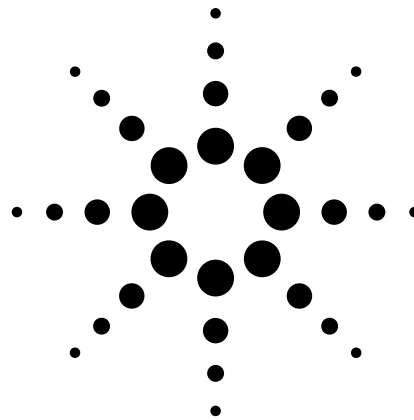


Bluetooth™モジュールの調査: デバイスに無線リンク機能を 付加するための第一歩



Application Note

はじめに

注記: 本アプリケーション・ノートは、製品に無線リンク機能を付加するために、市販されている既製のBluetoothモジュールを製品に組み込むことを検討しているベンダやメーカを対象としています。本文書は、電子産業に携わるさまざまな知識レベルおよび技術レベルの読者を想定しており、RF (無線周波) 技術についての詳細な知識は前提としません。

Bluetoothは、画期的な新技術で、さまざまな種類の電子機器同士を無線でつなぐことを目的としています。対象となる機器は、デスクトップやラップトップのコンピュータ、携帯情報端末(PDA)、周辺機器、カメラ、携帯電話、ページャ、無線ヘッドセットなど、その種類は増加しつつあります。さらには、冷蔵庫などの家電製品への応用も検討されています。Bluetoothを使えば、小さなトランシーバ・モジュールを製品に組み込むだけで、一定の半径(通常は10メートル)内でデータや音声を高速かつ安全に伝送できるようになります。ケーブルはすぐ過去の遺物になるかもしれません。ケーブルやコネクタを使わず、ネットワーク管理の手間にも煩わされずに、パーソナル・エリア・ネットワークを臨機応変に、または半固定的に構築できる時代が来るのです。

Bluetoothは、2.4GHzのISM(Industrial, Scientific, and Medical)帯域で動作します。この周波数帯域は免許が不要で、さまざまな用途にすでに使われています。電子レンジがこの帯域を使っており、他のRF通信でも利用しています。主なものとしては、HomeRFとIEEE 802.11bが挙げられます。この帯域は免許が不要なので、将来さらに多くの用途が考え出される可能性があります。帯域の使用が増えるにつれて、無線干渉が増えると考えられます。干渉に対処するため、Bluetoothはいくつかの方法を使って信頼性の高いリンクを確立します。例として、巡回冗長符号化、パケット再送、毎秒1600回の周波数ホッピングなどがあります。

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

*Bluetooth*はもともと、ケーブルの代替として考え出されましたが、情報転送や接続機能の重要性が高まるとともに、さらに大きな役割を果たすようになるでしょう。2005年までに、*Bluetooth*を搭載した機器は10億台を超えると予測されています。*Bluetooth*は、いまや電子業界でもっとも成長の速い標準です。すなわち、無線産業の未来は*Bluetooth*が支えているのです(図1)。

既製の*Bluetooth*モジュールを組み込む方法は、無線機能を一から開発するのに比べて、必要なリソースが少な

く、開発時間が短く、タイムトゥマーケットを短縮できるという利点があります。この方法を使うことでメーカーは、*Bluetooth*モジュールの組み込み能力を徐々に高めながら、無線製品のマーケティングに関する経験を積むことができます。あるいは別の方法として、*Bluetooth*サプライヤの専門技術を購入して製品に無線リンク機能を付加することもできます。

本文書の目的は、*Bluetooth*モジュールを解析し、デバイスに適したものを選択し、組み込みの際に生じる可能性のある問題を予測する方法を解

説することです。これらの問題の予測や調査や理解が可能になれば、*Bluetooth*モジュールをデバイスに組み込む際に、時間と労力と費用を節約できます。しかしながら、*Bluetooth*のように急速に変化しつつある標準に対して、一つの文書で将来のあらゆる変更をカバーすることは不可能です。したがって、現時点での説明は概略にとどめざるを得ません。

図1 *Bluetooth*がつかなく無線デバイスの種類は次々に増えていきます



目次

はじめに	1	4. 組み込み前の検討要因	10
1. <i>Bluetooth</i> モジュール	4	4.1 電源と電池	10
2. デバイスのタイプ	5	電池寿命	10
カテゴリー1: アダプタ	5	消費電力	10
カテゴリー2: 電気製品	5	電源雑音	10
カテゴリー3: 内蔵システム	5	4.2 放射/伝導干渉	10
カテゴリー4: 携帯電話機	5	ステップ1. <i>Bluetooth</i> テスト・セットを使った解析	11
3. モジュールの仕様	6	ノーマル・モードでの解析	11
3.1 モジュールの機能	6	テスト・モードでの解析	12
大きさ	6	(送信モード)	12
動作温度範囲	6	テスト・モードでの解析	13
動作範囲	6	(ループバック・モード)	13
プロファイル/最大データ・スループット/パケット・タイプ	6	重要な注記: リンク確立の問題	13
感度	6	ステップ2. <i>Bluetooth</i> テスト・セットとスペクトラム・アナライザを使った解析	15
無線性能	7	4.3 <i>Bluetooth</i> からホストへの干渉	15
3.2 モジュールの物理/電気特性	7	4.4 アンテナ放射パターン	16
物理特性	7	付録A Agilentの <i>Bluetooth</i> テクノロジー用テスト機器	17
電気特性	7	付録B 参考文献	19
3.3 モジュール・テスト・ツール	8	詳細について	20
テスト・アクセス・ポイント	8		
テスト・モード	8		
3.4 規制承認	9		

1. Bluetoothモジュール

Bluetoothモジュールの主要な機能ブロックは、RFトランシーバ・ユニット、ベースバンド・リンク・コントローラ・ユニット、およびリンク管理機能とホスト・コントローラ・インタフェース(HCI)機能のサポート・ユニットの3つです(図2)。このほかの機能部品として、もちろんアンテナが必要です。これはPCBに集積されている場合と、独立の部品として用意されている場合があります。Bluetoothモジュールの実装にはこのほか、高レベルのソフトウェア・プロトコル(フラッシュ・メモリなどに格納)が含

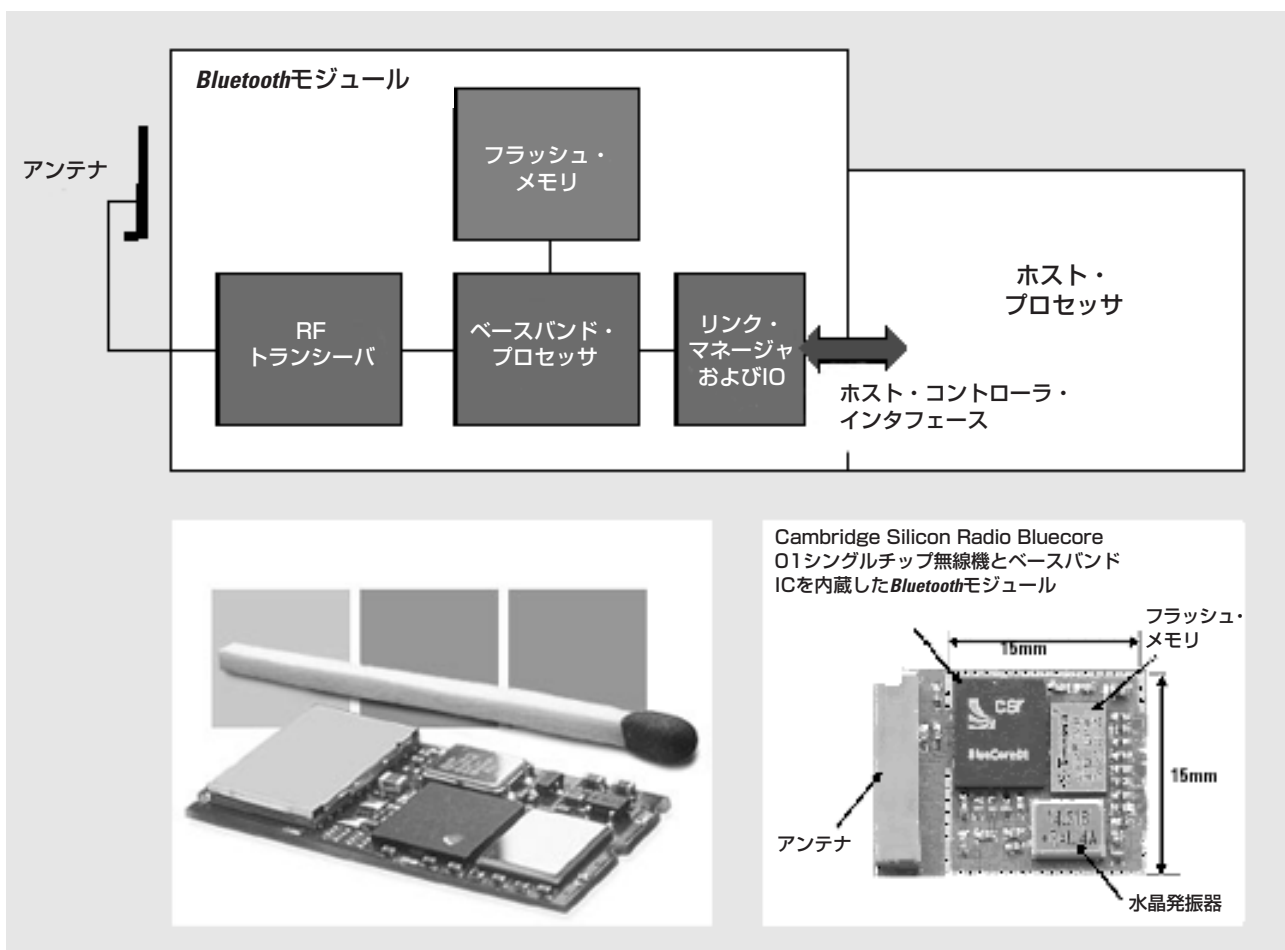
まれる必要があります。これはモジュールの機能と、他のモジュールとの相互運用性を管理します。あらゆるBluetoothモジュールは上記の機能ブロックを備えていますが、各ベンダの実装によって、大きさやシリコンへの集積度(シングルチップか複数チップか)などの特性は異なります。

RFトランシーバでは、Bluetoothシステムの周波数帯域、チャンネル配置、およびトランシーバ特性を定義します。ベースバンド・プロセッサでは、パケット・フォーマット、物理/論理

チャンネル、およびデバイス間で音声とデータの転送をサポートするための各種動作モードを定義します。ホスト・コントローラ・インタフェース(HCI)は、Bluetoothモジュールとホストとの間の共通インタフェースを提供します。

注意すべきこととして、すべてのBluetoothモジュールはSIGの認定試験を通らなければなりません、モジュールの特性はそれぞれに異なります。

図2 Bluetoothモジュールのブロック図(2モデル)



2. デバイスのタイプ

最初に考慮しなければならないのは、*Bluetooth*モジュールのターゲット・アプリケーションです。一言で言えば、*Bluetooth*モジュールをどんなデバイスに組み込むかということです。デバイスの使用モデルは、モジュールが置かれる電氣的・物理的環境だけでなく、組み込みに際して考慮すべき主要な要因も左右します。*Bluetooth*搭載デバイスのクラスは増え続けており、下記のようなものがあります。

カテゴリ1: アダプタ

PCMCIAカード、コンパクトフラッシュ型*Bluetooth*カード、USB-*Bluetooth*アダプタ、RS-232-*Bluetooth* dongle、*Bluetooth*プリンタ・ポート・コンバータなど。この種のデバイスは、既存のデスクトップ・コンピュータ、ラップトップ・コンピュータ、携帯情報端末(PDA)、プリンタなどに、*Bluetooth*による無線機能を追加するために用いられます。

カテゴリ2: 電気製品

電話機、携帯電話機、コンピュータ・オーディオ、MPEGプレーヤ、ホーム・エンターテインメント・センタなどとの間でオーディオ信号を送受信する無線ヘッドセット、およびキーボード、マウス、ジョイスティック、スピーカなどのコンピュータ周辺機器。

カテゴリ3: 内蔵システム

デバイスは通常コンピュータまたは周辺機器ですが、この場合には*Bluetooth*モジュールがカテゴリ1のインタフェースを使用せずにデバイスに直接組み込まれます。

このカテゴリには、デスクトップとラップトップのコンピュータ、PDA、さらにプリンタ、スキャナ、FAX機器などが含まれます。これからわかるように、カテゴリ2または4と重なる部分があります。PCは最終的にはマザーボード上に直接*Bluetooth*回路を装備するようになるでしょう。

カテゴリ4: 携帯電話機

携帯電話機に*Bluetooth*機能を付加するにはいくつかの方法があります。例えば、バッテリー・バックを使う方法、アダプタを使う方法、ホストに直接組み込む方法などです。したがって、このカテゴリはカテゴリ1またはカテゴリ3の特別な場合ですが、特に市場での普及が見込まれることから独立のクラスが設けられています。

無線機能を持たせるデバイスについて十分理解しておけば、必要なモジュールの仕様、考慮すべき性能要素、実行すべきテストなどを決定する際に役立ちます。

下の表(表1)は、モジュールをデバイスに組み込む準備の段階で必要なモジュールの仕様および問題の概要を示します。すべての項目が網羅されているわけではありません。なお、メーカーから仕様が提供されていても、組み込み前の検討要因の分析には実際の測定が必要な場合があります。

このあとで、各項目について詳細に説明します。

表1 モジュールの仕様と組み込み前の検討要因
*Bluetooth*デバイス・カテゴリ別

	カテゴリ1	カテゴリ2	カテゴリ3	カテゴリ4
モジュールの仕様—サプライヤから提供される情報				
大きさ	◆	●	◆	●
動作温度範囲	●	◆	●	●
動作範囲	◆	◆	◆	◆
感度	●	●	●	●
プロファイル/最大データ・スループット/パケット・タイプ	●	◆	●	◆
無線性能	●	●	●	●
物理/電気特性	◆	◆	◆	◆
テスト・モード	◆	◆	◆	◆
テスト・アクセス・ポイント	◆	◆	◆	◆
規制承認	◆	◆	◆	◆
組み込み前の検討要因—解析には実際の測定が必要				
電池寿命	I	●	I	●
消費電力	◆	◆	◆	◆
電源雑音	●	I	◆	I
放射干渉	●	●	●	●
伝導干渉	●	●	●	●
ホストとの <i>Bluetooth</i> インタフェース	I	◆	I	●
放射パターン	●	●	●	●

● この仕様または要因を解析する必要があることを示します。

◆ 考慮する必要があることを示します。

I 考慮の必要がないことを示します。

3. モジュールの仕様

*Bluetooth*モジュールの技術的仕様は、ペンダのデータ・シートやスペック・シートに記載されているのが普通です。最終製品でモジュールが正しく動作することを保証するには、このセクションで説明する各仕様を慎重に考慮する必要があります。

3.1 モジュールの機能

大きさ

当然ながら、*Bluetooth*モジュールはホスト・デバイス内に物理的に収まる必要があります。そのために必要なデバイスのデザインおよび製造上の変更は、なるべく少ないことが望まれます。

動作温度範囲

モジュールの(したがってデバイスの)動作は、高温(カテゴリ1と3で電源の熱がある場合など)や低温(カテゴリ4の携帯電話機を非常に寒い場所を使用する場合など)によって影響を受けます。温度による影響は、モジュールの電気特性(アナログ設計かデジタル設計か)によって異なります。デジタル回路の場合、温度の上昇または下降につれて間欠的にエラーが発生し始め、温度ストレスがある限度を超えると全く動作しなくなります。アナログ回路(RF増幅器や電圧制御発振器(VCO)など)の場合、性能の低下は少しずつ連続的に起こります。例えば送信機や受信機の基準発振器にドリフトが発生した場合、モジュールの動作には外見上なんの変化もないかもしれませんが、リンクのビット・エラー・レート(BER)は、送信周波数のドリフトのために大幅に悪化するおそれがあります。このため、*Bluetooth*モジュールの仕様が、デバイスが用いられる環境の温度に適合するかどうかを確認することが重要です。

動作範囲

*Bluetooth*モジュールの伝送距離は、モジュールの送信パワーによって10m～100mと異なります。パワー・クラス1(最大出力+20dBm、最大距離100m)、パワー・クラス2(最大出力+4dBm)、パワー・クラス3(最大出力0dBm、最大距離10m)が設けられています。検討対象のモジュールが必要な範囲で動作するかどうかを確認する必要があります。デバイスの電池寿命が重要な場合(カテゴリ2や4)、パワー・クラス1のモジュールは適しません。一方、伝送範囲をなるべく大きくする必要のある場合は、パワー・クラス1が適しています。

プロファイル/最大データ・スループット/パケット・タイプ

デバイスの使用モデルによって、適切なプロファイルが決まります(参考文献2)。プロファイルは、想定されるデータ転送のタイプを規定するものです。例えば、プリンタは音声データの伝送を使用せず、非対称モードで動作すると考えられます。

プロファイルを決定する際には、同期リンクか非同期リンクか、および対称リンクか非対称リンクかを検討する必要があります。非同期チャネルは、片方向で最大721kB/s、戻り方向で57.6kB/sの非対称リンク、または433.9kB/sの対称リンクをサポートします。同期チャネルはどちらの方向にも64kB/sをサポートします。

同期リンクは、音声の同期接続用に用意されており、主観的リスニング・テスト(参考文献4)によってHV3パケット・タイプが最も信頼性が高いことが示されています。

非同期リンクはデータ接続用に用意されており、同様に解析(参考文献4)によって下記のことが示されています。

- 干渉レベルが低い場合はDH5パケット・タイプが最適
- 大多数の干渉に対してはDH3パケット・タイプが最適
- DH1パケットは帯域幅が小さい(200kB/s未満)アプリケーションだけに適合

このように、モジュールを組み込むデバイスの種類に応じて、適切なデータ・スループットとパケット・タイプをサポートする*Bluetooth*モジュールを選ぶことが重要です。

各パケット・タイプの詳細な定義については、*Bluetooth*システムの仕様(参考文献1)を参照してください。

感度

*Bluetooth*テクノロジーを装備した製品では、感度が設計上の重要な問題になる可能性があります。*Bluetooth*モジュールの感度は一般的に**理想的な条件**での値であり、製品に組み込んだときの感度はモジュール単体の仕様より低下するのが普通です。実環境での動作条件(デバイスの内側と外側)、例えば大きなRF雑音、金属シールド、高温などのために、感度は大幅に低下するおそれがあります。

*Bluetooth*モジュールの中には*Bluetooth*の仕様を超える感度を実際に持つものもありますが、その感度が低下していないかどうかをホスト・デバイスへの組み込みの各段階でチェックする必要があります。感度の検証は最初に1回行えばよいのではなく、デバイスの組み込みとテストの過程で常に実行する必要があります。さまざまなテストを使用することにより、組み込みの過程でのモジュール感度の低下を解析・予測し、ターゲット・デバイスの感度をモジュールが満たしているかどうかを調べることができます(「組み込み前の検討要因」の4.2「放射/伝導干渉」を参照)。

無線性能

情報が得られれば、モジュールの無線干渉除去能力をチェックすべきです。この仕様は無線受信機の設計によって異なります。*Bluetooth SIG*(Special Interest Group)によって規定された性能(参考文献1)は下記の通りです。

- 同一チャネル干渉: 11dB
同一チャネルで必要信号の11dB下に干渉源が存在
- 隣接チャネル干渉除去比: 0dB
隣接チャネルで必要信号と同一パワー・レベルの干渉源が存在

*Bluetooth*モジュールの中には、他のモジュールよりも信頼性の高い無線性能を持つものがあります。高性能無線機の性能の例を下に示します。

- 同一チャネル干渉: 8dB
同一チャネルで必要信号の8dB下に干渉源が存在
- 隣接チャネル干渉除去比: -10dB
隣接チャネルで必要信号より+10dB上の干渉源が存在

例: これら2つの性能レベルを例にとって、以下の測定を実行する実験が行われました(参考文献4)。

- 干渉が存在する場合のリンク性能の低下
- 特定の大きさの干渉が存在する場合のスループット
- 到達範囲の関数としてのスループット

結果は下記の通りです。

- 総スループットの低下を伴わずに確立できるピコネットの数は、高性能無線機を使うことで20(標準モジュール)から40に増加しました。
- 干渉が存在する場合のスループット性能は大幅に向上しました。
- 最大到達範囲は2倍になりました。

これらの差から、*Bluetooth*モジュールの特性評価では無線干渉除去仕様の考慮が重要であることがわかります。

何らかの理由でこれらの仕様がサプライヤから提供されない場合、C/I(搬送波/干渉)性能試験を実行すれば求めることができます。C/I性能を測定するには、同一チャネルまたは隣接チャネルの*Bluetooth*変調信号を必要信号と並行して送信し、受信機のBERを測定します。このテストには*Bluetooth*機能をサポートする2台の信号発生器を使います。うち1台はBER測定を実行できる必要があります(例えば、Agilent ESG-Dシリーズ信号発生器にオプションの*Bluetooth*パーソナリティと内蔵BERアナライザを追加したもの)。詳細については、Agilentのアプリケーション・ノートAN 1333、*Performing Bluetooth RF Measurements Today*(参考文献5)を参照してください。もう1つの方法として、必要信号に*Bluetooth*テスト・セット(Agilent E1852A)、干渉信号に信号発生器を使う方法もあります。

3.2 モジュールの物理/電気特性

デバイスの開発において物理/電気特性が重要な問題でない場合でも、*Bluetooth*モジュールを検討する際にはこれらを考慮する必要があります。

物理特性

*Bluetooth*サプライヤの一部は、マルチチップ・デザインを採用し、ベースバンドDSPとマイクロプロセッサにはCMOSデバイス、RF機能にはバイポーラ・デバイスを使用しています。これとは全く異なる道を取り、CMOSだけを使ったシングルチップ*Bluetooth*ソリューションを開発したベンダもあります。モジュールの物理特性が重要になるのは、製造テストの途中または後で問題が発生した場合です。簡単な交換で問題が解決しない場合に、モジュールの修理または交換がどの程度容易かということです。

さらに重要なこととして、物理特性はモジュールの電気特性に影響します。例えば、一部のモジュールでは回路の集積度を上げるために、直交ミキシング・デザイン(IQ変調器/ディジタル復調器デザイン)を採用し、信号処理をアナログ回路からDSPに移行しています。

電気特性

Bluetooth無線機の電氣的デザインには、直接周波数変調VCO/アナログ・ディスクリミネータ・デザイン(図3)から、IQ変調器/ディジタル復調器デザイン(図4)まで、さまざまな種類があります。それぞれのデザインには、干渉除去比が高い、電池寿命が長い、あるいは単に納期が早いなど、独自の特長があります。すべてのサプライヤは自社のBluetoothアナログ/ディジタル・モジュールの認証を受けているはずですが、得られるテスト結果はそれぞれ異なる可能性があります。

このため、モジュールをデバイスに組み込む前に、スタンドアロンでの正常なモジュール動作を理解しておくことがきわめて重要です。例えば、IQ変調器/ディジタル復調器デザインの変調特性(初期搬送波周波数許容値と周波数ドリフト)を調べると、IQ不均衡のために信号がでこぼこしているのが見られるかもしれません(9ページの図6)。周波数変調VCO/アナログ・ディスクリミネータ・デザインの場合、このようなことはまず起こりません(9ページの図5)。

図3 直接周波数変調VCO/アナログ・ディスクリミネータのブロック図

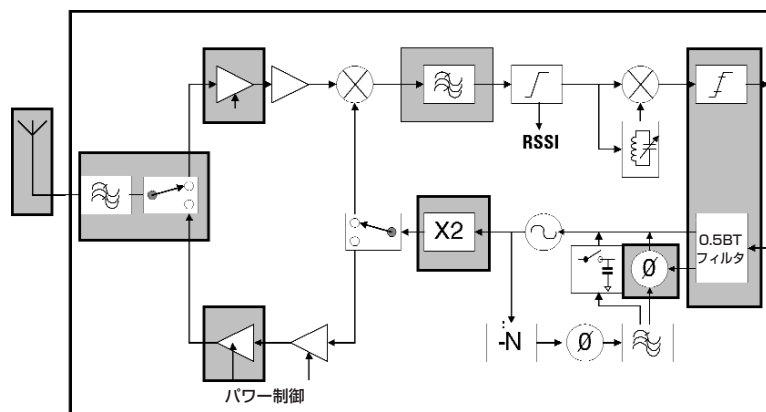
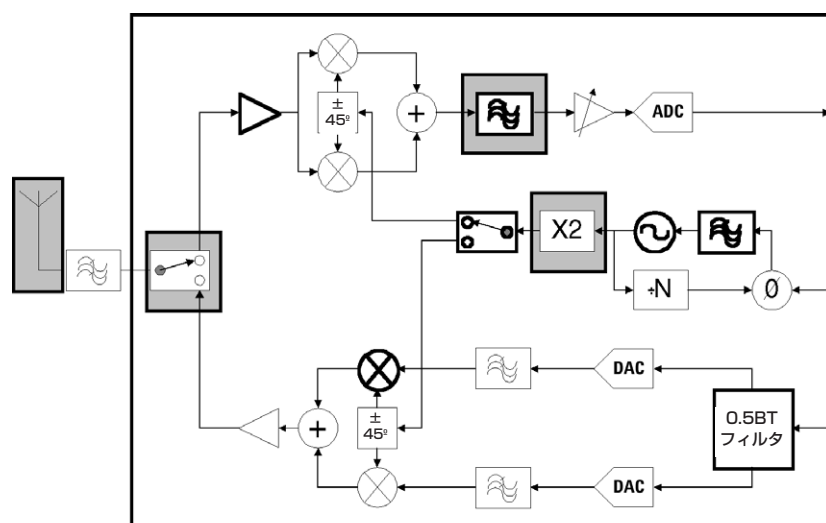


図4 IQ変調器/ディジタル復調器のブロック図



3.3 モジュール・テスト・ツール

組み込み後に必要ならモジュールとデバイスをテストできるようにするため、Bluetoothモジュールにどのようなアクセス・ポイントが用意されているか、およびモジュールが「テスト・モード」をサポートするかどうかをチェックする必要があります。

テスト・アクセス・ポイント

代表的なアクセス・ポイントとしては、ホスト・コントローラ・インタフェース(HCI)、RFインタフェース、RF-ベースバンド・コントローラ・インタフェースがあります。アクセス・ポイントはハードウェアで実現される場合もソフトウェアで実現される場合もあります。

モジュールに対して特定のテストを実行したい場合(例えばパート4の組み込み前の検討要因を分析する場合)、少なくともRFインタフェースに(可能ならRFコネクタ経由で)アクセスできることを確認する必要があります。モジュール・フィクスチャがない場合、デバイス環境でモジュールをテストするための評価ボードをモジュール・メーカーが用意しているかどうか調べてみます。組み込みの初期段階に役立つようにこの種のボードを用意しているメーカーもあります。

テスト・モード

テスト・モードは、あらかじめ定義されたパケットの送信(送信モード)や受信データの再送信(ループバック・モード)をBluetoothモジュールに実行させることができる機能です。この際、ビット・パターン、周波数選択、送信周波数、ポーリング周期などのパラメータを制御できます。この機能があると問題の発見が容易になり、Bluetoothモジュールと完成したデバイスのテストが高速になります。テスト・モードはBluetoothの仕様で要求されているため、すべてのBluetoothモジュールがサポートしているはずですが、一部のモジュールはまだこの機能をサポートしていない可能性があります。

3.4 規制承認

モジュールの認証に用いられる規制承認の種類は、正確に言えばモジュールの仕様ではありませんが、デバイスの将来のテストと認証のために考慮しなければならない要因です。どの規制機関や認証団体からBluetoothモジュールの認証をサプライヤが受けたかを知っておく必要があります。例えば、EU(欧州連合)向けのモジュールはRTTE(Radio Telecommunications Terminal Equipment)指令に適合する必要がある、米国向けのモジュールはFCC(Federal Communications Commission)およびTCB(Telecommunications Certification Body)の認証を受ける必要があります。規制要件はそれぞれの認証機関によって異なります。したがって、Bluetoothモジュールを選択する際には、自分自身の責任で世界中のさまざまな規制要件を調べ、それらに沿ってBluetoothデバイスを販売する必要があります。

仕様をすべて評価することにより、どのBluetoothモジュールがデバイスに最適かを定める(あるいは少なくともその手がかりを得る)ことができるはずです。モジュールがサプライヤによって認証されており、仕様通りに動作することを確認したら、デバイスにモジュールを組み込む準備は整ったことになります。

ただし、選択のためにさらに多くの情報を集めたり、組み込みの際に発生するおそれがある問題を予測したりするには、組み込み前の検討要因をいくつか解析する必要があります。主な要因には、電源雑音、消費電力、電池寿命、放射/伝導干渉、Bluetoothからホストへの干渉、アンテナ放射パターンがあります。パート4では、これらの要因と、その測定について詳しく説明します。

図5 Agilent E1852Aのディスプレイに、直接周波数変調VCO/アナログ・ディスクリミネータ・デザインのBluetoothモジュールの変調測定結果を表示したところ

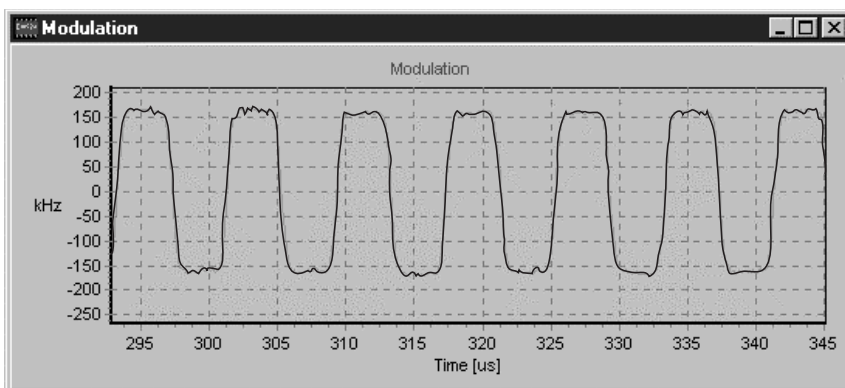
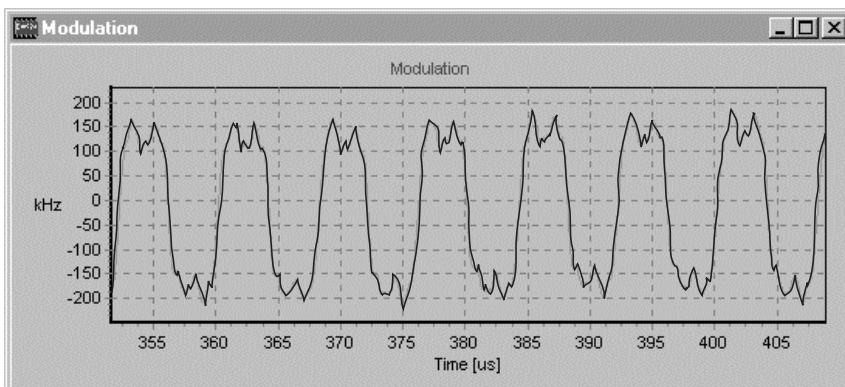


図6 Agilent E1852Aのディスプレイに、IQ変調器/デジタル復調器デザインのBluetoothモジュールの変調測定結果を表示したところ



4. 組み込み前の検討要因

組み込み前の検討要因を分析するには、モジュールのデータ・シートやサプライヤから提供される情報を見るだけでは不十分です。的確な解析を行い、組み込みの際に発生するおそれのある問題を予測するには、いくつかの測定を行う必要があります。すでに述べたように、組み込み前の検討要因のリストは**網羅的なものではなく**、検討しているBluetoothモジュールがデバイスへの組み込み後も正常に動作することを確認するには他の要因も調査しなければならないかもしれません。ただし、出発点としてはこのリストが役立つはずです。

4.1 電源と電池

電池寿命

電池駆動のデバイス(カテゴリ2と4)にBluetooth機能を付加する場合、電池の状態によって各Bluetoothモジュールの動作がどのように変化するかを知ることが重要です。デバイスの電池性能を再現できるDC電源を使えば、シグナル・アナライザによってBluetoothモジュールの動作の変化を解析することができます(図7に測定セットアップの例、図8に解析するパラメータのリストを示します)。

消費電力

Bluetoothモジュールのデータ・シートには、標準的な消費電力が記載されています。しかし、ピーク消費電力などの個々の特性は記載されていない場合もあります。

一部のDC電源には電流測定機能があるので、これを使ってBluetoothモジュールの消費電流とピーク消費電力を測定し、その結果に基づいて、デバイスの電池または電源がそのピーク消費に対応できるかどうかを調べることができます。Bluetoothモジュールの消費電力がホスト・デバイス全体の消費電力に占める割合は、なるべく小さくすべきです。

電源雑音

電源からはかなりのRF雑音が発生します。したがって、デバイスの電源(カテゴリ1と3の場合)がBluetoothモジュールにどのような影響を与えるかを解析する必要があります。例えば、電源がどの程度デカップリングされているかなどです。DH5バースト中のパワー対時間を測定し、周波数誤差測定の結果を注意深く観察することにより(図11)、DCバイアス電源に関連する問題を発見することができます。雑音は周波数ドリフト測定のリップルとして観察されることがあります(図10)。

Agilent Technologiesは、この種の電源/電池のテストに適したDC電源を各種用意しています。例えばAgilent 66319/21移動体通信用DC電源は、無線テスト専用の機能を装備しています。その中には、高速過渡応答および低電流測定機能(電流消費の評価に有用)や、電池特性の正確なエミュレーションを可能にするプログラマブル出力抵抗機能などがあります。

4.2 放射/伝導干渉

どのBluetoothモジュールを購入したとしても、認証されている以上、スタンダアロン・モードでは動作するはずです。必要なのは、デバイスの環境でもモジュールが正しく動作するかどうかを確認することです。したがって、デバイスとそれが置かれた環境からどのような干渉が生成されるかを知らなければなりません。放射干渉には無数の原因があります。例えば、ISM帯域で動作するシステム(IEEE 802.11b、HomeRF、電子レンジなど)、他の帯域で動作するシステム(GSM、UMTSなど)、電源、携帯電話機の局部発振器(LO)、PCやPDAなどの電子機器のデジタル・ノイズなどが考えられます。

伝導干渉の原因としては、電源、クロック回路、他のコンポーネントなどが考えられます。デバイスがPCMCIAカードの場合、データ・バスが干渉するおそれがあります。より一般的にはデジタル制御ラインが干渉の原因となります。モジュール間に長いケーブルがある場合、伝導干渉の経路となるおそれがあります。

理想的にはデバイスの動作環境全体をシミュレートできればいいのですが、これは複雑すぎます。より現実的な方法としては、Bluetoothモジュールをホスト・デバイス内に(フィクスチャを使って)入れ、デバイスに何らかの動作をさせてみます。例えば携帯電話機なら、電話をかけてみます。PCMCIAカードの場合なら、Excelで大きな数値を計算したり、ビデオ信号を再生したり、LAN経由でファイルをダウンロードしたりしてみます。これは、通常の動作で生じる可能性がある最大限の電氣的雑音をホストから発生させるためです。

そこで、デバイス内でのモジュールの動作を正しく解析するためには、以下のような手順を実行します。

ステップ1.

Bluetoothテスト・セットを使った解析

ノーマル・モードでの解析

- Bluetoothテスト・セットを使って、有線でBluetoothモジュールとの間にノーマル・リンクを確立します(有線接続が不可能ならアンテナを使います)(図7)。
- 結果を解析します。例えば、Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットを使っている場合、測定結果一覧ウィンドウ(平均パワー、ピーク・パワー、周波数オフセット、周波数偏移、周波数ドリフト、パケット・エラー・レート。図8参照)に赤いバーが表示されているかどうかを見ます。

図8 Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットの測定結果一覧ウィンドウには、各測定パラメータの瞬時値と、見やすい合否インジケータが表示されます

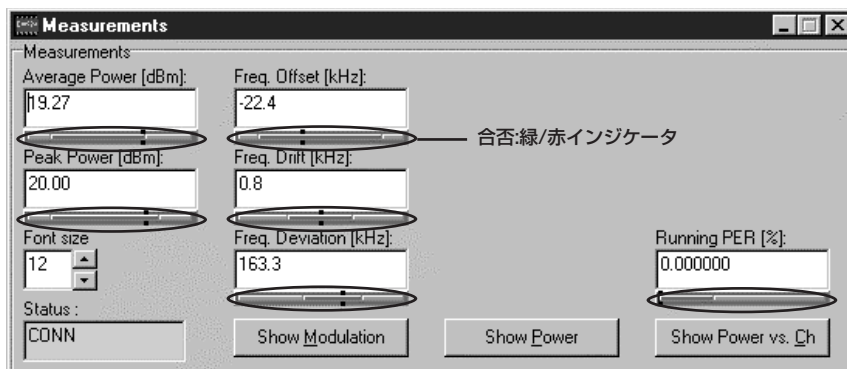


図7 Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットと、デバイス環境に置かれたBluetoothモジュールとの間のノーマル・リンクのセットアップ

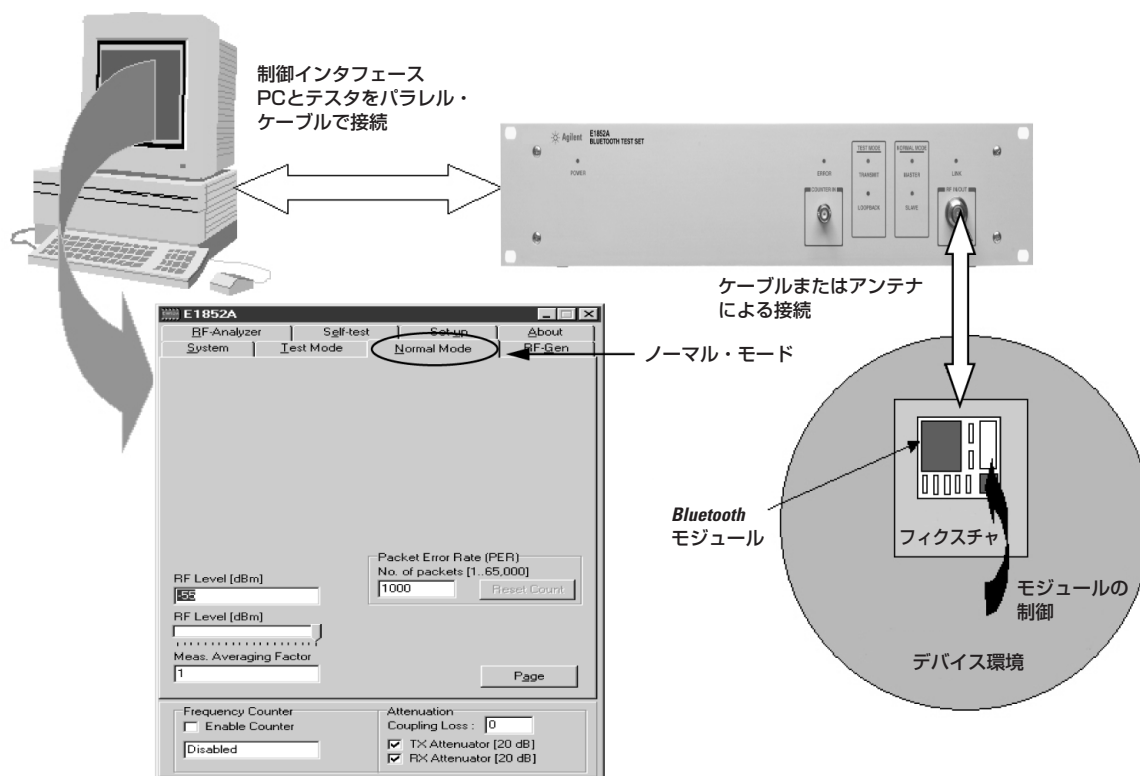


図9 Agilent E1852Aのディスプレイに、79個のBluetoothチャンネルのパワー分布を表示したところ

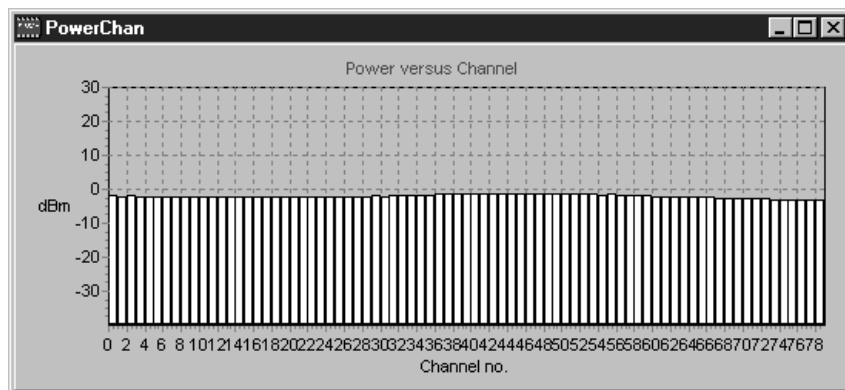


図10 Agilent E1852Aのディスプレイに、変調解析結果(周波数対時間)を表示したところ。セットアップでは、常に1のビット・パターンのDH5パケットと最大長(339)のペイロードを使用します。

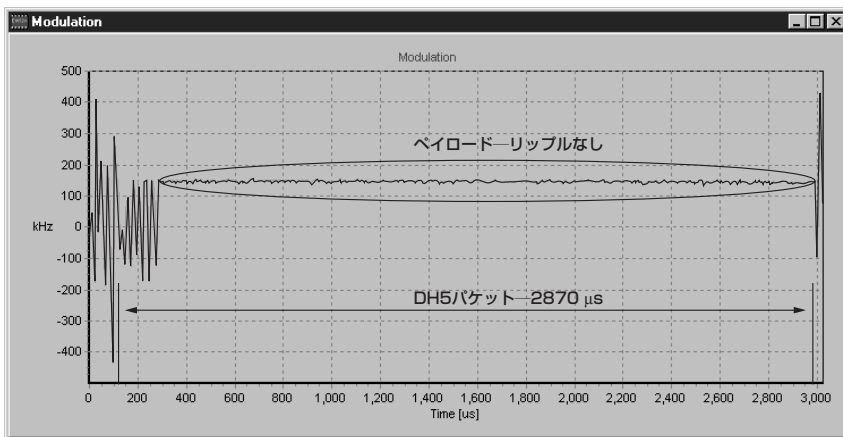
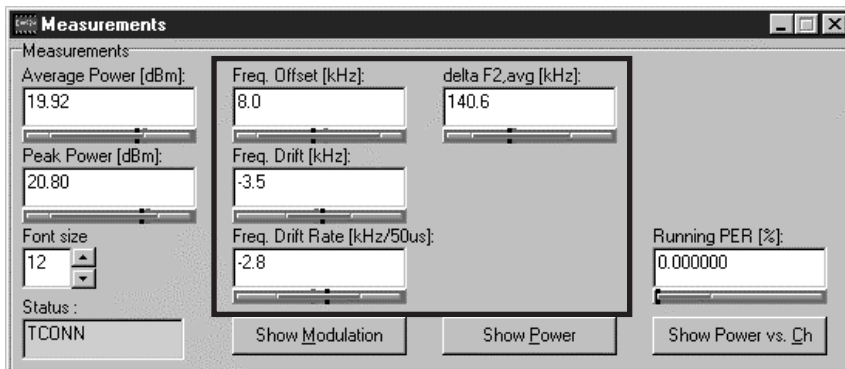


図11 Agilent E1852Aのディスプレイに、解析が必要なICFT(周波数オフセット)、周波数偏移、周波数ドリフトの各パラメータを表示したところ



- 次に電源をオフにして、PER(パケット・エラー・レート)が予想されるレベルで影響を受けるかどうかを見ます。このテストによって、デバイス環境に組み込むことでモジュールの感度がどの程度低下したかを調べることができます。

- 「パワー対チャンネル」測定結果を解析し、全チャンネルが使用されたかどうかを調べます。有線接続の場合、すべてのチャンネルが均等に使用されているはずですが(図9)。

エラーや異状が見つかった場合、Bluetoothモジュールをテスト・モード(送信モードとループバック・モード)にして問題を調査します。

テスト・モードでの解析(送信モード)

テスト・モードに入り、可能ならモジュールにDH5パケットで11111111を送信させます。最長のパケットで常に1のビット・パターンを使うのは、結果の解析を容易にするためです。変調グラフにリップルが見られるかどうかを観察します(図10)。同様に、周波数ドリフトまたは周波数偏移の結果が悪い値になる場合も、問題が存在する可能性があります(この測定では11110000や10101010などのビット・パターンを使います。図11参照)。送信経路と受信経路は同一のメインVCOを共用しているのが普通です。送信モードでエラーが見られない場合、受信機テスト(ループバック・モード)でエラーが見つかる可能性は低くなります。ただし、他の経路で伝導干渉が復調信号に入り込むおそれ残っています。

テスト・モードでの解析 (ループバック・モード)

ループバック・モードに入り、BER測定を実行します。パワー・レベルを下げ、モジュールを単独で測定したときと同程度の感度が得られるかどうかを調べます(図12、13)。感度が低下している場合、放射または伝導信号が受信機の感度に影響しています。

重要な注記: リンク確立の問題

上記のテストを実行するときに、*Bluetooth*モジュールと*Bluetooth*テスト・セットとの間のリンク確立に問題が生じる場合があります。原因としては、モジュールのハードウェアまたはファームウェアの問題が考えられます(例えば、*Bluetooth*モジュールのバージョンがテストのバージョンと一致しないなど)。

図12 3つのパワー・レベル(-35dBm、-69dBm、-75dBm)で実行したBER測定の結果を表示したAgilent E1852Aの3つのディスプレイ

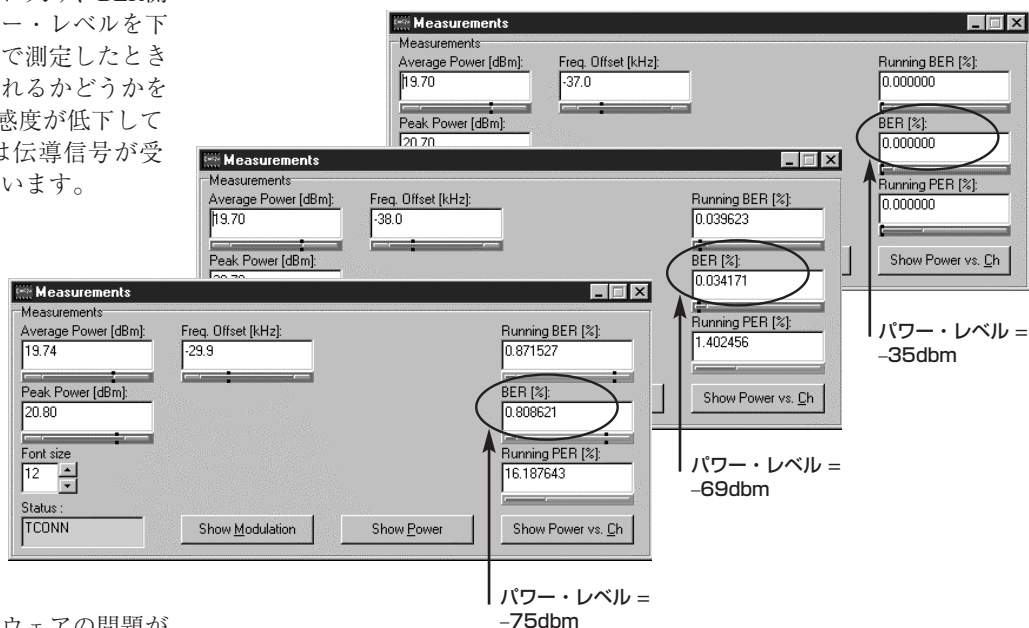
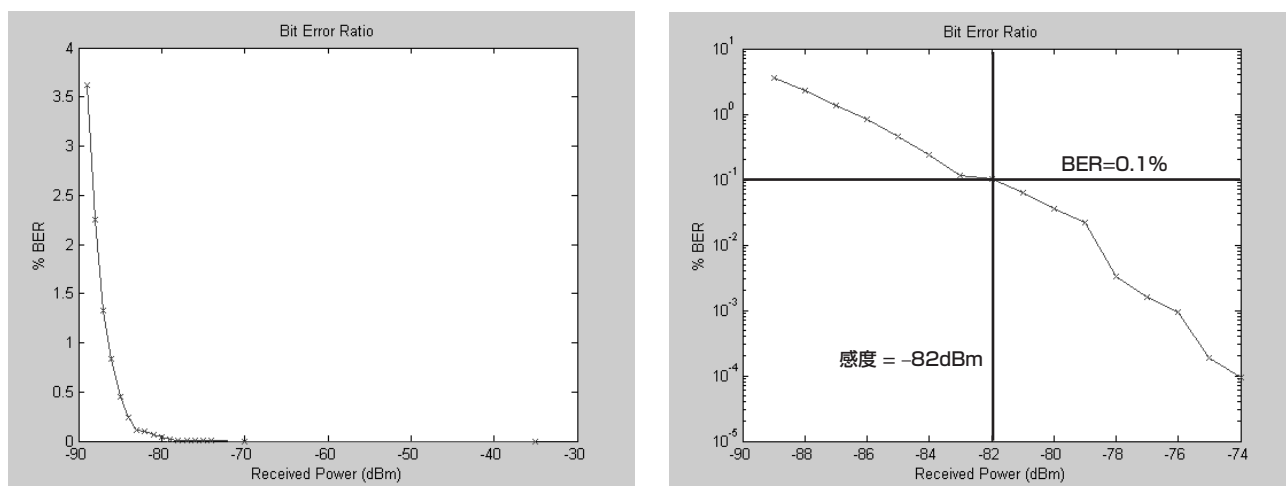


図13 *Bluetooth*モジュールのBER測定結果を、受信パワー・レベルの関数としてグラフ(リニア・スケールと対数スケール)に表したもの



Bluetoothモジュールに「テスト・ファシリティ」ユーティリティが実装されていれば、それを使って問題の原因を調査できます。このユーティリティは、Bluetoothモジュールを送信機または受信機として動作させるものです。モジュールを送信モードにすれば、モジュールがBluetooth信号を生成しているかどうかをチェックできます。測定には、Bluetoothパーソナリティをサポートするスペクトラム・アナライザ(Agilent ESAシリーズ+オプション303または304など)や、Agilent E1852A Bluetoothテスト・

セットの「RFアナライザ」機能が使用できます。この機能を使うと、実際のリンクを確立する場合と同じ測定パラメータが得られます(図14)。

このユーティリティを使えば、モジュールを受信機として動作させることもできます。この場合、信号発生器でBluetooth信号を生成し、Bluetoothモジュールに信号を入力し、ユーティリティを使ってBER測定結果を読み取ります。このテストは、問題がモジュールのハードウェアにあるのかファームウェアにあるのかの判定に

役立ちます。このユーティリティで問題が発生しないにも関わらず測定結果が正しくない場合、ファームウェアに問題がある可能性が高くなります。反対に、このユーティリティで信号を生成したり受信したりできない場合、ハードウェアに問題がある可能性が高くなります。

図14 Agilent E1852Aのディスプレイに、「RFアナライザ」メニューと、このメニューから得られる測定パラメータのリストを表示したところ

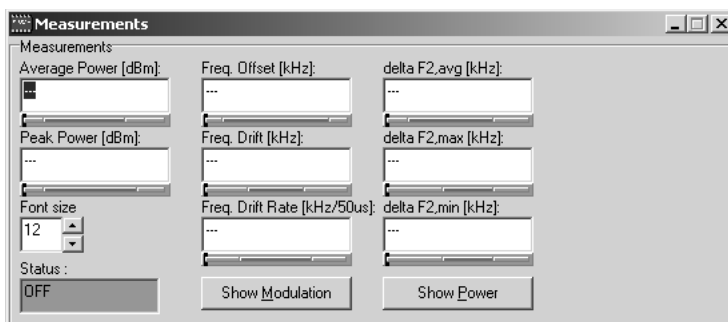
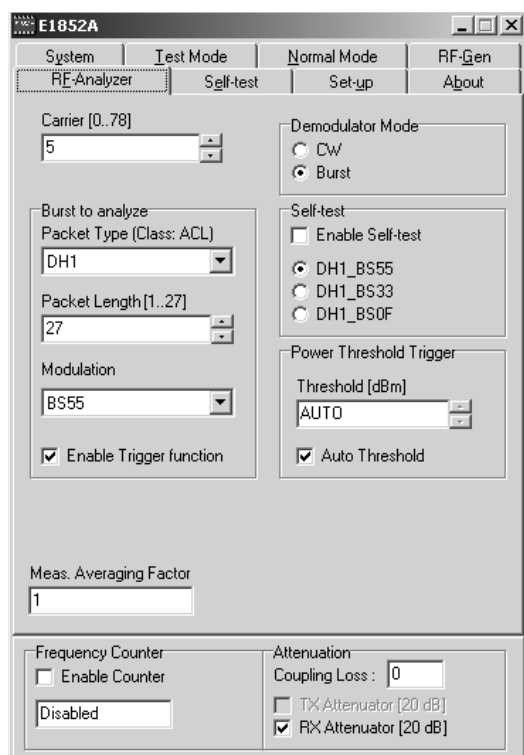
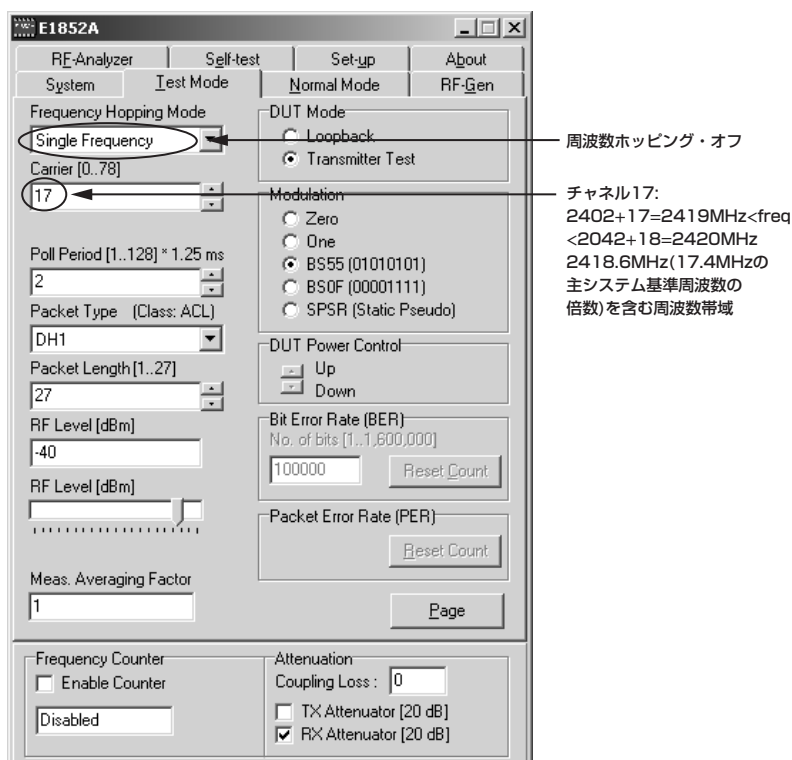


図15 Agilent E1852Aのディスプレイに、チャンネル17の単一周波数に対するテスト・モード・メニューの構成を表示したところ



ステップ2. Bluetoothテスト・セットとスペクトラム・アナライザを使った解析

スペクトラム・アナライザがあれば、近磁界プローブを使ってホスト・デバイスの主システム基準周波数を調べます。この際、デバイスのブロック図を参考にします。周波数が求められたら(例えば17.4MHz)、それに整数 n を掛けて2.4GHz帯域(2402~2483.5MHz)に入るようにします(例えば、17.4MHz×139=2418.6MHz)。この手順を繰り返して、帯域内にある各基準周波数の奇数次高調波(偶数次高調波よりも影響が大きい)をすべて見つけ出します。計算結果の周波数のそれぞれに対して、Bluetoothテスト・セットを使って目的のチャンネルでテスト・モードのリンクを確立し(周波数ホッピング・オフ、14ページの図15参照)、Bluetoothモジュールの動作に変化があるかどうかを調べます。1つのシステム基準周波数に対して、2.4GHz帯域の複数の周波数をテストしなければならない可能性があります。例えば、17.4MHzの奇数次高調波は2.4GHz帯域に2つあります。 $n=139$ の2418.6MHzと、 $n=141$ の2453.4MHzです。

このテストは、デバイスからの放射/伝導干渉がBluetoothモジュールに影響するかどうかを調べるもう1つの方法です。

4.3 Bluetoothからホストへの干渉

Bluetoothモジュールの動作がデバイスの環境に影響されるのと同様、BluetoothモジュールからのRFI(無線周波干渉)もホストの性能に影響を与える可能性があります。特に、ホスト自身がRF送信を行ったり、受信機を装備したりする場合(携帯電話機など)にこれが問題になります。

Bluetoothモジュールは認証を受けているので、「帯域外スプリアス放射」テストに合格しているはずですが、このテストでは、Bluetoothモジュールから生成される伝導性放出(アンテナまたは出力コネクタ)および放射性放出が測定されます。モジュールが満たさなければならない正確な仕様は、使用される地域(米国か欧州か)によって異なります。(パート3.4「規制承認」を参照)。

通常は、認証済みのBluetoothモジュールはホスト・デバイスに影響しないはずですが、デバイスに受信機がある場合、スペクトラム・アナライザがあればBluetoothモジュールからのスプリアス放射がないかどうか調べておくといよいでしょう。このためには、Bluetoothテスト・セットとBluetoothモジュールとの間に無

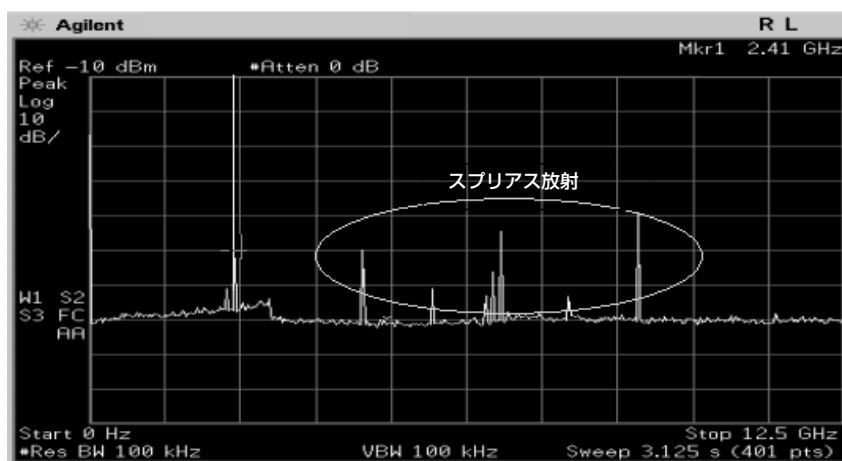
線によってノーマル・リンクを確立します。その後、アンテナを装備したスペクトラム・アナライザを使って(図16)、モジュールのスプリアス放射を解析します(図17)。Agilent ESA-Eシリーズでは、必要なら一部の測定を最高26GHzで実行できます。

図17のBluetooth信号は認証試験に通っていますが、明らかに複数の信号が生成されています。これらの信号がデバイスやその環境に影響を与えないかどうかを確認する必要があります。

図16 Agilent ESA-Eスペクトラム・アナライザにRangeStar Bluetoothアンテナを装備してBluetooth信号を無線で受信しているところ



図17 Agilent ESA-Eスペクトラム・アナライザのディスプレイに12.5GHz帯域のスプリアス解析結果を表示したところ



4.4 アンテナ放射パターン

パート1で述べたように、一部のサプライヤからはアンテナを集積したモジュールが提供されています。この種のモジュールを選択する場合、付属のアンテナがデバイスに適合するかどうかを確認する必要があります。同様に、アンテナなしのモジュールを選択する場合、どのようなアンテナをデバイスに組み込むかを定める必要があります。

高品質の無線リンクを確立するには、十分なリンク利得と、適切な放射パターンが必要です。利得が低下すると、送信機の到達範囲が狭まります。利得の低下を補うために送信機の出力を上げると、*Bluetooth*デバイスの動作時間や電力効率が低下します。利得が低下する原因としては、不整合損失(例えばアンテナのインピーダンスが 50Ω でない場合)などの回路損失が挙げられます。アンテナがパワーアンプ(PA)の近くにない場合、プリント回路基板(PCB)や伝送ラインの損失、およびアンテナとの間のコネクタの不整合損失が影響します。

利得は放射パターンによっても変わります。放射パターンにはヌル、すなわち利得が低い領域が存在する場合があります(図18)。例えば、*Bluetooth*デスクトップ・デバイスは理想的には半球形の円偏波パターンを持つべきですが、アンテナによってはこのようなパターンを実現できない場合もあります。このパターンであれば、互換性のあるデバイスはデスクトップより上の任意の角度と偏波で動作します。アンテナ放射パターン(および利得)は、近くにある他の物体の影響を受けます。アンテナの配置が適切でない場合とヌルが生じ、特定の方向で通信が困難あるいは不可能になるおそれがあります。

アンテナがモジュールに集積されている場合でもそうでない場合でも、上記の問題はチェックする必要があります。

基本的なテストによって放射パターンの問題を検出することができます。パート4.2のテストと同様に、モジュールをデバイス・フィクスチャに入れ、*Bluetooth*テスト・セットとの間

に無線によってノーマル・リンクを確立します。可能なら*Bluetooth*デバイスを動かし、あるいは*Bluetooth*テスト・セットを動かして、パワー測定結果を解析します(図19)。パワーの低下をチェックします。

図18 放射パターン図の例: ダイポール・アンテナの極座標図。利得の低い領域(ヌル)が見られます。

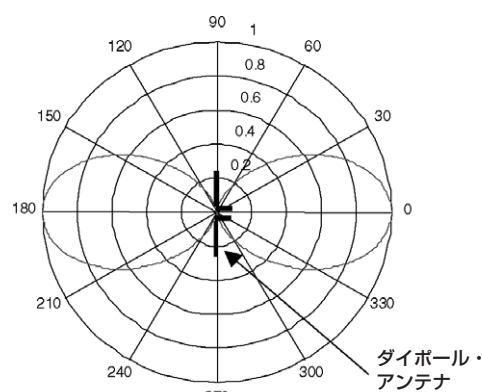
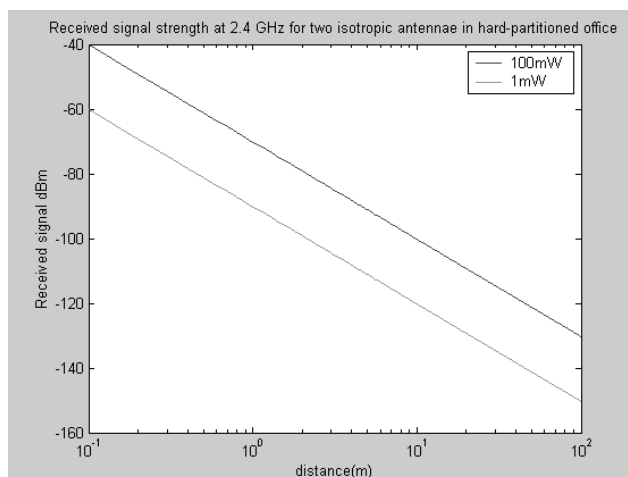
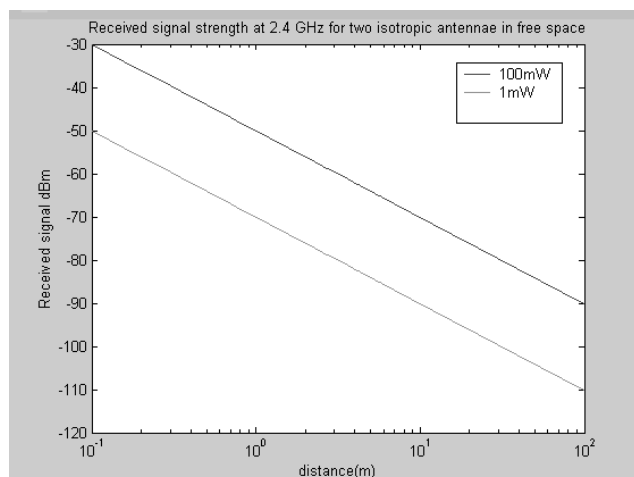


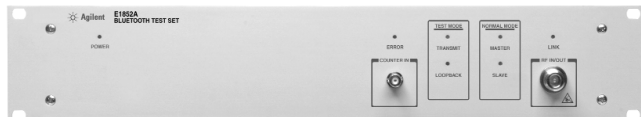
図19 距離による受信パワー信号の理論的な変化を示すグラフ。左のグラフは2台の*Bluetooth*モジュールをパーティションのあるオフィスに置いた場合の結果。右のグラフは2台の*Bluetooth*モジュールを自由空間に置いた場合の結果。



Bluetooth機能を装備したテスト機器

E1852A Bluetoothテスト・セット

標準Bluetoothプロトコルによってリンクを確立し、Bluetoothトランシーバの性能を検証することができます。



信号発生器、ESG-Dシリーズ(3~4GHz)、オプションUND、UN7、UN8

送信機テスト用のBluetooth信号、受信機テスト用のカスタムBluetooth変調干渉信号、Bluetooth受信機のBER解析。



スペクトラム・アナライザ、ESA-Aシリーズ(3~26GHz)、Bluetoothバンドル(オプション303、304)

ボタン1つでBluetooth送信機測定テストを自動実行。広範囲のスペクトル測定を実行可能。



EPMパワー・メータおよびE9320パワーセンサ

Bluetooth送信機の正確なパワー測定をすばやく容易に実行。



シミュレーション・ソフトウェア、ADS+Bluetooth DesignGuide

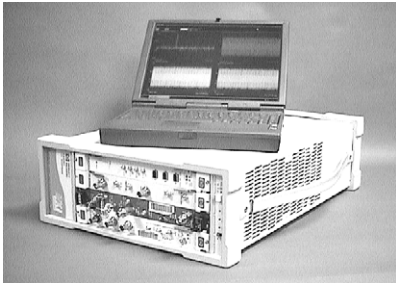
カスタムBluetoothシステムのデザインとシミュレーションに便利なソフトウェア・ツール。定義済みのBluetoothコンポーネント・モデルによりシミュレーション・プロセスを高速化。ESG-Dシリーズおよび89600シリーズと連携可能。



その他のテスト機器

ベクトル・シグナル・アナライザ、89400/89600シリーズ

汎用の高精度信号解析と、*Bluetooth*送信機測定を完備。*Bluetooth*信号の変調品質解析機能(コンスタレーション、アイ・ダイアグラム)を装備。



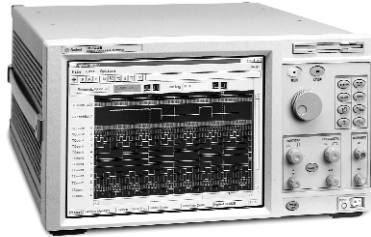
DC電源、66319B/D

電池のエミュレーションが可能な高速プログラマブル・ダイナミックDC電源。



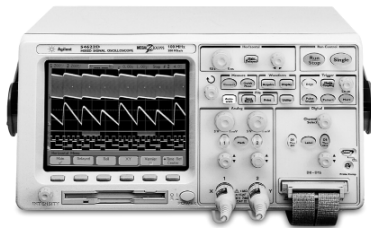
ロジック・アナライザ、16700シリーズ

複数のプロセッサ/バス・デザインに対して包括的なシステム・レベル・デバッグが可能。



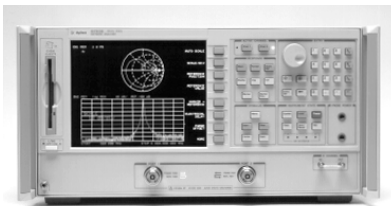
ミックスド・シグナル・オシロスコープ、54620シリーズ

*Bluetooth*ベースバンド信号の検証とデバッグに便利。



ネットワーク・アナライザ、8753Eシリーズ

アンテナのVSWRの測定が可能。



アクセサリ

オシロスコープ・プローブ—54006A

超低容量(0.25pF)パッシブ・プローブ。

近磁界プローブ—11940A

1GHzまでの磁界放射を測定。

スプリッター—11667A

比測定および均等パワー分割に便利。

方向性結合器—773D

2台の*Bluetooth*デバイスをケーブルでつないで片方のRF波形を観察するために使用。

2方向性結合器—772D

2台の*Bluetooth*デバイスをケーブルでつないで両方のRF波形を観察するために使用。

*Bluetooth*の公式ウェブサイト(www.bluetooth.com)では、*Bluetooth*の歴史、技術、ニュース、仕様、アプリケーション、製品、イベント、*Bluetooth* SIG(Special Interest Group)などに関する情報が提供されています。

1. *Specification of the Bluetooth System* - version 1.1, Volume 1
“Core”, February 22, 2001 -
Bluetooth SIG
2. *Specification of the Bluetooth System* - version 1.1, Volume 2
“Profiles”, February 22, 2001 -
Bluetooth SIG
3. *Bluetooth Test Specification* -
RF A:2, 20.B.153/0.9, March 24,
2000 - *Bluetooth* SIG
4. *Bluetooth Performance in Densely Packed Environments*, *Bluetooth* Developers Conference, 5-7
December 2000, San Jose, CA.
5. *Bluetooth* RF測定を今すぐ実現
Agilent Application Note # AN 1333
(カタログ番号5968-7746J)
6. *Bluetooth RF Testing—The Right Test for the Radio Design*, Agilent article, May 2000
7. *Bluetooth* ソリューション
brochure
(カタログ番号5980-3032JA)

参考文献4、6は下記のAgilentウェブサイトから入手できます。

www.agilent.com/find/bluetooth

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になります。

- 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、製品の測定精度の維持をお手伝いします。

*Bluetooth™ is a trademark
owned by the Bluetooth SIG, Inc.*

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時間受け付け

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 2001

アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

June 19, 2001
5988-2417JA
0000-00DEP/H