

**九州工業大学、脳型計算を“結晶のまま”で実現
～切断・研磨のみの YMnO₃単結晶で高精度・省電力 AI 演算に成功～**

国立大学法人九州工業大学ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センターの堀部陽一教授（大学院工学研究院）、田中啓文教授（同センター長、大学院生命体工学研究科）、徐木貞助教（同センター）らの研究チームは、マルチフェロイック酸化物 YMnO₃単結晶を利用し、新しい物理リザーバー計算（PRC）デバイスを開発しました。

YMnO₃特有の強誘電ドメイン構造が自然にランダムネットワークを形成し、AI 演算を実現します。切断・研磨のみの単結晶試料を用い、極めて低消費電力（総消費電力約 1.77 μ W）で音声認識を実証するとともに、数字認識 75%、話者認識 98%という高精度を達成しました。さらに 150°Cでも特性が維持されることを確認し、高温環境での安定利用の可能性を示しました。

本研究成果は、次世代の超低消費電力 AI デバイス開発と実装に向けた重要な一歩となります。9 月 12 日（金）に独科学誌「Small」（ワイリー社）にオンライン版に掲載されました。

（URL：<http://doi.org/10.1002/sml.202506397>）

■研究の背景と意義

AI の高度化に伴い、省エネで効率の高い計算が求められています。その一つが、音声・動作・生体信号などのリアルタイムな処理を行う、「物理リザーバー計算（PRC）」で、様々な物理現象や物質の性質を利用して情報処理を行います。しかし従来の光や電気化学などによる PRC の多くは、安定性の問題や、半導体回路との統合が難しいという課題がありました。本研究では、強誘電性や反強磁性を併せ持つマルチフェロイック YMnO₃の単結晶に着目し、特別な加工を必要とせず高温でも安定に動作するという新しい PRC 材料の可能性を示しました。

■研究の特徴

YMnO₃単結晶では、三ツ葉状に広がる特殊な「ドメイン」構造が自然に形成されます。本研究では、このドメイン構造がランダムなネットワークを自発的に生み出し PRC に必要な非線形性やメモリ効果を発揮することを実証しました。切断・研磨のみで準備した単結晶を利用することで、極めて低消費電力（総消費電力約 1.77 μ W、ドメイン当たり約 0.02nW）での音声認識を実現し、話者認識では、98%の高精度を達成しました。さらに、PRC に必要な特性が 150°Cでも安定して維持されることを確認し、高温環境下での応用可能性を示しました。

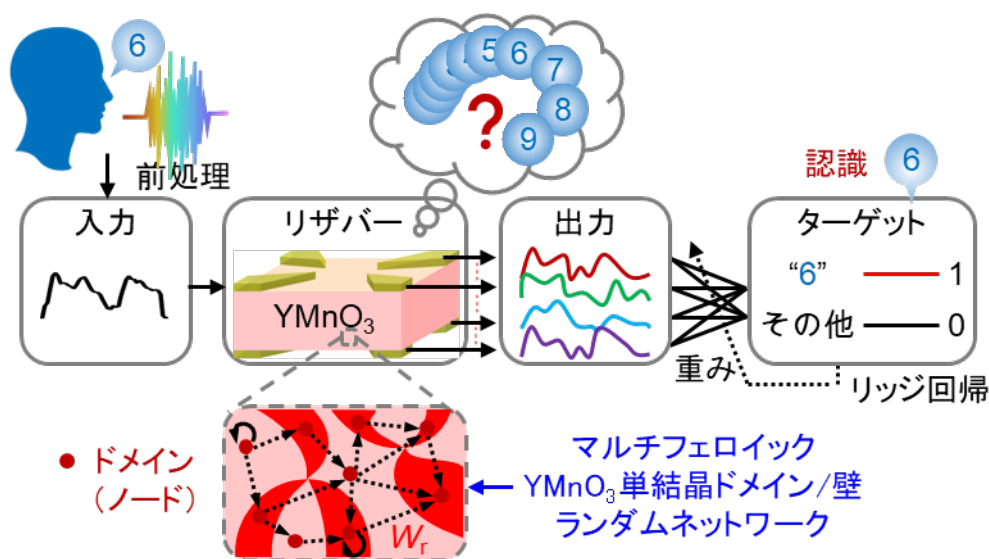
■研究の主なポイント

本研究の特徴は、以下の4点にまとめられます。

- ・有効性の実証： 切断・研磨のみの YMnO_3 単結晶において、波形生成・メモリ容量・NARMA2 予測などの一般的 AI ベンチマークを用いて PRC 性能を評価し、物理リザーバーとしての適合性を発見
- ・高い精度： 前処理簡素化でも数字認識 75%、話者認識 98%を達成
- ・卓越した省電力性： 総消費電力約 $1.77\mu\text{W}$ 、ドメイン当たり約 0.02nW と極めて省電力
- ・耐熱性と外部制御： 150°C でも特性が安定し、さらに外部電場によりドメイン構造を制御することで、PRC 性能を変化可能に

■今後の展望

YMnO_3 単結晶は化学的に安定で、実用的かつ耐久性に優れた PRC 材料として期待されます。大規模デバイス製造においても信頼性や均一性を維持しやすく、従来の半導体製造プロセスとの統合も期待できます。今後、ロボットや IoT 機器などへの実装が進めば、超低消費電力でプログラミング可能な AI デバイスの普及が加速されると予想されます。この成果は、エネルギー効率の高いスマート社会の実現に向けた一歩となりえます。



マルチフェロイック YMnO_3 単結晶を用いて音声認識を行う様子
物理リザーバー演算により 10 桁の数字の発音の認識に成功した例

※本研究は JST CREST、JST ACT-X、JST ALCA-Next、科学研究費補助金、JKA 補助事業助成金の支援を受け遂行されたものです。

■掲載論文

論文 タイトル	Intrinsic Disordered Network in Multiferroic YMnO ₃ Single Crystals for In-Materio Physical Reservoir Computing through Tuneable Domain-wall Structure
著 者	Muzhen Xu, Kyoka Furuta, Ahmet Karacali, Yuki Umezaki, Alif Syafiq Kamarol Zaman, Yuki Usami, Hirofumi Tanaka, and Yoichi Horibe
掲載雑誌	Small (ドイツ科学雑誌、ワイリー社) 2025 年巻, e06397 (2025).
DOI 番号	10.1002/sml.202506397

【報道に関するお問い合わせ】

国立大学法人九州工業大学
管理本部総務課広報係
E-mail: pr-kouhou@jimu.kyutech.ac.jp
TEL: 093-884-3007

【研究に関するお問合せ】

国立大学法人九州工業大学大学院工学研究院
教授 堀部 陽一
E-mail: horibe@post.matsc.kyutech.ac.jp
TEL: 050-1739-6134
Homepage:
<http://w3.matsc.kyutech.ac.jp/transition/index.html>

国立大学法人九州工業大学大学院生命体工学研究科
教授 田中 啓文
E-mail: tanaka@brain.kyutech.ac.jp
TEL: 050-1738-0167
Homepage:
<https://www.brain.kyutech.ac.jp/~tanaka/index.html>

<不在の場合>

国立大学法人九州工業大学ニューロモルフィック AI ハードウェア研究センター
助教 徐 木貞
TEL: 050-1739-6183

国立大学法人九州工業大学大学院生命体工学研究科
助教 宇佐美 雄生
TEL: 050-1738-0168