

# スピントロニクス型人工知能デバイスの研究

## Spin wave interference-based physical reservoir computing

### Keywords

Physical reservoir computing

Spin wave

Neuromorphic computing

Magnon

### ユーザー氏名 / User's Name

土屋 敬志<sup>1,2</sup>, 並木 航<sup>1</sup>, 日笠 壮太<sup>1,2</sup> / Takashi Tsuchiya<sup>1,2</sup>, Wataru Namiki<sup>1,2</sup>, Sota Hikasa<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>物質・材料研究機構, <sup>2</sup>東京理科大学 / <sup>1</sup>National Institute for Materials Science, <sup>2</sup>Tokyo University of Science)

### 実施機関担当者 / Person in Charge of ARIM

大井 暁彦, 池田 直樹, 浦野 絵里 / Akihiko Ohi, Naoki Ikeda, Eri Urano

(物質・材料研究機構 / National Institute for Materials Science)

## 概要 / Overview

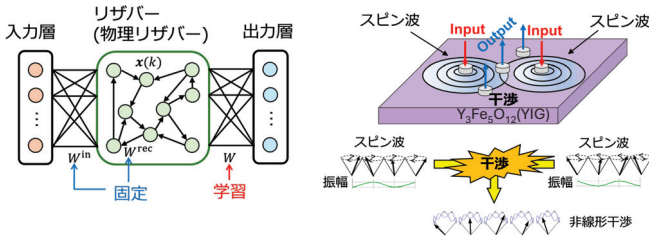
AIデバイスの進化が進む中、低消費電力で高性能なデバイスへのニーズはますます高まっています。本研究ではスピン波（磁気の波）とイオン制御技術を組み合わせた次世代のAIデバイスを開発しました。このデバイスでは、磁性体「イットリウム鉄ガーネット（YIG）」にアンテナを取り付け、スピン波を発生させます。電圧をかけて注入されるイオンの量に応じてスピン波の干渉パターンを変化させ、この干渉を計算処理に活用します。この技術により、従来のデバイスを大幅に上回る計算性能が実現しました。磁性体の性質を活用した高集積かつ高性能なAIデバイスへの発展が期待されます。

The demand for low-power, high-performance devices is growing ever stronger. In this research, we have developed a next-generation AI device that combines spin waves with ion-control technology. The interference pattern of the spin waves is modulated by the amount of protons injected when a voltage is applied, and this interference is used for computational processing. This technology has achieved computational performance significantly outperforming that of conventional devices.

### スピン波干渉物理リザーバーコンピューティング

Spin wave interference-based physical reservoir computing

#### 磁性体内でのスピン波(磁気の波)を利用する情報処理



#### 物理リザーバーコンピューティング

- 物理現象の非線形応答を利用 (物理リザーバー)
- 演算に含まれる結合重み(W)が少ない
- 積和演算が低減でき、低消費電力・高速学習 (少ない学習データ)

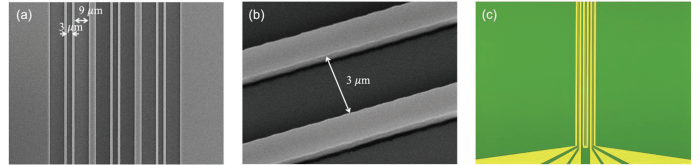
#### スピン波干渉物理リザーバーコンピューティング

- スピン波の干渉による非線形性
- 磁気双極子相互作用でスピン歳差角が増加し不安定化
- 多端子検出による高次元性
- スピン波の緩和による短期記憶性

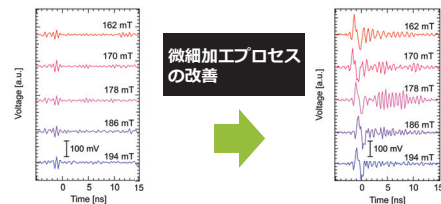
### スピン波励起・検出用アンテナの作製と評価

Fabrication of spin wave excitation and detection antenna

#### Y<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>O<sub>12</sub>(YIG)単結晶を用いる素子作製



2層レジストアンテナパターンの露光現像後のSEM像。(a)上から撮影した観察像。(b)斜めから撮影した観察像。(c)蒸着リフトオフ後のアンテナの光顕写真。



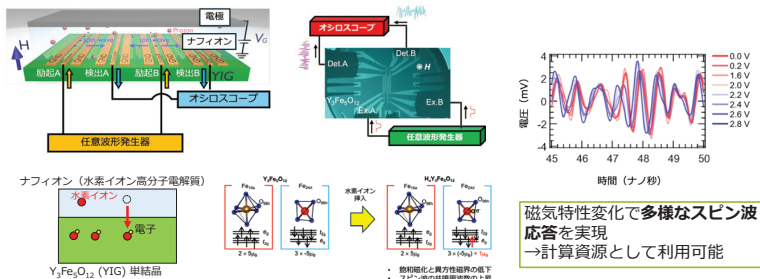
低品質なアンテナ(左)および高品質なアンテナ(右)で測定したスピン波の比較

エッチング等が困難なYIG表面に高品質な励起・検出アンテナを形成し、良好なスピン波測定が可能となった。

## イオン・スピン波干渉を融合した高性能物理リザーバーコンピューティング (NIMS・JFCC共同研究)

Ion-magnonic reservoir computing with enhanced high-dimensionality, achieved by proton induced Redox reaction

### 水素イオン挿入による磁気特性変化で高次元性を強化した高性能物理リザーバーデバイス



本研究で開発したAIデバイスの模式図と水素イオン挿入による磁気特性変化

#### Mackey-Glassカオス時系列予測

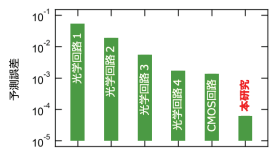
Mackey-Glass方程式

$$\frac{dx(t)}{dt} = -0.1x(t) + \frac{0.2x(t-17)}{1 + x^2(t-17) + 1}$$

--- 正解  
--- 予測

予測誤差:  $1.08 \times 10^{-4}$

予測時間 (ステップ)



- 物理リザーバーのなかで最も高い性能を実現
- 高精度なニューラルネットワークの性能に匹敵

W. Namiki et al., Advanced Science 12, 2411777 (2025).

### CONTACT

担当者名: 土屋 敬志 / Takashi Tsuchiya  
所属機関: 国立研究開発法人 物質・材料研究機構 / NIMS  
URL: <https://www.nims.go.jp/group/neuro/>

