

## らせん磁気構造中にソリトンを形成するパターンを 無限個用意することに成功

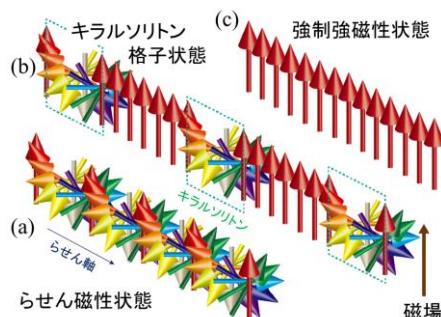
-無限容量磁気メモリの作製原理を発見-

九州工業大学、広島大学、大阪府立大学、福岡大学、岡山大学、放送大学の研究グループ（研究代表者：九州工業大学大学院工学研究院 教授 美藤正樹）は、電子の自転（スピン）が、らせん軌道を描く磁気構造の中に、ソリトン<sup>\*1</sup>を生成するパターンを無限個用意することに成功しました。これにより、PC や USB メモリ等に多く用いられる磁気メモリの飛躍的発展が期待されます。

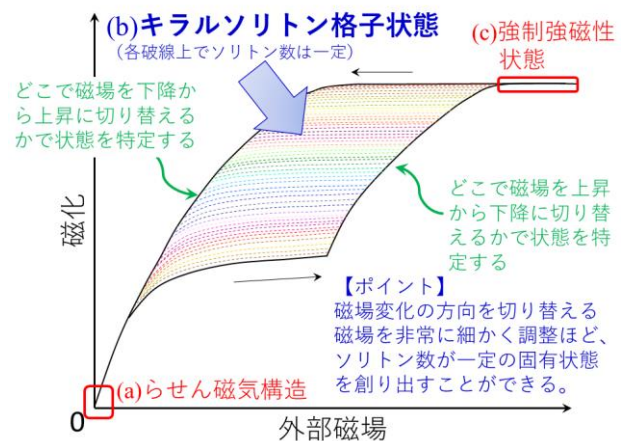
### ポイント

- ・らせん磁性体を用いて有限磁場中に無限個の磁気状態をつくり込む原理を発見
- ・磁場変化の方向を切り替える磁場値の決め方によって磁氣的固有状態を無限個用意できる
- ・この現象は無限容量磁気メモリの作製に利用可能で、高性能小型メモリへの応用が期待される

このたび、 $\text{CrNb}_3\text{S}_6$ の単結晶試料を薄くし、厚みの相対的な分布を従来の試料より大きくすることで、スピンの360°回転する構造（キラルスリトン<sup>\*2</sup>と呼ぶ）の数がある磁場域で一定化させるだけでなく、ソリトン構造を生成するパターン数を無限個用意することに成功しました。この成果は、らせん磁気構造<sup>\*3</sup>の中に、無限個の磁気定常状態をつくり出すことができることを示すものであり、無限容量磁気メモリの作製原理を明らかにしました。このように、本来、生成・消滅が離散的になる特徴を有する「キラルスリトン」の個数を無限パターン用意することができることを実験的に明らかにしたことにより、無限容量の磁気メモリの応用研究への道筋がつかまりました。



**らせん磁気構造中に生成されるキラルスリトン**  
ゼロ磁場のらせん磁性状態と強磁場の強制強磁性状態に出現する状態で、キラルスリトン数によってキラルスリトン格子の状態変化を記述できる。



本研究は、最新の高度集積技術を用いてメモリのビット数を増やす方法とは異なり、結晶のキラリティ<sup>4</sup>を利用したアプローチであり、磁場方向を切り替える磁場を微調整させビット数を増やすものです。今後は、極薄試料の作製に加え、意図的に厚みにランダムネスを導入する工程を確立できれば、高度情報社会を支える次世代磁気メモリの容量を無限にすることも可能になります。

本研究成果は12月8日 AM1:00 (米国東部標準時 12月7日 AM11:00)、米国応用物理学会の学術誌「**Applied Physics Letters**」に **Editor's Pick** として掲載されました。

**【お問い合わせ】**

■九州工業大学 総務課広報企画係 (用正)

電話：093-884-3007 Mail：sou-kouhou@jimu.kyutech.ac.jp

■広島大学 財務・総務室 広報部 広報グループ

電話：082-424-3749 Mail：koho@office.hiroshima-u.ac.jp

**【研究内容に関するお問い合わせ】**

■九州工業大学 大学院工学研究院 基礎科学研究系教授 美藤 正樹

電話：093-884-3286 Mail：mitoh@mns.kyutech.ac.jp

■広島大学 キラル国際研究拠点・大学院先進理工系科学研究科教授 井上克也

電話：082-424-7416 Mail：kxi@hiroshima-u.ac.jp

キラル国際研究拠点(CResCent) <https://kotai.hiroshima-u.ac.jp/chiral/>

**【研究概要】**

高度情報社会を迎える中で磁気メモリを小型化し、それと並行してその容量を増やしていくことは非常に重要な課題です。近年、磁性体中に、独自の幾何学的対称性を有する構造（トポロジカルオブジェクト<sup>5)</sup>）をつくり込んで磁気デバイスに発展させようという研究が盛んに行われています。台風のような渦構造が格子を組んだものはスキルミオン格子と呼ばれ、非常に活発な研究分野となっています。本研究で対象とするトポロジカルオブジェクトは、らせん磁性体の中でも巻き方が右か左のどちらか一方であるキラル磁性体<sup>6)</sup>中に生成される 360° 回転のねじれであり、ソリトン方程式を満足することから「キラルソリトン」と呼ばれています。スキルミオンも、このキラルソリトンも、ゼロ磁場でらせん磁性状態を有するキラル磁性体中で出現するという共通点があります。今や、次世代磁気デバイスの基礎研究において、らせん磁性体は非常にホットな研究分野です。

キラルソリトンについては、等間隔に並んだ格子状態（キラルソリトン格子）がエネルギー的に安定です。また、ゼロ磁場のらせん磁性状態と強磁場の強制強磁性状態の間に出現するキラルソリトン格子はキラルソリトン数で特徴づけられます。例えば、強制強磁性状態ではソリトン数はゼロで、らせん磁性状態のソリトン数は許容値の最大を取ります。現実物質では、ソリトンの最大個数は、らせん軸方向の試料サイズを1つのソリトンの長さで割ったものになります。らせん軸方向の試料サイズが大きいと、ソリトンの出入りは強制強磁性状態付近の狭い磁場域で起こり、磁場の上げ下げによる磁化の違いはわずかです。また、ソリトンを導入する過程である減磁過程では、表面バリア<sup>7)</sup>の影響で、各らせん軸に対して複数個のソリトンが雪崩式に流れ込む現象が起こり、磁化過程に離散的变化を生じます。これは、キラルソリトンを形成するパターン数の数が少なくなることを意味し、大容量メモリには使えません。今、このキラルソリトン格子を磁気メモリに利用しようとすると、幅広い磁場領域でできるだけ多くの固有状態を用意しなければなりません。ソリトン数を多くするにはらせん軸長を長くしなければならず、また、ソリトン数がロックされる状態を広い磁場域で安定化するには、逆にらせん軸長を短くしなければなりませんでした。

本研究グループは、これまで、典型的ならせん磁性体の1つである  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$  において、単結晶試料のらせん軸長が数  $10\mu\text{m}$  の結晶から出発し、らせん軸長を小さくする試料加工を施しては精密な磁気測定を行いながら、キラルソリトン格子の物性のサイズ効果を詳しく研究してきました。今回、本研究グループは、らせん軸長をもともと数  $10\mu\text{m}$  であったものを  $3\mu\text{m}$  サイズにまで小さくし、昇磁過程と減磁過程の磁化過程の違いを劇的に拡大させました。また、加工時に自然に発生する厚み分布を利用することで、雪崩式ソリトン導入が起こらないようにし、キラルソリトン格子のパターン数を無限個つくり出し、しかもそれをある磁場領域で安定化させることに成功しました。これは、理論から予測された現象というより、実験の中で発見した現象です。

今回、最終的に用意した試料はらせん軸長の平均が  $3\mu\text{m}$  であり、らせん軸長に垂直な平面のサイズが  $500\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$  です。その結晶には  $10^{12}$  本のらせん鎖が存在する計算になります。また、 $3\mu\text{m}$  のらせん軸には最大 63 個のソリトンが許容されます。また、昇磁過程のソリトンを抜き出す過程と、減磁過程のソリトンを注入する過程で、同じソリトン数であってもそれらを実現する磁場に大きな隔たりをつくり出しました。実際にはらせん軸に垂直にわずかに磁場を印加することで、らせん軸の両端のスピンは磁場方向にそろってしまい、磁気メモリに使用できるソリトン数は約 30 個余りです。しかし、 $\pm 0.3\mu\text{m}$  程度の分布によって表面バリアの効果が軽減され雪崩式のソリトン注入が起こらなくなり、各らせん鎖ごとに独立にソリトン注入が起こることになりました。 $10^{12}$  本のらせん鎖が独立に、30 個パターンのキラルソリトン格子を実現する訳で、パターン数として  $30 \times 10^{12}$  を計算すると無限大になります。本実験では、このシナリオを支持する実験結果が得られており、トポロジカルオブジェクトを用いた無限容量メモリの作製原理の発見として大いに注目されます。

雑誌名: Applied Physics Letters

論文タイトル: Soliton locking phenomenon over finite magnetic field region in the monoaxial chiral magnet  $\text{CrNb}_3\text{S}_6$

著者: M. Ohkuma<sup>1</sup>, M. Mito<sup>1,2</sup>, Y. Kousaka<sup>2,3</sup>, T. Tajiri<sup>4</sup>, J. Akimitsu<sup>5</sup>, J. Kishine<sup>2,6,7</sup>, and K. Inoue<sup>2,8,9</sup>  
所属:

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology, Kitakyushu 804-8550, Japan

<sup>2</sup>Chirality Research Center, Hiroshima University, Higashihiroshima 739-8526, Japan

<sup>3</sup>Department of Physics and Electronics, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuencho, Sakai, Osaka 599-8531, Japan

<sup>4</sup>Faculty of Science, Fukuoka University, Fukuoka 814-0180, Japan

<sup>5</sup>Research Institute for Interdisciplinary Science, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

<sup>6</sup>Division of Natural and Environmental Sciences, The Open University of Japan, Chiba 261-8586, Japan

<sup>7</sup>Institute for Molecular Science, 38 Nishigo-Naka, Myodaiji, Okazaki, 444-8585, Japan

<sup>8</sup>Graduate School of Science, Hiroshima University, Higashihiroshima 739-8526, Japan and

<sup>9</sup>Institute for Advanced Materials Research, Hiroshima University, Higashihiroshima 739-8526, Japan

本研究は、日本学術振興会 科学研究費補助金 基盤研究 (S)、広島大学自立型研究拠点 広島大学「キラル国際研究拠点」、日本学術振興会 研究拠点形成事業 (A. 先端拠点形成型) の支援を受けて行われました。

## 用語解説

---

\*1 ソリトン: 空間的に局在する孤立した波のことで、通常の波とは異なり形を変えずに伝播し、安定で変形しない。神経系や磁性体など、自然界のいろいろなところで見ついている。

\*2 キラルソリトン: ある軸上に配置されたスピンのらせん軸上をらせん軸に垂直に回転したとき、 $0^\circ$  から出発して  $360^\circ$  回転して元に戻った状態までが1つのキラルソリトンである。ソリトンの一種。

\*3 らせん磁気構造: 反転対称性や鏡面对称性のない結晶構造を有するキラル結晶で安定化される磁気構造であり、あるらせん軸に垂直に向いたスピンのらせん軸上を回転する磁気構造を指す。

\*4 キラリティ: 右巻きと左巻きのように鏡を利用しないとお互いを生成できない対称性のこと。

\*5 トポロジカルオブジェクト: 磁性体中で考えたとき、渦やねじれといった構造を有する要素を指す。

\*6 キラル磁性体: スピンの巻き方が右か左のどちらか一方のみが実現されるらせん磁性体。

\*7 表面バリア: キラルソリトンが試料表面から侵入する際に、超えなければならないエネルギー。