



NISQ 時代の 量子コンピュータ

D Slit Technologies, Inc.

村田 裕馬

自己紹介

- D Slit Technologies 株式会社

- 村田 裕馬

- 経歴

東工大西森研究室(~2013)

検索エンジン開発会社でWEBエンジニア (フルスタック)

スタートアップを軸に活動 (新規事業好きです)

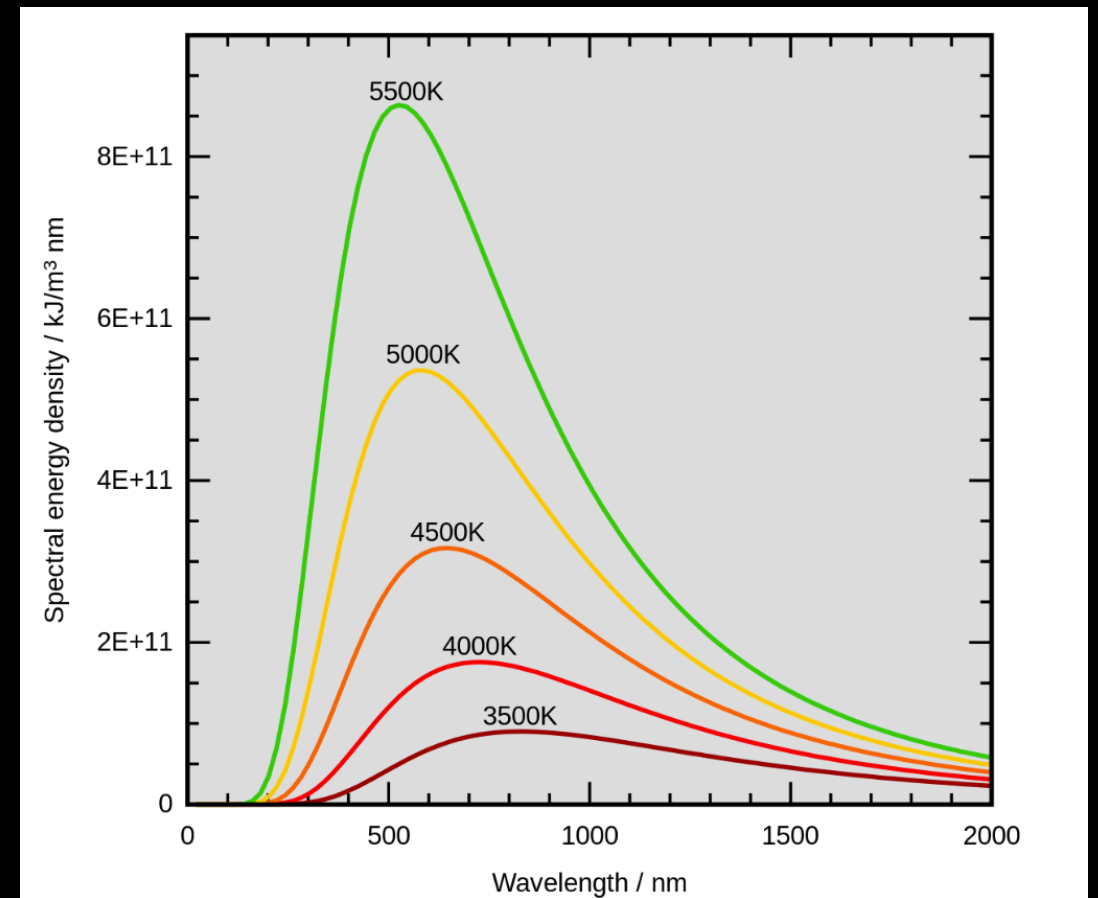
2018年6月に起業

話すこと

- 量子力学のさわり
- 量子コンピュータの基礎
- NISQ とは

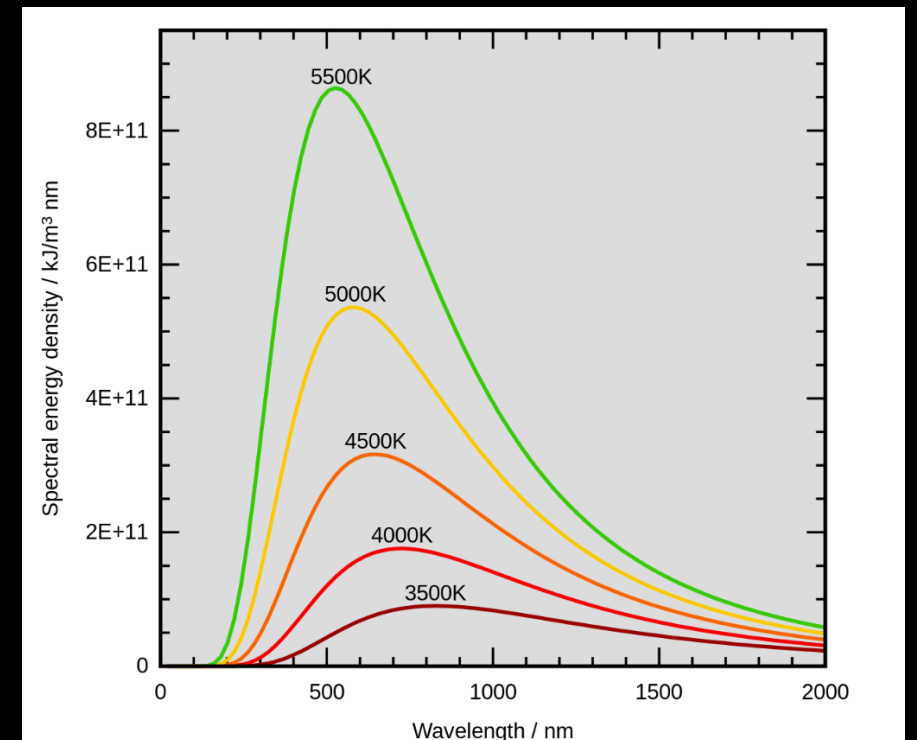
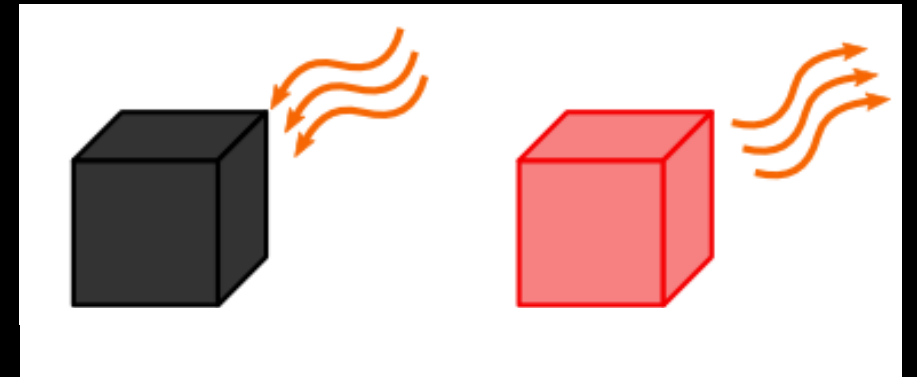
量子力学の誕生

- 19世紀の産業革命



物理学の崩壊

- 黒体輻射
→ 温度の上昇で光を放出
- ヴィーンの放射の法則 (1896)
→ 長波長が合わない
- レイリー・ジーンズの法則 (1900)
→ 低波長が合わない



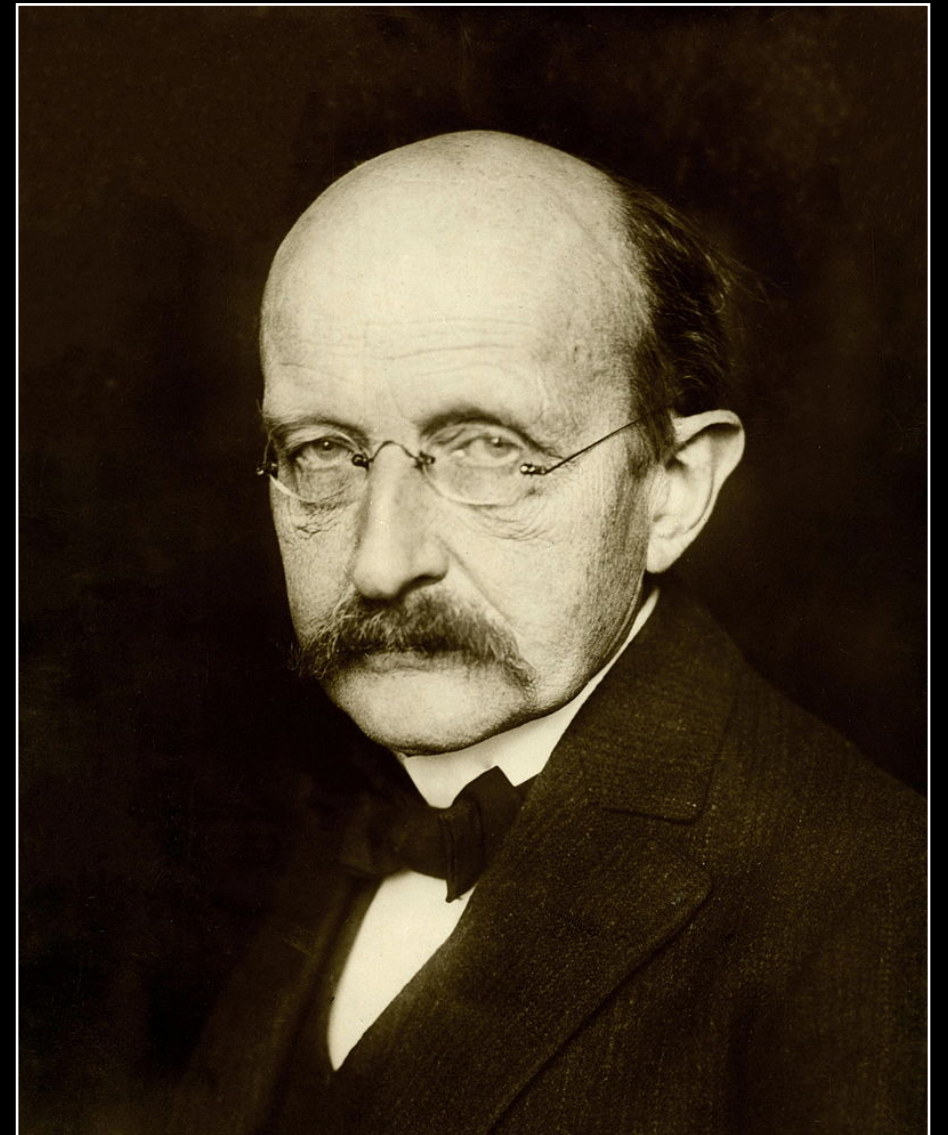
超微視的な世界の幕開け

- 量子化

$$h\nu, 2h\nu, 3h\nu, \dots$$

- プランク定数

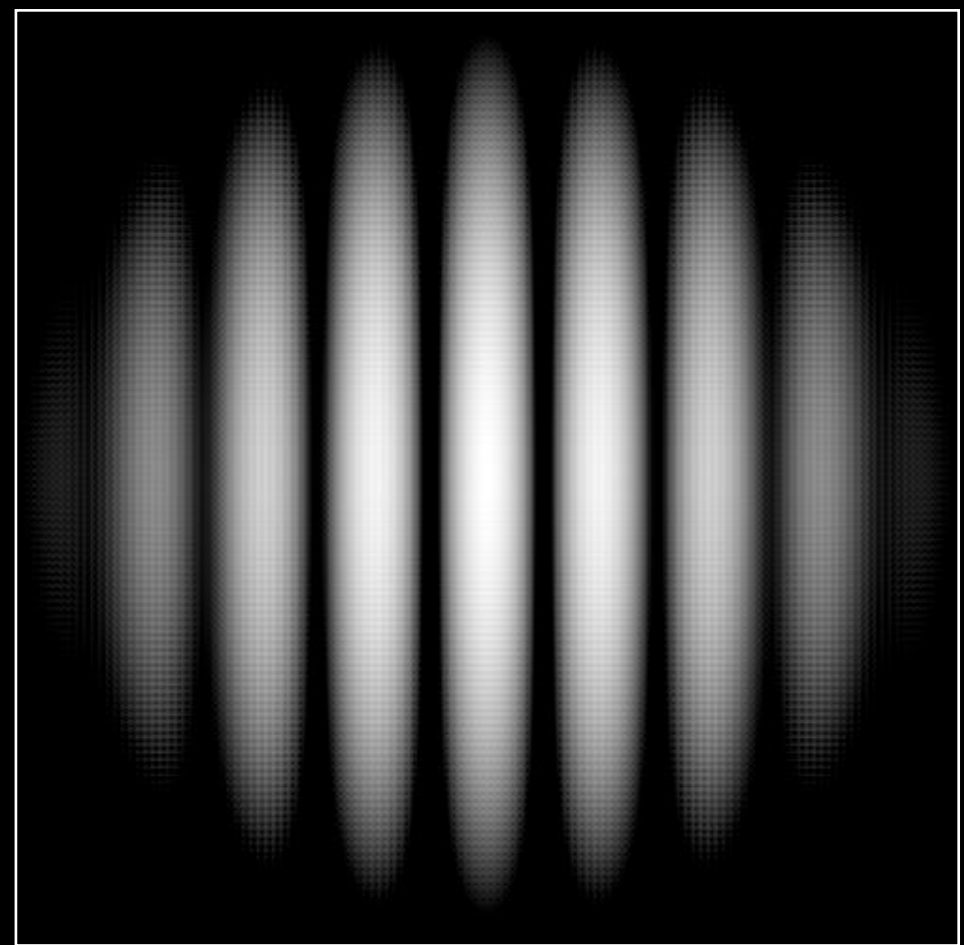
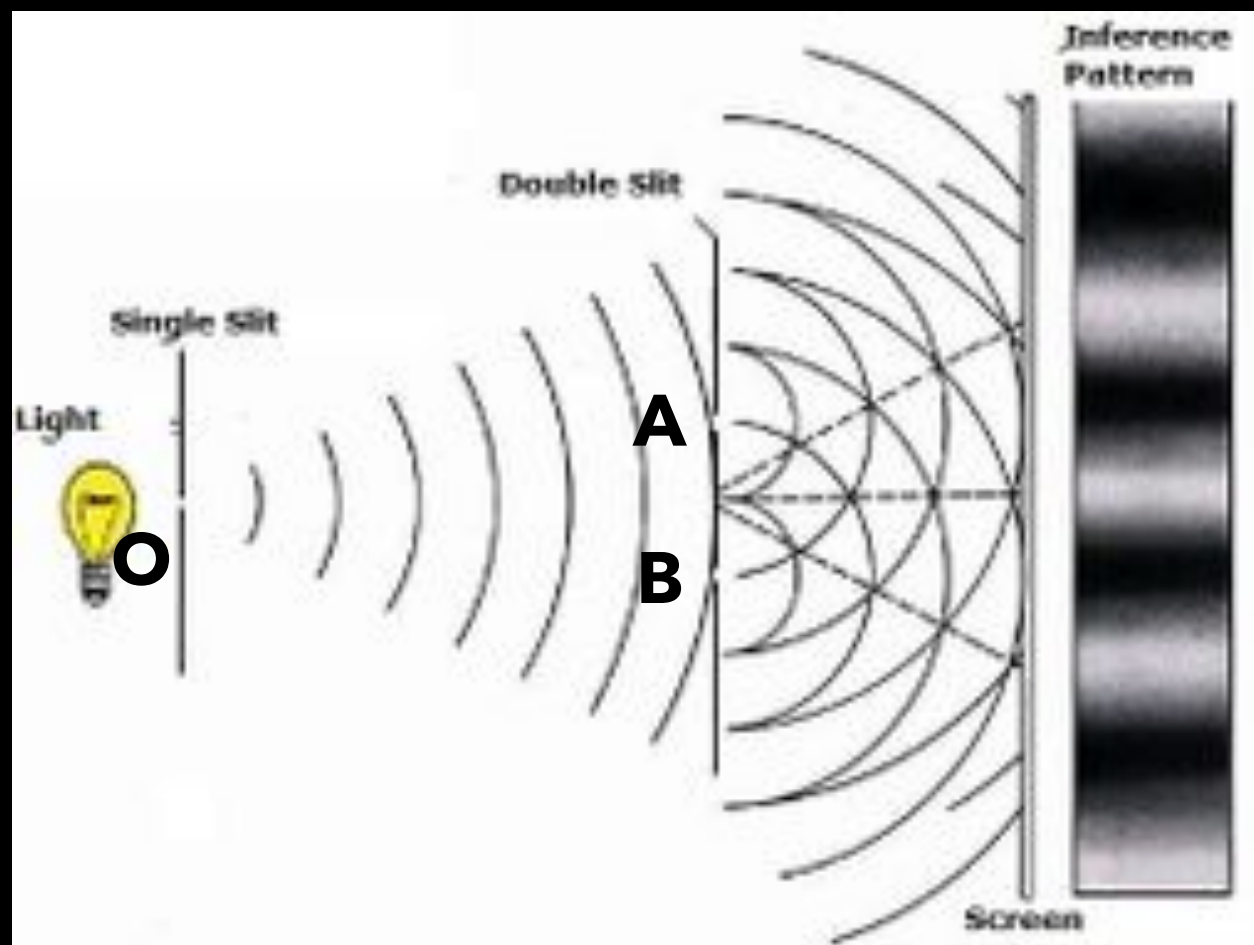
$$h = 6.626 \times 10^{-34} Js$$



Max-Planck (1858 ~ 1947)

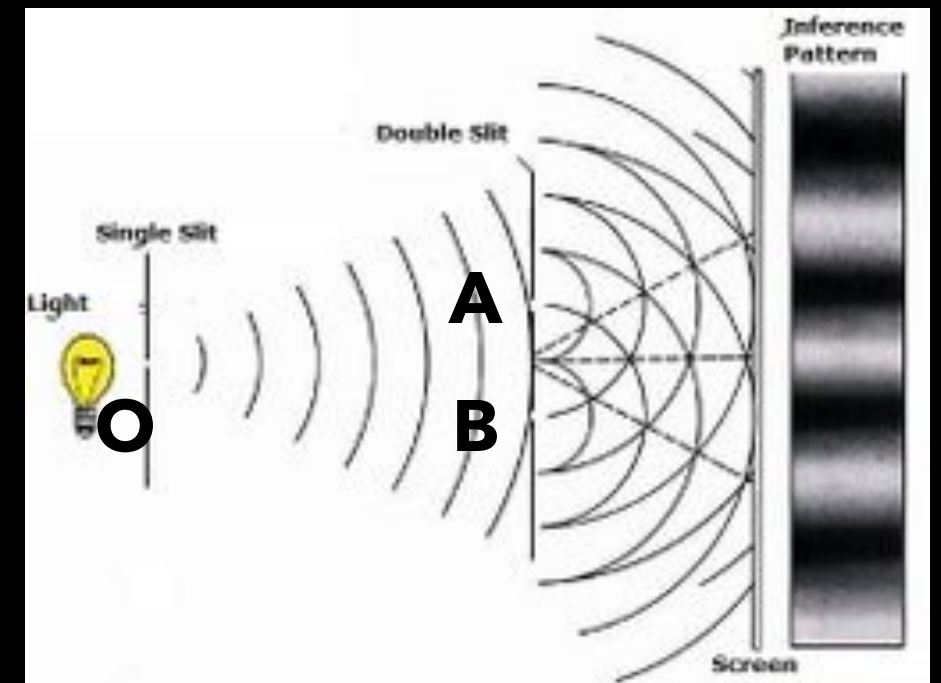
光の2重スリット実験(1805)

- 干渉縞が発生する



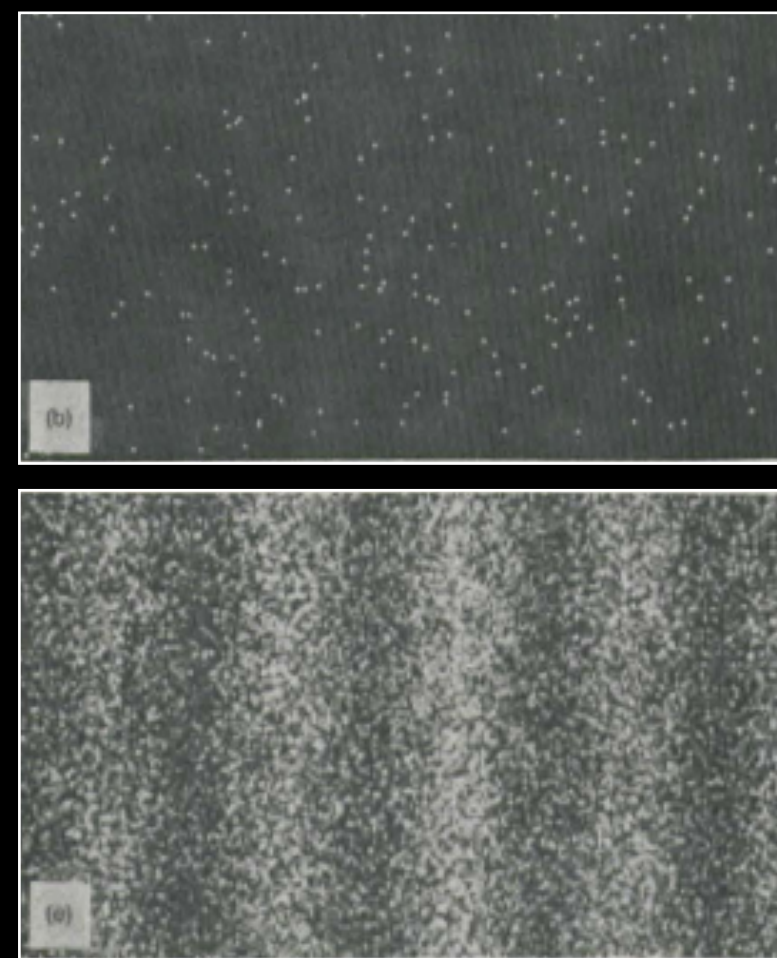
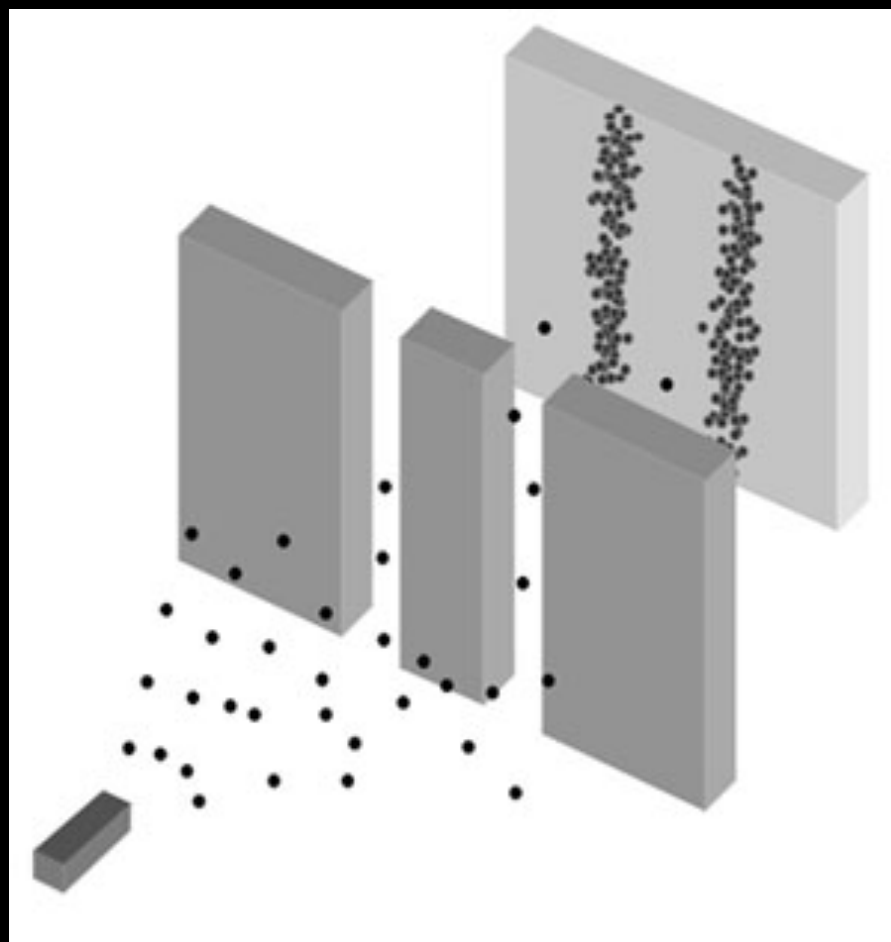
干渉縞ができる条件

- 光が O を通過する
- 光が A と B を同時に通過する
- 通過した光が強め(弱め)合う
- 強め(弱め)あった所が明るく(暗く)なる



光子の2重スリット実験

- 光子を1コずつ照射する



少

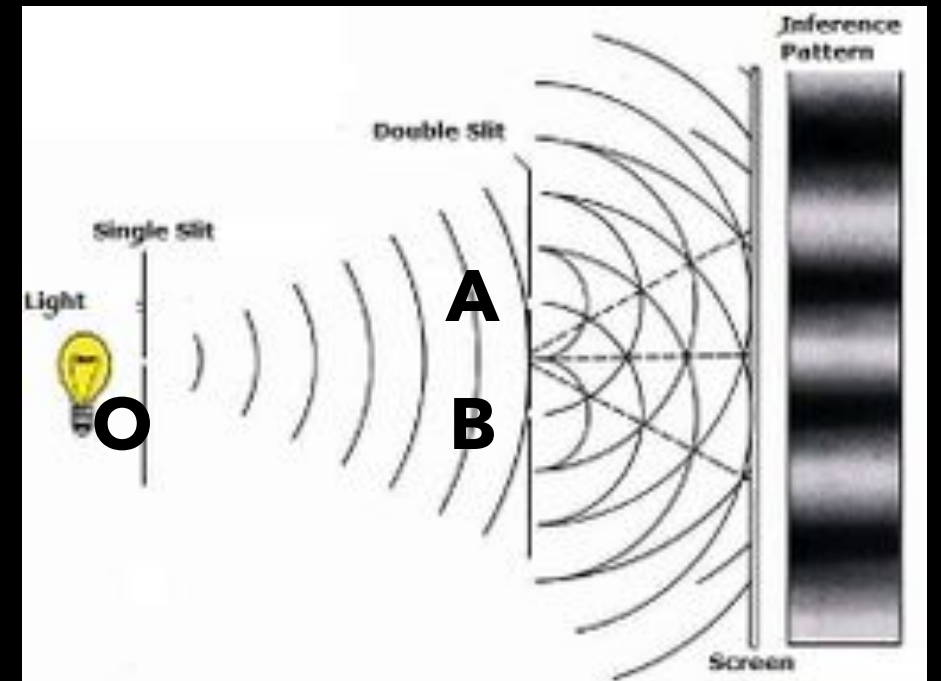
光子数

多

A. Tonomura et al. (1989)

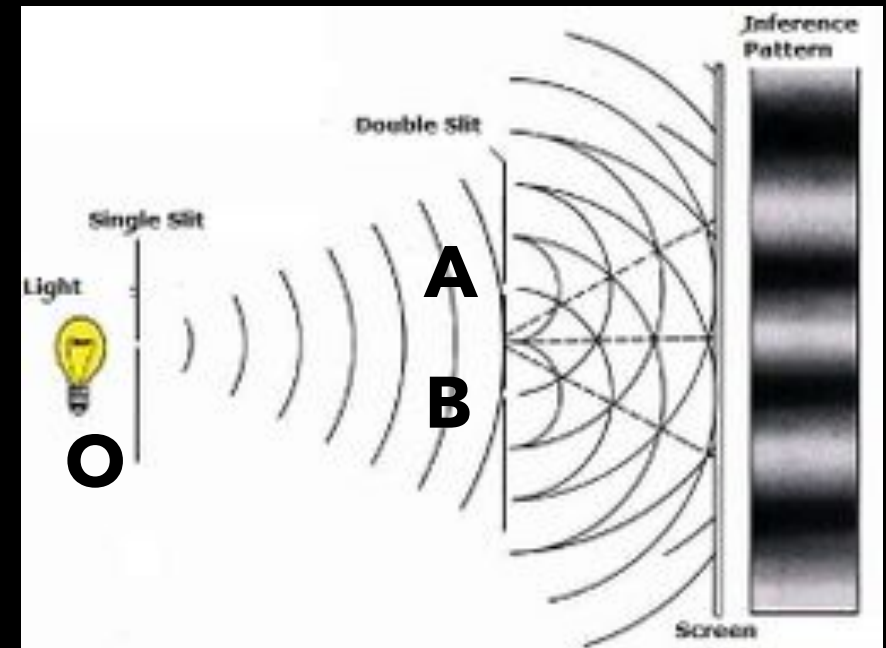
(再考)干渉縞ができる条件

- 光が○を通過する
- 光がAとBを同時に通過する
- 通過した光が強め(弱め)合う
- 強め(弱め)あった所が明るく(暗く)なる



量子力学的な解釈

- 光子が ○ を通過する
- 不可分な光子が A と B を同時に通過する
- 通過した光子の存在確率が強め(弱め)合う
- 確率が強め(弱め)あった所が明るく(暗く)なる



量子の奇妙な世界

- A, B を通った光子が同時に存在すると解釈
 - この状態を観測できない
 - 観測すると粒子として現れる

$$|\psi\rangle = c_1 |A\rangle + c_2 |B\rangle$$

- 量子力学的な重ね合わせ(コヒーレント)

量子力学のまとめ

- 量子力学は超微視的な世界を記述する
- 古典的な我々には理解しがたい性質を持つ
- おすすめの書籍

量子力学1 (著) 朝永振一郎

量子力学と私 (著) 朝永振一郎

量子コンピュータのはじまり

- “Nature isn't classical, dammit, and if you want to make a simulation of nature, you'd better make it quantum mechanical, and by golly it's a wonderful problem, because it doesn't look so easy.” (R. P. Feynman)
- 自然をシュミレートするのが最初の動機 !!

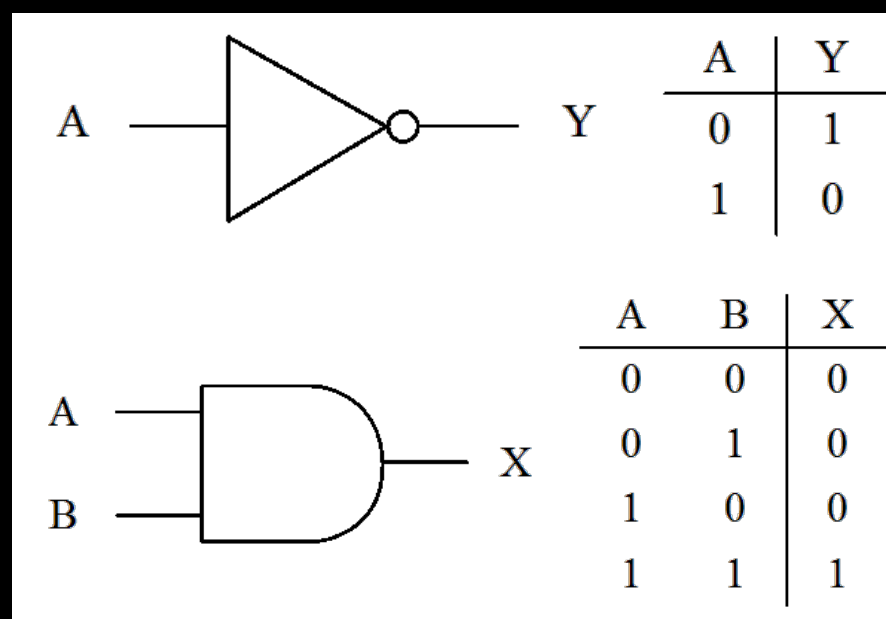
量子コンピュータの概念

- 古典ビット

0 or 1

例: 00, 01, 10, 11

- 論理回路



- 量子ビット

$$\cos(\theta/2) |0\rangle + e^{i\phi} \sin(\theta/2) |1\rangle$$

例: $a |00\rangle + b |01\rangle + c |10\rangle + d |11\rangle$

- 論理回路

$$X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$$

$$Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$

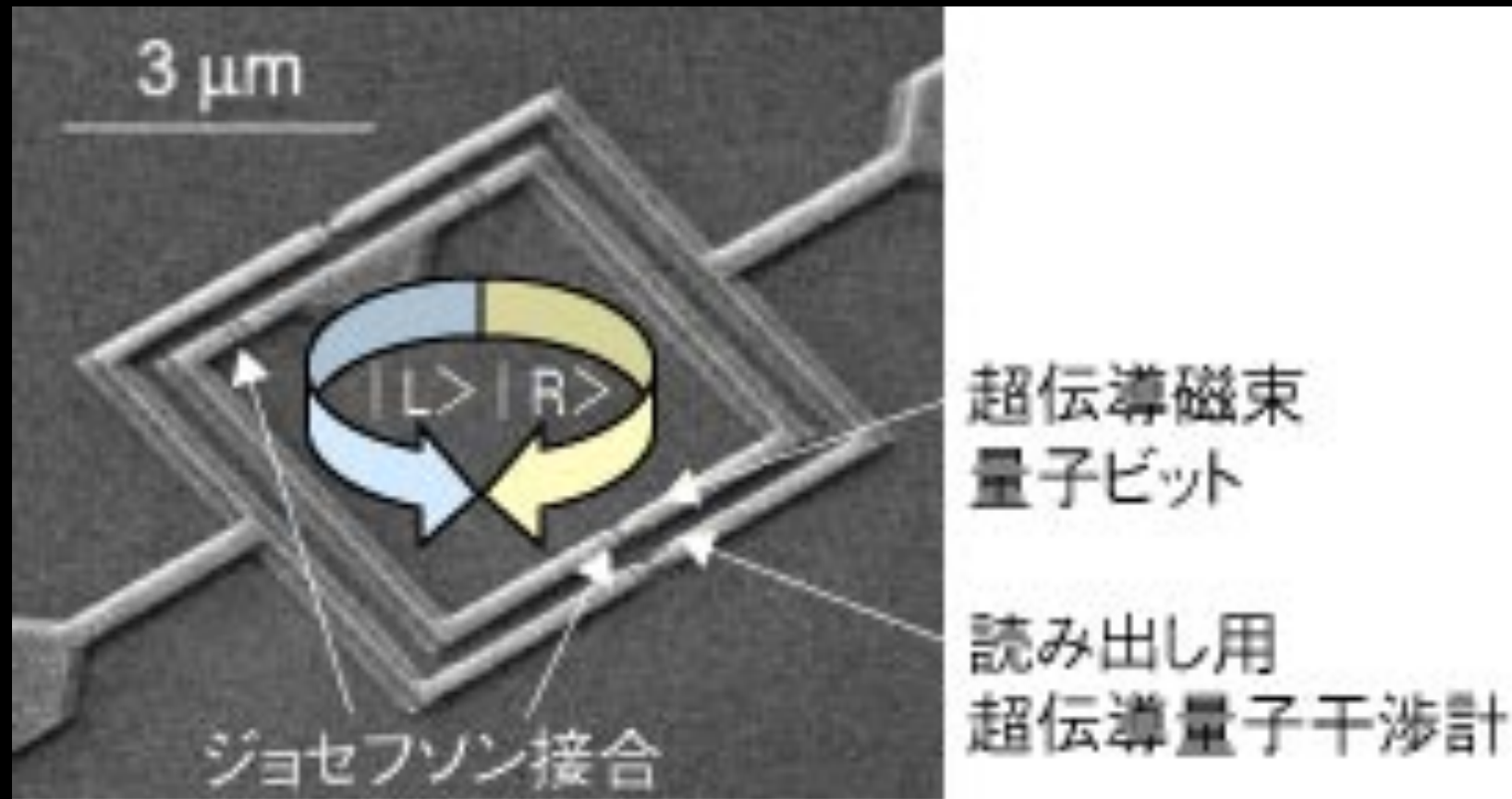
$$CNOT = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

量子ビット

- 2つの状態の量子力学的な重ね合わせを利用
→ コヒーレント
- 同時に 2^N の組合せを表現できる
- 2^N の組合せを利用した並列計算
→ 量子加速 (例: Shor's factorization, 1994)

量子ビットを作る

- 超電導量子ビット



NTT物性科学基礎研究所 (2005)

量子コンピュータまとめ

- 最初の動機は自然を再現すること
- 特定のアルゴリズムで速い
- おすすめ書籍

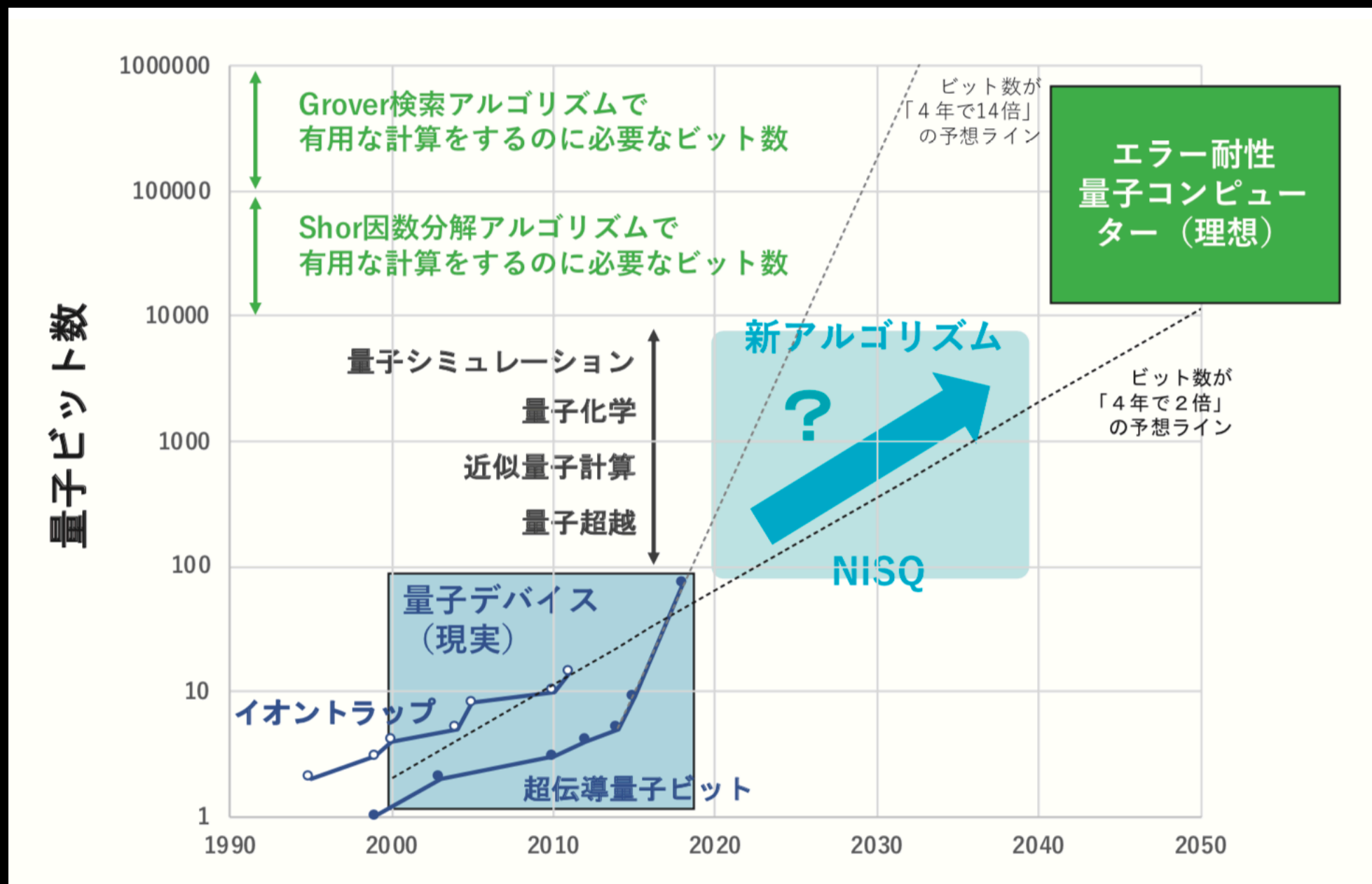
量子コンピュータ入門第2版 (著) 宮野健次郎, 古澤明

Quantum Computation and Quantum Information
(著) M. A. Nielsen, I. L. Chuang

NISQ とは

- Noisy Intermediate-Scale Quantum
(ノイズありスケールしない量子コンピュータ)
- J.Preskill が定義
- 特徴
 - 50 ~ 1000 量子ビット → 回路が小さい
 - エラーがある → 試行回数が多い
 - コヒーレント時間が短い → 計算時間が短い

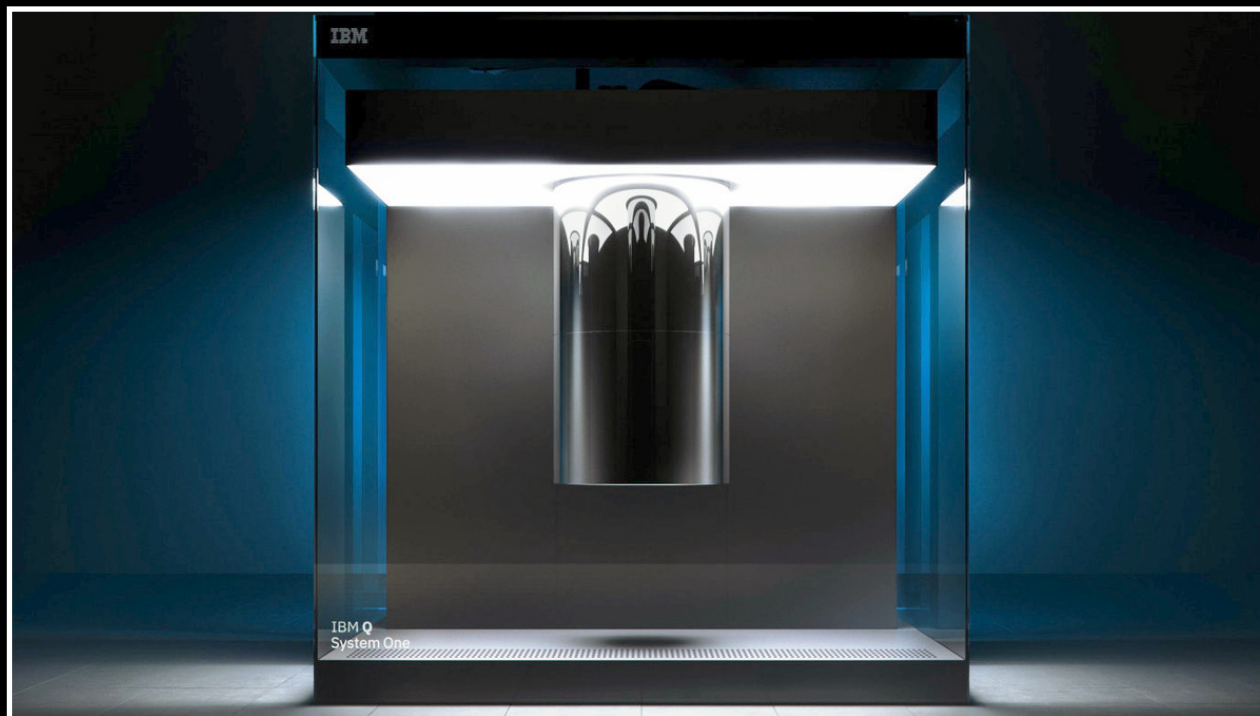
開発ロードマップ



みんなの量子コンピュータ図 2.5

IBM Q System One

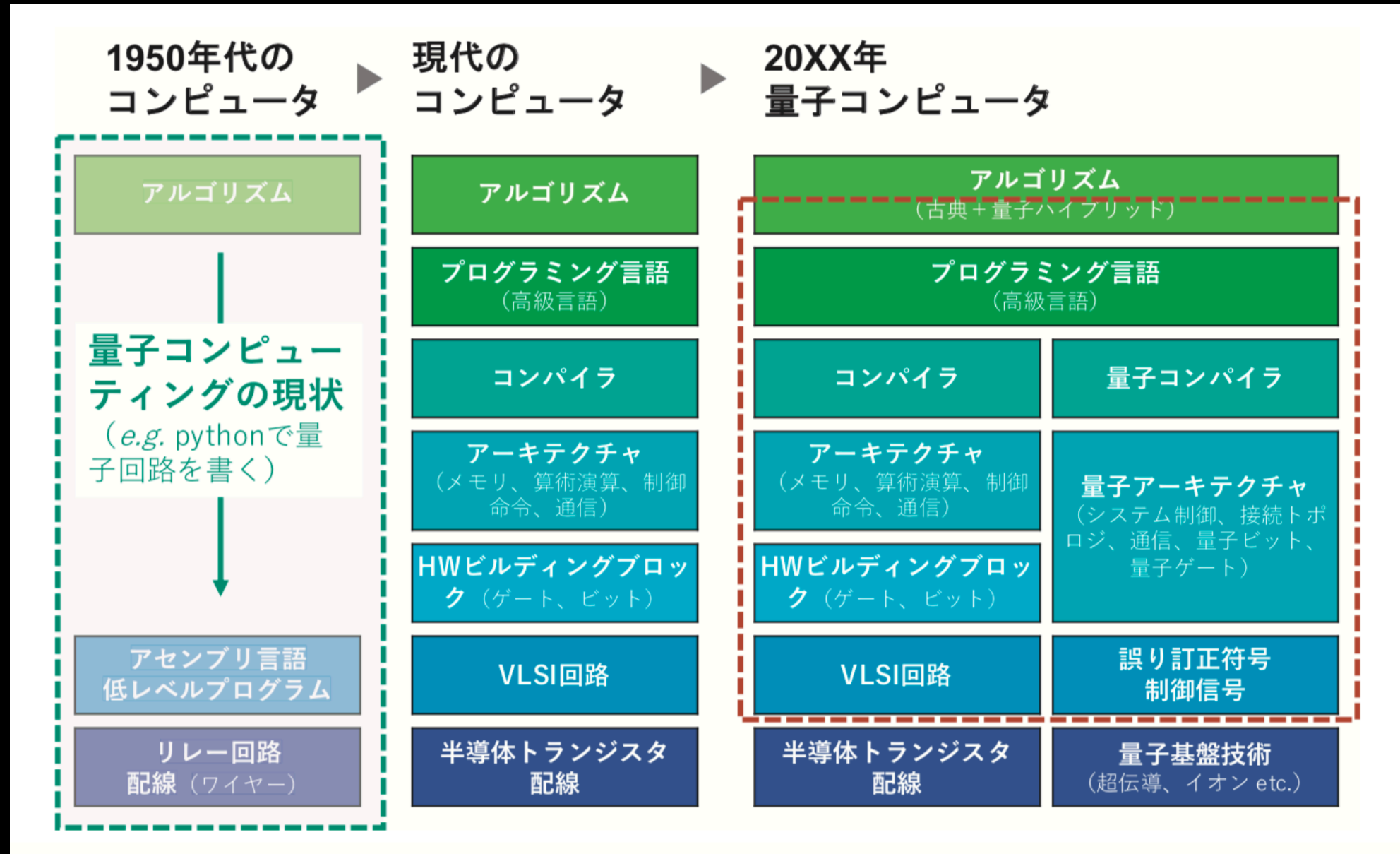
- 汎用近似超伝導量子コンピュータ (20qbit)



Average measurements

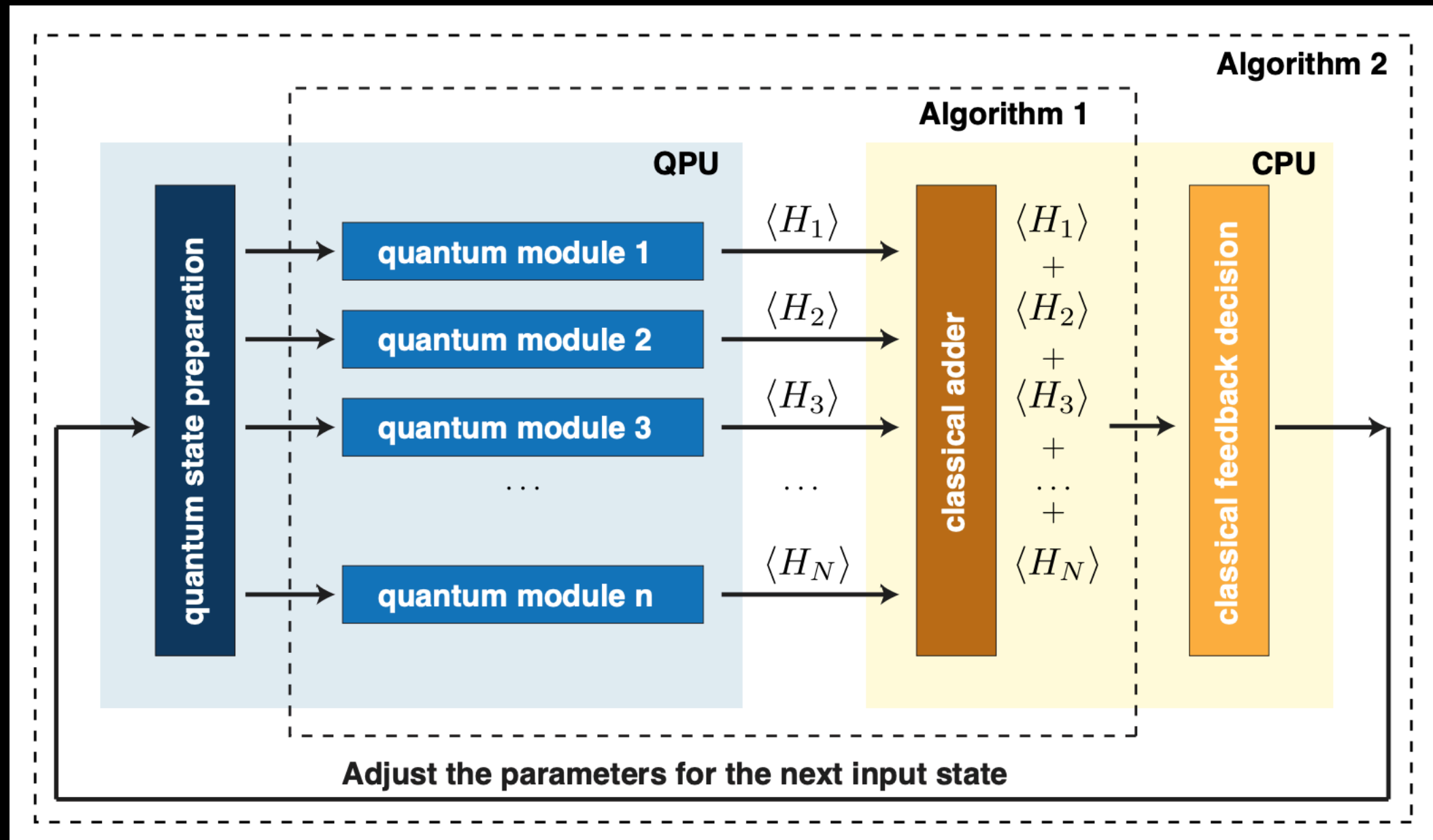
Frequency (GHz)	4.97
T1 (μ s)	88.84
T2 (μ s)	56.76
Gate error (10^{-3})	3.04
Readout error (10^{-2})	7.82

ソフトウェア開発環境



みんなの量子コンピュータ図 1.1

NISQ でのアルゴリズム



Alberto Peruzzo et al. , arXiv:1304.3061 (2013)

NISQ でのアルゴリズム

アルゴリズム	内容
Quantum Approximate Optimization Algorithm	組み合わせ最適化問題 教師なし機械学習
Variational Quantum Eigensolver	量子化学計算
Variational Quantum Factoring	因数分解

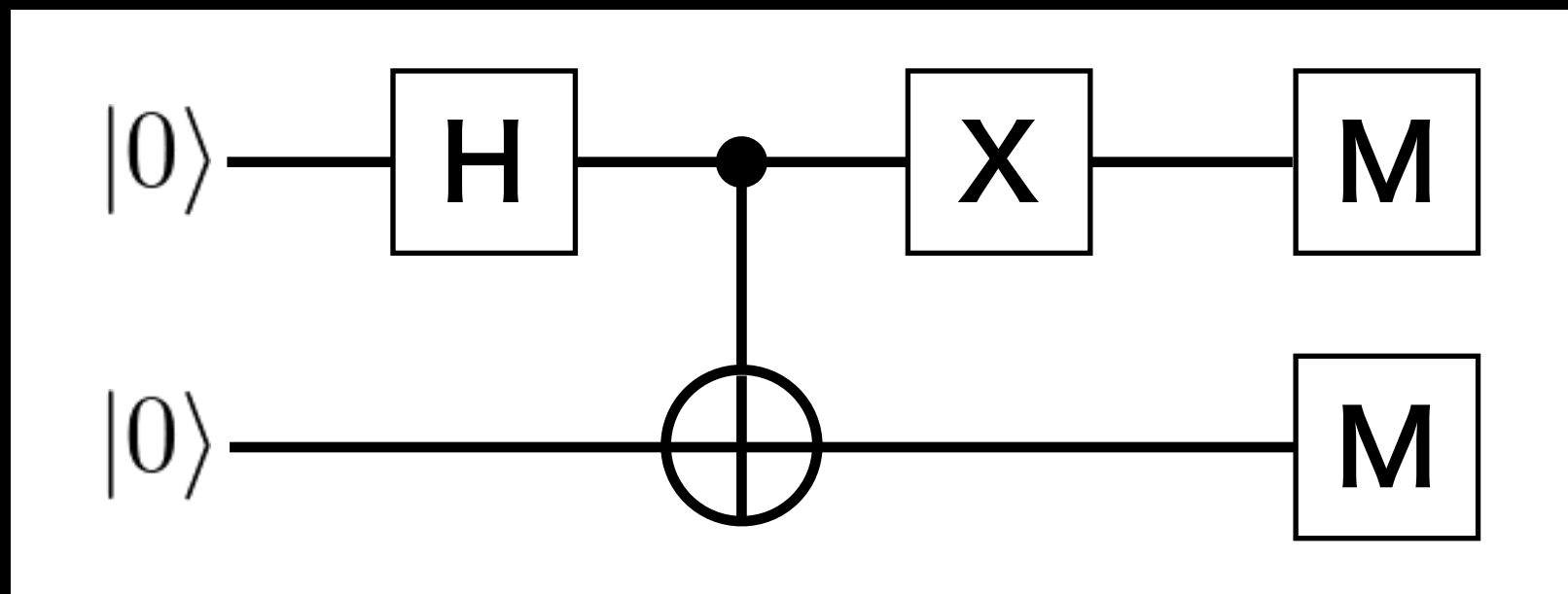
NISQ のまとめ

- サイズ小さい, エラー多い, コヒーレント時間が短い
- ソフトウェア開発は回路を記述
- 古典・量子ハイブリット計算が主流
- おすすめ資料

Quantum Computing in the NISQ era and beyond
(著) J. Preskill, arXiv:1801.00862

(戦略プロポーザル) みんなの量子コンピューター

Appendix 量子計算の仕方



1. $\underline{|0\rangle} \otimes |0\rangle \rightarrow \frac{1}{\underline{\sqrt{2}}} (|0\rangle + |1\rangle) \otimes |0\rangle$

2. $\frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle \otimes |0\rangle + \underline{|1\rangle} \otimes |0\rangle) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (|0\rangle \otimes |0\rangle + \underline{|1\rangle} \otimes |1\rangle)$

3. $\frac{1}{\sqrt{2}} (\underline{|0\rangle} \otimes |0\rangle + \underline{|1\rangle} \otimes |1\rangle) \rightarrow \frac{1}{\sqrt{2}} (\underline{|1\rangle} \otimes |0\rangle + \underline{|0\rangle} \otimes |1\rangle)$