

ジャイロイド金属有機構造体における圧電転移を発見 —仲間外れの点群から新たな機能を創出—

東京大学大学院新領域創成科学研究科 助教 鬼頭 俊介

東京大学物性研究所 助教 石川 孟（現：東京理科大学理学部第一部応用化学科 講師）

私たちの日常生活はさまざまな機能性材料によって支えられています。これらの材料の特性を理解する上で、結晶構造は非常に重要な情報です。材料の性質は結晶の対称性に依存しており、結晶は 32 種類の点群に分類されます。身近な例として、2010 年と 2014 年の FIFA ワールドカップにおいて使用された公式サッカーボールは、それぞれ点群 23 と点群 432 の対称性を持っています(図 1b、1c)。

点群には、対称心を持つ 11 種類と持たない 21 種類があり、後者は圧電群や焦電群に分かれます(図 1a)。焦電群に属する結晶は、物質内部で電荷の分布が不均一になることで自発的に電気分極を生じ(図 1d)、その中でも、外部電場により電気分極の向きを制御できる物質は強誘電体と呼ばれます。一方、圧電群に属さない物質は電気分極を示しません(図 1e)。図 1a を見ると、焦電群に含まれない圧電群が 10 種類存在することが分かります。これらの物質は、応力を加えることで初めて物質内部に電気分極が発生します(図 1f)。このような圧電性を持つ物質は圧電体と呼ばれ、センサーやモーターなどさまざまな電子機器に応

用されています。しかし、従来の圧電材料のほとんどは、圧電性と同時に焦電性も示すため、強い電場の下では、応力がなくても電気分極に影響が及んでしまいます。図 1a に改めて注目すると、対称心を持たない点群の中で唯一、圧電群に属さない仲間はずれの点群 432 が存在することが確認できます。432 に属する物質は、温度低下に伴い対称性が変化して圧電性を示す可能性があります。これまでその圧電特性を調べた研究はほとんどありませんでした。

本研究では、立方晶点群 432 に属するジャイロイド構造を持つ金属有機構造体(MOF)に着目しました [1]。ジャイロイドは三次元空間において三方向に周期的なネットワーク構造を持ち(図 1g)、MOF、ポリマー、昆虫のナノ構造などの多様な化学・生物系に現れます。本研究チームが調べたジャイロイド MOF の構造では、コバルト(Co)と硫黄(S)が互いに逆向きにジャイロイドネットワークを形成しています(図 2a)。Co に着目すると、「キタエフ量子スピン液体」と呼ばれる磁性体の研究にも適していますが [2]、本研究では S が形成するひずんだ四面体型の硫酸イオンに

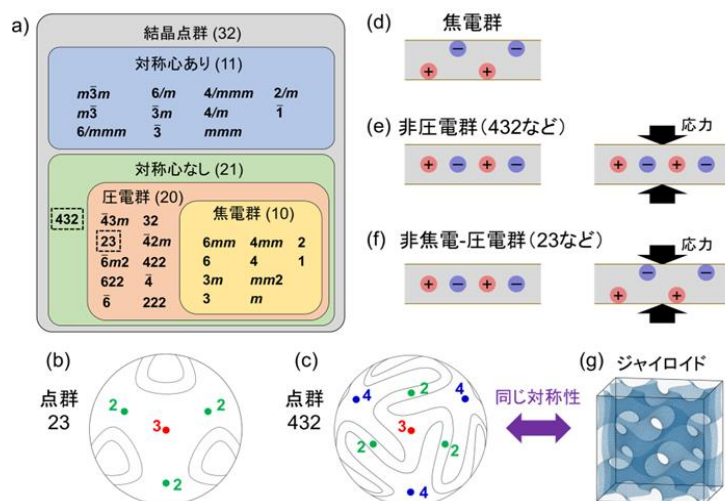
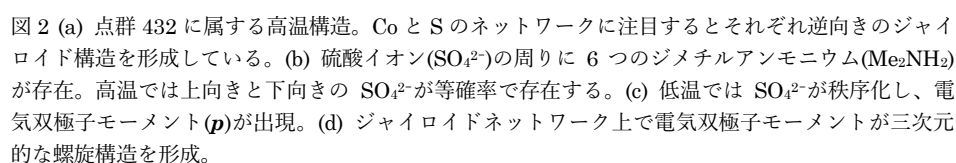


図 1 (a) 回転操作(数字)や鏡映操作(m)によって分類される 32 種類の結晶点群。(b)(c) 2010 年と 2014 年の FIFA ワールドカップの公式サッカーボールの模様。ボール上の各点に付された数字($n = 2, 3, 4$)は、その点の周りに $(360^\circ)/(n^\circ)$ 回転させると元の模様と重なる回転対称操作を意味する。(d) 焦電群は自発的に電気分極を出現する。(e) 圧電群に属さない点群は電気分極を生じない。(f) 焦電群に属さない圧電群は、応力を加えている間だけ電気分極を生じる。(g) ジャイロイドと呼ばれる三次元周期極小曲面。点群 432 と同じ対称性を有する。



本研究は、東京大学大学院新領域創成科学研究科 上野正人大学院生、徳永祐介准教授、有馬孝尚教授、岡本博教授、東京大学物性研究所 木下雄斗特任助教、金道浩一教授、

- [1] S. Kitou et al. "Piezoelectric Transition in a Nonpyroelectric Gyroidal Metal–Organic Framework." *Journal of the American Chemical Society* 147, 13642 (2025).
- [2] H. Ishikawa et al. " $J_{\text{eff}} = 1/2$ Hyperoctagon Lattice in Cobalt Oxalate Metal-Organic Framework" *Physical Review Letters* 132, 156702 (2024).