



Title	Design and numerical simulation of physical reservoir computing with static magnetization states
Author(s)	Hon, Kwan
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/89638
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (H O N K W A N)	
Title	Design and numerical simulation of physical reservoir computing with static magnetization states 静的磁化状態を用いた物理リザーバーコンピューティングの設計と数値シミュレーション
Abstract of Thesis Physical reservoir computing (RC) is a kind of specific information processing through physical systems. It is an ideal energy-saving method for edge computing. However, physical RC is currently still in the research and development phase. The challenge of development is to create a physical system with good computational performance, high stability, and suitable for mass production. The basic requirements of physical RC systems are the memory capability and non-linear dynamics. Spintronic devices have great potential for in-memory computing due to their non-volatile memory and fast processing characteristics. The oscillation dynamics of spintronic devices have been demonstrated to achieve high RC performance, but the stability is questionable. On the other hand, the static state of the spintronic devices used in memory applications is highly stable. In this Ph.D. work, I utilize the static states of spintronic devices for RC and numerically study the performance of three different designs: artificial spin ice, domain wall shift register and magnetic quantum cellular automata (MQCA) shift register. Two common metrics are used to assess the performance of the designs. One metric is short-term memory (STM) capacity, which measures the memory capability of a system. Another metric is parity-check (PC) capacity, which measures the non-linear computing power of a system. A capacity of 1 means that the system can only do minimal work. The optimal STM capacity and optimal PC capacity of artificial spin ice are 3.5 and 2.9 respectively. The performance of artificial spin ice is promising, but it is sensitive to magnetic field and difficult to control. The optimal STM capacity and optimal PC capacity of domain wall shift register are both 5. Domain wall shift register performs the best among the three designs, but the entire device cannot be read electronically with current technology. The optimal STM capacity and optimal PC capacity of MQCA shift register are 7 and 2.6 respectively. Although it has the worst non-linear computing performance, the performance is expected to be tuned from the design configuration.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (HON KWAN)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	鈴木 義茂
	副 査	教 授	藤本 聡
	副 査	教 授	山本 俊

論文審査の結果の要旨

提出された論文は物理リザバー計算機と呼ばれる物理現象を利用した計算機に関するものである。物理リザバー計算機は優れた省エネルギー特性を有しながら人工知能に必要な高度な計算を実現するものとして期待されている。しかし、その実現のためには高い計算能力を示し、安定で大量生産に適した物理系を見つけることが必要となる。Hon氏はそのような物理系の一つとして人工的に作製した強磁性体ナノ構造の利用をこの論文において提案している。

強磁性体は記録と計算を同時に行う能力があり物理リザバーに適すると考えられる。強磁性体のリザバー計算への応用としては既にスピントルク発振器の高速ダイナミクスの利用が試みられ、高い計算性能が得られている。しかし、スピントルク発振器には安定性・高密度化・エネルギー消費の面で課題がある。Hon氏はこれに対して強磁性体の静的な状態間の遷移を利用する物理リザバーを提案した。強磁性体を用いたMRAMなどの磁気メモリは不揮発・高密度・高速であり省エネルギー特性にも優れていることが既に知られている。そこで、Hon氏はこれらの磁気ナノ構造に相互作用を導入することにより計算能力を持たせ、リザバー計算を行うことが可能であることをマイクロマグネティックシミュレーションによって明らかにした。

具体的には人工スピンアイス、磁壁型シフトレジスターおよび磁気ナノドットシフトレジスターにおけるリザバー計算能力を調べた。リザバー計算の能力の尺度としては短時間記憶能力とパリティチェック能力を用いた。短時間記憶能力はその名の通り、物理システムが外来からの信号を記憶できる長さ(ビット数)を示す。一方、パリティチェックキャパシティーは多ビット間の相関を計算する能力を示す。今回用いたハニカム格子型の人工スピンアイスでは最大3.5ビットの短時間記憶能力と2.9ビットのパリティチェック能力が得られた。人工スピンアイスはアイスルールのために大きな残留エントロピーを有する物質である。今回の研究から短時間記憶能力とパリティチェック能力があることが示され、リザバー計算を行う物理系として有望であることが明らかとなった。磁壁シフトレジスターは最大5ビットの短時間記憶能力と5ビットのパリティチェック能力を示した。複雑な磁壁ダイナミクスを反映して大きな性能が得られたが、複雑な磁壁構造を計算機に読み込む方法の開発などには課題がある。最後に、強磁性ナノドットシフトレジスターは最大7ビットの短時間記憶能力と2.6ビットのパリティチェック能力を示した。現時点のパリティチェック能力は小さいがデザインが容易であることから、最適化により性能を向上できる余地があることが示された。

以上、Hon氏の論文は静的な強磁性体ナノ構造のリザバー計算機としての能力を初めて包括的に明らかにしたものであり博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。