

# Press Release

2021年9月3日

2021年8月30日にリリースいたしました以下の件につきまして、オンラインジャーナルにて公開されましたので、1頁目下部に論文 URL を追記し、ご連絡いたします。

龍谷大学先端理工学部 木村睦教授らの研究グループが

メモキャパシタと自律局所学習を用いるニューロモーフィックシステムを開発  
超コンパクト・低電力消費の人工知能への応用を期待

IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems 誌に掲載



奈良先端大

NARA INSTITUTE of SCIENCE and TECHNOLOGY



## 【本件のポイント】

- ・ メモキャパシタと自律局所学習を用いるニューロモーフィックシステムを開発した。従来の人工知能と比べると、劇的なコンパクト化・低電力消費が期待できる。
- ・ メモキャパシタとして、強誘電体キャパシタを用いることで、構造を単純なものとし、薄膜の液相プロセスを用いることで、作製プロセスも単純なものとしており、将来の高集積化が容易となる。DC 電流が無く、過渡電流も減り、電力消費が大幅に減る。
- ・ 自律局所学習として、メモキャパシタのヒステリシス特性を上手く利用することにより、結合強度の制御回路など無しに、ニューロモーフィックシステムに学習させることができ、やはり将来の高集積化が容易となる。
- ・ 研究の成果は、「IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems」(Impact Factor=10.451) に掲載。

龍谷大学先端理工学部電子情報通信課程の木村睦研究室では、奈良先端科学技術大学院大学・北陸先端科学技術大学院大学との共同研究で、メモキャパシタと自律局所学習を用いるニューロモーフィックシステムを開発しました。

メモキャパシタは、印加電圧の履歴によりキャパシタンスが変化する回路素子で、本研究では、強誘電体キャパシタを用いることで、構造を単純なものとし、 $\text{Bi}_{3.25}\text{La}_{0.75}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$  (BLT)の薄膜の液相プロセスを用いることで、作製プロセスも単純なものとしており、将来の高集積化が容易となります。従来の大規模な模倣回路やメモリスト(可変抵抗素子)の代わりに、メモキャパシタ(可変容量素子)を用いるため、DC 電流が無く、過渡電流も減り、電力消費が大幅に減ります。

また、自律局所学習は、単一素子が自分自身の駆動条件のみで特性を変化させる学習方式であり、やはり将来の高集積化が容易となります。従来のシナプス素子の結合強度の制御回路など無しに、メモキャパシタの電圧履歴のキャパシタンス特性を上手く利用することにより、メモキャパシタだけで、ニューロモーフィックシステムに学習させることができます。

従来の人工知能と比べると、劇的なコンパクト化・低電力消費が期待できます。

## 【発表論文について】

英文タイトル: Neuromorphic System Using Memcapacitors and Autonomous Local Learning

タイトル和訳: メモキャパシタと自律局所学習を用いるニューロモーフィックシステム

掲載誌: IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems (TNNLS)

URL: <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2021.3106566>

著者: 木村 睦 (龍谷大学・奈良先端科学技術大学院大学)、石崎 勇真、宮部 雄太、吉田 誉、小川 功人、横山 朋陽 (龍谷大学)、羽賀 健一、徳光 永輔 (北陸先端科学技術大学院大学)、中島 康彦 (奈良先端科学技術大学院大学)

## 【内容について】

### ＜研究の背景＞

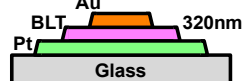
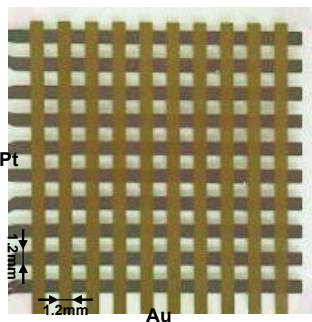
「人工知能」は、現在、さまざまな用途に用いられ、将来、SDGs・Society 5.0・IoT といった未来社会に不可欠な情報インフラです。人工知能のための代表的な技術が、生物の脳の機能を模倣することで、自己組織化・自己学習・並列分散処理・障害耐性などの特長をもつ「ニューラルネットワーク」です。しかしながら、従来のは、ハイスpek的なハードウェアで実行される複雑・長大なソフトウェアで、人工知能のために最適化されておらず、コンピュータのサイズは巨大で、電力消費は膨大であり、また、並列分散処理・障害耐性などの特長は限定的でした。ニューラルネットワークを基本的なハードウェアのレベルから生体の脳の構造で模倣し、ニューロン素子やシナプス素子を実装するのが、「ニューロモフィックシステム」です。しかしながら、従来のは、人工知能としての最適化が不十分で、上記の特長は完全には得られていませんでした。この原因は、(1) 大規模な模倣回路やメモリスタ（可変抵抗素子）を使うため、DC 電流・過渡電流が大きく、電力消費が大きい (2) 大規模なシナプス素子の結合強度の制御回路を使うため、サイズが大きいということによります。

### ＜研究の目的＞

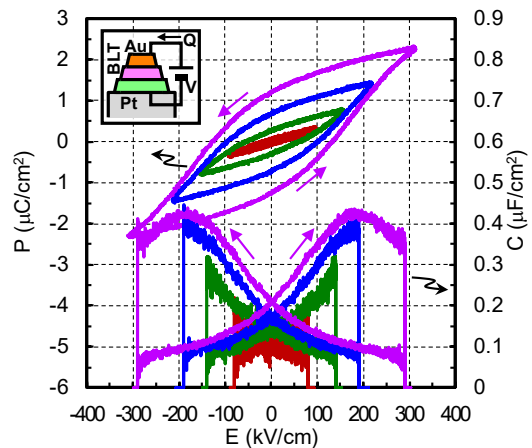
そこで、本研究では、ニューロモフィックシステムにおいて、(1) 模倣回路やメモリスタ（可変抵抗素子）の代わりに、メモキャパシタ（可変容量素子）を用いるため、DC 電流が無く、過渡電流も減り、電力消費が大幅に減る (2) シナプス素子の結合強度の制御回路の代わりに、自律局所学習を用いるため、サイズが小さいということを目的とします。

### ＜メモキャパシタ＞

メモキャパシタは、印加電圧の履歴によりキャパシタンスが変化する回路素子です。本研究では、強誘電体キャパシタを用いることで、構造を単純なものとし、 $\text{Bi}_{3.25}\text{La}_{0.75}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ (BLT)の薄膜の液相プロセスを用いることで、作製プロセスも単純なものとしており、将来の高集積化が容易となります。ここでは、クロスバー型でメモキャパシタを作製し、印加電圧の履歴により強誘電体キャパシタの自発分極が変化することで、キャパシタンスが変化する回路素子を実現しています。



(a) デバイス構造

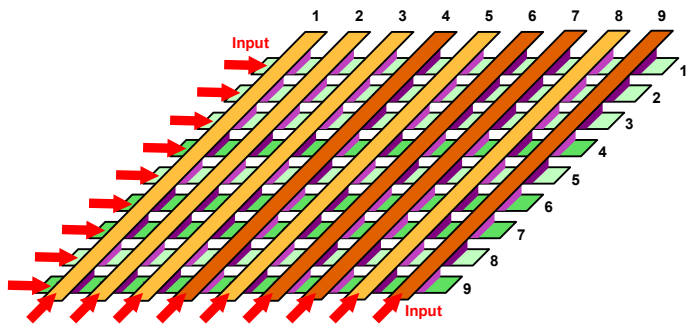


(b) 強誘電体特性

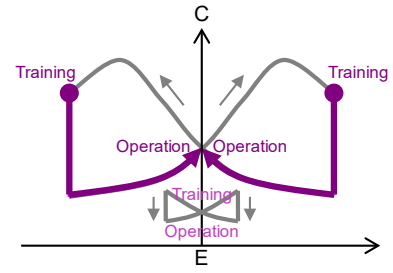
## メモキャパシタ

### ＜自律局所学習＞

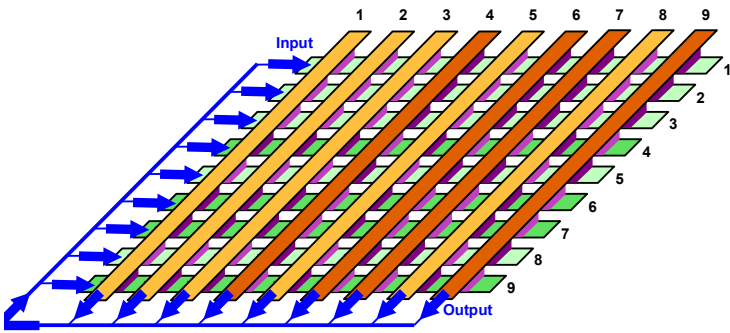
自律局所学習は、単一素子が自分自身の駆動条件のみで特性を変化させる学習方式であり、やはり将来の高集積化が容易となります。メモキャパシタの電圧履歴のキャパシタンス特性を上手く利用することにより、シナプス素子の結合強度の制御回路など無しに、メモキャパシタだけで、ニューロモフィックシステムに学習させることができます。学習フェーズでは、シンプルに、クロスバー型の横電極と縦電極に電圧を印加するだけで、必要なキャパシタンスの変化が誘起されます。推論フェーズでも、シンプルに、横電極に電圧印加し、縦電極の電圧を読み取るだけです。



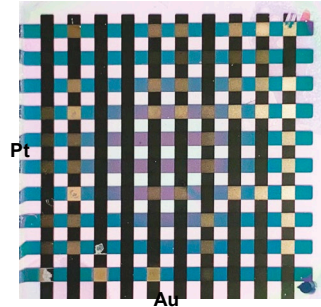
(a) 学習フェーズ



(c) 動作点解析



(b) 推論フェーズ

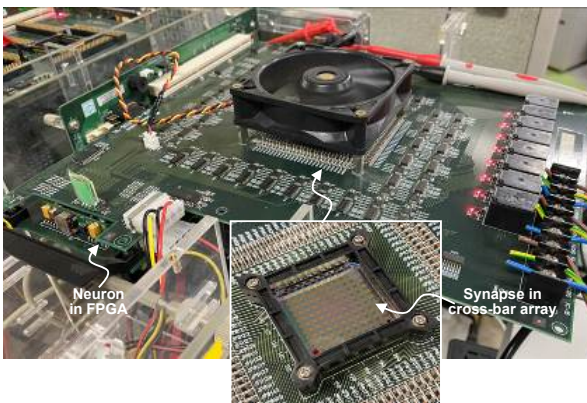


(d) 実際の写真

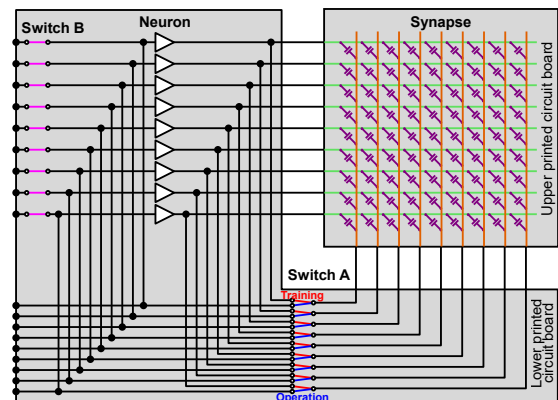
### 自律局所学習

#### <ニューロモーフィックシステム>

メモキャパシタと自律局所学習を用いるニューロモーフィックシステムを、実際に組み立てました。アルファベットの「T」と「L」を記憶させ、わずかに異なるパターンを入力するとき、記憶した「T」または「L」のより近いほうが出力されることを確認しました。この動作は「連想記憶」というもので、文字認識や画像認識に直接に応用できるものであると同時に、問題設定により、さまざまな人工知能の取り扱う課題に応用できるものです。

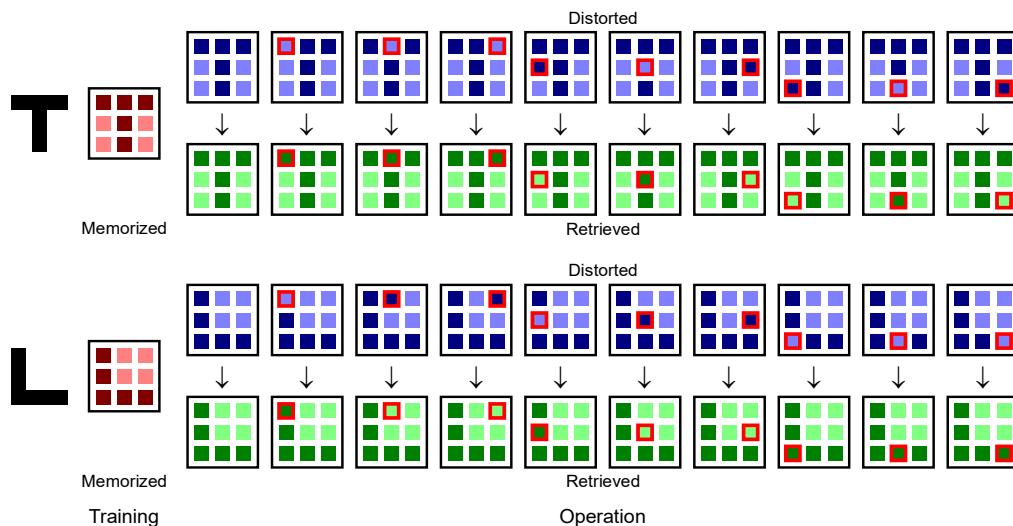


(a) 実際の写真



(b) システムの構成

### ニューロモーフィックシステム



## 連想記憶の実験結果

### <研究の意義と今後の展開>

従来の人工知能では、たとえば、いま最も有名なコグニティブシステムは、サイズは冷蔵庫 10 台ほど、電力消費は数百 kW と言われています。本研究の基本的な成果をもとに、同様の機能のシステムを構築することを想定すると、サイズは LSI 1 チップ、電力消費は 20W 程度と、劇的なコンパクト化・低電力消費が期待できます。SDGs・Society 5.0 において、世界的なエネルギー危機を回避し、IoT において、各々の機器へ搭載することが可能となります。なお、先行研究として、メモリストと外部学習を用いるニューロモーフィックシステム (M. Prezioso, Nature, 521, 61, 2015) と比較すると、本研究で同様の機能が、低電力消費のメモキャパシタと、外部学習なしの局所自律学習で、実現できています。

### 【画像について】

図に使用した写真等のデータがあります。使用の際は以下からダウンロードください。

[https://www.ryukoku.ac.jp/\\_test/datak/2021kimura/](https://www.ryukoku.ac.jp/_test/datak/2021kimura/)

ユーザー名：ryukoku

パスワード：zC3sqdM8

※クレジットには「龍谷大学提供」と記載いただきますようお願い申し上げます。



### 【問い合わせ先】

#### <研究に関する問い合わせ先>

龍谷大学 先端理工学部 電子情報通信課程・教授 木村 睦

E-mail：[mutsu@rins.ryukoku.ac.jp](mailto:mutsu@rins.ryukoku.ac.jp)

#### <担当部局>

龍谷大学 研究部（瀬田） 担当者 佐藤 和叶

Tel：077-543-7548

E-mail：[setaken@ad.ryukoku.ac.jp](mailto:setaken@ad.ryukoku.ac.jp)

龍谷大学は、1639年に京都・西本願寺に設けられた「学寮」に始まる9学部、1短期大学部、10研究科を擁する総合大学です。私たちは、「自省利他」を行動哲学として、地球規模で広がる課題に立ち向かい、社会の新しい可能性の追求に力を尽くしていきます。

(配信先) 文部科学記者会、京都大学記者クラブ、宗教記者クラブ、滋賀県教育記者クラブ、大阪科学・大学記者クラブ、奈良県文化教育記者クラブ、学研都市記者クラブ、石川県文教記者クラブ、小松市記者クラブ