

革新的な量子情報処理技術基盤の創出  
2021 年度採択研究者

2021 年度 年次報告書
------------------

山本 大輔

日本大学 文理学部  
准教授

人工量子系における量子状態同定および量子もつれの定量化法の開発

## § 1. 研究成果の概要

本年度は大域的な操作のみで構成される新たな量子状態トモグラフィ法を開発し、その性能評価を数値実験により行った。 $n$  キュービットの量子状態を考えた場合、原理的には局所的に異なる Pauli 行列の全組み合わせの直積から成る完全直交基底での観測結果をすべて得ることができれば、量子状態そのもの(密度行列)を再構築することが可能である。しかし、そのような局所的に異なる観測基底を実験的に実現するためには、対象の人工量子系の単一キュービットレベルでの緻密な局所操作が必要となる。また、このような観測基底 (Pauli 基底) の数は指数関数的に増大する ( $n$  キュービットに対して  $4^n$  個) ため、スケーラブルな方法のためには何らかの工夫が必要となる。

そこで、量子系に対する大域的な操作のみで可能な量子状態再構築法の開発を試みた。具体的には、 $\pi/2$  Rabi パルスによる大域的な基底変換と磁場勾配の短時間印加による(場所に依存した)歳差運動を組み合わせることで、 $3 \times 2^n \times n_q$  個程度のピッチ  $q$  でスパイラル状に捻じれたような直交基底を得る。因子 3 はスパイラルの軸方向 ( $\sigma^x$ ,  $\sigma^y$ ,  $\sigma^z$ ) に起因し、 $n_q$  は異なるピッチ  $q$  の値の数である(ここでは  $\pi/n$  ずつ異なる  $n_q = 2n$  個を用いた)。因子  $2^n$  は多体相関関数を測る際に「そのキュービットを含むか含まないか」から来る因子であり、実験的な操作自体は  $3n_q$  の多項式個数で済むためスケーラブルである。完全直交基底のためには大幅な不足があるが、残りの情報の分は Singular Value Thresholding (SVT) アルゴリズムを利用した圧縮センシングを行うことで補完した。最大で  $n=8$  キュービットの系まで数値実験を行い、ターゲットの量子状態がランダムな純粋状態だった場合および典型的な Heisenberg 模型の基底状態だった場合のいずれに対しても通常の Pauli 基底による量子状態トモグラフィと遜色のない性能を持つことが確認できた。