

量子コンピュータのハードウェア大研究

武田 俊太郎

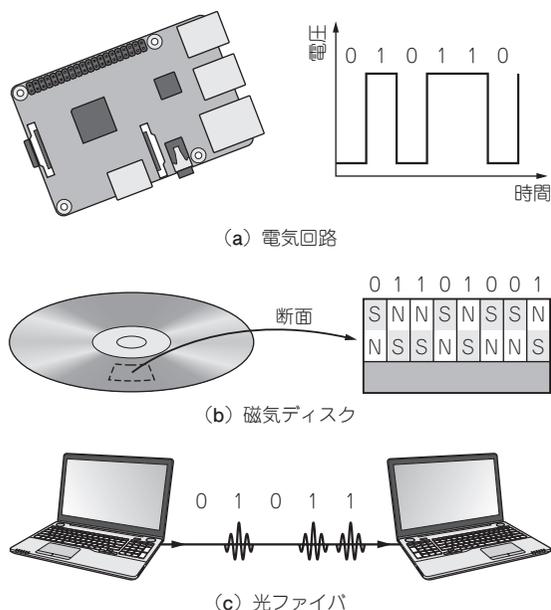


図1 現代のコンピュータは物理的に「0」「1」を表現している

本稿では、量子ビットを用いた計算を具体的にどのような装置を用いて実現するのかという、ハードウェアに焦点を当てます。初めにハードウェアに要求される条件について述べた上で、代表的な4種類のハードウェア開発の現状と課題を紹介します。

量子コンピュータのハードウェアに求められること

● 従来のコンピュータは物理的に「0」「1」を表現

普段、皆さんがコンピュータを利用している際には、コンピュータの中で物理的に何が起きているのか、意識することはないと思います。そこで、今のコンピュータで情報がどのように処理されているかに目を向けてみましょう。コンピュータでは、「0か1」というビットの情報を何かしらの手段で物理的に表しています(図1)。例えば、高速に計算を行う際には電気回路が用いられ、電圧の高い状態を「1」、低い状態を「0」と決めてビットの情報を表します。そして、計算

(ゲート)は、電圧によって制御できるスイッチであるトランジスタを多数用いて実現されます。

一方で、情報の長期保存に用いられるのは磁気ディスクです。これは、円盤状のディスクの表面に塗られた磁石のS極とN極の向きが上下どちらかで「0」と「1」の情報を記録しています。

また、コンピュータがインターネット通信で情報をやり取りする際には、光ファイバで光パルスの信号を送り合います。光パルスがONならば「1」、OFFならば「0」と決め、モールス信号のように光パルス列でビットの情報をやり取りできます。

以上のように、ビットの情報を表す方法は、2パターンの状態を取れる物理システムであれば何でも良く、計算、保存、通信など用途に応じて最適な物理システムが選ばれています。

● 量子コンピュータは物理的に「0と1の重ね合わせ」を表現しなくてはならない

量子コンピュータを作るには、「0と1の重ね合わせ」の情報である量子ビットを何らかの手段で物理的に表現する必要があります。量子力学によれば、電子1個や原子1個、光の最小単位である光子1個など、ミクロな粒子は基本的に量子力学の法則に従い、重ね合わせ状態になることができるので、量子ビットの候補になります。それ以外にも、重ね合わせ状態が現れる物理システムなら何でも候補になります。

しかし、重ね合わせの性質は非常にデリケートで、実際に重ね合わせを維持しながら計算を行うのは容易ではありません。もし、量子ビットの情報を持った物理システムが、周囲の原子、電子、電磁波と相互に作用したり、または環境の電氣的/磁氣的な変動の影響を受けたりすると、簡単に重ね合わせが壊れてしまいます(図2)。従って、量子ビットの情報を書き込む物理システムは、できる限り外部との接触を遮断し、ノイズのない環境に置かなくてはなりません。一方で、完全に量子ビットを外部から隔離してしまうと、量子ビットに外からアクセスする手段がなくなり、計算に必要な情報の読み書きや制御もできません。量子ビッ