	研究代表者	東北大学・電気通信研究所・教授 深見 俊輔 (ふかみ しゅんすけ)	研究者番号：60704492
	研究課題情報	課題番号：24H00039 キーワード：スピントロニクス、自励発振、強磁性共鳴、ノンコリア反強磁性	研究期間：2024年度～2028年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか (研究の背景・目的)

● 研究の全体像

集団的なスピン秩序 (強磁性体の磁化など) のダイナミクスと電気信号の相互変換は学術・科学技術の両面で重要な研究課題である。図1に代表的なスピン秩序が示すダイナミクスと電気信号の相互変換、及びその工学利用の状況を示した。スピン偏極電流が誘起する磁化反転 [左端] は不揮発性メモリとして産業利用されている。また磁化の熱ゆらぎ [左から2番目] が生成するランダムテレグラフィノイズを利用した確率論的コンピュータは、古典コンピュータが苦手とするいくつかの問題を効率的に扱う手法として実用化への道を着々と歩んでいる。一方、磁化反転や熱ゆらぎに加え、DC入力に対してRF信号を出力する発振 [真ん中] や、その逆効果であるRF入力に対してDCを出力する共鳴 [右から2番目] などのコヒーレントなダイナミクスについてもこの20年で多くの研究が行われている。加えて我々はごく最近、ノンコリア反強磁性ヘテロ構造におけるカイラルスピン秩序の平面内でのコヒーレント回転 [右端] なる新現象を発見した。

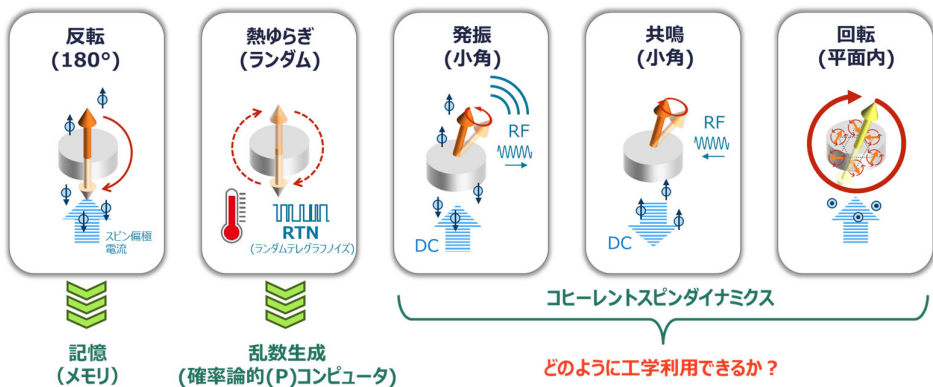


図1 集団的なスピン秩序が示すダイナミクスと電気信号の相互変換、及びその工学利用

本研究の目的は、スピントロニクスと総称される電子工学と磁気工学の融合領域に新たな可能性を提供すべく、これらのコヒーレントなスピン秩序のダイナミクスの工学利用方法を明らかにし、省エネ・創エネデバイスとして原理実証を行うことである。本研究を遂行する上での基礎となる、これまでに本研究の代表者、分担者が行ってきた研究成果を以下に示す。

● 磁気トンネル接合の共鳴を用いた環境発電

電池無しで駆動するワイヤレスのセンサーやプロセッサなどのエッジ情報端末の必要性が高まっており、身の回りにありふれている通信用電波の電力源としての利用が期待されている。我々はWi-Fiの2.4 GHzの周波数帯の電磁波で強磁性共鳴を起こしてDC電圧が出力される磁気トンネル接合素子を開発し、これを環境発電技術へと発展させ、直列接続した8個の磁気トンネル接合素子を用いて、2.4 GHzの電磁波を直流電圧信号に変換してコンデンサーを5秒間充電し、発光ダイオード (LED) を1分間光らせ続けることに成功した (図2)。[Nat. Commun., 12, 2924 (2021)]

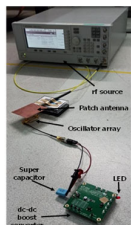


図2 環境発電の原理実証システム

● 強磁性ヘテロ構造からなるスピンホール振動子の同期発振とそれをを用いたリザバーコンピューティング

音声などの時系列情報を効率的に処理するために、物理系の非線形なダイナミクスを利用することが有望視される。我々は強磁性ヘテロ構造で形成したスピンホール振動子の2次元アレイ構造において、最大64の振動子の発振の同期を実現し、またアレイ構造をリザバーとして用いた音声認識の原理実証に成功した (図3)。[Nat. Mater. 15, 47 (2020)]

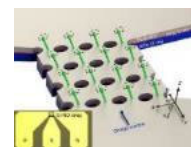


図3 スピンホール振動子の同期発振

● 超常磁性磁気トンネル接合を用いた確率論的コンピューティング

組合せ最適化、機械学習、多体量子計算などの計算論的複雑性の高い問題を効率的に扱う手法として、コンピュータの構成要素自体が確率的に振る舞う確率論的コンピューティングが期待されている。我々は熱で確率的に磁化方向が揺らぐ超常磁性磁気トンネル接合を用い、組合せ最適化問題のアルゴリズムを用いて因数分解の原理実証を行った (図4)。[Nature 573, 390 (2019)]

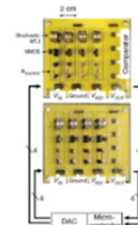


図4 組合せ最適化を行った確率論的コンピュータの原理実証システム

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

本研究では代表者・分担者が得意とする微細磁気トンネル接合 (MTJ)、強磁性ヘテロ構造、ノンコリア反強磁性ヘテロ構造を用い、これらで誘起されるコヒーレントスピンドYNAMICSを体系的に調べ、その工学利用に向けた道筋を明らかにする。通信用電波から環境発電する創エネデバイス、発振素子の入力信号に対する非線形応答と連結構造での「同期」(複数素子が位相を揃えて運動する現象) を用いてリザバー/ijing計算を行う省エネデバイスなどの材料・デバイス基盤を構築する。加えてコヒーレントダイナミクスの物理を極めることで「インコヒーレンス」の積極デザインが可能となる。この知見を適用してこれまで達成できている時定数を大きく更新する速度でランダムテレグラフィノイズを生成する省エネデバイスを実現し、確率論的コンピュータの新たな材料基盤を構築する [図5]。

またこれらに加えてコヒーレントスピンドYNAMICSのデバイス利用に適した革新的薄膜材料開発に取り組むと同時に、得られた知見をマグノ情報伝送、量子インターフェース、パワーデバイス、人工神経回路網などに波及させ、新たな学術・工学展開を開拓する。

多様な構造、多様な機能を「コヒーレントスピンドYNAMICS」という共通項で括って知見を共有しながら研究を推進することで、スピントロニクスの新たな指導原理が体系的に構築され、また持続可能かつ利便性の高い社会の実現に向け重要性の高い数々の技術が創出される。

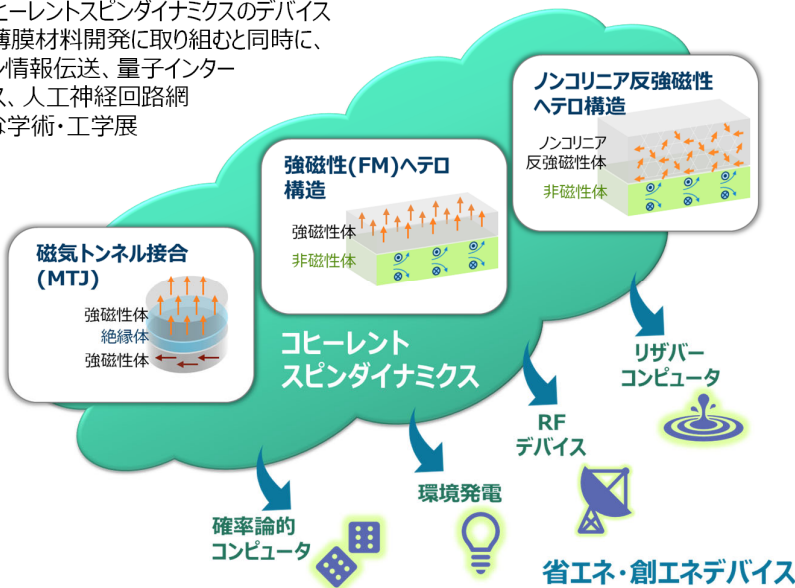


図5 本研究で扱う構造とそれらにおいて誘起されるコヒーレントスピンドYNAMICSを用いて実証するデバイス機能