジョン | USBテスト・オプション | テスト |
|------------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|
| 5481xA, 5482xA | Windows® 98 | A.04.20以上 | E2645A | Low/Full Speed |
| 5483xB/D | Windows 98 | A.01.10以上 | N2855A | Low/Full Speed |
| 5483xB/D | Windows XP Pro | A.03.10以上 | E2683A | Low/Full Speed |
| 54845A | Windows 98 | A.04.50以上 | E2645A | Low/Full Speed |
| 54846A | Windows 98 | A.04.50以上 | E2645A | Low/Full/Hi Speed |
| 54845B | Windows 98 | A.04.50以上 | N2854A | Low/Full Speed |
| 54846B | Windows 98 | A.04.50以上 | N2854A | Low/Full/Hi Speed |
| 5485xA | Windows XP Pro | A.03.10以上 | E2683A | Low/Full/Hi Speed |

表1. Infiniium USBテスト・オプション

USB 1.1と2.0の解析プローブ

FuturePlus Systems CorporationのFS 4120 USB解析プローブ（Agilentパーツ番号FSI-60050）を、Agilent 16700シリーズ・ロジック解析システムおよびInfiniium 54800シリーズ・オシロスコープと組み合わせることにより、USB 2.0周辺機器、ハブ、USBベース・システムのデバッグ、検証、コンプライアンス・テスト用の完全なシステムを構築できます。

FS 4120プローブは、USB DUTとAgilentロジック・アナライザ間の電気／機械インタフェースを提供します。プローブには、バスパワー・デバイスのDC電流測定、突入電流測定、サスペンド電流測定のためのテスト・ポイントがあります。オシロスコープをトリガして測定を行えるように、SMAコネクタとオシロスコープ・ト

リガ機能が内蔵されています。新しいプローブの特長を以下に示します。

- 完全なUSBシリアル-パラレル・デコードにより、バス・トラフィックのプロトコル表示が可能
- 時間相関表示付きデュアルバス動作による、ハブのデバッグ
- バスパワー・デバイスの突入電流を含む電流測定をサポート
- USBデバイス用に外部電源接続が可能
- bad PID、invalid PID、serial bit stuffed、CRC、Start of Frame、USBリセット、USBバス通信エラーなどのエラーを検出
- すべてのUSB速度（480 Mb/s、12 Mb/s、1.5 MB/s）で動作可能
- アイソクロナス転送を含む、すべてのタイプのデータ転送をサポート
- バスのステータスと動作をすぐに視覚的に識別できるLED
- 高速オシロスコープに対するトリガと接続を容易にするSMA接続
- 入力／出力：NAK抑制（FS/HS）機能

- 任意のアドレス、エンド・ポイント、データ・パターン、データCRC、USBエラーなどの強力なトリガ機能
- すべてのUSBサイクルおよびトランザクション識別子のデコード
- パケット識別子により、すべてのUSBトラフィックの記録、特定のパケット・タイプのみ記録、ユーザ指定機器からのパケットまたはユーザ指定機器へのパケットのみの記録が可能
- 内蔵のソフトウェアにより、すべてのUSBトラフィックの完全な色分けされたトランザクションとパケット・レベル・デコード

FS 4120には、2つの独立したUSBインタフェースとアナライザ・インタフェースがあります。このユニークな機能により、Hi-SpeedデバイスとFull Speedデバイスを同時に独立して測定できます。2本目の解析プローブを購入する必要がありません。

関連カタログ

| カタログ・タイトル | カタログ・タイプ | カタログ番号 |
|---------------------|------------------|------------|
| 16700シリーズロジック解析システム | Product overview | 5968-9661J |

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。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・センター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、製品の測定精度の維持をお手伝いします。



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電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ

Agilentの電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ製品、ソリューション、デベロッパ・ネットワークは、PC標準に基づくツールによって測定器とコンピュータとの接続時間を短縮し、本来の仕事に集中することを可能にします。詳細についてはwww.agilent.co.jp/find/jpconnectivityを参照してください。

MATLAB® is a U.S. registered trademark of Math Works, Inc.

Windows® is a U.S. registered trademark of Microsoft Corporation.

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/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 2006

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

April 25, 2006
5988-4794JAJP
0000-00DEP