

コスト、サイズ、重量を削減した次世代 EPR 分光計

新しい EPR 分光計の中心を担うスペクトラム社のデジタイザと AWG

2024年4月17日

デジタイザなどの計測機器メーカーであるスペクトラム・インストルメンテーション社（本社ドイツ・グロースハンスドルフ / 以下、スペクトラム社）のデジタイザと任意波形発生器（AWG）が、Bridge12社の次世代EPR分光計に採用されました。電子常磁性共鳴（EPR）分光法或いは電子スピン共鳴（ESR）分光法は、核磁気共鳴（NMR）分光法に似ていますが、陽子などの核子ではなく不対電子の性質を調査する方法です。化学、生物学、材料科学、物理学の分野で、金属錯体や有機ラジカルの電子構造を調査するために採用されています。従来、EPR分光法では、巨大な電磁石が必要とされていました。これは1トンを超えることもあったため、多くの場合、地下室に設置されていました。米国ボストン近郊のBridge12社が発表した次世代EPR分光計は、現行の機器の約半分のコストで、大きさと重量が10分の1であるため、建物のどの階にも設置できます。システムの中心を担うのは、パルス発生させる任意波形発生器（AWG）と、戻ってくる信号を捕捉するデジタイザの2台のスペクトラム社製カードです。

Bridge12社の磁気共鳴担当部門長であるThorsten Maly氏は、次のように述べています。「当社はスタートアップ企業ですが、EPR分光計を設計できるだけの申し分のない経歴があったため、最新技術を駆使して、既存の製品よりもはるかにコンパクトな次世代製品を作ることができました。これによって、従来よりもはるかに多くの研究者がEPR分光法を利用できるようになります。当社のお客様の大部分は、共同研究を通じてこの手法を活用している大学の研究者の方々です。より低コストの最新式装置があれば、この便利な手法の利用も増えます。当社の3つ目の目標は、経験豊富なオペレータを必要とする現行の装置よりもはるかに使いやすい装置を作り、EPR分光法がより広く利用されるように、どの研究者も研究に使えるようにすることでした。当社の制御ソフトウェアは、その多くの機能が自動化され、直感的に使用できるよう設計されているため、設定が簡単で、実験が正しく行われているかどうかはすぐに分かります。それにより、EPR分光法の専門家でなくとも調査結果を得ることができます」

EPR の仕組み

EPR分光法の使用例として、構造生物学の分野で、ラジカル間の距離を測定して（膜）タンパク質の折り畳み形状を確認することが挙げられます。これにより、これらのタンパク質が他の分子やタンパク質とどのように相互作用し得るかについての洞察を得ることができます。これは、2つのスピンマーカをタンパク質に付着させ、パルスEPR分光法の一つであるパルス双極子分光法を用いてその距離を測定することにより行われます。スピンマーカは特別に設計された非反応性のラジカル分子で、EPR分光法では、ラジカルを一連のマイクロ波パルスで励起してその反応を検出することでスピンマーカを検出できます。スピン間の双極子結合により、2つのマーカの距離をただちに確認できます。スピンマーカのペアをタンパク質のさまざまな場所に付着させることで、タンパク質の折り畳まれ方の三次元モデルを特定するのに使用できる距離群を生成できます。

低ノイズのモジュール式コンポーネント

Maly氏は、さらに次のように述べています。「EPR分光法では1~100オングストロームの距離を測定できますが、これには非常に正確に生成されたパルスシーケンスが必要です。このため、当社は、ノイズレベルが極めて低いスペクトラム社製カードを採用しました。また、当社の分光計は、お客様が希望の要件を正確に指定できるようモジュール式に設計されているため、過剰な仕様のカードの利用を強いられることなく、スペクトラム社の幅広い製品群から最適なAWGとデジタイザを選択できます。スペクトラム社のカードで特に気に入っているのは、Netboxとして一体化されていて、イーサネット経由でパソコンに接続できることです。これにより、コンパクト



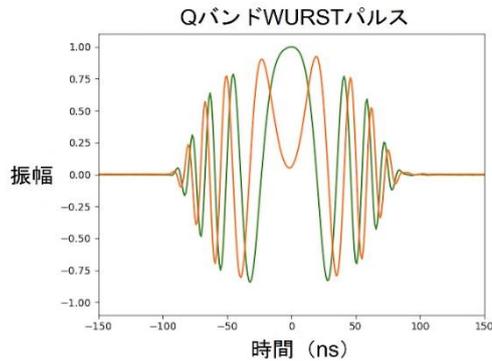
より小さく、より軽く、より高い費用対効果：
Bridge12社のEPR分光計により、より多くの研究者がこの技術を利用できるようになります

なPCを使用でき、カードを挿入するのに十分な大きさが必要なPC、かさばるラックソリューションが必要なPCを使用しなくても良くなります。また、現場での装置の修理やコンポーネントの交換も非常に簡単になります」

35GHz Q バンド帯での運用

レーダー技術と、モバイル通信技術の進歩により、マイクロ波技術を使用し、より高い分解能と、ますます高い周波数を必要とするERPハードウェアの構築に使用できる機器が生み出されたおかげで、EPR分光法は、過去数十年の間に進化を遂げてきました。従来、EPR分光計は10GHz (Xバンド) で運用されてきましたが、5G技術のおかげで、35GHz (Qバンド) のような、この種の用途にとって、はるかに望ましい周波数で運用できる新しい商用機器が登場しています。

AWGは、実験時の要件に応じて200~500MHzの範囲で10~100ns幅のパルスを生成します。このパルスは、RF I/Q



34GHz でAWG が生成した WURST パルス

ミキサを使用してまずXバンド帯にアップコンバートされ、次にQバンド帯にアップコンバートされます。マイクロ波パルスは、100Wのソリッドステートアンプに送られた後、EPR共振器に送られます。反射信号は、200~500MHzの中間周波数にダウンコンバートされ、デジタイザに送られます。EPR分光法では、従来、信号が直流にダウンコンバートされていましたが、この新しい手法により、ノイズとアーチファクトが劇的に低減されます。

最新のEPRの実験で使用されるAWG発生パルスの形式の例を図2に示します。WURST (Wideband, Uniform Rate, Smooth Truncation) パルスは、単純な矩形パルスをはるかに超える励起帯域幅とプロファイルを有する広帯域マイクロ波パルスです。このようなパルスにより、EPR分光における広帯域励起が可能となりますが、このようなパルスは、AWGの性能に大きく左右されます。

従来よりもはるかに軽い磁石で強力な磁場を生成

もう一つ取り上げるべき要素は、巨大で重い電磁石が必要であった1~1.5テスラ程度の強力な磁場を従来よりも小型の超伝導磁石を使用して生成できることです。Maly氏は、最後に次のように述べています。「当社では、必要な強度の磁場を生成するために、従来よりもはるかに小型の超伝導磁石を使用しています。この実験では、ヘリウムを使用して試料を常に極低温に冷却する必要がありますが、従来の数分の一サイズで1.2テスラの高磁場を生成できる液体冷媒を含まない(乾式)磁石のサプライヤを見つけました。サイズが小さく重量も約130kgです。この装置では、液体ヘリウムではなく、コールドヘッドとヘリウムコンプレッサーを使用します。これは、いわば、クローズドサイクルで極低温を実現する冷蔵庫のようなものです。液体ヘリウムの入手がますます難しくなっているため、この装置が大変重要となります。スペクトラム社の製品は、当社のEPR分光計の重要な部品であるため、5年保証は大きな安心材料となっています。また、機器のセットアップを支援するテクニカルサポートも一流だったので、将来お客様に何か問題が起こった場合も、スペクトラム社に頼ることができるかと確信しています」

Bridge12 Technologies社の新しいEPS分光計は現在販売中です。詳細は、<https://www.bridge12.com>でご確認ください。

スペクトラム・インスツルメンテーション社(Spectrum Instrumentation)について

1989年に創業したスペクトラム社(CEO 兼 創業者Gisela Hassler)は、モジュラー設計を利用することでデジタイザ製品および波形発生器製品をPCカード (PCIeおよびPXIe) やスタンドアローンのEthernetユニット (LXI) として幅広く生み出しています。スペクトラム社は30年間に、トップブランドの業界リーダーやほとんどすべての一流大学を含む、世界中のお客様に製品をご利用いただいています。当社はドイツのハンブルク近郊に本社を構えており、5年保証と設計エンジニアやローカルパートナーによる優れたサポートを提供しております。スペクトラム社の詳細については、www.spectrum-instrumentation.comをご確認ください。