

「磁石の不思議」から 「微小な磁石の先端研究」まで

廣部 大地

静岡大学 理学部 物理学科 助教

科学技術振興機構(JST) さきがけ研究者兼任



磁石と技術

磁石と日本人研究者

磁石と電子

磁石と量子力学

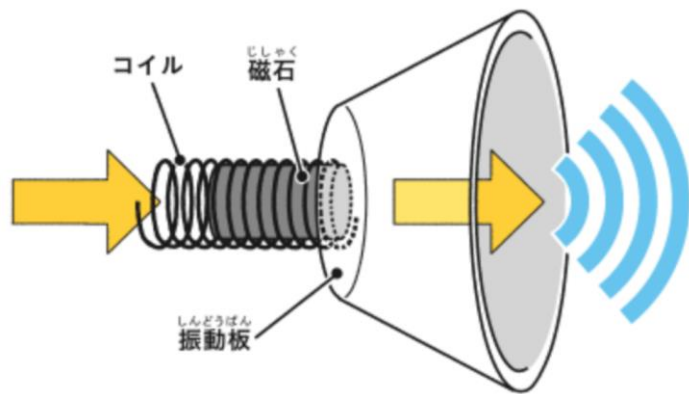
磁石と私

磁石はどこで使われている？

答 どこでも

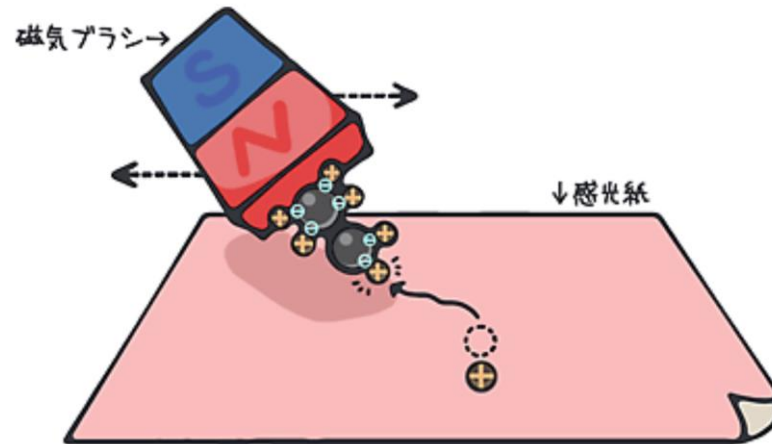
スピーカー

AkeruEのHPより転載



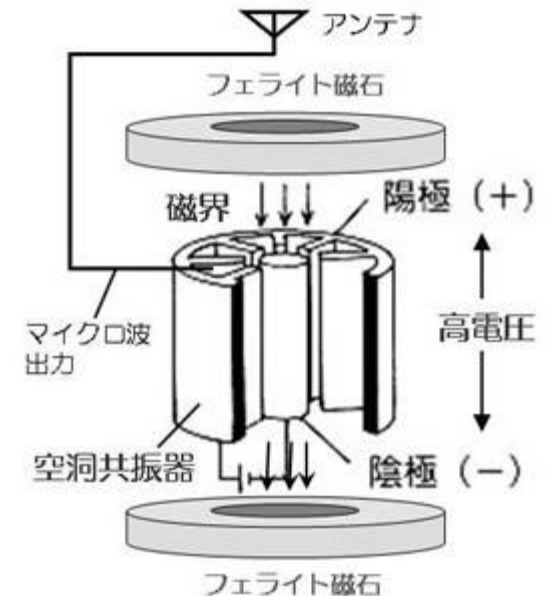
コピー機 (磁気ブラシ)

RICOHのHPより転載



電子レンジ (マグネトロン)

NeoMagのHPより転載



スマホ (磁気センサー)、電気自動車 (モーター) ...

磁石の歴史

紀元前3000年(?)

天然磁鉄鉱がギリシャの
マグネシア地方で偶然発見

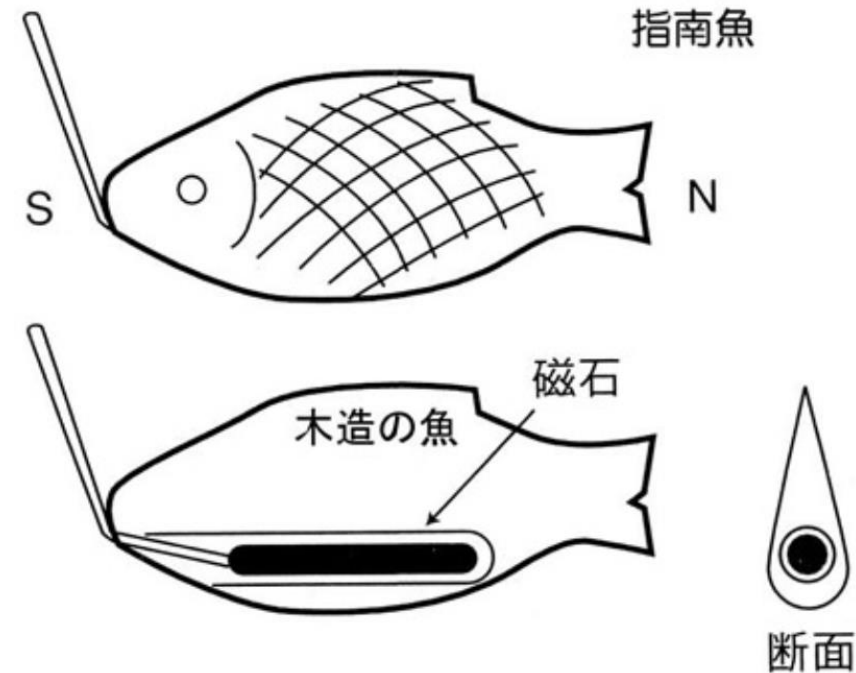
羊飼いの
マグネス



kodomonojikkenshitsu12.pdfより転載

3世紀頃

指南魚が中国で登場
←磁気コンパスの源流



NeoMagのHPより転載

磁石と技術

磁石と日本人研究者

磁石と電子

磁石と量子力学

磁石と私

磁石研究はmade in Japan

本多光太郎

Wikipediaより転載



金属材料研究所(宮城県仙台市)



世界最強KS鋼(当時)



鉄鋼の世界的権威者
KINKENの初代所長

磁石研究はmade in Japan

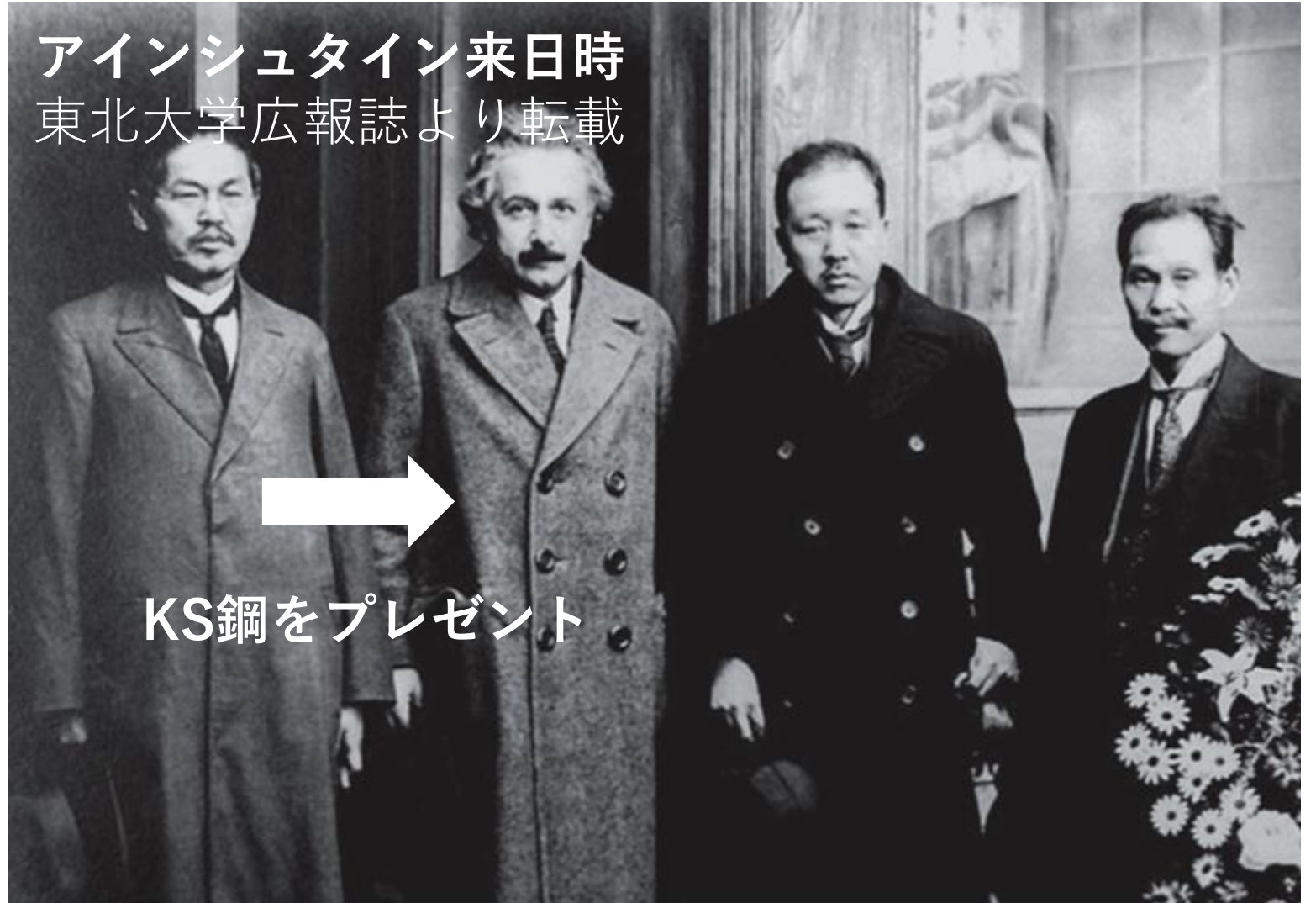
本多光太郎

Wikipediaより転載



鉄鋼の世界的権威者

アインシュタイン来日時
東北大学広報誌より転載



KS鋼をプレゼント

磁石と技術

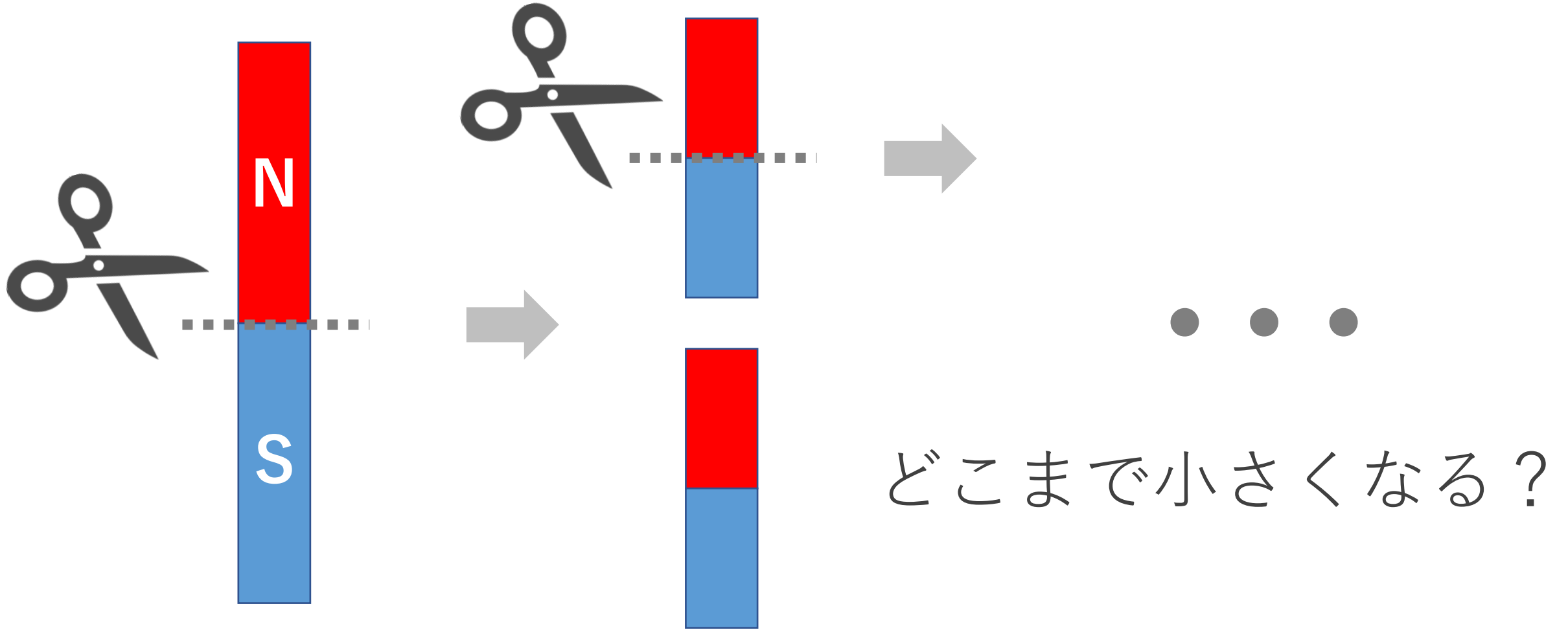
磁石と日本人研究者

磁石と電子

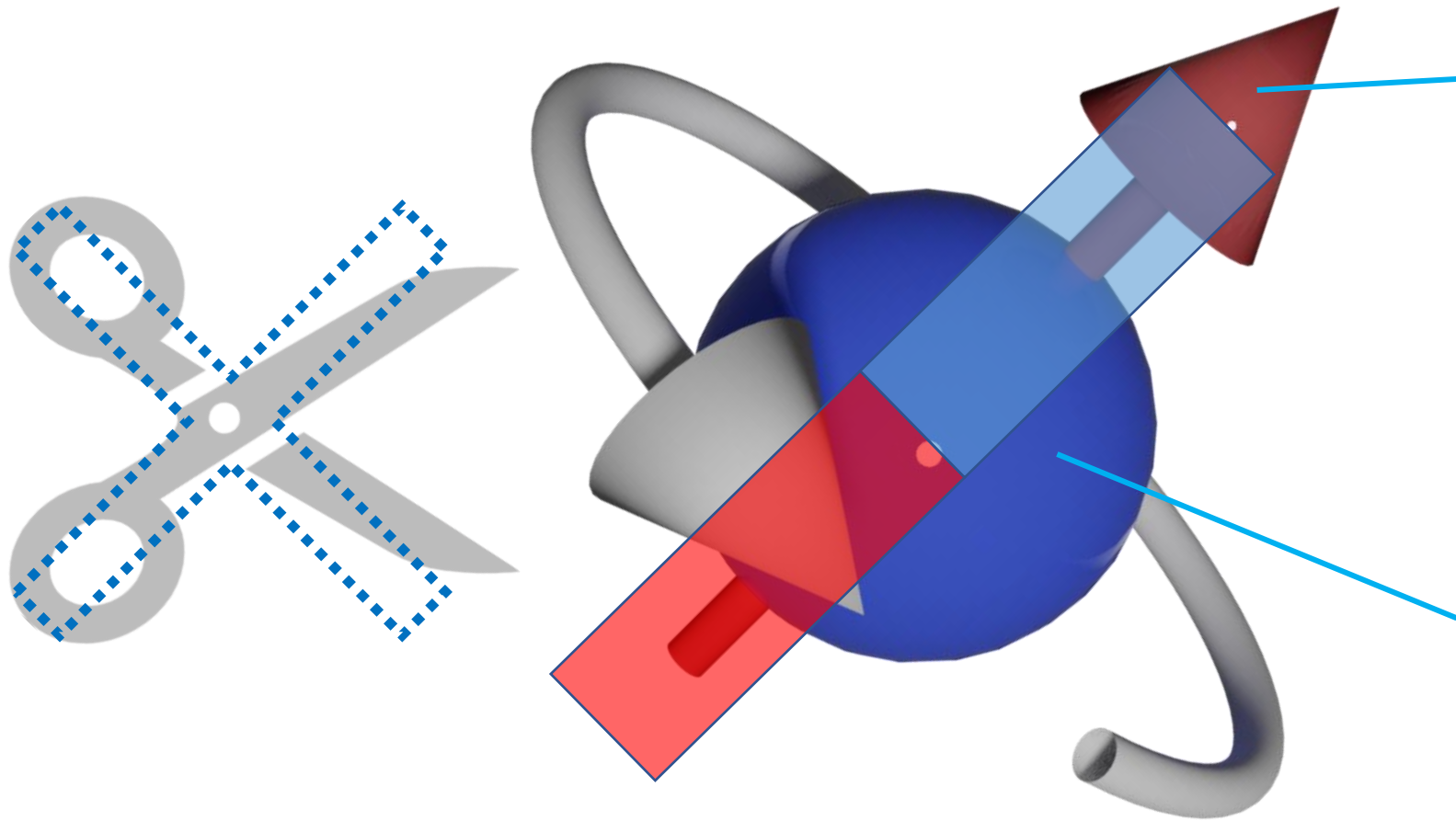
磁石と量子力学

磁石と私

磁石を細かく分けてみる



最小の磁石 = 電子

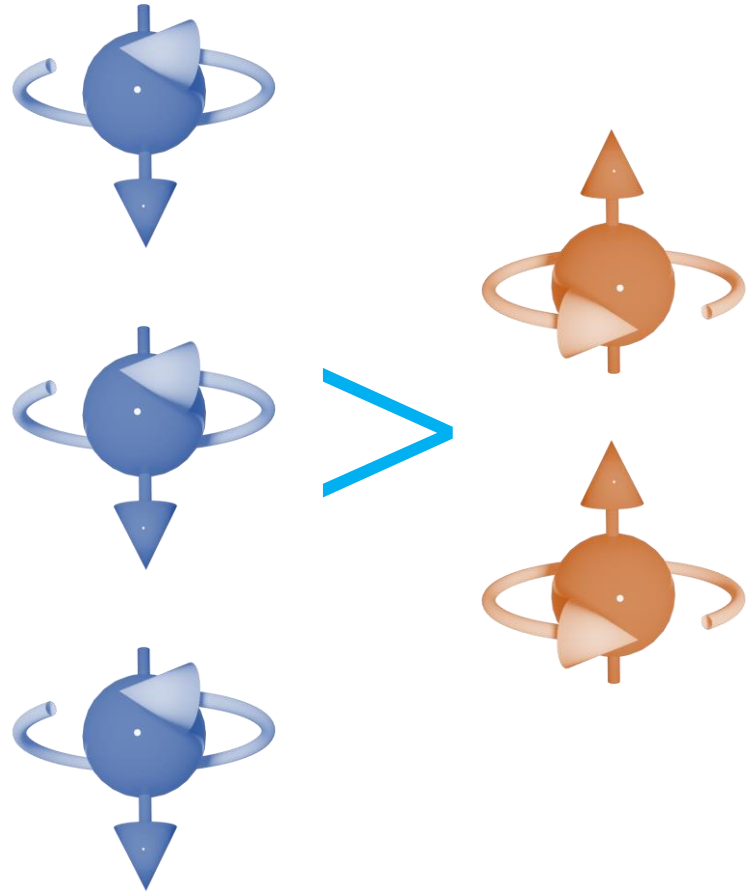


最小の磁石
(スピン角運動量)

最小の電気量
(電荷)

電子1個で見ると必ず磁石になっている

磁石になるの、ならないの

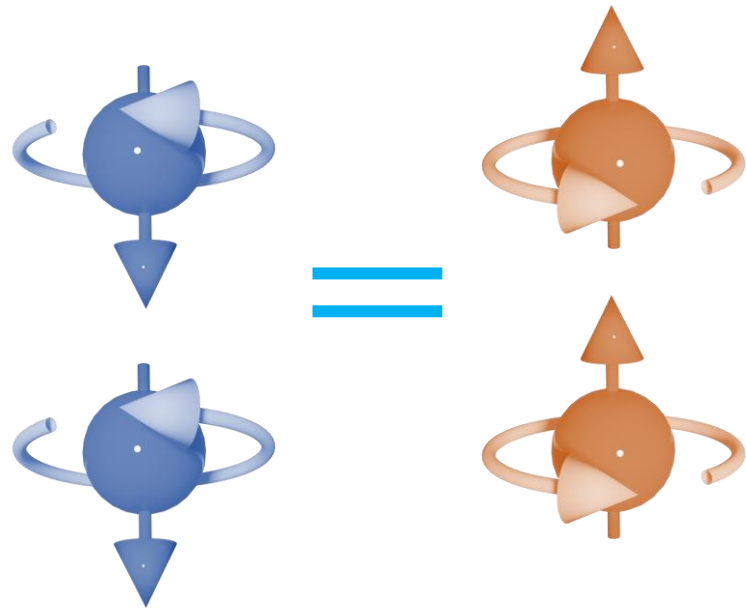


磁石になる



互いにそっぽを向いた
磁石の**個数が違う**

磁石になるの、ならないの



磁石にならない



互いにそっぽを向いた
磁石の**個数が同じ**

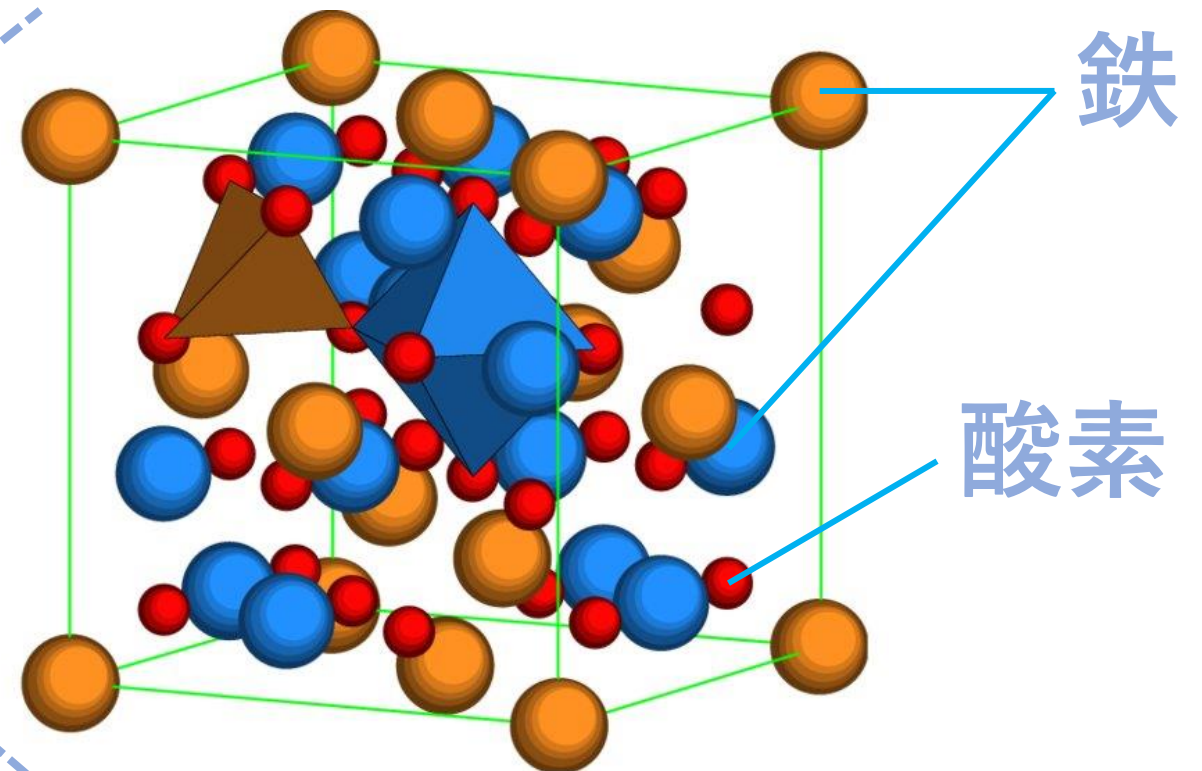
実際の磁石はどうなっているの？

砂鉄を例に考えてみましょう

Wikipediaより転載



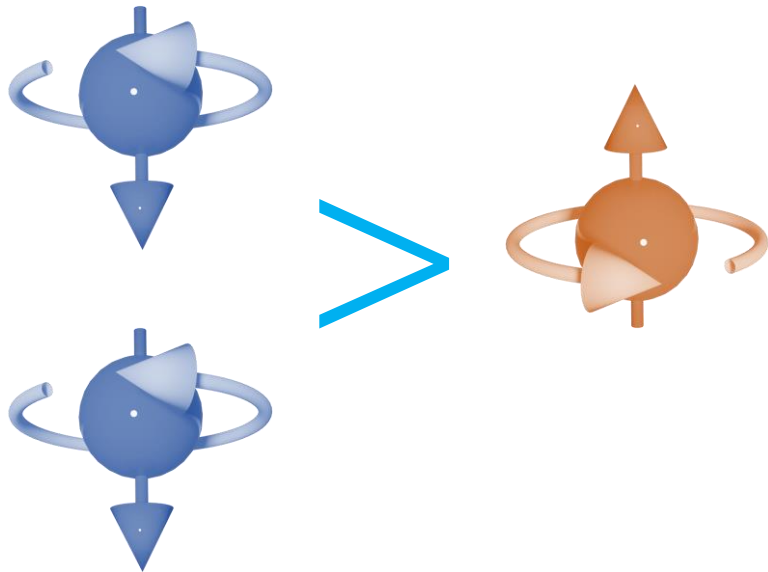
酸化鉄(酸素と鉄の化合物)



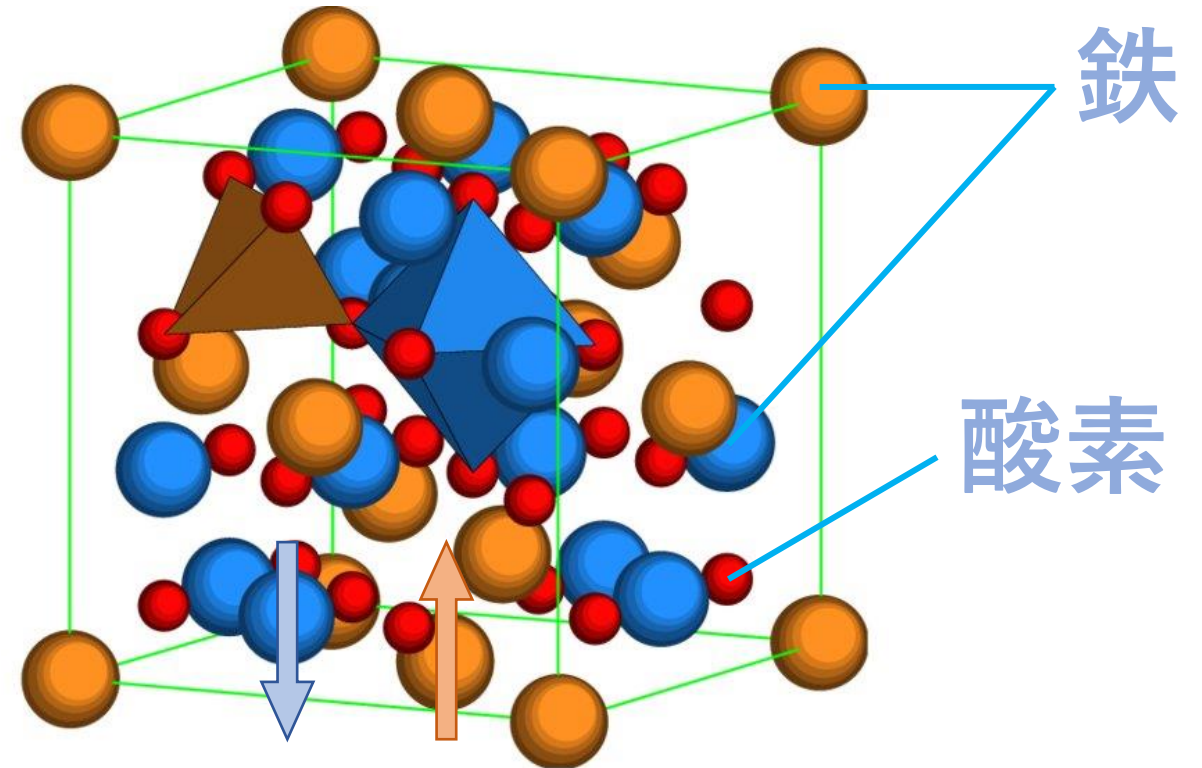
Spin-Resolved Photoelectron Spectroscopy of Oxidic Half-Metallic Ferromagnets and Oxide/Ferromagnet Interfaces

実際の磁石はどうなっているの？

$[\text{鉄}^{2+}\text{鉄}^{3+}]^B \times 1 + [\text{鉄}^{3+}]^A \times 1 + \text{酸素} \times 4$ 酸化鉄(酸素と鉄の化合物)

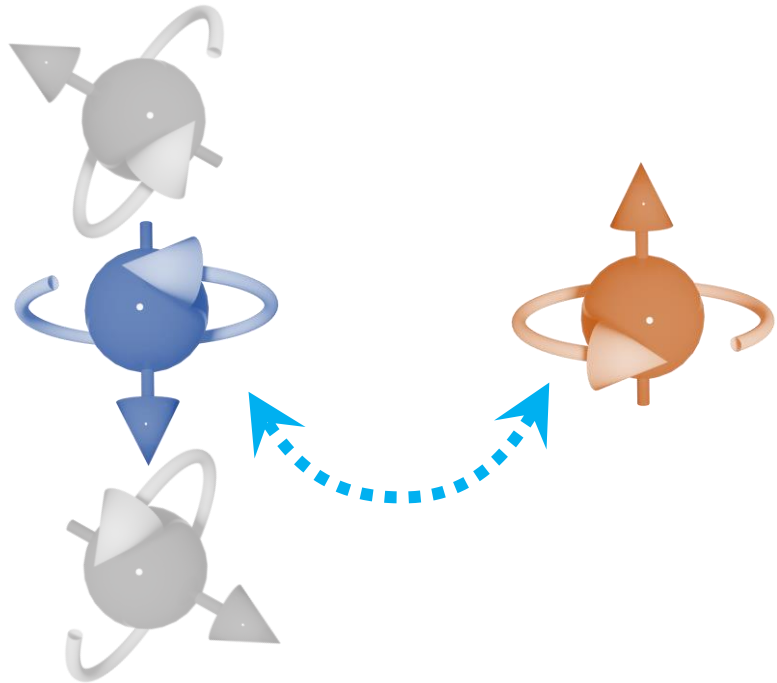


互いにそっぽを向いた磁石の
個数が違うので磁石になれる

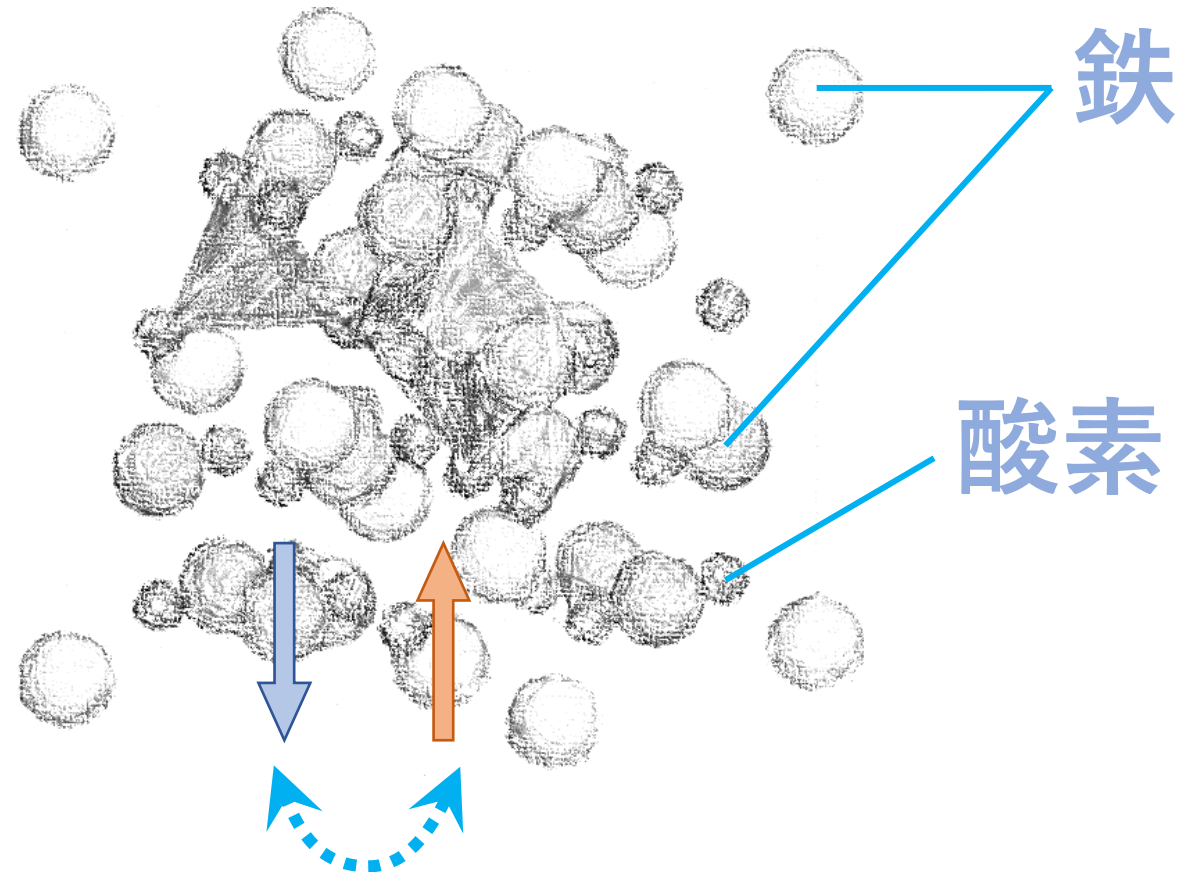


実際の磁石はどうなっているの？

$[\text{鉄}^{2+}\text{鉄}^{3+}]^B \times 1 + [\text{鉄}^{3+}]^A \times 1 + \text{酸素} \times 4$ 酸化鉄(酸素と鉄の化合物)



隣り合う磁石同士の**角度が固定**されるのはどうして？



磁石と技術

磁石と日本人研究者

磁石と電子

磁石と量子力学

磁石と私

量子力学：極微の世界は不思議の世界



スタンフォード大学オンライン講座より転載

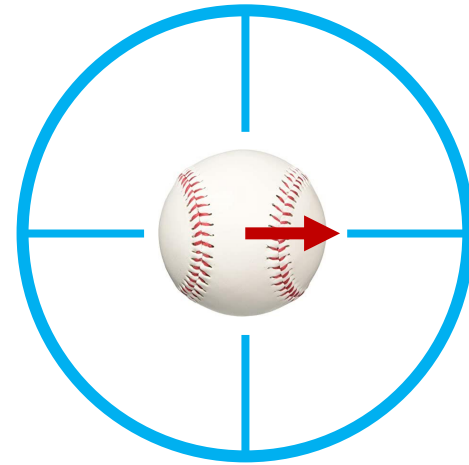
量子力学の前提は“非常識”

場所(位置)と速さ(運動量)が両方とも
確定した状況は存在しない。

電子2個は同じ場所に存在できる。
が、磁石が逆向きのときだけ

量子力学の前提は“非常識”

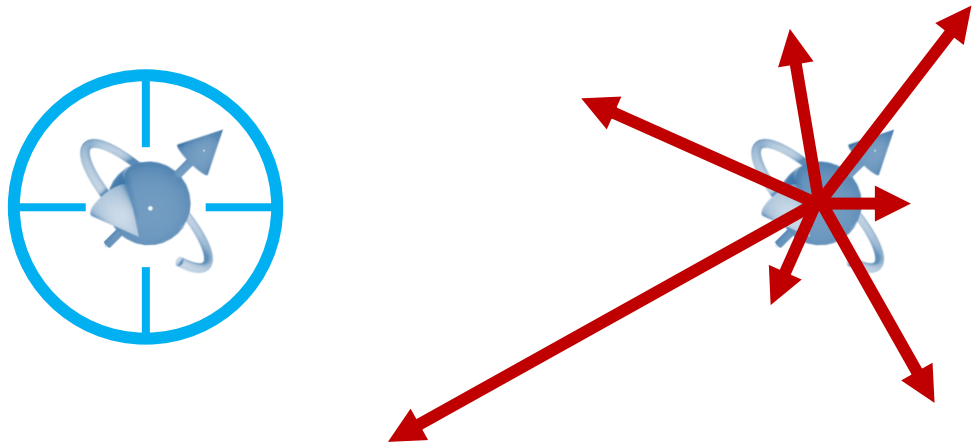
場所(位置)と速度(運動量)が両方とも
確定した状況は存在しない



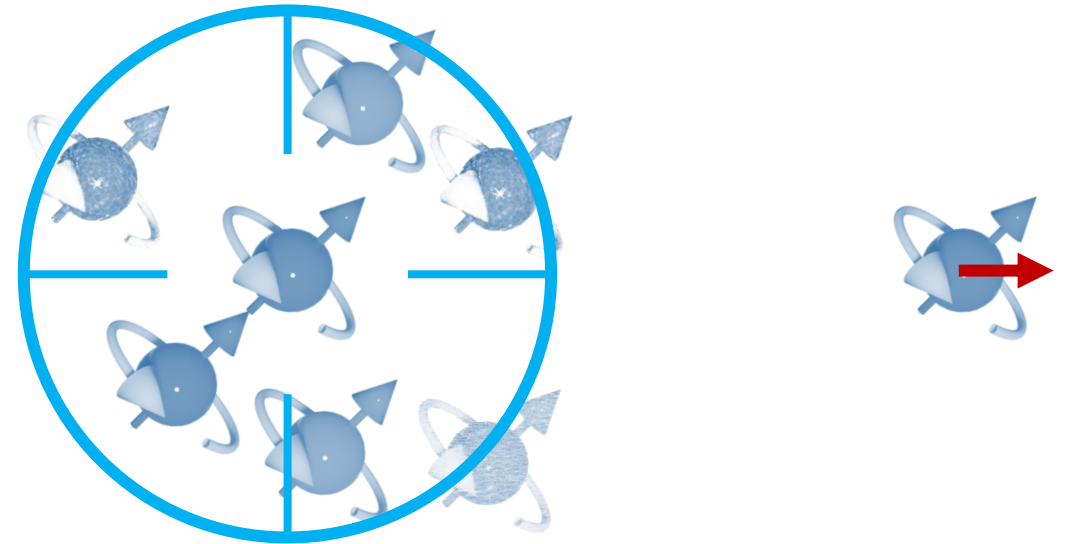
その気になれば
決められる

量子力学の前提は“非常識”

場所(位置)と速度(運動量)が両方とも
確定した状況は存在しない

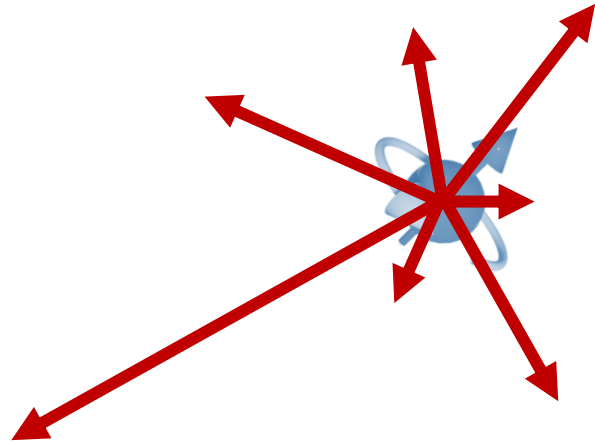


場所が定まった電子ほど、
速度が定まらない



速度が定まった電子ほど、
場所が定まらない

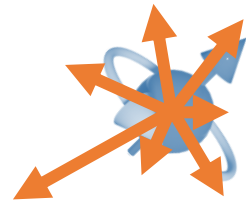
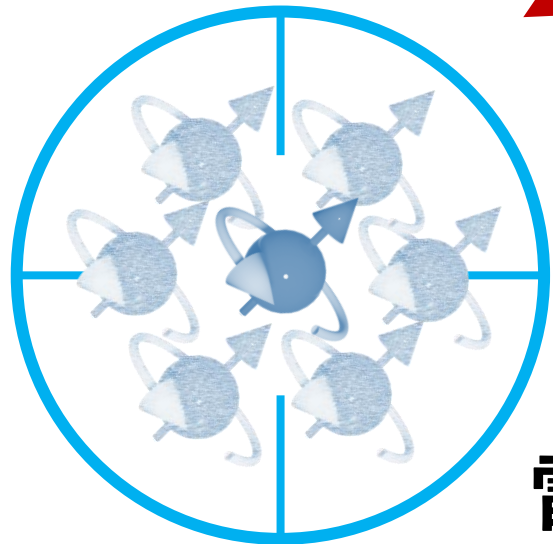
量子力学の前提は“非常識”



速く 電子が揺らいでしまう



エネルギー(運動)が**上がって損**



ゆっくり 電子が揺らぐ

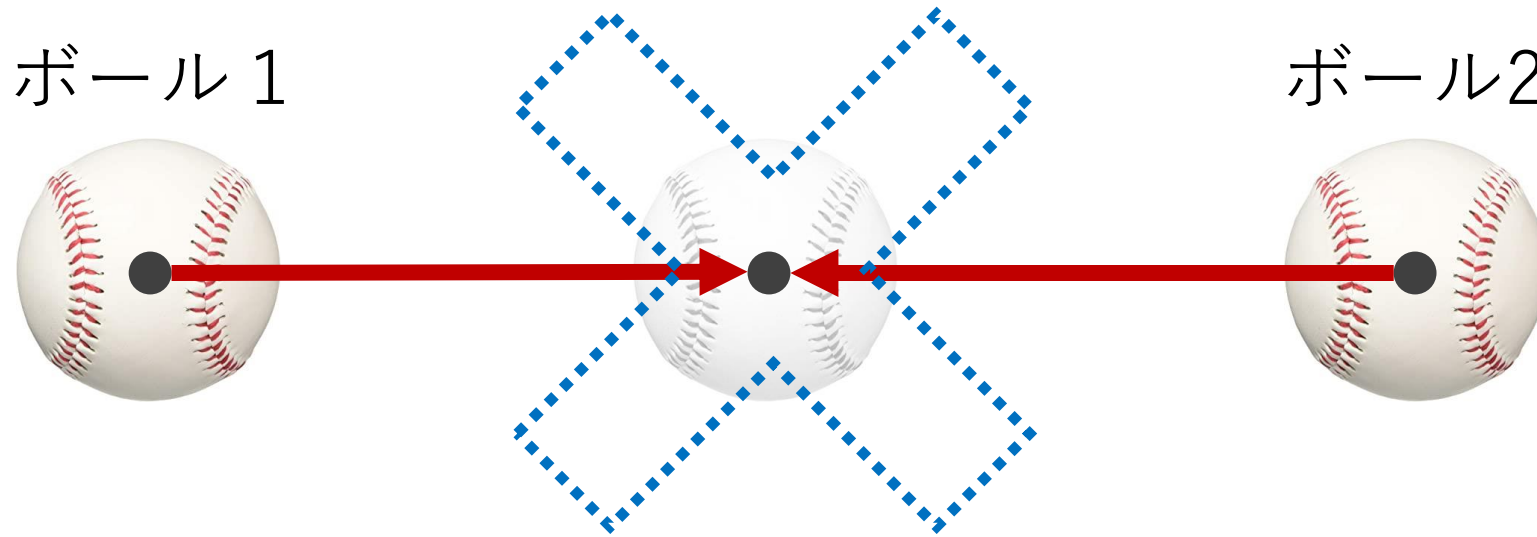


エネルギー(運動)が**下がって得**

**電子はできるだけ自分のスペースを広げたい
(観測すると、そのスペースのどこかで見つかる)**

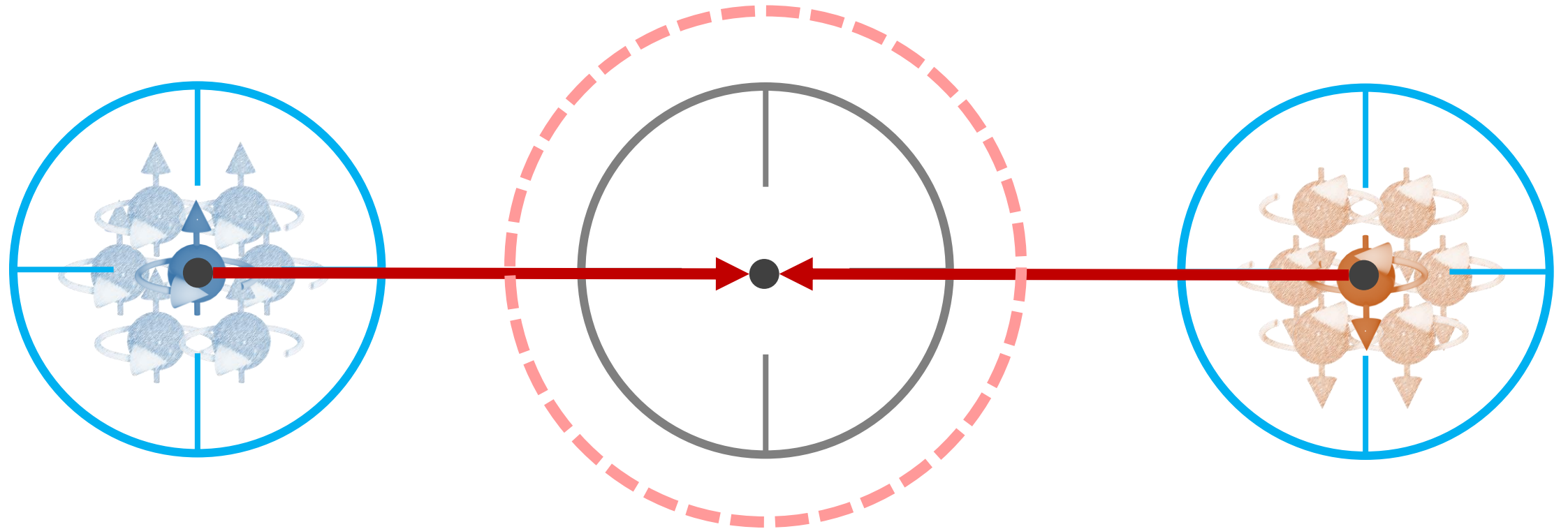
量子力学の前提は“非常識”

電子2個は同じ場所に存在できる。
が、磁石が逆向きのときだけ



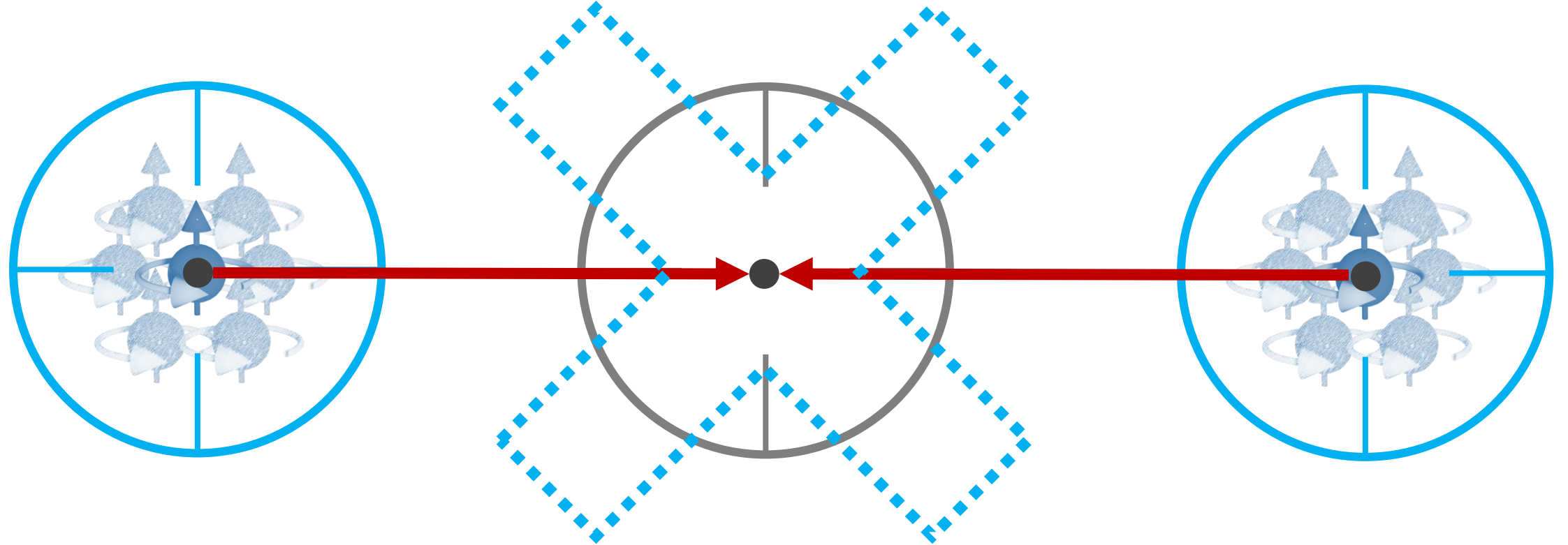
量子力学の前提は“非常識”

電子2個は同じ場所に存在できる。
が、磁石が逆向きのときだけ



量子力学の前提は“非常識”

電子2個は同じ場所に存在できる。
が、磁石が逆向きのときだけ



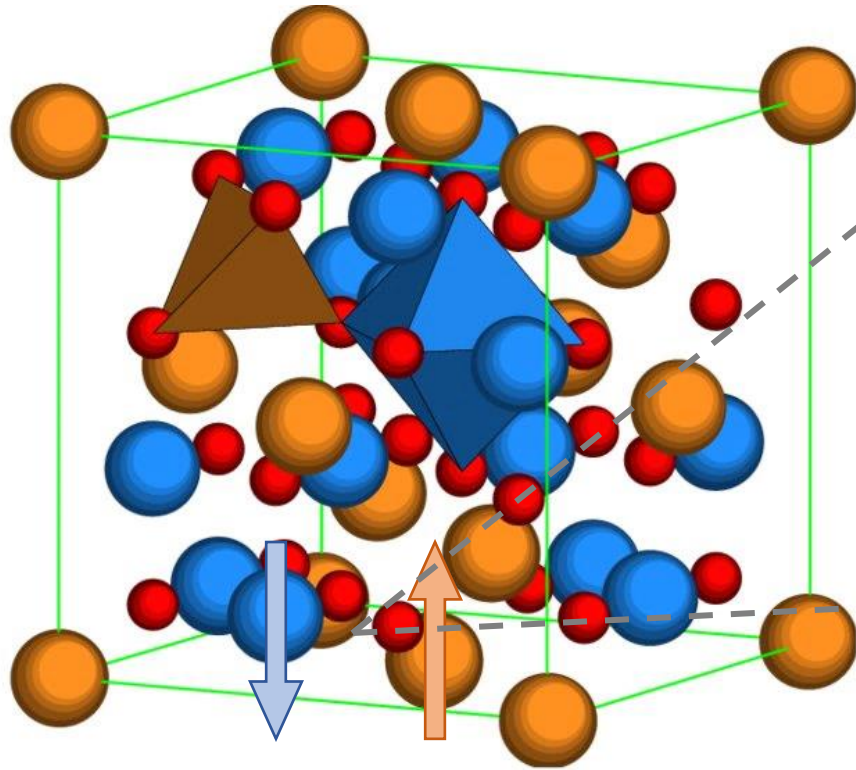
量子力学の前提は“非常識”

場所(位置)と速さ(運動量)が両方とも
確定した状況は存在しない。

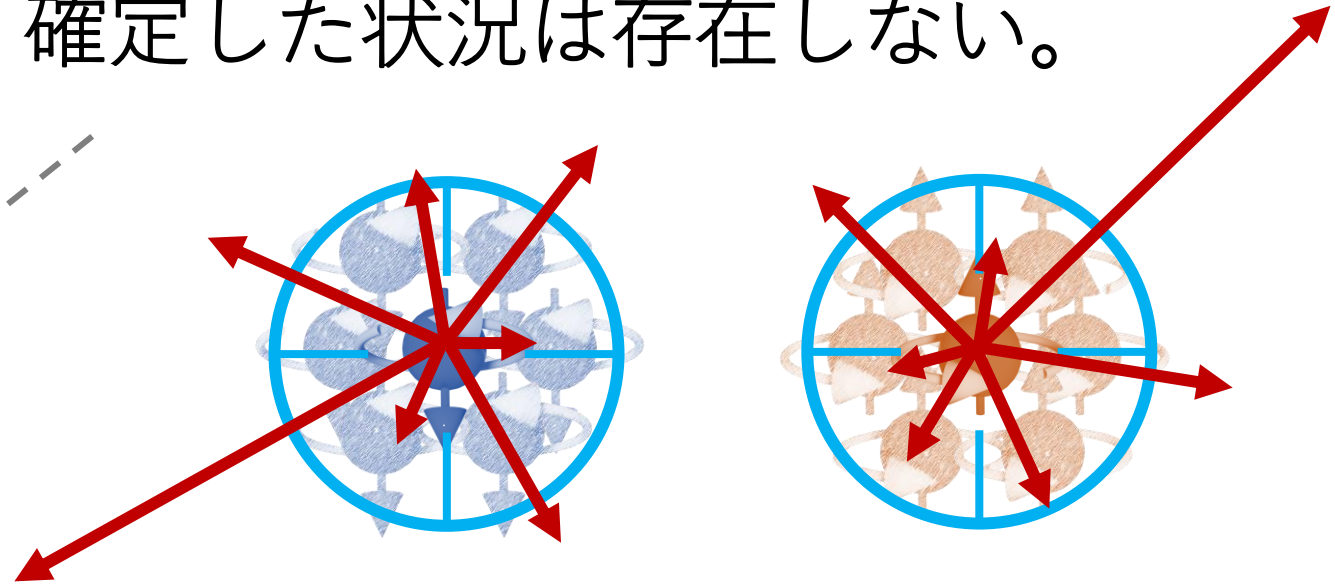
電子2個は同じ場所に存在できる。
が、磁石が逆向きのときだけ

量子力学で磁石を考える

酸化鉄(酸素と鉄の化合物)



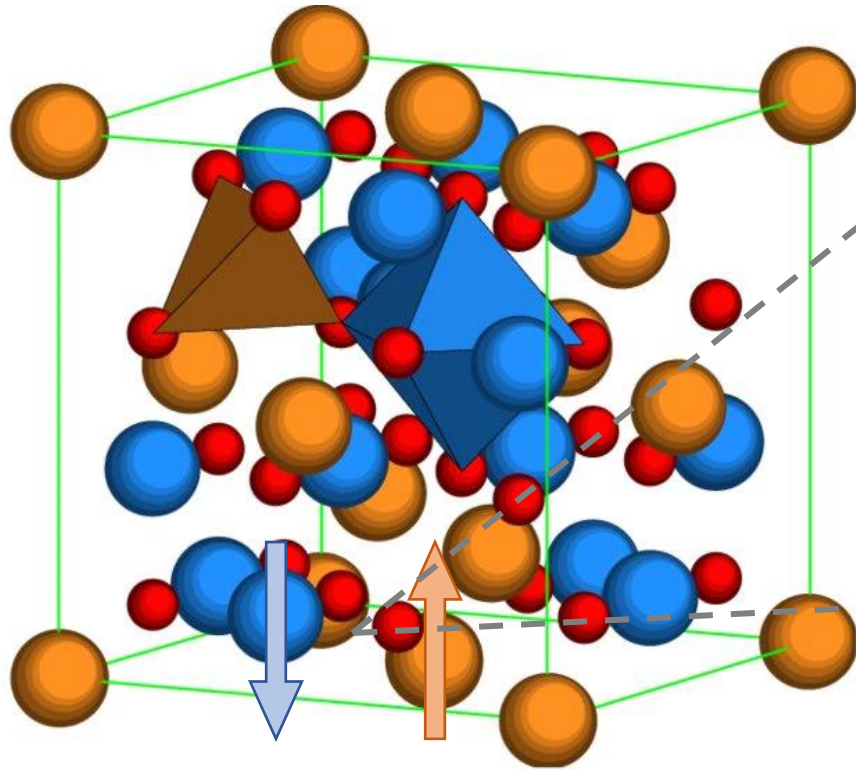
場所(位置)と速さ(運動量)が両方とも確定した状況は存在しない。



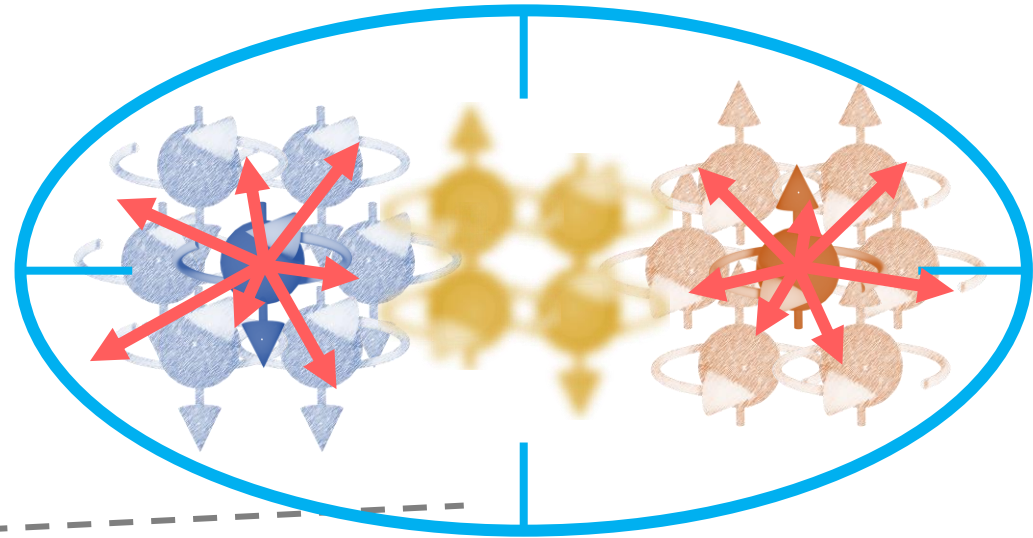
電子の場所は確定せず、少し余裕を持って空間を占めている。

量子力学で磁石を考える

酸化鉄(酸素と鉄の化合物)



電子2個は同じ場所に存在できる。
が、磁石が逆向きのときだけ



逆向きの磁石を持った電子2個は同じ場所を
占めることができる。

磁石と技術

磁石と日本人研究者

磁石と電子

磁石と量子力学

磁石と私

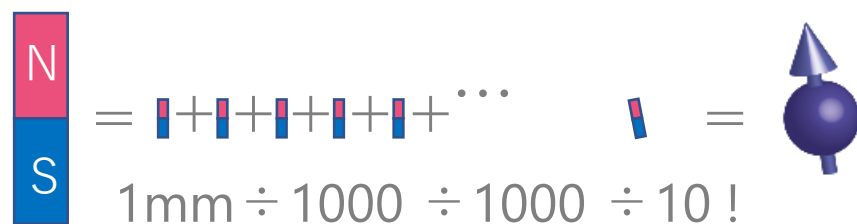
Spintronics & Chiral chemistry

Spintronics

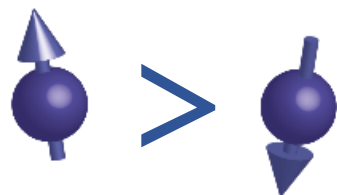
information storage (e.g. HDD)



smallest magnet = electron spin

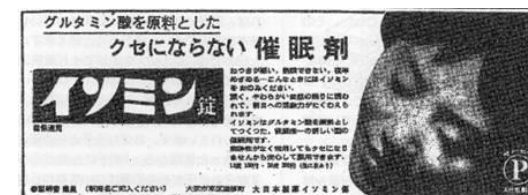


Spin polarization



Chiral chemistry

artificial sweetener, medicine, ...

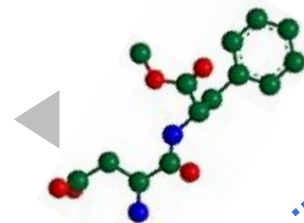


Our body distinguishes right- & left-handed molecules

(L,L)-isomer

(D,D)-isomer

Sweet

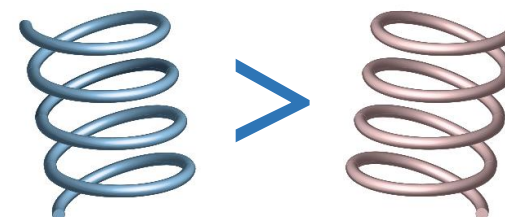


mirror



Bitter

Enantiomeric excess



Spintronics & Chiral chemistry

Spintronics

information storage (e.g. HDD)

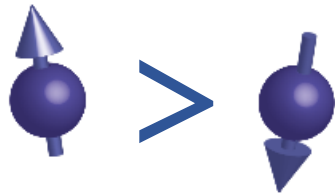


Chiral chemistry

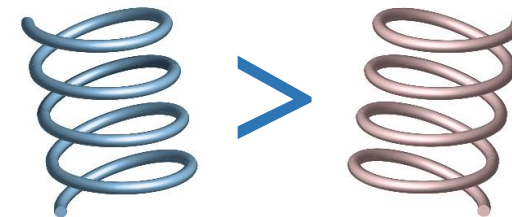
artificial sweetener, medicine, ...



Spin polarization

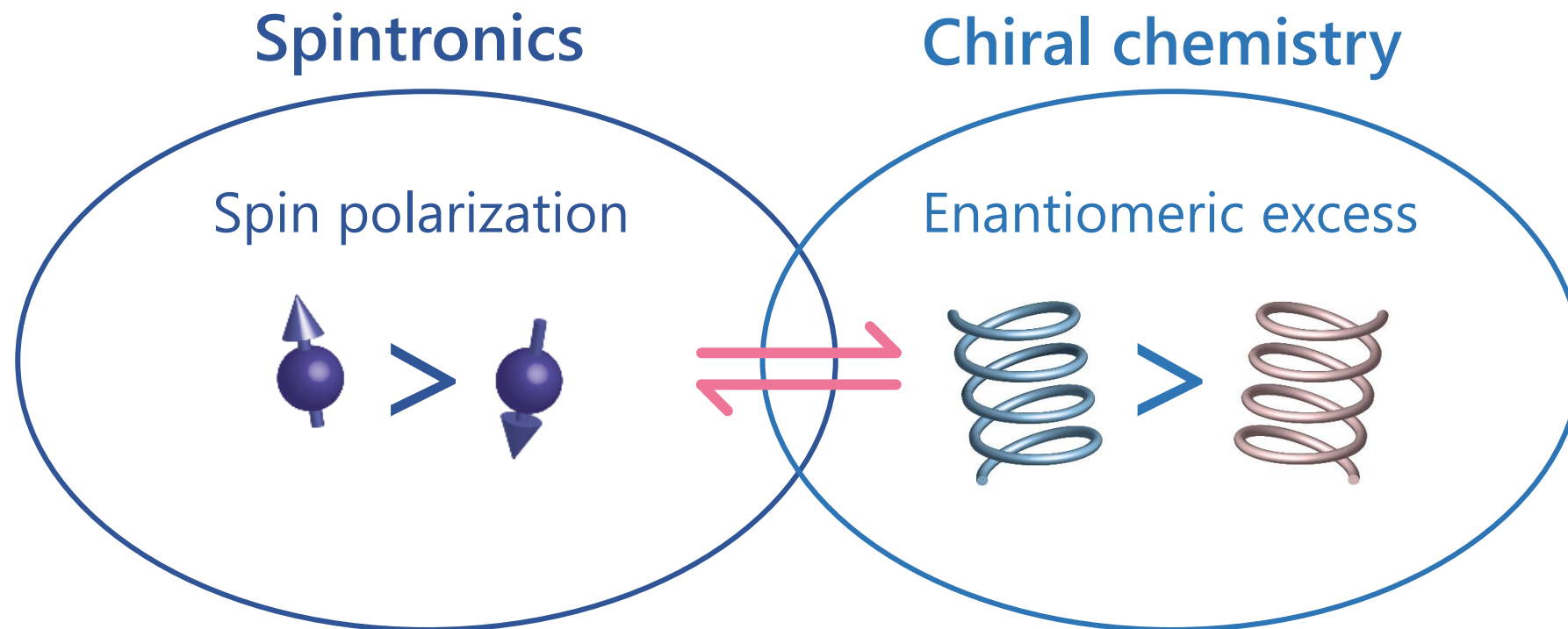


Enantiomeric excess



Share the objective in common: **How to separate one from the other efficiently**

Spintronics & Chiral chemistry



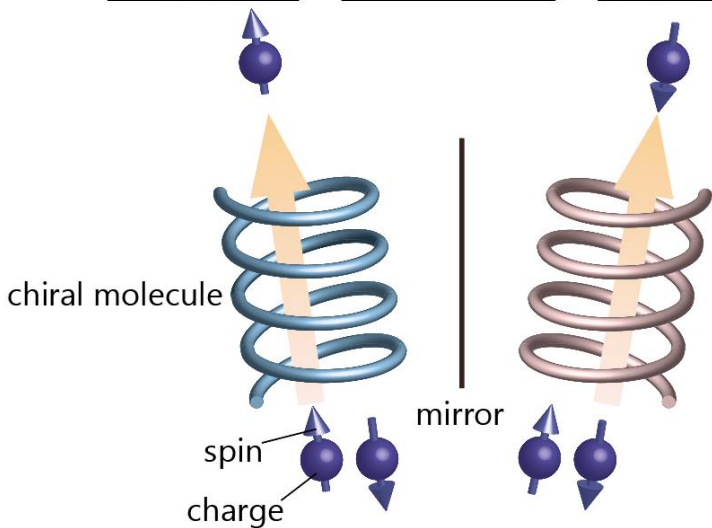
Interconnected by **Chiral-Induced Spin Selectivity (CISS)**

Chiral-Induced Spin Selectivity (CISS)

cf. R. Naaman, et al., *Nat. Rev. Chem.* (2019)

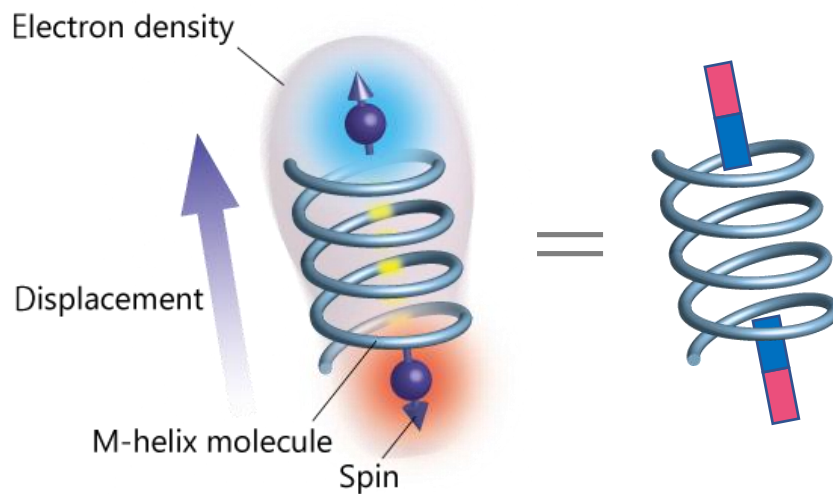
CISS | chiral molecular materials emit spin-polarized electrons

Schematic of CISS

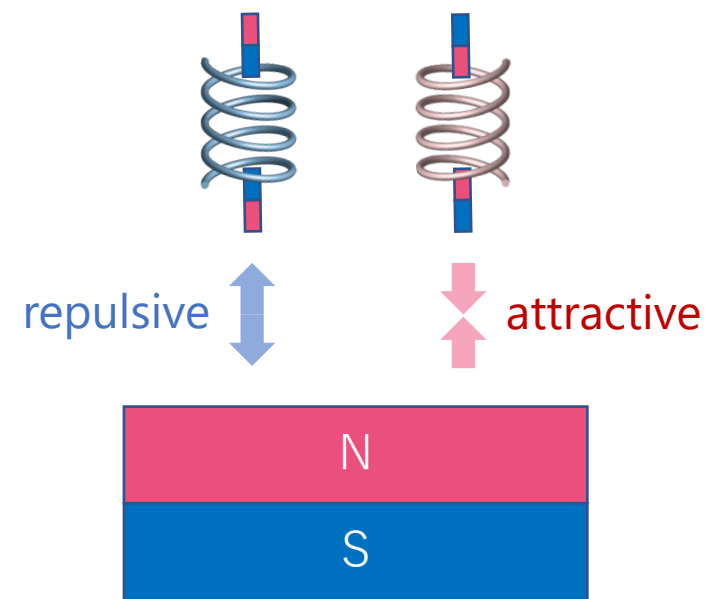


- Spin polarization || momentum
- Opposite spin for opposite chirality
- Exceptionally high spin polarization

CISS = a pair of antiparallel small magnets?



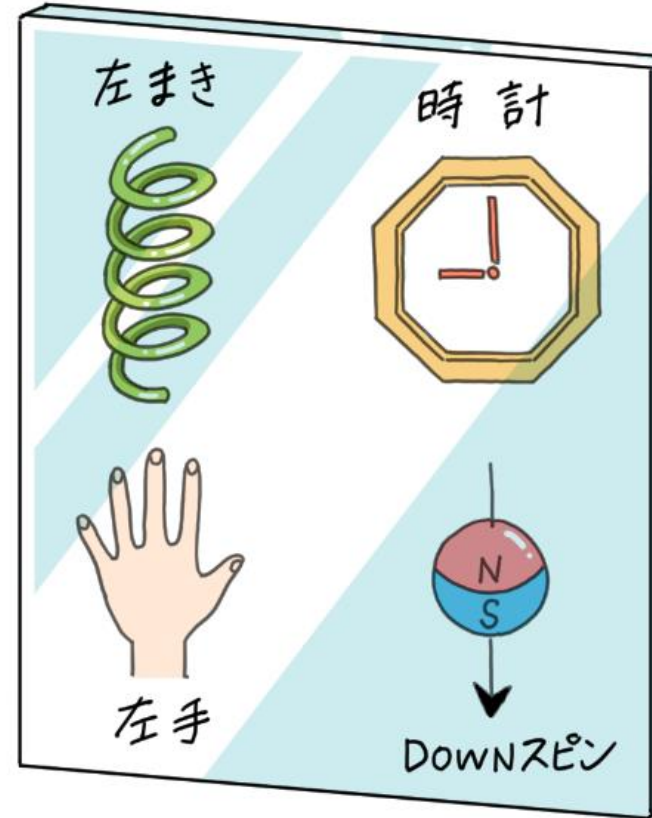
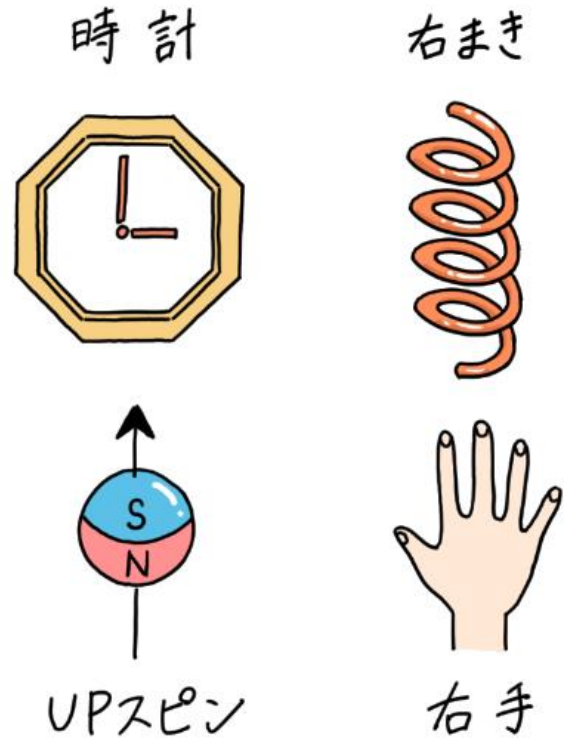
Creates a very small magnet for spintronics



Separates chiral molecules for chiral chemistry



鏡の世界と右・左

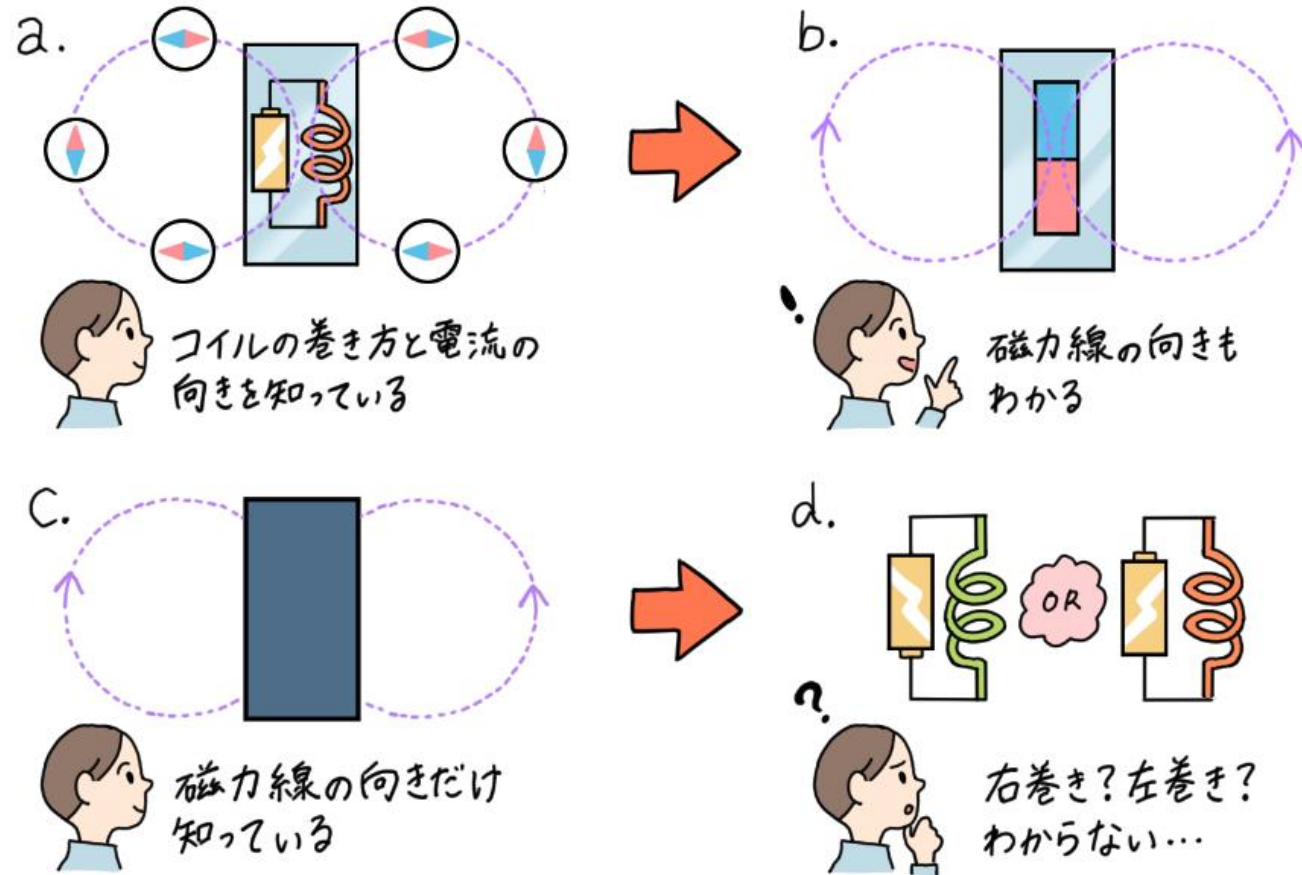


プレスリリースより転載（田中まゆこさん作）

鏡の世界がもしあれば、右と左が入れ替わったように見えるでしょう

磁石を使って“右”と“左”を区別？

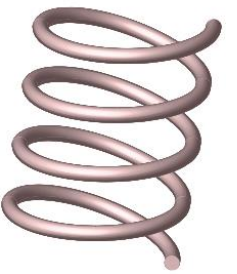
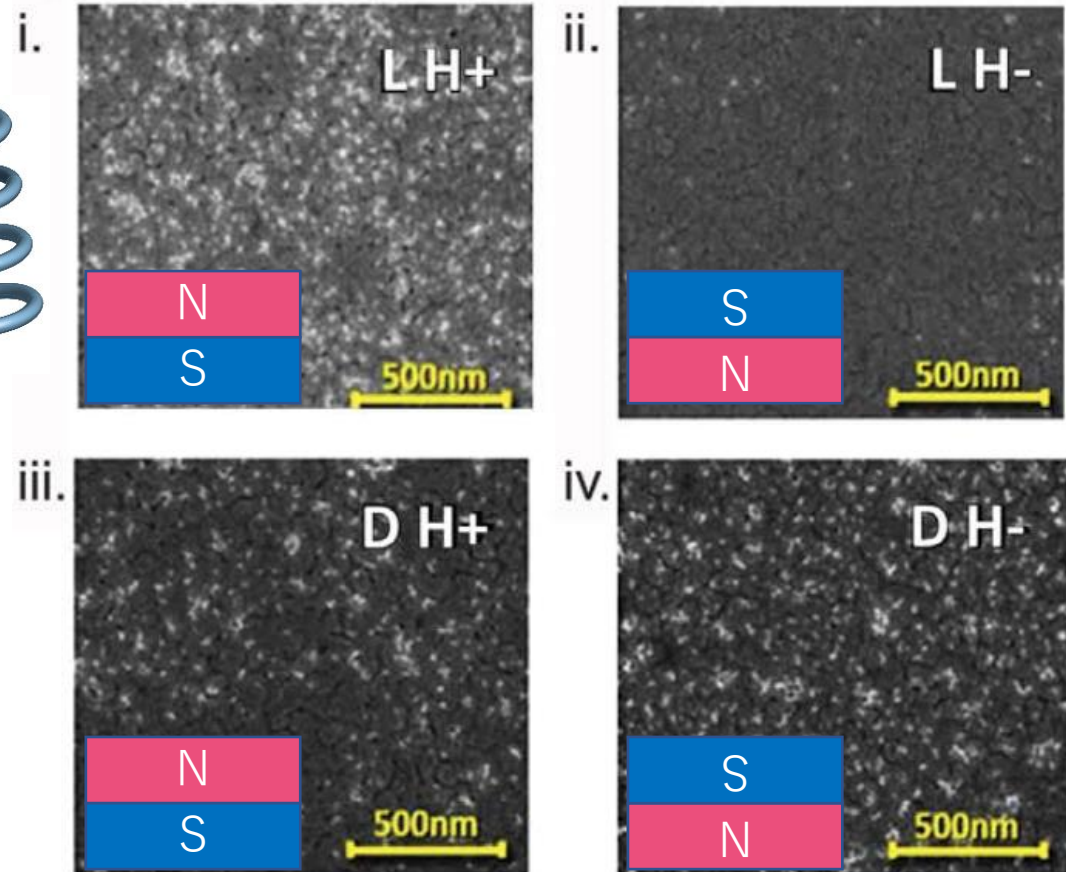
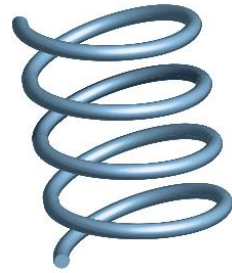
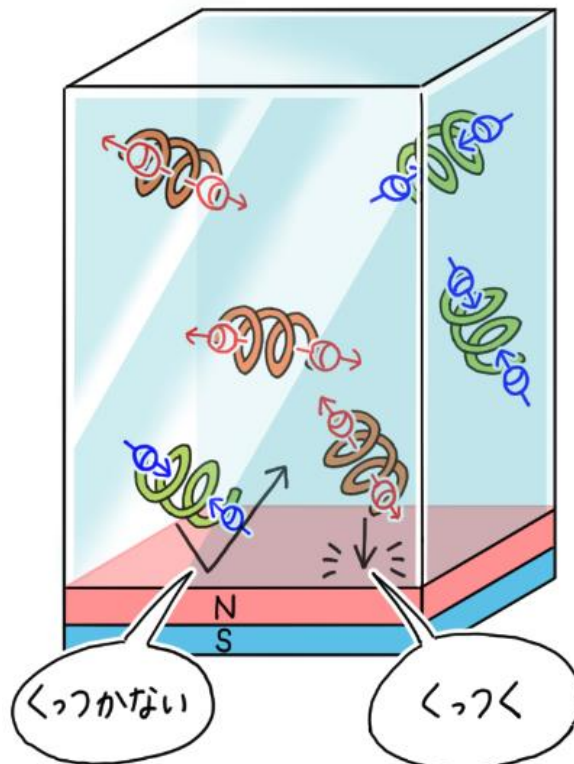
プレスリリースより転載



磁石だけでは“右”と“左”の区別できない—というのがこれまでの考え方

磁石を使って“右”と“左”を区別？

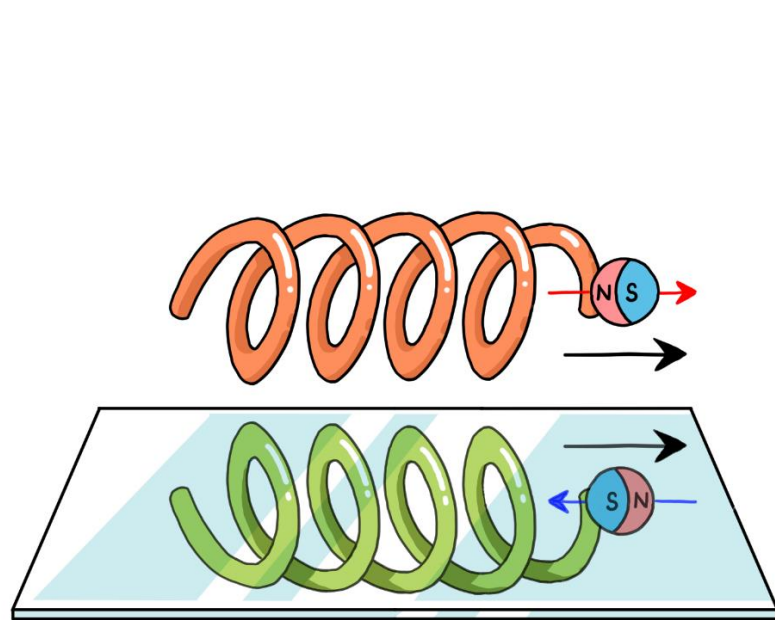
K. B.-Ghosh, et al., *Science* 360, 1331-1334 (2018)



プレスリリースより転載

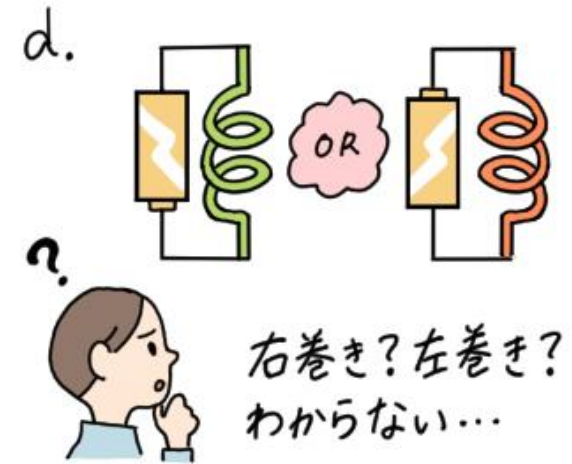
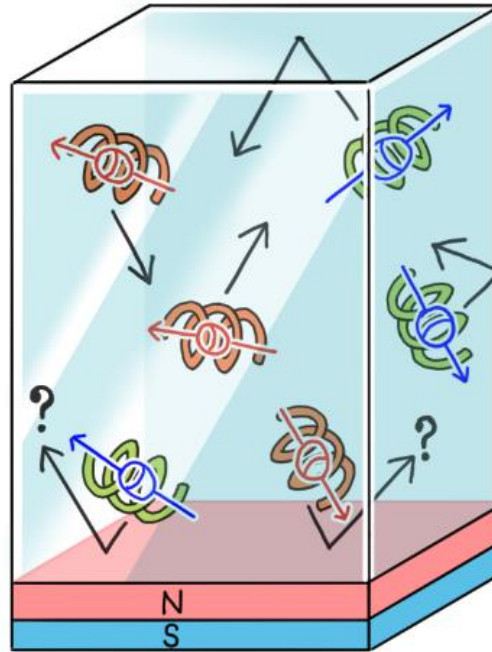
磁石だけでも“右”と“左”を区別できるという実験結果が報告!?

磁石を使って“右”と“左”を区別？



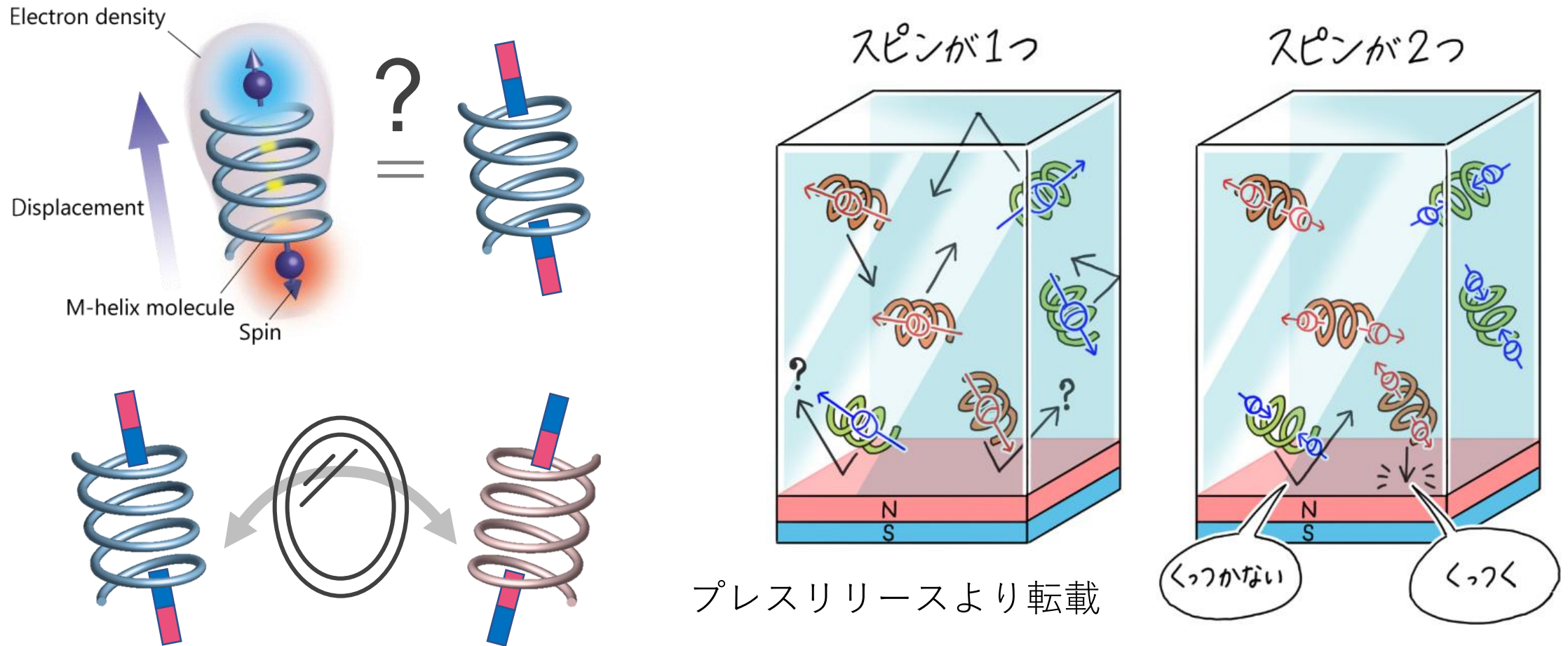
プレスリリースより転載

スピンの数



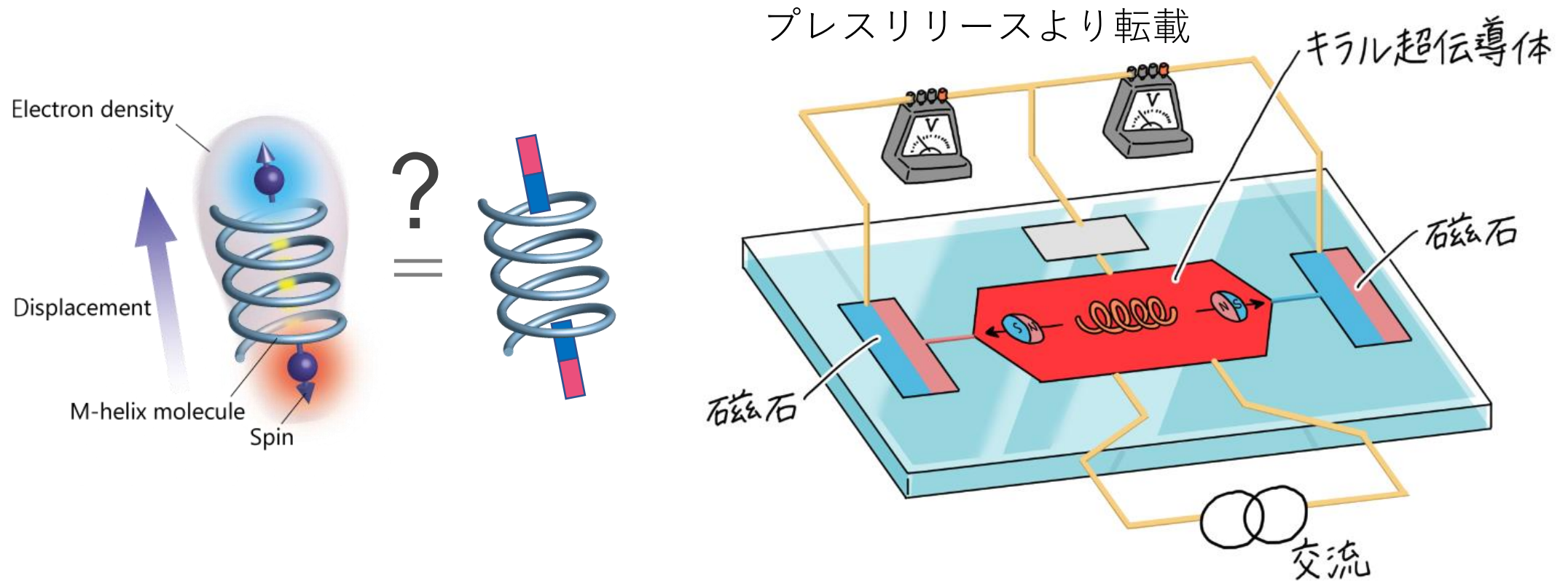
これまでの考え方では説明できません…困りました

磁石を使って“右”と“左”を区別？



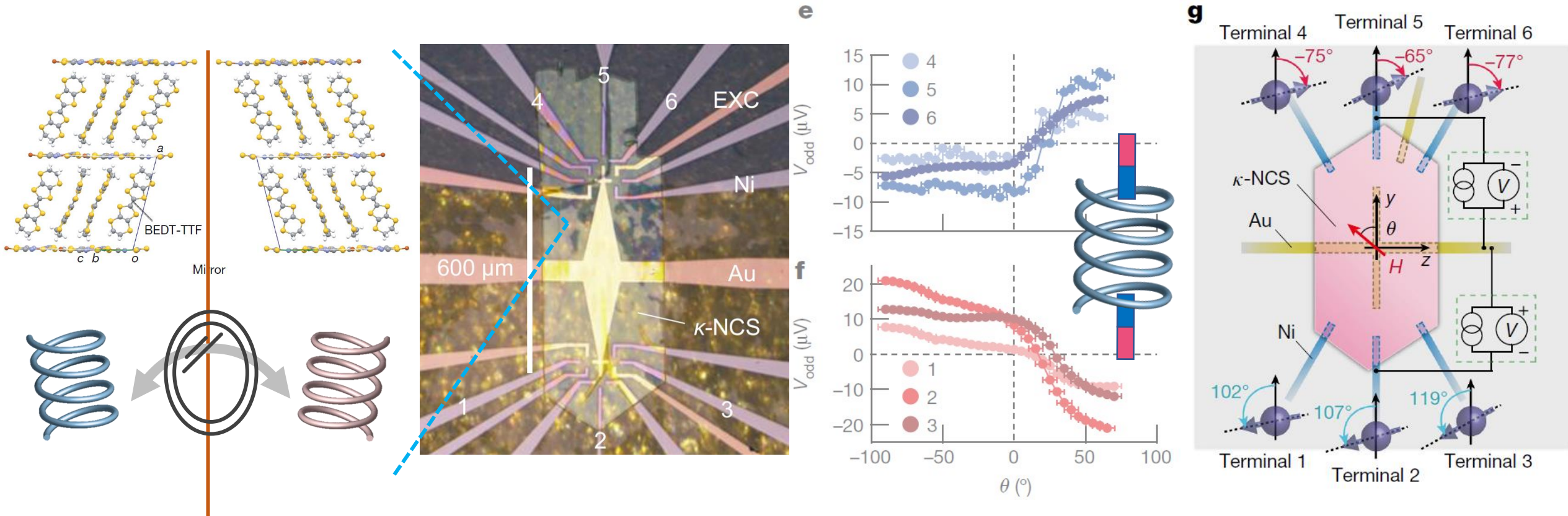
互いに逆を向いた微小な磁石が分子の両端にある—という予想

磁石を使って“右”と“左”を区別？



たしかに磁石のペアが現れて、“右”と“左”を区別できる

磁石を使って“右”と“左”を区別？



たしかに磁石のペアが現れて、“右”と“左”を区別できる

Spintronics & Chiral chemistry

Spintronics

Chiral chemistry

Spin polarization

Enantiomeric excess

