

東京大学工学部 樽茶・大岩研究室

任意波形発生器が次世代コンピュータの研究を支える

導入機器

AWG5014C 任意波形発生器

お客様

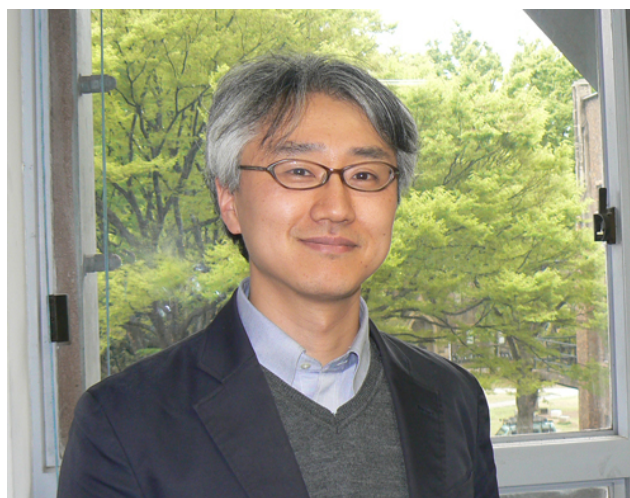
東京大学工学部 樽茶・大岩 研究室

コンピュータの動作原理は、17世紀にニュートンが発見してから発展した、古典力学に基づいている。これに対して、20世紀に生まれた量子力学に基づく、まったく新しい動作原理のコンピュータ「量子コンピュータ」の研究が活発になってきた。東京大学工学部の樽茶・大岩研究室 (<http://www.meso.t.u-tokyo.ac.jp/>) では、単一の電子を極めて微小な領域に閉じ込め、その性質をコントロールすることで、量子コンピュータの基本回路を開発中である。回路の規模を大きくしていったときに必要となるのが、数多くの高速信号を同期して出力し、回路動作を制御することだ。そこで威力を発揮するのが、テクトロニクス社の任意波形発生器「AWG5014C」である。樽茶・大岩研究室で講師をつとめる大岩 顕氏に、ご研究の意義や AWG5014C の導入目的などについて語っていただいた。(本文中敬称略)

—早速ですが、ご研究の内容についてうかがわせてください。

大岩: われわれは、 $1\mu\text{m}$ (ミクロン(注 1))を切るくらいの大きさの中に電子を閉じ込めた「量子ドット」というものを使って「量子コンピュータ」と呼ばれる新しい原理のコンピュータを作ろうとしています。

(注 1) $1\mu\text{m}$ (ミクロン)とは、1,000分の1mm(ミリ)のこと。なお、人間の髪の毛の直径はおよそ0.1mm



東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 講師
大岩 顕 氏

—「量子コンピュータ」とはどのようなものなのでしょうか。

大岩: 現在のコンピュータは情報を「ビット」と呼ぶ単位で扱っています。量子コンピュータの世界では、「ビット」の代わりに「量子ビット (qubit)」と呼ぶ単位で情報を扱います。

—「量子ビット (qubit)」は、パソコンやサーバーなどが扱う「ビット」とはどう違うのでしょうか。

大岩: 量子ビットや量子コンピュータなどに対して現在のビットやコンピュータを「古典ビット」、「古典コンピュータ」と呼んでいます。古典ビットの値は「0」あるいは「1」となっています。量子ビットが古典ビットと大きく違うのは、量子ビットでは「1」と「0」だけでなく、「1」と「0」の間のどんな値でも取り得ることです。言い換えると、「1」である確率と「0」である確率の重ね合わせで、量子ビットはできています。

東京大学工学部 樽茶・大岩研究室

任意波形発生器が次世代コンピュータの研究を支える

■ 既存のコンピュータの限界を超える「量子コンピュータ」

—量子ビットを使って演算を実行するのが量子コンピュータということですね。量子コンピュータが、古典コンピュータと比べて優れているのはどのような点でしょうか。

大岩： 量子コンピュータには得意な分野と苦手な分野があります。これまで分かっている得意分野をお話しますと、たとえば1量子ビットではなく、 n 量子ビットだと2の n 乗の状態を同時に計算できます。このため、古典コンピュータよりも高速な超並列処理が量子コンピュータでは可能です。それから因数分解を古典コンピュータよりもきわめて短い実行できるとされています。古典コンピュータは、因数分解を実用的な時間内には解けないとされています。また文献検索も、量子コンピュータが得意だとされている分野です。そしてどのような用途が得意なのかを探すことも、量子コンピュータの研究テーマになっています。

—因数分解は暗号と関係していると聞いたことがあります。

大岩： 暗号は、量子コンピュータの応用として強く期待されている分野です。まず、現在使われている暗号は、量子コンピュータを使うと解けてしまいます。なぜかという、現在の暗号は古典コンピュータが苦手な因数分解を利用しているからです。そして量子ビットを使った暗号(量子暗号)は、盗聴が発生するとそれを検知できるという特徴があります。盗聴によって送信情報が欠落するからです。

—盗聴を検知できるというのはすごいですね。量子コンピュータは、将来は古典コンピュータを置き換えてしまうのでしょうか。

大岩： いいえ。量子コンピュータは先ほどもお話したように得意な分野と苦手な分野がはっきりしています。偏りがあるのです。量子コンピュータが実現しても、古典コンピュータの置き換えにはならないでしょう。

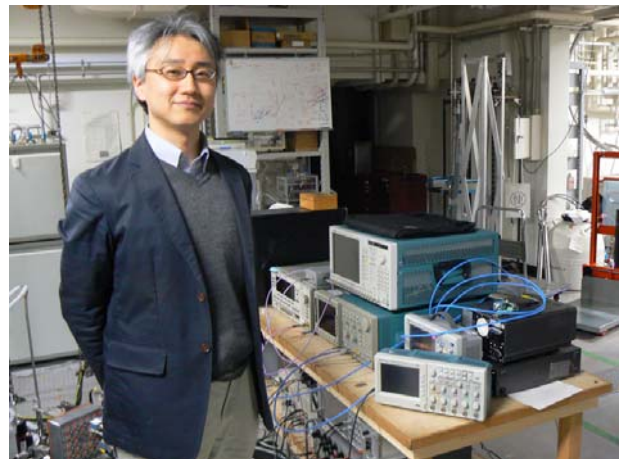
—量子コンピュータは、すでに完成しているのでしょうか。

大岩： 研究そのものは、まだすごく基礎的な段階にあります。古典コンピュータの歴史に比べると、1個のトランジスタがやっと動いたというところでしょうか。

■ 量子コンピュータの基本素子「量子ドット」

—古典コンピュータのトランジスタに相当するのが「量子ドット」ですね。次は「量子ドット」について教えてください。

大岩： 量子ビットの実現手段はいくつか存在するのですが、その一つが「量子ドット」です。われわれは、量子ドットと電子スピン(電子の回転)を組み合わせることで量子ビットを実現しています。



東京大学工学部 樽茶・大岩研究室にて研究に使用されているテクトロニクス計測器

—電子スピンですと、磁石としての性質を利用するわけですね。

大岩： 電子スピンは磁石に比べると上向き、あるいは下向き、という形になっています。量子ドット中の電子は外界の影響を受けない状態、すなわち量子力学的に記述できる状態になっていますので、これを1個の量子ビットと見なして演算をしようと試みています。量子ドット中の電子は、スピンの上向きの状態と下向きの状態では、エネルギーがごく僅かに違うのです。このエネルギー

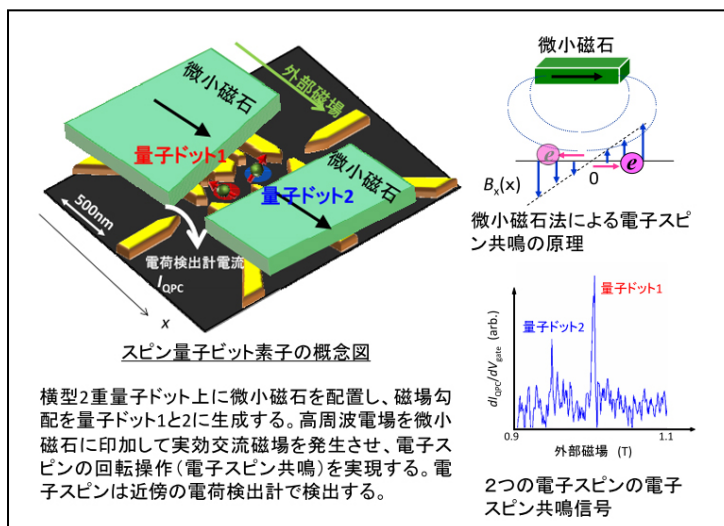
東京大学工学部 樽茶・大岩研究室

任意波形発生器が次世代コンピュータの研究を支える

一差に相当する振動数の交流磁場を量子ドットに与えると、電子スピンの向きが上向き(あるいは下向き)の状態から下向き(あるいは上向き)の状態へと回転を始めます。交流磁場を与える時間によって回転の角度を制御できる。つまり、「1」と「0」の間で任意の状態を作り出せることになります。

大岩: まだ、それほど速くはありません。90度回転させるのに要する時間が100ns(ナノ秒(注2))くらいです。電子のスピンを維持できる時間が100μs(マイクロ秒(注2))くらいなので、1,000回の操作ができるということになります。

(注2)ナノ秒は10億分の1秒、マイクロ秒は100万分の1秒



スピン量子ドット素子の概念図

—交流磁場はどのようにして作り出すのでしょうか。

大岩: いくつか方法が提案され実現されていますが、われわれは、微小磁石を用いた、独自の方法で局所的に交流磁場を発生させています。量子ドットの周囲にゲート電極を配置し、ゲート電圧に負の電圧を加えます。すると電子がゲート電圧から逃げるように位置をわずかに変えます。ここで量子ドット近傍に微小な磁石を配置しておくと、電子が受ける磁場の大きさが変化します。ゲート電圧に高周波電圧を加えると電子は往復運動します。このとき、電子が受ける磁場の大きさがゼロをよぎって反転するように磁石を配置すると、電子が往復運動することで、電子に交流磁場を加えたのと同じ状態が出現します。

—高周波電圧によって実効的に交流磁場を作り出している訳ですね。電子スピンの向きを回転させるのに必要な時間はどのくらいなのでしょう。

—電子のスピンを維持できる時間は有限なのですか。

大岩: 現在の研究で報告されているもっとも長い値が100usくらいです。このスピンを維持できる時間は、スピンの向きを乱す要因を取り除くか、あるいはこの要因がもともと小さいといわれているSiなどを使えば、飛躍的に長くできる可能性があります。量子演算は、電子スピンの量子情報が維持されている間に行う必要があります。ですから多数回計算を実行するにはスピンを維持できる時間は長いほうが望ましいということになります。

■ AWG5014C が量子ビットの多ビット化に寄与

—樽茶・大岩: 研究室のご研究はどこまで進んでいるのでしょうか。

大岩: 2個の量子ドットを近接して配置した「二重量子ドット」と呼ぶ素子に対して電子スピンをそろえて電子を配置し、電子スピンの方向を回転させ、その状態を読み出すという基本的な操作を実行できています。ごく近い将来には、量子ドットの数をもさらに増やすとともに、電子スピンを素早く回転させるようにするつもりです。

—任意波形発生器は、ご研究でどのような役割を果たしているのでしょうか。

大岩: ゲート電極の駆動と高周波スイッチの制御に任意波形発生器を使っています。以前から、テクトロニクス社の任意波形発生器「AWG520(注3)」を利用していました。

東京大学工学部 樽茶・大岩研究室

任意波形発生器が次世代コンピュータの研究を支える

(注 3) テクトロニクス社の任意波形発生器。2 チャンネル出力。現在は生産していない

—このたび、任意波形発生器の最新機「AWG5014C」

(<http://www.tek.com/ja/products/signal-generator/awg5000/>)を購入された理由を教えてください。

大岩: なんとといっても、信号のチャンネル数が多いことですね。4 チャンネル、8 マーカーという多くの出力を備えていたことが、「AWG5014C」を選んだ最大の理由です。

—多チャンネルの重要性をもう少し具体的に教えてください。

大岩: 量子コンピュータの基礎となる演算にエラー訂正処理があります。これを実行するには、3 ビットの量子ビットが必要とされています。現在、1 個の量子ビットを制御するためには最低でも 2 チャンネルの信号が必要です。量子ビットを増やすことは、信号のチャンネル数を増やすことにつながります。2 チャンネル機である「AWG520」ですと、3 チャンネル以上の信号を同期して取り出すには、複数の「AWG520」を用意してお互いに同期をとらなければなりません。「AWG5014C」ですと 4 チャンネルを出力できますので、1 台ですみます。3 量子ビットの制御には、「AWG5014C」が非常に有効なのです。

—ほかの任意波形発生器との比較はしなかったのでしょうか。

大岩: していません。これしかないから選んだ、ということです。あえて言いますと導入済みの「AWG520」を増やす、「AWG520」の中古品を探して購入するという選択肢がありました。ですが、将来を考えて「AWG5014C」の購入を決めました。

—「AWG5014C」のチャンネル数以外の仕様はいかがだったのでしょうか。

大岩: 立ち上がり時間やジッター、雑音などの波形品質はもちろん重要です。この点でも「AWG5014C」には満足していますし、近い将来に考えられる要求仕様を満たしています。

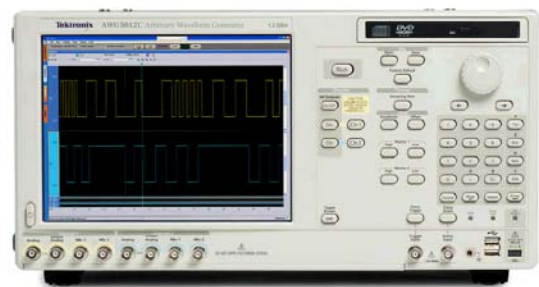
—従来ご使用になっていた AWG520 と、今回導入された AWG5014C を比べてみて、何か違いはありますか。

大岩: AWG5014C ではフロントパネルの使い勝手が良くなっていると感じました。

—AWG5014C を選ばれていかがだったのでしょうか。

大岩: AWG5014C は性能的にも今後 3~5 年は少なくとも使える機種として選んでいます。われわれの研究に大いに役立ってくれると期待しています。

本日はご多忙のところをどうもありがとうございました。



AWG5014C 型 任意波形発生器