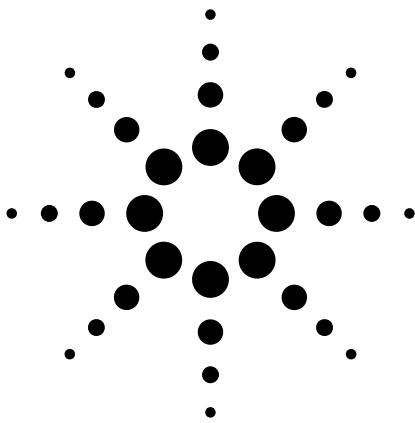




Bluetooth™ RF 測定の基本

Application Note 1333-1

はじめに

Bluetooth™無線技術は、無線パーソナル・エリア・ネットワーク (PAN) のためのオープンな仕様です。近距離の情報機器間で、無線接続による音声やデータの交換を行います。Bluetoothにより、相互にケーブルを接続する必要がなくなります。大部分の無線通信システムと異なり、Bluetoothは、基地局やアクセス・ポイントなどのインフラを必要とせず、デバイス間のアドホックなネットワークが可能になります。

Bluetoothは10世紀のデンマーク王「ハーラル 青歯王」(King Harald Blatand)にちなんで命名されました。青歯王というとバイキングの征服と略奪のイメージがありますが、治世中にデンマークとノルウェーを統一した立派な王でした。この王のように、現代のBluetoothは無線通信リンクを使用して機器を統合します。

Bluetoothを使用すると、機器間のシームレスな相互接続が実現します。つまり、携帯情報端末 (PDA) をPCの近くに持っていきだけで、PCとPDA間でファイルとデータベースを同期することができると考えてください。

ノートPCからのメールの送受信は、近くにある携帯電話や空港ロビーのBluetooth搭載のインターネット・アクセス機器にリンクすることによって行います。また、ワイヤレス・ヘッドセットにより、携帯電話のハンズフリー操作が容易になり、自動車の運転中の通話を安全かつ便利に行うことができます。無線接続により利便性が高まる情報機器分野の成長を考えれば、Bluetoothの可能性は無限であるといえます。

このアプリケーション・ノートでは、Bluetooth RF設計をテストし検証するための送信機および受信機の測定について説明します。テスト方法には、手動操作やカスタム・ソフトウェアによる制御から、ボタン1つで簡単に実行できる測定まで、さまざまな種類があります。付録Dに、アジレント・テクノロジーの提供するBluetooth測定ソリューションの一覧を示します。このアプリケーション・ノートは、RF測定の基本的な知識があることを前提としています。RF測定の基本を習得する場合は、このアプリケーション・ノートの巻末にある付録C「推奨文献」を参照してください。



Agilent Technologies

目次

はじめに	1	2.5.2 スペクトログラム測定	18
1. Bluetoothの基本概念	3	3. トランシーバ測定	19
1.1 Bluetooth無線ユニット	4	4. 受信機測定	20
1.2 Bluetoothのリンク制御ユニット とリンク管理	5	4.1 テスト条件とセットアップ	20
1.3 Bluetooth RFテスト・スイートの 構成	6	4.1.1 テスト条件	20
2. 送信機測定	7	4.1.2 BERテストのセットアップ ..	20
2.1 テスト条件とセットアップ	7	4.2 感度－シングルスロット・ パケット	23
2.1.1 テスト条件	7	4.3 感度－マルチスロット・ パケット	23
2.1.2 テスト・セットアップ	8	4.4 搬送波／干渉(C/I)性能	24
2.2 パワー・テスト	9	4.5 ブロッキング性能	24
2.2.1 出力パワー	9	4.6 相互変調性能	24
2.2.2 パワー密度	11	4.7 最大入力レベル	24
2.2.3 パワー制御	11	5. 電源測定	25
2.3 送信出力スペクトラム	12	付録A：用語集	26
2.3.1 周波数レンジ	12	付録B：記号と頭字語	27
2.3.2 -20dB帯域幅	12	付録C：推奨文献	28
2.3.3 隣接チャネル漏洩電力	12	付録D：AgilentのBluetooth ソリューション	29
2.4 変調テスト	13	付録E：参考文献	30
2.4.1 変調特性	13		
2.4.2 変調品質	15		
2.4.3 初期搬送周波数の許容値	15		
2.4.4 搬送周波数ドリフト	16		
2.5 タイミング・テスト	18		
2.5.1 バースト・プロファイル	18		

1. Bluetoothの基本概念

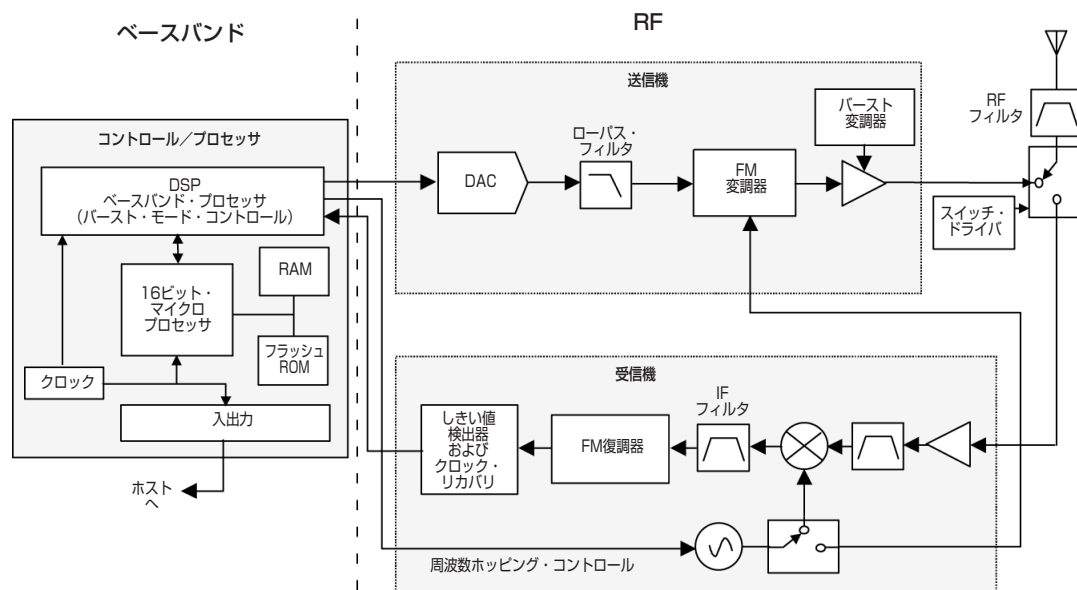
Bluetoothの最も基本的な形態は、無線通信のためのグローバルな仕様として定義されています。ケーブルの代わりとなるものを意図しているため、低コスト、わかりやすい操作、信頼性が高いことが求められます。これらの要件を満たすには多くの障害がありますが、Bluetoothはさまざまな方法を駆使してそれに対処しています。無線ユニットには周波数ホッピング・スペクトラム拡散 (FHSS) が用いられており、低消費電力、低コストはもちろん、工業、科学、医療 (ISM) 用の無線帯域を使用するため、

無秩序で干渉の多いRF環境でも誤りなく動作する信頼性が重視された設計になっています。

Bluetooth無線ブロック図には、さまざまな種類が使用されています。送信には、VCO直接変調から最終RFでのIQ変調まであります。受信機では、従来の周波数ディスクリミネータやA/D変換と組み合わせたIQダウンコンバートがあります。Bluetoothの仕様を満たすオプションは多くあり、正確に動作しない場合の特性がそれぞれ異なります。Bluetoothシステムは、

無線ユニット、ベースバンド・リンク制御ユニット、リンク管理ソフトウェアで構成されます。さらに、相互運用性の機能を司る上位レベルのソフトウェア・ユーティリティも含まれます。図1は、周波数ホッピング・システムのブロック図で、ベースバンド・コントローラとRF送信機および受信機セクションを示しています。

図1. Bluetoothシステムのブロック図



1.1 Bluetooth無線ユニット

Bluetooth無線ユニットは、図1のブロック図で送信機および受信機として示されているセクションです。送信機は、ベースバンド情報を、周波数変調された搬送波にアップコンバートする役割を果たします。周波数ホッピングとバースト化はこのレベルで行われます。受信機はその逆に、RF信号のダウンコンバートと復調を行います。

表1にBluetoothの主なRF特性を示します。

Bluetoothチャネルは、それぞれ1MHzの帯域をもちます。周波数ホッピングは79チャネルに渡って行われます。図2に、地域ごとの周波数ホッピング・チャネルを示しています。

Bluetoothシステムの変調は、2値周波数シフト・キーイング (2FSK) です。

このデジタル変調フォーマットでは、変調された搬送波が“1”と“0”を表す2つの周波数の間でシフトします。このため、2FSKでのシンボル1個あたりのデータ・ビット数は1です。図3は2FSK変調の例で、2つの離散周波数を表しています。GSMなど他の周波数変調方式と異なり、この種の変調方式では振幅と位相は大きな意味を持ちません。

表1. Bluetoothの主なRF特性

特性	仕様	注記
搬送波周波数 ¹	2400～2483.5MHz (ISM無線帯域)	$f=2402+k\text{MHz}$, $k=0, 1, 2, \dots, 78$
変調	0.5BTガウシアン・フィルタ付き2FSK 1Mシンボル/s 変調指数: 0.28～0.35 (公称値0.32)	デジタルFM方式 許容ピーク周波数偏移175kHz
ホッピング	1600ホップ/s (通常動作時) ² 1MHzチャネル間隔 5種類のホッピング・シーケンスがシステムに存在: 1) ページ・ホッピング・シーケンス 2) ページ応答シーケンス 3) 問合せシーケンス 4) 問合せ応答シーケンス 5) チャネル・ホッピング・シーケンス 最初の4つは制限付きホッピング・シーケンスで、接続設定時に使用。 通常のチャネル・ホッピング・シーケンスは、マスタ・クロック値と デバイス・アドレスに基づく疑似ランダム・シーケンス。	チャネル・ホッピング・シーケンスは、各周波数が定期的に、 ほぼ同じ確率で現れるように設計されている。周期は23時間 18分。
送信パワー	パワー・クラス1: パワー・クラス2: 0.25mW (−6dBm) ~ 2.5mW (+4dBm) パワー・クラス3: 1mW (0dBm)	クラス1パワー制御: +4 to +20dBm (必須) −30~0dBm (オプション) クラス2パワー制御: −30~0dBm (オプション) クラス3パワー制御: −30~0dBm (オプション)
動作範囲	10cm～10m (パワー・クラス1は100mまで)	
最大データスループット	非同期チャネルは、最大721kbps (戻り方向57.6kb/sを 許可)の非対称リンクまたは、432.6kbpsの対称リンクを サポートします。	データ・スループットが1Mシンボル/sのレートよりも低い のは、プロトコル固有のオーバーヘッドのため。

1. Bluetooth仕様には、フランスなどの国の規制に準拠するための特殊な周波数ホッピング・パターンが含まれます。フランス用周波数レンジは、2.4465～2.4835GHzで、対応するRFチャネルは、 $f=2454+k\text{MHz}$, $k=0, \dots, 22$ です。フランスが完全にISMバンドを採用する変更は、2003年に行われる予定です。

2. ホップ速度はパケット長に応じて変化します。

図2. Bluetooth周波数帯域とチャネル割り当て

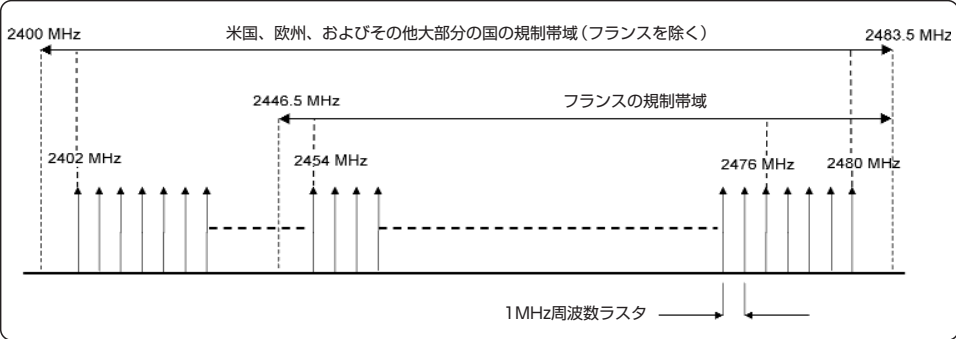
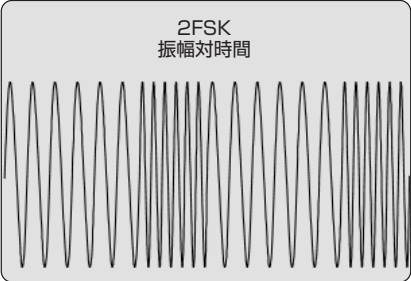


図3. 2FSK変調



1.2 Bluetoothのリンク制御 ユニットとリンク管理

Bluetoothリンク制御ユニットはリンク・コントローラとも呼ばれ、デバイスのステートを決定するとともに、ネットワーク接続の確立、パワー効率、エラー訂正、暗号化の役割があります。

リンク管理ソフトウェアはリンク制御ユニットと協調動作します。デバイスはリンク・マネージャを経由して相互接続されます。**表2**は、リンク制御／管理機能の概要です。表のあとに詳しい説明があります。

Bluetooth無線機は、マスタ・ユニットとスレーブ・ユニットのどちらかとして動作します。リンク・マネージャが、マスタ・ユニットとスレーブ・ユニットとの間の接続を確立し、スレーブのパワー・セーブ・モードを決定しま

す。マスタは最大7台のスレーブと同時にアクティブに通信でき、そのほかに200台以上のスレーブを登録して、通信を行わないパワーセーブ・モードで待機させることができます。この制御エリアはピコネットと定義されています。あるピコネットのマスタは、別のピコネットのマスタに対するスレーブにもなります。同様に、異なるピコネットに属する複数のマスタから1台のスレーブを制御することもできます。このようなピコネットのネットワークをスキヤッタネットと呼びます。6ページの**図4**は、2つのピコネットから構成されるスキヤッタネットを示します。どちらのピコネットにも属しないユニットは、スタンバイ・モードになっています。

Bluetoothの帯域はタイムスロットに分割されていて、各スロットが1つのRFホップ周波数に対応します。この時分

割デュプレックス (TDD) 方式では、マスタは偶数番号のタイムスロットで、スレーブは奇数番号のタイムスロットで送信します。ピコネット内部の音声やデータのビットは、パケットで伝送されます。マスタまたはスレーブが送信するパケット長は、1タイムスロット、3タイムスロット、5タイムスロットのいずれかです。6ページの**図5**に示すようにパケットは、アクセス・コード、ヘッダ、ペイロードから構成されます。アクセス・コードは、プリアンブル、同期ワード、オプションのトレーラから構成されます。ヘッダにはピコネット・アドレスとパケット情報が含まれます。ペイロードにはユーザの音声／データ情報が格納されます。パケット構造の詳細については、Specification of the *Bluetooth* System[参考文献2]のPart B “Baseband Specification”を参照してください。

表2. リンク制御および管理機能の概要

機能	説明	注記
ネットワーク接続	マスタ側のリンク・コントローラが接続手順を開始し、スレーブ側のパワー・セーブ・モードを設定。	
リンク・タイプ	リンク・タイプは以下の2つ： • 同期コネクション型 (SCO)。主に音声用。 • 非同期コネクションレス型 (ACL)。主にパケット・データ用。	Bluetoothでは、非同期データ・チャネル、最大3個の同期音声チャネルの同時使用、非同期データと同期音声を同時に伝送するチャネルをサポート。時分割デュプレックスによる全2重動作。
パケット・タイプ	NULL、POLL、FHS：システム・パケット DM1、DM3、DM5：中速度、エラー保護データ・パケット DH1、DH3、DH5：高速度、非保護データ・パケット HV1、HV2、HV3：ディジタル化オーディオ、3レベルのエラー保護 DV：データと音声の混合 AUX1：その他の用途	1、3、5のサフィックスは、データ・バーストの占有タイム・スロットの数。 公称バースト長： DH1 366μs DH3 1622μs DH5 2870μs
エラー訂正	3種類のエラー訂正方式： • 1/3レート・フォワード・エラー訂正 (FEC) コード • 2/3レートFECコード • データ用自動再送要求 (ARQ) 方式	エラー訂正はリンク・マネージャが提供。
認証	チャレンジャーレスポンス・アルゴリズム。 認証は、不使用、単方向、双方向が可能。	認証はリンク・マネージャが提供。
暗号化	秘密鍵長が0、40、または64ビットのストリーム暗号。	
テスト・モード	デバイスをテスト・ループバック・モードに設定して、周波数設定、パワー制御、パケット・タイプなどのテスト・パラメータの制御が可能。	

1.3 Bluetooth RFテスト・スイートの構成

Bluetooth無線は、Bluetoothプロトコル・スタックのレイヤ1です。図6に、さまざまな基本レイヤから成るBluetoothプロトコル・スタック構成を示します。

Bluetooth Special Interest Group (SIG) から"Bluetooth RF Test Suite Structure" というタイトルのリストが提示され、Bluetooth無線レイヤを認証するために実行するテストが定義されました。表3に、テストの一覧と、テストの目的を表す識別子を示します。

図4. ネットワーク・トポロジー

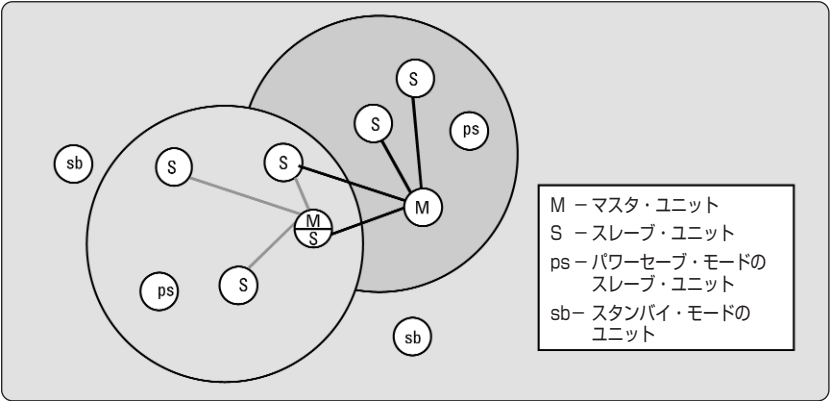


図5. 一般的なBluetoothパケット・フォーマット

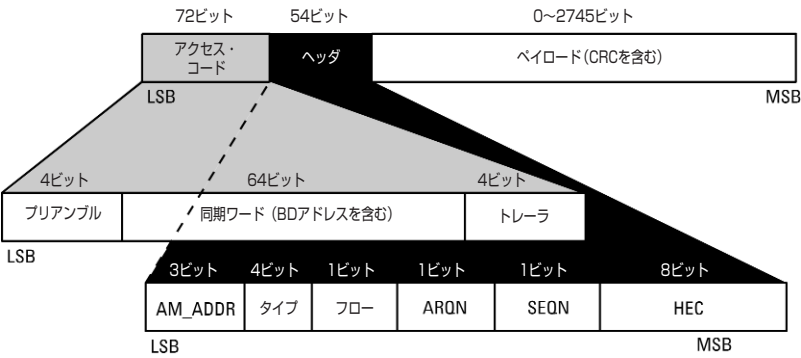


図6. Bluetoothプロトコル・スタック (基本レイヤ)

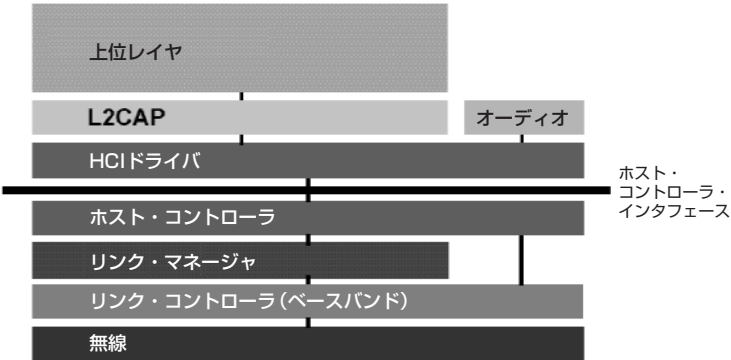


表3. Bluetooth RFテスト・スイートの構成

Bluetooth RFレイヤの認証テスト用テスト・ケース	識別子*
送信機テスト	
出力パワー	TRM/CA/01/C
パワー密度	TRM/CA/02/C
パワー制御	TRM/CA/03/C
TX出力スペクトラム：周波数レンジ	TRM/CA/04/C
TX出力スペクトラム：-20dB帯域幅	TRM/CA/05/C
TX出力スペクトラム：隣接チャンネル漏洩電力	TRM/CA/06/C
変調特性	TRM/CA/07/C
初期搬送波周波数の許容値	TRM/CA/08/C
搬送波周波数ドリフト	TRM/CA/09/C
トランシーバ・テスト	
帯域外スプリアス放射	TRC/CA/01/C
受信機テスト	
感度/シングルスロット・パケット	RCV/CA/01/C
感度/マルチスロット・パケット	RCV/CA/02/C
C/I性能	RCV/CA/03/C
ブロッキング性能	RCV/CA/04/C
相互変調性能	RCV/CA/05/C
最大入力レベル	RCV/CA/06/C

* 注記：識別子のフォーマットは(テスト名)/CA/NN/C
TRM=送信機テスト
TRC=トランシーバ・テスト
RCV=受信機テスト
CA=機能テスト(テスト・タイプを定義)
NN=テスト目的番号
C=専用Bluetoothテスト・システムで実行される適合テスト(範囲を定義)

このアプリケーション・ノートの以降のセクションでは、これらの種々のテストと各テストの実行方法について説明します。初期条件、テスト手順、テスト条件、予測結果の詳細情報については、Bluetooth RF Test Specification [参考文献1]を参照してください。この文書は、Bluetooth SIG (Special Interest Group) によって規定され、最終的な方針となります。¹

1. このノートの作成時点で、この文書のリビジョンは0.91 (Test specification RF Specification 1.1-2001年7月2日)です。これ以降は、Bluetooth SIG Webサイトの "TEST SPECIFICATION ERRATA" にこの文書の正誤表が記載されます。最新のテスト要件は、正誤表を参照してください。

2. 送信機測定

このセクションでは、*Bluetooth*送信機テストとテスト方法のフレームワークを説明します。

ここでは、*Bluetooth*コンポーネントおよびシステムに対して実行可能な測定について説明します。

また、例とサポート情報も提供します。

2.1 テスト条件とセットアップ

2.1.1 テスト条件

表4に、送信機テストを実行するために必要な条件をまとめた一覧を示します。

ペイロード・データ

テスト・ケースに応じて、3種類の異なるペイロード・データが必要です。PRBS9、10101010、11110000の3つです。これらのパターンはそれぞれ異なるストレス機構を持っており、測定に合わせて選択されます。PRBS9は周期2⁹-1の疑似ランダム・ビット・シーケ

ンスで、ライブ・トラフィックをシミュレートすることを目的としており、実際の信号に近いスペクトル分布を持つ変調信号を生成します。10101010のパターンは、変調フィルタ用の追加テストに用いられます。このパターンは送信機出力のスペクトル形状を変化させます。11110000のパターンは、ガウシアン・フィルタのチェックに用いられます。4個の1と4個の0が続いた後、出力は完全なセトリング状態に達するはずですが、また、さまざまなパターンを使用することによって、IQ変調方式での問題を特定することができます。理想的なガウシアン・フィルタでは、10101010信号のピーク周波数偏移と11110000信号のピーク周波数偏移間の比が88%になります。*Bluetooth*無線仕様では、80%より高い値が必要です。

周波数ホッピング

*Bluetooth*信号はTDDバーストのシーケンスなので、適切にトリガする必要があります。信号を捕捉できるように、エンベロープの立上がりエッジでトリガします。*Bluetooth*システムは周波数ホッピングを使用するため、信号解析が複雑になります。*Bluetooth*デバイスの機能をテストするにはホッピングが必要ですが、パラメトリック・テストの場合は必須ではありません。変数の数を減らし、個々の性能特性を明確にするため、いくつかのテストではホッピングがオフにされます。また、送受信チャネルをバンド端に設定し、被試験デバイスのVCOで周波数を切り替える方法もあります。どちらの方法もテスト要件を満たすように調整されており、*Bluetooth* RF Specificationに記述されています。

テスト・モード

*Bluetooth*デバイスは、次に示すさまざまなモードで実行可能です。

- ノーマル・モード
- 送信機 (TX) テスト・モード
- ループバック・テスト・モード

「ノーマル・モード」は、標準的な*Bluetooth*通信に使用されます。たとえば、テストがマスタとして動作し、*Bluetooth*デバイスがスレーブとして動作する場合、ノーマル・モードでテストがPOLLパケットを送信すると、デバイスはNULLパケットを送り返すことによってPOLLパケットの受信を確認します。POLLパケットとNULLパケットの説明は、Specification of the *Bluetooth* System[参考文献2]のPart B “Baseband Specification”を参照してください。

テスト・モードでは、*Bluetooth*デバイスが特別な状態で動作します。ループバック・テスト・モードの場合、*Bluetooth*デバイス (スレーブ) は、テスト (マスタ) から送信されたパケットをデコードして、同じパケット・タイプでペイロードを送り返すことが要求されます。一方、送信機テスト・モードでは、*Bluetooth*デバイスに要求され

表4. 送信機テスト条件

	周波数 ホッピング	テスト・ モード	パケット・ タイプ	ペイロード・ データ	測定帯域幅
出力パワー	オン	ループバック ¹	DH5 ²	PRBS 9	3MHz RBW 3MHz VBW
パワー密度	オン	ループバック ¹	DH5 ²	PRBS 9	100kHz RBW 100kHz VBW
パワー制御	オフ	ループバック ¹	DH1	PRBS 9	3MHz RBW 3MHz VBW
TX出力スペクトラム：周波数レンジ	オフ	ループバック ¹	DH5 ^{2,3}	PRBS 9	100kHz RBW 300kHz VBW
TX出力スペクトラム：-20dB帯域幅	オフ	ループバック ¹	DH5 ^{2,3}	PRBS 9	10kHz RBW 30kHz VBW
TX出力スペクトラム：隣接 チャネル漏洩電力	オフ	ループバック ¹	DH1	PRBS 9	100kHz RBW 300kHz VBW
変調特性	オフ	ループバック ¹	DH5 ²	11110000 10101010	— —
初期搬送波周波数の許容値	オフ	ループバック ¹	DH1	PRBS 9	—
搬送波周波数ドリフト	オン オフ	ループバック ¹	DH1 DH3 DH5 ²	10101010	—

- ループバックを使用できない場合は、TX (送信モード) を使用できます。
- DH5がサポートされていない場合は、サポートされている最大パケット (サポートされている最大のペイロード長) を使用してください。
- 最初のテスト仕様ではDH1パケットで測定を実行する必要がありましたが、実際のDUTでの測定で、このパケット・タイプがテスト結果に影響を及ぼすことが判明したため、現在は、サポートされている最長のパケット・タイプでこの測定を実行する必要があります ([参考文献1]を参照)。

るのは、テスト（マスタ）から送信されたPOLLパケットの特定の指示に従ってパケット・タイプを送信することのみです。図7に、ループバックおよび送信機テスト・モードについて説明します。

デバイスの送信および受信性能のテストを容易に行うには、Bluetoothデバイスにテスト・モードを実装する必要があります。デバイスをテスト・モードに設定することによって、周波数選択、TX周波数、パケット・タイプとパケット長、ビット・パターン、ポーリング周期、パワーレベルなど、さまざまな送信および受信パラメータを制御できます。

注記：テスト（マスタ）からデバイス（スレーブ）をテスト・モードに設定できるようにするには、テスト・モードへの移行をデバイスに準備させるための特殊なコマンド（LMPコマンド）をホスト・デバイスから送信する必要があります。これが、以降のセクションで説明する種々のセットアップにDUTコントローラが含まれる理由の1つです。この制御は、RF接続で送信されるプロトコルまたはデバイスの直接デジタル制御のいずれかによって実現されます。

テスト・モードおよびそのアクティブ化の詳細については、Specification of the Bluetooth System[参考文献2]のPart I：1，“Bluetooth Test Mode”を参照してください。

2.1.2 テスト・セットアップ

Bluetooth送信機テストに使用するセットアップは、テスト対象がBluetoothデバイスのフル機能か、RF送信機のみか、または送信機のRFコンポーネントのみかによって異なります。フル機能のBluetoothデバイスの送信性能をテストする場合は、Agilent E1852BなどのBluetoothテスト・セットを使用する方法があります。テスト・セットとDUTによって、テストがマスタとして、DUTがスレーブとして動作するピコネットが形成されます。テスト・セットは、標準Bluetoothプロトコルにより、デバイスとのリンク（ページング接続）をノーマル・モードまたはテスト・モードで確立します。テスト・モードでデバイスと接続すると、テスト・セットからDUTの動作を完全に制御できます。たとえば、テスト・セットから、デバイスをループバック・モードまたはTXモードに設定したり、周波数ホッピングをオフにしたり、Bluetooth RF Test Specificationに規定された特定の周波数でデバイスに送信させたりすることが可能です。

図8に、Agilent E1852B Bluetoothテスト・セットを使用した基本的なセットアップを示します。

その他の3種類の送信機測定セットアップについては、9ページの図9に示します。セットアップ1は、フル機能Bluetoothモジュールの送信性能をテストするセットアップ例で、セットアップ2は、Bluetooth送信機のためのテストに使用されます。セットアップ3は、送信機のRFコンポーネントのテスト

図7. ループバックおよび送信機テスト・モード

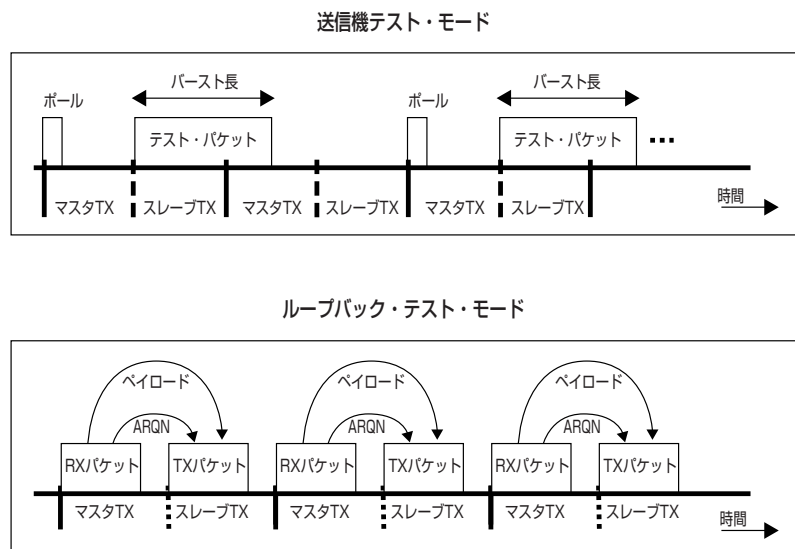
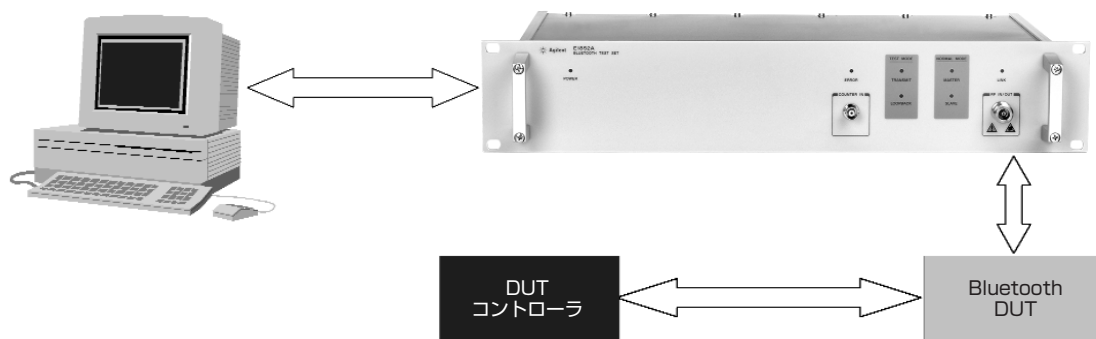


図8. フル機能のBluetoothデバイスの送信機性能をテストするセットアップ例。Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットがマスタとして動作し、Bluetooth DUTがスレーブとして動作します。



用です。セットアップ1は、図8のセットアップと異なり、デバイスとテスト機器との間でBluetooth通信が確立されていないため、テスト機器からDUT動作を制御できません。このセットアップの場合、特別な内部「テスト機能」ユーティリティをデバイスに実装する必要があります。ユーティリティには、デバイスに受信パケットを送信させる機能が必要です。この機能によって、デジタル信号発生器からのBluetooth信号をデバイスの受信機に送信し、解析するために送信機経由でループバックすることができますようになります。セットアップ2の場合、ユーティリティに必要なのは、Bluetooth送信機のテスト条件（7ページの表4）を適切に実行するために、送信タイプ（周波数ホッピングのオン／オフ、複数のパケット・タイプなど）を制御する機能です。セットアップ3は、たとえば、Bluetooth送信機の増幅器のテストやその他の種々のテストを行うために使用されます。これら3種類のセットアップでは、スペクトラム・アナライザやベクトル・シグナル・アナライザなどのシグナル・アナライザを使用する必要があります。また、信号発生器に加えて、パワー・メータ、電源、オシロスコープ、ネットワーク・アナライザなどの機器が必要になる場合があります。

Bluetoothデバイスと測定機器を直接ケーブルで接続できない場合は、アンテナなどの適切なカップリング・デバイスが必要になります。この場合、アンテナ間の経路損失を計算する必要があります。これは、ネットワーク・アナライザによって評価可能です。

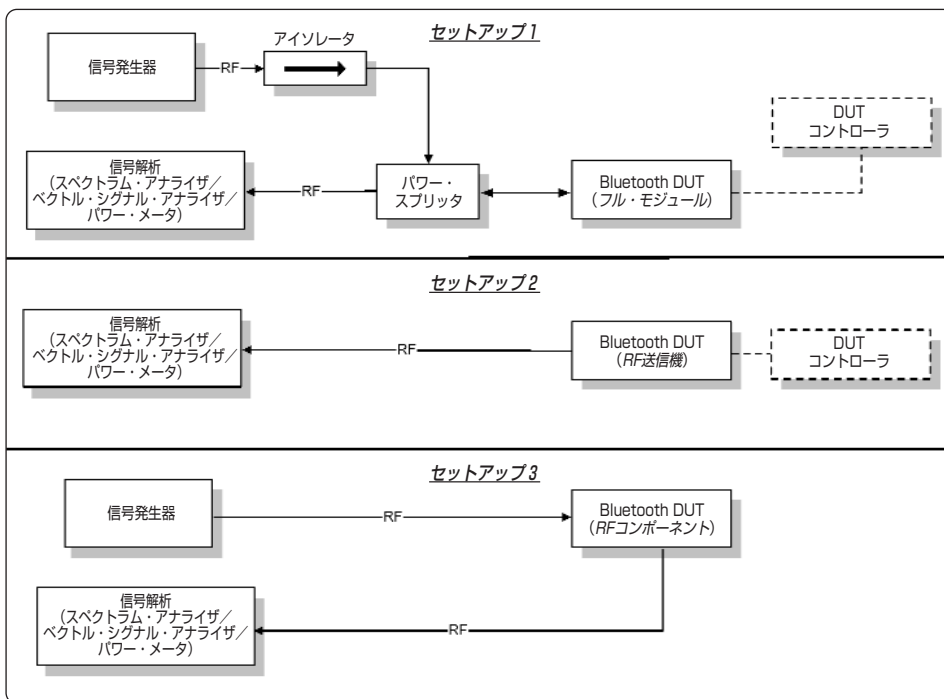
図9.

その他の3種類の送信機測定のセットアップ例：

セットアップ1：フル機能のBluetoothデバイスの送信性能をテストするセットアップ

セットアップ2：Bluetooth送信機全体の性能をテストするセットアップ

セットアップ3：Bluetooth送信機のRFコンポーネントの性能をテストするセットアップ



2.2 パワー・テスト

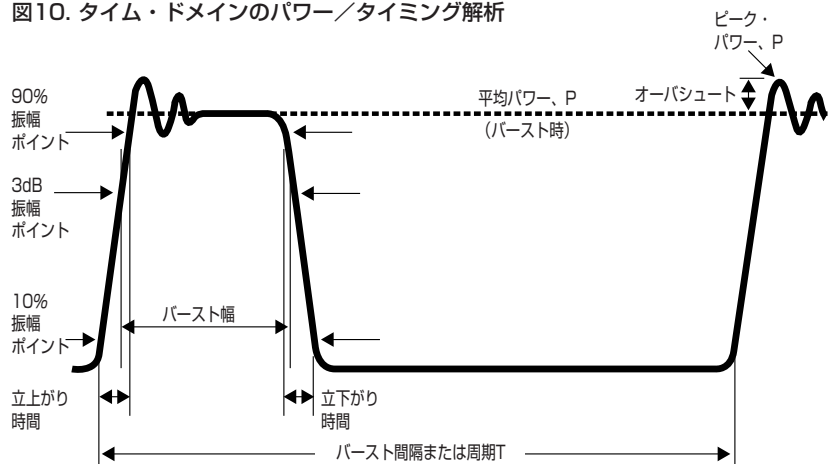
RF送信機パワー測定には、出力パワー（バースト時の平均パワーおよび最大ピーク・パワー）、パワー密度、およびパワー制御があります。パワー・レベルは、デジタル通信システムにおいて重要なパラメータです。これらのテストによって、パワー・レベルがリンクを確保するのに十分大きく、また、ISMバンド内の干渉を最小限に抑え、バッテリー寿命をできるだけ延長するように小さくなっていることを確認できます。

2.2.1 出力パワー

出力パワー測定は、タイム・ドメインで行われます。Bluetooth信号は、TDDバーストのシーケンスであるため、適切にトリガをかける必要があります。信号を捕捉するには、エンベロープの立上がりエッジでトリガを実行します。

図10に、信号バーストのパワーおよびタイミング特性をタイム・ドメインで示したものです。

図10. タイム・ドメインのパワー／タイミング解析



平均パワーおよびピーク・パワーの測定は、Bluetoothテスト・セット、パワー・メータ、スペクトラム・アナライザ、またはベクトル・シグナル・アナライザのいずれかで実行できます。いずれのテストでも、バースト時の最大パワー値が記録され、バースト持続時間の20～80%の平均パワーが計算されます。

バースト持続時間（バースト幅）とは、平均パワーを基準とした立上がり3dBポイントと立下り3dBポイント間の時間です。

図11aに、Bluetoothテスト・セットで実行された出力パワー測定を示します。Bluetoothデバイスは、この出力パワー送信機テスト用のBluetooth RF Test Specificationで必要とされている初期条件に設定されています。つまり、テスト・モードに設定され、周波数ホッピングがオンで、最長ペイロード(339)のDH5パケットが送信されるようになっています。このデバイスは、パワー・クラス1・デバイス ($P_{av} < 20\text{dBm}$ 、 $P_{pk} < 23\text{dBm}$)です。

- 掃引型スペクトラム・アナライザを使用して、スパンを0に設定すると、信号のエンベロープをタイ

ム・ドメインで表示できます。外部トリガを使うと、バースト・モード信号を捕捉することもできます。表示される周期の数は、掃引時間で制御されます。ピーク・ディテクタ・モードを使用すると、トレースを最大値ホールドに設定可能で、ピーク・サーチ機能を使用すると、ピーク・パワー・レベルを測定できます。また、バーストの平均パワーもトレース・データの解析により求められます。テストは、すべての周波数チャネルで繰り返されます。図11bに、掃引型スペクトラム・アナライザの平均パワーおよびピーク・パワー測定画面を示します。

- ベクトル・シグナル・アナライザにはトリガ遅延機能があり、トリガ・ポイント以前のバーストを表

示できます。さらに、ベクトル・シグナル・アナライザには、平均パワーを自動的に求める平均パワー測定機能もあります。図11cに、ベクトル・シグナル・アナライザの平均パワー測定画面を示します。掃引時間とトリガ遅延を調整することにより、立上がりエッジと立下りエッジを避けて、バーストの平均パワーを測定できます。

- パワー・メータを使用すると、同様の出力パワー測定を低コストで実行できます。Agilentパワー・メータには、あらかじめ定義されたBluetoothセットアップが不揮発性メモリに記録されており、ゲート・セットアップおよび制御機能によって、Bluetooth信号を詳しく解析できます。11ページの図11dは、パワー・トレースのパワー・メータ画面で、下部にバーストの詳細な解析が表示されています。

図11a.

Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットの出力パワー測定画面(デバイス・セットアップ：テスト・モード、周波数ホッピングがオン、DH5パケット、最大ペイロード長、PRBS9のペイロード)

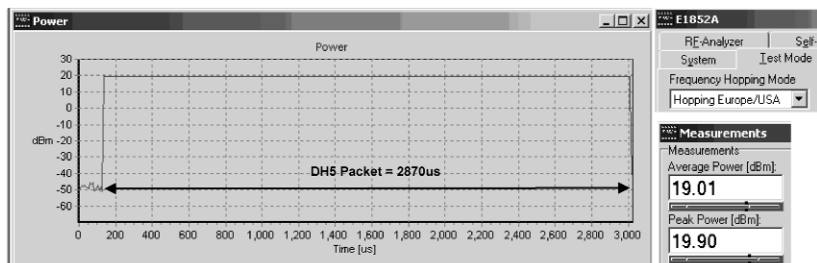


図11b.

Bluetoothパーソナリティによるピーク・パワーおよび平均パワー測定を表示するAgilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザ画面 (CF=2.405GHz、掃引時間680μs、IF ch3でトリガ)

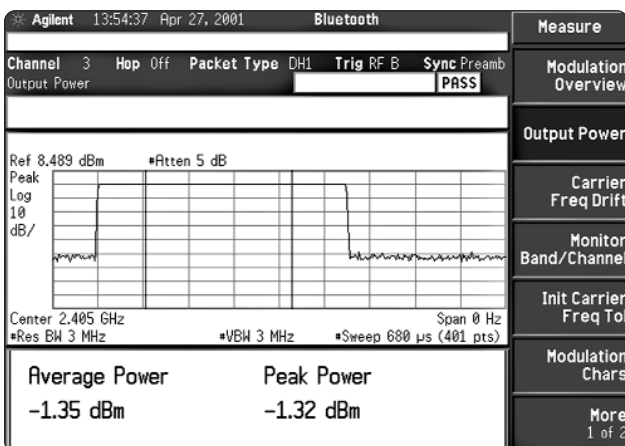


図11c.

Agilent 89600の平均パワーおよびピーク・パワー測定画面 (CF=2.402GHz、1dB/div、掃引時間380μs、IF ch1でトリガ、遅延=10μs)

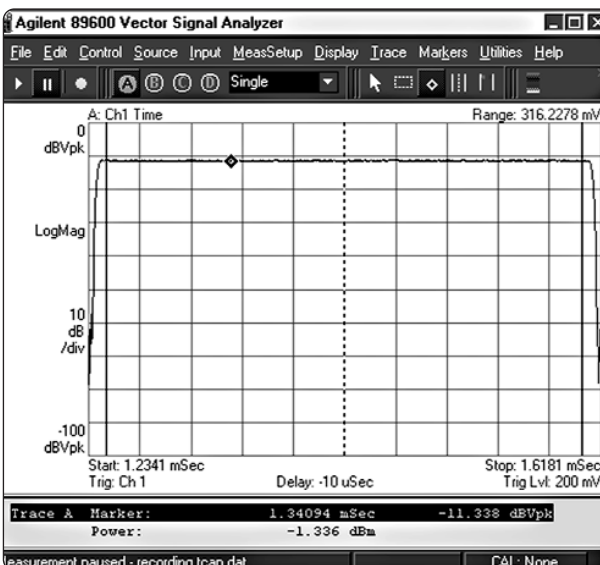
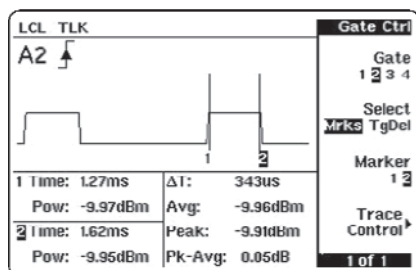


図11d.

選択したゲートに対する、パワー・トレース、デルタ時間、デルタ平均、デルタ・ピーク、デルタ・ピークとデルタ平均の比を表示する Agilent EPM-Pシリーズ・パワー・メータ画面 (Bluetoothセットアップによってゲート2が事前に設定されている)



2.2.2 パワー密度

パワー密度測定では、100kHz帯域幅でのピーク・パワー密度を求めます。最初にシグナル・アナライザで周波数ドメインの測定を行います、*Bluetooth* 周波数帯域の中央に中心周波数をお

き、帯域全体を表示するのに十分なスパンを使用します。分解能帯域幅は100kHzに設定します。最大値ホールド／ピーク検出モードにして、1分間のシングル掃引を実行します。トレースのピーク値が見つかったら、その周波数がアナライザの新しい中心周波数になります。図12a¹は測定のこの部分を示し、ピーク・パワー・ポイントが示されています。

測定の次の段階では、アナライザをタイム・ドメインに変更して、1分間のシングル掃引を実行します。図12bを参照してください。パワー密度はトレースの平均として計算されます。この計算は、トレース・データを解析して結果を平均することにより、スペクトラム・アナライザで実行できます。ベクトル・シグナル・アナライザには、トレースの平均パワーを求めるユーティリティが用意されています。

2.2.3 パワー制御

パワー制御テストは、レベル制御回路に対してテストや校正を実行するためのものです。パワー制御テストは、パワー制御をサポートするデバイスに対してのみ必要です。パワー制御の方法は、平均パワー測定と同様ですが、3つの離散周波数チャンネル (最小、中間、最大の動作周波数) が対象となります。パワー制御テストでは、パワー・レベルとパワー制御ステップ・サイズを検証し、仕様範囲内であることを確認します。Agilent E1852B *Bluetooth* テスト・セットの場合、リンクが確立されていれば、DUTのパワー・レベルを調整できます。

パワー制御に関しては、*Bluetooth* モジュールには正しく動作するRSSIディテクタが必要で、シグナリングではアプソリュートではなくインクリメンタル・コマンドが使用される点に注意してください。

図12a.

Agilent ESA-Eのパワー密度測定画面 (CF=2441MHz、スパン=240MHz、RBW=100kHz、VBW=100kHz、ピーク・ディテクタ、トリガ・フリーラン、最大値ホールドのトレース、掃引時間=72ms、連続掃引)

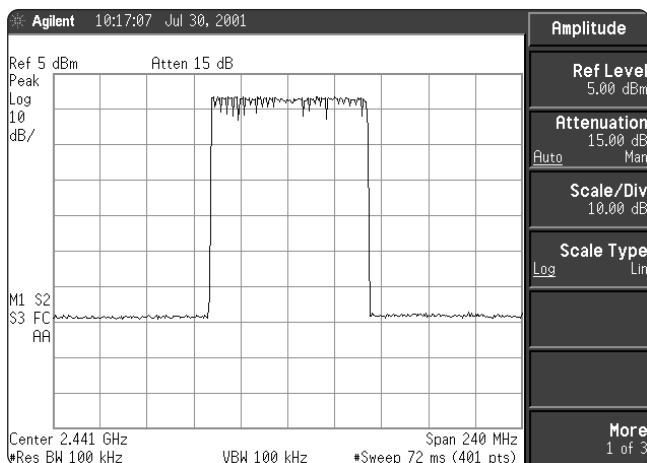
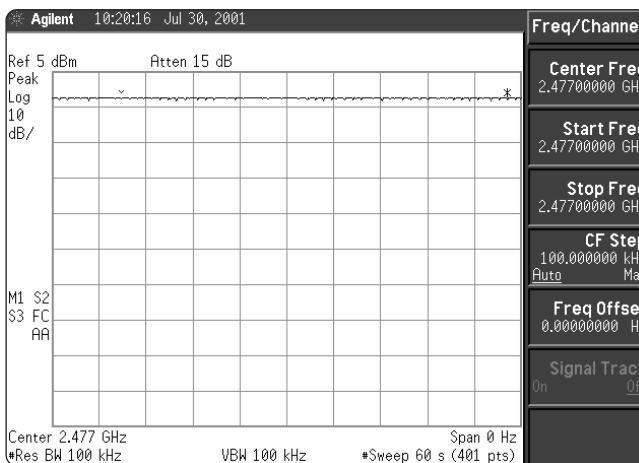


図12b.

ゼロ・スパンでのAgilent ESA-Eのパワー密度測定画面 (CF=2477MHz、スパン=0Hz、RBW=100kHz、VBW=100kHz、ピーク・ディテクタ、トリガ・フリーラン、最大値ホールドのトレース、掃引時間=60s、連続掃引)



1. ここでは、高速周波数ホッピングが使用できない場合に用いられる、仕様化された手順を変形したものを示します。1分間のシングル掃引の代わりに、スペクトラム・アナライザの最大値ホールドを利用して、高速掃引により低速ホッピング周波数 (ホップ・レート>>掃引時間) の信号を捕捉します。

2.3 送信出力スペクトラム

送信出力スペクトラム測定では、パワー・レベルを周波数ドメインで解析することにより、チャンネル外放射が最小であることを確認します。これにより、システム全体の干渉が減少し、規制適合が保証されます。測定により、デバイスの出力パワー・スペクトラムが定義済みマスクと比較されます。このマスクの特性を表5に示します。

表5.
スペクトラム・マスク要件の概要

周波数オフセット	送信パワー
M±[550–1450kHz]	–20dBc
M–N =2	–20dBm
M–N ≥3	–40dBm

注記：Mは送信チャンネルのチャンネル番号（整数）、Nは測定対象の隣接チャンネルのチャンネル番号（整数）です。

7ページの表4にまとめられているように、Bluetoothの仕様では、テストが次の3つの部分に分類されます。

1. 周波数レンジ
2. –20dB帯域幅
3. 隣接チャンネル漏洩電力

1と2のテストではピーク検波が使用され、隣接チャンネル漏洩電力では平均検波が使用されます。2と3のテストでは、最大値ホールド・モードが使用され、周波数レンジでは平均モードが使用されます。

2.3.1 周波数レンジ

周波数レンジのテストでは、搬送波を上側のチャンネルと下側のチャンネルに設定します。最大RFレベルを捕捉するのに十分な長さをサンプリングすることによって、パワー密度を検査します。

信号は、2400MHz（フランスでは2446.5MHz）および2483.5MHzで、–80dBm/Hz EIRP未満でなくてはなりません。

2.3.2 –20dB帯域幅

狭い測定フィルタを使用して、–20dB帯域幅テストを最小、中間、最大の周波数チャンネルで実行します。2MHzスパンを使用すると、ピークRFレベルが記録されます。レベルが20dB下がった、上側と下側の周波数ポイントは、1MHz以内に収まる必要があります。図13aに、観測対象の波形タイプを示します。出力スペクトラムを表示すると、スペクトル表示にひずみが見られる場合があります。これは、ヘッダなど、ホワイトでないバースト部分があるためです。

注記：最初のテスト仕様では、シグナル・アナライザの掃引時間を“Auto”（掃引時間がシグナル・アナライザの種類とメーカーによって決まる）に設定するように規定されています。

した。ところが、掃引時間が短すぎる（バーストされた信号により1秒未満になることがある）ため、測定されたスペクトラムにギャップが発生し、正しい値が表示されませんでした。この理由から、Bluetooth SIGは、1秒以上の掃引時間を測定に使用することを規定しました。

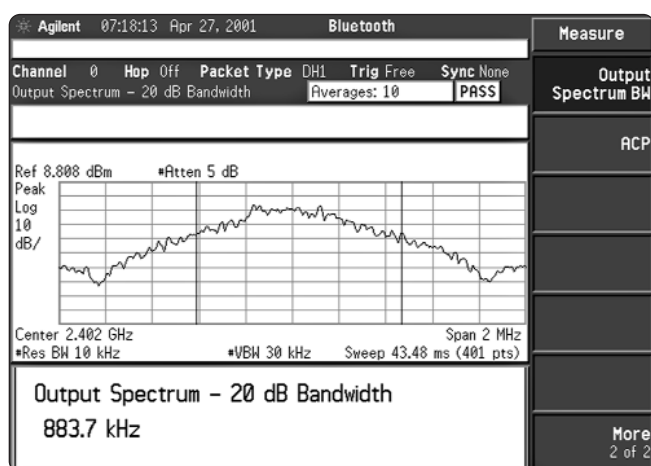
2.3.3 隣接チャンネル漏洩電力

隣接チャンネル漏洩電力（ACP）テストは、3種類の測定のなかで最も複雑です。テスト送信は、中間のチャンネルと上側と下側のバンド・リミットの3MHz内側（例：チャンネル3と75）に対して行われます。RFチャンネル0から開始して、–450kHz～+450kHzの搬送波からのオフセットで10レベルの測定が実行され、結果が累計されます。測定チャンネルは、1MHzずつ増加し、バンドの最上部に到達するまで処理が繰り返されます。表5に示すように、チャンネルMで送信しているDUTとチャンネルNで測定される隣接漏洩電力について、次の条件に適合しているかどうかを検証する必要があります。

$P_{TX}(f) \leq -20\text{dBm}$ 、 $|M-N|=2$ に対して
 $P_{TX}(f) \leq -40\text{dBm}$ 、 $|M-N| \geq 3$ に対して

図13a.

Bluetooth無線技術の測定パーソナリティを備えるAgilent ESA-Eによる–20dB出力スペクトラム帯域幅測定（CF=2.402GHz、スパン=2MHz、RBW=10kHz、VBW=30kHz、掃引時間¹ 43.48ms（401pt）、測定パーソナリティによりマーカが–20dBポイントに自動設定）



1. 掃引時間の新しい要件（1秒以上）は、Agilent ESA-Eスペクトラム・アナライザのBluetooth測定パーソナリティの次期リリースで実装されます。次期パーソナリティでは、掃引時間を柔軟に設定できるようになり、“Auto”に設定したり、測定時間を減らす必要がある場合にユーザ・インタフェースで掃引時間を減らすこともできます。

Agilent ESA-Eスペクトラム・アナライザは、独自のアルゴリズムを使用して、ACP測定ソリューションをボタン操作1つで実行することができます。ボタン操作により、複雑なACP測定が容易になるため、プリコンプライアンス・テストの理想的なツールとして使用できます。

図13bに、チャンネル3 (M=3) に対して行ったACP測定を示します。条件 $P_{TX}(f) \leq -20\text{dBm}$ がチャンネル1および5 (N=1,5) に対して検証され、条件 $P_{TX}(f) \leq -40\text{dBm}$ が残りのチャンネル (N=0,6,7,...78) に対して検証されています。このテストの動作検証は、“PASS” というフラグによって確認されます。

2.4 変調テスト

Bluetoothの変調測定は、変調特性、初期搬送波周波数の許容値 (ICFT)、搬送波周波数のドリフトで構成されます。変調測定には、変調回路の性能のほかに、局部発振器の安定度が反映されます。変調器とVCOは、両方とも、電源のデジタル・ノイズや送信パワー・

バーストの影響を受けます。無線機のデザインには、電源による周波数引き込みを防止するための注意が必要です。変調特性の検証では、各ビットの周波数を測定できるように、Bluetooth信号を復調する機能が必要になります。

2.4.1 変調特性

変調特性テストは、周波数偏移の測定です。変調特性の場合、ペイロードで2種類の8ビット繰り返しシーケンス (00001111と01010101) が使用されます。2つのシーケンスを組み合わせることによって、変調器性能と変調前フィルタリングの両方が検査されます。さまざまなパターンによるストレス機構の詳細については、このセクション (7ページ「送信機測定」) の初めに記載されています。

変調特性のテスト手順

このテスト手順では、サポートされている最長パケット (サポートされている最長のペイロード長) を使用して、最小、中間、最大の動作周波数で測定を実行する必要があります。これらの3つの周波数の測定は、それぞれ、次に示す手順が00001111ペイロード・シー

ケンスに対して実行され、01010101ペイロード・シーケンスに対して繰り返されます。

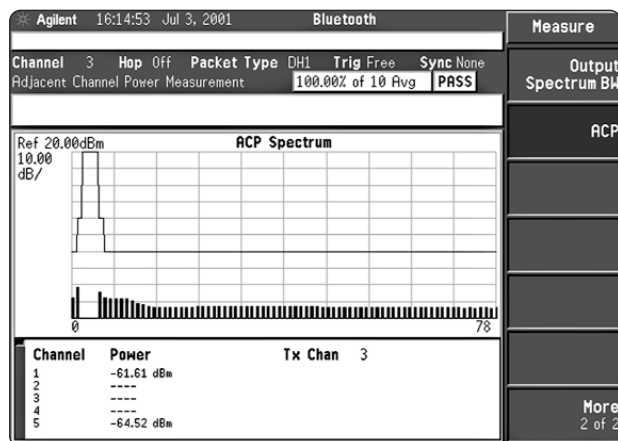
ペイロード内の各8ビット・シーケンスの周波数が測定され、アベレーシングされます。次に、これらのビットの平均からの最大偏移が、パターン00001111の場合は $\Delta F_{1\max}$ として、パターン01010101の場合は $\Delta F_{2\max}$ として記録されます。最後に、最大偏移値の平均が計算され、パターン00001111の場合は $\Delta F_{1\text{avg}}$ として、パターン01010101の場合は $\Delta F_{2\text{avg}}$ として記録されます。結果には、最大偏移と最大偏移の平均の両方が使用されます。この手順が10パケット以上の周期にわたって実行されます。

次の測定条件を検証することによって、変調特性の妥当性が保証されます。

1. $140\text{kHz} \leq f_{1\text{avg}} \leq 175\text{kHz}$
2. $\Delta f_{2\max} \geq 115\text{kHz}$
3. $\Delta f_{2\text{avg}} / \Delta f_{1\text{avg}} \geq 0.8$

Agilent E1852B Bluetoothテスト・セットには、このテストを自動で行う機能が備えられています。変調特性測定の例を14ページの図14aに示します。上部に表示されているのは、ペイロード・シーケンス11110000の変調グラフと、 $\Delta F_{1\max}$ (角のある四角形の中) および $\Delta F_{1\text{avg}}$ (角のない四角形の中) の計算値です。下部には、シーケンス10101010に対する同様の結果が表示されています。このテストの妥当性は、測定ウィンドウの計算値の下に引かれた緑色の線によって確認します。

図13b.



チャンネル3のACP測定を表示するAgilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザ。上部ウィンドウにACPスペクトラム (パワー対チャンネルを測定) が表示され、下部ウィンドウにACP数値をまとめた表が示されています。下部ウィンドウは、チャンネルの一覧をすべて表示できるように広げることが可能です。

同様に、Agilent ESA-Eスペクトラム・アナライザのBluetooth測定パーソナリティを使用することによって、数回のキー操作でこの測定を実行できます。10101010[F2]ペイロードを入力すると、最大偏移 $\Delta F2_{\max}$ と最大偏移の平均 $\Delta F2_{\text{avg}}$ が画面に表示されます。

この結果を記録してから、11110000パターンのバーストをアナライザに入力することもできます。新規の11110000[F1]ペイロード・シーケンスに対して、測定処理を繰り返すと、 $\Delta F1_{\max}$ と $\Delta F1_{\text{avg}}$ が計算され表示されます。次に、記録された $\Delta F2_{\text{avg}}$ を使用して、比 $\Delta F2_{\text{avg}}/\Delta F1_{\text{avg}}$ を算出します。この比率が80%未満の場合、“FAIL”フラグが表示されます。

図14bに、この変調特性測定を実行しているAgilent ESA-Eスペクトラム・アナライザの画面を示します。ESA-Eは、11110000パターンを測定し、それを10101010パターン（以前に“Hold result”メニューで記録されている）と比較しています。

図14a.

Agilent E1852A Bluetoothテスト・セット1による変調特性測定。セットアップ：テスト・モード（送信モード）、周波数ホッピングはオフ、チャンネル0、DH5パケット、最大ペイロード長（339）、ペイロード・パターン（上部が00001111、下部が10101010）。Bluetooth DUTとの接続を切断せずにペイロードの種類を変更することも可能です。

1. Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットの新リリースでは、 $\Delta f2_{\text{avg}}/\Delta f1_{\text{avg}}$ の自動計算がサポートされます。

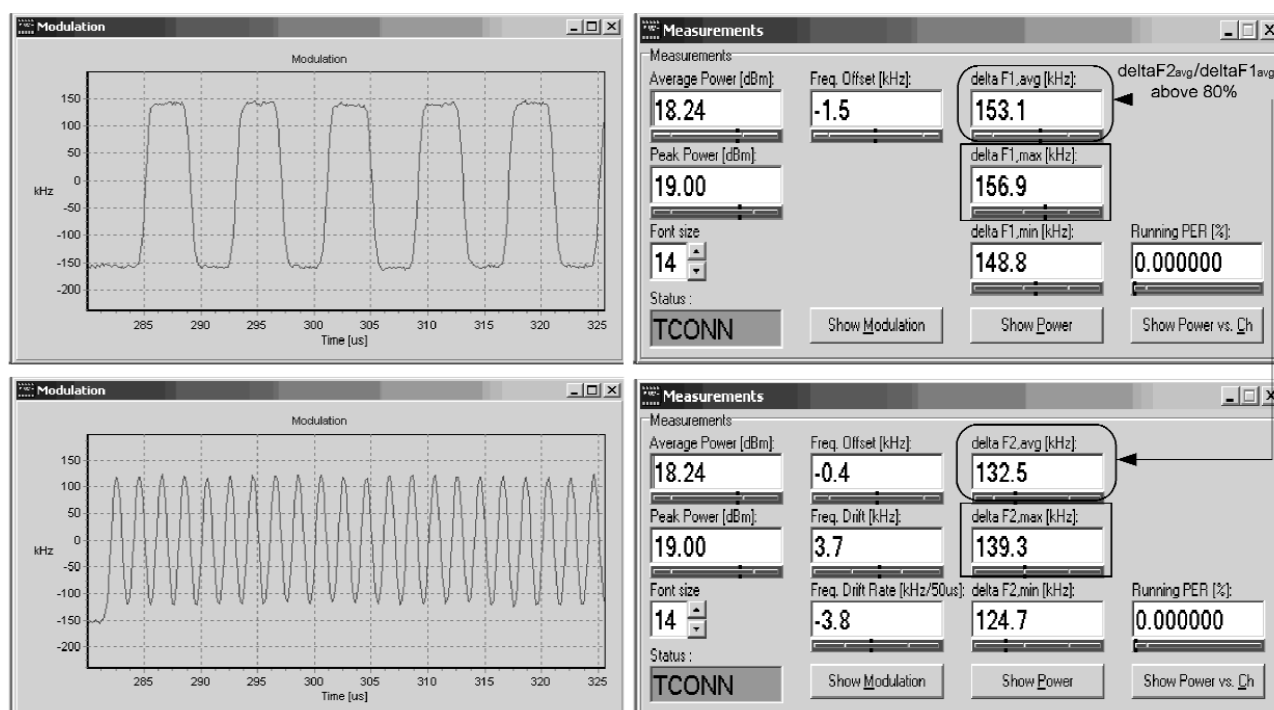
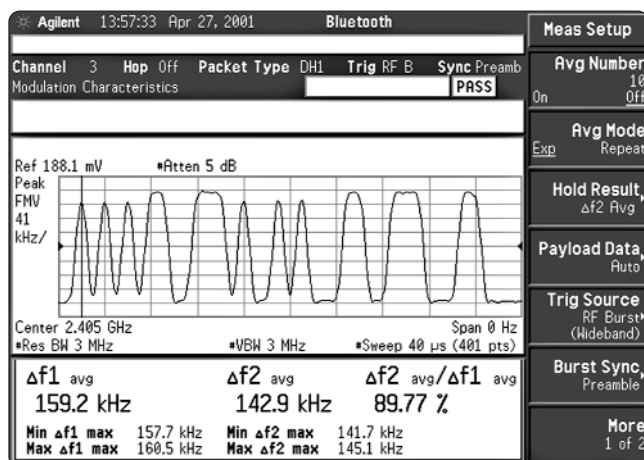


図14b.

Agilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザの変調特性測定画面（バーストの最初の16ビットを表示、100nsサンプリング・レート、アナライザによりp0ビットでトリガ）



2.4.2 変調品質

ベクトル・シグナル・アナライザには、変調品質測定に関する豊富な機能があり、種々の信号に関する問題を検出し、定量化し、原因を突き止めるのに役立ちます。例えば、送信機の干渉による相互変調、電源ノイズによる変調、アンテナ不整合によるパワー安定度などがあります。FSK誤差、振幅誤差、アイ・ダイアグラムなどの変調品質測定は、*Bluetooth RF Test Specifications*には直接記載されていませんが、トラブルシューティングには非常に役立ちます。図15に示すのは、周波数ドリフトが存在する場合の*Bluetooth*信号の復調測定を4画面表示したものです。周波数ドリフトは左下の画面を見ればすぐにわかります。

2.4.3 初期搬送周波数の許容値

初期搬送波周波数許容値テスト(周波数オフセット・テストとも呼ばれる)は、送信機の搬送波周波数の確度を検証するものです。プリアンブルとPRBSのパayloadとからなる標準的なDH1パケットが用いられます。パケットの最初の4ビット(プリアンブル・ビット)を解析することで、中心周波数からの周波数偏移の大きさを求めます。この測定では、各シンボルの周波数偏移を測定するために、信号を復調する必要があります。復調後、各プリアンブル・ビットの周波数オフセットが測定され、アベレージングされます。

図16aに、最初の8ビットが表示された測定例を示します。このうちの最初の4ビットは、“1010”プリアンブルです。周波数ホッピングはオフになっています。テスト仕様では、この測定をホッピング・オンとホッピング・オフの両方で実行することが規定されています。いずれの場合も、ベクトル・シグナル・アナライザは1つの周波数チャンネルに設定されますが、ホッピングがオンの場合、送信機が別の周波数へすばやくジャンプするために、スルーの効果が大きくなります。搬送波周波数がセトリングするときに、初期搬送波周波数オフセットでスルーが見られます。ホッピングによるストレスの増加によって、増幅器の応答に関する問題を確認できます。

図15.

Agilent 89600の復調品質テスト画面

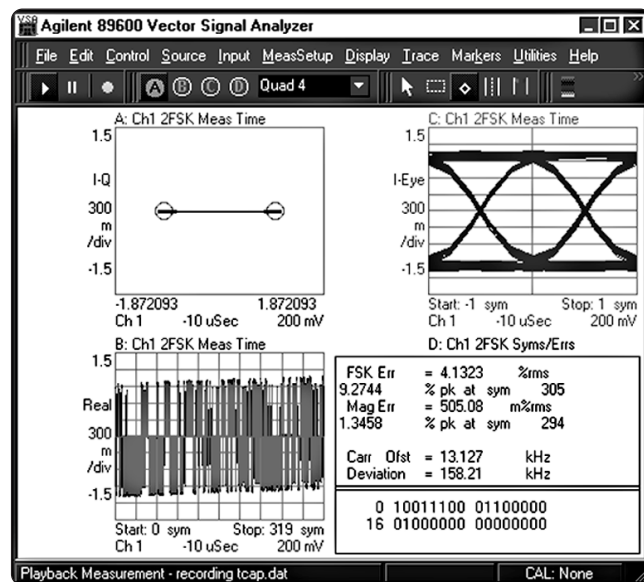


図16a.

Agilent ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザの482.7Hzオフセット変調特性測定画面(バーストの最初の16ビットを表示、100nsサンプリング・レート、アナライザによりp0ビットでトリガ)

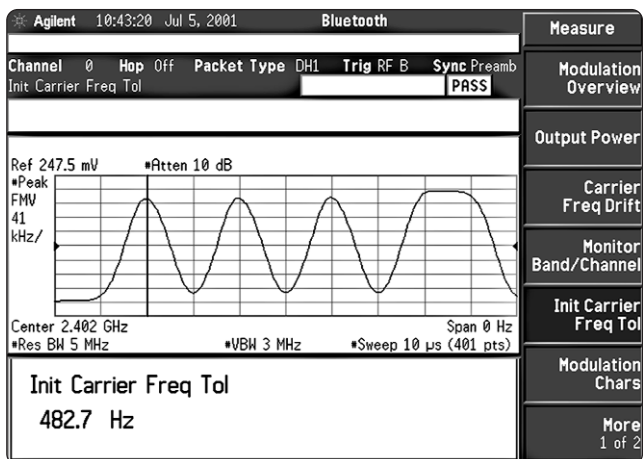


図16bに、Agilent E1852B Bluetoothテスト・セットで周波数ホッピングをオンにして実行したICFT測定を示します。図の下部にあるウィンドウは、この測定の結果ではありません。信号がホッピングしていることを示す「平均パワー対チャンネル」グラフです。周波数ホッピングをオンにしたときの同様のグラフは、選択チャンネルにパワー・バーのみが表示されます。

Bluetoothテスト・セットとスペクトラム・アナライザは、両方とも同じアルゴリズムを使用し、初期搬送波周波数の許容値を計算します。別の方法でICFTを測定するには、Agilent 89400および89600シリーズ・ベクトル・シグナル・アナライザで復調モードを使用します。この方法は、一般的な方法です。結果長を最小シンボル数(10)に設定すると、アナライザのシンボル・エラー画面に搬送波オフセットが一目でわかるように表示されます。この最小シンボル数は4より大きいので、ノイズによる結果のバラツキが少なくなります。0101パターンが継続することが重要になります。15ページの図15のサマリ表の画面に示す搬送波オフセットの結果は、この初期搬送波オフセット測定の実例です。

2.4.4 搬送周波数ドリフト

搬送波周波数ドリフトのテストでは、パケットによる送信機の中心周波数ドリフトの検証を行います。前述の変調特性と初期搬送波周波数の許容値の2つのテストと同様に、搬送波周波数ドリフトが復調信号として測定されます(周波数対時間)。

ペイロード・データは、1010の4ビット・シーケンスの繰り返しです。測定を実行するためには、プリアンプルの4ビットの絶対周波数が測定され、積分されます。これによって初期搬送波周波数が得られます。次に、ペイロード内の連続する10ビット部分のそれぞれについて、絶対周波数が測定され、積分されます。周波数ドリフトは、プリアンプルの4ビットの平均周波数とペイロード・フィールド内の10ビットの平均周波数との差です。また、最大ドリフト・レートもチェックされ、ペイロード・フィールド内の2つの隣接する10ビット・グループの差として定義されます。この測定は、最小、中間、最大の各動作周波数で、最初にホッピングをオフに、次にホッピングをオンに設定して繰り返されます。さらに、パケット長を1スロット・パケット(DH1)、3スロット・パケット(DH3)、5スロット・パケット(DH5)に変えて、測定されます。

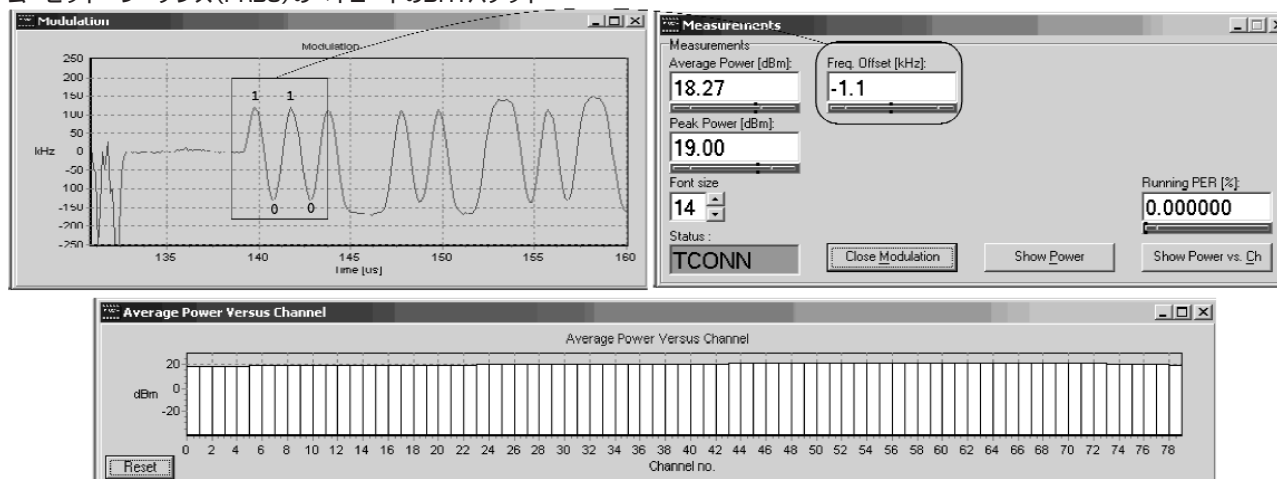
繰り返して行う測定作業は、ソフトウェア制御により簡単になります。17ページの図17aに、ESA-Eシリーズ・スペクトラム・アナライザのBluetooth測定パーソナリティによる搬送波周波数ドリフト測定の例を示します。この図では、101010が繰り返されるペイロード・シーケンスで、30kHzの周波数ドリフトがあるBluetooth信号が表示されています。標準で設定されたリミットを外れているため、自動化ソフトウェアによって、F(不合格)のフラグが付けられています。

前述のように、この搬送波周波数ドリフトのテストは、3種類のパケット(DH1、DH3、DH5)で、周波数ホッピングをオンとオフに設定して、最小、中間、最大の周波数チャンネルに対して行う必要があります。合計すると、必要な測定回数は12回で、測定にかなり時間をとられることになります。これが問題になる場合は、「テスト・シーケンス」ソフトウェアをツールとして使用することができます。

Agilent E1852B Bluetoothテスト・セットには、この「テスト・シーケンス」が付属します。17ページの図17bは、搬送波周波数ドリフトのテストにテスト・シーケンスを使用している画面です。12種類の測定は5秒未満で実行され、さらに、次のBluetoothテスト仕様のリミットに従い、各測定が検証されます。

図16b.

周波数ホッピングがオンになっているICFT測定を示すAgilent E1852A Bluetoothテスト・セット画面。「平均パワー対チャンネル」グラフに、78チャンネルにわたって信号がホッピングしている状態が表示されます。セットアップ: テスト・モード(送信モード)、周波数ホッピングON、擬似ランダム・ビット・シーケンス(PRBS)のペイロードのDH1パケット



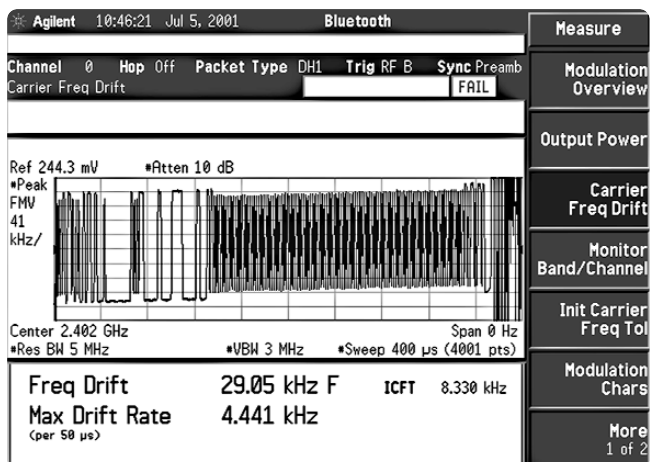


図 17a.

Agilent ESA-Eスペクトラム・アナライザの周波数ドリフト表示画面。8.330kHzの初期搬送波周波数 (ICFT) で、バースト間のドリフトが 29.05kHz、最大ドリフト・レートが 4.441kHzであることを示しています。(CF=2.402GHz、p0ビットでトリガ、Fは最大周波数ドリフトのリミットを越えていることを示す)

送信機の中心周波数は、1スロットの packets の場合、 ± 25 kHz を越えるドリフトは許容されません。また、3~5スロットの packets の場合、 ± 40 kHz を越えるドリフトが許容されません。最大ドリフト・レートは、 ± 20 kHz/50 μ s にする必要があります。

最後の数値の計算は、テスト・シーケンサ・プログラムに含まれていませんが、この計算を要求するコマンドをオリジナルのプログラムに追加することによって簡単に実装できます。コマンドは、Bluetooth テスト・セットの“Communication” ウィンドウで確認することができます。詳細は、図 17c を参照してください。

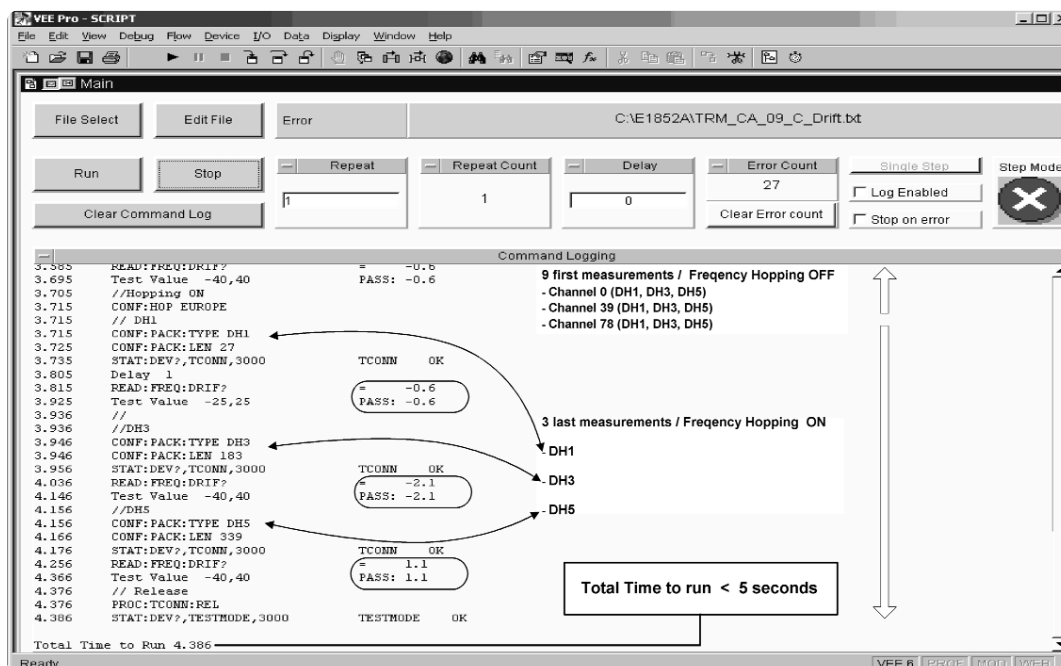


図 17b.

Agilent E1852A Bluetooth テスト・セットに付属の「テスト・シーケンサ」のインタフェース。搬送波周波数ドリフトのテストに必要な 12 種類の測定の実行を表示しています。

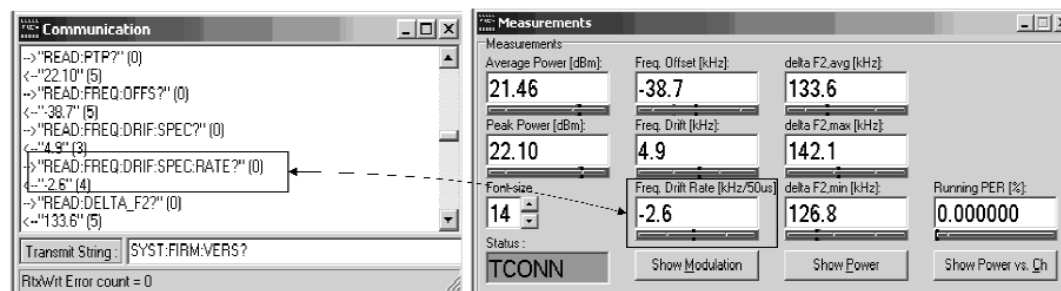


図 17c.

Agilent E1852A Bluetooth テスト・セットの測定および通信ウィンドウ。最大ドリフト・レート測定とその計算に関連する制御コマンドを表示しています。

2.5 タイミング・テスト

Bluetooth信号に対して、バースト・プロファイルの解析、フェーズ・ロック・ループ(PLL)のセトリング時間、その他のタイミング特性などのタイミング・テストを行うことができます。これらのテストは、仕様に含まれていませんが、研究開発中のデザインが仕様の基準を満たすことを確認するために役立ちます。

2.5.1 バースト・プロファイル

シグナル・アナライザまたはパワー・メータを使って、バーストの立上がり時間と立下がり時間をタイム・ドメインで測定できます。Bluetoothの場合、立上がり時間と立下がり時間の定義はありません。業界での一般的な立上がり時間の定義は、10% (−20dB) の振幅ポイントから90% (−0.9dB) の振幅ポイントまで上昇するのにかかる時間

です。立下がり時間は、同じ振幅ポイントを逆方向に下降する時間と定義されます。Bluetoothと似た標準のDECTでは、これとは異なる立上がり／立下がり時間の定義を採用しており、立上がり時間は−30dBから−3dBの振幅ポイントまで、立下がり時間は−6dBから−30dBの振幅ポイントまでと定められています。プリトリガ機能を使えば、立上がり時間の捕捉と測定が容易になります。バースト・プロファイルに関する定義済みのマスク・テストは存在しません。デバイスによっては、ここに示すよりもはるかに高速な過渡応答を持つものもあります。スイッチングが速すぎると、バーストのエッジが鋭いためにスペクトル拡散が広がり、出力スペクトラム・テストで不合格になることがあります。図18に、バーストの立上がり時間とバースト立下がり時間の測定例を示します。そのほかに、バースト・プロファイル特性

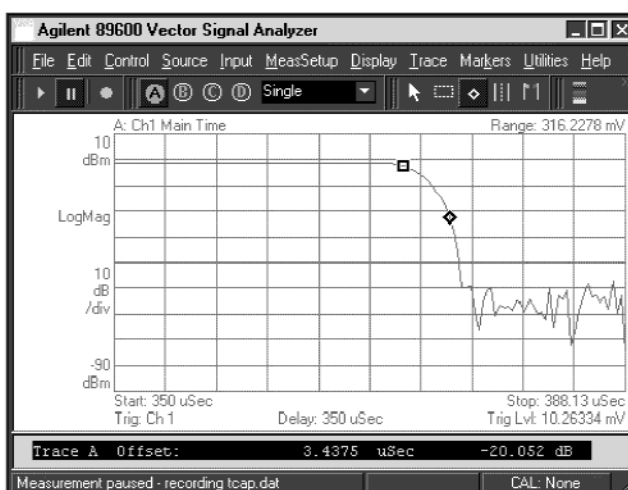
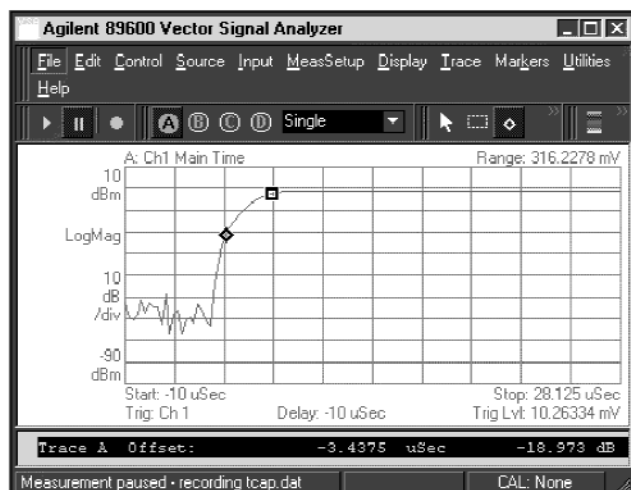
には、バーストのオン／オフ比、オーバーシュート、バースト繰り返し周波数があります(9ページの図10を参照)。これらの特性の詳細は、Agilentパワー・メータのアナライザ・ソフトウェアを使用すると、表示できます。

2.5.2 スペクトログラム測定

19ページの図19aはスペクトログラム画面で、無線送信機の電源オン時のPLLのセトリングに問題があることを示しています。このような状態の解析にはスペクトログラムが役立ちます。スペクトログラムは、X軸に周波数を、Y軸に時間を表示します。振幅はカラーまたはグレイスケールで表され、明るいカラーまたはグレイが大きい振幅に対応します。

図18.

Agilent 89600のバーストの立上がり時間および立下り時間
表示画面(CF=2.45GHz、スパン=3MHz、ベクトル・モード、
IFでトリガ、メイン時間ch1、ログ振幅(dB)、メイン長=20μs)



3. トランシーバ測定

ベクトル・シグナル・アナライザのタイム・キャプチャ機能を使えば、もっと複雑なスペクトログラムを作成できます。これにより、リアルタイム・データを低速で再生できます。この方法で、シンボルのタイミングとレートを解析できます。図19bに示すのは、Bluetoothバーストの最初の120 μ sのスペクトログラムです。この例でのペイロード・データは11110000で、4個の1と4個の0が交互に現われるこのパターンが、中心周波数から両側に157.5kHz離れたところに表示されています。

図19a.

PLLセトリング時間のAgilent 89441Aスペクトログラム画面



図19b.

シンボル・タイミングおよびレート of the Agilent 89441Aスペクトログラム画面



帯域外スプリアス放射テストは、Bluetooth無線機の動作が規格に適合することを確認するためのものです。仕様に定められているスプリアス放射テストは、伝導性エミッションと放射性エミッションの2種類です。伝導性エミッションとは、被試験デバイスのアンテナまたは出力コネクタから生じるスプリアス放射の指標です。放射性エミッションとは、被試験デバイスのキャビネットから漏れ出すスプリアス放射の指標です。

米国とヨーロッパでは、異なる標準が定められています。米国はFCC (Federal Communications Commission) part 15.247に従います。ヨーロッパは、ETSI (European Technical Standards Institute) ETS 300 328に従います。

スプリアス放射テストを実行するには、スペクトラム・アナライザを使って周波数レンジを掃引し、スプリアスを探します。スプリアス放射の仕様は、Bluetooth RF Test Specificationに定められています。必要なスペクトラム・アナライザの周波数レンジは、ETSIで最大12.75GHz、FCCで最大25.0GHzです。

CISPR (Special Committee on Radio Interference) publication 16に準拠する必要があるテストでは、準尖頭値検出機能を持つEMCスペクトラム・アナライザが必要です。このテストについては、本アプリケーション・ノートでは扱いません。EMC製品の詳細については、計測お客様窓口までお問い合わせください。

4. 受信機測定

このセクションでは、*Bluetooth*モジュールに必要な種々の受信機測定について説明します。これらの測定は、*Bluetooth*受信機の性能特性の品質を保証するために行います。受信機測定を実行する条件の詳細については、*Bluetooth RF Test Specification*を参照してください。*Bluetooth*で規定されている受信機測定は、以下のものがあります。

- 感度：シングルスロット・パケット
- 感度：マルチスロット・パケット
- 搬送波／干渉 (C/I) 性能
- ブロッキング性能
- 相互変調性能
- 最大入力レベル

受信機性能の評価に使用する基準は、ビット・エラー・レート (BER) です。BERの測定は、送信および受信ペイロード・データを比較して、ビットに不一致がないことを確認することによって、行います。全受信ビット数に対するエラー・ビットの比がBERになります。

4.1 テスト条件とセットアップ

4.1.1 テスト条件

表6に、受信機測定を実行するために必要なテスト条件の一覧を示します。

4.1.2 BERテストのセットアップ

BER測定の実行には、さまざまな測定セットアップが使用されます。送信機の測定セットアップと同じように、BER測定は、*Bluetooth*スタンドアロン・ペイロード・テスト (8ページの図8を参照) またはテスト・システムによって実行します。

Agilent E1852B *Bluetooth*テスト・セットで実行するBER測定の例を図20aに示します。スタンドアロン・テストと*Bluetooth* DUTの間にリンクが確立されています。ループバック・テスト・モードで動作中のDUTは、入力信号を受信、復調、デコードします。DUTは、受信したパケット・タイプと同じパケット・タイプで、復元済みペイロード・データを再度パケット化し、パケットを送り返します。*Bluetooth*テスト・セットでは、送り返されたパケットを受信して、BER測定を実行します。*Bluetooth RF Test Specification*では、送り返された1,600,000以上のペイロード・ビットを受信機測定で解析することが規定されています。

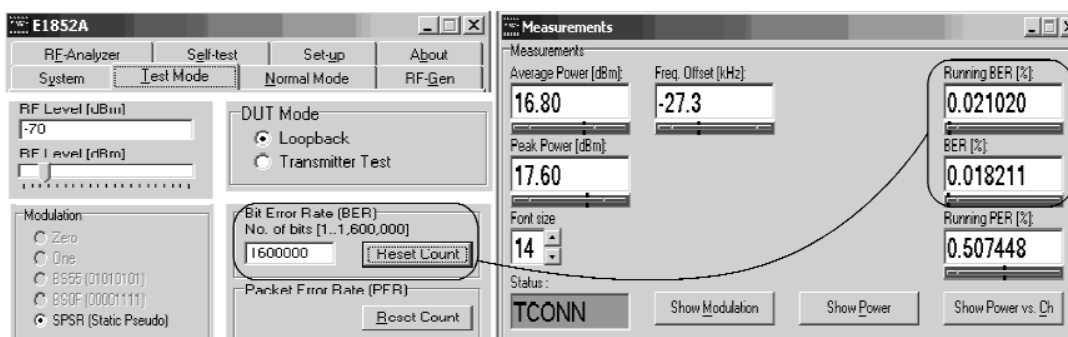
また、BER測定に、BER解析機能を備えた信号発生器とFM復調機能を備えたシグナル・アナライザで構成される基本的なテスト・システムを使用することもできます。測定セットアップを21ページの図20bに示します。このセットアップの場合、特別な内部“テスト機能”ユーティリティをデバイスに実装する必要があります。ユーティリティには、デバイスに受信パケットを送り返すことを要求する機能が必要です。この機能によって、ディジタル信号発生器からの*Bluetooth*信号をデバイスの受信機で受信、復調し、送信機経由でスペクトラム・アナライザにループバックすることができるようになります。この信号は、スペクトラム・アナライザによって復調され、BER測定を実行するために、信号発生器に送り返されます。

表6.受信機テスト・パラメータ

受信機テスト	周波数 ホッピング	テスト・ モード	パケット・ タイプ	ペイロード・ データ	BER測定
感度：シングルスロット・パケット	オフ オン(オプション)	ループバック	DH1	PRBS 9	≤0.1%
感度：マルチスロット・パケット	オフ オン(オプション)	ループバック	DH5 (DH3)	PRBS 9	≤0.1%
C/I性能	オフ	ループバック	サポートされている 最長パケット	PRBS 9	≤0.1%
ブロッキング性能	オフ	ループバック	DH1	PRBS 9	≤0.1%
相互変調性能	オフ	ループバック	DH1	PRBS 9	≤0.1%
最大入力レベル	オフ	ループバック	DH1	PRBS 9	≤0.1%

図20a.

BER測定実行中のAgilent E1852A *Bluetooth*テスト・セット。入力パワー・レベルが-70dBmであり、DUT受信機のBERが0.018になっています。セットアップ：ループバック・モード、周波数ホッピングOFF、擬似ランダム・ビット・シーケンス (PRBS) のペイロードのDH1パケット



これまでに述べた2つの測定セットアップでは、受信信号から復元されたデータを送り返す機能がBluetoothデバイスに必要になります。ループバック・テスト・モードをサポートしている(図20aのセットアップ)か、「ループバック・テスト機能」を内部に実装している(図20bのセットアップ)ことが必要です。これ以外の場合は、別のセットアップを使用しなくてはなりません。

図20cと図20dは、Bluetooth DUTが標準的な受信機としてのみ動作する場合のBER測定セットアップの例です。受信機と送信機の間でループバックが行われません。BER測定は、Agilent ESG-D信号発生器シリーズの内部BERアナライザ(オプションUN7)によって実行します。

図20cに示すように、Bluetooth DUTは、ESG-Dからの信号を受信および復調し、FMディスクリミネータ出力でアクセスできるようにします。

次に、復調されたパケットは、信号発生器のBERアナライザのデータ入力に送られます。FMディスクリミネータ出力とBERアナライザ入力間のシグナル・コンディショニングには、TTLコンバータが必要です。

図20dの測定セットアップを使用すると、Bluetooth DUTが信号を受信、復調し、ベースバンド・プロセッサでBluetoothベースバンド信号にアクセスできるようになります。図20cのセットアップと同じように、ベースバンド・プロセッサの出力でBluetoothパケットがESG-Dの内部BERアナライザのデータ入力に送られます。Agilent ESG-Dシリーズ・デジタル信号発生器によるBER解析の詳細については、AgilentのProduct Note『Agilent Technologies Signal Studio—Bluetooth for the ESG, Option406』を参照してください。

図20b

Agilent ESGデジタル・シリーズ信号発生器とESA-Eスペクトラム・アナライザで構成された基本的なテスト・システムによるBER測定セットアップの例。Bluetooth DUTは、RFループバック信号を提供します。

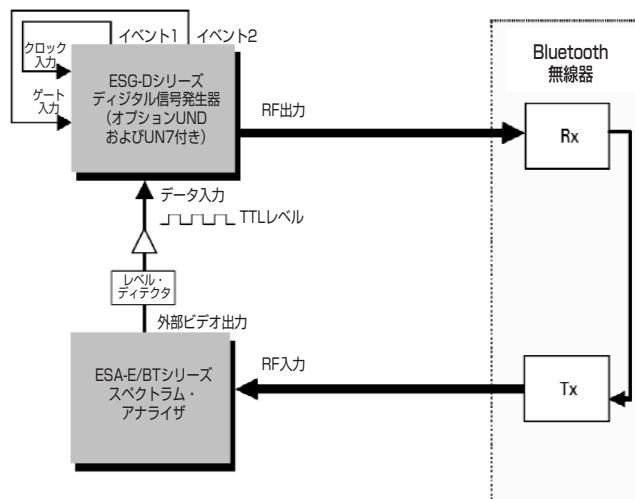


図20c.

例1：FMディスクリミネータ出力で復調したBluetooth信号にアクセスできる機能をBluetooth DUT受信機が備える場合のBER測定の測定セットアップ

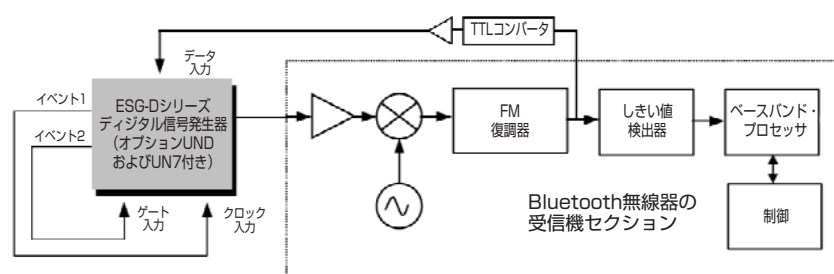
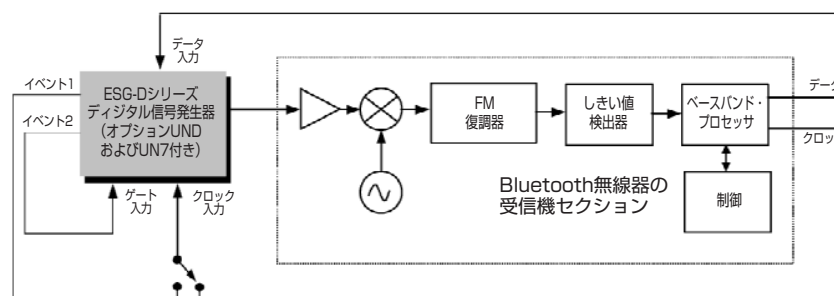


図20d.

例2：ベースバンド・プロセッサ出力でBluetoothベースバンド信号にアクセスできる機能をBluetooth DUT受信機が備える場合のBER測定の測定セットアップ



Bluetoothデバイスでループバック・モードをサポートしていない場合は、BER測定代わりに、パケット・エラー・レート (PER) 測定を実行します。PER測定では、Bluetooth DUTをループバック・モードで実行する必要がないため、送信テスト・モードまたはノーマル・モードのいずれかで動作するBluetoothテスト・セットで実行できます。PER測定は、Bluetooth RF Test Specificationに含まれていませんが、Bluetooth受信機性能を把握することができます。PER測定は、Bluetoothテスト・セットを使用して、次のように実行されます。送信 (TX) テスト・モードでは、Bluetooth DUTに特定の packets タイプを送信するように、Bluetoothテスト・セットから指示します。この命令は、Bluetoothテスト・セットがPOLLパケットで送信します。POLLパケットは、ペイロードを含まないため、チャンネル・アクセス・コードとパケット・ヘッダのみで構成されます。ここで、2つの状況を考慮する必要があります。

1つは、DUTがPOLLパケットを受信しない (パワー・レベルが低すぎる) 場合です。DUTはTXパケットをまったく送信しません。2つめの状況は、DUTがPOLLパケットを受信して、そのパケットを正常に読み取れない場合があります。たとえば、POLLパケットのアクセス・コードを検出できないことがあります。この場合、DUTは、対応するTXパケットのARQNビット (確認応答表示ビット) をNAK (否定応答、ARQN=0) に設定して送り返します。Bluetoothテスト・セットは、送信したPOLLパケット数とDUTから受信したTXパケット数を比較し、ARQNビットが0 (NAK) になっているTXパケット数を解析することによって、PERを算出します。

$$\text{PER\% (TXモードの場合)} = \frac{100 \times [\text{損失TXパケットの数} + \text{ARQNが0のTXパケットの数}]}{\text{送信したPOLLパケットの数}}$$

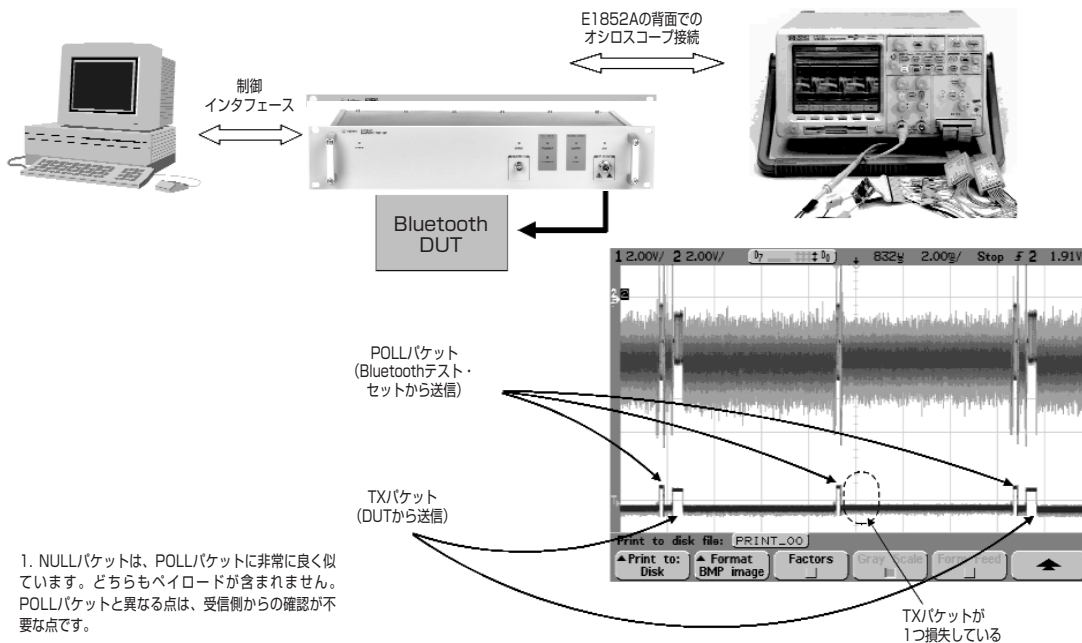
ノーマル・モードの場合も、同様の計算を実行します。ノーマル・モードで、テスト・セットがPOLLパケットを送信します。DUTが正常にPOLLパケットを受信して読み取ると、正しく読み取るたびにNULL1パケットを送り返します。PER計算は、送信したPOLLパケットの数と受信したNULLパケットの数をノーマル・モードのテスト・セットが比較することにより、実行されます。

$$\text{PER\% (ノーマル・モードの場合)} = \frac{100 \times [\text{送信したPOLLパケットの数} - \text{受信したNULLパケットの数}]}{\text{送信したPOLLパケット数}}$$

PER測定を理解するために、Agilent 54620シリーズ・ミックスド・シグナル・オシロスコープなどのオシロスコープを使用すると、送信済みパケットが視覚化され、損失パケットがいつ発生したかを確認できます。詳細は、図21を参照してください。

図21.

Agilent E1852A Bluetoothテスト・セットとAgilent 54620シリーズ・ミックスド・シグナル・オシロスコープ (パケット・エラー表示用) のセットアップ。Bluetooth DUTは、送信テスト・モードで動作中です。



4.2 感度：シングルスロット・パケット

Bluetooth受信機の感度とは、受信機で許容可能最大BERを実現するために必要な最小信号レベルの指標です。感度のテストは、さまざまな欠陥のあるBluetooth信号を受信機に送信して、復元されたペイロード・データのBERを測定します。Bluetooth RF Test Specificationでは、搬送波周波数オフセット、搬送波周波数ドリフト、変調指

数、および信号タイミングのドリフトなどの欠陥のある10種類の送信パケットが定義されています。Agilent ESG-D デジタル・シリーズ信号発生器では、これらの欠陥をBluetooth信号に追加する簡単なメニュー（図22を参照）を使用できます。仕様を満たすためには、受信機の入力で信号レベルが-70dBmになるような送信パワーを設定したときに、受信機のBERが0.1%未満になる必要があります。これは、基準感度レベルと呼ばれ、

Bluetooth受信機は必ずこの仕様を満たさなければなりません。Bluetooth受信機の実際の感度は、受信機が0.1%BERを実現するために必要な信号レベルです。テストは、最小、中間、最大のDUT動作周波数で行います。

4.3 感度：マルチスロット・パケット

マルチスロット・パケットの感度測定は、シングルスロット・パケットの場合と非常に良く似ています。主な違いは、シングルスロット感度測定では欠陥のある雑音付きのDH1パケットが使用され、マルチスロット・パケット感度測定では欠陥のあるDH3またはDH5のパケットが使用される点です。マルチスロット・パケット感度の測定に使用するの、デバイスでサポートされている最長のパケット・タイプが使用されます。図23に示すように、Agilent ESG-D信号発生器では、ソフトウェア・パーソナリティを使用して、雑音付きBluetoothパケットを簡単に作成することができます。

図22.

ESG-Dデジタル・シリーズ信号発生器のユーザ・インタフェース（オプションUND）。この信号源で生成できる種々の欠陥を示しています。

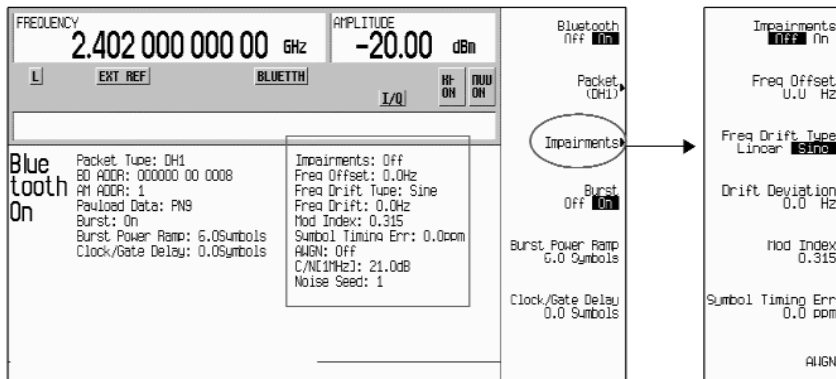
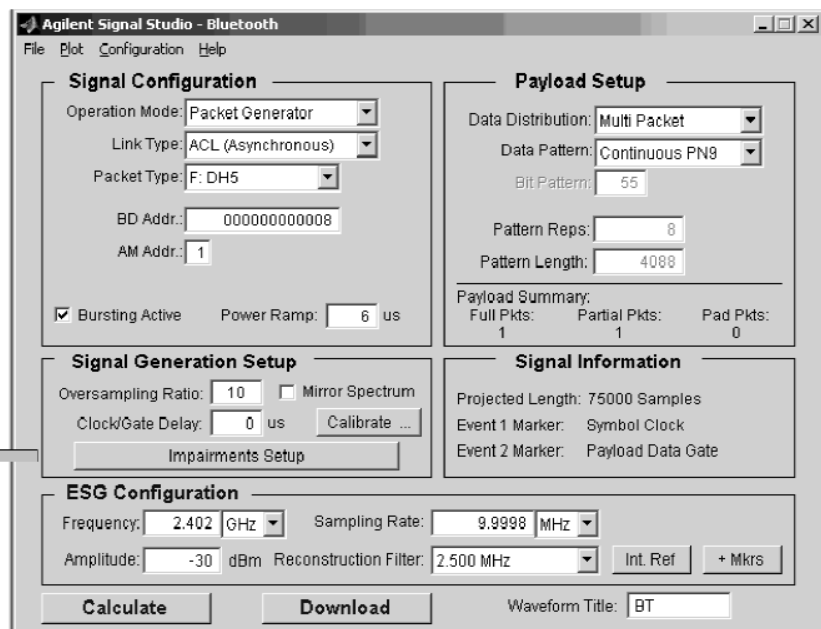
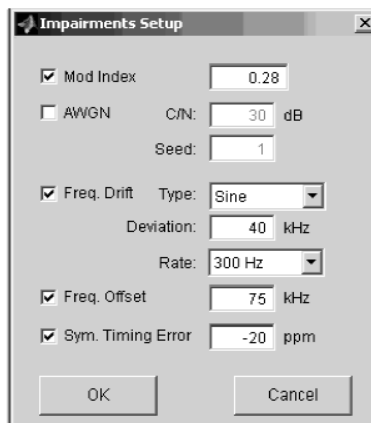


図23.

AgilentのSignal Studioソフトウェア（オプション406）のユーザ・インタフェース。ESG-Dシリーズ信号発生器で使用する、種々の欠陥のあるシングルスロットおよびマルチスロットのパケットを生成できます。

5スロットの欠陥のある送信パケットのためのパラメータ構成
セットアップ#1



4.4 搬送波/干渉(C/I)性能

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に対して、目的の信号と平行にBluetooth信号を送信して、受信機のBERを測定します。同一チャネルと、隣接する1MHzおよび2MHzのチャネルでの干渉性能は、基準感度レベルを10dB超える目的の信号で測定します。その他のすべての周波数では、目的の信号を基準感度レベル¹よりも3dB上げる必要があります。干渉信号の構造の詳細については、Bluetooth RF Test Specificationを参照してください。テストは、受信機の最小、中間、最大の動作周波数で実行し、帯域内のすべての動作周波数で干渉信号を送信します。BERは、 $\leq 0.1\%$ でなくてはなりません。

注記：最初の *Bluetooth* RF Test Specificationでは、目的の信号と干渉信号をバーストさせる必要がありました。ところが、両方の信号がバーストして、同期しないため、問題が発生しました。このため、目的の信号と干渉信号のバーストの重なりが0%から100%まで異なることになりました。最も少ない場合 (0%) は、*Bluetooth* デバイス受信機が干渉信号に遭遇しません。一方、最も多い場合、100%重なります。同期の定義が欠けているために、テスト結果を再現できない状況でした。そのため、*Bluetooth* SIGから、最初のテスト仕様を、変調された干渉信号をバーストせずに関連して変調するものとするという要件に変更する要求が出されました。これにより、干渉信号と目的の信号が100%重なることが保証されます。

図24に、この搬送波／干渉性能テストを実行するためのセットアップ例を示します。Agilent E1852B *Bluetooth* テスト・セットは、*Bluetooth* DUTに通信を確立して目的の信号を送信し、ESG-D デジタル信号発生器は、変調された *Bluetooth* 干渉信号を生成します。*Bluetooth* DUT から返されたパケットは、*Bluetooth* テスト・セットによって受信され、BER が測定されます。

4.5 ブロッキング性能

受信機ブロッキング性能は、連続波(CW)干渉信号と目的の信号を送信して、受信機のBERを測定することにより求めます。目的の信号は、基準感度レベル¹を3dB超えたレベルで2460MHzの周波数で送信します。CW干渉信号(ブロッキング信号)は、30MHzから12.75GHzまで1MHzずつ増やします。

Bluetooth RF Test Specificationでは、この周波数帯域内の干渉信号に対するさまざまなパワー・レベルが定義されています。BER測定は、前に述べた条件で実行し、ブロッキング信号の存在下での受信機性能を検証するために、0.1%以下にする必要があります。ブロッキング性能測定は、同様のセットアップ(図24参照)でESG-D信号発生器をアナログ信号源に変更して行います。新しいAgilentマイクロ波パフォーマン信号発生器(E8241A)は、このアプリケーションにとって理想的です。

この信号発生器には、ブロッキング信号に必要な周波数とパワー・レベルでのステップ／リスト掃引機能があります。

4.6 相互變調性能

相互変調性能では、非線形デバイスを經由する複数の信号の干渉から生じる不要な周波数成分を測定します。目的の信号は、パワー・レベルが基準感度レベル¹より6dB高いレベルで周波数 f_0 で送信されます。相互変調成分(3次、4次、5次)を作成するには、パワー・レベルが -39dBm の2種類の信号を発生させます。1つめが周波数 f_1 の静的な正弦波であり、2つめが周波数 f_2 のBluetooth変調信号です。両方の信号は、次の条件を満たす必要があります。

$$f_0 = 2f_1 - f_2 \text{ および } |f_2 - f_1| = n * 1\text{MHz}$$

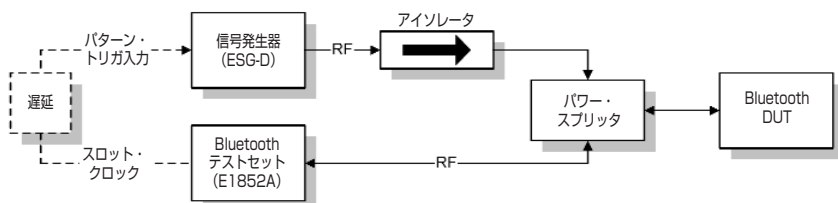
n は 3、4、または 5

これで、BERを測定します。BERが0.1%を超える場合は、相互変調歪みの存在下での受信機性能に問題があることを示しています。図24のセットアップは、干渉信号源を追加して静的な正弦波信号を発生させることによって、相互変調性能測定にも利用できます。

4.7 最大入力レベル

最大入力レベルのテストでは、入力信号が -20dBm の指定された最大パワー・レベルのときの受信機のBER性能を測定します。テストは、最小、中間、最大の動作周波数で行います。

図24. 搬送波／干渉 (C/I) 性能テストを実行するためのセットアップ例。点線内の部分は、新しいリビジョンのBluetooth RF Test Specificationでは実装する必要がありません(干渉信号がバーストせずに連続するため、同期が不要)。



1. 基準感度レベルは-70dBmです。

5. 電源測定

Bluetooth RF Test Specificationでは、一部の*Bluetooth*デバイスでは電源電圧でのテストを定めています¹。電源テストと、電源ライン上のスプリアス信号を*Bluetooth*デバイスが除去する能力は、多くのアプリケーションとの統合テストで重要な役割を果たします。電源に関する問題は、DH5バースト時のパワー対時間の測定と周波数誤差測定の注意深いモニタリングにより解決できます。これらの測定の詳細については、Agilentのアプリケーション・ノート『*Bluetooth* モジュールの調査』（カタログ番号5988-2417JA）Application Note#AN 1333-2の「組み込み前の検討要因」のセクションに記載されています。

Agilentでは、この種のテストに適したDC電源を各種用意しています。汎用電源のほかに、移動通信製品のニーズに応えるために特別に設計された電源もあります。これらのDC電源には低電流測定機能もあり、スタンバイ中やスリープ・モードでの消費電流を評価するのに役立ちます。

1. 被試験機器が他のシステムや機器の一部として設計され、そこから電源を供給される場合には、これらのテストは不要です

付録A：用語集

アイ・ダイアグラム：ディジタル変調システムの同相成分または直交成分の大きさと時間の関係を示す図。形が目に見えていてるところからこう呼びます。

ホールド・モード：パワーセーブ・モードの1つで、デバイスを非アクティブにして、定期的にステータス・チェックを実行するために内部タイマだけが動作している状態。

情報機器：ユーザに対して音声やデータを提供することを目的とする、情報関連機器のカテゴリ。携帯電話、PDA、ディジタル・カメラなど。

マスタ・ユニット：ピコネット内のデバイスで、そのピコネット内の他のすべてのデバイスの同期に用いられるクロックとホッピング・シーケンスを供給するもの。

パケット：ピコネット内で伝送される情報の1つのまとまり。パケットは1つの周波数ホップで伝送され、通常は1つのタイム・スロットを占有しますが、最大5スロットまで占有できます。

パーク・モード：パワー・セーブ・モードの1つで、デバイスを非アクティブにします。デバイスはピコネットに同期しますが、トラヒックには参加しません。パーク・モードは最高のパワー効率を実現します。

ペイロード：パケットで伝送されるユーザの音声またはデータ情報。

ピコネット：ピコネットは*Bluetooth*の最小単位のネットワーク構造です。ピコネットは、1台のマスタと、最大7台のアクティブに通信しているスレーブ、または200台以上の非アクティブで通信していないスレーブから構成されます。ピコネットはホッピング・シーケンスで定義されます。

パワー・セーブ・モード：パワー・セーブ・モードには、スニフ・モード、ホールド・モード、パーク・モードの3種類があります。スレーブ・ユニットはそれぞれのモードで異なるスリープ状態になります。パワー・セーブ・モードにあるスレーブ・ユニットとの間では、データの伝送は行われません。

フリトリガ：定義されたトリガ・ポイントより前の波形を観察する機能。

スキヤッタネット：スキヤッタネットは、同期していない複数の独立したピコネットから構成されます。デバイスはピコネットを共有できます。

スレーブ・ユニット：ピコネット内のデバイスのうちマスタ以外のものすべて。スレーブ・ユニットは、アクティブにマスタと通信するアクティブ・モードか、非アクティブなスリープ・モードのどちらかです。

スニフ・モード：パワー・セーブ・モードの1つで、デバイスがピコネット内をリスンするレートを下げることによりパワーを節約するモード。スニフ・モードは最も非効率的なパワー・セーブ・モードです。

スタンバイ・モード：ピコネットに接続されていない*Bluetooth*デバイスの状態。このモードでは、デバイスは1.28秒ごとにメッセージをリスンします。

付録B：記号と頭字語

2FSK	2-Level Frequency Shift Keying (2レベル周波数シフト・キーイング)。2値FSKとも呼びます。	EVM	Error Vector Magnitude (エラー・ベクトル振幅)。	RBW	Resolution Bandwidth (分解能帯域幅)。
ACL	Asynchronous Connectionless Link (非同期コネクションレス・リンク)。	FCC	Federal Communications Commission	RF	Radio Frequency (無線周波数)。
ARQ	Automatic Repeat reQuest (自動再送要求) データ・エラー訂正方式。	FEC	Forward Error Correction (フォワード・エラー訂正)。	SCO	Synchronous Connection-Oriented link (同期コネクション型リンク)。
BT(BbT)	Bandwidth-Time product (帯域幅時間積)。	FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (周波数ホッピング・スペクトラム拡散)。	SIG	Bluetooth Special Interest Group
BER	Bit Error Rate (ビット・エラー・レート)。	GFSK	Gaussian-filtered Frequency Shift Keying (ガウシアン・フィルタ周波数シフト・キーイング)。	TDD	Time Division Duplex (時分割デュプレックス)。
CF	Center Frequency (中心周波数)。	GSM	Global System for Mobile communications	VBW	Video Bandwidth (ビデオ帯域幅)。
CISPR	International Special Committee on Radio Interference	Hz	ヘルツ (サイクル/s)。	VSA	Vector Signal Analyzer (ベクトル・シグナル・アナライザ)。
CW	Continuous Wave (連続波)。	IF	Intermediate Frequency (中間周波数)。		
dBc	搬送波周波数を基準としたデシベル値。	ISM	Industrial, Scientific, and Medical radio band		
dBi	自由空間の等方性放射を基準としたデシベル値。	LM	Link Manager (リンク・マネージャ) ソフトウェア。		
dBm	1mWを基準としたデシベル値 (10log (パワー/1mW))。	LMP	Link Manager Protocol (リンク・マネージャ・プロトコル)。		
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication	LO	Local Oscillator (局部発振器)。		
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power (等価等方性放射パワー)、またはEffective Isotropic Radiated Power (実効等方性放射パワー)。	PDA	Personal Digital Assistant (携帯情報端末)。		
EMC	ElectroMagnetic Compatibility	PLL	Phase Lock Loop (フェーズ・ロック・ループ)。		
ETSI	European Technical Standards Institute	PRBS 9	PseudoRandom Bit Sequence (疑似ランダム・ビット・シーケンス) またPseudorandom Noise (疑似ランダム・ノイズ) で周期が 2^9-1 ビットのもの。		
		PSD	Power Spectral Density (パワー・スペクトル密度)。		

付録C：Bluetoothを理解するための推奨文献

次のカタログは、Agilent *Bluetooth* の Web サイト www.agilent.com/find/bluetooth から入手可能です。

アプリケーション・ノート

『*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 AN1333-2』
カタログ番号5988-2417JA

『Verifying *Bluetooth* Baseband Signals using Mixed Signal Oscilloscopes, Application Note AN 1333-3』
カタログ番号5988-2181EN

『*Bluetooth* RF Testing—The Right Test for the Radio Design, Agilent Article』
Webのみ

製品概要

『*Bluetooth* ソリューション、Brochure』
カタログ番号5980-3032JA

『Agilent E1852B *Bluetooth* テスト・セット、Data Sheet』
カタログ番号5988-1978JA

『ESA-E シリーズ・スペクトラム・アナライザ用 *Bluetooth* 測定ソリューション、Product Overview』
カタログ番号5980-2786JA

『Agilent ESA-E Series Spectrum Analyzer *Bluetooth*™ Measurement Option, Self-Guided Demo, Product Note』
カタログ番号5980-2577EN

『Agilent Technologies Signal Studio—*Bluetooth* for the ESG, Option 406, Product Note』 Webのみ

『Agilent EPM-P Series Single- and Dual-Channel Power Meters Demo Guide』
カタログ番号5988-1605EN

『New Design and Test Solution for W-CDMA/EDGE/*Bluetooth* in the 89400 Series Vector Signal Analyzer』
カタログ番号5968-7347E

『Agilent EEs of EDA E5616A/AN *Bluetooth* DesignGuide』
カタログ番号5988-0701JA

一般的なRFを理解するための推奨文献

アプリケーション・ノート

『8つのヒント アナログRF信号発生器によるより優れた測定、Application Note 1306-1』 カタログ番号5967-5661J

『スペクトラム・アナライザを成功させる8つのヒント Application Note 1286-1』
カタログ番号5965-7009J

『*Cookbook for EMC Precompliance Measurements*, Application Note 1290-1』
カタログ番号5964-2151E

『ESG-D シリーズ信号発生器を用いたビット・エラー・レート測定』
カタログ番号5966-4098J

『Spectrum Analysis, Application Note 150』
カタログ番号5952-0292

『デジタルRF受信機デザインのテストおよびトラブルシューティング、Application Note 1314』
カタログ番号5968-3579J

『デジタルRF送信機デザインのテストおよびトラブルシューティング、Application Note 1313』
カタログ番号5968-3578J

プロダクト・ノート

『Agilent 89600 シリーズ超広帯域ベクトル・シグナル・アナライザ』
カタログ番号5980-0723J

『デジタルRF通信システム開発におけるベクトル変調解析の応用、Product Note 89400-8』
カタログ番号5091-8687J

『パーフェクトなデジタル復調測定のための10ステップ、Product Note 89400-14A』
カタログ番号5966-0444J

『ESG-D シリーズのオプションUN8リアルタイムI/Qベースバンド・ジェネレータによるデジタル変調のカスタマイズ』
カタログ番号5966-4096J

『デジタル変調に対する、データの生成とESG-D RF信号発生器へのダウンロード』
カタログ番号5966-1010J

『Generating Digital Modulation with the Agilent ESG-D Series Dual Arbitrary Waveform Generator, Option UND』
カタログ番号5966-4097E

付録D：AgilentのBluetoothのためのソリューション

Bluetoothテスト用Agilent機器

- =仕様化されたBluetoothテスト要件に完全に適合する。
◆=Bluetoothテスト要件に完全に適合しない。プリコンプライアンス・テストのみ。

Bluetooth RFレイヤのテストの分類	E1852A Bluetooth テスト・ セット	ESA-Eシリーズ・ スペクトラム・ アナライザ ¹	ESG-D シリーズ 信号発生器 ²	EPM-P シリーズ・ パワー・ メータ ³	89400/600 シリーズ E4406Aシリーズ・ ベクトル・シグナル・ アナライザ ⁴
送信機テスト					
出力パワー[TRM/CA/01/C]	●	●		●	●
パワー密度[TRM/CA/02/C]		●			●
パワー制御[TRM/CA/03/C]	●	●		●	●
TX出力スペクトラム：周波数レンジ[TRM/CA/04/C]		●			●
TX出力スペクトラム：-20dB帯域幅[TRM/CA/05/C]		●			●
TX出力スペクトラム：隣接チャネル漏洩電力[TRM/CA/06/C]		◆			●
変調特性[TRM/CA/07/C]	●	●			●
初期搬送波周波数の許容値[TRM/CA/08/C]	●	●			●
搬送波周波数ドリフト[TRM/CA/09/C]	●	●			●
トランシーバ・テスト					
帯域外スプリアス放射[TRC/CA/01/C]		●			◆
受信機テスト					
感度/シングルスロット・パケット[RCV/CA/01/C]	◆		●		
感度/マルチスロット・パケット[RCV/CA/02/C]	◆		●		
C/I性能[RCV/CA/03/C]	● ⁵		● ⁵		
ブロッキング性能[RCV/CA/04/C]	● ⁶		● ⁶		
相互変調性能[RCV/CA/05/C]	● ⁷		● ⁷		
最大入力レベル[RCV/CA/06/C]			●		

1. オプション303または304 (Bluetoothのための汎用バンドル) が必要です。

2. オプションUND (デュアル任意波形ジェネレータ)、オプションUN8 (I/Qベースバンド・ジェネレータ)、オプションUN7 (ベースバンドBERアナライザ)、およびオプション406 (Signal Studio-Bluetoothソフトウェア) が必要です。

3. 最小1.5MHz帯域幅のAgilent E9322A/E9326Aセンサが必要です。

4. Agilent 89400シリーズでは、オプションAYA (ベクトル変調解析) およびAY9 (拡張タイム・キャプチャ) が必要です。Agilent 89600シリーズでは、オプションAYA (ベクトル変調解析) および288 (288MBタイム・キャプチャRAM) が必要です。スペクトログラムには、オプションAYB (ウオーターフォールおよびスペクトログラム) が必要です。Agilent E4406AシリーズでBluetoothテストを行う場合、Agilent 89601Aベクトル信号解析ソフトウェアとともに使用する必要があります。

5. 干渉信号のためのBluetooth機能をもつ信号源が必要です。

6. CW干渉信号 (30MHz-12.75GHz) を生成するために、Agilent E8241Aマイクロ波パフォーマンス信号発生器が必要です。

7. 相互変調を発生するために、2つの信号源 (1つが標準で1つがBluetooth機能付き) が必要です。

付録E：参考文献

1. *Bluetooth Test Specification—RF, Part A, First revision for Specification 1.1, Revision 0.91, July 2, 2001—Bluetooth SIG*
2. *Specification of the Bluetooth System—Version 1.1, Volume 1 “Core”, February 22, 2001—Bluetooth SIG*
3. *Bluetooth* 公式Webサイトの www.bluetooth.com。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、およびBluetooth Special Interest Group (SIG) に関する情報があります。Bluetooth SIGのメンバー用Webサイトである www.bluetooth.org には、Bluetooth Test Specification、声明、およびリリース前仕様が掲載されています。このWebサイトは、パスワードで保護されています。

詳細情報

Bluetoothのテストを支援するアジレント・テクノロジーの製品、サービス、およびトレーニングに関する詳細情報については、以下に示すいずれかの方法で弊社にご連絡ください。

www.agilent.com/find/bluetoothでオンライン・アシスタンスを使用します。

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、製品の測定精度の維持をお手伝いします。

Bluetooth™およびBluetoothロゴは米国Bluetooth SIG, Inc.の登録商標で、Agilent Technologies, Inc.にライセンスされています。テストおよび計測に関するご要望は、インターネット、電話、またはファックスでお問い合わせください。本文書内の製品の仕様および説明は、予告なしに変更されることがあります。

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
(12:00～13:00も受付中)
※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
(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



Agilent Technologies

Aug 19, 2002
5988-3760JA
0000-00DEP