

写真と図で理解する ハードウェア

伊藤 陽介

量子コンピュータの進化に関するニュースを耳にする機会が増えてきました。その際に、量子コンピュータのハードウェアの一部が写真付きで紹介されることもあります。その全体像が紹介されることはあまりありません。ここでは量子コンピュータのハードウェアがどのようなものなのかを解説します。

量子コンピュータの構成

● 3つの構成要素

量子コンピュータは、大きく分けると「量子ビット、制御装置、量子ソフトウェア」で構成されています(図1)。ここでは量子ビットと制御装置を合わせて、量子コンピュータのハードウェアと定義します。

● 計算の心臓部は量子ビット

量子ビットとは、0と1の2状態しか表現できない通常のビットとは違い、0と1の重ね合わせを許容できる素子です。量子ビットの物理的な実装はさまざまな方式があり、それぞれ研究開発が急速に進んでいます。

量子ビットを n 個集積させることで 2^n のビット列を同時に表現して、並列計算できます。量子ビット数の集積度が向上することで、同時に計算できるビット列の数は指数関数的に増加しますが、この性質を使って高速に解ける問題がいくつか知られています。例えば、因数分解や量子化学計算/物性計算、機械学習などが挙げられます。

ユーザが量子コンピュータを用いた計算をする際には、量子ソフトウェアを用いて量子ビット演算を構成します。その詳細については、他の記事を参照してください。

● 制御装置…電磁波を出力するとともに状態を読み出す

制御装置は量子ビット演算に対応したパルス列の電磁波(量子ビットの種類によって違う周波数帯を利用)を生成し、各量子ビットに対して出力するとともに、

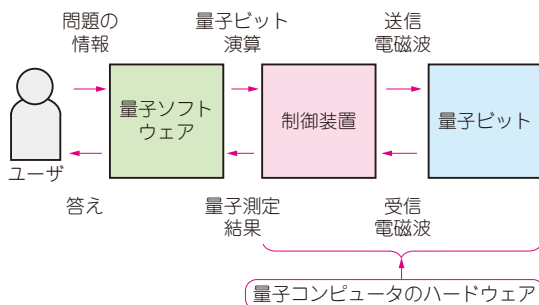


図1 量子コンピュータの構成

量子ビットの状態を電磁波で読み出す役割を持ちます。

超伝導，イオン，半導体… 多様な量子ビットの方式

量子ビットの物理的な実装については、さまざまな方式の研究開発が競い合うように進められており、現時点では、どの方式が将来の主流となるのか予想できない状況です。次に、主要なものを紹介します。

● 超伝導量子ビット

低温に冷却して、電気抵抗をゼロにした超伝導状態の電子回路を用いて量子ビットを実現します。2つの超伝導体を極めて薄い絶縁膜を介して接触させたジョセフソン接合と呼ばれる構造にて、0と1の情報を表現します。

● イオン・トラップ

原子から電子を奪取してイオン化させた粒子を、電磁場によって空間中に静止させたものを量子ビットとして用います。イオン上の1個の電子が特定の軌道のうちどちらにいるかなどで、0と1の情報を表現します。

● 半導体量子ドット

半導体で作られた微小な領域に閉じ込められた電子を量子ビットとして用います。半導体中の電子スピンの状態によって0と1の情報を表現します。