

「はじめに」に替えて、工学者7か条（一部）

- 1) 時間を守れ
- 2) 何かのプロフェッショナルたれ
- 3) 頼まれた仕事は全て引き受けろ
- 4) 話は最後まで聞け
- ・
- ・
- ・

出典「工学部ヒラノ教授」今野 浩著（2011）



2018年9月18,19日（火水）神戸大学 集中講義
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: http://tuf.pc.uec.ac.jp/

電気通信大学 III類 基盤理工学専攻 化学生命工学プログラム
石田尚行



（1）磁場と磁石

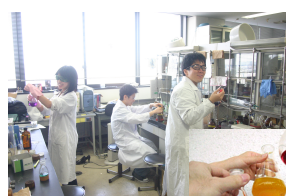


（2）磁気化学の医工学への応用
脳科学



（3）新奇磁性材料

研究ではどう装置を使うの？



合成実験室



単結晶X線結晶構造解析



磁気測定装置
(SQUID)



ESR
(電子スピン共鳴)

蒸留技術の視察@サントリー、白州



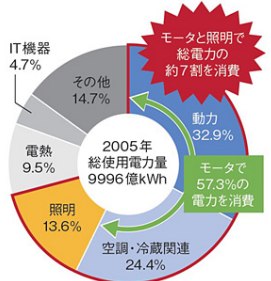
合宿: 体力は重要



学会お出かけも

役にたつ磁石～モーター

日本の総消費電力量の約60%はモーター(動力)が使っています。その損失を10%減らすことができれば、総消費電力量の約6%を削減できます。これは、原子力発電所10基分に相当します。



(日経エレクトロニクス 2010)

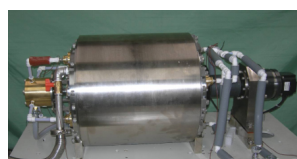
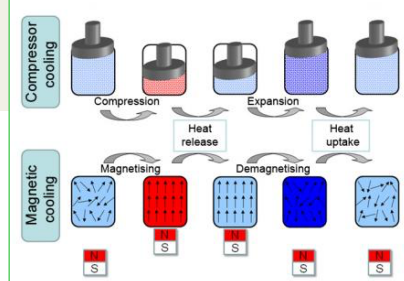


高トルクモーターには高性能磁石が入っている。
Nd-Fe-B, Sm-Co etc.

(トヨタ自動車から)

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



試作品(中部電力)

昔は超低温の技術
今は室温動作の冷蔵庫、
冷凍庫、空調へ

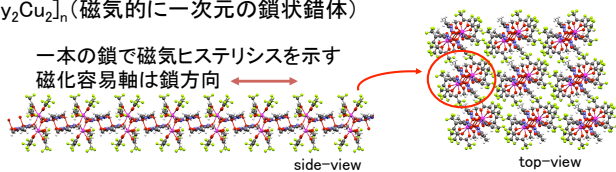
ここに希土類磁石を応用

役にたつ磁石 ～ナノテクノロジー

単分子磁石は情報記録メディアの究極のダウンスライジング

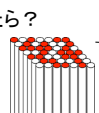
$[\text{Dy}_2\text{Cu}_2]_n$ (磁氣的に一次元の鎖状錯体)

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^2 (予想)
プラッター1面につき 1 Pbits !
P(ペタ) は T (テラ) の1000倍

反磁性と常(強)磁性を分けるもの

電子の性質 { 電荷 → 電気伝導性
磁荷 → 磁性

荷電粒

ふつうの、

磁性(引き寄せる, られる) は
不対電子(奇電子)のおかげ

磁性

普通、電子は
偶数電子系

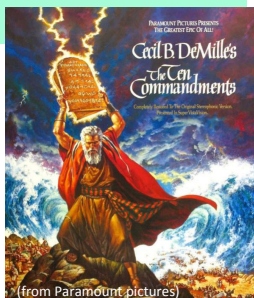
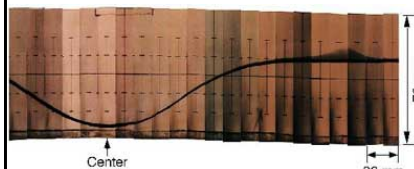
反磁性の応用



水分子は反磁性

“Moses's effect”

強磁場により、水面が割れる



反磁性の応用



生体分子はほとんど反磁性

磁気浮上

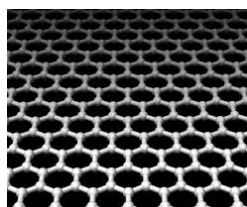
Prof. Andre Geim
(Univ. of Manchester, UK)
Prof. Michael Berry
(Univ. of Exeter, UK)
イグノーベル賞 2001年共同受賞

“Of Flying Frogs and Levitrons”, M.V. Berry and A.K. Geim, *European Journal of Physics*, 18, 307-13 (1997).



反磁性の応用

Prof. Andre Geim
Dr. Konstantin Novoselov
(Univ. of Manchester, UK)
2010年のノーベル物理学賞を
共同受賞



グラフェン:
原子厚みのハニカム格子

“Discovery of Graphene”, M.V. Berry and A.K. Geim, *APS News*, 22, Oct. 2004.
参考: Kroto, Curl, Smalley ら1996年
ノーベル化学賞「フラーレンの発見」

磁性材料に使えるスピン源 = (奇)電子
つまり、遷移金属 d スピン、希土類 f スピン、
有機ラジカル p (π) スピン

原子核(偶々核以外)もスピンを持つ。
しかし、磁性材料に使えないくらい磁化が弱い。
一方、
核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance) の
ように分光分析手法として大きく発展した
技術がある。



2018年9月18,19日（火水）神戸大学 集中講義

E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: http://tlf.pc.uec.ac.jp/

電気通信大学 III類 基盤理工学専攻 化学生命工学プログラム

石田 尚行



(1) 磁場と磁石



(2) 磁気化学の医工学への応用
脳科学

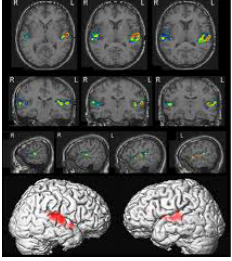


(3) 新奇磁性材料



MRI 装置

脳科学／医工学
イメージング
非侵襲的脳機能計測



BOLD 効果を使った
脳の活性部位のマッピング

考えるだけで、機械を動かす？
睡眠中の夢を、別の人が見る？

近い将来、可能になるでしょう

ゼーマン効果とは



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

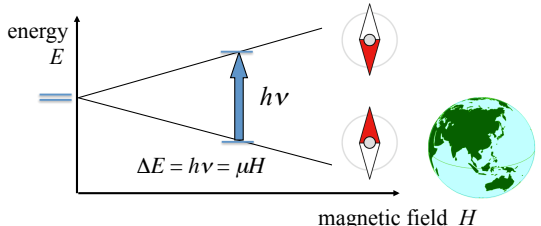
参考
 電気モーメント(分極) p が電場 E の中に置かれたとき、
 $U = -p \cdot E$

$$\Delta E = h\nu \quad (\text{光子のエネルギー})$$

$$= \mu H \quad (\text{ゼーマン分裂エネルギー})$$

磁気共鳴でもっとも基本中の基本の方程式：
 光は振動数に比例、磁性エネルギーは磁場に比例

ゼーマン効果とは

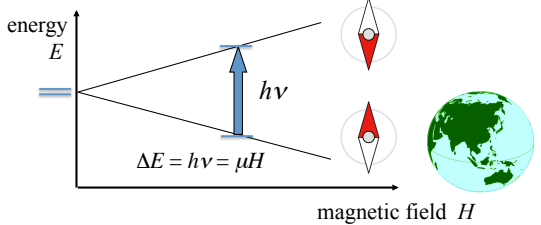


$$\Delta E = h\nu \quad (\text{光子のエネルギー})$$

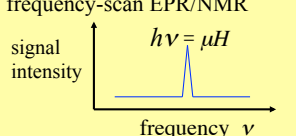
$$= \mu H \quad (\text{ゼーマン分裂エネルギー})$$

磁気共鳴でもっとも基本中の基本の方程式：
 光は振動数に比例、磁性エネルギーは磁場に比例

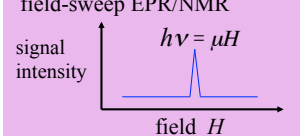
ゼーマン効果とは



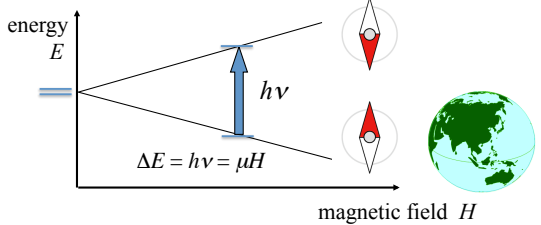
frequency-scan EPR/NMR



field-sweep EPR/NMR



ゼーマン効果とは



$$\Delta E = h\nu \quad (\text{光子のエネルギー})$$

$$= \mu H \quad (\text{ゼーマン分裂エネルギー})$$

核磁気共鳴の原理 → NMR → MRI → fMRI
 核は小さな磁石です! (電子スピン共鳴も原理は同じ)

f MRI の話 functional Magnetic Resonance Imaging

ヘモグロビン

結晶構造

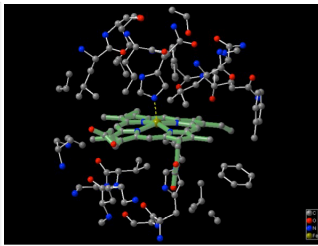
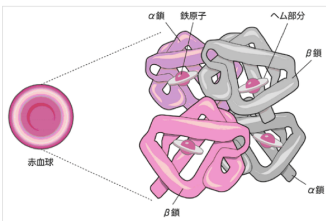
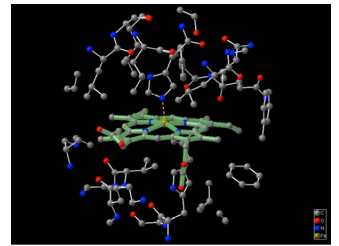
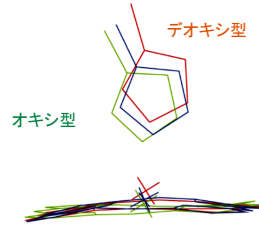


図10 ヘモグロビンの構造

ヘモグロビンは4つのサブユニットから構成されています。各サブユニットは、ヘム部分とグロビンと呼ばれるタンパク質部分（α鎖、β鎖）が融合したものです。このヘム部分に1つの酸素分子が結合することで、ヘモグロビン1分子は酸素を4分子運ぶことができます。

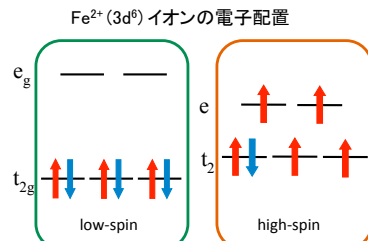
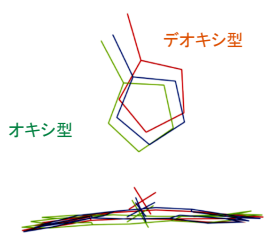
f MRI の話 functional Magnetic Resonance Imaging

結晶構造

Figure 4
Haem environment of the α-subunit of native deoxy (red), molecule 1 of deoxy 90% r.h. (blue) and oxy (green) structures.

第六座に酸素分子が配位すると(オキシ型) Fe^{2+} low-spin
酸素分子がない五配位だと(デオキシ型) Fe^{2+} high-spin

f MRI の話 functional Magnetic Resonance Imaging

磁性なし $S=0$ 磁性あり $S=2$ Figure 4
Haem environment of the α-subunit of native deoxy (red), molecule 1 of deoxy 90% r.h. (blue) and oxy (green) structures.

第六座に酸素分子が配位すると(オキシ型) Fe^{2+} low-spin
酸素分子がない五配位だと(デオキシ型) Fe^{2+} high-spin

f MRI の話 functional Magnetic Resonance Imaging

神経細胞の活動は酸素を必要とする。ヘモグロビンはデオキシヘモグロビンになる。それを補って余りある血流入があり、活動部はオキシヘモグロビン過剰になる。

活動部位

血流: 20~40%上昇

V

酸素消費量: 5%上昇

BOLD 法

(blood oxygenation level dependent effect)

MRI は ^1H を検出する: 核のスピンを用いる技術。

Fe^{2+} (やヘモグロビン) を直接検出することはないが、 Fe^{2+} の電子スピンから受ける影響を検出することができる

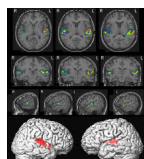
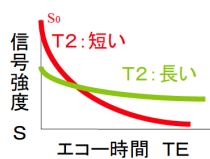
^1H の周りが反磁性や常磁性に偏ると、緩和時間を利用したコントラスト強調で視覚化

f MRI の話 functional Magnetic Resonance Imaging

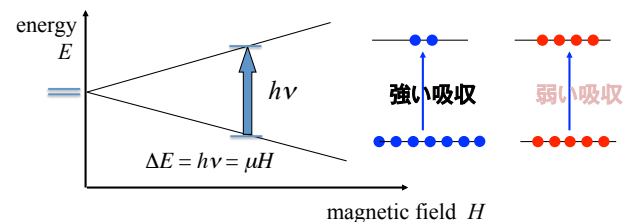
スピン-スピン相互作用

磁石の近くに磁石を置いたら、影響が現れて当然。
(核) (電子)

周辺に常磁性体があると、磁化が速く緩和するようになる
(正確には T_2 緩和といわれる)。
速い緩和により、強いシグナルを得る (明部)



緩和速度と核磁気共鳴のシグナル強度の関係



光吸収の強度は、2 準位の分子数比に依存する。
熱エネルギーを放出して、「落ちてくる (緩和)」
緩和が速いとき、吸収シグナルは強い
遅いとき、弱い

考えるだけで、機械を動かす
睡眠中の夢を、別の人が見る

ジャーナルの表紙

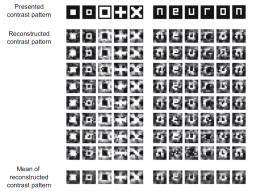
電気通信大学
先端領域教育研究セ
宮脇陽一准教授

発火の検出と
AI学習

BOLD 効果を使った脳の活性部位のマッピング

fMRI を用いて視覚情報を再現したもの





2018年9月18,19日（火水）神戸大学 集中講義
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: http://tuf.pc.uec.ac.jp/
電気通信大学 III類 基盤理工学専攻 化学生命工学プログラム
石田尚行

（１）磁場と磁石

（２）磁気化学の医工学への応用
脳科学

（３）新奇磁性材料



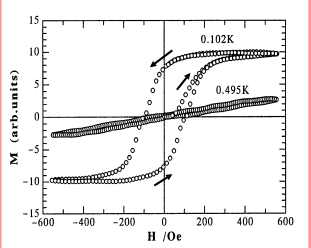
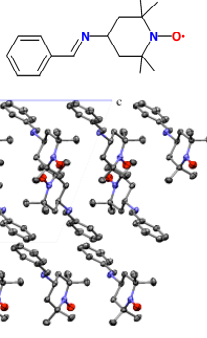


強磁性体（磁石）の例 奇数電子「ラジカル」

『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

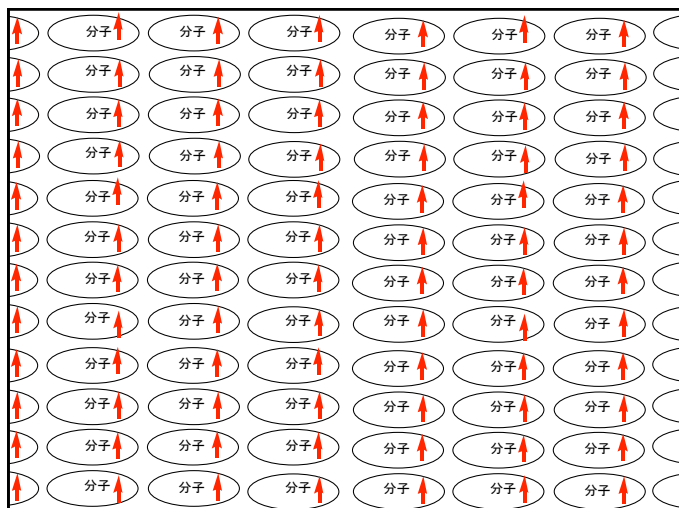



有機化合物で磁石を作るには？

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

2018年9月18,19日（火水）神戸大学 集中講義
E-mail: takayuki.ishida@uec.ac.jp, HP: http://tuf.pc.uec.ac.jp/
電気通信大学 III類 基盤理工学専攻 化学生命工学プログラム
石田尚行

（１）磁場と磁石
反磁性の応用/擬似無重力状態

（２）磁気化学の医工学への応用
脳科学 核スピンの利用/緩和

（３）新奇磁性材料
電子スピン:常磁性から強磁性



