

プログラム名：量子人工脳を量子ネットワークでつなぐ高度知識社会基盤の実現

PM名：山本 喜久

プロジェクト名：量子人工脳

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 9 年 度

研究開発課題名：

コヒーレントイジング/XY マシンの原理と応用

研究開発機関名：

大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構

研究開発責任者

河原林 健一

# I 当該年度における計画と成果

## 1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

(1) コヒーレントイジングマシンの性能評価と向上のための理論検討

- ・ OPO ネットワークを記述する確率微分方程式を用いたコヒーレントイジングマシンの評価
- ・ OPO ネットワークを記述する確率微分方程式を用いたコヒーレントイジングマシンのシミュレータのメニーコアスーパーコンピュータへの実装と評価

(2) コヒーレントイジング/XY マシンの応用分野の開拓

- ・ イジングマシンを用いた圧縮センシング（スパースモデリング）の実装検討と性能評価
- ・ コヒーレントイジングマシンを用いた創薬のための標的タンパク質への化合物最適化の手法開発及びベンチマーク
- ・ DOPO ネットワークを用いた光スパイクニューロンの実装検討
- ・ XY マシンを用いた複雑ネットワーク上のコミュニティ検出の高速化及び性能向上の検討
- ・ f-MRI を用いた脳機能ネットワーク解析へのイジングマシン、XY マシンの応用の開拓

(3) コヒーレント XY マシンの実証実験

- ・ ファイバー非縮退 OPO の特性評価
- ・ 単一ファイバーリング共振器内での大規模な時分割多重非縮退 OPO の実現
- ・ 非縮退 OPO 型 XY マシンを用いた 2 次元 XY 模型のシミュレーション
- ・ OPO ネットワーク・XY ネットワークのフィードバックシステムのための FPGA システム制作

(4) コヒーレントイジングマシンに関するクラウドウェブサービスの開発・公開

- ・ コヒーレントイジングマシンの実験技術とシミュレーション技術を基盤としたクラウドウェブサービスシステムの開発と一般への公開

## 2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

### 2-1 進捗状況

(1) コヒーレントイジングマシンの性能評価と向上のための理論検討

Positive-P 表示とレプリカダイナミクスによる測定フィードバック型のコヒーレントイジングマシンのシミュレータを PEZY-SC で実装し、既に実装済みの問題についてのベンチマーク結果と性能比較を行い並列化に問題がないかどうかを確認した。また、コヒーレントイジングマシンの性能評価のため、D-wave マシンとの性能比較を行い、どのようなグラフに対して性能が優位になるか比較検討を行った。

(2) コヒーレントイジング/XY マシンの応用分野の開拓

コヒーレント XY マシンの出口探索については、非縮退 OPO ネットワークによって実装される XY マシンにおいて、BKT 相転移のシミュレーションに応用可能かどうかを検討するために、Positive-P 表示による理論モデルの検討を行った。

(3) コヒーレント XY マシンの実証実験

非縮退パラメトリック発振を用いた XY マシンを構築し、光結合によって1次元リング上の強磁性 XY モデルを実装し、相対位相を測定することで、位相拡散量の推定による実効的な温度を実験から見積もった。さらに、外部雑音光の導入によって位相拡散量を変化させる、実効的な温度を制御できることを確認できた。

#### (4) コヒーレントイジングマシンに関するクラウドウェブサービスの開発・公開

コヒーレントイジングマシンの実験技術を広く世界にアピールするために、NTT 物性研に設置されたコヒーレントイジングマシン計算装置を、インターネットを介して世界中の人々が安全に体験できるクラウドサービスシステム「QNNcloud」を開発し 2017 年 11 月 27 日から公開した。

### 2-2 成果

実機構築、性能評価、において論文が計 5 本採択された。特に目立ったプロジェクト全体での成果としては、コヒーレントイジングマシンの  $N=2000$  全結合のクラウドサービスが一般に公開できたことがある。今後は、これを用いて何ができるかをクラウドサービスにて展開、探索する予定である。XY マシンについては、 $N=5000$  の非縮退 OPO ネットワークに外部雑音源を加えることで、1 次元リングにおいて実効温度の制御が可能であることを実験的に確認し、ボルツマンサンプリングへの応用を示唆した論文が *Quantum Science and Technology* に採択された。当初の目標が多角的に設定されていたため、年度の途中から実機がいかに社会で使えるものになるかを性能評価・出口探索の観点からよりのめを絞って研究を行うこととした。そのため、DOPO ネットワークを用いた光スパイクニューロンなど、いくつかの研究課題は研究テーマから外すこととなった。

### 2-3 新たな課題など

公開したクラウドサービスでは、計画当初は様々な問題において実機とシミュレータ両方のサービスを提供し、実機性能評価とシミュレータによる動作原理の理解を予定していた。しかし、完全グラフ上の実機サービスに留まった。問題を実装する際のポンプレートなど様々な自由パラメータがあり、問題によって適切なパラメータが異なる。適切なパラメータを設定し、問題種とシミュレータを提供することが今後の課題である。XY マシンは低温でボルツマン分布への緩和が遅くなるという課題があり、レプリカ交換など加速を目指す必要がある。また、応用探索の範囲を拡張するために古典ランジュバン方程式によるシミュレーションに加えて Positive-P 表示などの量子モデルの開発が課題である。

## 3. アウトリーチ活動報告

国内、及び海外の講演会や会議において、実社会で広く存在する組み合わせ最適化問題をコヒーレント・イジングマシンで解く手法について、AI や量子コンピュータとの関係にも言及しながら、高校生や関心のある人々に対して紹介を行った。