

## ソフトウェア工学による自動チューニング技術の新展開



## ● 研究の意義

- **I) ソフトウェア工学の活用**：数値計算ソフトウェアにおけるソースコードの更新、コンパイル、静的解析、ビルド、自動テストの実行といった一連の更新手順を自動化し、効率化する継続的インテグレーションにおいて、自動テストの実行順序を工夫することにより、デバッグを含む開発効率の研究をする。本課題では、数値計算ライブラリLAPACKを対象にし、数値テストケースにおいて本課題の解決を狙う。またAT技術の研究は、高性能化のためのパラメータチューニングやコード自動生成により、開発工数削減に寄与する。片桐らが開発したAT言語のppOpen-ATフレームワークやIDEAS-ECPプロジェクト開発のATツールを活用してAT研究を行う。
- **II) 実用アプリケーション評価**：計算化学における量子アルゴリズム適用を想定し、量子回路シミュレーション（特にGPUで稼働するNVIDIA cuQuantum）の高速化に寄与する性能パラメータチューニングを対象にする。一方、ATの適用アルゴリズムを拡大するため、非線形ソルバのアルゴリズム上に現れる性能パラメータチューニングも取り扱う。
- **III) チューニングノウハウの共有**：スーパーコンピュータ「富岳」のCPUであるARM A64FX、GPUのV100とA100の高性能実装技法や、パラメータチューニングのノウハウを集約する。

## ● 主な構成員

- 片桐 孝洋・星野 哲也(名大)・大島 聡史(九大)：研究統括、AT開発、GPU最適化、AT開発
- 森崎 修司(名大)：ソフトウェア工学
- Weichung Wang(国立台湾大、台湾)・Feng-Nan Hwang(国立中央大、台湾)・Osni Marques(LBNL、米国)：固有値計算、非線形アルゴリズム、国際連携
- 中島 研吾(東大)：連立一次方程式の反復解法
- 望月 祐志(立教大)・杉崎 研司(慶応大)：計算化学、量子計算アルゴリズム

## ● 疑似量子アニーラの性能パラメタの自動チューニング例 [森下ら、2022]

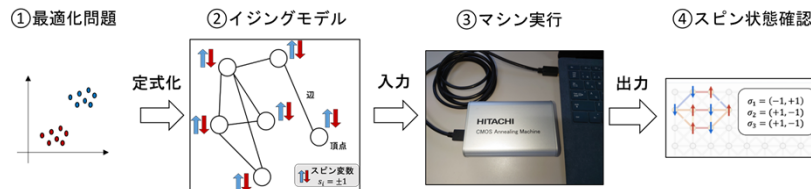


図1：QIAでの処理の流れ

- cuQuantumでは、化学計算の実アプリをもつ望月・杉崎と共同研究を実施し、ベンチマークにより性能評価済み
- NVIDIA社とも連携しcuQuantum上のハイパパラメタ情報を入手済み

- 以下の量子関連技術取り扱う：1) 量子回路シミュレータ(cuQuantum等)のGPUの高速化；2) 疑似量子アニーリング(QIA)；

- QIA：フィックスターズ社のWebサービス Amplify、日立製作所のCMOSアニーリング
- 最適解がわかる正方格子グラフにおける最小頂点被覆問題をベンチマークとして、AmplifyとCMOSアニーリングの解の精度と速度の比較を実施

- アニーリングアルゴリズム上のハイパパラメタに加え、QUBO形式のエネルギー関数に現れる制約項と最適化項の重みが、問題特有の性能パラメタになる(図2)

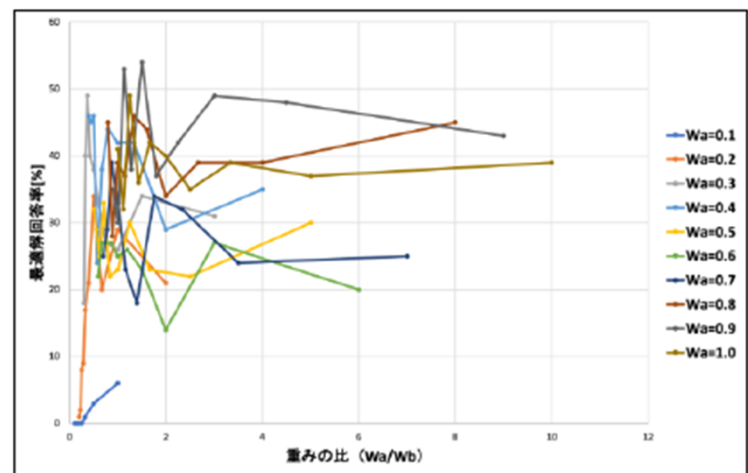


図2：AmplifyでのQUBO関数の重みの変更による最適化解回答率の推移

⇒QIAでも自動チューニングが必須