資料3

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」に向けた取組

量子技術イノベーション会議（第８回）

2021年4月15日（木）

プログラムディレクター

北川 勝浩

（大阪大学　教授）

プログラムディレクター（ＰＤ）自己紹介

北川　勝浩

大阪大学 大学院基礎工学研究科　教授
大阪大学 世界最先端研究機構 量子情報・量子生命研究センター長

１９８１年　大阪大学 工学部電子工学科卒業
１９８３年　大阪大学 工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了
１９８３年　日本電信電話公社 武蔵野電気通信研究所 入所
１９９１年　日本電信電話株式会社 基礎研究所 主任研究員
１９９３年　大阪大学 基礎工学部 助手
１９９４年　大阪大学　博士（理学）
１９９６年　大阪大学 基礎工学部 講師
１９９７年　大阪大学 大学院基礎工学研究科 助教授
２００３年　大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授
２０２１年　大阪大学世界最先端研究機構 量子情報・量子生命研究センター長
JST CREST 核スピンネットワーク量子コンピュータ (1999-2005)
JST CREST 分子スピン量子コンピュータ (2006-12)
電子情報通信学会 量子情報技術研究専門委員会(QIT)委員長 (2011-12)
JST CREST 室温超核偏極と量子符号化による超高感度生MRI/NMR (2016-)
光・量子飛躍フラッグシッププログラムQ-LEAP量子情報処理AD (2018-)
株式会社QunaSys 共同創業者 (2018.2)
ムーンショット目標6 構想ディレクター (2020.2-)
内閣府 官民研究開発投資拡大プログラムPRISM文部科学省PD (2020.8-)
内閣府 量子技術イノベーション会議 構成員(2020.9-)
Physical Review A 50周年マイルストーン論文に選定(2020.11)
JST COI-NEXT量子ソフトウェア研究拠点プロジェクトリーダー(2020.12-)
米国物理学会、日本物理学会、量子ICTフォーラム、量子生命科学会 各会員

ムーンショット目標について

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

＜ターゲット＞

- 2050年頃までに、大規模化を達成し、誤り耐性型汎用量子コンピュータ*1を実現する。
- 2030年までに、一定規模のNISQ量子コンピュータ*2を開発するとともに実効的な量子誤り訂正を実証する。

＊1 誤り耐性型汎用量子コンピュータは、大規模な集積化を実現しつつ、様々な用途に応用する上で十分な精度を保証できる量子コンピュータ。

＊2 NISQ(Noisy Intermediate-Scale Quantum)量子コンピュータは、小中規模で誤りを訂正する機能を持たない量子コンピュータ。

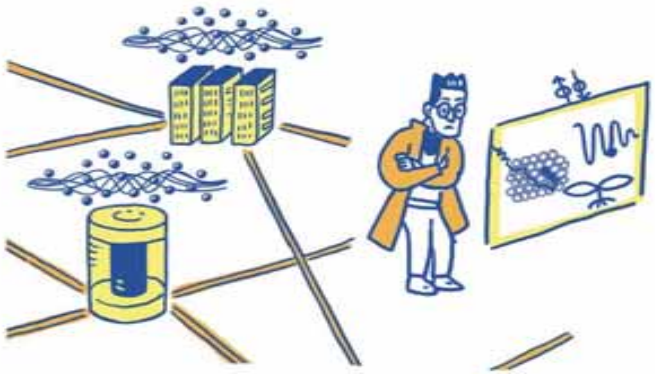
社会を大きく変革させる汎用量子コンピュータを実現

・2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる大規模で多用途な量子コンピュータを実現。

参考：総合科学技術・イノベーション会議有識者議員懇談会（令和2年1月30日）会議資料

1．目指す社会像（1）

1．目指す社会像（2）



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。

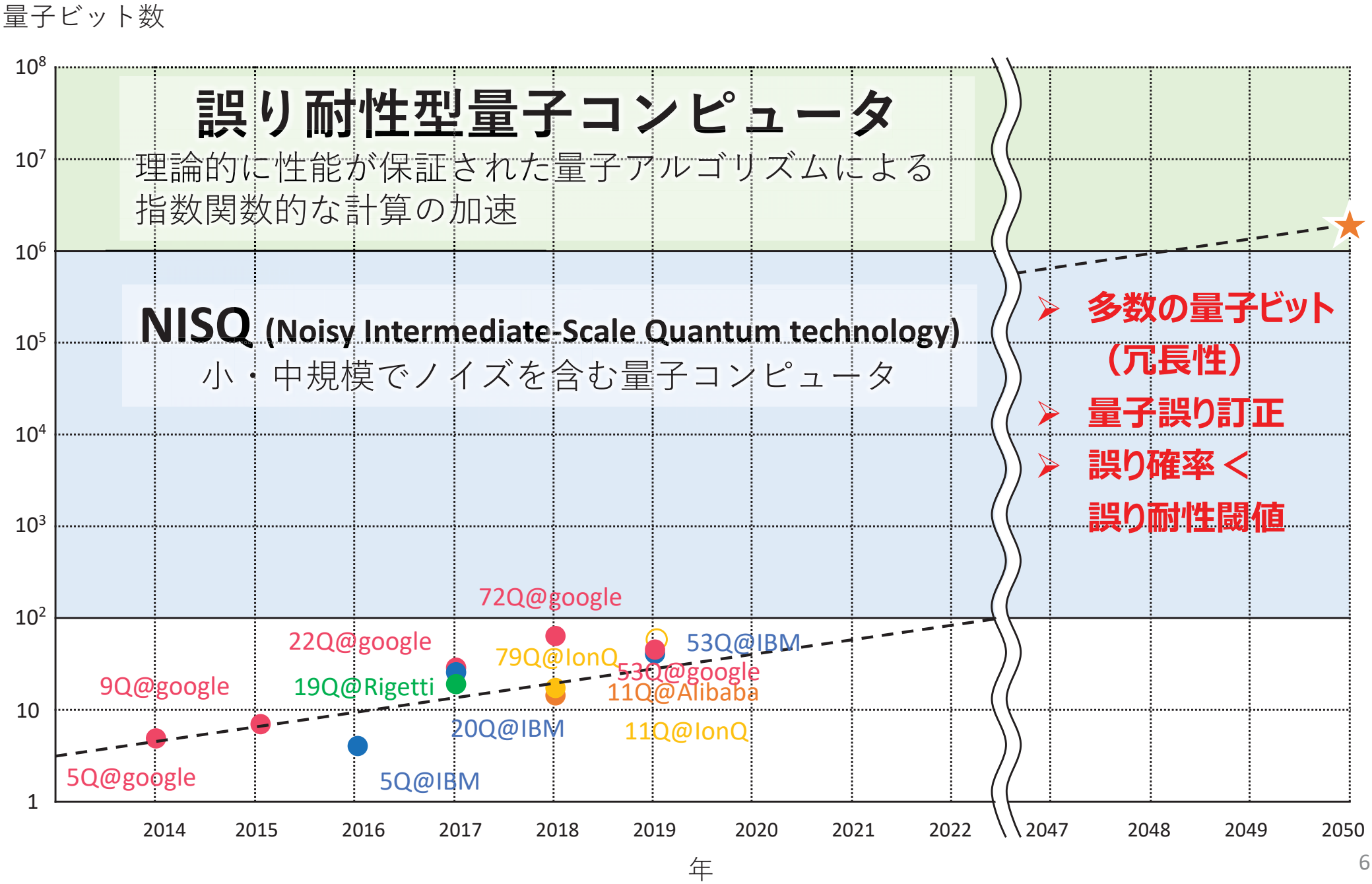
持続可能な安全で豊かな社会

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。

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）



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

参考．目標の補足説明

世界のハードウェア開発状況：

- ✓ 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

ハードウエア方式	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	Google, rigetti, IBM, QuTech	IONQ, AQT, Honeywell	XANADU, PsiQuantum	intel, QuTech
波及効果、スピンアウト	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)	光格子時計他の周辺技術	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**

3．ＰＭ, 研究開発プロジェクト概要（1）

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 システムプラットフォーム研究所　主席研究員	**超伝導量子回路の集積化技術の開発** 超伝導量子コンピュータの研究開発を加速するため、超伝導量子ビットの大規模化、高集積化に必要とされるハードウエア要素技術を開発します。それにより、2050年には、大規模な超伝導量子コンピュータの実現を目指します。
高橋 優樹 沖縄科学技術大学院大学 量子情報物理実験ユニット　准教授	**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** 複数のイオントラップを光で連結する新しいアイデアにより、従来技術では達成できない、大規模化が容易なイオントラップデバイスを開発します。それにより、2050年には、大規模な量子コンピュータの実現を目指します。
古澤 明 東京大学 大学院工学系研究科 教授	**誤り耐性型大規模汎用光量子コンピュータの研究開発** 独自に開発した量子ルックアップテーブル法を発展させ、大規模な誤り耐性のある量子演算を実現します。それにより、2050年には、常温動作を特徴とする大規模な光量子コンピュータの実現を目指します。
水野 弘之 株式会社日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センター　主管研究長	**大規模集積シリコン量子コンピュータの研究開発** 半導体の回路集積化技術を活かし、シリコン量子ビットの大規模化、高集積化を実現します。それにより、2050年には、高集積性・低消費電力を特徴とする大規模な量子コンピュータの実現を目指します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/index.html

3．ＰM, 研究開発プロジェクト概要（2）

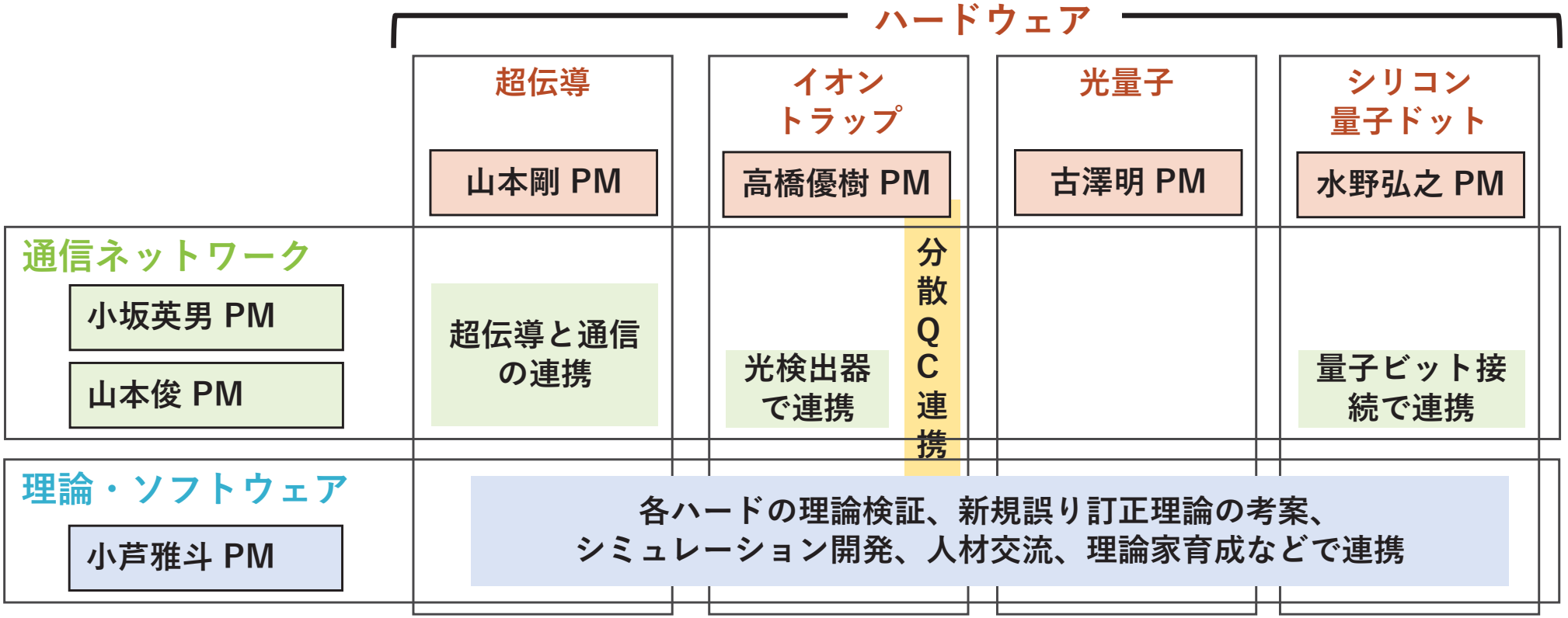
PM	研究開発プロジェクトと概要
小坂 英男 横浜国立大学 大学院工学研究院／先端科学高等研究院 教授	**量子計算網構築のための量子インターフェース開発** 超伝導量子ビットと通信用光子をつなぐため、量子メモリとオプトメカニカル結晶を融合した量子インターフェースを開発します。それにより、2050年には、大規模な超伝導量子コンピュータの実現を目指します。
山本 俊 大阪大学 大学院基礎工学研究科／先導的学際研究機構 教授	**ネットワーク型量子コンピュータによる量子サイバースペース** 光、原子、半導体等の量子コンピュータハードウェアをネットワーク化するための要素技術を開発し、複数の中小規模量子コンピュータを接続した「ネットワーク型量子コンピュータ」を構築します。それにより、2050年には、さらなる大規模化を進め、汎用的な量子コンピュータの実現を目指します。
小芦 雅斗 東京大学 大学院工学系研究科 教授	**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** 量子情報、アーキテクチャおよび物理系の研究者を結集し、量子ビットの設計、誤り耐性方式の実装、効率的に計算を実行するためのコンパイラや言語までを包含した協調設計モデルを構築します。それにより、2050年には、大規模な量子コンピュータの実現を目指します。

https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/index.html

4．ポートフォリオと進め方

【プロジェクト構成、資金配分方針】

- ✓ ハードウェアは、先回りしていっきに目標を目指す方式、着実に目標を目指す方式、リスクは高いが成功すればインパクトが大きい方式を**競争的に推進**し、**ステージゲートでその後の進め方を判断**。
- ✓ 通信ネットワークは、**ハードウェアとの連携**、**相互の相補的な協力**を促しつつ競争的に推進し、**ステージゲートでハードウェアへのマージも含めて判断**。
- ✓ 理論・ソフトウェアは、他のプロジェクトと連携し**目標達成の指導原理を確立**するとともに、**新たな人材の獲得、育成**を促す。
- ✓ ステージゲートでは、国内外の研究開発動向やプロジェクトの進展を踏まえ、**民間、その他の研究開発投資の活用**も含めて、進め方を判断する。



5．プログラムの推進方針（1）

プログラムのガバナンス体制

構想ディレクター（PD）
北川　勝浩
（大阪大学）

PDへの助言（委嘱）

アドバイザリボード（11名）

サブPD（PD補佐）
- 中村 泰信（東京大学）
- 山下 茂（立命館大学）

アドバイザー（外部有識者）
- 石内 秀美（元 先端ナノプロセス基盤開発センター）
- 井元 信之（東京大学）
- 小澤 正直（中部大学）
- 川畑 史郎（産業技術総合研究所）
- 上妻 幹旺（東京工業大学）
- 佐野 健太郎（理化学研究所）
- 茂本 勇（東レ(株)）
- 村尾 美緒（東京大学）
- 若山 正人（東京理科大学）

PD活動の実働（JST雇用）

PD支援スタッフ(3名)
- 技術主幹：井桁 和浩
- 運営担当：谷越 貞夫
- アシスタント

JST挑戦的研究開発プログラム部（MS部）

5．プログラムの推進方針（2）

- ✓可能な限り早期にクラウド公開※など、外部への公開を検討し、社会実装の早期実現を目指す。
- ✓数理科学分野の研究者と連携し、研究者層の充実・強化と、理論研究の更なる発展を促す。
- ✓2050年までの息の長い研究開発に相応しい、若手PMがイニシアティブを取れる未来志向の研究体制を構築する。
- ✓タイムリーな情報発信、アウトリーチにつとめ、量子ネイティブな人材育成を行うとともに、産業界との協業も広く求めていく。
- ✓日米欧国際会議を通じた、国際連携と国際競争。
- ✓各PMの作成するデータマネジメントプランに基づき、適切な研究データの管理・利活用を図るようプロジェクトの実施体制を整備する。

※クラウド公開：量子コンピュータにインターネットからアクセスして利用できるようにするサービス

5. プログラムの推進方針（3）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. ムーンショット目標６キックオフ

- キックオフシンポジウム（参加者430名）
  - 日時：2021年3月11日(木)9:30～12:00
  - 会場：Zoomウェビナー、YouTube配信
  - 主催：JST、共催：内閣府、文部科学省
  - https://www.jst.go.jp/moonshot/news/20210311.html（発表資料公開中）
- 目標６内部キックオフ会議
  - 日時：2021年3月11日(木)13:15～18:00
  - 会場：Zoomウェビナー
- キックオフ国際シンポジウム（英語）
  - 日時： 2021年4月23日（金）8:00～11:30
  - 会場：Zoomウェビナー
  - 主催：JST、共催：内閣府、文部科学省
  - https://www.jst.go.jp/moonshot/en/news/20210423.html#ja