量子コンピューティング ユースケース集

量子GAN×QAOAによる不確実性下の需給計画最適化

電気通信大学・グリッド



国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）

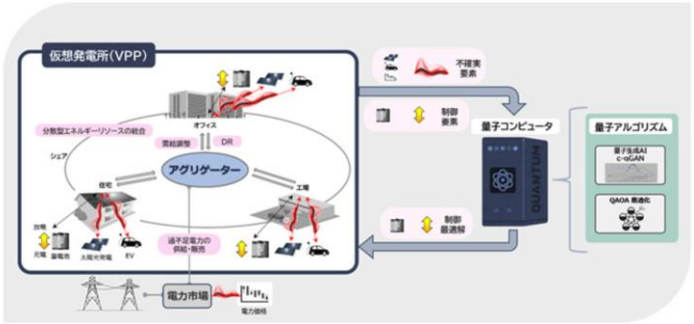
電気通信大学×グリッド：量子GAN×QAOAによる不確実性下の需給計画最適化 【2026/7】 1／3

検証

産業領域	エネルギー
プロセス	送配電
手法	組合せ最適化、AI
技術分類	ゲート*

取組の背景

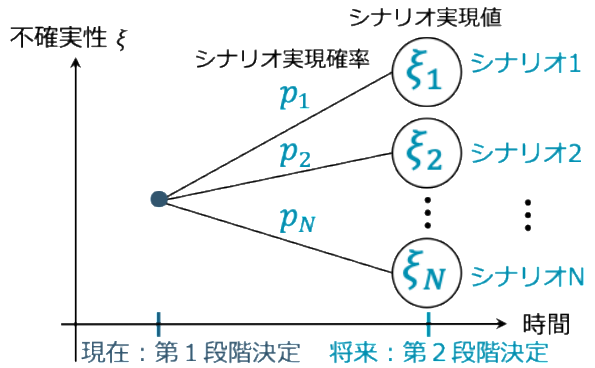
- 世界的に再エネ導入が進むなか、天候に左右される電力供給の不安定さが課題となっており、**VPP（仮想発電所）による需給調整が効率的・安定的な電力供給の実現に重要な役割を担う**
- 需給調整の中核となるのが**発電機の起動停止計画**である。大型火力などのベース電源は起動に時間がかかるため太陽光（PV）発電量が判明する前に起動可否を決める必要があり、小型ガス火力などのピーク電源はPV発電量の実現後に出力を調整できる
- この「**不確実性を観測する前の決定**」と「**観測後の調整**」を扱う枠組みが**二段階確率計画法**であり、物流の配送経路計画や金融の投資配分にも共通する
- 昨年度は量子GANとQAOAを要素技術として個別に開発した。今年度は**両者を単一の量子回路へ統合し、定量評価を行うフェーズ**に進んだ



VPP 需給調整における量子技術の適用イメージ

解決したい課題・モチベーション

- 確率計画法は不確実性をシナリオ集合で近似するが、**精度を高めるにはシナリオ数を大幅に増やす必要があり、計算時間とメモリが実用上の壁**となる
- 大規模問題を分割して解く古典的な分解法にも限界がある。L字型法は第2段階に離散変数があると適用できず、Progressive Hedging Algorithmは第1段階に離散変数があると**非予見性（第1段階の決定がシナリオごとに割れないこと）の収束が難しい**
- 量子コンピューターで解く場合も、二段階確率計画をそのままQUBO化すると**本事例の設定で195量子ビットを要し、現行の実機規模では扱えない**
- そこで、**シナリオ数に対して回路規模が緩やかにしか増えず、非予見性を追加の制約なしに満たす量子回路を設計する**ことを目標とした



2段階確率計画法のイメージ

参考：黒岩太平 他「量子確率分布生成回路を組み込んだQAOA型二段階確率計画手法の提案」第18 回量子ソフトウェア研究会、T. Kuroiwa et al., “Quantum-Circuit Framework for Two-Stage Stochastic Programming via QAOA Integrated with a Quantum Generative Neural Network”, arXiv:2512.22434 (2025) （https://arxiv.org/abs/2512.22434）、電気通信大学「【報告】新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公募した量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業に採択」（https://www.uec.ac.jp/news/announcement/2024/20240910_6472.html）※本成果はNEDO 委託業務（JPNP23003）の結果得られたものです

*ゲート（gate-based）= 量子ビットに対して順に演算を適用することで計算を行う方式。通常のコンピュータにおける論理回路に近い考え方で、幅広い問題に対応可能。

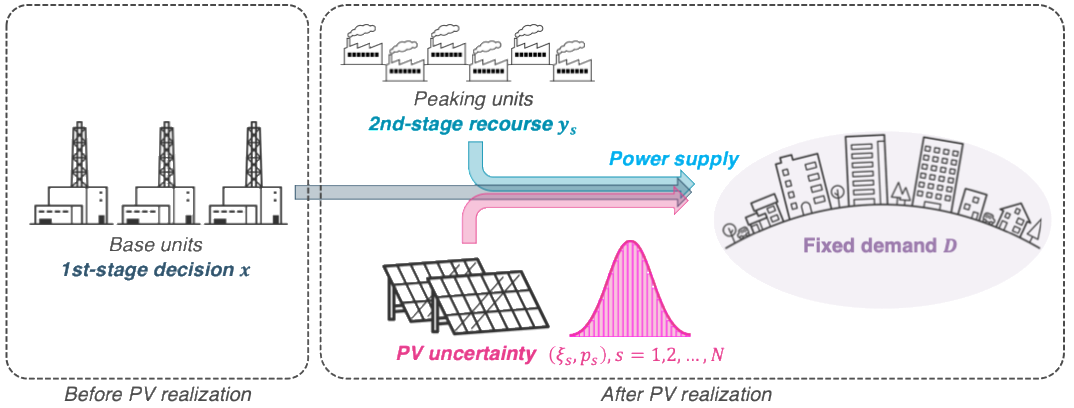
電気通信大学×グリッド：量子GAN×QAOAによる不確実性下の需給計画最適化 【2026/7】 2／3

検証

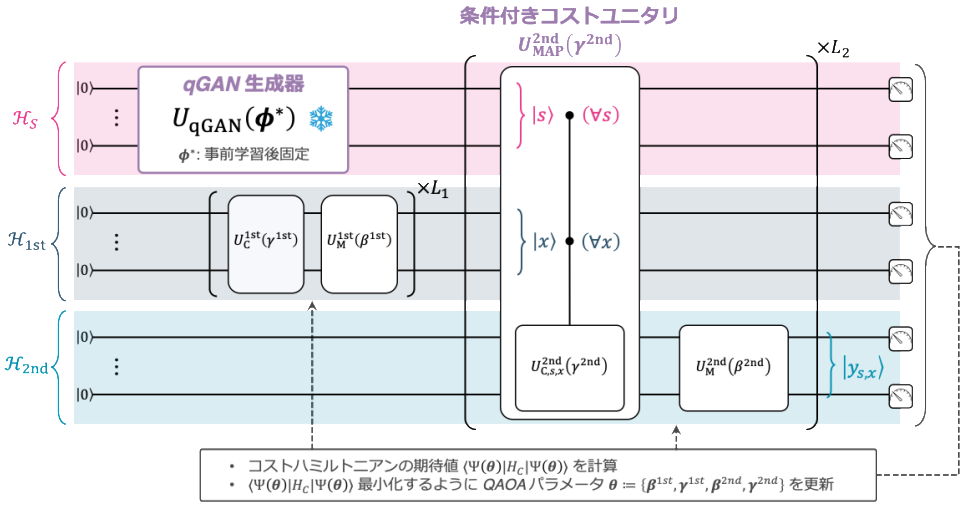
産業領域 エネルギー
プロセス 送配電
手法 組合せ最適化、AI
技術分類 ゲート*

量子コンピューターとしての問題設定

- 太陽光発電量の不確実性のもとで発電機の起動停止計画を最小費用で決める、**確率的ユニットコミットメント問題を対象**とした
  - ✓ 起動に時間がかかる**大型火力にあたるベース電源3台の起動可否を、PV発電量が判明する前の第1段階**で決定する
  - ✓ 起動の速い小型ガス火力にあたる**ピーク電源6台の出力は、PV発電量の実現後に第2段階で調整**する
  - ✓ PV発電量は**ベータ分布に従う32のシナリオへ離散化**した
  - ✓ **起動費用と発電費用の期待値、需給制約違反のペナルティの合計を最小化**する
- 提案手法は次の3つの要素で構成される
  - ✓ **量子GANでPV発電量の分布を学習**し、5量子ビットの重ね合わせ状態として振幅符号化することで、**シナリオ分布そのものを量子状態として保持**する
  - ✓ シナリオごとに第2段階の変数を複製する代わりに、**量子マッピングゲートによってシナリオ情報を第2段階のコストへ反映**する
  - ✓ **第1段階と第2段階でミキサーを分離することにより、非予見性を回路構造として保証し、追加のペナルティ項を不要**とした
- これにより、**通常の QUBO 化では195量子ビット（第1段階二値変数3個＋第2段階二値変数6個×32シナリオ）を要する本事例の問題を、シナリオ5・第1段階3・第2段階6の合計14量子ビットで構成できる。**



PV 不確実性下の発電機起動停止計画



提案手法の量子回路構成

参考：黒岩太平 他「量子確率分布生成回路を組み込んだQAOA型二段階確率計画手法の提案」第18 回量子ソフトウェア研究会、T. Kuroiwa et al., “Quantum-Circuit Framework for Two-Stage Stochastic Programming via QAOA Integrated with a Quantum Generative Neural Network”, arXiv:2512.22434 (2025) （https://arxiv.org/abs/2512.22434）

※本成果はNEDO 委託業務（JPNP23003）の結果得られたものです

*ゲート（gate-based）= 量子ビットに対して順に演算を適用することで計算を行う方式。通常のコンピュータにおける論理回路に近い考え方で、幅広い問題に対応可能。

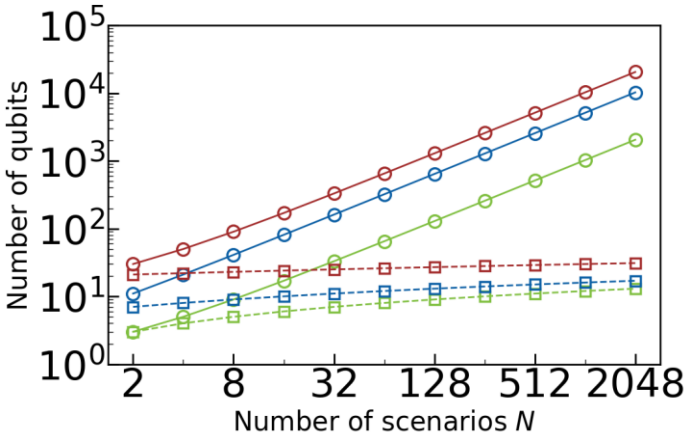
電気通信大学×グリッド：量子GAN×QAOAによる不確実性下の需給計画最適化 【2026/7】 3 ／ 3

検証

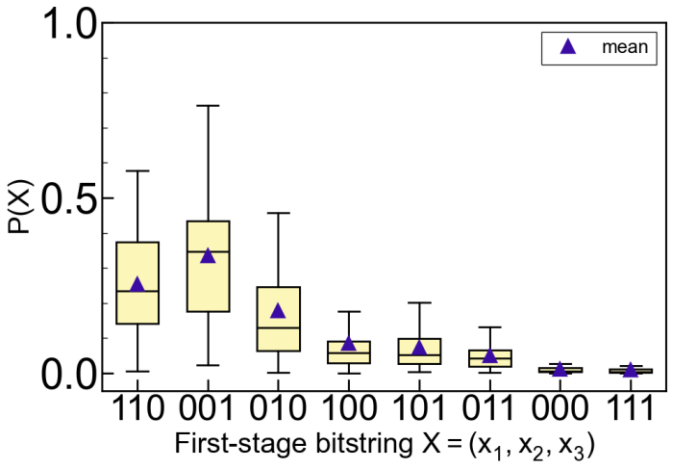
産業領域 エネルギー
プロセス 送配電
手法 組合せ最適化、AI
技術分類 ゲート*

期待されるビジネス効果

- 同一の問題・同一のシナリオ数において、**通常のQAOAおよびQAでのQUBO化では195 量子ビットを要する二段階確率計画を14量子ビットで実装**した。シナリオ数に対する増加を対数に抑えられるため、**現行規模の量子計算機で扱う道が開けた**
- 最適化の全反復を通じて**非予見性の評価指標が十分小さく保たれることを確認**しており、シナリオに依存しない単一の起動計画が得られる。**追加のペナルティ項が不要なため、罰則係数の調整も生じない**
- 解の質はVSS（不確実性を期待値で置き換えた解と比べ、どれだけ期待コストを下げられるかを測る指標）で評価した。**提案手法は期待コストの低い大域最適解・準良解に高い確率を与え、第1段階ユニタリの層数を増やすとVSSが向上する傾向**がみられた
- **シナリオ数の増加に対し、ゲート数・回路深さの増加は緩やか**である
- 二段階確率計画は配送経路計画（物流）・投資配分（金融）・需給計画（エネルギー）に共通する枠組みであり、**同一の回路設計を横展開できる**
- 今後は、需要の不確実性や複数期間を含む多次元・時系列シナリオへの拡張、シナリオ状態準備コストの低減、実機ノイズ下での検証に取り組む。**現時点の問題規模では、量子回路シミュレーターでの評価より古典ソルバーが高速である。実機との速度比較は未実施であり、シナリオ数増加時のスケーリング優位性の実証が次の課題となる**



必要量子ビット数の比較



提案手法が出力する第1 段階解の分布

参考：黒岩太平 他「量子確率分布生成回路を組み込んだQAOA型二段階確率計画手法の提案」第18 回量子ソフトウェア研究会、T. Kuroiwa et al., “Quantum-Circuit Framework for Two-Stage Stochastic Programming via QAOA Integrated with a Quantum Generative Neural Network”, arXiv:2512.22434 (2025) （https://arxiv.org/abs/2512.22434）

※本成果はNEDO 委託業務（JPNP23003）の結果得られたものです

*ゲート（gate-based） = 量子ビットに対して順に演算を適用することで計算を行う方式。通常のコンピュータにおける論理回路に近い考え方で、幅広い問題に対応可能。

WEBサイトにて、その他の事例も公開しています。ぜひご覧ください。
https://www.quantum-computing-use-cases.nedo.go.jp

他の事例を見る

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）
AI・ロボット部（e-mail：quantum_ai@ml.nedo.go.jp）

本ユースケース集は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO）の委託業務「量子・古典ハイブリッド技術のサイバー・フィジカル開発事業／量子技術に関するユースケース事例調査」および「ポスト５Ｇ情報通信システム基盤強化研究開発事業（量子産業化）／量子コンピュータの産業化促進に向けた包括的調査」の成果として、得られたものです。