Keysight Technologies

IoT – 大きな可能性と大きな課題

Application Note

IoTデバイスのデザイナーや開発者が直面する課題は、コンポーネント、
回路、システムのすべてのレベルで困難さを増しています。
どのようなツールやソリューションが利用できるでしょうか？
テストの時間とコストを節約するために何を考慮すればよいでしょうか？

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

HARDWARE + SOFTWARE + PEOPLE = IOT/M2M INSIGHTS

目次

1. はじめに.....3
2. IoTの課題.....4
a) 回路とコンポーネントのより高度な統合.....4
b) エネルギー効率とバッテリー寿命.....5
c) シグナルインテグリティー (SI)とパワーインテグリティー (PI).....6
d) 異なる無線テクノロジーの混在と複数規格対応のデバイス.....6
e) 干渉、コンプライアンス、コンフォーマンス.....7
3. ソリューションとテストの考慮事項：ソフトウェアとハードウェア.....8
(i) デザインとシミュレーション(a-e).....8
(ii) バッテリー電流ドレイン解析(b).....11
(iii) シグナルインテグリティーおよびパワーインテグリティーツール(c).....13
(iv) ワイヤレス・テスト・ソリューション(d).....16
(v) リアルタイムスペクトラム解析(d、e).....18
(vi) EMI/EMC (e).....19
4. まとめ.....20
5. 参考資料.....20

今、大きな変化が目前に迫っています。それはモノのインターネット(IoT)の爆発的な普及です[1]。ここで「モノ」というのは、IoTの構成要素であるスマートオブジェクトのことです。あらゆる場所に存在し、常時接続されているこのようなオブジェクトの数は、300億個以上に達すると予想されています。IoTアプリケーションは、スマートホームやヘルスケアと同様に、すでに消費市場で受け入れられつつあります。IoTを可能にするテクノロジーの進化に伴って、民生、産業向け問わず、想像を超える新しいアプリケーションが次々と登場しています。同時に、ソフトウェアとサービス、ハードウェアと接続機能も急速に進化しています。このような進歩を最大限に活用するためには、複雑な設計と統合の課題に対処するためのツールやソリューションを活用して、IoTデバイスの迅速な設計、開発を成功させる必要があります。

1. はじめに

「Internet of Things - モノのインターネット」という言葉は、1999年にKevin AshtonがRFIDタグの用途について論じたときに初めて使用したものです。当初はRFIDオブジェクトの単純な追跡やカウントから始まったIoTは、マシンツーマシン(M2M)、ビッグデータ、機械学習によってその可能性を開花させ、スマートビルディング、スマートグリッド、インテリジェント輸送システムなどのアプリケーションを実現してきました。

エンドノードにあるIoTデバイスは、クラウドやサーバーに接続して、インテリジェンスや解析を利用します。接続は直接の場合も、ゲートウェイを経由する場合もあります(図1を参照)。ゲートウェイは、低電力ネットワークからのトラフィックを集積して、より大容量のLANやWANに受け渡す役割を果たします。これらのデバイスは、通常はエンドノードよりも大容量の電源と高機能のコンピューティングリソースを備えています。ゲートウェイ上で動作するエッジまたはフォグアプリケーションは、クラウドとエンドノードのセンサ／アクチュエーターの両方の処理負荷を軽減する役割を果たします。エンドノードの多くはバッテリー寿命を延ばすように設計されているため、内蔵されたコンピューターや無線伝送を効率的に利用する必要があります。ゲートウェイアプリケーションのインテリジェントしきい値トリガにより、中央のクラウドサーバーに実用的な情報を渡すことで、トラフィックの効率を高めることができます。ゲートウェイは、クラウドとエンドノードとの接続に、携帯電話技術とそれ以外の技術を含む、さまざまな無線テクノロジーを組み合わせて使用します。無線インタフェースは、カバレージ、遅延、スループット、エネルギー効率、コストなどに応じて、さまざまなアプリケーションニーズに対応できます。

異なる無線通信テクノロジーの組み合わせを大規模に展開する場合、相互運用性や干渉などの問題が生じ、IoTデバイスの設計と開発の過程で対処が必要になります。ネットワーク要件や無線規制規格への適合に加えて、エネルギー消費やバッテリー寿命などの要因も考慮する必要があります。IoTデバイスの中には、長期間にわたって稼働し続けることを前提としているものが多くあります。

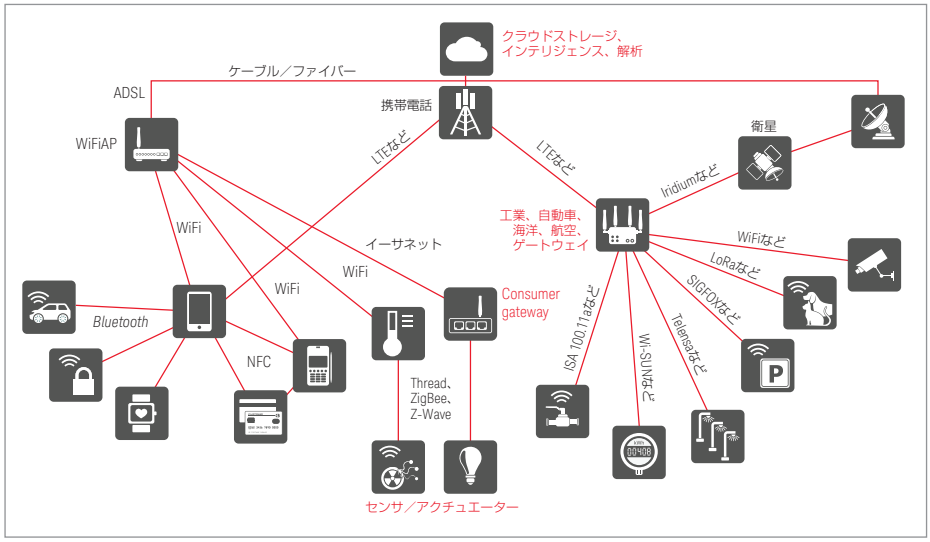


図1.　クラウドへのアクセスを可能にするさまざまな経路とゲートウェイ[1]

2. IoTの課題

IoTアプリケーション／サービス向けに配備されるデバイスの数が大幅に増え、密度が高まるとともに、実装にあたって対処が必要なさまざまな課題が生じています。このセクションでは、IoTデバイスの設計／開発時に生じる具体的な課題をいくつか紹介します。

a) 回路とコンポーネントのより高度な統合

ミックスドシグナル集積回路(IC)テクノロジーの進歩が、IoTデバイスの進化を可能にしました。例えば、部品数を削減することにより、占有面積を小さくすることができます。また、集積度を上げることにより、コストとエネルギー消費を低減して、性能を高めることができます。一方で、ミックスドシグナル統合のために、これまでにない設計上の複雑さが生じます。現在のミックスドシグナルICは、デジタル、アナログ、RFのすべての機能を1チップに統合しています。システム･オン･チップ(SoC)技術により、これまで別々だったシステムコンポーネントを1つのチップに集積できるようになりました。無線、センサ、アクチュエーター向けのインタフェースを統合した低消費電力の無線マイクロコントローラーが、多くのIoTアプリケーションに採用され始めています。

スマートウォッチなどのウェアラブルデバイスや小型で低コストのデバイスには、従来のチップ型アンテナや外部アンテナの代わりに、PCB内蔵アンテナが多く使用されています[2]。プリント型アンテナ、複数のアンテナ、複数の無線機を装備したデバイスの増加とともに、アンテナの性能と自己干渉を、実環境のさまざまな条件でモデリングして測定することが重要になってきます。アンテナの整合、効率、放射、受信パターンを評価する際には、壁、取り付け構造、そしてウェアラブルデバイスの場合、衣服や人体を考慮する必要があります。

デバイスの複雑化とともに、電気的、熱的、機械的動作のすべてを評価する必要があります。これらの効果は、他のデバイスサブシステムの性能と信頼性に影響を与えます。このような課題に対応するには、コンポーネントからシステムレベルまでの複数の領域とテクノロジーにわたるコ･シミュレーションの正確でシームレスなフローをサポートするデザイン／シミュレーションツールを使用して、デバイスの実環境での動作を詳細に理解することが必要です。

b) エネルギー効率とバッテリー寿命

センサのような単純なデバイスは、多くの場合バッテリーで駆動され、蓄えられるエネルギーに制限があります。センサノードを大規模に配備するネットワークや、医療用埋め込み機器の場合、デバイスが数か月あるいは数年単位の動作寿命を持つことが必要になります。動作環境によっては、頻繁なバッテリー交換はコストがかかりすぎて現実的でないこともあります。エネルギーを節約するために、デバイスは通常、きわめて低いデューティサイクルで動作し、ほとんどの時間をアイドルモードまたはスリープモードで過ごして、必要なときだけアクティブになります。

もっと高性能のデバイスやゲートウェイでは、プロセッサ、ディスプレイ、無線モジュールが、全消費エネルギーの大きな部分を占めます。これらのデバイスは複数の無線インタフェースを搭載し、処理負荷の大きい作業を行うためにアクティブモードに入る時間が長くなります。このようなデバイスのエネルギー消費を理解するには、図2に示すように、電源管理や、さまざまなコンポーネントやモジュール間の複雑な相互作用を十分に考慮する必要があります。

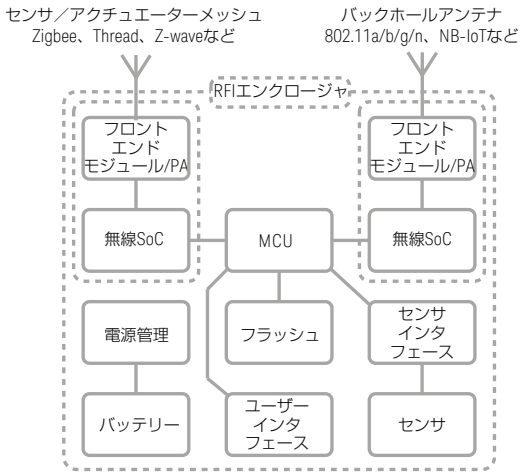


図2. IoTゲートウェイ／センサ(暖房用サーモスタット、煙感知器、セキュリティー警報器、電気／ガスメータ用ゲートウェイなど)の代表的なコンポーネント

各動作の効率は、継続時間と消費電流によって決まるため、バッテリー寿命を最適化するには、各動作モードの消費電流と継続時間を知ることが重要です。特定の処理イベントやアクティビティーの継続時間を知るには、電流ドレインが唯一の有効な方法である場合もあります。大きな課題の1つとして、広いダイナミックレンジに渡る電流ドレインの測定があります。その範囲は、スリープモードでのμA以下から、アクティブモードでの数百mAにまで及びます。そのために、シームレスな電流レンジ切り替えを伴うバッテリードレイン解析(高いピーク、低いデューティサイクル、小さい平均値を捕捉するため)と、シミュレートされたネットワーク条件が必要になります。実際のバッテリーと電源のどちらを使用する場合でも、バッテリードレイン結果が実際の使用時のデバイスと一致するように、デバイスへの電力供給を適切に行う必要があります。

エネルギーハーベスティング、新しいバッテリーテクノロジー、低消費電力デザインなどのテクノロジーの進歩により、バッテリー寿命は延びる傾向にあります。セルサイズの縮小や、狭帯域幅で低消費電力の通信ネットワークの利用も、エネルギーの制約を緩和するために有効です。動作寿命と熱に関する要件を満たすには、システマティックなエネルギー解析を行う必要があります。それによって、デバイスのハードウェアとソフトウェアの性能の適切な制御を維持できるからです。実環境での動作では、環境条件やネットワーク条件によってデバイスの動作寿命が大幅に短縮される可能性があるため、特に重要になります。

c) シグナルインテグリティー (SI)とパワーインテグリティー (PI)

SIは4つのグループに分けることができます。1つのネットに関連する問題、複数のネット間の結合、電源分配回路(PDN)の電力およびグランド経路、電磁波障害(EMI)の4種類です[4]。SIの問題を最小化する方法としては、すべての相互接続に渡って制御されたインピーダンスを維持すること、相互インダクタンスまたはキャパシタンスを最小化するためのトレース間隔への配慮、長すぎる帰還経路の修正、PDNインピーダンスの最小化、最適なグランドとシールドの維持があります。さらに、半導体技術の進歩により、ゲート長やチャネル長が縮小し、スイッチング速度が高まるにつれ、立ち上がり時間は短くなり、クロック周波数が上昇するため、SIの問題は避けられなくなっています。低消費電力の回路は、クロストークなどのSIの問題に対する耐性が低くなります。

PIとは、システム内の電源から負荷にパワーが変換／伝達される際の品質の解析です。パワーは、パッシブコンポーネントと相互接続から構成されるPDNを経由して、電源から負荷に伝達されます。エレクトロニクスの低電力化が進むにつれて、DC電源電圧とその許容範囲は縮小しています。電源の許容範囲が±5 %から±1 %に低下したケースもあります。このような低電圧レールにリップル、ノイズ、過渡信号が乗ると、クロックやデジタルデータに悪影響を及ぼします。クリーンなパワーレールを実現するには、電源ラインの品質と信頼性を検証する必要があります。DC電源に乗るAC信号がさらに小振幅化、高速化する中で、どのように測定するかが課題となります。

エレクトロニクスの機能の増加、密度の上昇、高速化、低電力化に伴って、SIやPIの問題は増え続けています。システムモデリング／シミュレーションツールを使用して性能を予測し、それを補完する測定ツールで実装を評価することにより、プロジェクトのリスクを軽減し、タイムトゥマーケットを短縮することができます。

d) 異なる無線テクノロジーの混在と複数規格対応のデバイス

IoTアプリケーションの多様な性質とニーズに対応するために、さまざまな無線テクノロジーや規格が登場してきました[1]。単純なバッテリー駆動型センサから、自動運転車のための広帯域幅のミッションクリティカルなサービスまで、広範囲のアプリケーションをサポートするさまざまなネットワークが存在します。図1に示すのは、NFC、WiFi、*Bluetooth*®、LTEなど、携帯電話やそれ以外の無線インタフェースをサポートするスマートフォンのようなデバイスです。IoT向けに利用できる規格の種類がこれほど多いことは、測定にとっては大きな課題となります。これらの規格には異なるさまざまな物理層が採用され、それぞれ固有のRFテスト要件を持っています。さらに問題を複雑にしているのは、それぞれの物理層が複数の変調方式をサポートする可能性があることです。

複数の規格をサポートするデバイスの増加とともに、デバイスのテストはますます複雑になっていきます。それぞれの規格には、固有のテスト要件と課題があります。また、開発者は、デバイスが他のデバイスと協調して動作し、複数の規格を同時に処理できることを確認する必要があります。各規格に対して別々の測定器が必要な場合は、テスト機器の費用が増加します。コストパフォーマンスの高い方法としては、必要なすべての規格のテストに対応し、新しい規格が登場した場合はそのサポートを追加できる、1台の測定器を使用する方法があります。

e) 干渉、コンプライアンス、コンフォーマンス

IoTに接続されるデバイスの高密度化とともに、同じ周波数バンドを共有する無線テクノロジーの間で、同一チャネルおよび隣接チャネルへの干渉が発生する可能性があります。例えば、産業科学医療(ISM)用周波数バンドを使用するIoTデバイスの数は、ますます増え続けています。その結果、コードレス電話、無線ビデオカメラ、電子レンジ、ウェアラブルデバイスなどが利用する2.4 GHzのISMバンドは、非常に混雑しています。デバイスがネットワーク要件と規制規格に適合し、このような高密度の信号環境で正しく動作することを検証するために、徹底したテストが不可欠です。これには、コンフォーマンスおよびコンプライアンス規格への適合が含まれます。さらに、スペクトラム環境の検出と捕捉を可能にするリアルタイムスペクトラム解析は、時間変動する干渉源の特定に威力を発揮します。

多数のIoTデバイスが互いに近接して同時に動作する場合にもう1つ懸念される問題は、電磁波障害(EMI)です。電磁環境適合性(EMC)のテストには、大きく分けて4つの種類があります。放射性／伝導性エミッションテストと、放射性／伝導性イミュニティテストです。前の2つは不要なエミッションを生成しないことを目指し、後の2つは不要なエミッションに帯する耐性を目指すものです。コンプライアンス認証測定を実行するには、関連する規格の要件に適合するソリューションが必要です。

3. ソリューションとテストの考慮事項：ソフトウェアとハードウェア

キーサイト・テクノロジーは、デザイン、検証、コンフォーマンス、製造テストのためのさまざまな統合型ソリューションを提供しています。このセクションでは、コンポーネント、回路、システムの各レベルで上記のような課題に取り組んでいるデザイナーや開発者向けのソリューションをいくつか紹介します。

(i) デザインとシミュレーション(a-e)

デザインツールやシミュレーションツールを使用することにより、デザイナーは、複雑なシステムの物理的な基礎を理解することができます。また、複雑で感度が高く、高性能のミックスドシグナル回路の解析を高精度に行うことができます。Keysight EEsofのエレクトロニック･デザイン･オートメーション(EDA)ソフトウェアは、システム、回路、物理レベルのデザインの本質的な困難を解決するために、図3に示すようなデザインフロー全体を対象とするソリューションを提供しています。このようなシステム、コンポーネント、物理レベルのデザインツールに基づくデザインフローを採用することにより、デザインエンジニアはより高品質の製品をより短時間で設計できます。さらに、キーサイトのEDAソフトウェアは、キーサイトのテスト／測定機器と互換性があるため、デザインから検証テストまでのソリューションすべてを活用することができます。

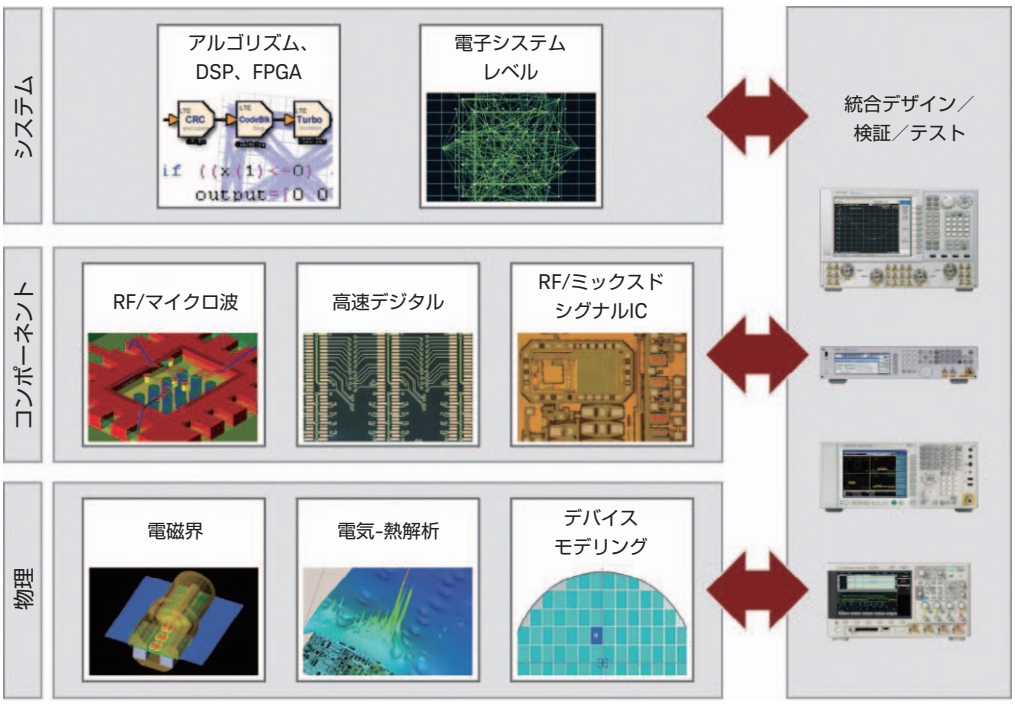


図3.　キーサイトのデザインソフトウェアによるデザインから検証／テストまでの完全なデザインフロー。

開発プロセスの早い段階でのシミュレーションには、SystemVueを使用できます。これはエレクトロニック・システム・レベル(ESL)デザインのためのEDA環境です。図4に示すように、SystemVueを使用すれば、システム設計者やアルゴリズム開発者は、無線通信システムや航空宇宙／防衛通信システムの物理層の技術革新が可能になります。また、RF、DSP、FPGA/ASICの実装でも威力を発揮します。SystemVueには仮想測定ツールも付属し、シミュレーション中にノードに接続して、システムの性能を予測できます。

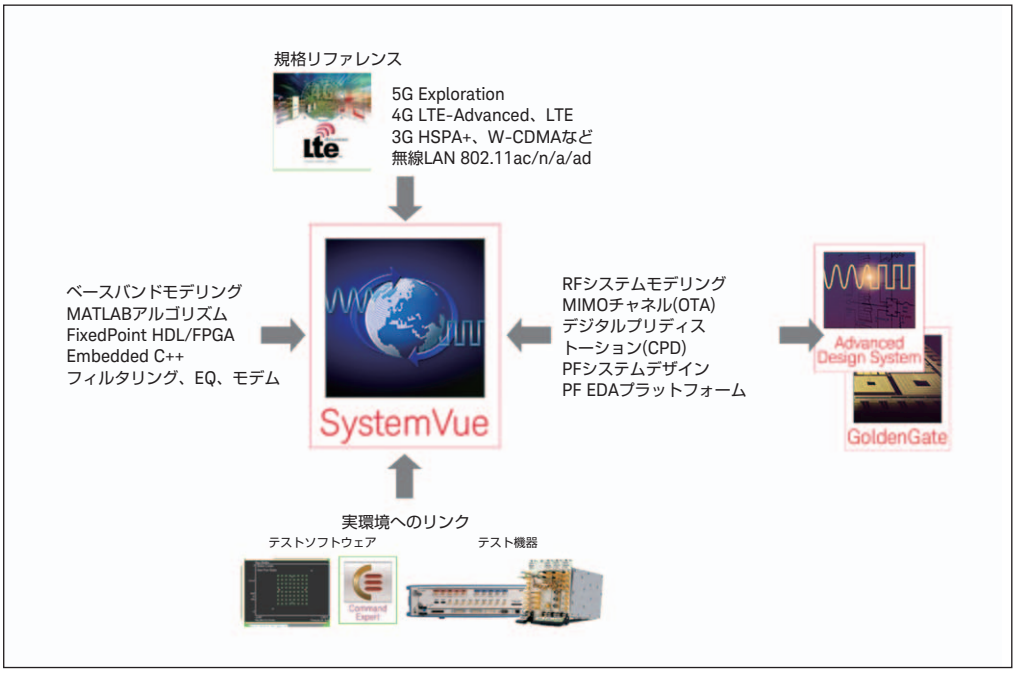


図4.　SystemVueはクロスドメイン開発環境のコアです。

ADS(Advanced Design System)は、RF/マイクロ波／高速デジタルアプリケーション用のツールです。これには、IC、パッケージ、ボードの協調デザインのためのデザインシミュレーション環境が含まれ、複数のツールを使用する際の時間を節約し、ミスを減らす効果があります。IC、パッケージ、ボードの協調デザインにおいて、トレードオフをインタラクティブに行うことができます。複数のテクノロジーを用いて設計された回路を組み合わせて、回路とフル3次元電磁界の両方のレベルでシミュレートすることができます。

ADSには、回路設計環境およびレイアウト環境、回路／システムシミュレータ、3次元プレーナーおよびフル3次元電磁界ソルバー、正確で効率的な電気-熱解析、および多数のプロセス·デザイン·キット(PDK)が付属しています。また、Cadence、Mentor、図研などの企業との協力により、EDAとデザインフローの統合を実現しています。さらに、最適化コックピットによりリアルタイムのフィードバックと制御が可能で、最新の無線ライブラリにより新しい無線規格にも対応できます。非線形高周波回路デザイン用のXパラメータ*モデルの生成も可能です。

ローパワー回路のデザインでは、信号レベルがノイズフロアに近づくにつれて、ノイズ計算がますます重要になります。ADSでは、ACおよびSパラメータシミュレータで線形ノイズシミュレーションを実行できます。ノイズシミュレーションは、各素子から発生するノイズを計算し、回路全体のノイズ特性に与える影響を求めます。ほとんどの場合、回路素子から発生するノイズは自動的に計算されます。例えば、損失のある受動素子は、熱雑音パワーの伝達能力に応じてノイズに寄与します。非線形デバイスからのノイズの寄与は、SPICEで用いられるモデルと同様に、温度およびバイアス依存性を考慮したモデルによって計算されます。

1.　Xパラメータは、米国、欧州、日本などにおけるキーサイト・テクノロジーの商標および登録商標です。Xパラメータのフォーマットと基礎となる式は公開され、文書化されています。詳細については、 http://www.Keysight.com/find/eesof-x-parameters-info をご覧ください。

ADSには、SIPro/PIProによるSI/PI解析も付属しています[1]。SIProは、高密度配線の複雑なPCB上の高速リンクの電磁界解析を、高速かつ正確に実行します。標準的に使用されている有限要素法(FEM)シミュレーションに比べて、SIProは、はるかに短い時間と少ない消費メモリで、ほぼ同等の結果が得られます。PIProは、PDNのPI解析を実行するもので、DC IRドロップ解析、ACインピーダンス解析、電源プレーン共振解析などが可能です。DC IRドロップシミュレータには、PDNの各PCBビア、ピン、シンク、電圧レギュレーターモジュールのDC電圧および電流のテーブルが含まれ、SIおよびPIエンジニアが、電流をシンクするICのピンでのDC電圧を予測するために使用できます。パワーおよびグランド回路での電圧、電流密度、電力損失のビジュアリゼーションにより、問題のある個所を容易に特定することができます。

SIとPIの両方の解析を共通の環境で行うことにより、1つのセットアップを解析タイプの間で容易にコピーすることができます。得られた電磁界モデルは、シームレスに回路図に転送してさらにシミュレーションを行うことができます。統合されたスケマティックの取込み、レイアウト、データ解析環境と、IBIS-AMIチャネル、トランジェント、Sパラメータ、物理層電磁界などの複数のシミュレータにより、最新の規格に適合するデザインを作成できます。ADS環境内でのチャネルシミュレーションをサポートするために、EMProソフトウェアによる複雑なチャネルコンポーネントモデルのフル3次元電磁界シミュレーションや、SystemVueソフトウェアによるカスタムIBIS-AMIトランスミッター (Tx)およびレシーバー (Rx)動作モデルを使用することにより、高速なチャネルシミュレーションを実現できます。このフローでは、異なるツールの間の切り替えが不要になるため、エンジニアリング上のコラボレーションが容易になり、時間を節約できます。

Keysight EDAでは、モーメント法(MoM)、FEM、有限差分タイムドメイン(FDTD)を対象とするさまざまな電磁界シミュレーションテクノロジーを提供しています。Momentumシミュレータは、MoMを使用した受動回路のモデリングと解析により、複雑な多層構造デザインのカップリング効果と寄生効果を正確にシミュレートできます。FEMに基づくFEMシミュレータは、パッケージ、ボンドワイヤー、コネクタなどのコンポーネントの3次元構造を正確にシミュレートできます。EMProと付属のFDTDソルバーの組み合わせは、アンテナ、EMI/EMC、レーダー断面積、バイオメディカルアプリケーション用の最も効率的なソリューションです。

GoldenGateは、統合型ミックスドシグナルRFICデザイン用の高度なシミュレーション、解析、検証ソリューションです。これはCadence ADEに完全に統合されており、Momentumによる3次元プレーナー電磁界シミュレーション、SystemVueおよびPtolemyによるシステムレベル検証用ワイヤレス・テスト・ベンチ、ADSデータディスプレイによる高度なデータ解析機能も備えています。GoldenGateは、システム、サブシステム、コンポーネントレベルのデザインと解析を連携させて、IoTデザイン全体に対する包括的なデザインフローを実現します。

デザインがシミュレーションから実現に移行するにつれて、実際のデバイスモジュールをシミュレーションの代わりに使用できるようになります。実際の測定値またはハードウェア・イン・ザ・ループで仮想ツールを置き換えることにより、シミュレートされた性能と測定された性能を比較することができます。さらに視野を広げるために、シミュレーションを使用して、測定プローブが届かない場所の波形を補間／外挿することができます。デザインからプロトタイプ検証までの継続性のために、キーサイトでは、ベンチトップからモジュラー、ハンドヘルドまで、他に類のない多くのラボグレードテスト機器を提供しています。

(ii) バッテリー電流ドレイン解析(b)

キーサイトのN6781AおよびN6786A 2象限ソース／メジャメント・ユニット(SMU)は、無線機器のバッテリードレイン解析用に設計されています[5-7]。N6781Aは、低電流測定で高い確度を実現し、最大20 V、3 A、20 Wの仕様を備えています。N6786Aは、最新のスマートフォン／ファブレット、タブレット、ノートパソコンなどのハイ・パワー・デバイスに適しており、最大20 V、8 A、80 Wの出力パワーに対応しています。

SMUの最も重要な機能であるシームレス測定レンジ切り替えは、7ディケードに渡り、28/30ビットの分解能により、動的な電流ドレイン信号の正確な測定に威力を発揮します(図5)。また、これらの機器は、バッテリーエミュレーション機能により、出力抵抗を−40 mΩから1 Ωまで変化でき、実際のバッテリーにきわめて近い結果を実現できます。さらに、ゼロ負担電圧電流計および電圧計ロギング動作モードにより、必要な場合は実際のバッテリーを使用してランダウンテストを実行できます。高速な過渡応答により、無線機器に流れるパルス電流に起因する過渡電圧降下を最小化し、200 kHzのサンプリングレートにより詳細な測定情報が得られます。

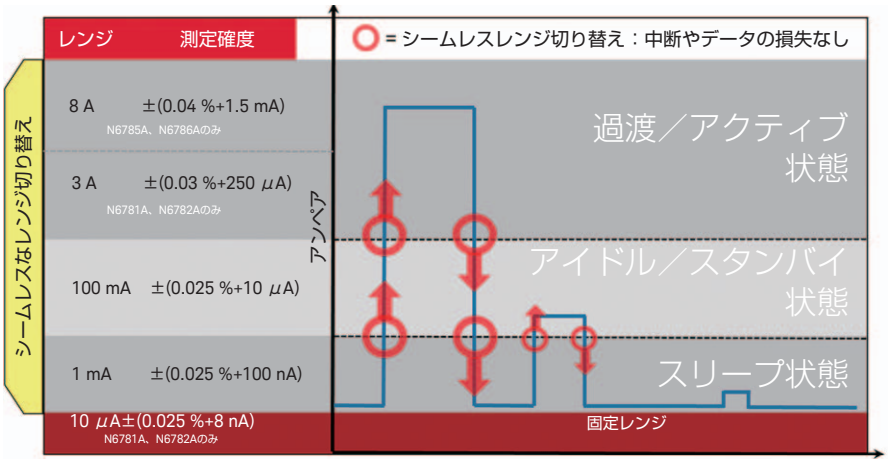


図5.　キーサイトのSMUでは、シームレス測定レンジ切り替えにより、動的信号のレベルをリアルタイムで追跡し、その時点の信号レベルに最適な測定レンジを使用可能。

どちらのSMUも、N6705B DC電源／アナライザのメインフレーム内で動作します。N6705Bは、パワー、波形捕捉、長時間の電流ドレインデータのロギング／表示、および結果の解析のためのプラットフォームです。14585Aソフトウェアは、統計解析やエネルギー測定などの高度なバッテリードレイン機能を追加することで、ソリューションを補完する役割を果たします。

図6に示すのは、GPRSデバイスのバッテリー動作時間を最適化する際に、時間分解能の向上によって得られる知見の例です。左側には、DRXスタンバイ動作の電流ドレインのかなりの部分が捕捉されています。右側の拡大図では、各Rx電流バーストの詳細を観察できます。これにより、この期間中のベースバンドおよびレシーバー動作を理解することができます。

図6.　バッテリー動作時間の最適化のための詳細情報をズームイン表示により取得。

デバイスを評価する際には、デバイスにバッテリーエミュレーター電源を接続して、一定のDC電源をデバイスに供給する場合もあります。また、実際のバッテリーのランダウンテストを行う場合などには、実際のバッテリーを使用する場合もあります。このテストセットアップでは、デバイスをバッテリーで駆動した場合の動作についてさらに詳しい知見が得られます。N6705BとE7515A UXMワイヤレス・テスト・セットの柔軟なネットワークエミュレーションおよびスリープモード機能を組み合わせることにより、デバイスのバッテリー寿命と電流ドレインを、現実的な動作条件で評価することができます(図7)。各動作モードのさまざまな設定、ユーザー機器のアプリケーション、ネットワーク条件がバッテリー消費に与える影響を評価する以外に、デザイン変更、ファームウェア更新、およびキャリアアグリゲーションや高次MIMOなどの複雑な送受信機能の追加による影響を解析することもできます。

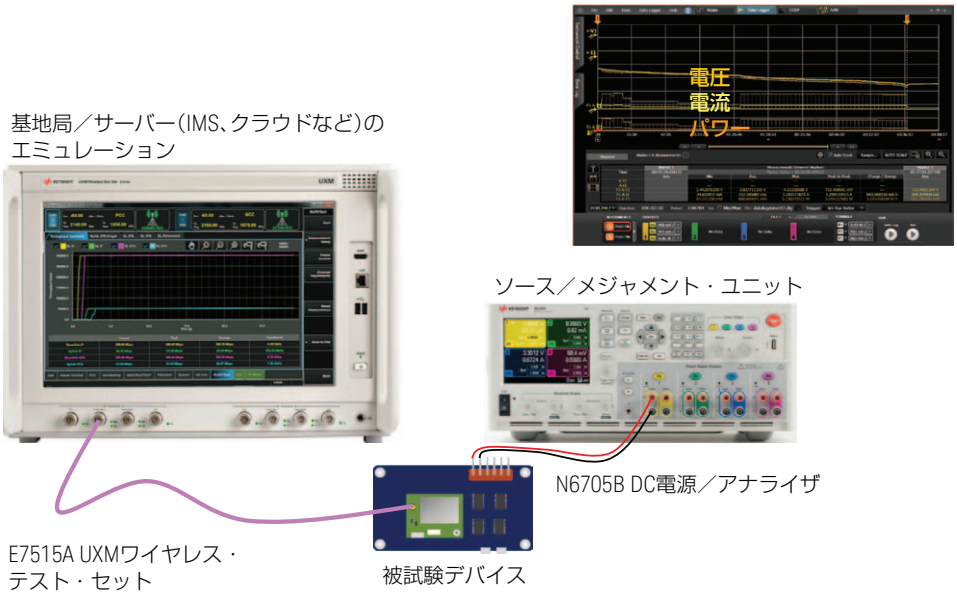


図7.　UXMおよびDC電源／アナライザによるバッテリーおよび電流ドレインの評価。

N6705B DC電源／アナライザのアプリケーションや、デバイスのバッテリー寿命の最適化に関するヒントについては、参考文献の5と6にそれぞれ記載されています。さらに低電流、広帯域の測定には、CX3300Aデバイス電流波形アナライザを使用できます。このアナライザでは、最小150 pAの電流と、最大200 MHzの帯域幅の測定が可能です。

(iii) シグナルインテグリティーおよびパワーインテグリティーツール(c)

SIおよびPIシミュレーションと実際の測定の検証と相関には、さまざまな測定ツールが使用できます。例えば、ENAオプションTDRはインターコネクトテストに対応し、Infiniiumオシロスコープはトランスミッターテストをサポートし、ビット・エラー・レシオ・テスト(BERT)ソリューションはレシーバーテストに使用できます。サポートソフトウェアを使用することにより、これらのツールによる測定の価値をさらに高めることができます。

E5071C ENAオプションTDR[8] は、高速シリアルインターコネクトの解析のためのワンボックスソリューションです。このソリューションでは、図8に示すように、タイムドメイン(TDR/TDT)、周波数ドメイン(Sパラメータ、これによりクロストークの記述が可能)、アイダイアグラム解析が可能です。ENAは、ベクトル・ネットワーク・アナライザやTDRオシロスコープといった従来のソリューションの代わりに使用できます。セットアップウィザードを使用することで、自動的にスキューを調整し、何回かクリックするだけで測定を実行できます。さらに、小さい不連続部の高速で正確な測定が可能です。優れた雑音特性により、従来のTDRオシロスコープで必要だったアベレージングを行わずに、リアルタイムの測定を実行できます。もう1つの利点として、ESD耐性が挙げられます。TDRオシロスコープにESD保護回路を実装するのは困難です。ENAはコンプライアンステストをサポートし、主要な通信規格に関する認証を取得しています。差動およびシングルエンドTDR/TDTプローブと組み合わせることにより、ENAはPCBの品質管理や障害解析に使用できます。

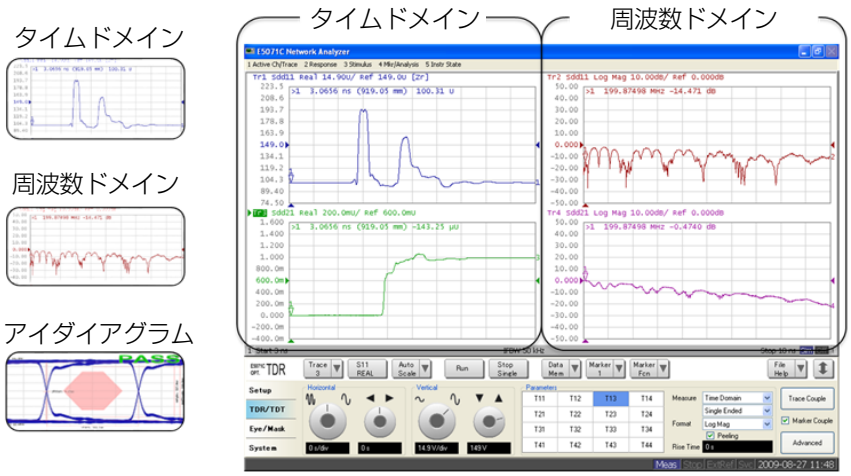


図8.　E5071C ENAオプションTDRでは、タイムドメインと周波数ドメインのリアルタイム測定が可能。

図9.　Infiniium Sシリーズ オシロスコープによる実環境のジッタ測定。

物理層テストシステム(PLTS)ソフトウェア[9] は、インターコネクトのSIを対象として設計されています。これは、PNA、ENA、PXIベクトル・ネットワーク・アナライザ、およびTDRオシロスコープと組み合わせて使用できます。PLTSは、ハードウェアのセットアップ／校正手順をガイドし、データ収集を制御します。また、自動フィクスチャ除去のためのディエンベディングしたモデルの作成により、目的のコンポーネントだけを調べることもできます。システムは使いやすく、ボタン1つでコンプライアンステストを実行できます。

ジッタ測定と波形の表示には、広帯域測定ソリューションが必要です。Infiniium Sシリーズ オシロスコープ[10] は、10ビットADCによる業界最高のSI、低雑音フロントエンド(1 GHz帯域幅で90 μVのRMSノイズ)、最大8 GHzの帯域幅、20 GSa/sのサンプリングレート、200 fs未満のRMS固有ノイズなどの特長を備えています。図9に、これらのオシロスコープによる実際のノイズ測定を示します。ファミリーのすべてのモデルは、同じタイムベーステクノロジーを使用し、ジッタの水平成分が小さいため、短いレコード長で130 fs未満の測定が可能です。Sシリーズは、DDR、eMMC、MIPI、USBなどのさまざまなコンプライアンスアプリケーションをサポートしています。

Sシリーズには、測定からさらに深い洞察を得るためのソフトウェアアプリケーションが用意されています。InfiniiScanを使用すれば、表示はできても、ハードウェアトリガでは指定できない複雑なイベントでトリガできます。このソフトウェアは、数千個の捕捉した波形サイクルをスキャンして、異常な信号動作を特定できます。シリアルデータ解析では、埋め込みクロックを使用した高速シリアルインタフェースのSIを迅速に検証できます。EZJIT、EZJIT-Plus、EZJIT-Completeは、最も一般的に必要とされるジッタ測定の特性評価に利用できます。N8833Aクロストーク解析アプリケーション[11] は、クロストークの原因を検出して定量化することにより、クロストークの診断を支援します。さらに、N8833Aでは、予想される改善を視覚化することにより、指定したアグレッサーをビクティムから除去したときに回復可能なデザインマージンの大きさを定量化することができます(図10)。

図10.　FEXTを伴うビクティム波形のクロストーク「除去前」と「除去後」の表示。一番上のプロットには、ビクティム波形(緑)、アグレッサー波形(オレンジ)、クロストークを除去した後の波形(赤)が表示されています。中央のプロットにはビクティムのアイダイアグラムとFEXTを示すバルジングが表示されています。一番下のプロットは、クロストークを除去した後のビクティムのアイダイアグラムです。

重要なこととして、オシロスコープ自体が歪み、ノイズ、損失などのSIの問題を抱えていることを考慮する必要があります[12]。優れたSI特性を持つオシロスコープを使用すれば、被試験信号のより忠実に再現できます。表1に被試験信号を正確に表示するために重要なオシロスコープの7つの特性を示します。

表1.　被試験信号の正確に表示するために重要なオシロスコープの特性。

シグナルインテグリティー指標	オシロスコープブロック	調べる方法
分解能	ADCビット数	製品データシート
ノイズ	フロントエンド	ほとんどのメーカーが製品データシートに記載しています。
ハードウェアでサポートされる垂直軸スケール	ADC/フロントエンド	ソフトウェアによる拡大がいつ始まるかはデータシートに記載されていない場合もあります。メーカーによっては小さい感度値で帯域幅制限が行われる場合があります。
周波数応答のフラットネス	アナログフィルターおよび補正フィルター	製品データシートには通常は記載されていません。評価対象モデルの振幅および位相応答については、メーカーに問い合わせる必要があります。
タイムスケール確度	タイムベース	製品データシート
固有ジッタの大きさ	タイムベース	メーカーによって記載されている場合とされていない場合があります。データシートにない場合はメーカーに問い合わせてください。
ENOB(有効ビット数)	垂直軸／水平軸オシロスコープシステムの組み合わせ	メーカーによって記載されている場合とされていない場合があります。データシートにない場合はメーカーに問い合わせてください。

レシーバーテストに関しては、キーサイトのBERTソリューションを使用して、低コストの製造テストと高性能特性評価、および最高32 Gb/sのコンプライアンステストを実行できます。例えば、J-BERT M8020A[13] は、シリアルI/Oポートを備えたチップ、デバイス、ボード、システムの特性評価とコンプライアンス検証を行う研究開発およびテストエンジニア向けに設計されています。必要なすべてのレシーバーテスト機能が内蔵され、USB Super SpeedやMIPI™ M-PHYなどの一般的なシリアルバス規格のテストに使用できます。

DC電源に乗っている小さいAC信号の測定や、高周波負荷から生じる過渡信号の捕捉に使用するPIソリューションには、低雑音、一般的なレール電圧のサポート、低負荷、広帯域などの特性が必要です。N7020Aパワー・レール・プローブおよびN2820A高感度電流プローブをInfiniium Sシリーズと組み合わせて、PIアナライザのリファレンスソリューションを構成できます[14]。このソリューションを使用すれば、DCパワーレールに隠れている信号を詳細に観察することができます(図11)。N7020Aは、1:1の減衰比、±24 Vのオフセット、2 GHzの帯域幅を備え、クロックやデータのジッタにつながる高周波ノイズや過渡信号を捕捉できます。ノイズを削減するために、帯域幅制限することも可能です。ローパワー測定が必要な場合、N2820Aでは50 μAレンジまでの電流を測定できます。

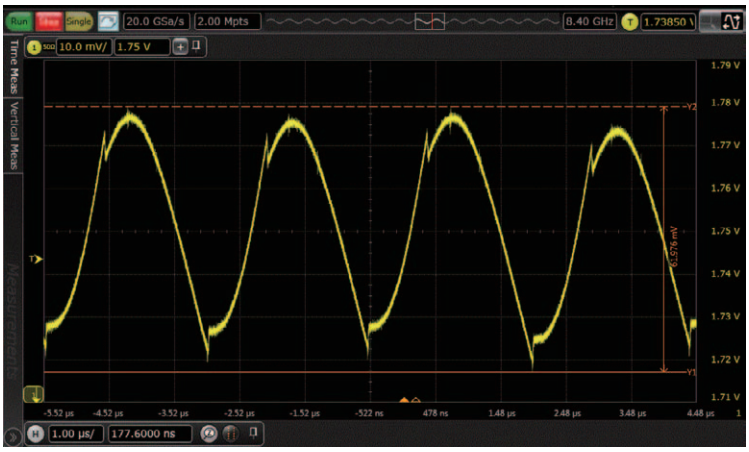


図11.　代表的な1.8 V DC電源に乗ったリップル、ノイズ、過渡信号のズームイン表示。

(iv) ワイヤレス・テスト・ソリューション(d)

IoTデバイスの開発にあたって、現在と将来の無線規格をサポートするソリューションが必要な方のために、キーサイトではさまざまなハードウェアプラットフォーム、ベンチトップ、モジュラー、ワンボックステスターを提供しています(図12)。これらの製品には、機能を拡張し、測定からさまざまな解析をするためのソフトウェアが用意されています。キーサイトのソリューションを使用する利点は、共通の測定技術により、研究開発から製造までの製品のライフサイクル全体で、一貫した比較可能な測定結果が得られることです。

デザインおよびプロトタイプ評価フェーズでは、高性能とフロントパネル機能を持つXシリーズ シグナル・アナライザ／信号発生器のようなベンチトップ測定器が最適です。製品ライフサイクルが進むにつれて、テスト速度、柔軟性、占有面積といった基準が重要性を増し、M9420A VXT PXIeベクトル・トランシーバーやE6640A EXMワイヤレス・テスト・セットなどのモジュラーソリューションやワンボックス・テスター・ソリューションが、より適した候補となります。例えば、EXM[15] は、同クラスのワンボックステスターの中で最も広範囲の規格に対応し、定期的なアップデートにより新しい規格が追加されています。現在サポートされる規格として、2G/3G/4Gの携帯電話規格、無線LAN、ZigBee、*Bluetooth*® Wi-SUNがあります。また、4つのTRXチャネルへの拡張も可能です。各TRXは、ベクトル･シグナル･アナライザ(VSA)、ベクトル信号発生器(VSG)、4ポートのRFIOを備え、最大6 GHzの周波数レンジと160 MHzの帯域幅に対応しています。ポートは、2×半二重+2×全二重、または4×全二重に構成できます。

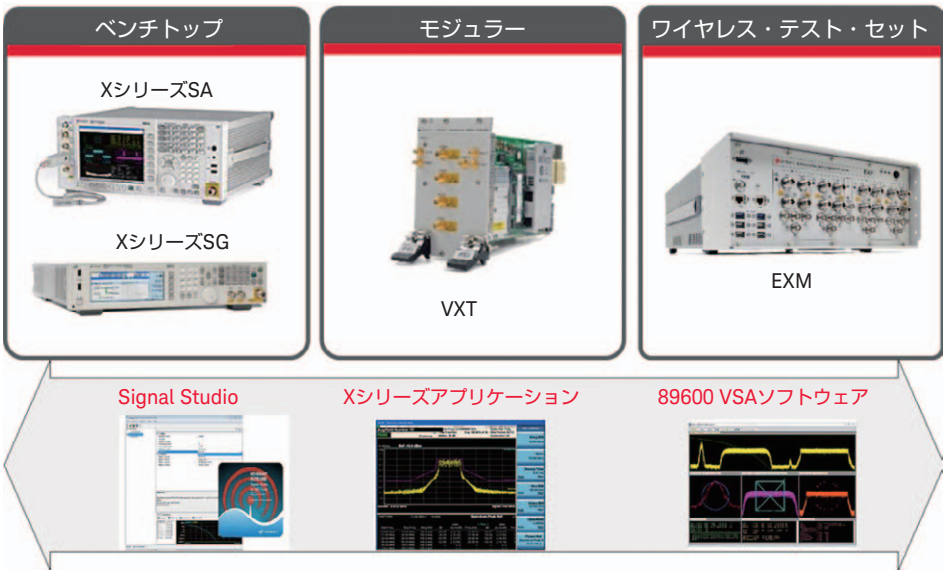


図12. ベンチトップ、モジュラー、ワイヤレス・テスト・セットに共通するキーサイトの測定技術。下のソフトウェアは、これらのハードウェアを補完して、機能を拡張し、測定データからさまざまな解析が可能です。

キーサイトでは、デザインとテストを容易にするために、ベンチトップ、モジュラー、ワンボックス・テスト・プラットフォームで使用できる3つの定評あるソフトウェア・アプリケーションを用意しています。Signal Studioソフトウェアはカスタム波形や規格に準拠した波形の作成に、Xシリーズ測定アプリケーションはさまざまなIoT無線規格のワンボタンテストに使用できます。信号作成ソフトウェアおよび測定アプリケーションに加えて、89600 VSAソフトウェアは、業界最先端のデジタル変調解析ソフトウェアであり、無線規格の詳細なトラブルシューティングに最適です。

一体型テストセットとは別に、中小規模のメーカーは、ASK/FSKや低コストの*Bluetooth*®、ZigBeeなどの実装向けに、コストパフォーマンスの高いソリューションを選択する可能性があります[16-19]。N9320B/N9322Cベーシック・スペクトラム・アナライザ(BSA)は、低コストのデバイスやモジュールをテストするためのコストパフォーマンスの高いソリューションとして利用できます。BSAは、民生用エレクトロニクス製品の研究、開発、製造や、ベンチ修理、大学、汎用スペクトラムモニターなどの用途に最適です。

図13に示すT3111S RIDER NFCコンフォーマンス・テスト・システムは、NFC、EMV、ISOデバイスのRFアナログ／デジタル・プロトコル・テスト用のワンボックスソリューションです。このテストシステムは、T1141A NFCテストセットに基づいたもので、キーサイトまたはFIMEのロボットと組み合わせて、正確で再現性のあるRFテストが可能です。T3111Sは、NFCフォーラム認証プログラム向けに正式に検証されたテストプラットフォームです。また、EMVレベル1のカードおよびターミナルタイプの認証も取得しています。さらに、キーサイトでは、NFCの研究開発エンジニア向けに、Infiniium Sシリーズ オシロスコープと33522B波形発生器によるソリューションも用意しています。

図13.　NFC、EMV、ISOデバイスのRFアナログ／デジタル・プロトコル・テスト用のT3111S RIDER NFCコンフォーマンス・テスト・システム。

(v) リアルタイムスペクトラム解析(d、e)

リアルタイム・スペクトラム解析は、さまざまな課題に対処するために利用できます。例えば、実環境での性能のトラブルシューティングや、性能に影響している可能性がある、過渡的できわめて持続時間の短い干渉信号(意図的なものも、そうでないものも)の捕捉などです。この機能は、UXA、PXA、MXAシグナル・アナライザのアップグレードオプションとして利用できます。リアルタイム・スペクトラム・アナライザ(RTSA)[20、21] オプションを使用すれば、最短3.33 nsの信号の検出、510 MHzのリアルタイム帯域幅のスキャン、外部ミキシングを使用することでTHz単位の周波数のリアルタイム信号解析が可能です。効果的なトリガにより、複雑な信号内の目的の信号に注目し、大信号の存在下で小信号を表示することもできます。

89600A VSAソフトウェアは、RTSAを補完して、捕捉した複雑な信号をさらに詳細に解析できます。N9077A無線LAN測定アプリケーションとRTSAにより、シグナル・アナライザは、ISMおよびUNII(2.4 GHzまたは5 GHz)バンド中のさまざまな信号から生じる干渉を特定することができます。図14に、さまざまなフォーマットのリアルタイムスペクトラム解析の結果を示します。これらは、変化の速い信号、発生頻度の低い信号、予期しない信号を検出するために威力を発揮します。密度表示は、スペクトラム環境の成分の継続的な変化を詳細に表示できます。ここでは、カラースケールによって発生頻度が示されています。スペクトログラムは、周波数スペクトラムの時間変化を示し、カラーによって振幅を示しています。情報はリアルタイムで更新され、信号の変化が、スペクトラムドメイン、タイムドメイン、スペクトログラム表示で示されます。

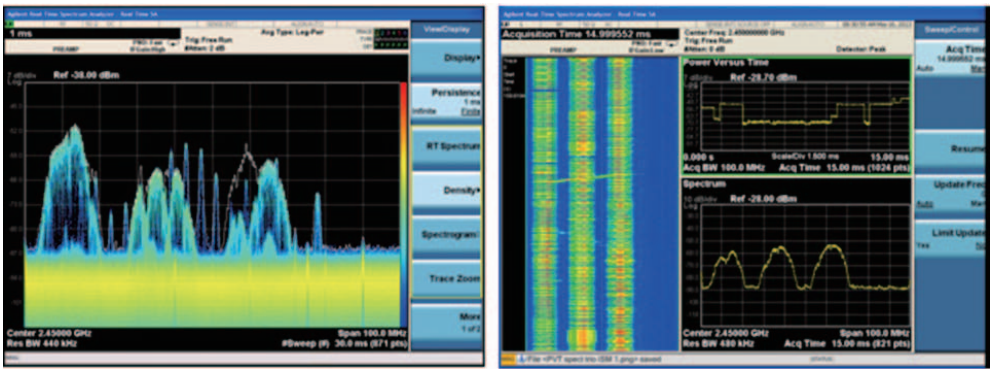


図14. リアルタイムスペクトラム解析結果の表示。(a)密度形式、(b)スペクトログラムおよびパワーの時間変化。

(vi) EMI/EMC (e)

開発サイクルの早い段階でキーサイトのEDA EMProソフトウェアを使用することにより、電子回路やコンポーネントの放射エミッションをシミュレートすることができます。計算結果を使用して、エミッションが一般的なEMC規格(CISPR、FCC Part 15、MIL-STD-461Gなど)に指定されたレベルの範囲内にあるかどうかを求めることができます。モデリングにより、デザイナーはハードウェアの開発前にエミッションのレベルを予測できます。

EMCコンプライアンス違反によるプロジェクトの遅延を防ぐために、開発チームは新しいデザインのプリコンプライアンステストを早い段階で実行して、EMIの問題を発見することができます。N/W6141A EMI測定アプリケーションは、Xシリーズ スペクトラム・アナライザ(PXA/MXA/EXA/CXA)上で動作し、EMCに特化した広範囲のデータ収集および解析ツールにより、プリコンプライアンステストを支援します。

EMCコンプライアンステストの成功は、テストキュー内で製品を迅速かつ効率的に通過できるかどうかにかかっています。N9038A MXE EMIレシーバーを使用すれば、CISPRおよびMIL-STD規格に完全に準拠したテストを実行できます。EMIテストソリューションを完成するためには、キーサイトのソリューションパートナーが一元的な窓口となって、MXEと組み合わせて使用する電波暗室、アンテナ、ソフトウェア、付加価値統合、プローブなどを提供しています。図15に、放射EMI測定のテストセットアップを示します。

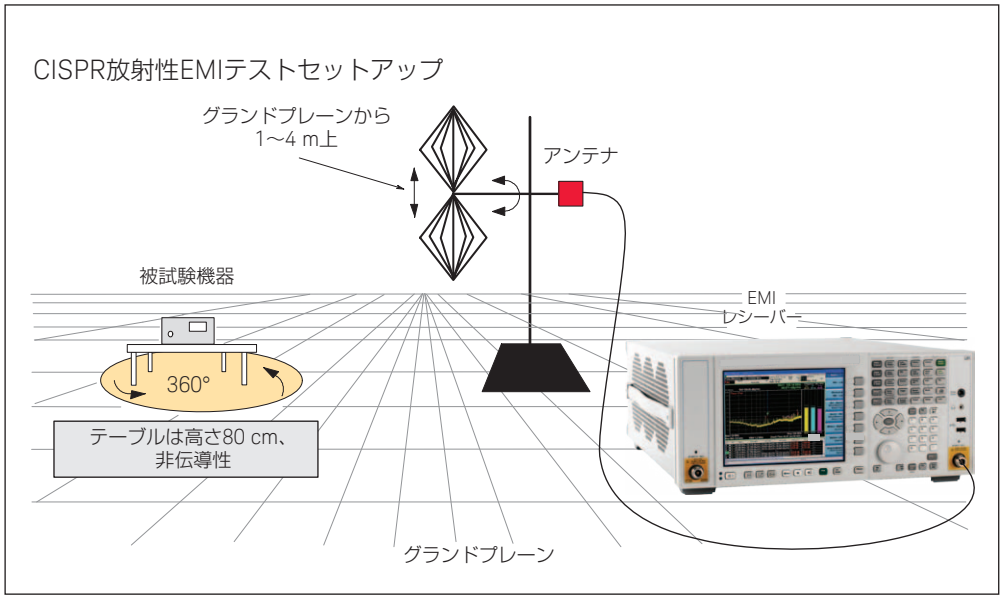


図15.　放射EMI測定に使用するテストセットアップ。

4. まとめ

IoTデバイスのデザイナーや開発者が直面する課題は日に日に困難になり、それに対処するには信頼できる正確なテスト／測定ソリューションが必要です。キーサイトのソリューションを使用することにより、市場投入までの時間を短縮できるだけでなく、デバイスが市場で受け入れられる可能性を高めることができます。

キーサイトでは、製品ライフサイクルのすべてのフェーズを対象としたソリューションを提供することで、デバイスのデザイナーや開発者の課題への対処を支援します。各ソリューションは、キーサイトの継続的なイノベーションと新技術開発への投資によって支えられ、最新の規格をサポートするとともに、現在と今後のテストと測定のニーズに応えます。今日のデバイスのデザイナーや開発者に最先端のソリューションを提供し続けるために、キーサイトは業界の多数のコミュニティーに参加し、お客さまと密接に協力して開発を進めています。これにより、アップグレード、アップデート、後付けといった手段で最新のテクノロジーに対応し続けることができます。

5. 参考資料

[1] The Internet of Things:Enabling Technologies and Solutions for Design and Test (5992-1775EN)

[2] Sojuyigbe, S.; Daniel, K., "Wearables/IOT devices:Challenges and solutions to integration of miniature antennas in close proximity to the human body," in Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity, 2015 IEEE Symposium, pp.75-78, 15-21, March 2015

[3] W2360EP/ET SIPro、W2359EP/ET PIPro (5992-1291JAJP)

[4] Understanding Signal Integrity (5988-5978EN)

[5] 移動体デバイス／無線デバイスのバッテリー寿命の向上(5991-0519JAJP)

[6] 移動体デバイスのバッテリー寿命を最適化するための10のヒント(5991-0160JAJP)

[7] Battery Life Challenges in IoT Wireless Sensors and the Implications for Test (5991-2698EN)

[8] E5071C ENAオプションTDRエンハンスド・タイム・ドメイン解析(5990-5237JAJP)

[9] 物理層テスト・システム・ソフトウェア(PLTS)2016(5989-6841JAJP)

[10] Infiniium Sシリーズ高分解能オシロスコープ(5991-3904JAJP)

[11] N8833A/N8833Bリアルタイムオシロスコープ用クロストーク解析アプリケーション (5992-1308JAJP)

[12] Evaluating Oscilloscope Signal Integrity (5991-4088EN)

[13] J-BERT M8020A高性能BERT(5991-3647JAJP)

[14] Power Integrity Analyzer, Reference Solution (5992-1292EN)

[15] E6640A EXMワイヤレステストセット(5991-4287JAJP)

[16] A Cost-effective Way to Test Sub 1-GHz Wireless Modules (5992-1142EN)

[17] A Cost-effective Way to Test *Bluetooth*® Modules on Smart Devices (5992-1118EN)

[18] A Flexible Test Solution for 2.4 GHz ZigBee Transmitter and Receivers (5992-0464EN)

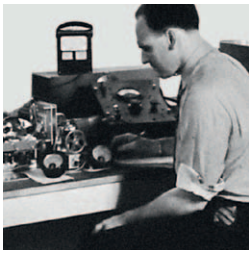
[19] A Cost-Effective Solution to Test Zigbee-enabled Smart Home Devices (5992-1298EN)

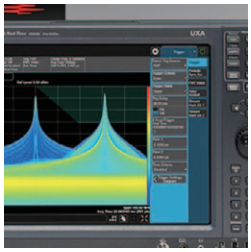
[20] リアルタイム･スペクトラム･アナライザ、Xシリーズ シグナル･アナライザ(5991-1748JAJP)

[21] Real-Time Spectrum Analysis for Troubleshooting 802.11n/ac WLAN Devices (5991-2652EN)

ヒューレット・パッカードからアジレント、そしてキーサイトへ

キーサイトは、75年以上もの間、電子計測によって未知なる世界を解き明かしてきました。キーサイト独自のハードウェア、ソフトウェア、スペシャリストが、お客様の次のブレークスルーを実現します。Unlocking measurement insights since 1939.





1939 未来

myKeysight

www.keysight.co.jp/find/mykeysight
ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2015
Quality Management System

Keysight Assurance Plans

www.keysight.com/find/AssurancePlans
Up to ten years of protection and no budgetary surprises to ensure your instruments are operating to specification, so you can rely on accurate measurements.

Keysight Infoline

www.keysight.com/find/service
測定器を効率よく管理するためのオンラインサービスです。無料登録により、保有製品リストや修理・校正の作業履歴、校正証明書などをオンラインで確認できます。

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners
キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。
お気軽にお問い合わせください。

*Bluetooth*および*Bluetooth*ロゴはBluetooth SIGの登録商標で、キーサイト・テクノロジーズ・インクにライセンスされています。*Bluetooth*のインスタンスはすべてイタリック体で表記します。

* Xパラメータは、米国、欧州、日本などにおけるキーサイト・テクノロジーの商標および登録商標です。Xパラメータのフォーマットと基礎となる式は公開され、文書化されています。詳細については、http://www.Keysight.co.jp/find/eesof-x-parameters-info をご覧ください。

MIPIは、MIPI, Inc.の登録商標です。

キーサイト・テクノロジー合同会社
本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口
受付時間 9:00-18:00（土・日・祭日を除く）
TEL 0120-421-345 (042-656-7832)
FAX 0120-421-678 (042-656-7840)
Email contact_japan@keysight.com
ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

© Keysight Technologies, 2016
Published in Japan, March 16, 2016
5992-1478JAJP
0000-00DEP
www.keysight.co.jp