

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 8 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

宇都宮聖子

# 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

コヒーレントイジング/XY マシンの性能向上と応用探索、また XY マシンのプロトタイプ実装実験とを検討する。これについて、主に下記の4つの項目についての研究を実施する計画を立てた。

### (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
- 動的外部磁場操作によるコヒーレントイジングマシンの性能評価と性能向上検討

### (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) プロジェクトの統括

NTT 物性研武居グループの光学系と、大阪大学井上グループらを中心に開発した完全結合系の実装可能な FPGA フィードバック制御システムを統合し、コヒーレントイジングマシンの大規模化に取り組む。

## 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

ランジュバンを用いた定式化により、計算性能が向上するようなヒューリスティクス(外部注入項の)を導入した場合の計算比較を進めた。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うことで、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。数値シミュレーションにより様々な問題を解き性能比較を進めた結果、全結合で実装されるイジング問題について、疎結合の D-wave を用いてキメラマッピングで同じイジング問題を解いた場合よりも性能が向上することがわかった。

#### (2) コヒーレントイジング/XY マシンの応用分野の開拓

イジングマシンの出口探索については、創薬のための化合物最適化、圧縮センシングに関する応用検討、コヒーレント XY マシンについてはコミュニティ検出への応用検討を進めた。それぞれにおいてマッピングを定式化し、Truncated Wigner を用いて数値計算を実施、物理系を用いた場合の性能を数値的に示した。イジングマシンの応用の既存手法との比較はこれからであるが、コミュニティ検出は、代表的な既存手法(Louvain, Infomap)に比べて遜色ないことを数値的に示した。

### (3) コヒーレント XY マシンの実証実験

XY マシンについては、アクティブファイバーモード同期を用いた N=100 までの時分割レーザーネットワークの構築を進めた。これを用いて1次元リングを構築し、実効温度を評価したところ、数値計算値よりもかなり大きい値であったため、実効的な低温領域に持っていくには、より安定な XY マシンを構築する必要がある。そのため、ゲインが大きくとれる4光波混合をゲインとして用いた非縮退パラメトリック発振を用いた XY マシンを構築した。本手法を用いると共振器安定化のため共振器のパルス進行方向の逆方向注入が可能で安定化に向く。これにより、N=5000 パルスの XY スピン発生を、数 10 分安定に保つことが可能となった。N=100 の場合と同様に、1次元光結合を実装し、位相ねじれとスピン間の相対位相を測定することで、実効的な温度を実験から見積もり、ランジュバンによる数値計算で予測される低温を実験的に確認できた。それにより  $\beta=30$  程度の実効温度までの冷却が可能であることを示した。

### (4) プロジェクトの統括

コヒーレントイジングマシンの N=2000 全結合が安定稼働するようになったため、NTT に設置されている実機と、それを模擬するシミュレータを、誰もがインターネット経由で気軽に使えるようなクラウドサービスを実施し、ユーザーを獲得して更なる出口探索を検討したいと考えている。そのためのクラウド構築のためのシステム設計、及び web アプリケーション構築を進めている。

## 2-2 成果

実機構築、性能評価、アプリ探索など様々な方面において論文が計 11 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 全結合の論文が Science 誌に採択された。これを用いて何が出来るかをクラウドサービスにて展開、探索する予定である。実機構築に関しては特に重要箇所については知財も申請中である。XY マシンについては、N=5000 のパルス発生に成功し、低温下で 1 次元リングの実装を実験的に確認、ボルツマンサンプリングへの応用を示唆した論文を投稿中である。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、年度を改めて、次期の研究テーマに回すことになった。

## 2-3 新たな課題など

コヒーレントイジングマシンの性能評価において、任意の問題を実装する際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。問題に対するパラメータの推定もまた一種の最適化問題として存在するため、前処理としての最適化をどのように実装するのも課題である。

XY マシンは  $\beta=30$  程度の低温での実装が確認されたが、現在の実験系の安定度からこれ以上の冷却は難しい。更なる冷却に向け、レプリカ交換などを実装し、物理的な冷却の加速を目指す必要がある。

## 3. アウトリーチ活動報告

国立情報学研究所オープンハウス 2016 『研究 100 連発』生中継として ImPACT での研究活動を報告した。全国に向けた生中継での展開により反響があり、良い研究活動の広報となった。