

量子（ハード・ソフト）の素粒子物理への応用

素粒子物理国際研究センター

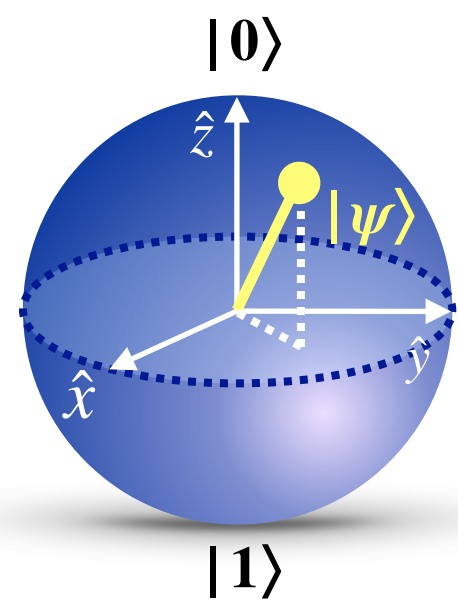
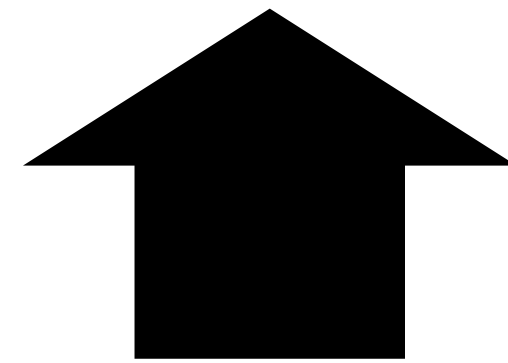
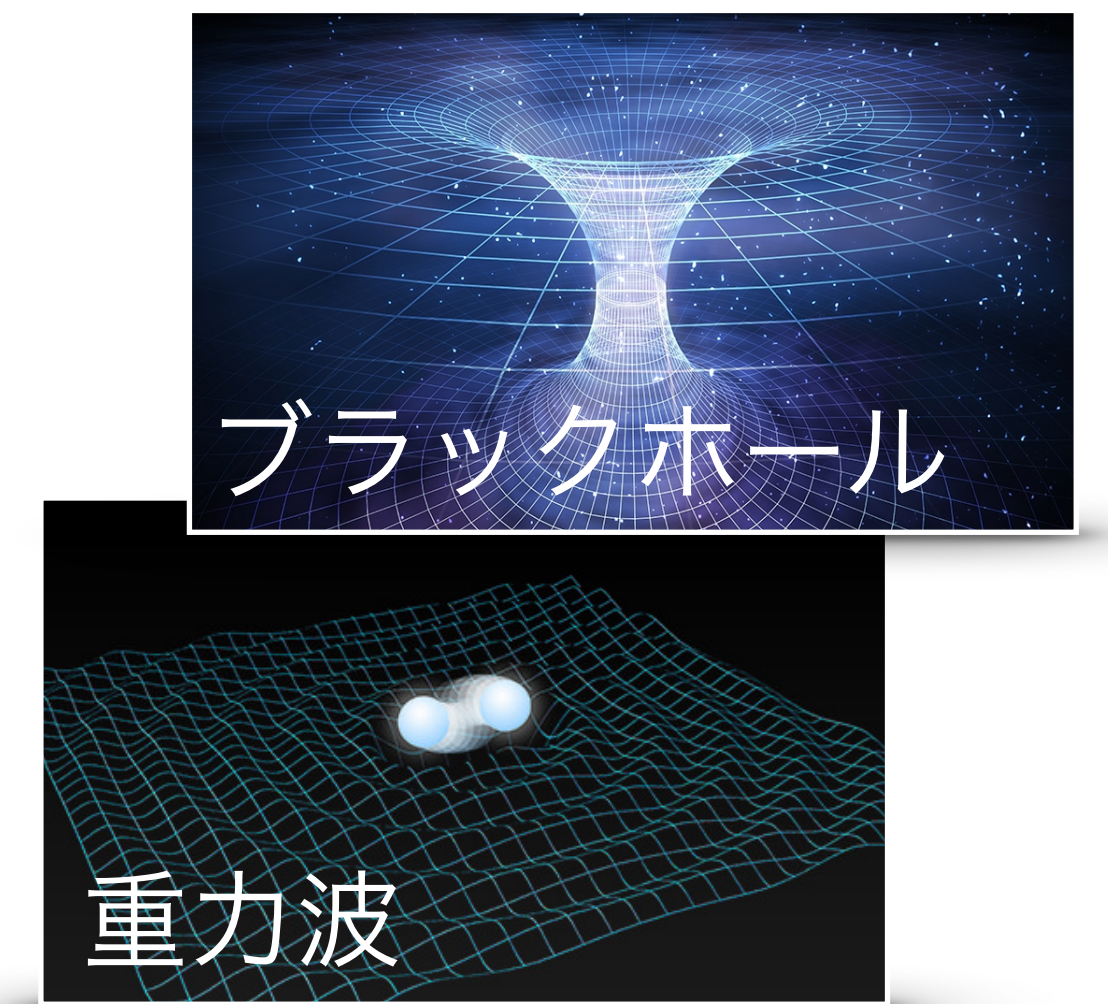
寺師 弘二

物理の最先端領域を探求する



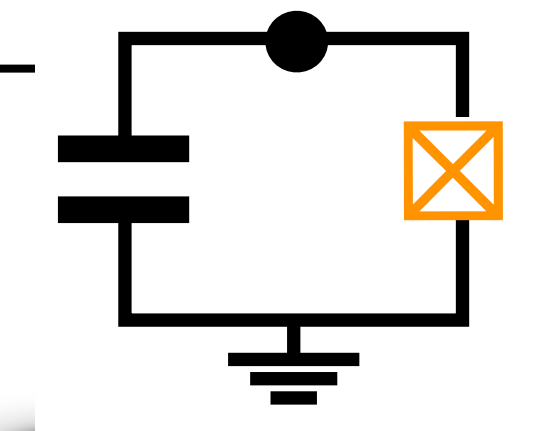
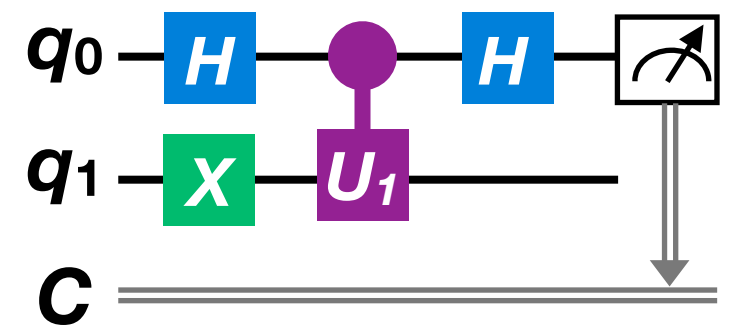
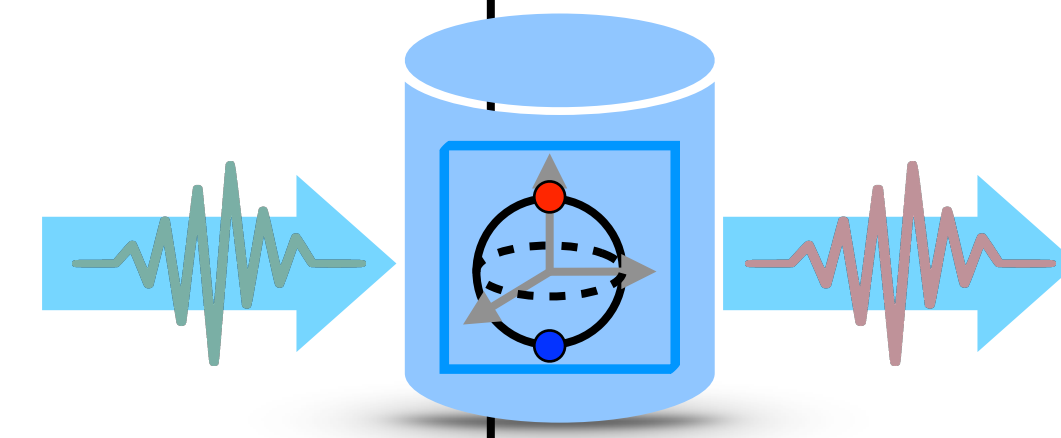
量子情報による素粒子物理・宇宙物理・
重力の研究

- ▶ 既存の理論シミュレーション・データ解析・実験手法の限界を超える



量子コンピュータ (FTQC, NISQ) ・量子センサーの研究開発

- ▶ 量子アルゴリズム、誤り耐性量子計算、量子エラー訂正
- ▶ 量子センシング、量子アルゴリズムによる感度向上
- ▶ FTQCに向けたハードウェア開発



量子超越性の基礎を築き

素粒子理論・高エネルギー実験 の新領域を開拓

- ▶ 量子機械学習によるデータ解析・シミュレーション応用
- ▶ 格子ゲージ理論の量子計算

未踏領域での暗黒物質の探索・ 人工ブラックホールの生成

- ▶ 新規超伝導トランズモン・量子センサーの開発
- ▶ 量子アルゴリズムによる加速
- ▶ 素粒子実験への量子応用

量子情報による計算可能領域の拡大

- ▶ 量子誤り訂正
- ▶ 誤り耐性量子計算アルゴリズム
- ▶ HPC統合による量子計算

超伝導FTQCに向けた ハードウェア開発

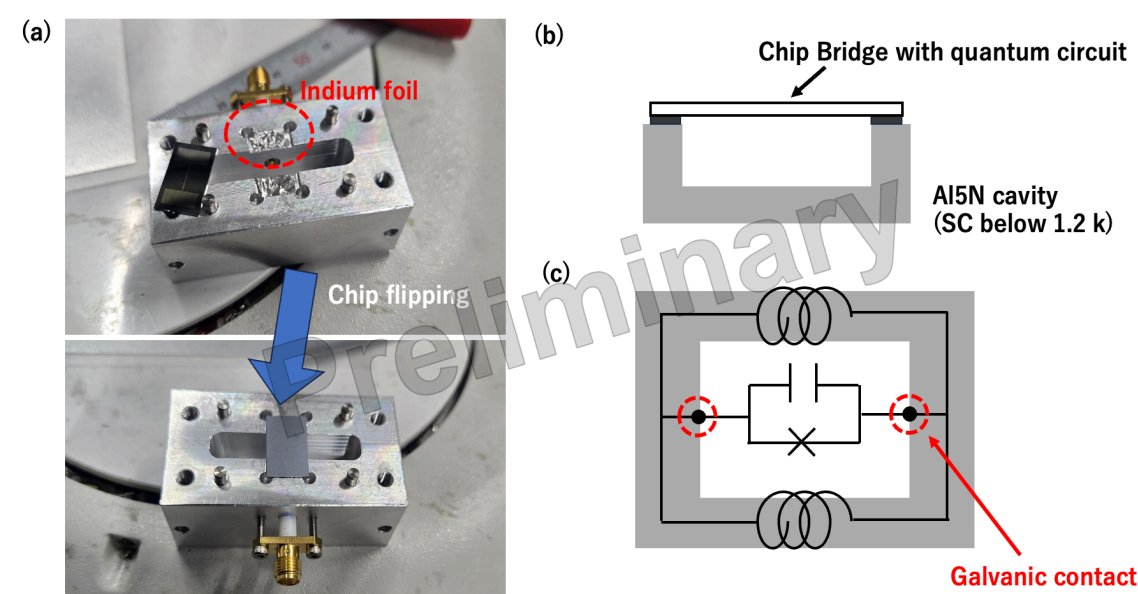
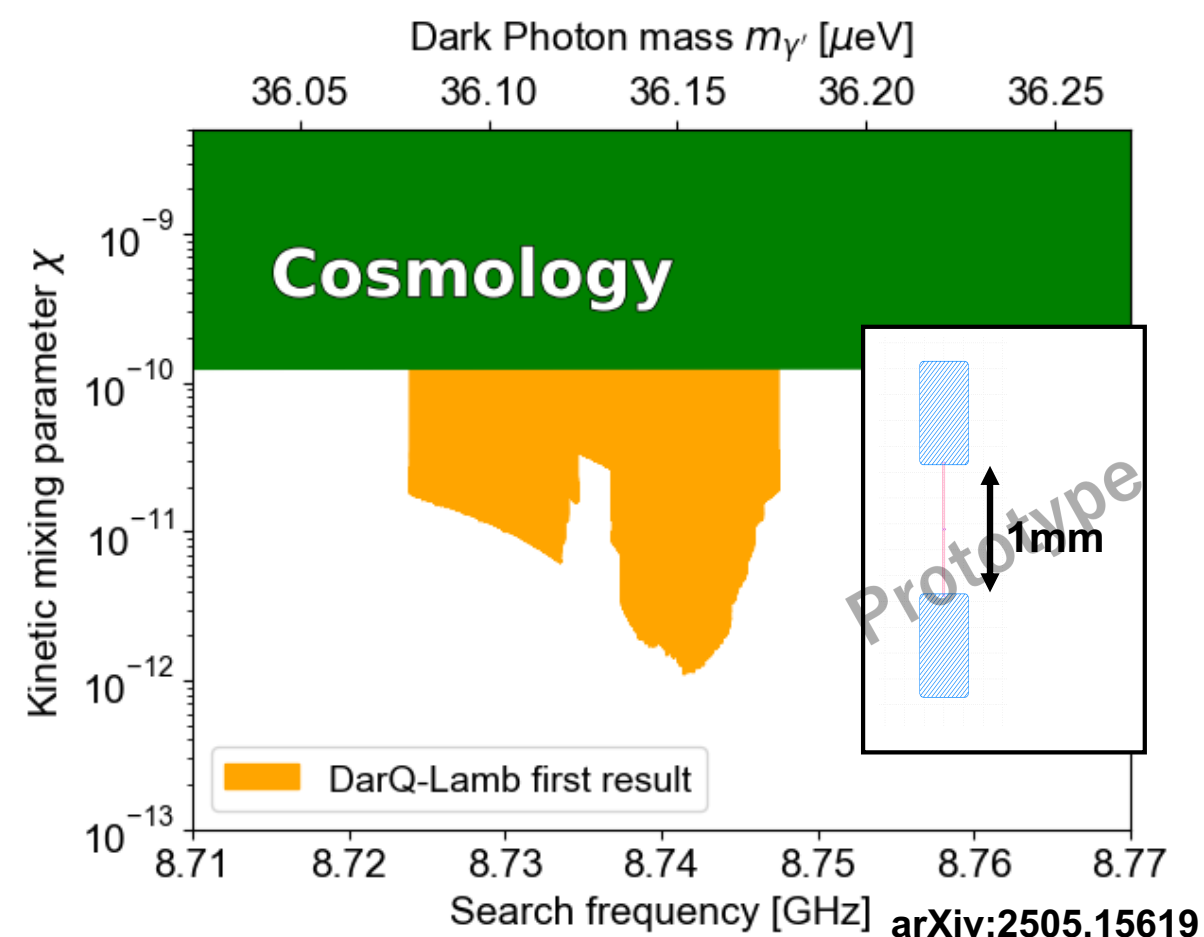
- ▶ 信号の多重伝送技術
- ▶ 高密度デバイスの開発

量子ハードウェアと素粒子・宇宙物理

量子ビットによる共振器周波数の変調を用いたダークフォトン探索実験

arXiv:2505.15619

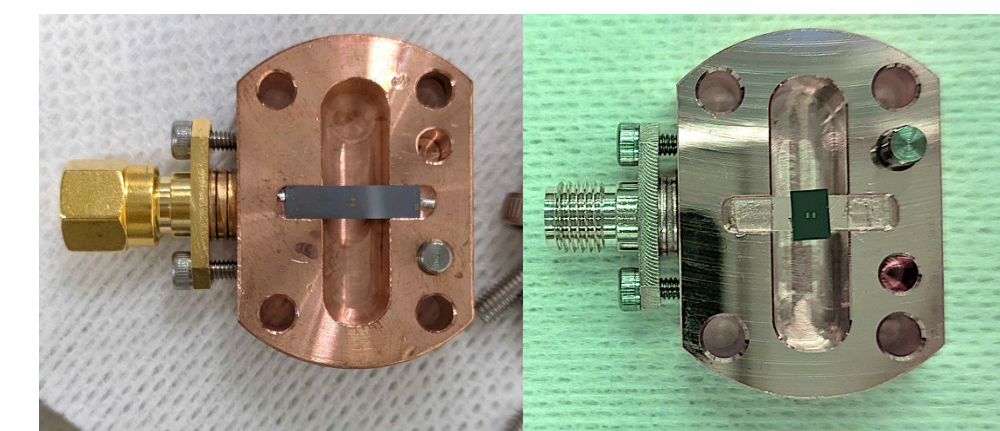
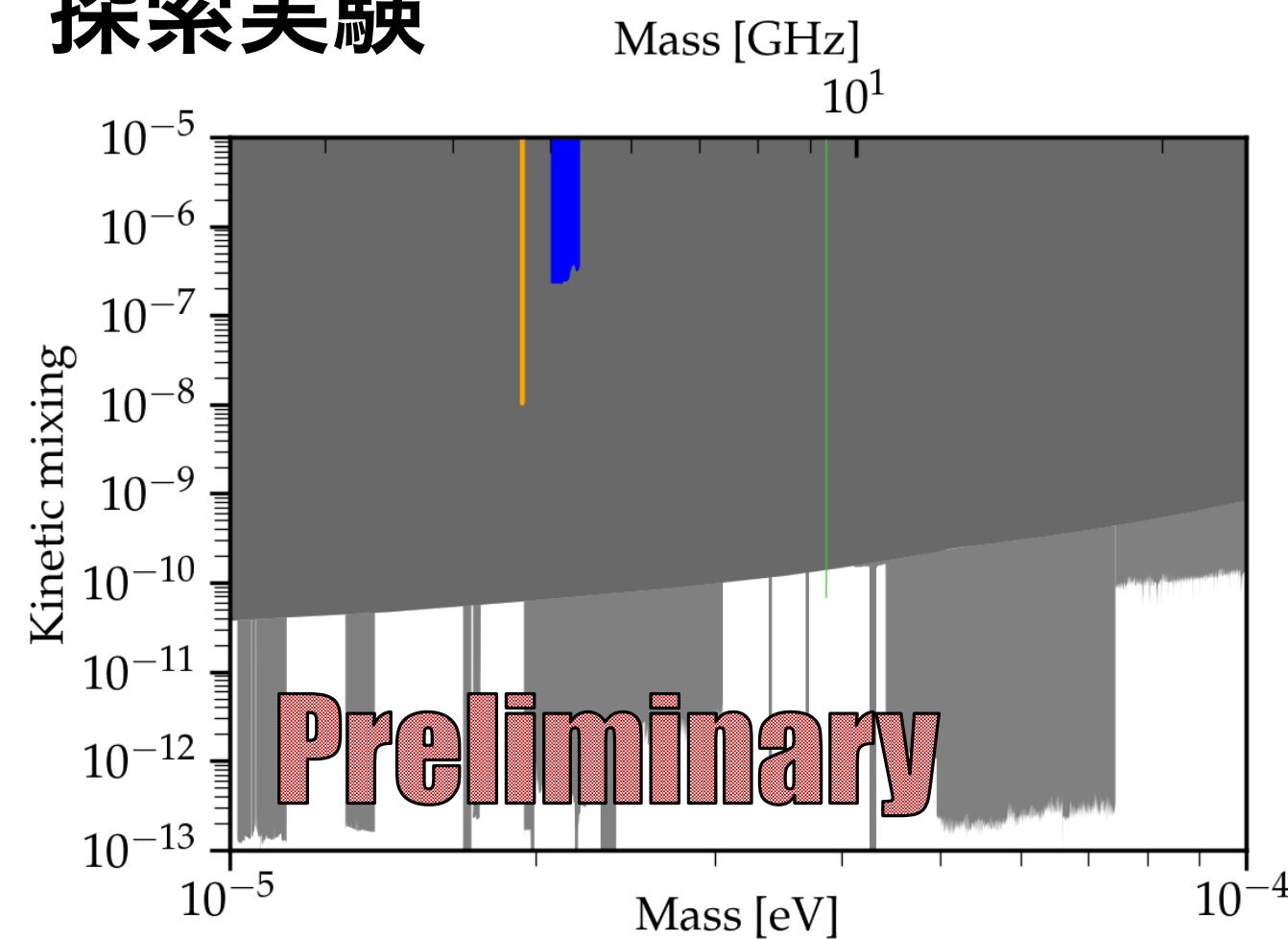
DarQ-Lamb



さらなる広帯域化へ向けた強結合量子ビットを開発中

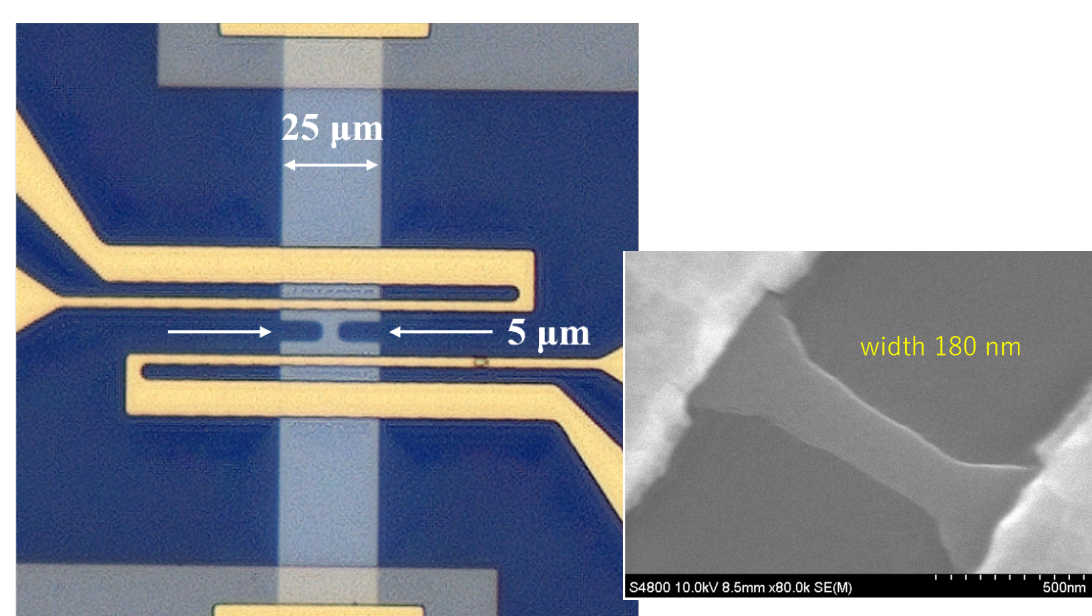
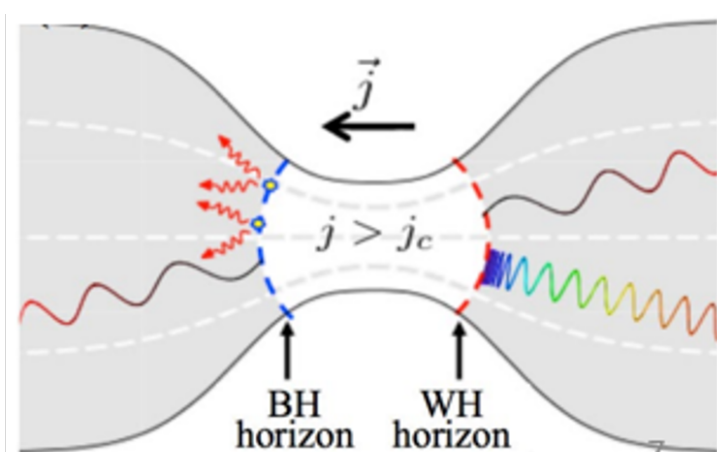
量子ビットの直接励起を用いたダークフォトン探索実験

DarQ-Direct



量子ビット-共振器間の結合強度を変えたセットアップ

スピン波を用いた人工ブラックホール生成



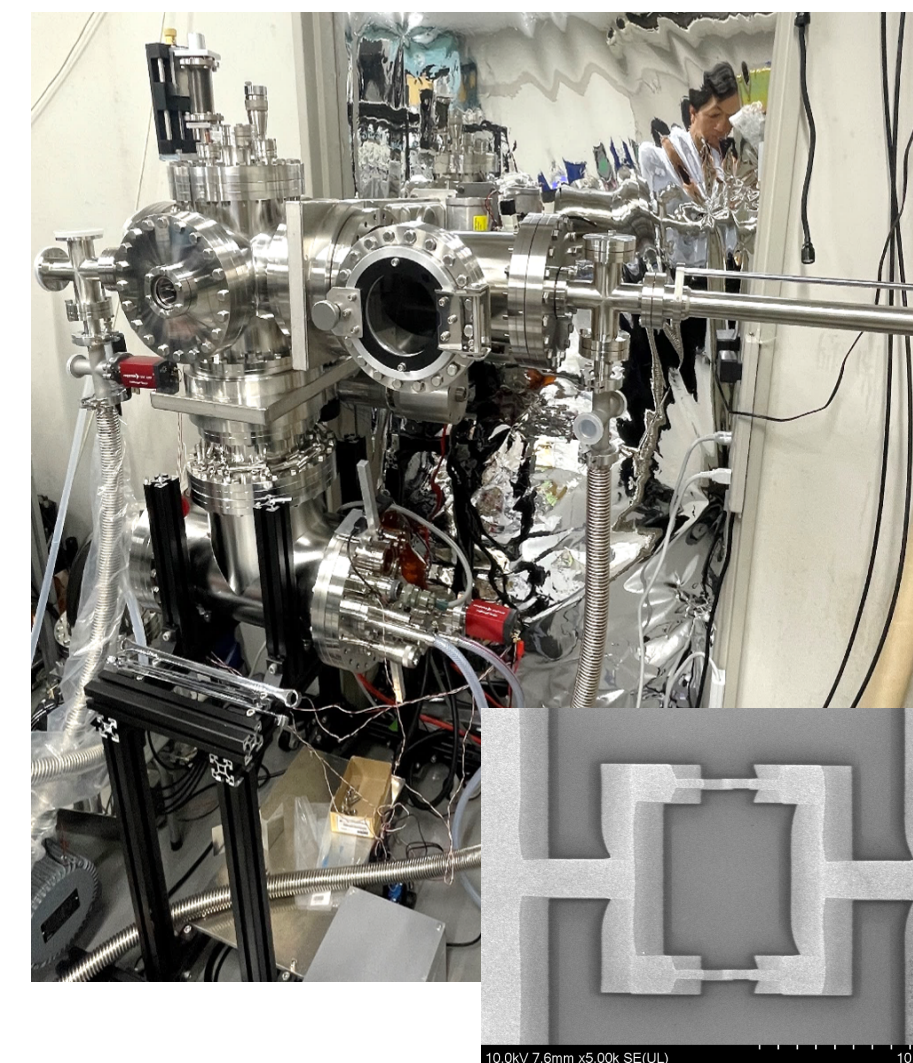
▶ 狭窄構造を持つ強磁性金属を使って、スピン波にドップラーシフトを起こす

▶ 6%のドップラーシフトを観測 (先行研究から1桁以上の改善)

100%ドップラーシフト = 「事象の地平面」の生成を目指す

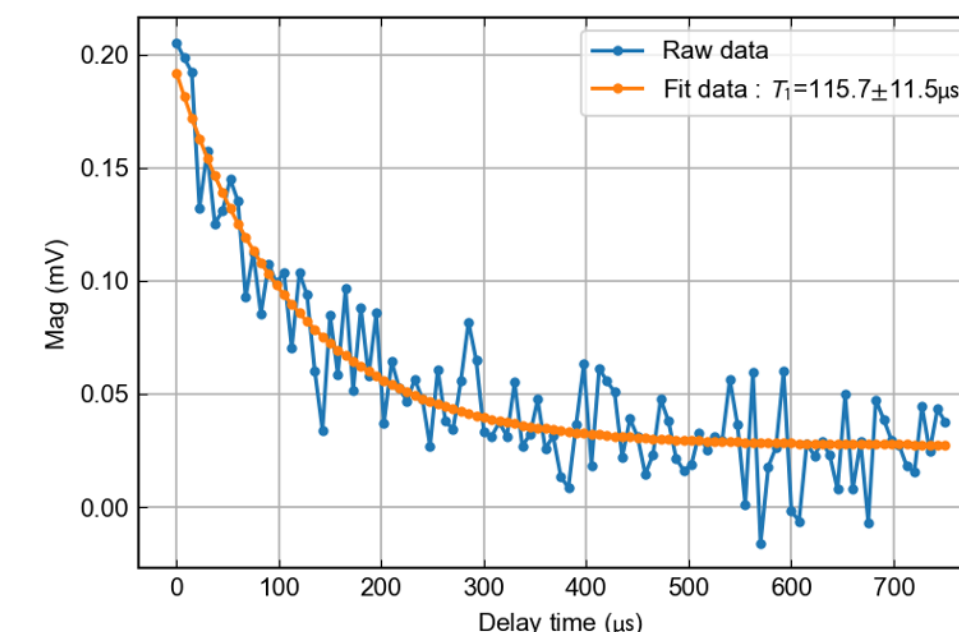
超伝導量子ビットの製作

- ▶ 超伝導量子ビットの心臓部であるジョセフソン接合を作製するための装置を開発
- ▶ 量子ビット以外にも、ジョセフソン接合を利用した超伝導検出器などの作製に利用



暗黒物質探索のための単一光子検出器の開発

超伝導量子ビットの作製プロセスの最適化により、**100 \mu s**を超える寿命 (T_1) を達成



量子ソフトウェアと素粒子物理

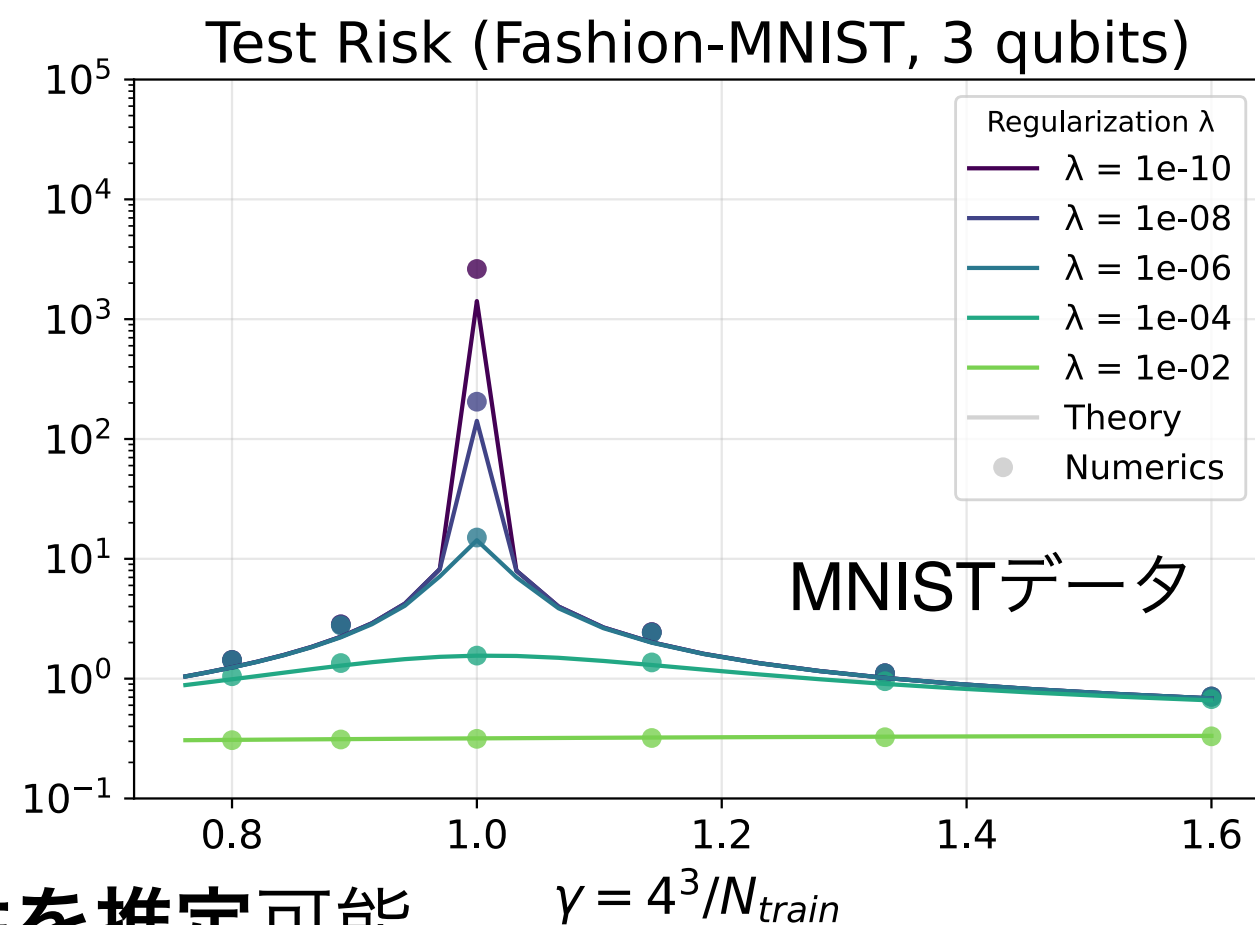
量子機械学習の研究

量子機械学習モデルは、テストデータに対してどういう予測が可能か

量子カーネルモデルの汎化性を解析するフレームワークを構築 [arXiv:2604.17202](https://arxiv.org/abs/2604.17202)

→ データの情報から汎化性を推定可能

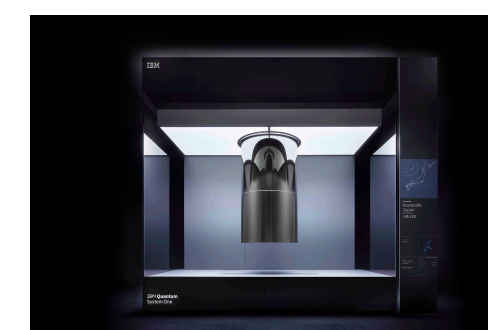
理論解析と数値実験の比較



素粒子ゲージ理論の量子シミュレーション

量子コンピュータ

スパコン

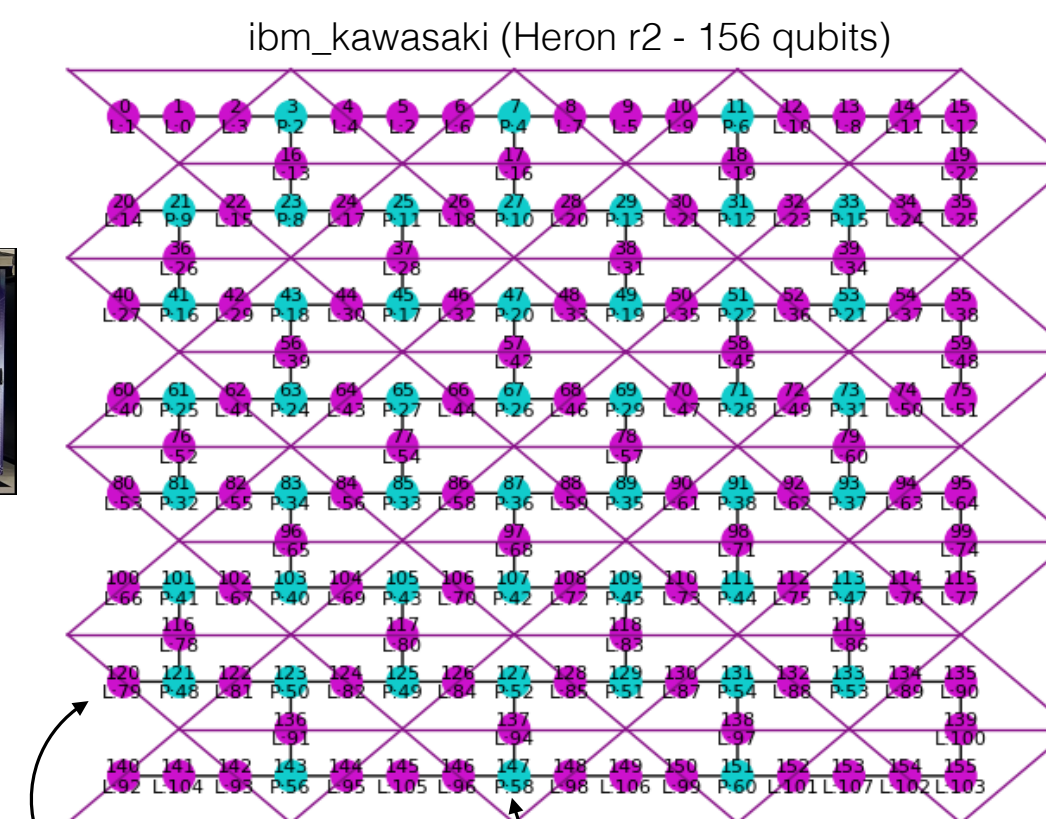


IBM 156量子ビット



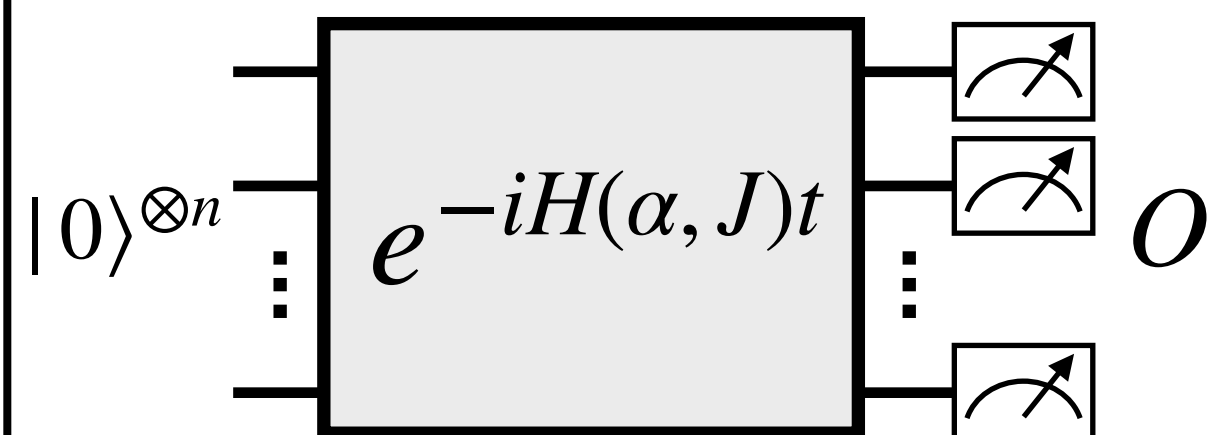
Miyabi-G NVIDIA GH200 (1,120ノード)

誤り耐性のない量子コンピュータで、大きな物理系をシミュレートできるか



全156量子ビットを使用

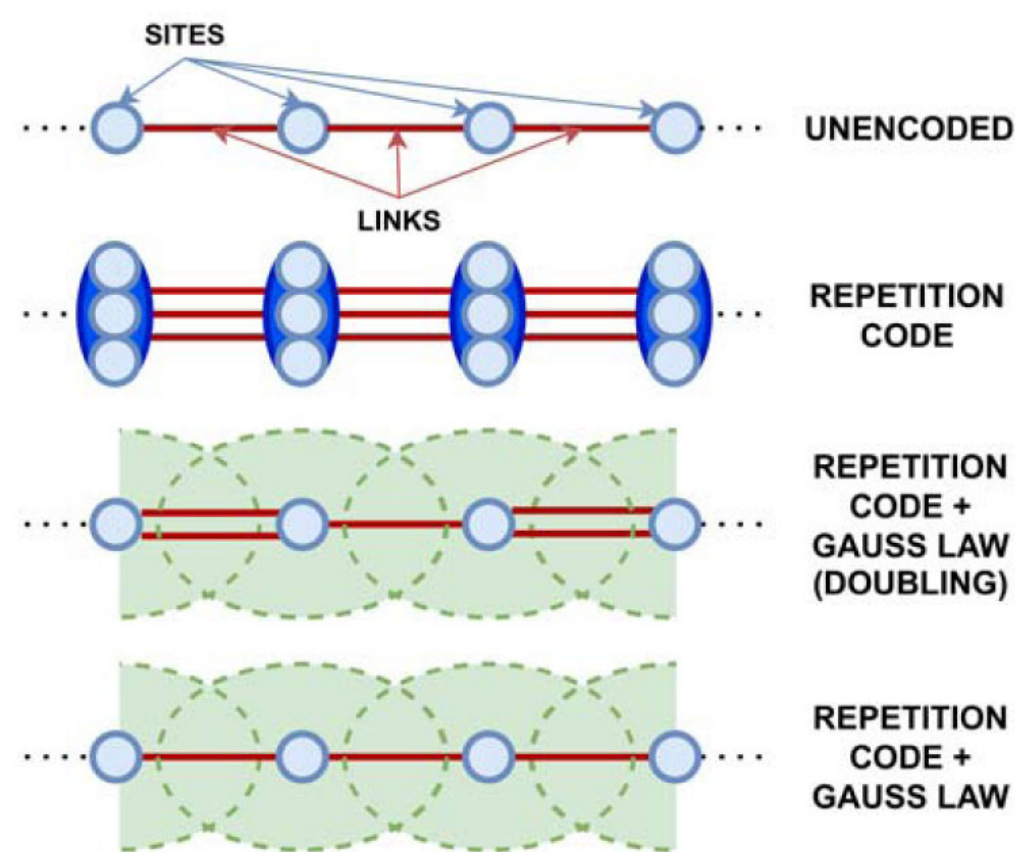
量子ダイナミクスの学習



ハミルトニアンの時間発展状態に対する物理量の期待値を学習し、予測

素粒子ゲージ理論での量子誤り訂正

- ▶ 例えば、繰り返し符号による冗長化
- ▶ 局所ゲージ対称性 (ガウス則) の応用で、より効率的に

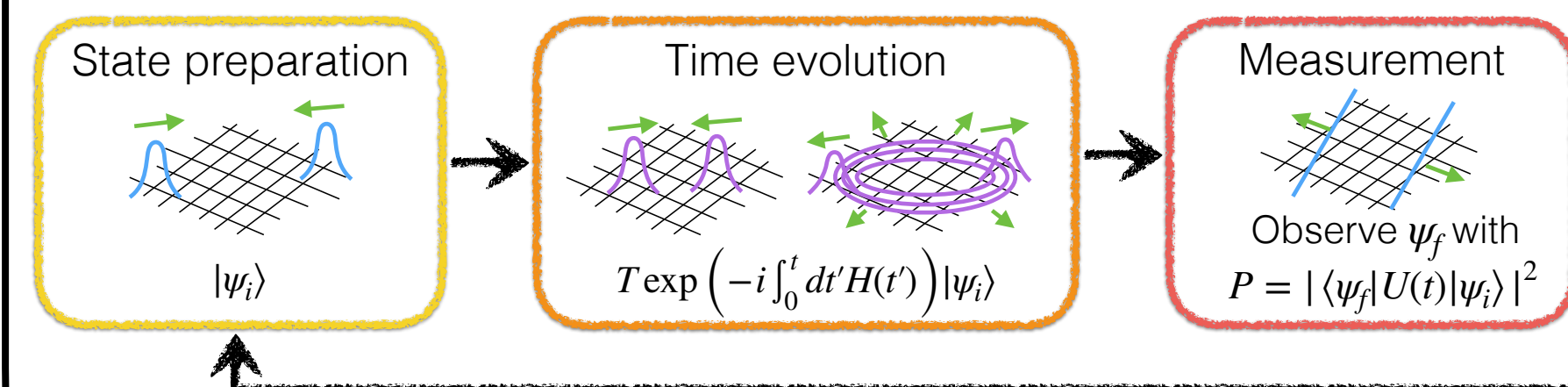


→ エラーロバスト&効率的な量子シミュレーションを目指す

量子イベントジェネレーター

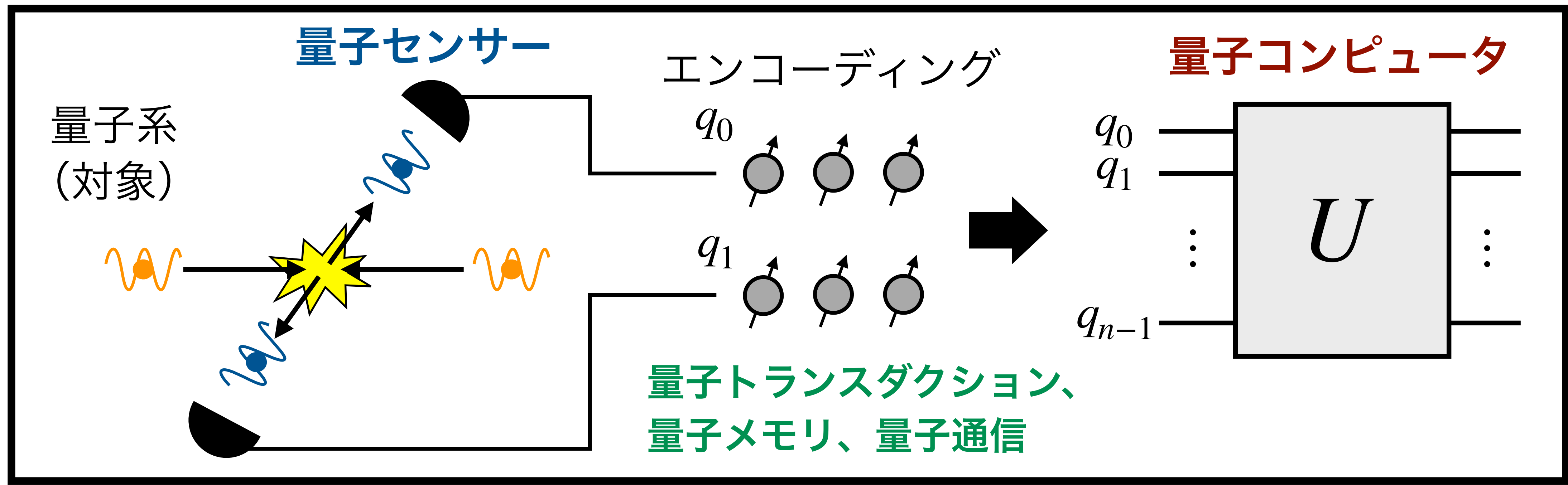
古典モンテカルロ法によるイベント生成は、根本的なスケーリング問題に直面

→ 実時間発展 + Shotベースのサンプリングによる量子イベント生成



量子化した次世代の素粒子実験 — FTQCは必須 —

量子技術のコヒーレント接続による、素粒子ダイナミクスの量子実験、第一原理的な解明は可能か



全く新しいフロンティア!!

挑戦したい方は、ぜひ一緒に考えてみましょう