

高大接続／理科学実験Ⅲ  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://ttf.pc.uec.ac.jp/>

## 記憶する分子の作り方

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)



目指せ!  
化学生命工学の極

(1) 磁石は地球を救う  
 (2) 記憶する分子のレシピ有り

2019年4月12, 19日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないイントロ～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://ttf.pc.uec.ac.jp/>

## 記憶する分子の作り方

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)

### 目次

(1) 材料科学とは



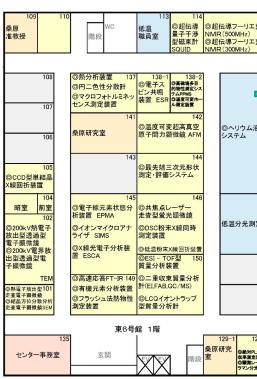
(2) 磁気化学の材料への応用  
記憶する分子




研究設備センター  
東6号館1階(本会場の建物)に充実した設備

“測定系に強い電通大”

ヘリウム液化機があります。





たとえば、ノートパソコン



1.液晶ディスプレイ(有機EL、フィルタ)  
2.バッテリー(ポリアニリン、ラジカル)  
3.DVD-R, BD-R, -RW(光反応性色素)  
4.スピーカ(平面振動板)  
5.回路基板、フレキシブル基板  
6.リソグラフィ技術(フォトレジスト)etc.

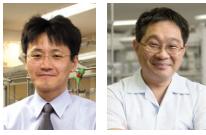
たとえば、ノートパソコン



電子工学  
光工学  
物理工学  
化学生命工学

1.液晶ディスプレイ(有機EL、フィルタ) ○○○  
2.バッテリー(ポリアニリン、ラジカル) ○○○  
3.DVD-R, BD-R, -RW(光反応性色素) ○○○  
4.スピーカ(平面振動板) ○○○  
5.回路基板、フレキシブル基板 ○○○  
6.リソグラフィ技術(フォトレジスト)etc. ○○○

生物発光の研究



ヤコウタケ  
発光中



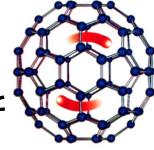
平野 誠 牧 昌次郎  
発光機構の解明  
高効率の生物発光  
産業に転用  
バイオイメージング  
多様な色を作り出す



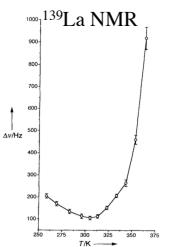
フラーレンの研究



加固 昌寛  
金属内包フラーレンと  
そのNMR解析



100<sup>139</sup>La NMR

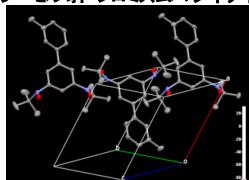


中にも外にも  
修飾された  
フラーレンC80

$\text{La}_2 @ I_h \text{-C}_{80} \xrightarrow{\text{Dep. Si}} \text{Dep. Si-} I_h \text{-C}_{80}$

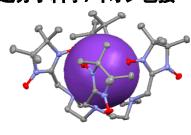
有機固体物性

サーモ/フォト-クロミズム/マグネティズム



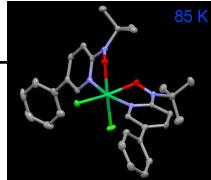
超分子科学/イオン包接

石田

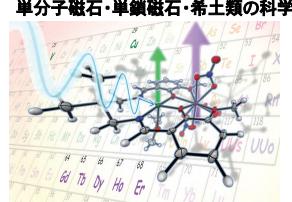


85 K

スピン  
クロス  
オーバー



単分子磁石・単鎖磁石・希土類の科学



核分析化学

小林義男  
教授

インビーム  
メスバウアー  
分光法



放医研、理研、RAL

分子線を用いた物性計測

山北佳宏  
准教授

TOF質量分析、  
ペニング分光法




学籍番号	名前
不回	
電気通信大学 化学生命工学プログラム 2018年度	

PCR法によるDNAの複数  
基準測定項目

1 PCR法によるDNAの複数  
基準測定項目

2 赤色蛍光蛋白質 (GFP) の大腸菌内合成  
基準測定項目

3 SDSリヤリカクタミドゲル電気泳動  
エクスラングリオタニシング

4 神經細胞におけるシナプト質の膜構造  
基準測定項目

5 CD測定によるタバコ葉の二次構造分析  
基準測定項目

6 酶活性測定法  
(イソペルオキシダーゼによるスクロロールの加水分解反応)  
基準測定項目

7 色差計による色度測定  
基準測定項目

8 実験式カットオフ測定: 基準とエクサーマの抽出  
基準測定項目

9 X線回折: 一粒状に成る分子量標準と分子量の  
決定とその構造の決定  
基準測定項目

10 ベンゼン誘導の分子量標準  
分子量標準の測定と分子量測定  
基準測定項目

11 シンクル混合液構造のロジカル分析  
基準測定項目

12 電気泳動による電気泳動ガラスの合成と  
エニシクロロリソチル、ダツウアセチルの合成  
基準測定項目 (青背景)

13 主要構成要素の測定  
DNA電気泳動の結果と主な結果の評議  
基準測定項目

2019年4月12, 19日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないイントロ～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://ttf.pc.uec.ac.jp/>

## 記憶する分子の作り方

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)

### 目次

(1) 材料科学とは  


(2) 磁気化学の材料への応用  
  
記憶する分子

2019年4月12, 19日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないイントロ～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://ttf.pc.uec.ac.jp/>

## 記憶する分子の作り方

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)

### 目次

(1) 材料科学とは とその前に。。。  


(2) 磁気化学の材料への応用  
記憶する分子  


Q: この人は誰?

わしは\_\_\_\_\_と申す。  
化学者のバイブル\_\_\_\_\_を作ったのはわしじゃ!



International Year  
of the Periodic Table of Chemical Elements



SCIENCE – SOCIETY – WORLD – SUSTAINABLE DEVELOPMENT

1869

メンデレーフ死後150周年をお祝するイベントを推進します

国際周期表年2019

日本学術会議  
IYPT2019.JP

UNESCOは2019年を国際周期表年として宣言しました！ 皆さんお祝いしましょう！

UNESCO  
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

2019  
IYPT  
International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

声明の周期表は、化学、物理学、生物学、地学、天文学などの相応の自然科学の進歩とそれに伴う科学技術の発展に多大なる影響を及ぼしてきました。2019年は、ドミニク・メンデレーフが元素の周期律を発見してから150周年の記念すべき年になります。また、様々な元素の質量、同位体存在率、元素名などを決定してきた国際純正・応用化学会(IUPAC)が設立100周年を迎えます。このような背景の下、国際連合教科文組織において2019年を国際周期表年(International Year of the Periodic Table of Elements: 通称IYPT2019)として祝うことが宣言され、UNESCOがその推進をリードします。国際周期表年(IYPT2019)は、周期表の発展を祝うだけではなく、自然科学の発展が人間社会にもたらした功績を称えるうえでも重要な年となります。

**IYPT 2019 イベント例**

1月 29日(火): 開会式(パリ)  
2月 8日(金): 開会式(ロシア)  
メンデレーエフの誕生日  
3月 17日(日): 日本物理学会年会(九州大学)・  
日本化学会春季年会(甲南大)  
連携シンポ  
12月 5日(木): 閉会式(東京)

**国際若手貢献者賞**

国際若手貢献者賞 (118元素賞) について

国際純正・応用化学連合 (IUPAC) と国際若手化学者ネットワーク (IYCN) の共同により、118名の優秀な若手化学者が選ばれ、2019年パリで開催される記念式典にて118元素の若手貢献賞が授与される事になりました。我が国からも多数の若手化学者の推薦がなされることが強く望まれます。この賞は、IYPT2019とIUPAC100の二者を祝う記念事業の一環とし、IUPACとIYCN (国際若手化学者ネットワーク) の共同により、現在、候補者の受付と選考が進められています。Periodic Table of Younger Chemistsがその呼称であり、直訳すると「若手化学者の周期表」などとなります。候補者の推薦受付は既に開始されており、2019年6月には選考過程を完了し、同年7月にはパリで開催される記念式典で授与式が行われる予定です。

本賞はIUPACの掲げる目標の達成に貢献した者、国連の掲げる持続可能な開発目標 (Sustainable Development Goals: SDGs) の達成に貢献した者、化学の重要性を世に広めることに貢献した者、化学産業の多様化に貢献した者、化学教育・広い意味での科学教育の発展に貢献した者、化学関連の境界領域研究の開拓や異分野融合の発展に貢献した者の中から選ばれる予定です。IUPACの成員機構には、優れた研究の推進に加え、国際社会における化学者間の対話強化、情報透明性の向上、化学の多様性と倫理観の向上などがある。SDGsには、飢餓・病気治療、水浄化、衛生問題、環境問題、エネルギー問題などの解決があります。化学を専攻する学部生、大学院生（高校生以下は除く）、化学を学び学生、修士、博士を取得した者、化学産業に従事する者が対象となります。40歳までの若手が対象となります。自薦・他薦を問わず応募が可能です。関係する若手化学者の方々には是非ともチャレンジしていただきたいと思います。

**ACS機関誌 C&EN  
2019年1月号**

**PERIODIC TABLE**

The periodic table is an icon. But chemists still can't agree on how to arrange it

Now data about the elements and their relationships have led to debate over the 150-year-old table's optimum ordering

By Sam Jozwiak  
January 1, 2019 / APPEARED IN VOLUME 91, ISSUE 1

Creator: Yang X. Bai/Chem3D

**O**ne hundred fifty years after Russian chemist Dmitri Mendeleev published his system for neatly arranging the elements, the periodic table it gave birth to hangs in every chemistry classroom in the world and is a familiar icon to most people. But the solid squares and familiar patterns of today's table mask one of its fundamental characteristics: "the periodic table does not have a table." It has evolved from the beginning. Not only has it grown as new elements have been discovered, it has also added new columns and rows. In the process, we have gained new understanding of the elements' properties and their relationships to one another. And scientists are not done; they continue to refine the table. Others think a more fundamental principle is needed, like

**IYPT**  
**INTERNATIONAL  
YEAR OF THE  
PERIODIC TABLE**

**Periodic-Table Table**

**Periodic-Table Tablecloth**

**Periodic-Table Tablemat**

**c&en**

**"I Spy a Periodic Table"**  
Photo Contest

In celebration of the International Year of the Periodic Table, show us your periodic table! Your photo could be selected to win a periodic table-themed prize and be featured in our weekly magazine. These photos could take place in the kitchen, at the beach, or anywhere you find your favorite periodic tables across the globe. Get some inspiration here!

Photo credits from left to right: University of Mysore, Dept. of Chemistry, Celia Arnett/C&EN, Weiguo Su/University of Arizona (GAD), Katie Bourne/C&EN

**IYPT  
2019**

International Year of the Periodic Table of Chemical Elements

**国際周期表年2019**

**分子磁性国際会議 (ICMM 2014) @ サンクトペテルブルク  
研究会参加は学生も!**

ここ!  
シベリア  
サンクトペテルブルク  
ロシア連邦

**エルミタージュ美術館(元宮殿)**

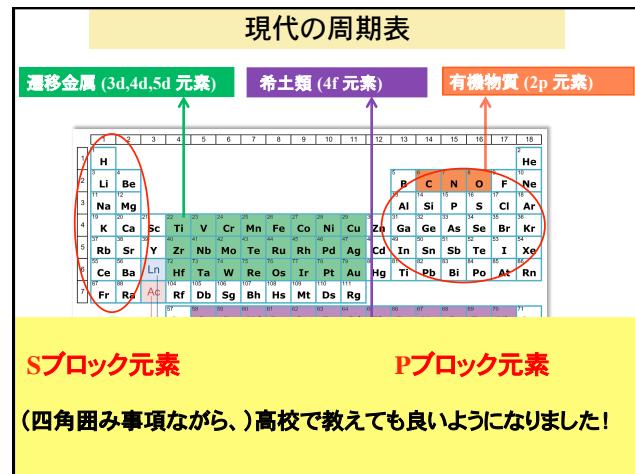


## ミニ「ロシア語講座」

アルファベットの置換で読めるものが多い。  
特に外来語は意味もわかる。

P → R; C → S; П → Р; Н → Н; Л → Л; Д → Д;  
В → В; Б → Б

РЕСТОРАН ⇒ レストラン  
СТОП ⇒ 止まれ  
СПАСИБО ⇒ スпасибо  
ありがとう

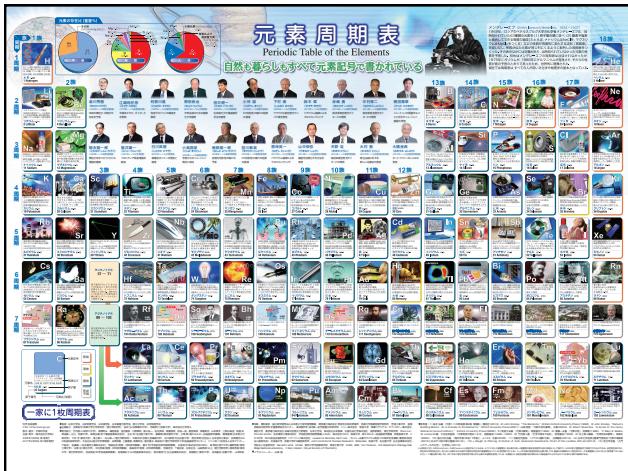


s, p, d, f という原子軌道関数の  
形状やエネルギー  
Magic Number (2, 8, 18 ...) は  
物理数学的結論

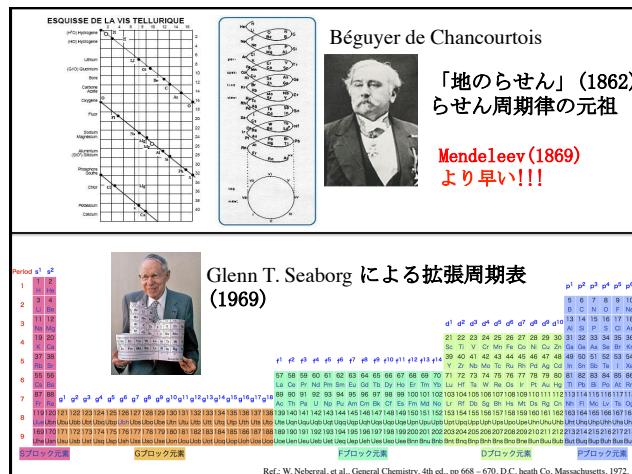
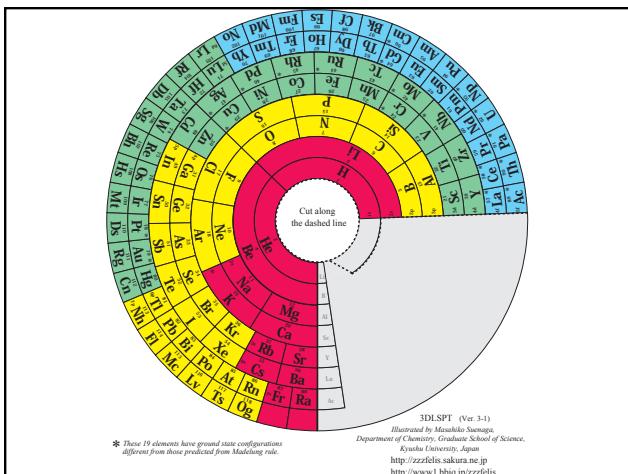
Google 一気に1枚周期表  
約 46,000 件 (0.26 秒)

pdfデータを無料配布中@文部科学省や日本化学会





エレメンタッチ @ 京大生協購買部



2018年4月13, 20日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないイントロ～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://ttf.pc.uec.ac.jp/>

## 記憶する分子の作り方

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)

### 目次

-  (1) 材料科学とは
-  (2) 磁気化学の材料への応用  
記憶する分子

### たとえば、ノートパソコン

1. 液晶ディスプレイ(有機EL、フィルタ)  
2. バッテリー(ポリアニリン、ラジカル)  
3. DVD-R, BD-R, -RW(光反応性色素)  
4. スピーカ(平面振動板)  
5. 回路基板、フレキシブル基板  
6. リソグラフィ技術(フォトレジスト)etc.

フラーレン C<sub>60</sub> (Soccerball molecule)

固体は煤そのもの  
溶液は鮮やかな紫



フラーレン C<sub>60</sub> のアルカリ金属塩  
(M<sup>+</sup>)<sub>3</sub>(C<sub>60</sub>)<sup>3-</sup> 超伝導体になる

化合物	結晶構造	格子定数 (nm)	T <sub>c</sub> (K)
K <sub>3</sub> BC <sub>60</sub>	sr (< 313K)	1.4028	3.5
K <sub>3</sub> CaC <sub>60</sub>	sr (< 299K)	1.4046	12
K <sub>3</sub> RB <sub>2</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.4337	27
K <sub>3</sub> Li <sub>2</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.4267	23
K <sub>3</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.4232	24
K <sub>3</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.4240	19.3
Rb <sub>3</sub> BC <sub>60</sub>	fcc	1.4555	33 (最高T <sub>c</sub> )
Rb <sub>3</sub> CaC <sub>60</sub>	fcc	1.4481	31.3
Rb <sub>3</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.4384	29
Ca <sub>3</sub> C <sub>60</sub>	sr	1.4010	8.4
Sr <sub>3</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.0975	4
Ba <sub>3</sub> C <sub>60</sub>	fcc	1.1171	7

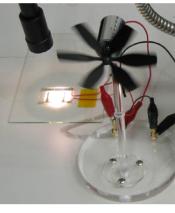
有機超伝導転移温度の記録保持者!

01 次世代太陽電池の高効率化に挑む!

http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/2009/2010-02/page07.html

●エネルギーの変換効率を世界最高レベルに  
●新開発の電子供与体と受容体の出会いが理想的な構造を生む

太陽電池でファンを回すデモ



AI (80nm)  
エキシントン遮止層  
n-層 (60nm)  
I-層 (70nm)  
p-層 (25nm)  
バッファ層  
ITO (145nm)  
glass

SIMEF + BP

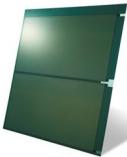
三菱化学・東大中村研

日経テクノロジーオンライン メガソーラー 発電事業を成功に導く エネルギー

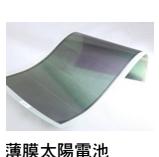
2014/03/25 11:06

三菱化学と大成建設、有機薄膜型太陽電池をビル用外壁材に一体化

三菱化学と大成建設は3月24日、有機薄膜太陽電池を用いた発電する建物外壁ユニットを共同開発し、性能評価のための実証試験を始めると発表した。



太陽光パネル



薄膜太陽電池



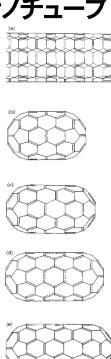
建設が進む「実証棟」(完成イメージ)

サッカーボール分子、C<sub>60</sub>  
ラグビーボール分子、C<sub>70</sub>

(a) C<sub>60</sub>  
(b) C<sub>70</sub>

「線は帳面に引け」 by Euler  
線の数 = 頂点の数+面の数-2

どんなフラーレンにも  
正五角形が12個ある



ASCII24 飯島 澄男 NEC特別主席研究員  
1963 電気通信大学通信学科卒業

NECなど、カーボンナノチューブ電極採用の携帯機器向け燃料電池を開発  
2001年8月30日

日本電気(株)らは、カーボンナノチューブの一種である“カーボンナノホーン”を電極に採用した携帯機器向けの小型燃料電池を開発した。エネルギー密度がリチウム2次電池の10倍など、。




カーボンナノホーン

## 分子ワイヤー(導線)

カーボンナノチューブ、長さはいくらでも。  
数ナノメートルの直径をもつ

DNA が電導性があり、分子導線に使えるのではないかと言っている人もいる

3.4( $\pm 0.2$ ) nm  $\times 10 = 34$  nm  
DNA 二重らせん構造の STM 観察

## ポリアセチレン

白川英樹先生  
@筑波大(当時)

例えば酸化 ドープ

Chemical structures: Top row shows the neutral polyacetylene chain  $\cdots -C=C-C=C-C=C-C=C- \cdots$ . Bottom row shows the oxidized state where one carbon atom is oxidized to a positive radical cation  $\cdots -C=C-C=C-C=C^+-C=C- \cdots$ .

### 実用例：光電導体(OPC；光照射により導通する物質)

#### コピー機・レーザープリンタの原理

電子写真プロセス概念図

黒いところ → 露光されない → 静電気残る  
白いところ → 露光される → 静電気失う

### 有機材料が大活躍：

1) 感光体：O P C (Organic Photoconductor)  
有機化合物は静電気を帯びる性質をもつが、OPC は光が当たると導通し、静電気を失う。キャリヤ生成材、キャリヤ輸送材、電荷制御材はすべて有機化合物。

ビスマス系

2) カラートナー Y M C K

### 電導体、磁石、 これまで無機物に特有と思われてきた性質

なぜだろ？どうしてだろ？  
この性質の起源、発現の原理を解き明かす  
(ここを「勉強」する必要がある)

有機物にも、  
これらの性能を付与できるようになる

後に立つ画期的新材料の開発へ進む

2019年4月12, 19日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないイントロ～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://tfpc.uec.ac.jp/>

### 記憶する分子の作り方

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)

目次

(1) 材料科学とは

(2) 磁気化学の材料への応用  
記憶する分子

とその前に。。。磁石は地球を救う

Category	Percentage
IT機器	4.7%
その他	14.7%
2005年 総使用電力量	9996億kWh
電熱	9.5%
照明	13.6%
空調・冷蔵関連	24.4%
モーター	32.9%
モーターと照明で 総電力の 約7割を消費	
モーターで 57.3%の 電力を消費	

（日経エレクトロニクス）

The diagram illustrates the magnetic refrigerator cycle. It shows a sequence of five stages: 1. Compressor cooling (blue cylinder), 2. Compression (red cylinder), 3. Heat release (grey cylinder), 4. Expansion (blue cylinder), and 5. Heat uptake (blue cylinder). Below the cycle, a series of five panels show the magnetic state of a material: 1. Magnetic cooling (blue grid), 2. Magnetising (red grid with S pole at bottom), 3. Heat release (grey grid with S pole at bottom), 4. Demagnetising (blue grid with S pole at bottom), and 5. Heat uptake (blue grid with S pole at bottom). The photograph shows a large cylindrical prototype device with various ports and a cooling coil.

役にたつ磁石  
～磁気冷凍機

フロンガス等不要  
コンプレッサー不要  
低振動、低騒音

昔は超低温の技術  
今は室温動作の冷蔵庫、  
冷凍庫、空調へ

ここに希土類磁石を応用

試作品(中部電力)

役にたつ磁石～ナノテクノロジー材料

単分子磁石は情報記録メディアの究極のダウンサイ징

$[\text{Dy}_2\text{Cu}_2]_n$  (磁気的に一次元の鎖状錯体)

一本の鎖で磁気ヒステリシスを示す  
磁化容易軸は鎖方向

side-view      top-view

これをもしHDDに使ったら？

ナノスケール 棒磁石

100 Tbits /  $\text{cm}^2$  (予想)  
platte一面につき 1 Pbit!  
P(ペタ)は T(テラ) の1000倍

# 反磁性と常(強)磁性を分けるもの

## モーゼ効果(反磁性)

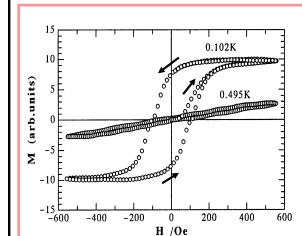
# 反磁性と常(強)磁性を分けるもの

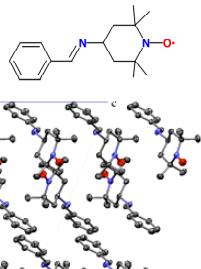
## 磁気浮上(反磁性)

**強磁性体（磁石）の例** **奇数電子「ラジカル」**

『有機磁石』世界で第三番目  
電通大発の研究です！

転移温度 0.17 K



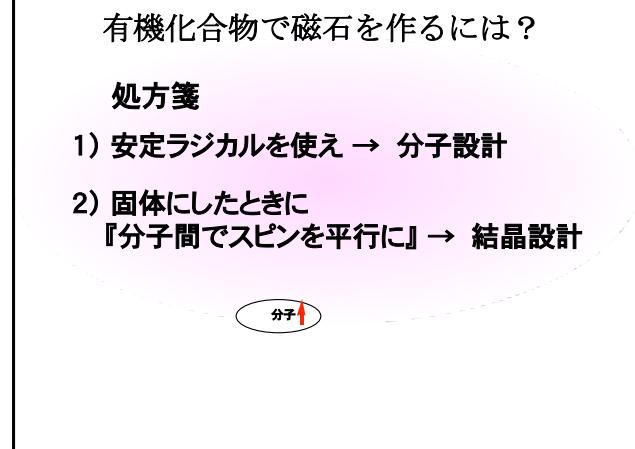


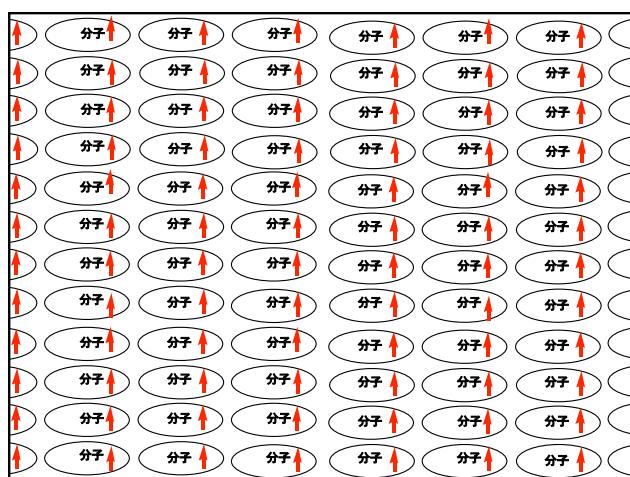
構造解析 → スピンの平行配置の理由

有機化合物で磁石を作るには？

**処方箋**

- 1) 安定ラジカルを使え → 分子設計
- 2) 固体にしたときに  
『分子間でスピンを平行に』 → 結晶設計





2019年4月12, 19日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないintro～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://ttf.pc.uec.ac.jp/>

**記憶する分子の作り方**

石田尚行 (基盤理工学科/専攻、化学生命工学プログラム)

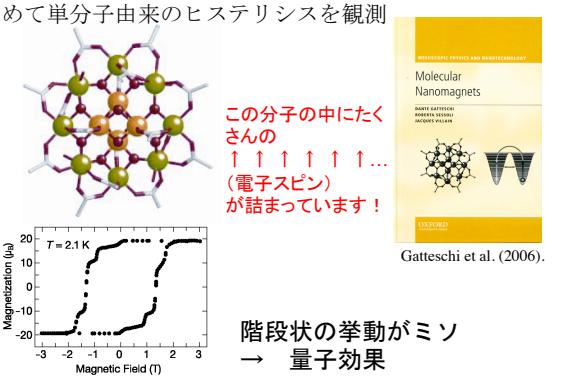
目次

(1)  材料科学とは

(2)  磁気化学の材料への応用  
記憶する分子

**単分子磁石**

$[\text{Mn}_{12}]$  単分子磁石 (Gateschi et al., *Nature* 1993, 365, 141)  
初めて単分子由来のヒステリシスを観測



階段状の挙動がミソ  
→ 量子効果

**単分子磁石**

$[\text{Mn}_{12}]$  単分子磁石 (Gateschi et al., *Nature* 1993, 365, 141)

**単分子で見られる磁気ヒステリシス**

- (1) 1分子が磁石(単磁区)として振る舞う.
- (2) 量子効果は、量子コンピューターへ応用.
- (3) 各分子は磁気的に孤立.

したがって、分子内の性能の評価に最適  
(磁気異方性や交換相互作用の定量とか)

### 役にたつ磁石～ナノテクノロジー材料

単分子磁石は情報記録メディアの究極のダウンサイ징

$[Dy_2Cu_2]_n$  (磁気的に一次元の鎖状錯体)

一本の鎖で磁気ヒステリシスを示す  
磁化容易軸は鎖方向

これをもしHDDに使ったら?

ナノスケール棒磁石

100 Tbits / cm<sup>2</sup> (予想)  
プラッター1面につき 1 Pbit!  
P(ペタ)はT(テラ)の1000倍



### 合成室

NMR  
元素分析  
MS  
IR  
UV/Vis  
CV  
...  
いろいろ使う

有機・無機の垣根はありません

### ESRスペクトロメータ

分子性磁性体の電子スピン状態の解明

### X線結晶構造解析

結晶中の原子配置が正確に求まる

### 磁気測定

磁化率、磁化曲線  
1.8 Kから室温まで、磁場は7 Tまで

PPMS (多目的システム)

比熱、電気伝導性、交流磁化率、など 室温~1.9 K, 磁場 9Tまで

熱力学の教えるところによれば、  
同温、同压、同体積、同物質量の同物質は、  
同一の熱力学的エネルギー状態をもつ  
経路によらないエネルギー：「ポテンシャル」

磁気モーメント  $\mu$  が  
磁場  $H$  の中に置かれたとき、  
$$U = -\mu \cdot H$$

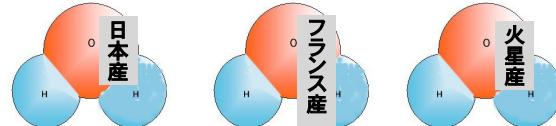
バネによる  
位置エネルギー  
$$U = (1/2)k x^2$$

### 熱力学の教えるところによれば、

同温、同圧、同体積、同物質量の同物質は、同一の熱力学的エネルギー状態をもつ

経路によらないエネルギー：「ポテンシャル」

分子が、二つ（以上）の値（エネルギー状態）を持つとしたら、この原理に反する。



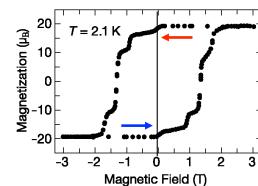
名札を付けているわけでもないから、区別付けられない

### 熱力学の教えるところによれば、

同温、同圧、同体積、同物質量の同物質は、同一の熱力学的エネルギー状態をもつ

経路によらないエネルギー：「ポテンシャル」

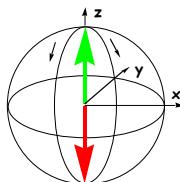
分子が、二つの値（エネルギー状態）を持つとしたら、この原理に反する。



右から来たときと  
左から来たときで  
違う値を持ってよい？

### 単分子磁石の秘密

異方性：特定の方向を向くのが好きだったり嫌いだったり



#### 異方性の3つの型

1. 軸異方性
2. 面異方性
3. 等方的

⇒ エネルギー障壁：  $|D|S_z^2$

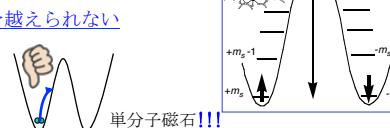
$D < 0$  ; 軸異方性

### 分子にどうやって記憶を植え付けるのか？

答：単分子磁石を使え

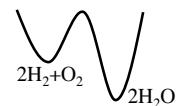
#### 『Arrhenius 挙動』

- 热活性型にエネルギー障壁  $\Delta$  を乗り越える
- 低温になると  $\Delta$  を越えられない



準安定状態 vs 真の安定状態（極小 vs 最小）

例)  $H_2$ と $O_2$ を混合して、何年も放置しても水にならない。  
エネルギー障壁を乗り越えられないから。



### 分子にどうやって記憶を植え付けるのか？

答：単分子磁石を使え

磁化が反転するのに活性化エネルギーを要することは



を乗り越えるという図解そのもの

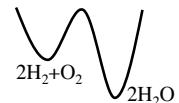
#### 非平衡状態が前提

山が低ければ速やかに、山が高ければ遅く、安定状態へ緩和する。

準安定状態 vs 真の安定状態（極小 vs 最小）

例)  $H_2$ と $O_2$ を混合して、何年も放置しても水にならない。

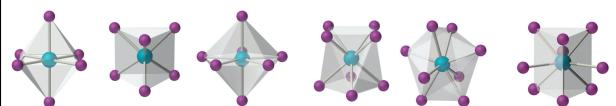
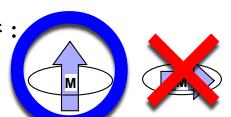
エネルギー障壁を乗り越えられないから。



### この目的のために、希土類イオンが向いている

単分子磁石であるための必要条件：

- 1) スピン量子数が大きい
- 2) 軸異方性が強い



ここへイビツな結晶場（配位場）を導入すると  
電子分布が円盤型になったりラグビー型になったり

この目的のために、希土類イオンが向いている

单分子磁石であるための必要条件：

- 1) スピン量子数が大きい
- 2) 軸異方性が強い

イオンや原子のもつ磁化の3タイプ：

「一方向を向くのが好きだが、他の二方向はいやだ」（軸異方性）

「二方向を向くのが好きだが、他の一方向はいやだ」（面異方性）

「どの方向を向くことに、特に選り好みはしません」（等方性）

電通大発の单分子磁石！

周期表の一部

大きなスピンと異方性をもつ

**Dy - Cu - Dy**

$J = 15/2, S = 1/2, J = 15/2$

$M (\mu_B)$  vs  $H (T)$

重希土類

電通大発の单分子磁石！

希釈した孤立分子でも、磁気ヒステリシスを示す。量子効果も認められる。

↓

单分子磁石の証明

**Dy - Cu - Dy**

$J = 15/2, S = 1/2, J = 15/2$

$M (\mu_B)$  vs  $H (T)$

電通大発の单分子磁石！ **[DyCuDy]** のヒステリシス

$H < 0.2$  Tでステップ構造が見え、この出現場所は温度と磁場掃引速度に依存しない

→ 磁化の量子トンネル

$dM/dH$  vs  $H$

← 磁化のジャンプを詳細に調べるために、微分  $dM/dH$  をとったもの

磁化の量子トンネル

$S^z$  : 磁気モーメントの大きさの量子数  
 $D$  : 磁気異方性の大きさ

$\Delta = D S^{z^2}$

$M_s = S - 1$   $M_s = S$   $M_s = -S$   $M_s = -S + 1$

ゼロ磁場ではモーメントは2つの井戸に等しく存在

両井戸の準位が一致したときにトンネルが起こる

磁化の量子トンネル

$S^z$  : 磁気モーメントの大きさの量子数  
 $D$  : 磁気異方性の大きさ

例 :  $[\text{Mn}_{12}]$  (Gatteschi et al.)

$M_s = S - 1$   $M_s = S$   $M_s = -S + 1$   $M_s = -S$

両井戸の準位が一致したときにトンネルが起こる

单分子磁石の証明

希釈した孤立分子でも、磁気ヒステリシスを示す。量子効果が見えたならなおよい。

しかし、測定はまだバルクのサイズに頼っているところに難点がある。  
(单分子へのアクセスは技術的問題)

電通大発の单分子磁石！

履歴を持つ、記憶を持つ「分子」：賢い！

現代の周期表

周期表は化学/科学のバイブル  
s, p, d, f という原子軌道関数  
性質(形状、エネルギー)の理解  
に努めましょう

2019年4月12, 19日(金)2限「化学概論第一」～肩の凝らないイントロ～  
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: <http://tf.pc.uec.ac.jp/>

まとめ

1) 材料科学とは  
Materials Chemistry  
テクノロジー指向の物質科学

2) 磁気化学の材料への応用  
記憶する分子は可能  
希土類等による「单分子磁石」

Take-home message

資源のとれない国の生きる道は加工貿易

⇒ 技術力において世界のリードをとる

⇒ 科学技術の「底力」とはなにか？

⇒ 基盤技術が最先端を創る！