

ムーンショット型研究開発事業

ムーンショット目標6 キックオフシンポジウム

2021年3月11日

研究開発プロジェクト

「誤り耐性型量子コンピュータにおける

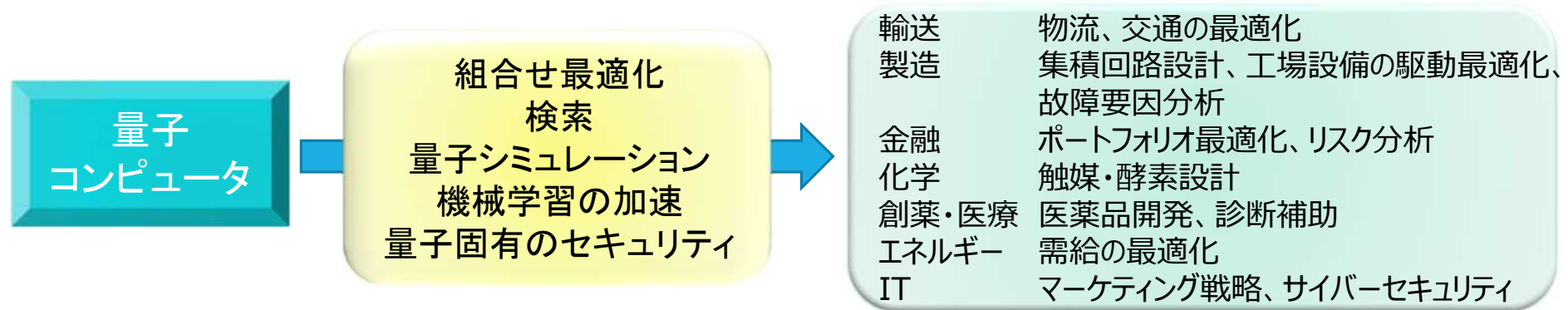
理論・ソフトウェアの研究開発」

プロジェクトマネージャー： 小芦 雅斗

東京大学大学院工学系研究科・教授

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」



・豊かで安全安心な社会の構築に寄与する。

取り組むことのメリット

・「競争」に負けることを防ぐ

取り組まないことのリスク

・学術分野としての価値

波及効果

我々人類が、自然をどこまで意のままに制御できるのか？
理学・工学を包含した究極の問いかけ

目標 6 におけるPJの位置づけ

超伝導量子回路の集積化技術の開発

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

誤り耐性型大規模汎用光量子コンピュータの研究開発

大規模集積シリコン量子コンピュータの研究開発

量子計算網構築のための量子インターフェース開発

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

理論・ソフトウェア

誤り耐性型汎用量子コンピュータのレイヤー



アプリケーション

何を量子コンピュータに解かせるか？

プログラムの処理 (コンパイラ)

ゲート最適化、ゲート分解、実行時最適化

誤り訂正と論理量子ビットの構成

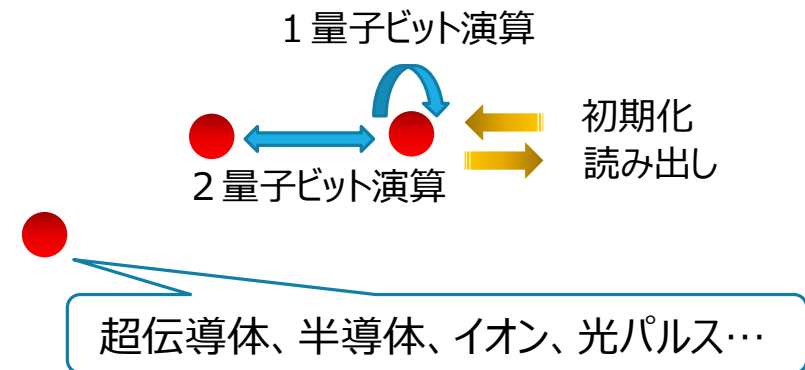
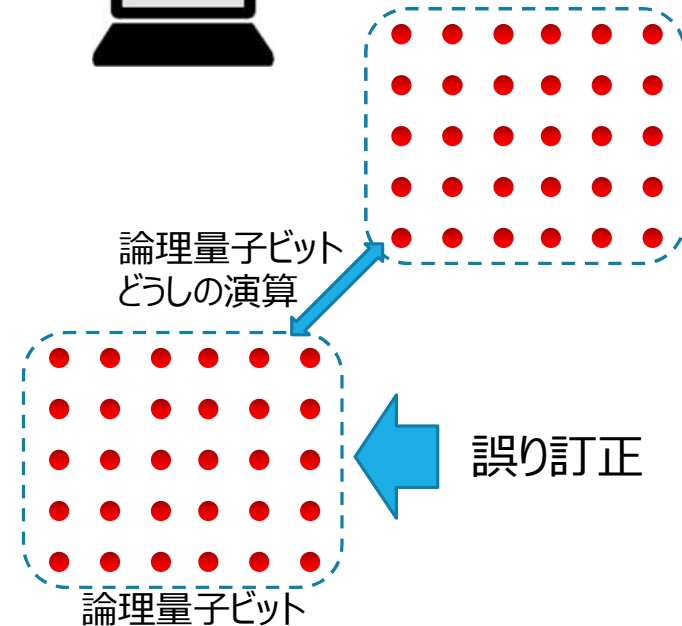
誤り耐性型の符号構成、周辺装置構成
論理量子ビットと論理命令 (ゲート) 構成

量子ビットの制御

量子ビットの制御、量子ゲートの構成

量子ビットの設計

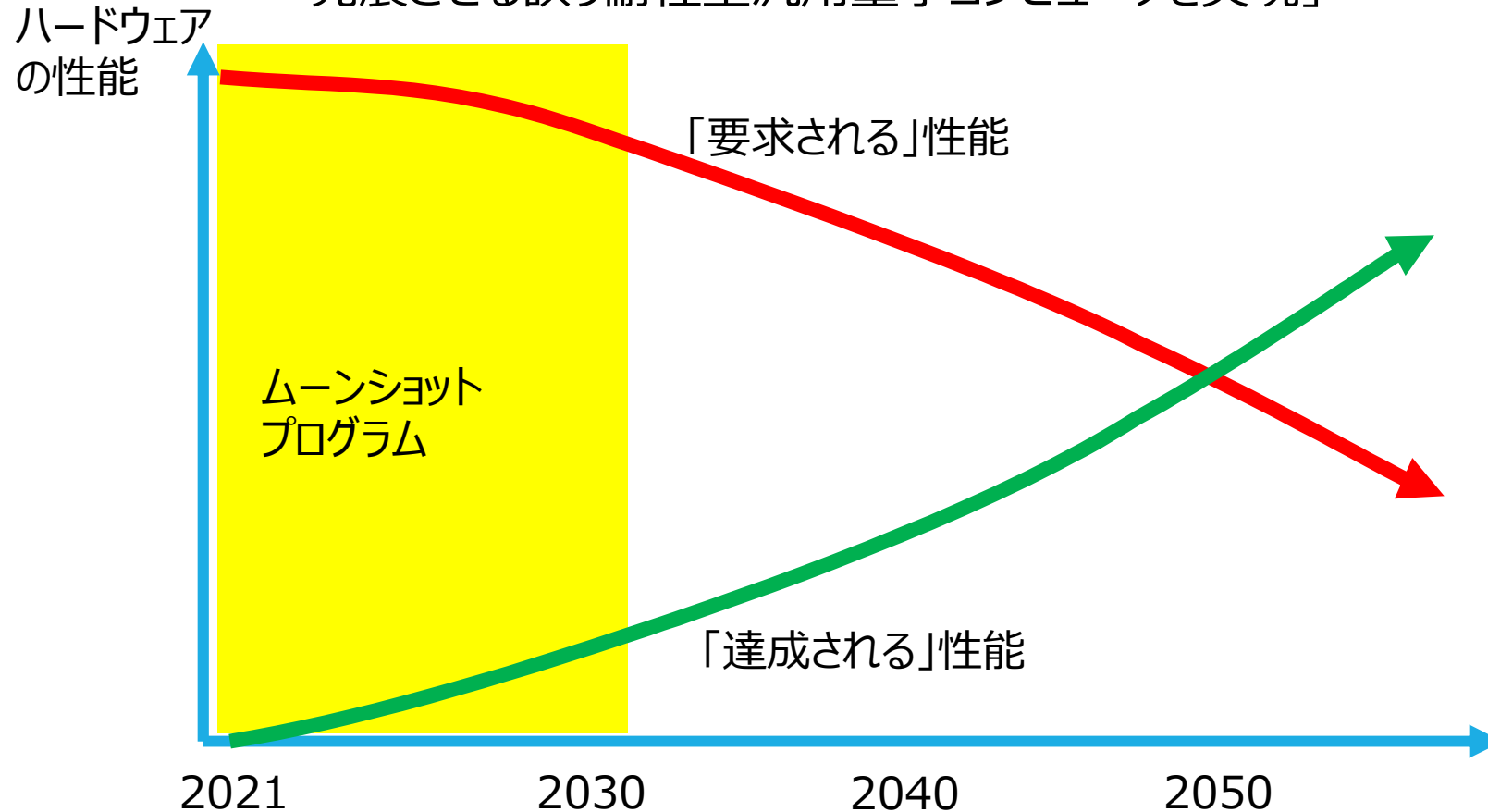
1 量子ビットの設計 (寿命、相互作用、集積性)



理論ソフトウェアPJのミッション



「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」



理論ソフトウェアPJのミッション：誤り耐性型量子コンピュータを大規模化するためのハードウェア要求性能を大幅に低減する

目標 6 におけるPJの位置づけ

超伝導量子回路の集積化技術の開発

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

誤り耐性型大規模汎用光量子コンピュータの研究開発

大規模集積シリコン量子コンピュータの研究開発

量子計算網構築のための量子インターフェース開発

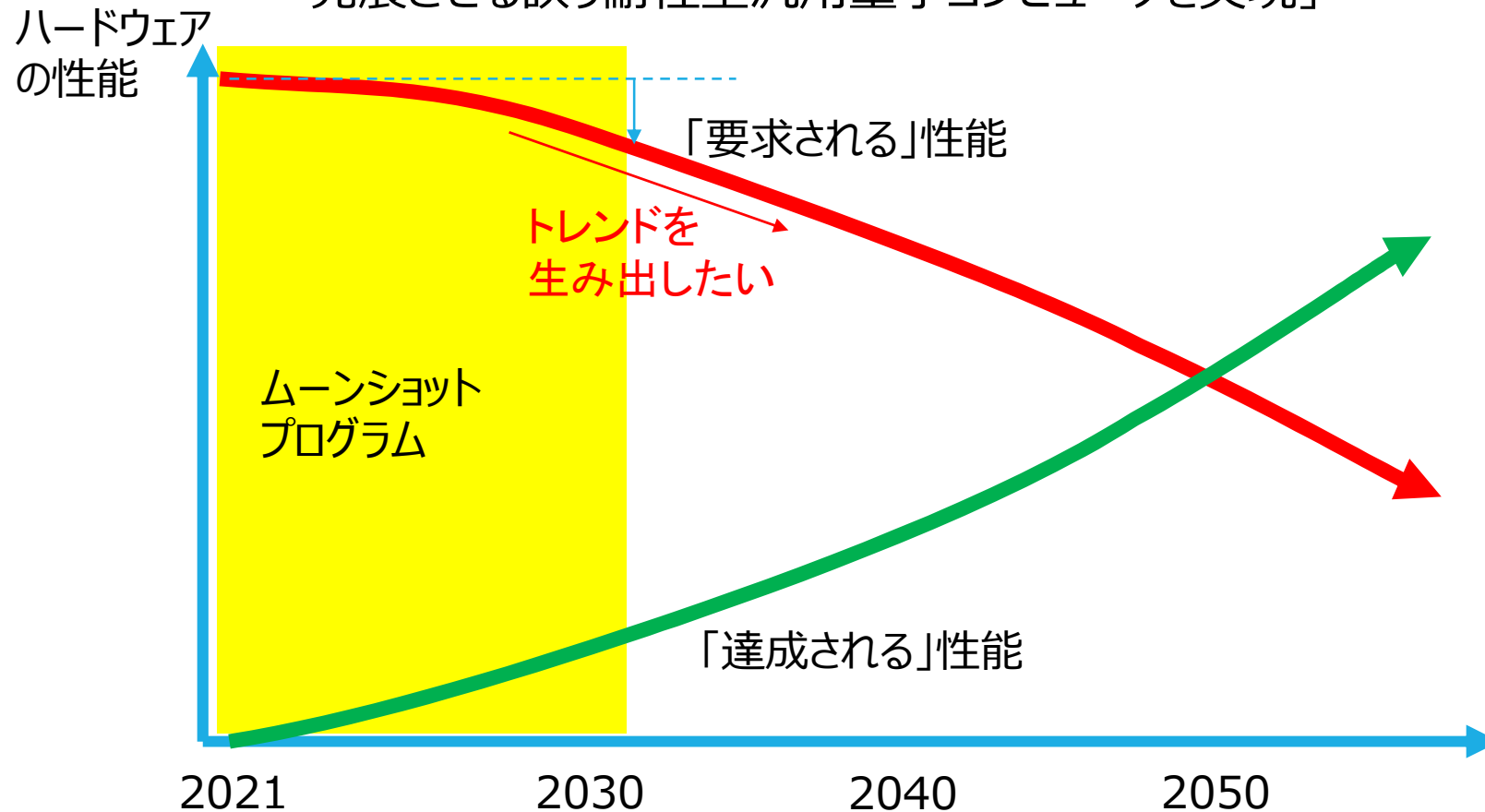
ネットワーク型量子コンピュータによる量子サイバースペース

理論・ソフトウェア

理論ソフトウェアPJのミッション



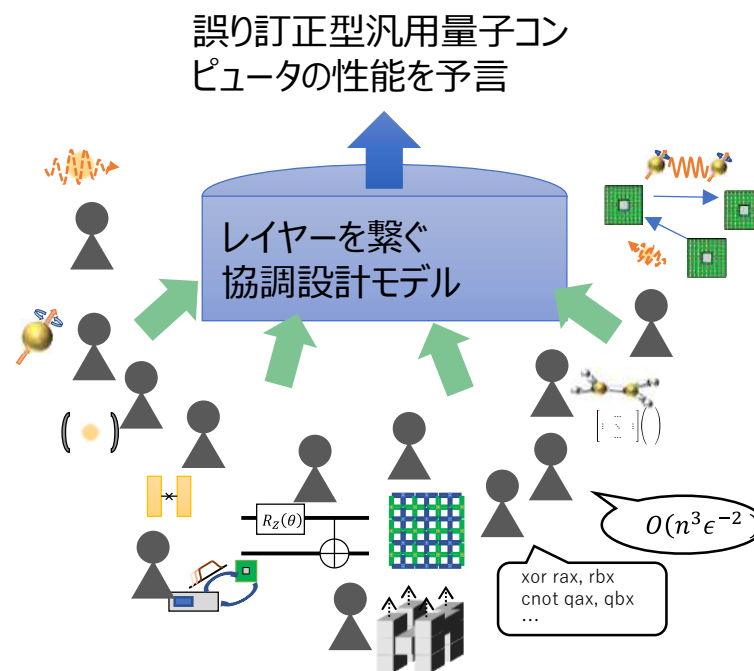
「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」



理論ソフトウェアPJのミッション：誤り耐性型量子コンピュータを大規模化するためのハードウェア要求性能を大幅に低減する

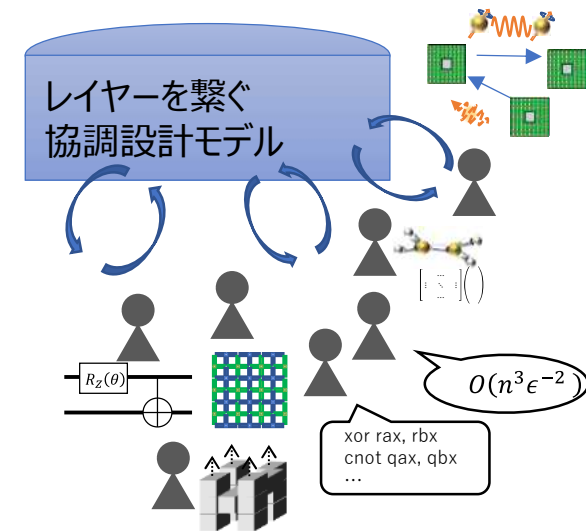
クロスレイヤー協調設計モデル

- 誤り訂正型汎用量子コンピュータは**複雑なシステム**
- 実験・理論研究には**様々なレイヤー**がある：
量子ビットの設計と制御法、
誤り訂正符号と誤り耐性計算のアーキテクチャ、
アプリケーションとそれを実行するコンパイラなど。
- **クロスレイヤー協調設計モデル**は、これらのレイヤーを包含し、各レイヤーの性能指数をもとに、最適化やシミュレーションを通じてシステム全体としての量子コンピュータの性能を予測するモデルである。



クロスレイヤー協調設計モデル

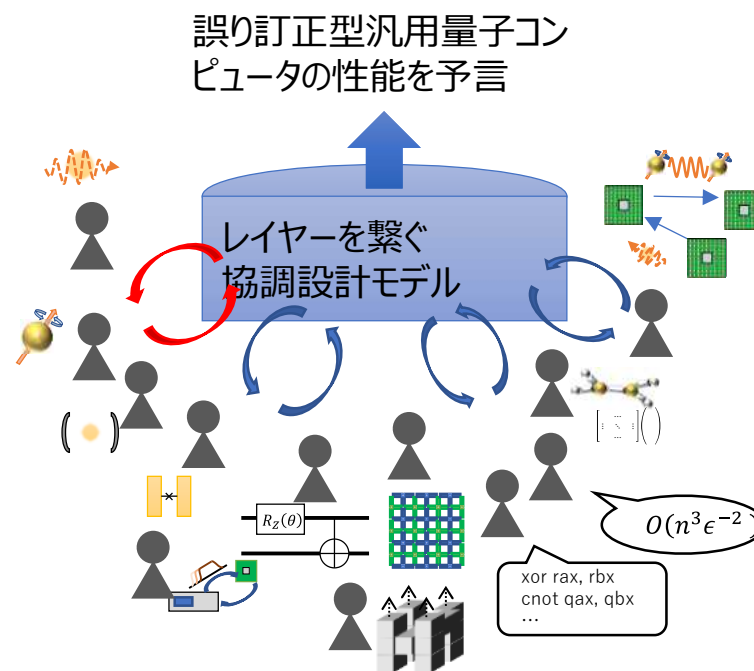
・理論研究者にとっては、このモデル構築を介した協業により、ムーンショット目標に向けての自身の立ち位置を意識することになり、共通の言語で他のレイヤーの研究者との議論が活発化する。すなわち、**理論プロジェクト推進におけるハブ**の役割を果たす。



クロスレイヤー協調設計モデル

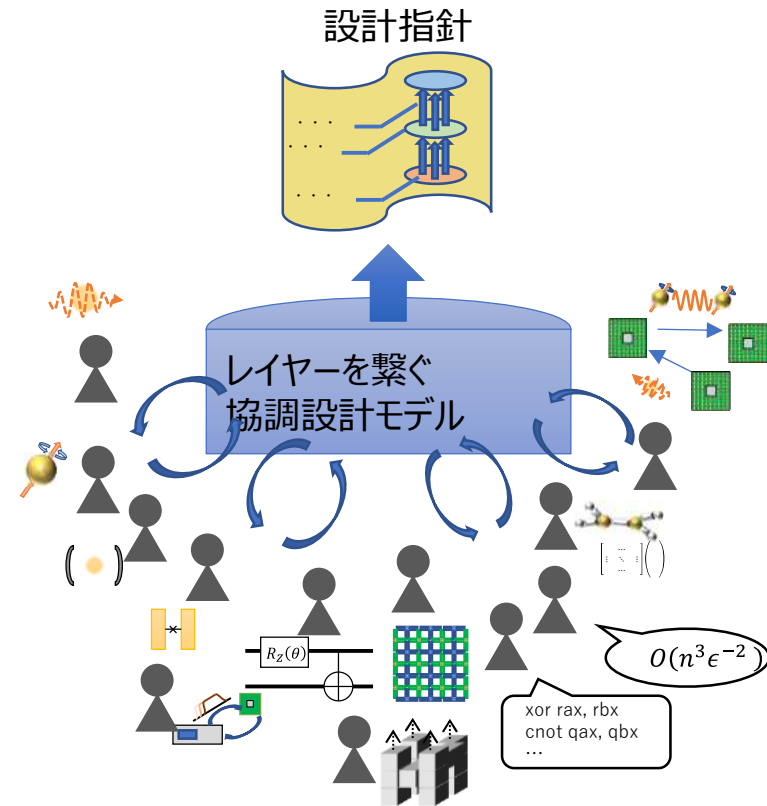
・ハードウェア、ネットワークの実験研究者を含む各レイヤーの研究者は、自身の研究の中で、様々なレベルで**トレードオフ関係**に出くわす。
 装置設計におけるパラメータ選択
 限られた時間と資源の振り分け方など。

そのレイヤーの中だけでは、何を選択すべきかの**指針が立ちにくい**。その指針を与える役割をするのがクロスレイヤー協調設計モデルであり、ムーンショット目標を目指す参画研究者のための**水先案内人**である。



クロスレイヤー協調設計モデル

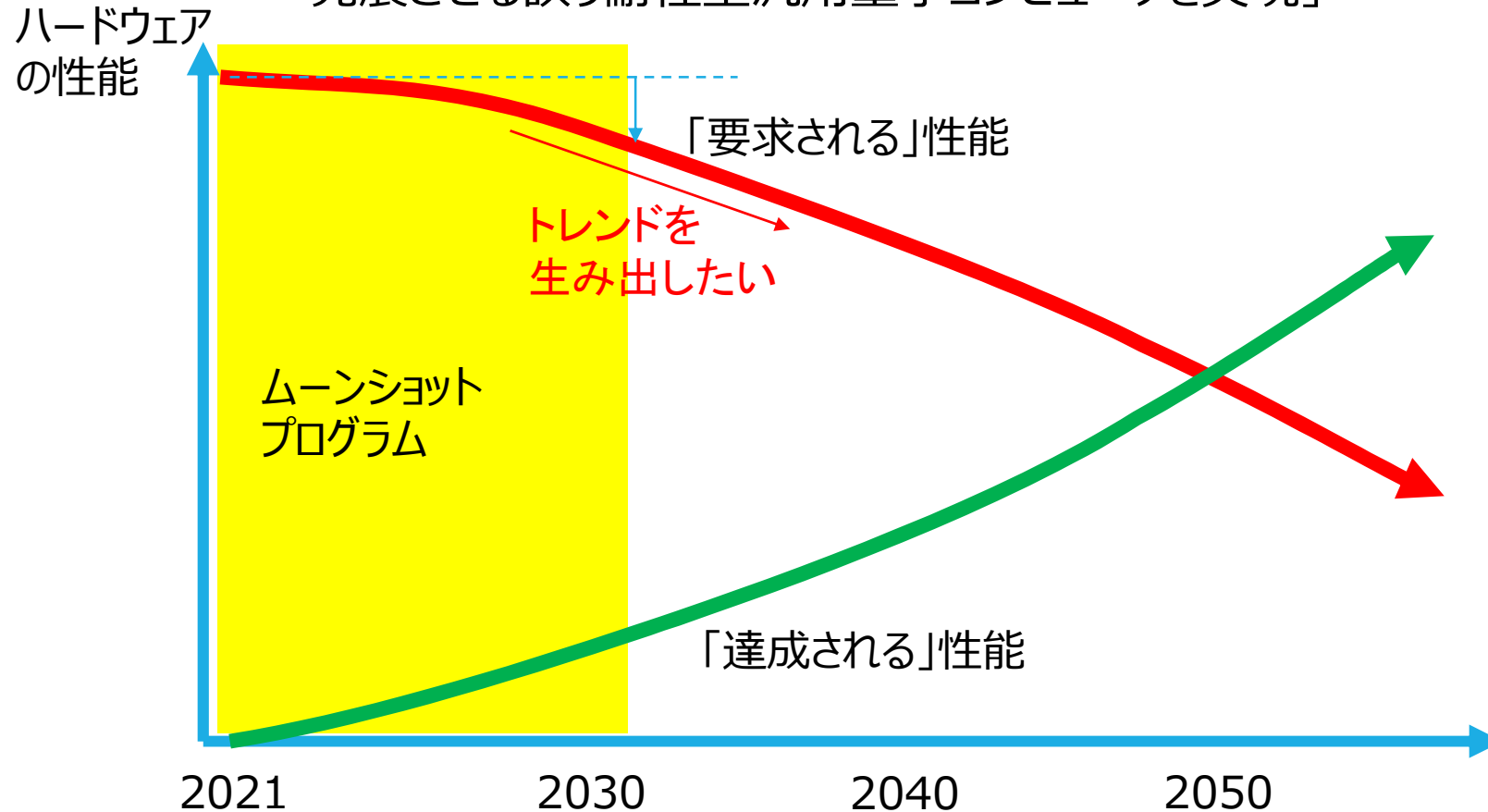
・各レイヤーの成果を取り込みながらアップデートを続けた協調設計モデルが、そのままその時点での誤り耐性型量子コンピュータの設計指針となる。つまり、協調設計モデルは動的な設計指針の役割を果たす。



理論ソフトウェアPJのミッション



「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」



理論ソフトウェアPJのミッション：誤り耐性型量子コンピュータを大規模化するためのハードウェア要求性能を大幅に低減する

研究開発体制(課題推進者・参画機関)



誤り耐性型量子コンピュータを大規模化するためのハードウェア要求性能を大幅に低減する

協調設計モデルを用いた最適化により大規模な誤り耐性型量子コンピュータの設計指針を提示する

量子コンピュータのパラダイムシフトの萌芽となる提案を行う。

項目4: 分散型構造を持つ誤り耐性型量子コンピュータの研究開発

項目5: 誤り耐性型量子コンピュータの新規手法・応用の萌芽的研究開発

東浩司 (NTT)

森前智行 (京大)
杉山太香典 (東大)
田島裕康 (電通大)

クロスレイヤー協調設計ソフトウェアを構築する。

項目3: 誤り耐性型量子コンピュータの性能改善のための量子誤り訂正法の開発とその性能解析

藤井啓祐 (阪大)

ハードウェア要求性能の低減につながる新しいソフトウェアアプローチの提案を行う

すべてのレイヤーを包含した誤り耐性型量子コンピュータのミニマルなモデルを構築

徳永裕己 (NTT)

項目1: クロスレイヤー協調設計モデルの開発と拡張

項目2: 誤り耐性型量子コンピュータのハードウェア制御法の開発とその性能解析

越野和樹 (医科歯科大)
都倉康弘 (筑波大)
小芦雅斗 (東大)
Nori, Franco (理研)

ミニマルなモデル構築に必要な要求・ボトルネックの抽出を行う

ミニマルなモデル構築に必要な個々の物理系の機能・制約を抽出する

まとめ

誤り訂正型汎用量子コンピュータの開発に向けて、複数のハードウェアチーム、量子ネットワークチームと理論研究者が多数参集する機会を頂いた。

真の協業と研究の加速を促す仕組みとしてのクロスレイヤー協調設計モデルを軸に、参画研究者が最大限にその力を発揮できるプロジェクトを目指したい。