

鏡像異性体(キラル)を 作り分ける方法

明治大学 理工学部 物理学科
専任教授 楠瀬 博明

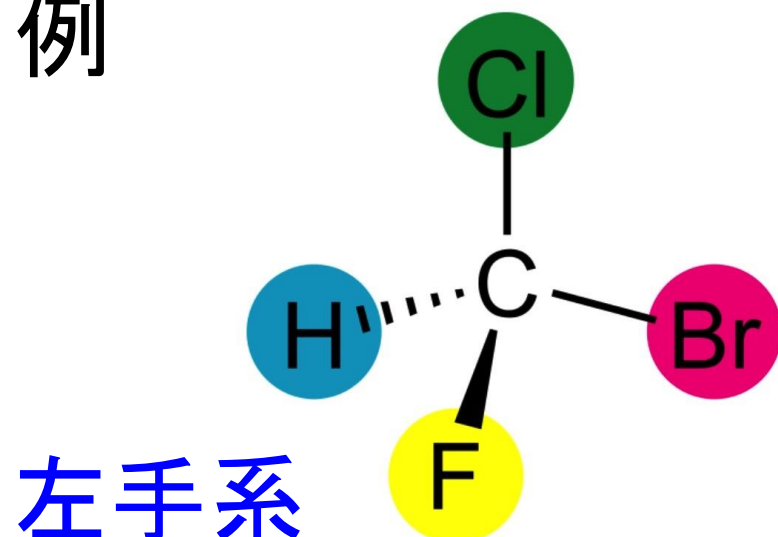
2022年10月18日

研究の背景

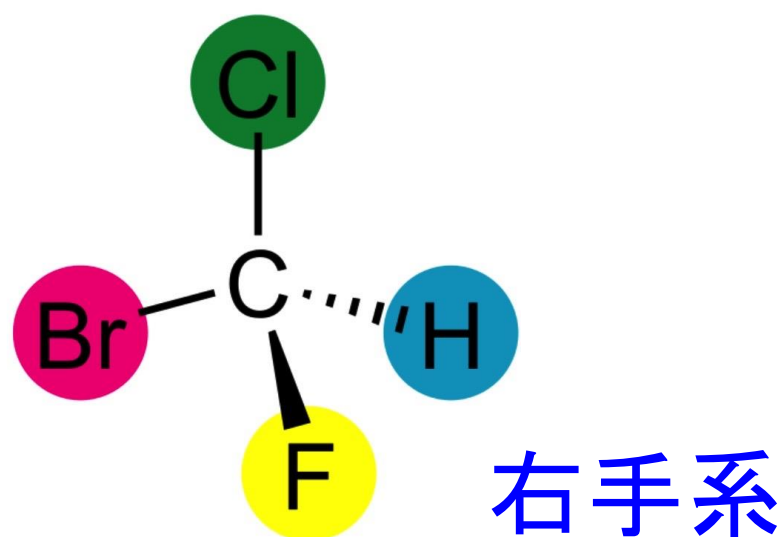
- ・鏡像異性体は互いに鏡写しの関係にあり、
生化学的・物理的性質に大きな違いがある
- ・アミノ酸や糖の鏡像異性体の存在比は一方に
大きく偏っているが、その起源は不明
- ・鏡像異性体を作り分けることは産業利用に
において重要

鏡像異性体

例



甘い、良薬
自然界に多く存在



苦い、劇薬
ほぼ存在していない
といった大きな違い

ホモキラリティの起源は自然科学の大きな謎

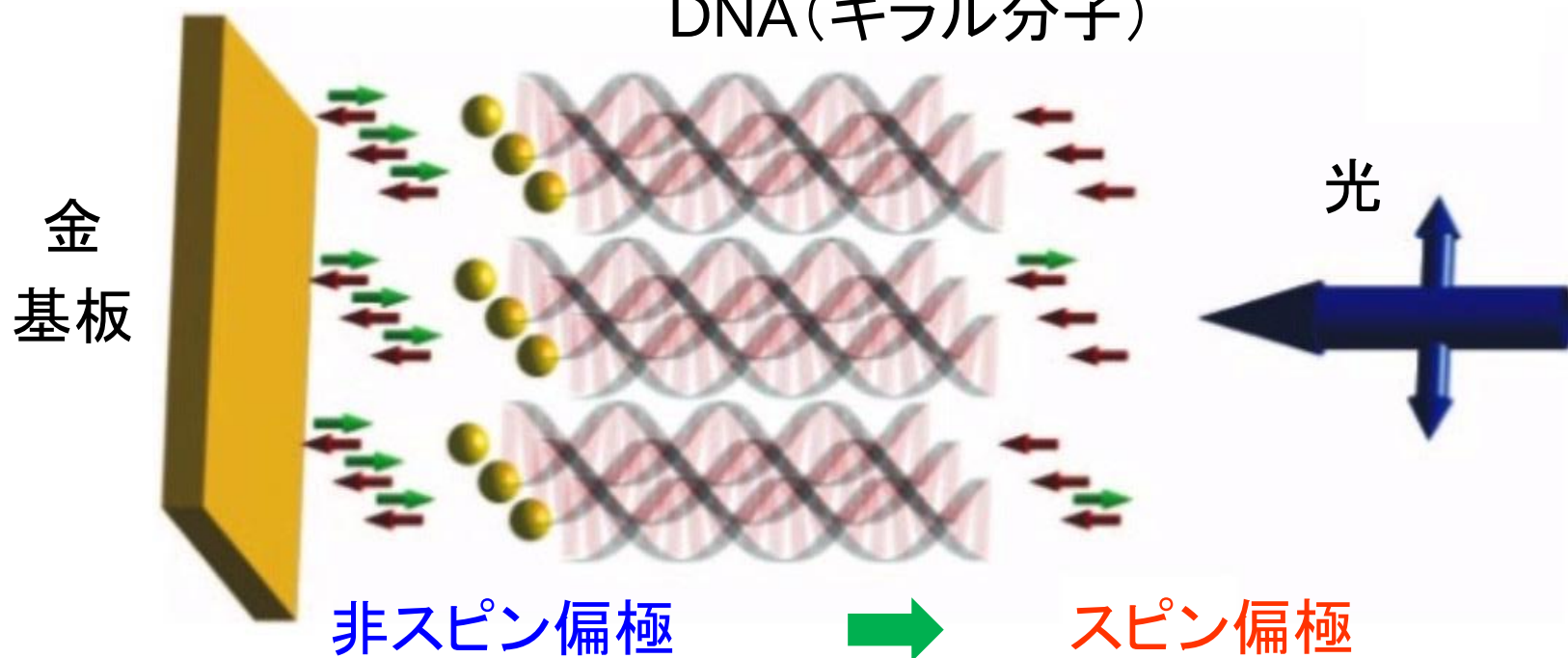
研究の背景

- ・鏡像異性体の無機結晶（キラル結晶）でも異性体に応じた磁氣的性質の違いが現れる
- ・キラル結晶の磁氣的性質の違いを利用した電子デバイスの可能性
- ・鏡像異性体を作り分ける原理に基づいた方法は知られていない

有機キラル分子の磁氣的性質

B. Gohler et al., Science **331**, 894 (2011).

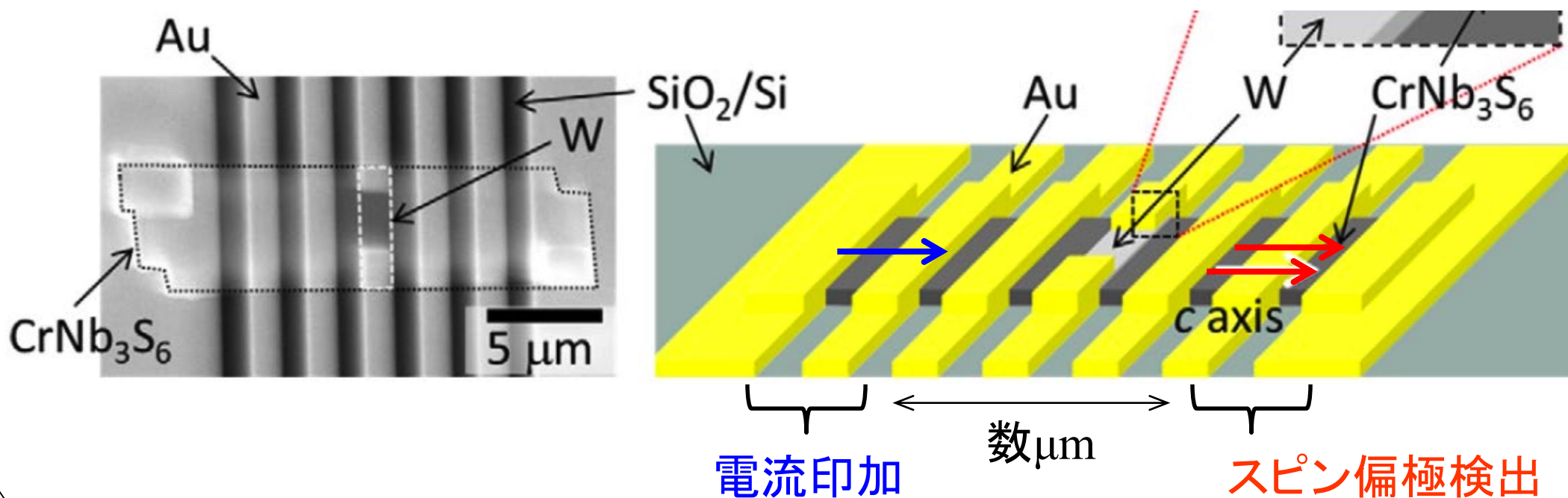
DNA(キラル分子)



- ・光電効果で放出される電子のスピンの偏極
- ・キラリティによりスピン偏極の向きが反転

無機キララル結晶の磁氣的性質

A. Inui et al., Phys. Rev. Lett. **124**, 166602 (2020).



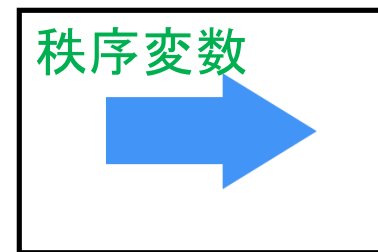
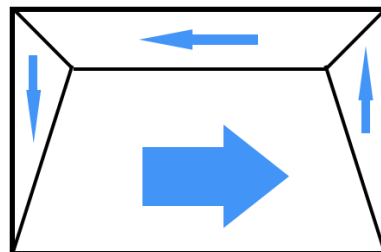
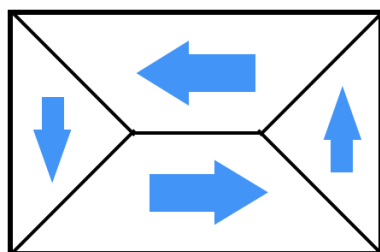
- ・電流印加箇所から数μm先までスピン偏極を伝達(スピン良導体)
- ・キラリティによりスピン偏極の向きが反転

従来技術とその問題点

- ・キラリティの分離(制御)は、キラル物質の特性を均一化する上で重要な課題
- ・有機分子では、不斉触媒やキラルカラムクロマトグラフィー等により分離可能
- ・無機結晶の不斉合成法は知られていない
- ・キラリティの原理に基づく制御法は未知

強磁性体との比較

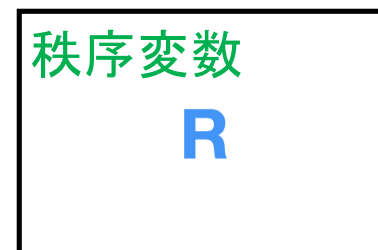
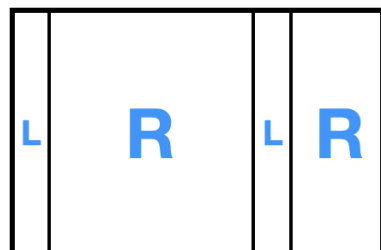
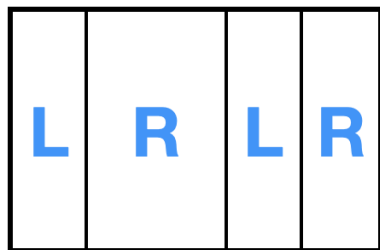
強磁性体(磁化:電子スピン)



磁場

制御外場

キラル物質(キラリティ:?)



?

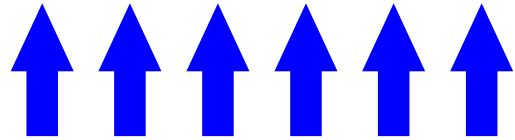
・キラリティの原理に基づく制御法(制御外場)は未知

新技術の特徴・従来技術との比較

- ・キラル物質を特徴づける秩序変数(強磁性体における磁化に相当)を発見
- ・秩序変数(キラリティ)を制御する外場
(強磁性体における磁場に相当)の条件を同定
- ・条件を満たす外場を利用して、キラリティを制御、鏡像異性体を原理に基づき作り分けることができる

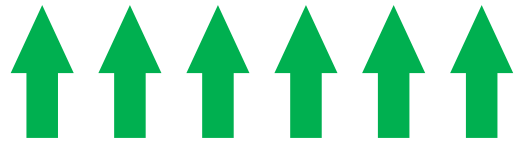
キラル物質の秩序変数

強磁性体(磁化)



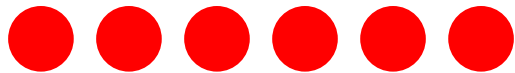
電子スピン(磁気双極子 M)の整列

強誘電体(電気分極)



電気双極子 Q の整列

キラル物質(キラリティ)



電子トロイダル単極子 G_0 の整列

キラル物質の秩序変数

S. Hayami et al., Phys. Rev. B **98**, 165110 (2018).

結晶系	点群	極性	キラル	SG	WG	秩序変数		
						単極子	双極子	四極子
立方晶	O		✓	✓		G_0		
	T _d							
	T		✓	✓		G_0		
正方晶	D ₄		✓	✓		G_0		G_u
	D _{2d}			✓				G_v
	C _{4v}	✓			✓		Q_z	
	C ₄	✓	✓	✓		G_0	Q_z	G_u
	S ₄			✓				G_v, G_{xy}
直方晶	D ₂		✓	✓		G_0		G_u, G_v
	C _{2v}	✓		✓			Q_z	G_{xy}
単方晶	C ₂	✓	✓	✓		G_0	Q_z	G_u, G_v, G_{xy}
	C _s	✓		✓			Q_x, Q_y	G_{yz}, G_{zx}
六方晶	D ₆		✓	✓		G_0		G_u
	D _{3h}							
	C _{6v}	✓			✓		Q_z	
	C ₆	✓	✓	✓		G_0	Q_z	G_u
	C _{3h}							
三方晶	D ₃		✓	✓		G_0		G_u
	C _{3v}	✓			✓		Q_z	
	C ₃	✓	✓	✓		G_0	Q_z	G_u

電気トロイダル単極子の構成

R. Oiwa and HK, Phys. Rev. Lett. **129**, 116401 (2022).

電気単極子 Q_0

電子



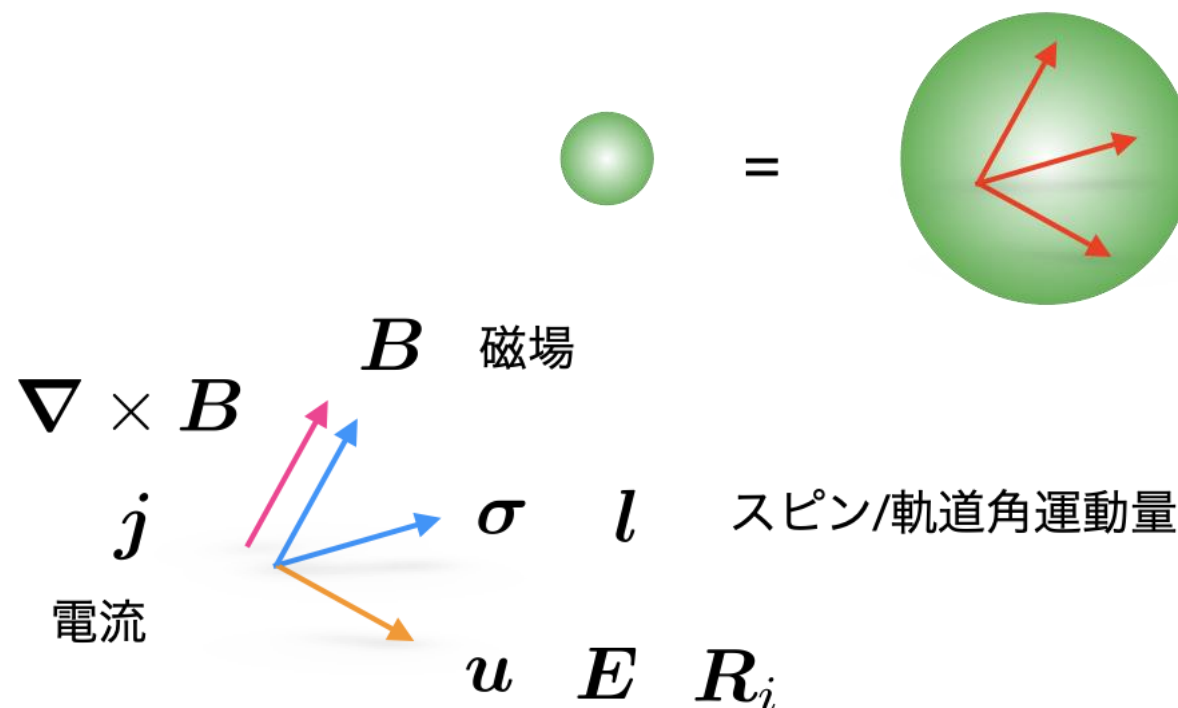
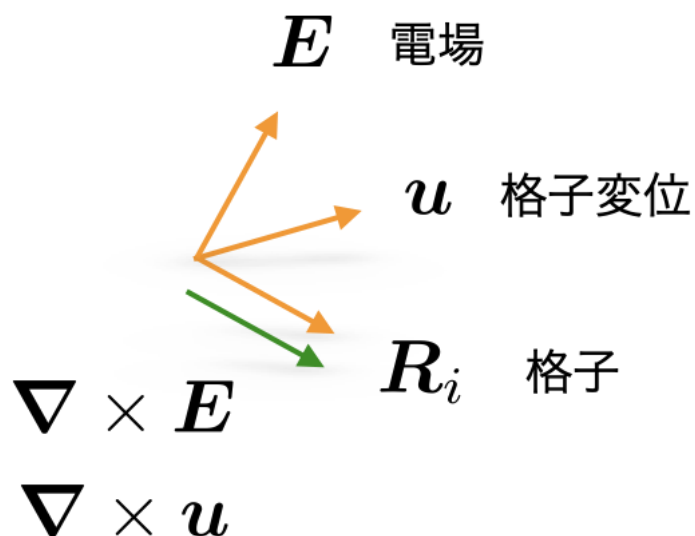
電荷

電気トロイダル単極子 G_0

基本粒子なし

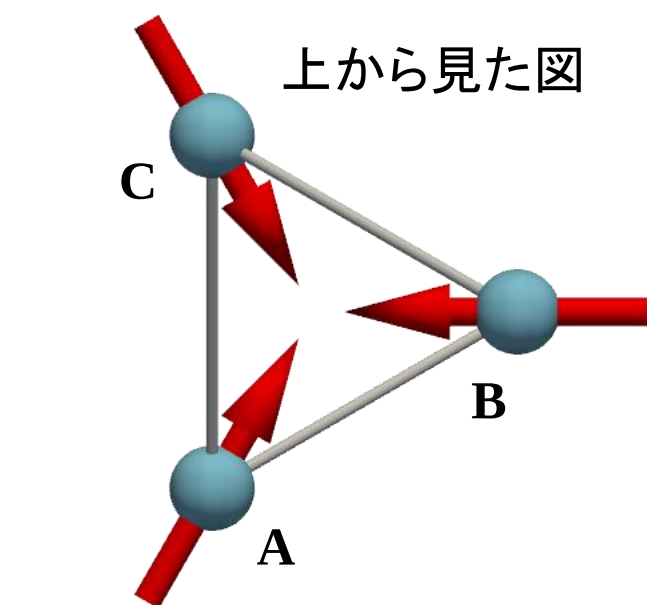


"内部自由度"で構成

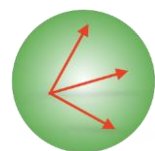


テルル結晶の例

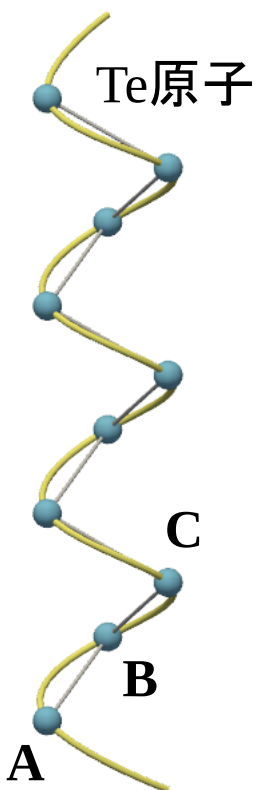
左手系



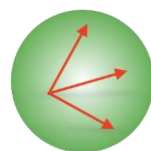
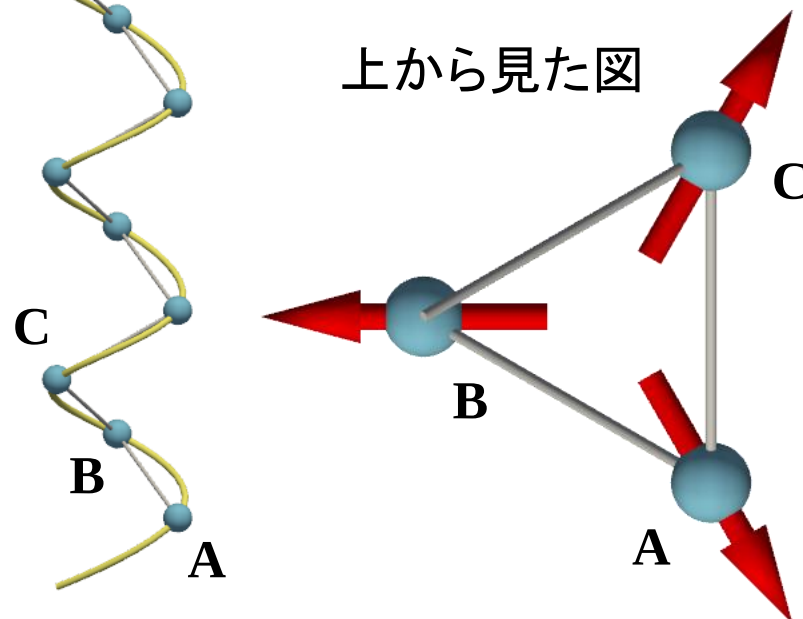
$$G = l \times \sigma$$



$$G_0 = R \cdot G < 0$$

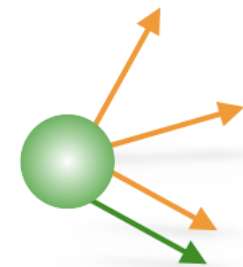


右手系



$$G_0 = R \cdot G > 0$$

キラリティ制御外場



$$F^{(3)} = g_{\perp} G_0 (G_x Q_x + G_y Q_y) + g_z G'_0 G_z Q_z$$

キラリティ 軸性 極性
外場 外場

- ・極性外場と軸性外場を同時に(反)平行に印加
- ・外場の時間反転の性質は同じ
- ・外場の積の符号が、キラリティを制御

軸性外場

磁場

回転歪み、電場の回転、磁場の時間微分

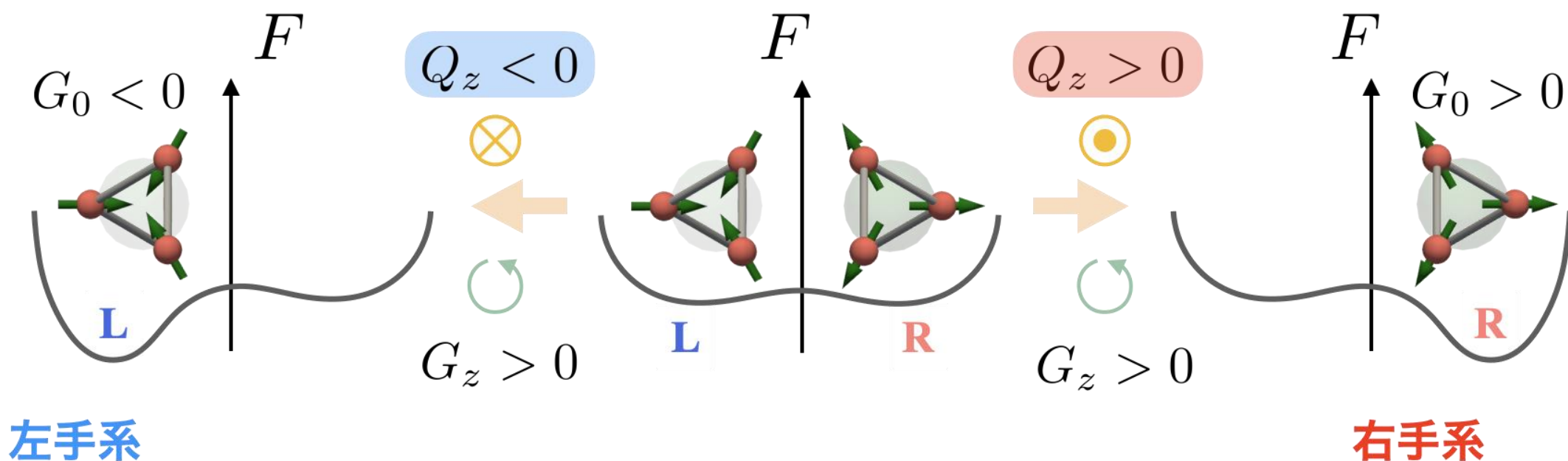
極性外場

電流、磁場の回転、電場の時間微分

電場

鏡像異性体の作り分け

$$F_z^{(3)} = g_z G_0 G_z Q_z$$



- ・自由エネルギーの低い状態が熱平衡状態で実現する
- ・外場のかけ方で、キラリティを制御できる

想定される用途

- ・有機キラル分子のキラリティ分離、不斉合成
- ・無機キラル結晶の不斉合成、キラリティ分離
- ・キラル物質の不斉合成、キラリティ分離により得られる単一ドメインの電子デバイス

実用化に向けた課題

- ・円偏光や強磁性基板上の分子吸着を用いたキラリティ分離の成功例報告あり
- ・本原理を用いた解析により上記手法の効率化を試みる必要がある
- ・キラリティ制御外場として、どの組み合わせが最も効率的か不明
- ・最も効率の良い方法を模索する必要がある

企業への期待

- 本原理に基づく鏡像異性体の作り分け方法は発見されたばかりであり、実験室による模索が必要な段階
- 磁場と電流の同時印加等、単純だが網羅的な条件探索が必要であり、設備と人的資源が必要
- 最も効率の良い方法を模索するために萌芽的試みに対する継続的なサポートを期待

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 物質生成方法、及び物質生成装置
- 出願番号 : 特願2022-027958
- 出願人 : 明治大学
- 発明者 : 楠瀬博明、大岩陸人

お問い合わせ先

明治大学

研究推進部 生田研究知財事務室

TEL 044-934-7639

FAX 044-934-7917

e-mail tlo-ikuta@mics.meiji.ac.jp