



ムーンショット目標6

「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に
発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」
のご紹介

2021年3月11日（木）

ムーンショット目標6キックオフシンポジウム

プログラムディレクター

北川 勝浩

（大阪大学 教授）

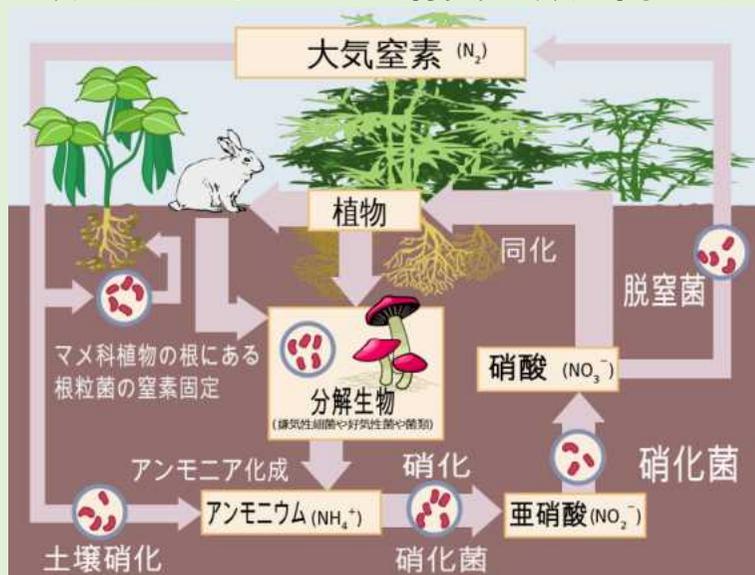
1. 目指す社会像 (1)



1. 目指す社会像 (2)

窒素固定

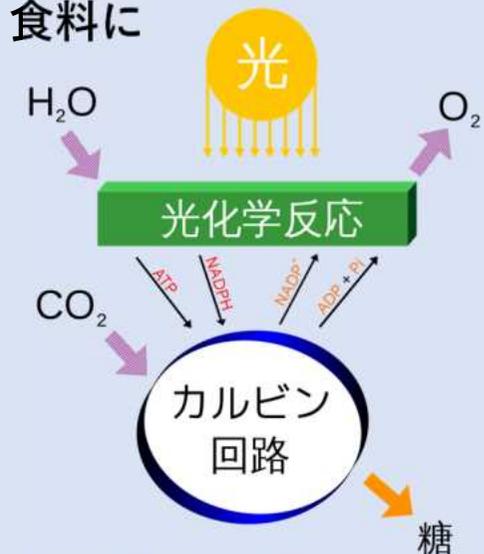
- 化学肥料：アンモニア合成の工業化
百年前～ハーバー・ボッシュ法
高温400～600°C、高圧200～1000気圧
- 人類の全エネルギー消費の数%占める



- 菌の生物窒素固定
- 量子コンピュータによる解明に期待
- 人工的に模倣して省エネルギー化

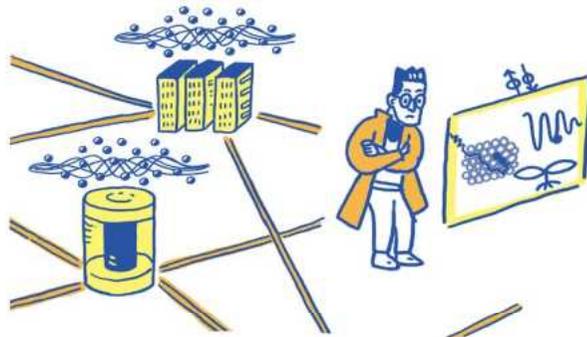
食料・エネルギー・環境問題の解決

- 太陽光をエネルギー源として二酸化炭素と水から酸素と糖を生産
- 二酸化炭素（温室効果ガス）を減らして地球温暖化を緩和
- 糖はエネルギー・食料に



- 天然光合成の高効率の鍵は量子性
- 量子コンピュータによる解明に期待
- 模倣してありふれた元素で人工光合成

1. 目指す社会像（3）



複数の量子コンピュータをネットワークで連携させることで、大規模な計算を高速で行う

「省エネ」な生物の営みを正確に理解

20世紀初頭に発明されたハーバー・ボッシュ法は窒素肥料の原料となるアンモニアの工業生産を可能にし、人類の繁栄を支えてきた。しかし現在、窒素肥料の生産には人類が消費する全エネルギーの数%が費やされており、地球環境に大きな負担をかけている。

一方で、菌が行う天然の窒素固定（空気中に存在する窒素分子を、窒素化合物に変換する反応）は、ハーバー・ボッシュ法に比べるとはるかに省エネルギー、省資源だ。窒素固定を人工的に再現できれば、エネルギー問題、食料問題、地球温暖化など、私たちが抱える様々な問題の解決につながるだろう。

なぜ、生物は当たり前のように複雑な反応を効率よく行うことができるのか。その秘密は反応に関わる物質を構成する量子のふるまいにあると考えられているが、複雑に絡み合う量子状態はスーパーコンピュータを使っても厳密に計算することが難しい。しかし誤り耐性型汎用量子コンピュータがあれば、生物が行う反応中の量子状態を厳密に計算（再現）することができる。

持続可能な安全で豊かな社会



人工光合成の実現。太陽の光と水を使って、地球温暖化の原因となる二酸化炭素を酸素と有機化合物に変える。

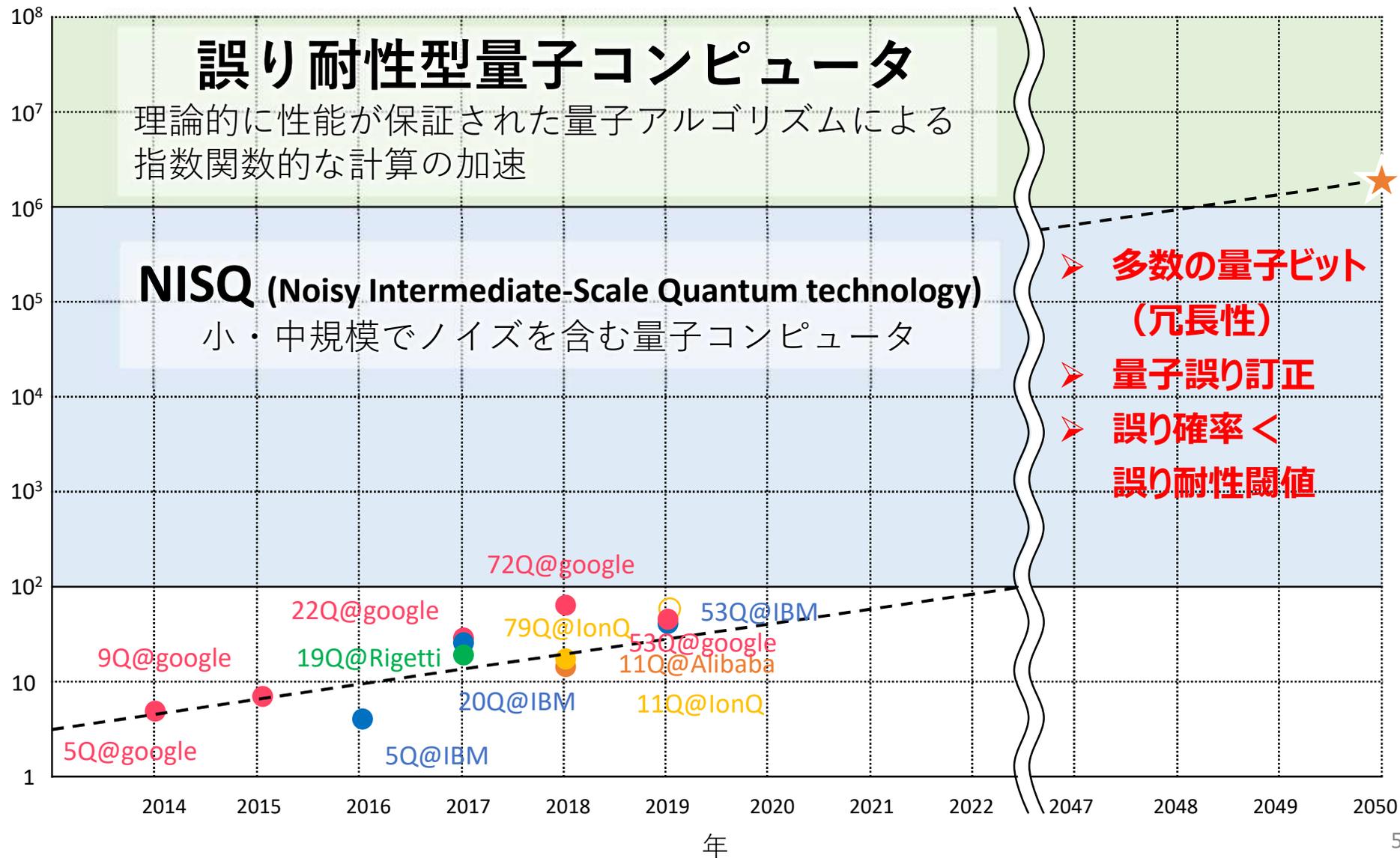
様々な反応の量子状態を厳密に計算し、物質の性質を正確に予言することが可能になるため、創薬や室温超伝導物質などの材料開発が飛躍的に加速する。



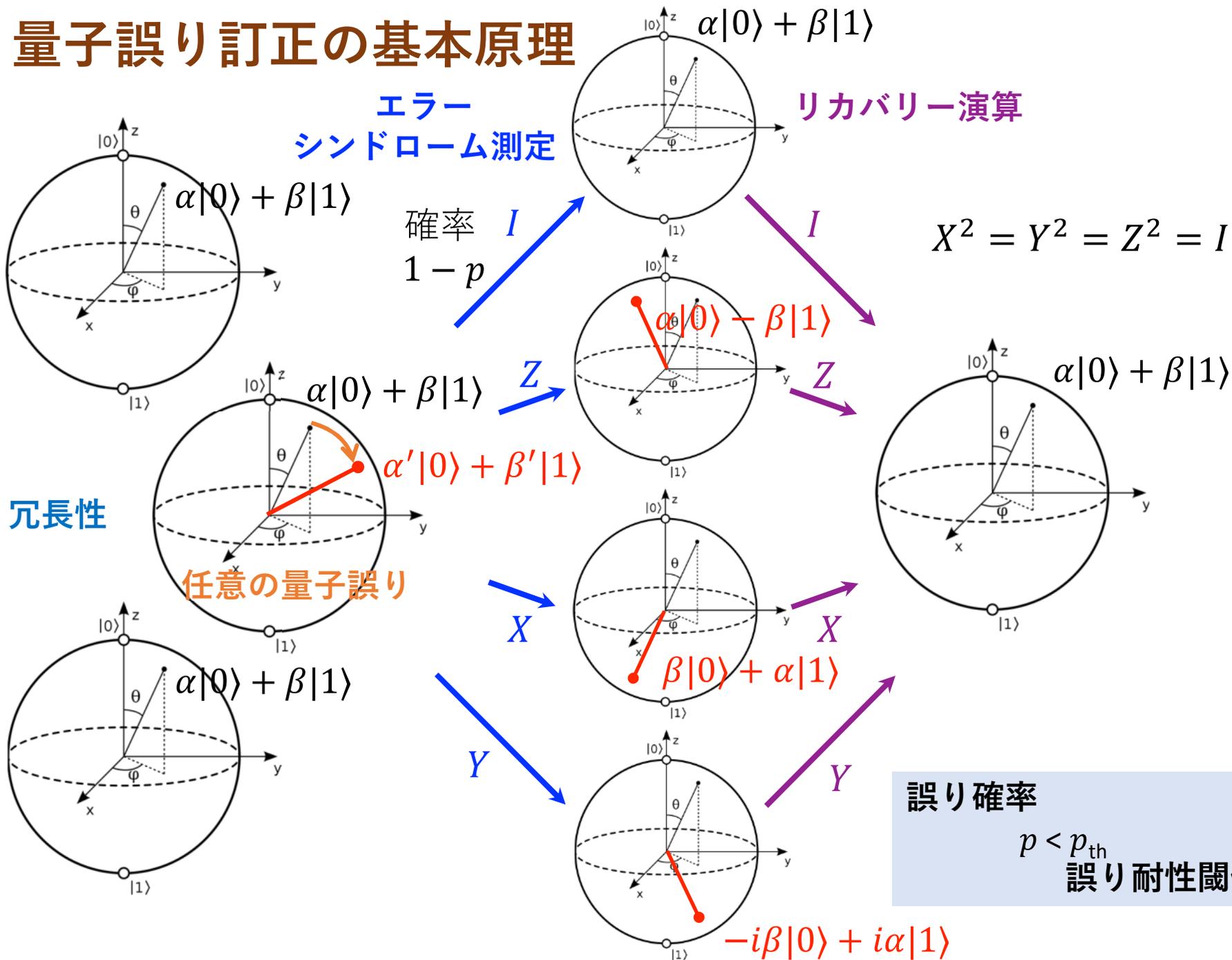
人工窒素固定の実現。省エネルギーでありながら、空気中の窒素から窒素化合物を効率よく合成できる。

2. シナリオ及び克服すべき課題（1）

量子ビット数



量子誤り訂正の基本原理



2. シナリオ及び克服すべき課題（2）

量子技術全体を底上げしつつ、目標に向かってオールジャパン体制で研究開発

2050 大規模化を達成し、誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現

2040 分散処理型NISQ量子コンピュータの実証 量子誤り訂正下での有用タスク計算

2030 一定規模のNISQ量子コンピュータの開発と量子誤り訂正の有効性実証

通信ネットワーク

量子メモリの開発、光子と量子メモリ間の量子インターフェイス技術の確立など

- 光源や検出器
- 量子メモリ
- 量子インターフェイス技術

ハードウェア

量子誤り訂正システムの設計・実装、量子ビット・量子ゲート基盤の確立など

ステージゲート
実現可能性・将来性
のある物理系を見極める

超伝導

イオン
トラップ

光量子

シリコン

理論・ソフトウェア

低オーバーヘッド量子誤り訂正符号や量子アルゴリズムの開発など

- 量子誤り訂正理論
- ミドルウェア、コンパイラ
- アルゴリズム、アプリケーション

3. 世界の量子コンピュータ開発状況

- ✓ 国益と情報セキュリティを念頭にした政府系資金による研究開発
- ✓ 先行者利益確保を狙う民間投資による開発競争
- ✓ 有望な4方式で量子ゲートが実現、半導体以外は量子回路まで実現
- ✓ ただし**誤り耐性なし**

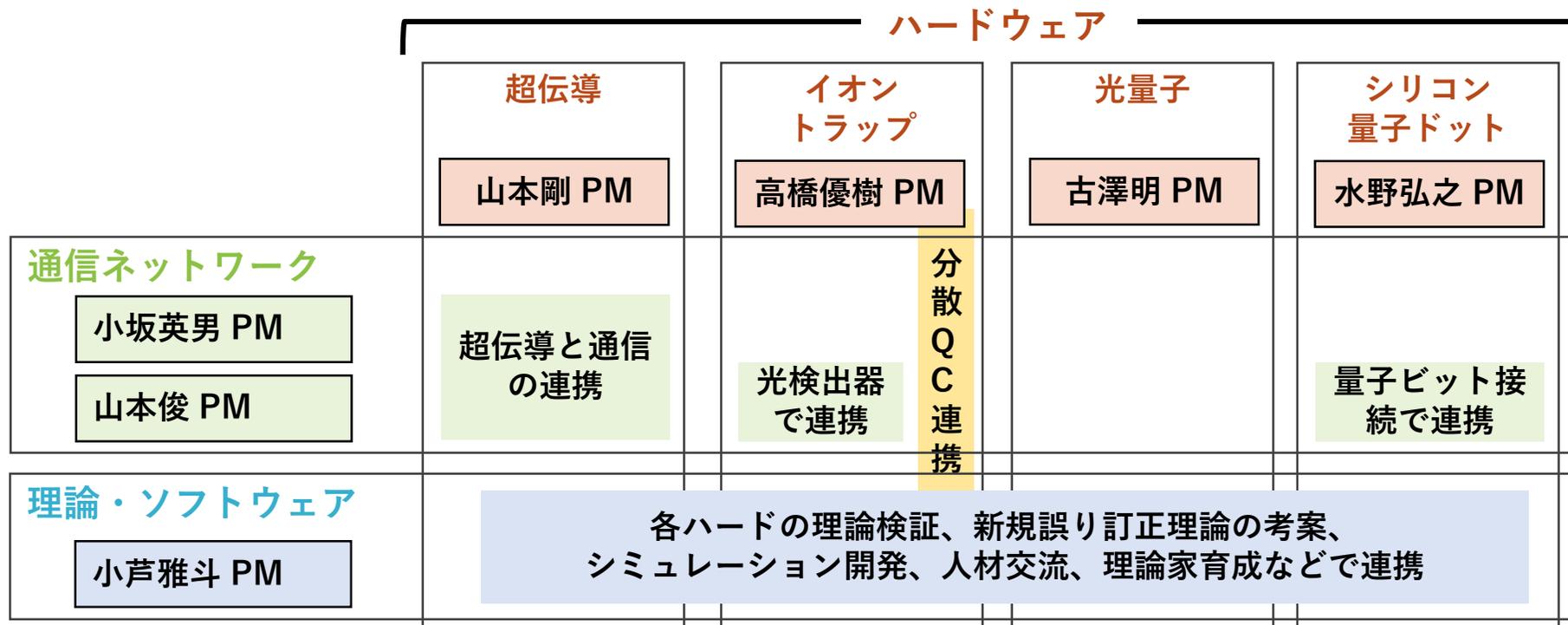
ハードウェア方式	超伝導	イオントラップ	光量子	半導体
特徴	回路構成 マイクロ波帯域	単一原子 理想的な光制御	ノイズ耐性 常温動作	回路構成 高集積性
世界的競争状況 (海外のみ)	   	  	 	 
波及効果、 スピアウト	超高感度磁気センサー、光子検出器	超高精度時計、ジャイロセンサー	量子ネットワーク、量子セキュリティ	量子ドットアレイセンサー
日本の強み	世界初の実現 (1999年;蔡,中村)	光結合技術 光格子時計など周辺	光量子計算創始者 (1998年;古澤)	量子ドット制御、集積回路技術

NISQの範囲でさえ

- 世界的に**Winning方式が決まっていない**
- 世界が、どの方式でも、しのぎを削っている

4. ポートフォリオと進め方

PM	研究開発プロジェクトと概要
山本 剛 (日本電気株式会社)	超伝導量子回路の集積化技術の開発
高橋 優樹 (沖縄科学技術大学院大学)	イオントラップによる光接続型誤り耐性量子コンピュータ
古澤 明 (東京大学)	誤り耐性型大規模汎用光量子コンピュータの研究開発
水野 弘之 (株式会社日立製作所)	大規模集積シリコン量子コンピュータの研究開発
小坂 英男 (横浜国立大学)	量子計算網構築のための量子インターフェース開発
山本 俊 (大阪大学)	ネットワーク型量子コンピュータによる量子サイバースペース
小芦 雅斗 (東京大学)	誤り耐性型量子コンピュータにおける理論・ソフトウェアの研究開発



5. 若手人材育成

2004～13 量子情報サマースクールが奏功
(CREST, FIRST, 科研費新学術などの合同)
ムーンショット目標6課題推進者の多くを育成



新型コロナが解決すれば毎年開催
オンラインも併用
アウトリーチセッションを併設



6. さいごに

- ✓ 目標 6 「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」
 - ✓ 一番早いのは科学への応用、特に量子化学計算
 - ✓ 窒素固定や光合成の解明は地球温暖化やエネルギー問題など社会課題の解決につながる
- ✓ 誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現には、多くのブレークスルーが必要、30年かかると予想
- ✓ 日本はムーンショット目標として、いち早く照準を定め、オールジャパン体制で誤り耐性を目指す
- ✓ アウトリーチ活動を通じて、誤り耐性型汎用量子コンピュータへの挑戦を国民と共有
- ✓ 国民の皆様、産業界、学界の応援をお願いします