

# 量子コンピュータ 入門セミナー

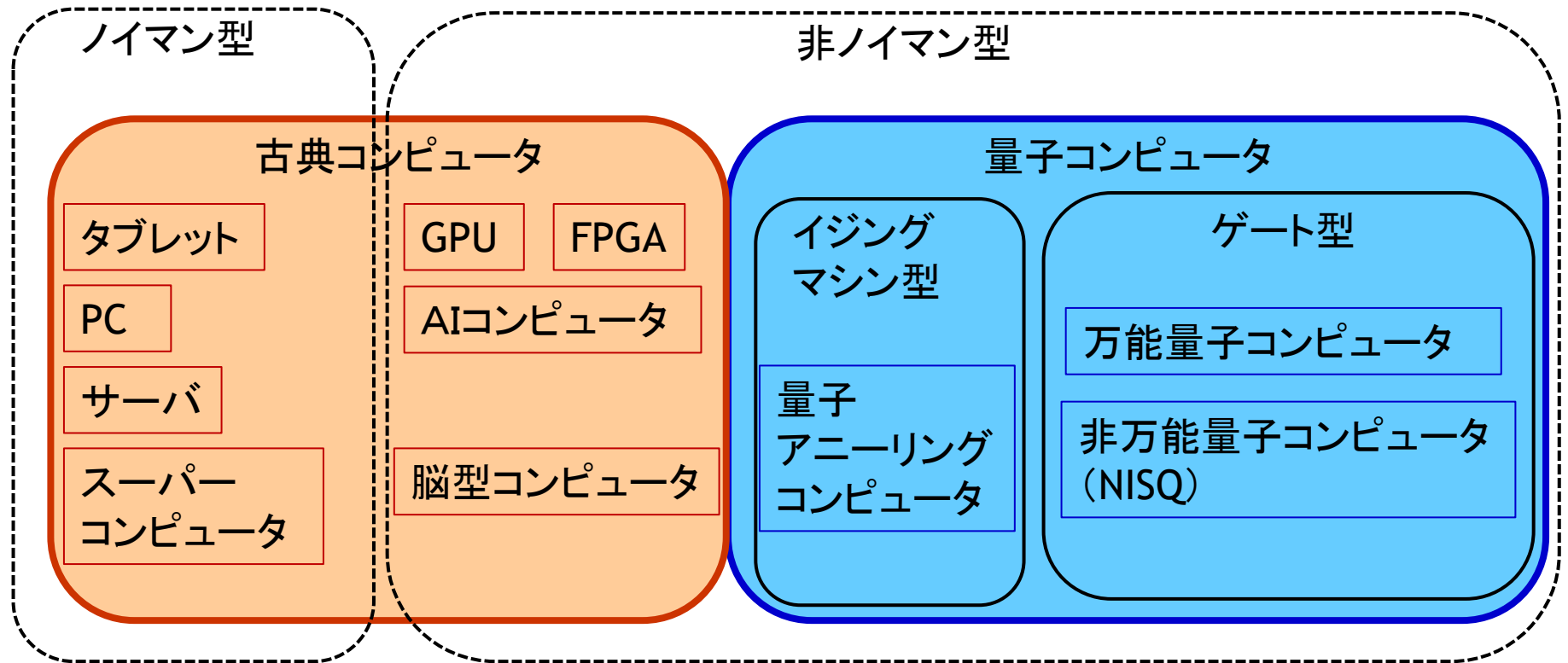
2021年1月17日

夢と技術の経営研究所

# 目次

1. 量子コンピュータとは
2. 海外と日本における量子技術の開発状況
3. 量子技術に関する日本の戦略
4. 量子コンピュータの活用が期待される分野
5. 量子コンピュータの動作原理・動作方法
6. 量子ビット
7. 量子ビットの表し方
8. 量子ゲート
9. プログラミングと計算
10. まとめ

# 1. 量子コンピュータとは



◎ノイマン型: CPU、メモリ、バス、IO等で構成、メモリにデータとプログラムを内蔵、メモリの命令を逐次取り出しプロセッサで実行

◎非ノイマン型: ノイマン型以外(特定の問題に特化)

◎量子コンピュータ: 「量子力学」特有の物理状態を利用して高速計算を実現するコンピュータ

## 2. 海外と日本における量子技術の開発状況

### 量子技術をめぐる国内外の動き

#### ○海外の状況

- 米欧中を中心に諸外国では、「量子技術」を国家戦略上の重要技術と位置づけ、戦略策定、研究開発投資の拡充、拠点の形成等を急速に展開



#### アメリカ

- ✓ トランプ政権下、研究開発戦略及び関連法を制定
- ✓ 5年間で約1,400億円の投資(DOD、CIAを除く)
- ✓ 10か所程度、拠点を形成(DOE、NSF)
- ✓ Google、IBM、ベンチャーが量子コンピュータを開発中



#### EU

- ✓ 2017年、研究開発戦略を策定
- ✓ 10年間、約1,250億円のFlagshipプロジェクトを開始
- ✓ 加えて、各国が独自予算で研究開発を実施
- ✓ 特に、蘭・英等は、国際的な拠点を形成。Intel等の民間投資を呼び込んでいる



#### 中国

- ✓ 官民ともに研究開発を積極的に展開
- ✓ 量子関係の研究所を約1,200億円かけて建設中
- ✓ 安全保障の観点から、量子暗号への取組を拡大
- ✓ アリババ、Huawei等が、自社内に量子コンピュータのチームを立ち上げ



#### ○我が国の状況

- 長年にわたる研究の蓄積により、我が国は基礎理論や基盤技術（材料技術）等に優位性を有するため、研究協力に対する米欧からの関心は高い
- しかし、国を挙げた戦略的な方向性や世界に顔の見える研究開発拠点等が存在しない。そうしたこともあり、諸外国と比べ、我が国の研究開発投資は見劣り

このままでは量子技術で諸外国に致命的な後れをとるおそれ

出所：量子技術イノベーション戦略 最終報告（概要） 内閣府

### 3. 量子技術に関する日本の戦略

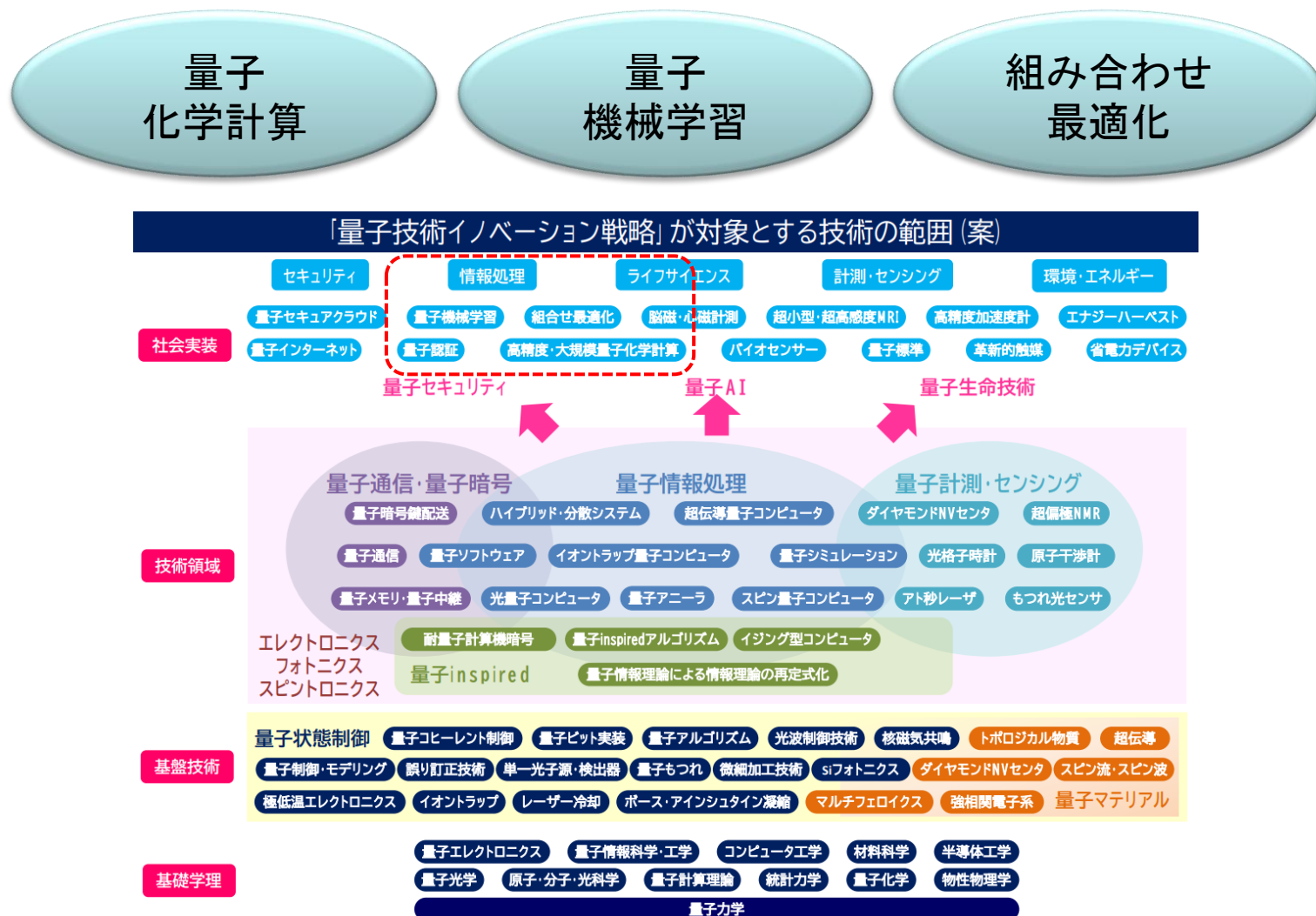
量子技術イノベーション実現に向けた5つの戦略①			別添1
	戦略の方向性	具体的方策	
1. 技術開発戦略			
(1)主要技術領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>○「量子技術イノベーション」を通じて、Society 5.0や、「生産性革命の実現」・「健康・長寿社会の実現」・「国及び国民の安全・安心の確保」という将来の社会像を達成するための基盤技術を特定</li> <li>○それぞれの技術の特性に応じ、研究開発等の重点化や実用化等に向けた戦略的取組を展開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○「主要技術領域」について、「重点技術課題」と「基礎基盤技術課題」を特定</li> <li>○技術ロードマップを策定し、重点的な支援を推進等</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>＜主要技術領域＞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>i) 量子コンピュータ・量子シミュレーション</li> <li>ii) 量子計測・センシング</li> <li>iii) 量子通信・暗号</li> <li>iv) 量子マテリアル（量子物性・材料）</li> </ul> </div>	
(2)量子融合イノベーション領域	<ul style="list-style-type: none"> <li>○世界に先駆け量子イノベーションを創出、社会実装を実現するため、量子融合イノベーション領域を設定</li> <li>○実用化等を実現するための戦略的な取組を展開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○量子技術と関連技術とを融合・連携させた「量子融合イノベーション領域」を設定</li> <li>○「融合領域ロードマップ」を策定し、民間から投資を呼び込み、国直轄の大規模なプロジェクトや大型の研究開発ファンディング等を実施 等</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>＜量子融合イノベーション領域＞</p> <p>①量子AI ②量子生命 ③量子セキュリティ</p> </div>	
2. 国際戦略			
(1)国際協力の戦略的展開	<ul style="list-style-type: none"> <li>○量子技術に関する高い研究・技術水準等を有する国・地域との間で協力を推進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○欧米を中心に、政府レベルでの多国間・二国間の協力枠組みを整備・構築 等</li> </ul>	
(2)安全保障貿易管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>○量子技術を含む先進技術を対象とした安全保障貿易管理を推進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○外国為替及び外国貿易法に基づく安全保障貿易管理規程等の整備と運用体制の強化 等</li> </ul>	

4

出所: 量子技術イノベーション戦略 最終報告(概要) 内閣府

## 4. 量子コンピュータの活用が期待される分野

### ◎量子コンピュータによる高速計算が期待される分野



3

出所: 量子技術イノベーション戦略 最終報告(概要) 内閣府

© 2021 夢と技術の経営研究所

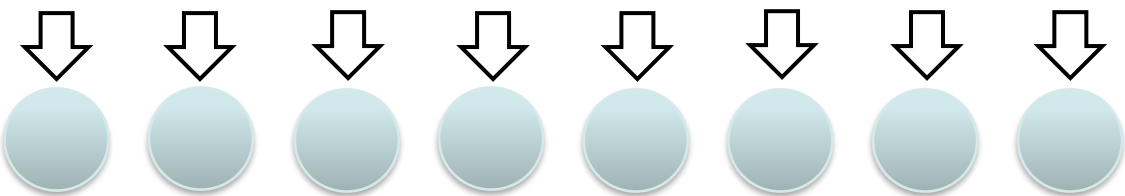
## 5. 量子コンピュータの動作原理・動作方法

### ◎量子ビットの開発・用意

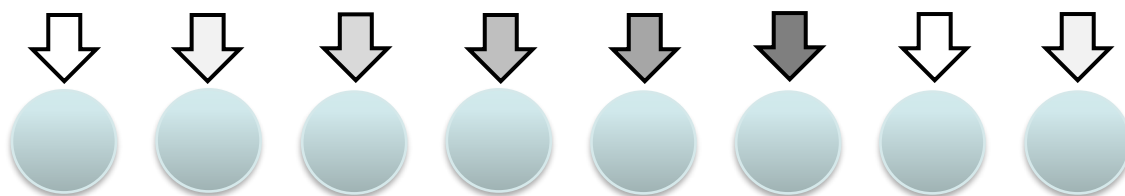


### ◎動作の流れ

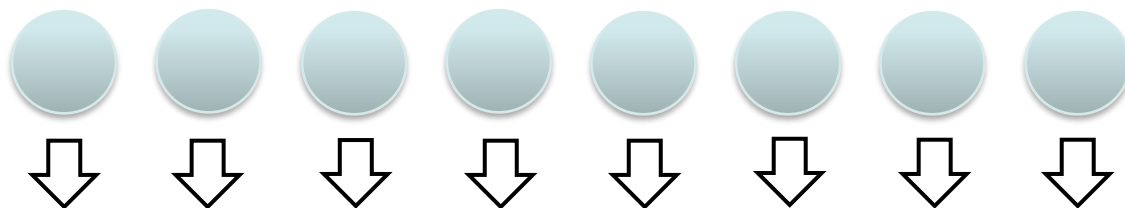
#### ① 初期化



#### ② 量子的な操作



#### ③ 計算結果の読み出し



## 6. 量子ビット

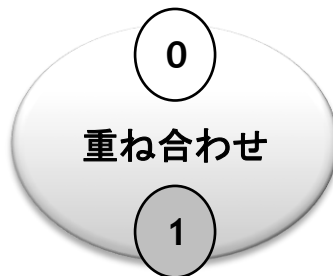
### ◎古典ビットと量子ビット

古典ビット

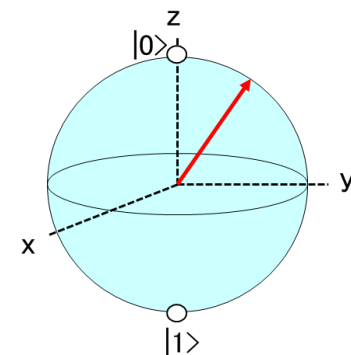
0

1

量子ビット



ブロッホ球



量子ビットの重ね合わせ状態は、「0」と「1」を極とする球面上の1点を示すベクトル(矢印)で表せる

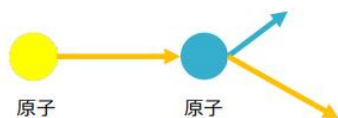
#### 量子技術とは

量子(原子、電子、光子など)の持つ特異な性質や振る舞いを活かした科学技術。従来技術を凌駕する性能を引き出す

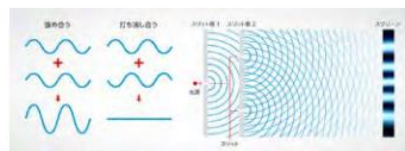
- ①二重性：粒子と波の二つの性質を併せ持つ
- ②重ね合わせ：1つの量子で複数の状態を同時に表現することができる
- ③もつれ：複数の量子がたとえどれだけ空間的に離れていても互いに影響を及ぼし合う

#### <二重性の例>

①原子の粒子としての性質



②原子の波としての性質



#### <重ね合わせの例>

○りんご(非量子)の場合



○光子(量子)の場合





## 7. 量子ビットの表し方

### ◎ブラケット記法

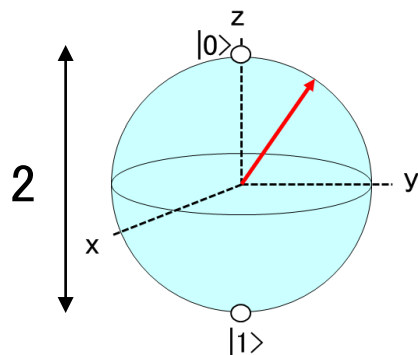
$|0\rangle$  : “0”状態

$|1\rangle$  : “1”状態

$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$  : 重ね合わせ状態

( $\alpha$ は”0”状態の確率振幅と位相を表す複素数、 $\beta$ は”1”状態の確率振幅と位相を表す複素数、  
確率の和が1(100%)であるため $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ )

### ◎量子状態を表す図(ブロッホ球)



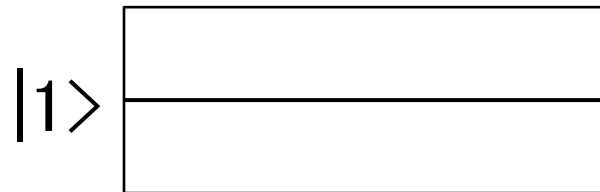
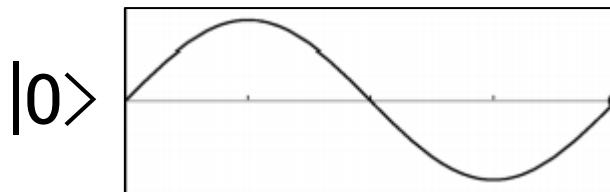
$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$

$2|\alpha|^2$  :  $|\alpha|^2$ は測定で”0”となる確率

$2|\beta|^2$  :  $|\beta|^2$ は測定で”1”となる確率

### ◎一周期の波の図

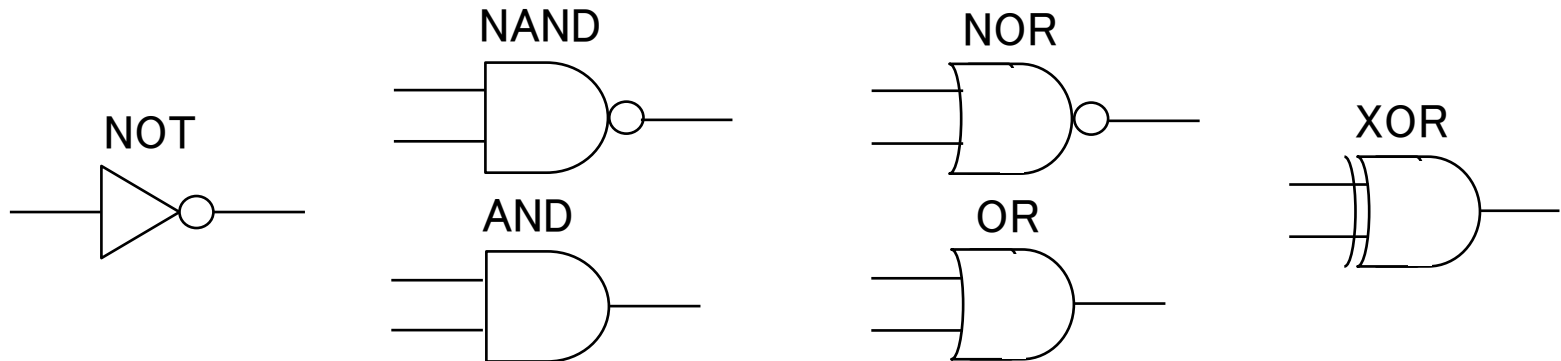
$\alpha$  (複素数)  $= A(\cos \phi + i \sin \phi)$   $A$ : 確率振幅(実数)、 $\phi$ : 位相(実数)



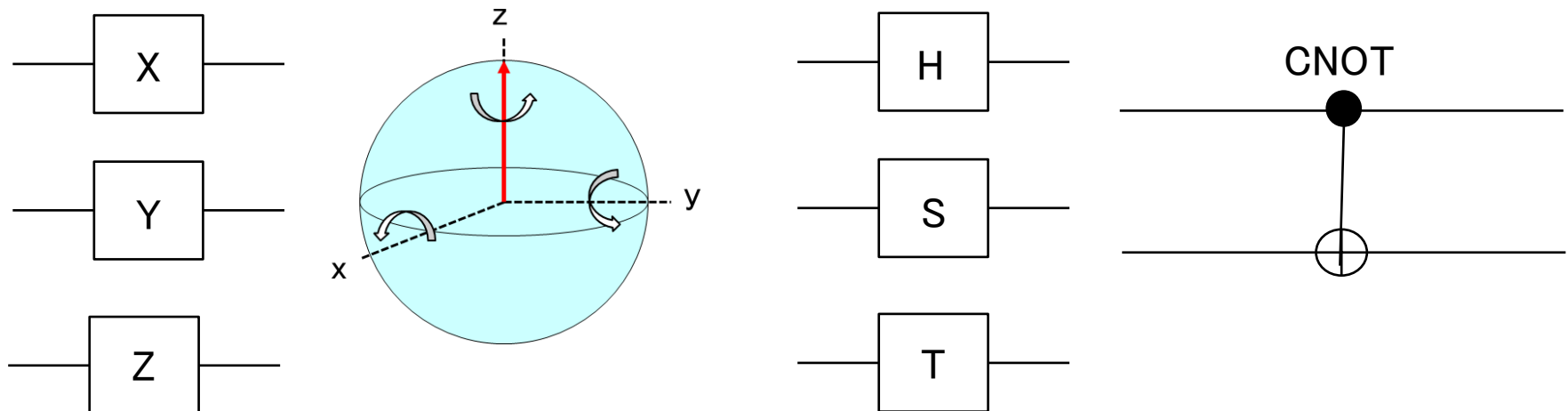
## 8. 量子ゲート

### ◎論理ゲートと量子ゲート

#### ・論理ゲート(古典コンピュータ)



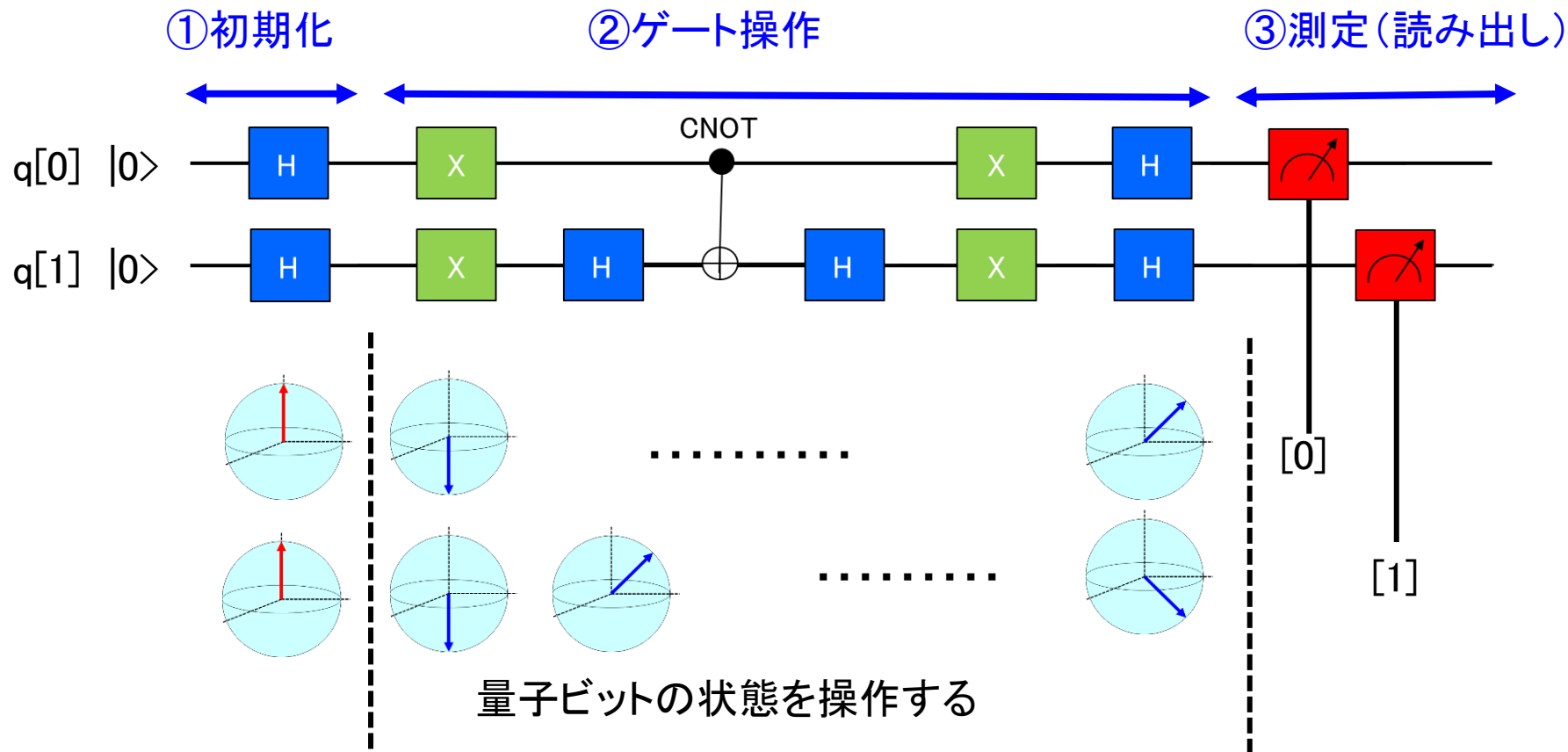
#### ・量子ゲート(量子コンピュータ)



## 9. プログラミングと計算

◎量子ゲートを適切に配置すること(アルゴリズム開発)で、問題を解く

◎量子ビットを、①初期化、②ゲート操作、③測定(読み出し)の3ステップで演算する



## 10. まとめ

- ◎量子コンピュータは、量子力学の原理を情報処理に応用したコンピュータである
- ◎量子ビット、量子ゲートにより演算が行われる
- ◎演算は、①量子ビットの初期化、②量子ゲート操作、③測定（読み出し）の3ステップで行われる
- ◎古典コンピュータでは、時間がかかる特定の問題（量子化学計算、量子機械学習、組み合わせ最適化など）の解決に効果を発揮すると期待される
- ◎問題解決が可能な量子アルゴリズムの開発が必要である
- ◎量子アルゴリズムをもとに量子回路図（量子プログラム）を記述する

量子コンピュータの研究開発とその応用において、  
幅広い分野の技術が必要となるため、  
材料・部品の開発や加工、システム構築、アルゴリズム開発など、  
それぞれが得意な分野で、  
中小企業・小規模事業者、ベンチャー企業が関わって行けると素晴らしいですね！

夢と技術の経営研究所  
[www.yumegi.com](http://www.yumegi.com)