

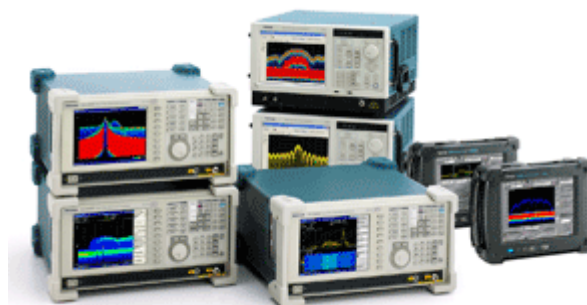


導入事例集 スペクトラム・アナライザ

独立行政法人 理化学研究所 Spring8 様

「夢の光」X線レーザーの実現に テクトロニクスの実タイム・
スペクトラム・アナライザが貢献

導入製品：RSA6100 シリーズ・スペクトラム・アナライザ



ソニー株式会社 様

テクトロニクスの RTSA が非接触 IC カード技術「FeliCa」対応システムのカード・リーダ/ライタ間の通信状態の
モニタリングに活躍

導入製品：RSA3408A 型スペクトラム・アナライザ

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 様

高エネルギー研究機構(KEK)、シンクロトロン内のベータトロン振動解明にリアルタイム・スペクトラム・アナライザを導入

導入製品：RSA3408A 型スペクトラム・アナライザ

CETECOM 社 様

RFID テスト・システムにリアルタイム・スペクトラム・アナライザを採用

導入製品：RSA3408A 型スペクトラム・アナライザ

オムロン株式会社 様

オムロン、RFID のタグとリーダライタ間の通信をリアルタイムにモニタ。

エアで起こる問題を明確に切り分けて、開発を加速

導入製品：RSA3408A 型スペクトラム・アナライザ

栃木県産業技術センター 様

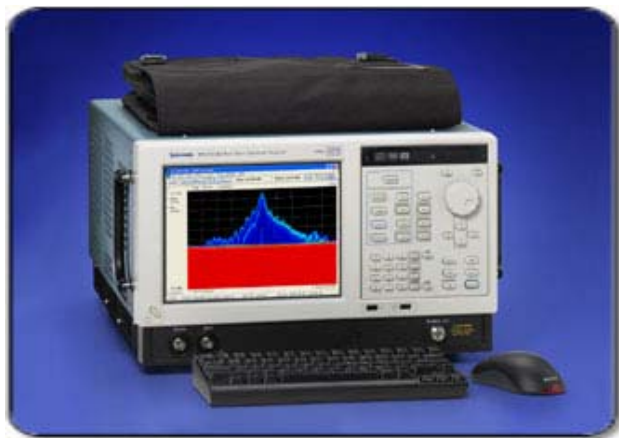
ZigBee を使った無線タグシステムの通信技術確立にリアルタイム・スペクトラム・アナライザを活用

開発のスピードを大幅にアップ

導入製品：RSA3408A 型スペクトラム・アナライザ



SPring-8 (理化学研究所播磨研究所) 「夢の光」X線レーザーの実現に テクトロニクスの実タイム・スペクトラム・アナライザが貢献



■ 概要

課題	パルス変調されたマイクロ波を毎秒 60 回の頻度で発生しており、そのスペクトルを 1 パルスずつ解析しなかった。また、数秒間にわたるパルス列の特性も知らなかった。しかし適切な測定器がこれまでなかった。
ソリューション	リアルタイム・スペクトラム・アナライザ (RTSA) 「RSA6114A 型」と「オプション 02」、「オプション 20」、「オプション 110」を選定した。
利点	数秒にわたって個々のパルスの特性を素早く解析することで、マイクロ波パルス列の発生タイミングや位相などの調整が簡単になる。また、パルス高周波機器の特性を詳しく測定できる。

■ 背景

より強力な X 線を求めて

「エックス (X) 線」といえば、胸部レントゲン撮影がなじみ深い。非常に弱い X 線を人体に照射し、撮影画像を病気の診断に役立てる。一方、強力な X 線は、物質の微細な構造を調べるために使われる。より強力な X 線を使うと、少ない量の材料で、微細な構造を調べられるようになる。X 線は光と同じ電磁波であり、光のレーザーと同様に X 線のレーザーを作れば、波長と位相のそろった極めて強力な X 線が利用できる。ただし、強力な X 線レーザーの開発は容易ではない。現在考えられているのは、電子を非常に大きなエネルギーで加速し、周期的に変化する磁場中に電子を通して X 線を発生させるレーザー装置「X 線自由電子レーザー」である。

日本では、独立行政法人理化学研究所が財団法人高輝度光科学研究センターと協力して「X 線自由電子レーザー」の開発に取り組んでいる。

こういった大型プロジェクトでは、基本要素の確認作業が欠かせない。そのため「X 線自由電子レーザー」のプロトタイプ (試験加速器) が世界最高性能の大型放射光施設「SPring-8」の敷地内に建設済みである。加速エネルギーは 250 メガエレクトロンボルト (MeV)。電子ビームを射出する「電子銃」、電子を加速する「線形加速器」、X 線を発生する「アンジュレータ (周期磁場)」といった基本要素はすべて備えている。2006 年 6 月には波長 49 ナノメートル (nm) のレーザー増幅実験に成功し、開発プロジェクトを大きく前進させた。

■ 課題

クライストロンの安定動作

X 線自由電子レーザーでは、電子を光速の 99.9999% の速度に加速する。電子を加速する装置「線形加速器」には、加速管と呼ばれる純銅の管が並んでいる。マイクロ波パルスによる高周波の高電界を加速管に送り込み、電子を連続的に加速していく。

加速管に供給するマイクロ波パルスは、専用の装置で生成する。「パルスモジュレータ」と呼ぶ変調器と「クライストロン」と呼ぶ真空管増幅器を使い、マイクロ波パルスを 1 秒間に 60 回 (60Hz) の割合で発生させる。

ここで重要なのは、マイクロ波パルスの安定性である。マイクロ波パルスが安定しないと、安定した加速性能が得られないからだ。現在はマイクロ波パルスをモニターするシステムを備えており、検波したマイクロ波信号をアナログ・デジタル変換 (A-D 変換) ボードに取り込み、ネットワーク経由でメモリーに記憶している。モニターしたパルスを見ながら、パルスの発生タイミングや位相などを調整する。ただし、メモリーが記録できる期間は約 10 マイクロ秒とそれほど長くない。マイクロ波パルスの長さは 2.5 マイクロ秒、パルスの発生周期は 60 分の 1 秒 (16.67 ミリ秒) なので、1 回に取り込めるパルスは 1 個だけである。数多くのパルスを解析するには、多くの手間を必要とする。

またモニター・システムでは、検波用の発振器とクライストロンの発振器を共用していた。発振器を共用している場合、発振器特有の雑音が見えてしまう。この雑音を見るには、相関のない



理化学研究所播磨研究所
新竹電子ビーム光学研究室
研究員 前坂 比呂和様

発振器を積んだ、個別の測定器を使う必要がある。

■ 機種選定 ■

マイクロ波パルスを1個ずつ解析

そこで新たに導入を決めたのが、リアルタイム・スペクトラム・アナライザ「RSA6114A 型」である。個々のマイクロ波パルスを取り込んで、特性を解析、表示できるスペクトラム・アナライザだ。「RSA6114A 型」の測定周波数範囲は9kHz~14GHz。クライストロンの中心周波数である2.856GHzと5.712GHzを十分カバーする。オプションは「オプション 02」、「オプション 20」、「オプション 110」を採用した。「オプション 02」はレコード長を標準の4倍にすると同時に周波数マスク・トリガを実現するオプション、「オプション 110」は取り込み帯域幅を110MHzに広げる(標準は40MHz)オプションである。両者を組み合わせることで、取り込み帯域幅110MHzでのレコード長が1.706秒、同60MHzでのレコード長が3.413秒になる。「1回のトリガで、パルス列を数秒間にわたって取り込みたい」(理化学研究所 播磨研究所 新竹電子ビーム光学研究室 研究員 前坂比呂和様)とのご要望に応える性能を発揮していることが分かる。



クライストロンの外観。線形加速器にマイクロ波パルスを供給する

「オプション 20」は、パルスの立ち上がり時間、パルス幅、パルス・ピーク電力、パルス平均電力、パルス・パルス間位相周波数偏差などを測定するオプションである。個々のパルスを素早く解析し、一覧表示してくれる。

機種選定に当たっては、マイクロ波のパルスを1個ずつ取り込んで解析する機能が必須だった。「この要望に応えられるのは、テクトロニクス社のリアルタイム・スペクトラム・アナライザだけでした。テクトロニクス製品の中で、どれにしようかということで、最新の機能を備えたフラッグシップ・モデルの RSA6114A 型を選定しました」(前坂様)。

「RSA6114A 型」には、1464 個のスペクトラム情報をまとめ、1 画面(1 フレーム)に周波数別に発生頻度を色表示する「DPX ライブ・スペクトラム表示」機能がある。「初めにパルス列の発生状況を素早く把握するには、とても良い機能だと感じました」(前坂様)。

■ 今後の展望 ■

クライストロンを60台以上並べる

なおプロトタイプ(試験加速器)では、全長60メートルのトンネル内に直線状にさまざまな装置を配置してある。



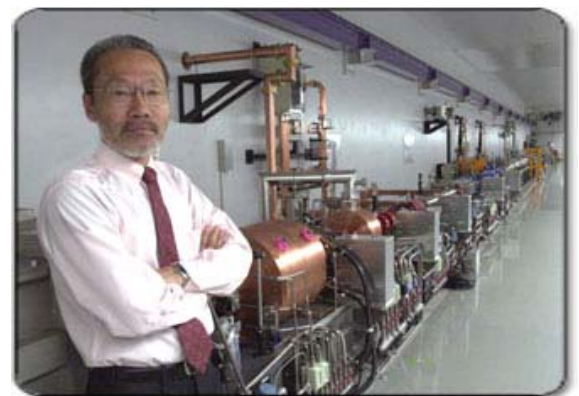
理化学研究所播磨研究所専任研究員の 大竹 雄次様(左)と 同研究員の 前坂 比呂和様(右)

「X線自由電子レーザーの開発で最も難しいのは、トンネル内の機器をまっすぐにはっきりと並べること」(同主任研究員 新竹 積様)。

特に重要なのはアンジュレータにおける電子ビーム軌道の微調整(アラインメント)である。アラインメント装置の架台には、温度変化による伸び縮みの少ないセラミック材料(コーズライト)を採用した。「熱膨張係数の低い材料を探していて偶然、見つけることができました」(新竹様)。

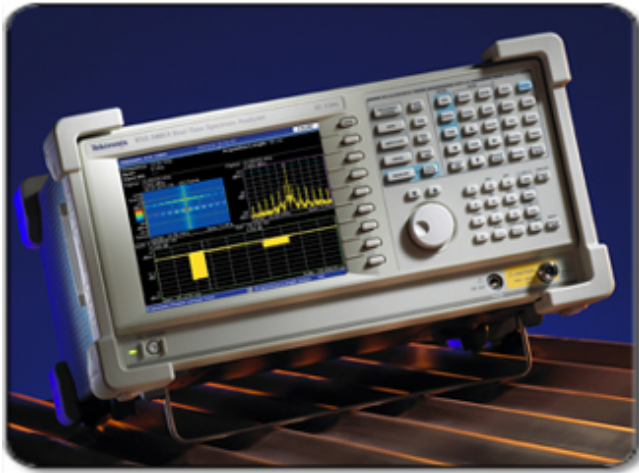
「X線自由電子レーザー」の本装置では、トンネルの全長は600メートル以上にも及ぶ。8ギガエレクトロンボルト(GeV)の加速エネルギーで、発振波長0.06ナノメートル(nm)のX線を取り出す。2010年度の運転開始を目指し、建設が始まったところである。

当然ながら、線形加速器も強力になる。5.712GHzのマイクロ波を扱うクライストロンを60台以上並べる予定である。「クライストロンでパルスを増幅する前後のスペクトルの違いや、時間経過によるスペクトルの変化などの解析にも「RSA6114A 型」を活用したいと考えています」(前坂様)。「夢の光」の実現に向け、「RSA6114A 型」はさらに活躍してくれるに違いない。



理化学研究所播磨研究所主任研究員の 新竹 積様。背後にあるのが X線自由電子レーザーのプロトタイプ(試験加速器)

ソニー株式会社 テクトロニクスが非接触ICカード技術「FeliCa」対応システムの カード・リーダ/ライタ間の通信状態のモニタリングに活躍。



■ 概要

課題	リーダ/ライタからの大きな信号に隠れた非接触 IC カードからの微少かつダイナミックな応答を、スペクトラムの変化として捉えることが困難であった。
ソリューション	リアルタイム・スペクトラム・アナライザ (RTSA) を導入することで、それまでのオシロスコープで捉えた波形を基にした評価に加えて、スペクトラムのダイナミックな変動を細部まで捉えることができるようになった。
利点	微少な通信のやりとりを追うことができるようになったことで、再現性が高く作業依存性の少ない簡便な測定が可能になった。

■ 背景 ■

出荷累計1億2千万個の実績を誇る 非接触 IC カード・システムの性能測定

FeliCa はソニー株式会社様が開発した非接触 IC カード技術方式です。複数のカード機能を1枚で実現できるマルチアプリケーションを最大の特長とし、1988年に開発がスタート、97年に香港で利用が始まったのを皮切りに用途が急拡大。日本でも全国の様々な交通機関の乗車券や電子マネーEddyをはじめ各所で採用が進み、ワールドワイドでの IC 出荷累計は2006年の3月時点で既に1億2千万個を超えています。

FeliCaは、13.56MHzの搬送波周波数、マンチェスタ符号化方式によるビットコーディング、変調方式にASKを使用、通信速度は212kbps、タイムスロット方式による衝

突検出/回避でカードとリーダ/ライタ間の一連の通信を0.1秒以内で完了する高速性を有しています。

ソニー株式会社コアコンポーネント事業グループの岡村様はISOに準拠した測定方法におけるデータの解析とFeliCaの評価方法の検討を担当されています。今後、互換性の維持や性能及び品質を確保するためにも測定技術の確立は重要な位置づけにあります。

■ 測定に対する課題 ■ 変動するスペクトラムの抽出と 高いダイナミックレンジの必要性

FeliCaはISO/IEC18092 (212kbps Passive mode) 規格に準拠した非接触ICカード技術です。非接触ICカードのRF部の評価方法ではISO10373-6などで測定法を規定していますが、いずれも測定にはオシロスコープを使うことが前提になっています。しかし、検討内容によっては時間領域以外にも周波数領域の解析を必要とすることがあります。特にカード・リーダ/ライタ間に生じる通信不可領域(通信不能なポイント)の解析などには周波数領域での測定がぜひとも必要でした。

ところが、非接触ICカード・システムではスペクトラム測定を困難にする二つの課題がありました。第一の課題は、カードとリーダ/ライタのスペクトラムが短い時間でダイナミックに変化することです。通常、スペクトラムの測定にはスペクトラムアナライザを使用しますが、従来のスペクトラムアナライザは測定中に変化のない定常的なスペクトラムを前提としています。このためスペクトラムが短い時間の中でダイナミックに変化する非接触ICカード・システムの通信状態のモニタリングには使うことができませんでした。



ソニー株式会社
コアコンポーネント事業グループ
FeliCaビジネスセンター
関連技術部 互換性技術課
技術グループ グループ・リーダー
岡村 賢一様

もうひとつの課題は、測定信号のダイナミックレンジです。非接触ICカード・システムはカード側に電源を持っておらず、カードはリーダ/ライタから供給される電磁界を電源として利用します。したがってカードの電氣的な挙動を観測するためには、カードをリーダ/ライタにかざした状態で測定しなければなりません。この場合、リーダからの搬送波のレベルに対してカードが返す信号のレベルは非常に小さいので、広帯域測定器であるデジタルオシロスコープでは測定が非常に困難でした。

それまでデジタルオシロスコープで捉えたカード・リーダ/ライタ間の通信波形の一部を切り出してFFTする方法なども試みましたが、リアルタイムでの通信状態の確認等デジタルオシロスコープでは実現が困難な測定項目が多々ありました。

■ 機種選択とその理由 ■

時間方向のデータを持ち、高い垂直分解能により通信状態を解析

FeliCaの周波数領域における挙動を調べるには、ダイナミックに変化するスペクトラムを高い分解能で捕捉できる測定器も必要です。この難しい要求に対して、テクトロニクスのリアルタイム・スペクトラム・アナライザRSAシリーズ(RTSA)は、14ビットの高い垂直分解能で時系列データを取り込み、任意の部分を次々とFFTすることでダイナミックに変化するスペクトラムを捉えることができ、本要求に合致する測定器でした。岡村様も「選定の理由は時系列の波形データを持っていることと、垂直分解能が高いことだ」と語られています。

■ 導入による成果と展望 ■

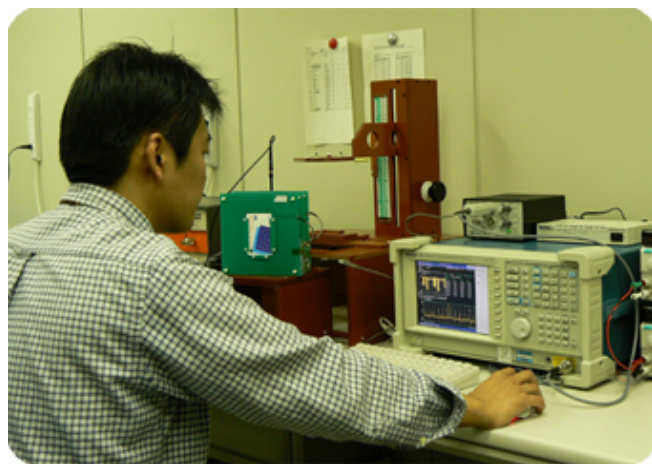
微少な通信信号を時系列で捕捉できるようになり、リアルタイムな通信状態の評価が可能に

「オシロの波形をFFTしたものとRTSAで見たデータの違いは一目瞭然」と岡村様は語られています。さらに「一連の通信の様子は事前に時系列波形データとしてメモリされているので、信号に不可解な部分があったときにも、その部分を切り出して解析できる」というご評価をいただきました。実際、奇数次・偶数次の高調波成分の分布状態や上下側波帯の対称性など、RTSAが無ければ測定できない細部におけるカードの無線特性が解析できるようになる等RTSAの導入により大きな成果が得られています。

岡村様はRTSAを初めて使い始めてから二年余り、通信状態の再現性のある特性評価を実現するため、様々な条件設定のもとでデータ採取されています。さらに、

測定の簡便性を向上させ、測定における作業依存性を少なくする事も目指しています。テクトロニクスではそれらをサポートするために、専用ソフトウェア・プログラムも開発し提供させていただきました。その結果、高精度で再現性の高いFeliCaの評価が可能となりました。

岡村様は、「将来的には今よりもさらに短時間で変化する過渡的なスペクトラムを見ることが重要になっていくだろう」と予測しています。今後、FeliCaの発展とともに、岡村様が携わっている評価方法確立の重要性は、益々高まることと思われます。



RTSAによる測定の様子

高エネルギー加速器研究機構(KEK)、シンクロトロン内のベータトロン振動解明にリアルタイム・スペクトラム・アナライザを導入。



■ 概要

課題	加速器を運用するにあたって、ビーム不安定要素となっているベータトロン振動を抑えなければならない。八極磁場が有効なことはわかっているが、そのメカニズム解明が難しかった。
ソリューション	従来のスペクトラム・アナライザではリアルタイム性がないため、現象を的確に捉えられなかったが、リアルタイム・スペクトラム・アナライザを導入したことで、周波数領域でのパワーの時間変化が見られるようになり、振動メカニズムの解明に光明がさした。
利点	メモリの大きさとマスク・トリガで、長いスパンのデータを取込んだときの解析がしやすくなり、不安定要素の追究に効果が発揮された。

●国内最大級の加速器施設

高エネルギー加速器研究機構(茨城県つくば市)様は国内最大級の加速器を持つ施設で、素粒子原子科学研究所、物質構造科学研究所、加速器研究施設などの研究施設があり、高いエネルギーの粒子を衝突させ、発生させた粒子の反応を調べる素粒子実験や、高エネルギー粒子が運動状態を変える際に放つ強力な光(放射光)を使って物質の極微の世界の構造を調べる研究などが行なわれています。

加速器には大別していくつかの種類がありますが、KEK 様には高エネルギー実験で使う「素粒子実験用衝突型加速器」と、物質の微細な構造を研究するための放射光を発生させる「放射光用加速器」などがあります。この「放射光用加速器」の運

転維持管理しているのが宮島氏です。加速器を運用して陽子や電子を加速するとき、電磁石を使って加速器の設計軌道上を粒子が安定して周回するように制御しますが、加速器の条件によってはビームの振動が励起される現象が起きます。宮島氏は、その振動をどのように抑えるかを研究し、「非線形共鳴近傍でのビームダイナミクスに関する研究」のテーマで、日本加速学会の第一回奨励賞を受賞しています。

●放射光用加速器の運用試験に

放射光用加速器は、加速されて非常に高いエネルギーを持った光速に近いスピードの電子を、長時間加速器の設計軌道上に閉じ込め、放射光を発生させるための装置です。加速器中に閉じ込められたほぼ光速の電子は、磁場によって曲げられるときに放射光を出しますが、この「放射光」は極紫外線から X 線に及ぶ広い波長領域をもっていて、また指向性の強い光となっています。このような特徴をもつ放射光は、強力な光源として、多種多様な研究に利用されています。最近では、たんぱく質の立体構造解析などにも利用されています。宮島氏は、「加速器を使って放射光をつくるまでの業務、研究を行っています。放射光は物質構造解析の強力な手段ですが、より高度な実験を行なうにはさらに強度の強い光が求められており、そのためにより小さいサイズで安定したビームを作りたいというのが、私たちの研究目的になっています」と語っています。

●ビームの振動が問題

「より安定した光を供給するためには、電子ビームを設計軌道上で安定して周回させる必要があります。ですが、加速器の条件によってはビーム不安定性と呼ばれる現象が生じ、ビームサイズの増加やビーム寿命の悪化などを引き起こしてしまいます」と、宮島氏は運用上の問題点を指摘します。

電子ビームを長時間同じ軌道にとどめるには、設計軌道に向けてビーム



大学共同利用機関法人
高エネルギー加速器研究機構
物質構造科学研究所
理学博士
宮島 司氏

を集束させる必要があります、そのためにレンズの役割をする四極電蓄を加速器中に配置しています。このとき、個々の電子は設計軌道上を振動しながら周回し、電子ビーム全体としてはある広がりを持って周回しています。この振動のことをベータatron振動と呼びます。しかし、加速器の運転条件によっては、ベータatron振動がより強く励起されるビーム不安定性現象が発生します。このとき電子ビームのサイズは増大し、放射光の強度の低下などの原因となってしまいます。

●ビームの不安定性のメカニズムを解明

放射光用加速器では、より強度の強い放射光を発生させるために、出来るだけ電子ビームを小さくしています。ところが、ビーム不安定性現象により振動が励起されている状態では、ビームサイズが膨らむため放射光の強度が低下してしまいます。ここで、宮島氏の研究テーマの一つである「ビーム



の不安定性」が問題となってきます。宮島氏は「『八極磁場』を使えば、不安定性が抑えられるのはわかっていますが、そのメカニズムがまだ完全には解明されていません」と語っています。「八極磁場の強さがある値以上になったときに、ビーム不安定性が急激に抑制されることがわかっています。この現象をより詳細に研究する目的で、パルス八極電磁石という短時間で八極磁場を変化させる実験装置を開発し、実験を行っています」と宮島氏。「ビームは電荷を持っていますので、ビームが振動していると、ビームの位置検出のための電極に信号の強弱が表れ、ビーム不安定性が起きていることがわかりますので、その信号をリアルタイム・スペクトラム・アナライザにインプットして計測しています」と、解明への手がかりを説明しています。

現在、もう一歩進んだメカニズムを調べているという宮島氏は、「リアルタイム・スペクトラム・アナライザを使った実験を行った結果、原因が見えかかっているところです」と八極磁場の効果解明に光明がさしていることを示唆しています。「この現象測定には、スペクトラムを連続して高速に捉える装置が不可欠で、リアルタイム・スペクトラム・アナライザが非常に有効でした」。

さらに、時間に対するパワー変化を測定しているため、マスクトリガ機能を使用することで、ゼロスパンでしか見られなかった現象が、マスクをかけた部分をつぶさに観察することができ、時間軸のパワー測定が可能になったことも、実験の大きな手助けになったようです。ビームが不安定なときには色々なところに周波数成分が出現するため、マスクトリガが有効になったといいます。「現在の実験計測のためにはリアルタイム・スペクトラム・アナライザでなければ対応できませんでした」と宮島氏、「やはり、リアルタイム・スペクトラム・アナライザを持つダイナミックに変化する信号の測定ができるというメリットは大きかったですね。実際に加速器を運転して、よくわからないビーム不安定性が起きたときにも、画面からその情報を得ることができます」と語っています。

●リアルタイム性が選定のポイント

測定しているビームの周波数は 500MHz ですが、「性能的な要求としては、研究対象である現象が数十マイクロ秒と比較的長い時間、ある程度のメモリ長があることと、1GHz 周辺まで測定できることでした。しかし、最も重要だったのはリアルタイム性でした」と、その選定ポイントを宮島氏は語っています。加速器の中でビーム不安定性が励起されると、中心周波数の横に不安定な状態のときに出現するサイドバンドという周波数が表れますが、その変化を捉えるにはリアルタイム・スペクトラム・アナライザでスペクトラムをリアルタイムで高速に取込む必要があります。実際には、八極磁場を急激に変化させたときのサイドバンドのピーク値の変化を見て、ビーム不安定性の様子はどう変わるか測定しています。八極磁場の変化に沿ってすぐにビーム不安定性の信号が変わると思われがちですが、実際は応答時間の遅れなどが観測されており、それが現象のメカニズム解明の手がかりになります。宮島氏の行っている実験では、このような動的性質を測るということに着目しているため、リアルタイム性がないと測定が困難になってしまふといえます。「私の中では、周波数領域の中で時間変化を追えるというのが、非常に大きいですね。パワーを含めて」と、そのメリットを十分に活用している感がうかがえます。

さらに、時間に対するパワー変化を測定しているため、マスクトリガ機能を使用することで、ゼロスパンでしか見られなかった現象が、マスクをかけた部分をつぶさに観察することができ、時間軸のパワー測定が可能になったことも、実験の大きな手助けになったようです。ビームが不安定なときには色々なところに周波数成分が出現するため、マスクトリガが有効になったといいます。「現在の実験計測のためにはリアルタイム・スペクトラム・アナライザでなければ対応できませんでした」と宮島氏、「やはり、リアルタイム・スペクトラム・アナライザを持つダイナミックに変化する信号の測定ができるというメリットは大きかったですね。実際に加速器を運転して、よくわからないビーム不安定性が起きたときにも、画面からその情報を得ることができます」と語っています。

CETECOM社、RFIDテスト・システムに リアルタイム・スペクトラム・アナライザを採用



■ 概要

課題

RFIDアプリケーションと技術の進化に対応できるオープンなテスト・プラットフォームを開発するには、RFIDテスト規格の適合性試験だけでなく、RFとプロトコルのR&Dテストをもカバーする必要があります。

ソリューション

CETECOM社のRIDERテスト・プラットフォームの中心にRSA3408A型リアルタイム・スペクトラム・アナライザを据えて、周波数やデータ・レートなど、さまざまなタイミング・パラメータのテストを可能にする。

利点

トリガ、取込み、解析の各機能が適切に組み合わせられたリアルタイム・スペクトラム・アナライザを採用すると、目的の信号を瞬時にとらえ、時間、周波数、変調の相関を取りながら測定を行うことができる。

1991年にアンダルシア初のテレコム研究所として設立されたCETECOM Spain社は、世界の企業や団体を相手に有線/無線通信技術のテスト・ソリューションを提供しています。その内容は、適合性、法令、相互運用性に関するテスト・サービスから、テスト・システムの開発、世界規模の法令コンプライアンス・サービス、トレーニング、コンサルティングまで多岐に渡ります。

適合性試験が不可欠な分野の1つがRFIDです。この技術をエンド・ユーザに使用してもらうには、その信頼性と確実性の高さを実証する必要があります。適合性試験では、デバイスが規格の必須要件を満たしているどうか、さまざまなメーカーのデバイスとの相互運用性を有しているかどうかを確認します。

RFIDテスト・システムの開発エンジニアが今日抱えている技術的な課題は、RFID技術のRF特性とプロトコル特

性に起因するものです。RFID通信では、リーダから放出されるハイレベル（強力）な信号と、タグから放出されるローレベル（微弱）な後方散乱信号が介在します。この性質の異なる2つの信号をマイクロ秒単位という短い時間でトリガして取込むことが、大きな課題の1つとなっています。さらに、RFIDデバイスのすべてのプロトコル要件をテストするには、各種の変調信号、プロトコル・コマンド、応答を生成できなければなりません。

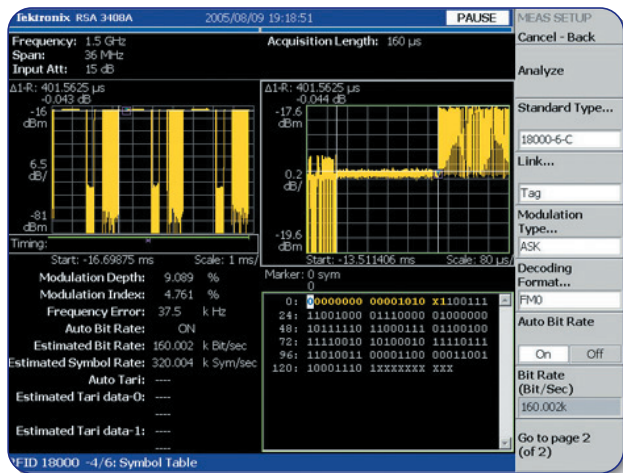
RFIDデバイスの適合性は主に、RFとプロトコルという2種類の測定項目で評価します。RFID質問器の場合、RF関連では周波数精度、RFエンベロープ、パワーアップ/パワーダウン波形などの測定が必要であり、プロトコル関連ではリンク・タイミング・パラメータの検証が必要です。RFIDタグのテストでは、タグとの通信に必要な質問器のコマンドのシミュレーションを行います。RF関連では復調機能、デューティ・サイクル、動作周波数レンジなどの測定が必要であり、プロトコル関連では、リンク・タイミング、タグ・ステート、トランジションなどの測定が必要です。



以上の項目に関しては、被測定タグとの通信にリンク・タイミングという制約があります。これがRFIDデバイスのテストにおける最大の課題です。具体的には、タグの応答を復調して対応するコマンドを発行するという動作を約30マイクロ秒以内に済ませ、同時に、タグに電圧を印加するだけのパワー・レベルを保証する必要があります。

これを実現するためにRFIDテスト・システムの開発エンジニアは、包括的なトリガリング・システムで目的の信号を瞬時にとらえることができるようにする必要があります。さらに、各種の信号を同時に捕捉し、時間ドメインと周波数ドメインを一緒に測定することや、各種RFIDエア・インタフェース・プロトコルに基づいて必要な信号を生成することができるようにする必要もあります。

この主な目的を達成するためにCETECOM社が開発したのが、必要なコマンドを生成し、応答に基づいてタグをデコードしてRFIDプロトコル要件をテストすることのできるハードウェア・デバイス、RIDERシグナリング・ユニットです。



CETECOM社は、上記の基本的な性能要件の他に、ハードウェアとソフトウェアの複雑さやコストなども考慮して、最適なテスト・ソリューションを開発するためのアプローチをいくつか検討しました。そこでわかったのが、既存のソリューションには必要な解析ツールが揃っていないものもあるということと、信号解析ソフトウェアを自前で開発するには多大な労力が必要になるということです。強力なソリューションを導入するという選択肢もありますが、それではシステムのコストが増大します。テスト・プロセス全体の所要時間が短縮されるという保証もありません。

そして、最終的にCETECOM社がRIDER RFIDテスト・システムの中心に据えることに決めたのが、RSA3408A型リアルタイム・スペクトラム・アナライザです。RSA3408A型は、変化するRFイベントを時間的に連続して取込み、周波数、時間、変調の各ドメインで相関を取りながら解析が行えます。つまり、時間経過に伴うRF信号の周波数と振幅の変化を表示できるように設計されています。

「高機能、高品質、リーズナブルな価格の組合せにより、業界をリードするテスト・ソリューションを開発することができました」

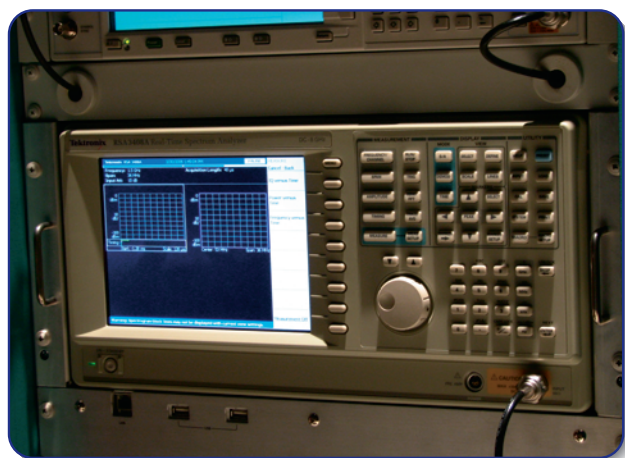
—CETECOM社、RFIDプロダクト・マネージャー、Angel Romero氏

CETECOM社によれば、RSA3408A型の36MHz周波数マスク・トリガにより、リーダから最初に伝送された信号をトリガし、送受信信号をシームレスにメモリに取込むことができます。信号を何回も測定する必要はありません。一定時間に渡って解析を継続し、時間とともに変化するRF信号のようすを理解することができます。CETECOM社、RFIDプロダクト・マネージャーのAngel Romero氏は、次のように語っています。「高機能、高品質、リーズナブルな価格の組合せにより、業界をリードするテスト・ソ

リューションを開発することができました。Tektronixのリアルタイム・スペクトラム・アナライザをRIDERテスト・システムの中心に据えたことが、システム開発をスケジュールどおりに完了できた大きな要因です」

2004年9月、CETECOM社は米国有数のテスト機関であるMET Laboratories Inc.社に対し、EPCglobal Generation-2 Hardware Certificationプログラムのテスト・プラットフォームを提供することで合意しました。EPC Generation-2規格の最終版は2004年12月に承認され、2005年8月に初のRIDERテスト・システムがMET Laboratoriesに納入、設置、検証されています。それ以来、すべてのEPC Generation-2適合デバイスがこのRIDERテスト・システムによってテストされています。

MET LaboratoriesがEPCglobal Generation-2ハードウェア承認プログラムの公式テスト・プラットフォームとして使用しているRIDERテスト・システムは、現時点では、EPC Generation-2のRFとプロトコルのすべての要件をテストすることのできる世界で唯一のテスト・システムです。Angel Romero氏は、RIDER テスト・システムに採用したRSA3408A型を「クラス最高の汎用計測器」と評価し、「RFID 規格の最重要の適合要件である周波数、その関連技術をテストするために必要なハードウェア／ソフトウェア・ツールを開発することができた」と、その成果を述べています。



RIDERテスト・システムは先を見越して、RFIDアプリケーションや技術の進化にも対応できるオープンなテスト・プラットフォームとして設計されており、RFIDテスト規格(EPC Gen-2、EPC Gen-1、モバイル RFID、NFC規格)の適合性試験だけでなく、RFやプロトコルのR&Dテストをもカバーしています。

CETECOM社は、引き続きEPCglobal Performance ワーキング・グループと密接に連携し、リアルタイム・スペクトラム・アナライザを採用して、特定の条件下でRFIDタグの性能を評価することのできるテスト・プラットフォームを開発しています。

オムロン、RFID のタグとリーダライタ間の通信をリアルタイムにモニタ。 エアで起こる問題を明確に切り分けて、開発を加速。



■概要

課題	RFID タグとリーダライタ間の通信をエアで、信号の時間変動をダイナミックに観測することができず、通信における問題箇所の特定が難しかった。
ソリューション	従来の掃引式スペクトラム・アナライザによる定常的な測定に代えて、リアルタイム・スペクトラム・アナライザによる信号の時間変動測定に変更。アンテナはタグとリーダライタの間に配置。
利点	スペクトラムや変調信号の時間変動を捉えることで、瞬時的なエラーと原因を特定できるようになり、開発のスピードアップに成功。

●FA から物流へ、広がる RFID アプリケーション

オムロン株式会社(本社:京都市)様は、リレーやセンサなどの部品から FA・制御システム、公共交通システム、さらに血圧計や低周波治療器などの健康機器まで、センシングとコントロールの分野における日本を代表する企業です。RFID (Radio Frequency Identification) に関しても、物流向けと FA 向けの両面で早い時期から市場に参入し、数多くの製品をラインアップしています。特に、タグとリーダライタの両者を総合的にサポートしている数少ないメーカーのひとつとして知られています。同社では、“タグ内のチップとアンテナの接合に超音波を使うことで、インレットをカードにラミネートする際の温度衝

撃による給電部のインピーダンス変化を最小に食い止める”といった数多くの独自技術を保有しています。

●測定の難しい通信システム

RFID は、カードなど様々な形状をしたタグとリーダライタ間の通信システムに他なりません。その意味で、通信する機器相互間で送受両方向の測定が必要になります。通信の接続性やデータの信頼性を知るための測定はもちろんですが、電磁波を利用することから電波に関する各国の法規制に合致させるための測定も必要です。ところが、RFID は通信の測定が難しいアイテムです。測定を困難にしている理由は幾つかありますが、ひとつは RFID システムがリーダからタグへ電源を供給したうえでポーリングを行い、タグがこれに応答することによって通信が確立されるという一体化システムであるため、タグ単体あるいはリーダライタ単体での測定が難しいことです。また、タグの多くはゴマ粒大のチップとアンテナを組み合わせたものであるため、タグ内のチップ上に計測ポイントをとることができないことも測定を困難にしています。

●空間がもたらす問題

RFID の通信周波数や変調方式はアプリケーション毎に規格で定められていますが、周波数も変調方式も共に様々なものがあり、それぞれに固有の測定技術が求められます。特に、バースト的な変調や周波数ホッピングなど瞬間的に信号が変化するという点で、従来型の掃引式スペクトラム・アナライザでは測定ができないという問題があります。オムロン株式会社様で物流向け RFID の開発を担当する工藤一洋氏によれば、「我々はこれまで、従来からある掃引型のスペクトラム・アナライザを使った定常的な測定に限ることを余儀なくされてきました。また、通信を介したプロトコルの解析はリーダライタの出力信号を基にするほか無く、現象として問題が生じた際に、空間・



オムロン株式会社
RFID 事業開発部
担当係長
工藤一洋氏

アンテナ・RF 回路・ベースバンド・プロトコルといった問題部分を切り分けて特定することができないという問題を抱えていました」とのこと。加えて、物流向けではタグとリーダー間の距離が離れるため、通信空間に混入するノイズや他のタグからの干渉など、空間がもたらす幾つもの問題をクリアしなければなりません。サブキャリアを用いる方式などでは特に妨害に敏感であることなどからも、実際の動作状態におけるダイナミックな通信状態の変化を捉える必要性に迫られていました。

●これしかない

このため、工藤氏は「エアで現実に行っている現象を動的にリアルタイムで捉え、エアの部分で何が起きているのかが分かるアナライザ」を探していました。実際に RF 計測を得意とする数社に問い合わせたと打ち明けています。これに対して「要求を満たすアナライザを保有し、提案してきたのはテクトロニクスだけでした」とのこと。瞬時に変化する信号を捕捉しメモリに保存できるだけでなく、周波数・時間・変調の3つのドメインで時間相関を保ちながら同時に分析することができるテクトロニクスの RSA シリーズ・リアルタイム・スペクトラム・アナライザが、同氏の要求にジャストフィットしたからです。「これしかない」それが工藤氏の選定理由でした。テクトロニクスのリアルタイム・スペアナならリーダーのポーリング信号の詳細や、これに対するタグの応答も手に取るように



に分かります。瞬時に発生するスプリアスや他の機器からの妨害などもハッキリと捉えることができるからです。特に、ASK(Amplitude shift keying)変調信号を波形としてキャプチャして直接観測できることは、ポーリングなどの解析に有効であり、工藤氏が期待した大きな特長のひとつでした。同氏いわく「この機能を利用して本器を実空間における変調信号のデコーダとして使う RFID 評価システムなども構想」しているとのこと。

オムロン様における RFID の開発は、従来型のスペアナによる定常信号解析からリアルタイム・スペアナによる過渡信号へと進化。RSA シリーズの

リアルタイム・スペアナが通信上の問題切り分けを可能としたことで、「当社の RFID 製品開発は、いちだんとスピードアップしました」と、工藤氏は語っています



オムロン V720 シリーズ RFID システム



- タグインレット形 V720S-D13P01
- リーダー形 V720S-BC5D4
- アンテナ形 V720-HS03

栃木県産業技術センター ZigBeeを使った無線タグシステムの通信技術確立に リアルタイム・スペクトラム・アナライザを活用



■ 概要

課題	通信ネットワークに ZigBee を採用するも、干渉など実用状態での通信状態把握が難しかった。
ソリューション	RSA3408A 型を導入することで、時々刻々と変化する通信状態や変調精度をリアルタイムで把握できるようにした。
成果	通信品質の実態を把握し干渉のメカニズムを知ることができるようになり、ZigBee 無線システムの開発評価体制が整った。

■ 背景

地域企業の技術開発・研究活動をバックアップ

栃木県産業技術センターは、先端技術の研究開発のほか高度な技術情報や施設・機材などの提供によって、地域企業の技術開発・研究活動をバックアップする公的機関である。黒内様、清水様が所属する機械電子技術部においても、EMC 測定用に大型ターンテーブルを備えた 10m 法電波暗室を保有し活用するなど充実した設備機器と応用技術を蓄積、県内企業はもとより、各県の産業技術センターをも主導する存在となっている。そうした中で黒内様・清水様は現在、株式会社計測技研、宇都宮大学など産官学協同で高齢者用危機管理システムの実用化研究を行っている(注1)。同システムは、高齢者などの要介護者に、体温や脈拍

などの身体情報を検出するセンサを搭載した小型のタグを装着し、位置情報を含め無線でこれをリアルタイムに一括管理することで、介護の質の向上を目指すものである。このうち、栃木県産業技術センターは無線通信に関する部分の開発と検証を担当している。

■ 課題

ZigBee システムの検証

開発中のシステムは、通信ネットワークに ZigBee を採用している。関連機器を低消費電力でコンパクトに作れる、ネットワークの構成が物理的な位置や時間に対して柔軟である、動画などのマルチメディアと異なりデータ容量はさほど多くないなど、センサネットワークとして考案された ZigBee のコンセプトが、本システムに上手く適合するからだ。

いっぽう、ZigBee の無線部分(物理層)の仕様は IEEE802.15.4 で規定されているが、本システムに適用するにあたっては幾つかの困難が伴う。発信器は人に装着するため、位置や角度が固定されないばかりか移動もする、使用環境が特定できず複雑な反射やマルチパス、さらに他の通信からの妨害もあることなどを考慮しなければならないからだ。

因みに、日本における ZigBee は 2.4GHz 帯の ISM バンドを使用することになっており、同周波数帯は、無線 LAN、Bluetooth、アマチュア無線、電子レンジなどにも使用されている。

現実的な使用状態での通信の把握

こうしたことから本システムの無線部分の開発と検証にあたっては以下の二つが求められた。

第一は発信器(センサ)の装着状態や使用環境、さらに人の動きなどによって通信状態がどのように変化するか、どの程度の距離や環境で適切な通信品質を確保できるかといった通信品質の把握。第二は無線 LAN など他の通信やノイズとの干渉の実態とメカニズムを知ることである。



機械電子技術部電子応用研究室長 黒内 利明様(前列)
主任 清水 暁様

もとより、栃木県産業技術センターは充実した高周波の試験環境と計測機器を保有しており、通常の測定環境および測定条件における無線測定では万全の環境である。しかしながら、周波数掃引型のスペクトラム・アナライザを核にしたこれまでの設備では定常的な動作状態での測定となるため、本システムのように予測し得ないパターンで時々刻々と状態が変化の様子を捉えることは難しかった。



EMC 測定用に大型ターンテーブルを備えた 10m 法電波暗室

■ 機種選択とその理由 ■

干渉の把握が画期的に進む
問題の切り分けや変調解析も一台で完結

これまで EMC 測定(例えば 30MHz~1GHz)など主に広帯域の定常測定を行ってきた黒内様、清水様は、本システムの開発以前にはリアルタイムのスペクトラム解析をさほど意識していなかったという。

そこでテクトロニクスは RSA3408A 型の試用をご提案した。その結果、「なにより、スペクトログラム表示で干渉など通信状態が如実に分かるのがすばらしい。掃引型のスペクトラム・アナライザで測定を繰り返すことで干渉を探り当てていた従来と比べ、画期的である」という評価をいただき、採用へとつながった。

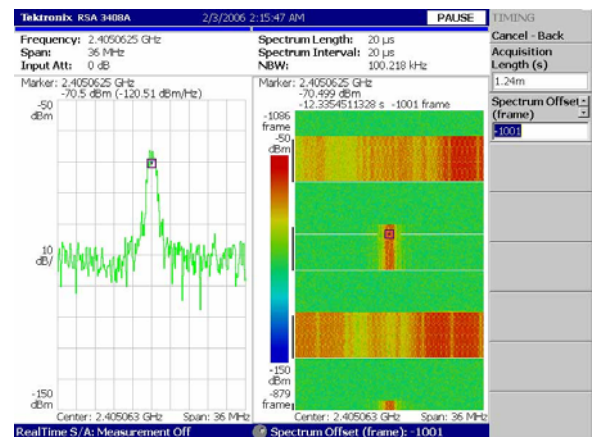
さらに開発にあたっては、通信に問題が発生した際に、原因が RF 回路やアンテナなどのハードウェアにあるのか、プロトコルなどのソフトウェアにあるのか、あるいは他の無線通信など通信経路にあるのかといった「問題の切り分けを素早く行えることも重要な要素」だった。また、RSA3408A 型では option21 (拡張測定解析機能オプション)で ZigBee の変調解析(Offset QPSK+Half sine Filter)が可能となり、「EVM(Error Vector

Magnitude: 変調精度)の評価が本器一台でできることも購入動機のひとつ」だという。導入後の感想としては「周波数マスクリガが非常に便利」とのこと。

■ 成果と展望 ■ 実機でのフィールドテストを待望

黒内様、清水様は現在、タグの試作機を使って様々な条件でのテストを繰り返し、基礎データを蓄積している。さらに、最終的に供される実機の完成を間近に控えており、「実際の使用状況下で RSA3408A 型を使った実機のフィールドテストが楽しみ」だという。

RSA3408A 型のさらなる可能性については、同センターが得意とする EMC 測定における雑音端子電圧の測定(150kHz~30MHz)などでの活用も興味深いとの助言をいただいた。



無線LANとの共存テストデータ

(右図スペクトログラム(横軸:周波数、縦軸:時間、色:パワー)において上下の広帯域の赤い帯が無線LAN、中央の狭帯域の帯が ZigBee のシグナル)

注1:「体位等感知省エネ型 IC タグと老人用危機管理システムの実用化開発」