

# 誤り耐性量子計算への第一歩

## 1 量子コンピュータ

### 1.1 ビット

普通のコンピュータはビットという最小単位を使って情報処理をしています。



図 1: ビットによる情報処理

### 1.2 量子ビット

ビットを量子力学で拡張したものを量子ビットといいます。量子ビットには位相という情報が含まれ、量子もつれという性質を使えます。

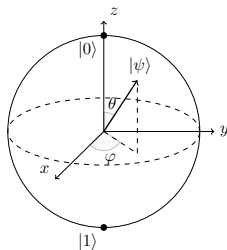


図 2: 量子ビットの表現

### 1.3 量子コンピュータへ期待

量子ビットを処理する量子コンピュータは、特定の計算では普通のコンピュータを凌駕する計算できるとされています。

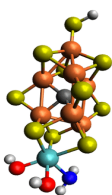


図 3: 量子計算機で効率的に性質を調べることができる化学物質 FeMoCo

## 2 量子誤り訂正

ただ、効率的な計算にはエラー訂正する必要があり、求められる(論理)量子ビットのエラー率は任意の操作に対し  $p = 10^{-12}$  と推定されています [1]。

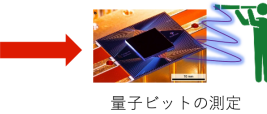
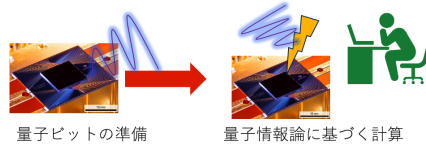


図 4: 量子計算の流れと発生するエラー

### 2.1 量子誤り訂正

量子ビットのエラーを訂正するときには、量子ビットの情報を壊さないようにしないといけません。その解決方法が、量子もつれを利用したパリティ検査という方法です。

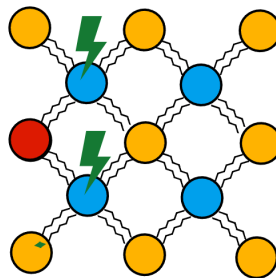


図 5: パリティ検査 黄色がデータ保存用量子ビット、青色がエラー訂正用の補助量子ビット

### 2.2 表面符号

量子ビットには「0」と「1」に関するエラーと位相に関するエラーがあり、このエラーを同時に訂正するのに有望視されている方法が、表面符号という方法です。下のように量子ビット

を配置することで、エラー率を下げた一つの量子ビット(論理量子ビット)として使えることが理論的に保証されています。

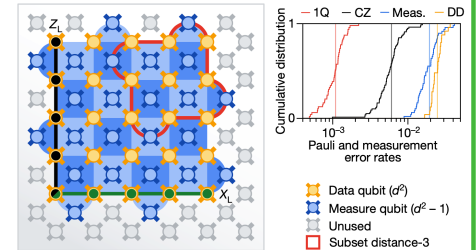


図 6: 表面符号の実装 [2] より

この符号は、サイズを大きくしていけばエラー率が下がることが知られています [3]。

### 2.3 現状の性能

ただ、表面符号を動かすのは難しく、2022年によやく1回の操作あたりのエラー率  $\epsilon_3 = 3.03(2)\%$  から  $\epsilon_5 = 2.91(2)\%$  と符号のサイズを大きくするとエラーが小さくなることをGoogleの研究所が実証しました [2]。

まだまだ、完全にエラーのない量子計算、誤り耐性量子計算を行うには地道で長い研究が必要となっています。

## 参考文献

[1] Y. Suzuki, S. Endo, K. Fujii and Y. Tokunaga. "Quantum error mitigation as a universal error reduction technique: applications from the nisq to the fault-tolerant quantum computing eras" PRX Quantum **3.1** (2022) : 010345.  
 [2] GoogleAI. "Suppressing quantum errors by scaling a surface code logical qubit" Nature **614**. (2023) : 676–681.  
 [3] A. G. Fowler, M. Mariantoni, J. M. Martinis and A. N. Cleland. "Surface codes: Towards practical large-scale quantum computation" Physical Review A **86.3** (2012) : 032324.