

先端技術キーワード解説

知っておきたい最新の動き

[トポロジカル電子物質]

応用物理学会発行の機関誌『応用物理』、第86巻、第5号（2017年5月）に、興味深い投稿が掲載されました。「トポロジカル電子物質の開拓」というタイトルの研究紹介です。

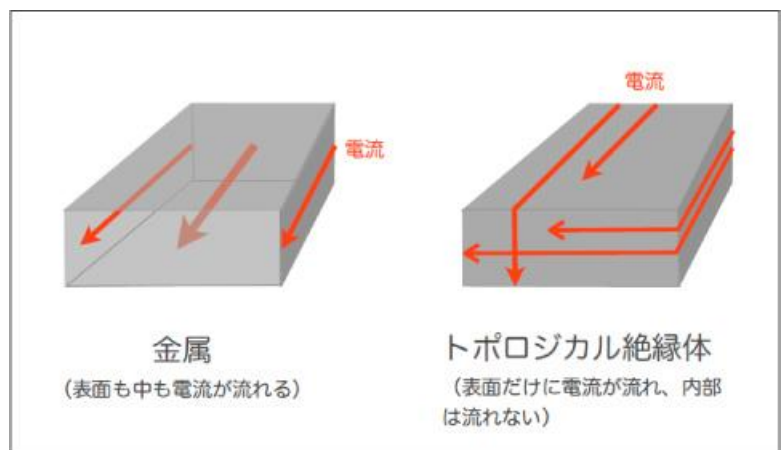
2016年のノーベル物理学賞は「トポロジカル相転移および物質のトポロジカル相の理論的発見」の功績に対してでしたが、その後の活発なトポロジカル電子物質関係の研究状況について紹介したものです。

トポロジカル電子物質とは何でしょうか。最も基本的な「トポロジカル絶縁体 (Topological insulator)」について説明をしましょう。

トポロジカル絶縁体とは、簡単な言い方をすると、物質の内部は絶縁体でありながら、表面は電気を通すという物質です。つまり、金属でも絶縁体でもない「新しい種類の固体物質」とも言えます。

トポロジカルという名前がついているのは、電子の様子を現す数式の解析にトポロジー（位相幾何学）が使われているからです。

少し、難しくなりますが、バルク（塊部分）は、エネルギーギャップを持つ絶縁体、その“エッジ”（2次元系なら端、3次元系なら表面）にギャップレスの金属状態が生じている物質のことです。



(注)

* 1. **トポロジー（位相幾何学）**：数学の一分野であり、何らかの形を連続変形（伸ばしたり曲げたりすることはするが切ったり貼ったりはしないこと）しても保たれる性質に焦点を当てたものです。よく知られている例は、ドーナツとコーヒーカップの連続変形です。位相幾何学は大規模 LSI の配線形成などにも応用されています。

* 2. **エネルギーギャップ**：結晶中の電子がとりうるエネルギーは、量子論などから限定されています。半導体や絶縁体の場合、伝導帯の最低エネルギー位置と充満帯（価電子帯）の間には、エネルギーギャップ（禁制帯）が存在し、電気伝導などの特性に影響を与えます。

トポロジカル絶縁体の特徴の一つに、ほとんど、エネルギー損失がなく電気を通すことがあります。（詳細は省きますが、）これは、整数量子ホール効果と呼ばれるものです。

(注)

* 1. **整数量子ホール効果**：磁場中を運動する電子にはローレンツ力が働き、電子の運動軌道が曲げられます。（ホール効果）それによって生じる抵抗はホール抵抗、ホール抵抗が量子化する現象を量子ホール効果と呼びます。

極低温、強磁場で起きる整数量子ホール状態では、ホール抵抗が量子化抵抗(約 $25.8k\Omega = h/e^2$: h はプランク定数、 e は電気素量)の $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ …と厳密に整数分の 1 になることが知られています。この時、試料の端にエネルギー損失のない「エッジ電流」が流れています。

なお、超伝導体への取組みも行われています。トポロジカル絶縁体に Pb や Nb などの超伝導体を接合させると、近接効果によって両者の界面に超伝導状態が現れると理論予測されています。さらには、超伝導を示す半金属の中から、トポロジカルな性質を持つ物質を探索しようという研究も活発化しています。

量子性をもつトポロジカル電子物質は、従来の金属や半導体中の電子とは異なった特性を持ちます。スピントロニクスや量子コンピュータへの利用も期待される新しい電子デバイス素材として、大きな期待が持たれています。

[参考文献]

- 1) 笹川崇男：研究紹介 トポロジカル電子物質の開拓、応用物理 第 86 卷 第 5 号、2017
- 2) 理化学研究所プレスリリース：トポロジカル絶縁体の表面ディラック状態の量子化を実証
ー トポロジカル絶縁体を用いた低消費電力素子への応用に期待ー

http://www.riken.jp/pr/press/2015/20150414_2/

(注)

本解説は、執筆当時の状況に基づいて解説をしております。ご覧になる時には、状況が変わっている可能性がありますので、ご注意をお願いします。

Copyright (C) Satoru Haga 2017, All right reserved.

<p>技術・経営の戦略研究・トータルサポーター</p> <p>ティー・エム研究所</p>	<p>工学博士 中小企業診断士 社会保険労務士(登録予定) 代表 芳賀 知</p>
<p>E-Mail: info_tm-lab@mbn.nifty.com URL: http://tm-lab@a.la9.jp/</p>	