

## 体験学習用資料 "電気を流す有機物"

Instructional Aids for Experienced-based Learning Course,  
"Conducting Organic Materials"矢持 秀起<sup>1</sup>, 大塚 晃弘<sup>1</sup>, 中野 義明<sup>1</sup>, 常見 俊直<sup>2</sup>, 川添 達朗<sup>3</sup>

京都大学 低温物質科学研究センター

京都大学大学院 理学研究科 学術推進部 社会交流室

京都大学 学際融合教育研究推進センター 高大接続科学教育ユニット

Hideki Yamochi<sup>1</sup>, Akihiro Otsuka<sup>1</sup>, Yoshiaki Nakano<sup>1</sup>, Toshinao Tsunemi<sup>2</sup>, Tatsuro Kawazoe<sup>2</sup><sup>1</sup> Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University<sup>2</sup> Research Advancement Division, Graduate School of Science, Kyoto University<sup>3</sup> Education Program for Laureate Students with a Cross formed by Academic Curiosity and Science, Kyoto University

In these days, many universities open the enlightening courses for the youth. Graduate School of Science, Kyoto University offers the course for the high school students, in which not only the lectures but also the experiences of experiments are provided. This document shows the instructional aids for a course carried out in the fiscal year 2014. In this class, the basic concepts to understand the conducting organic materials are explained and then the trainees prepared the metallic charge-transfer complex (TTF)(TCNQ) along with the insulator, (TTF)(Chloranil) which changes the color by cooling in liquid nitrogen.

## 1. はじめに

近年, 大学入学以前の若い世代への啓蒙活動として, 公開講座などを開講する大学が増えています. 京都大学でも, 受講生自らが実験を行う体験型学習講座を開講しています. この文書では, 低分子量有機物が導電性を示す物質群 (分子性導体) を扱う研究室が提供した学習講座で用いた資料を紹介します.

## 2. 最先端科学の体験型学習講座(ELCAS)について

本記事に対応する公開講座は, 京都大学大学院理学研究科が高校生を主な対象とした取組みとして催しているELCASの一環として, 受講生を研究室に配置して実施されたものです. ELCASでは理数分野に関して卓越した才能のある生徒について, さらに意欲・能力を伸ばす体系的教育プログラムの開発および実施を行っています. また, この活動を通して, 小中高等学校の先生方や保護者の方に理系職業や進路の魅力伝える事業でもあります. ELCASの活動によって, 「自然科学の基礎体系の深い習得とそれを創造的に展開する能力」および「個々の知識を総合化し新たな知的価値を創出する能力」を有した優れた研究者あるいは責任ある職業人を育てていきます.

## 3. 学習講座と資料概要

受講生が高校生であることから, 実験に先立ち, 原子や分子の概念から出発し分子間を遍歴する伝導電子を発生させる電荷移動錯体の概念までを説明する講義行いました. 当日は使用したスライドを2枚でA4版1ページになるように縮小コピーしたものを配布しました. 本稿では, 1ページ当たり8枚に縮小したものを掲載しています.

この講義時間を使って, テトラシアノキノジメタン(TCNQ)の精製を演示実験として行いました. 本来は24時間程度かけて真空昇華を行うのですが, 講義開始前に粗成生物を受講生に見せ, 2時間弱の講義中に昇華を行い, そして講義終了直後に昇華を停止するという短時間でのデモンストレーションを行いました. 従って, 昇華されないままの試料が多量に残った状態で, 昇華された部分のみを使う手荒な実験になってしまいました. 予定通りの事とは言え, 受講生には原料試薬を無駄遣いする場面を見せることになってしまいました.

受講生自身にテトラシアフルバレン(TTF)とクロラニル(QCl<sub>4</sub>), および, TTFと演示実験で精製したTCNQを用いた電荷移動錯体の作製を行わせ, 導電性や温度変化に伴う色変化の観察を行ってもらいました. 手順は本稿の最後に掲載した通りです. 今回の学習講座では割り当て時間の都合により, 最後の"[5] 紫外-可視-近赤外スペクトルの測定"を体験してもらえない事では出来ませんでした, 参考のために本稿に含めておきます.

受講生に実験を行ってもらおうと, 導電性測定はる紙上の沈澱にテスター (マルチメーター) の端子を突き刺す手荒なやり方ではありましたが, (TTF)(TCNQ)錯体の測定を行った際には, 電気が流れるものを作ったことを直感的に理解できたことを喜んでくれたようでした. 一方で, 実験を計画した側としては(TTF)(QCl<sub>4</sub>)錯体を液体窒素で冷却した際の色変化についても驚いてくれることを期待していましたが, 濃緑色から黒褐色への変化は派手に欠けるためか, (TTF)(TCNQ)錯体の導電性に比べると受講生の感動は弱かった印象があります.

なお, 事後に提出してもらった感想文からは, 講義内容の理解については, 矢張り, 興味を持って聞いてくれた受講生と難解であったと感じた受講生が混在していました. 一方で, 実験については, 全受講生が興味を持ってこれを行ってくれた事が分かりました.

この記事が, 同様な体験学習型の公開講座を実施される研究者の皆様の参考になれば幸いです. 本記事では縮小コピーとなっていますが, 使用しましたスライドの原版は下記URLで公開しています. 適宜御参照下さい.

<http://mms.ltm.kyoto-u.ac.jp/yamochi/jpn/index.html#elcas>

京都大学大学院理学研究科 最先端科学の体験型学習講座 (ELCAS)

### 電気を流す有機物

〈低温物質科学研究センター〉分子性材料分科  
<http://mms.ltm.kyoto-u.ac.jp/index.html>  
<http://mms.ltm.kyoto-u.ac.jp/yamochi/jpn/index.html>

**はじめに**  
 原子の構造  
 イオン結合と共有結合  
 共有結合  
 分子のイオン化と多重結合  
 芳香族性  
 電気を流す有機物  
 何故ナフレンは電気を流さない?  
 電荷移動錯体  
 (TTF)(TCNQ)  
 絶縁化の抑制  
 最近楽しんでいること

### はじめに - 有機物は絶縁体?

比抵抗  $\rho = \text{抵抗値} \times \frac{\text{断面積}}{\text{長さ}}$  ( $\Omega\text{cm}$ )  
 伝導度  $\sigma = \frac{1}{\rho}$  ( $\text{Scm}^{-1}$ )

物質	比抵抗 $\rho$ ( $\Omega\text{cm}$ )
銀	$1.47 \times 10^{-8}$
銅	$1.55 \times 10^{-8}$
アルミニウム	$2.50 \times 10^{-8}$
金	$3.2 \times 10^{-8}$
鉄	$8.9 \times 10^{-8}$
ニクロム (Ni80, Cr20)	$10^{-6}$
グラファイト	$1.4 \times 10^{-5}$
セレン	$1 \times 10^2$
ゲルマニウム	$4.6 \times 10^{11}$
ソーダ硝子	$10^{13} \sim 10^{14}$
バイレックス	$10^{15} \sim 10^{16}$
二酸化ケイ素	$10^{21}$
酸化アルミニウム	$10^{22}$
(TTF)(TCNQ)	$2 \times 10^{-3}$
ポリアニリン	$5 \times 10^0$
Na(TCNQ)	$10^3$
テフロン	$10^{16} \sim 10^{19}$
ナフタレン	$10^{19}$

比抵抗値は, 日本化学会編, 化学便覧 基礎編 改訂版, 丸善, 2004, および日本化学会編 実験化学講座 1巻, 丸善, 1966より

### はじめに - 物質の構成要素

人間 1 ~ 2 m

細胞 1 ~ 100  $\mu\text{m}$

巨大分子  
 遺伝子(DNA) 直径 2 nm  
 (長さ: ヒトの染色体23対に含まれる遺伝子の総和で1-2 m)

低分子  
 ベンゼン(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>) 直径 600 ~ 700 pm

原子(水素原子) 100 pm = 1 Å

長さの単位

10<sup>0</sup> m    10<sup>-3</sup> mm    10<sup>-6</sup>  $\mu\text{m}$     10<sup>-9</sup> nm    10<sup>-10</sup> Å    10<sup>-12</sup> pm

### 原子の構造 - 原子核と電子の軌道

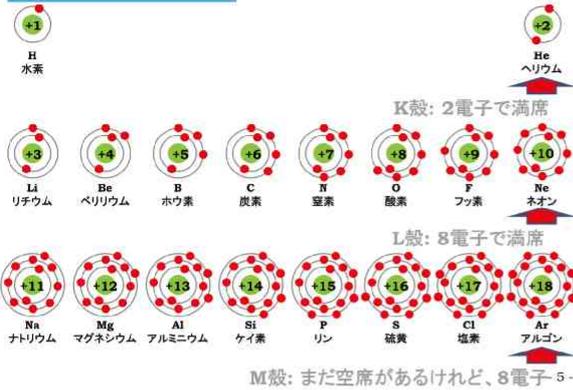
原子 古代ギリシャ原子論 = 分割できないもの  
 現在の理解 = 原子核 + 電子

原子核: 1 fm [ $10^{-15}$  m]の大きさ  
 ... 陽子(+1)と中性子

電子(-1): 原子核周りの軌道を回る  
 軌道の大きさが1 Å [ $10^{-10}$  m] 桁

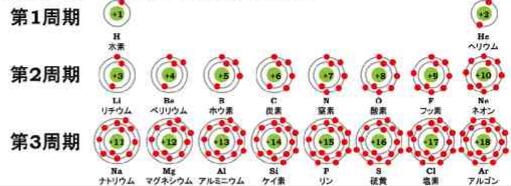
軌道  
 K殻 ... 2個までの電子を収容  
 L殻 ... 8個までの電子を収容  
 M殻 ... 18個までの電子を収容  
 内殻軌道ほど安定  
 K殻に近い程, 電子は居心地が良い

### 原子の構造 - 周期律

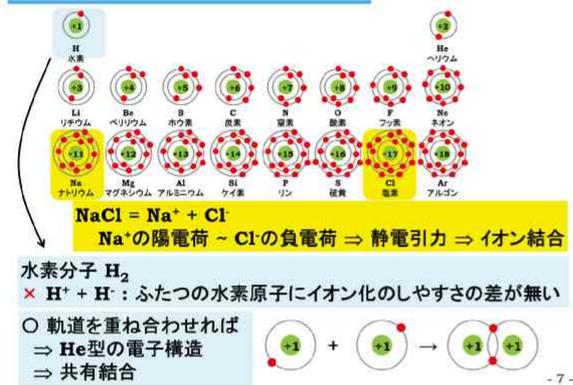


### 原子の構造 - オクテット則

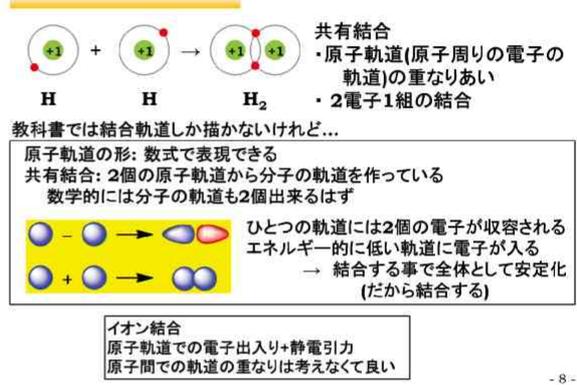
原子が電子を失う(受取る)と... 電荷を持った粒子(イオン)となる  
 電子を放出しやすい原子: リチウム, ナトリウム, ...  
 電子を受取りやすい原子: フッ素, 塩素, ...



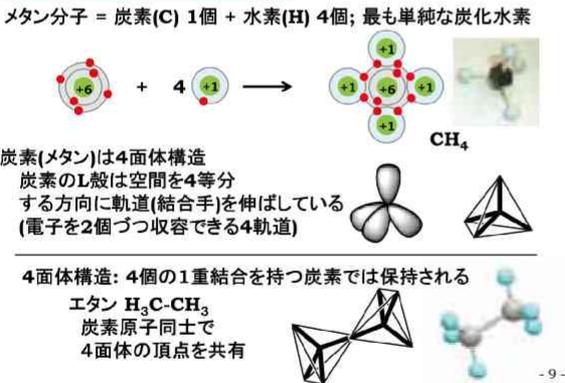
### イオン結合と共有結合 - オクテット則



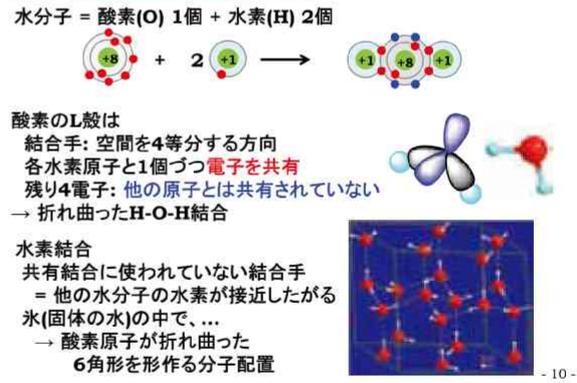
### 共有結合 - 電子の軌道



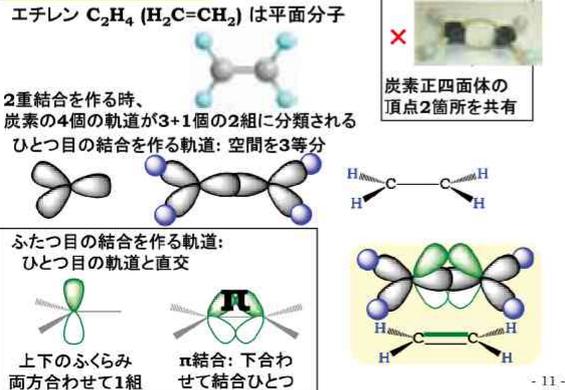
### 化学結合 - 共有結合の方向性



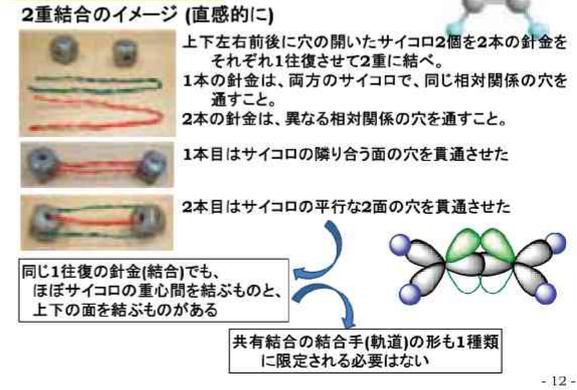
### ちょっと寄り道 - 水分子の形



### 化学結合 - 多重結合



### 化学結合 - 多重結合



## 分子のイオン化 - 多重結合

**原子軌道**

安定  
K殻  
L殻  
M殻

電子は K→L→M殻の順に詰まる  
収容電子数  
K殻 2個  
L殻 8個  
M殻 18個

イオン化  
通常は最外殻軌道

**分子軌道**

軌道の形  
原子軌道の足し合せ  
収容電子数  
どの軌道も2個まで

エチレン分子の軌道  
水素 K殻 1軌道 × 4原子  
炭素 K殻 1軌道 × 2原子  
L殻 3軌道 × 2原子 (ひとつ目の結合用)  
L殻 1軌道 × 2原子 (ふたつ目の結合用)  
合計 = 14軌道  
電子の数: 水素 1 × 4  
炭素 6 × 2  
合計 = 16電子

イオン化: π結合の軌道から

注: この分子軌道の図は正確ではありません。原子軌道の特徴を強調しすぎた図になっています。 13 -

## ちょっと寄り道 - 物質の色とは?

光 = エネルギーの波: 波長がある (nm = 10<sup>-9</sup> m)

360 450 495 570 590 620 750 nm

紫 青 緑 黄 橙 赤

← 高エネルギー → 可視光 → 低エネルギー →  
γ線 - X線 - 紫外線 - 近赤外線 - 赤外線 - 電波

軌道のエネルギー差 = 光のエネルギー  
→ 光が吸収され電子がより不安定な (高いエネルギーの) 軌道に移る

クロロフィル(葉緑素)

緑色の領域だけが吸収されない  
→ 緑色に見える

## 芳香属性

ベンゼン C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>

平面分子, 炭素-炭素結合は総て同じ長さ  
隣合せの炭素どうしに反応性の差は無い

極限構造式: ふたつの間を共鳴軌道: C=C-CとC-C=Cに区別なし  
電子: 環状の軌道中を自由に運動している (非局在化)

## 芳香属性 - 環状軌道の収容電子数

ベンゼン C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> 中のひとつの炭素(6電子)を見ると

炭素 L殻(ふたつ目の結合)  
炭素 L殻(ひとつ目の結合)  
炭素 K殻

6個の電子が環状の軌道中に非局在化

●は結合している水素、隣の炭素からの電子

## 芳香属性 環状に単結合と二重結合が交互に並んだ時

4n+2個の電子なら環全体に非局在化(居心地が良い)

芳香属性を獲得しようとする反応例

ふたつ目の結合用 L殻電子5個 + 負電荷をもたらす電子1個 = 6電子

## ここまでのまとめ

物質 ... 分子 ... 原子 ... 原子核 + 電子

原子軌道: 原子中の 電子の軌道  
K殻(2電子収容), L殻(8電子収容), M殻(18電子収容)  
オクテット則: 最外殻は周期表の一番右の状態になりたい

イオン結合: 電子の放出, 収容による原子のイオン化  
→ 静電引力

共有結合: 原子軌道を重ね合わせ、電子を共有する  
→ オクテット則の実現

分子軌道: 分子中で電子が収容される軌道  
原子軌道の足し合わせ、各軌道2電子を収容

2重結合: ひとつ目の結合とふたつ目の結合(π結合)は別格  
電子の入っていない一番安定な軌道と  
入った一番不安定な軌道 ... π結合の軌道

芳香族性: 環状に単結合と二重結合が交互に並んだ時  
4n+2個の電子があるのが安定

## 何故ナフタレンは電気を流さない? - 動く電子とその経路

分子間での軌道重なり  
→ π結合の軌道が重なり合っている  
→ 電子が飛び移れるはず

実際には絶縁体  
∴ 隣の分子の π結合用の軌道は満席

活性化エネルギー無しに電子を動かすには?  
予め幾つか電子を取除いておく

## 電荷移動錯体 - 電子供与体

ナトリウム: 電子を放出し易い (電子供与体)  
塩素: 電子を受取り易い (電子受容体)

有機分子どうしても電子授受のし易さに差を付けられる? → Yes  
置換基(分子の中の部分構造)の電子押し出し・取込み能力を使う  
芳香属性による電子供与能 (テトラシアフルバレン, TTF)

7電子/環

1電子放出すれば 4n+2電子 → 電子供与性

硫黄 K殻 2電子 L殻 8電子 M殻 6電子

平面内3方向 炭素と: 2電子共有 空いた結合手: 2電子

π結合用の軌道 電子は2個

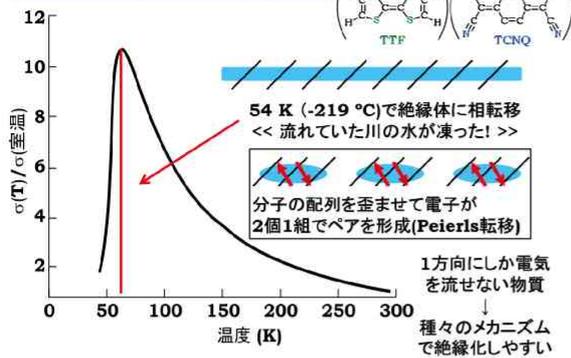
## TTF・TCNQ - 最初の金属的電荷移動錯体

同種分子がπ結合用の軌道を重ねながら等間隔に配列

もし、TTFとTCNQが交互に積み重なっていたら → 金属になれない

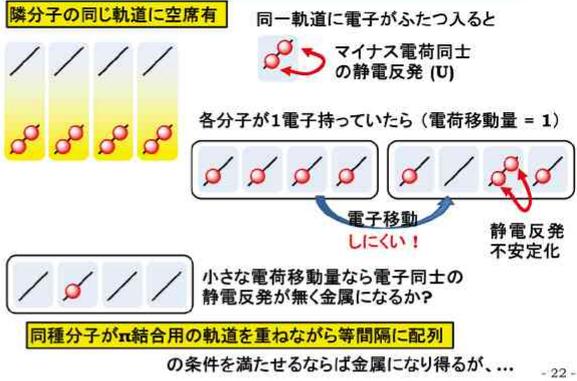
隣分子の同じ軌道に空席有 → 金属

### TTF・TCNQ - 金属-絶縁体転移

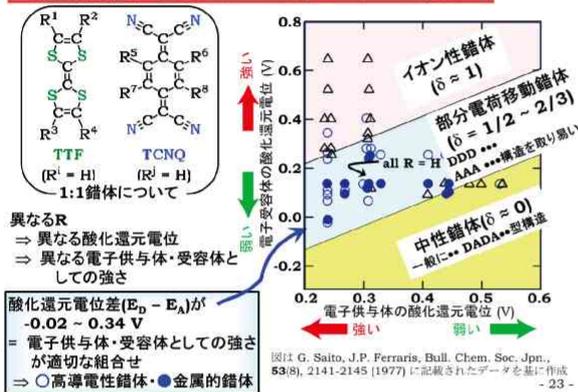


図は P.M.Horn, D. Guidotti, Phys. Rev. B16(1), 491-501 (1977) に記載されたデータに基づいて作成

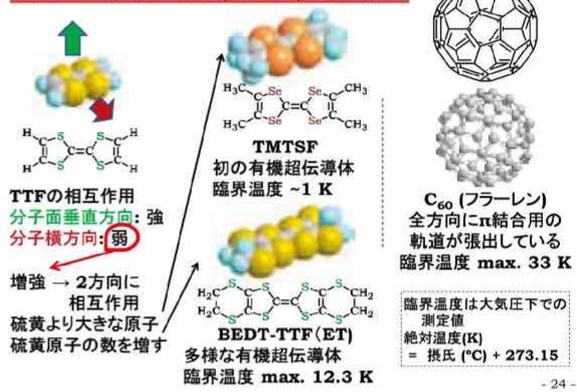
### 絶縁化の抑制 - その前に - 金属的錯体を作るには



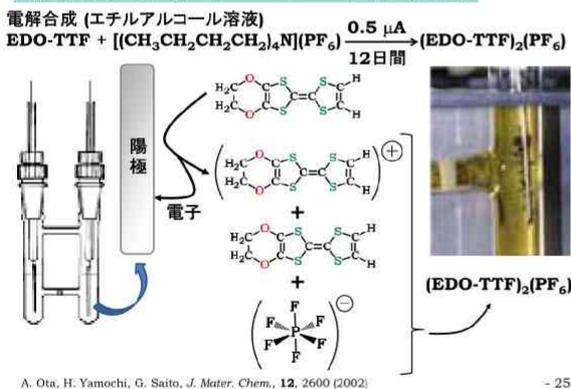
### 金属的錯体を与えるドナー・アクセプターの組合せ



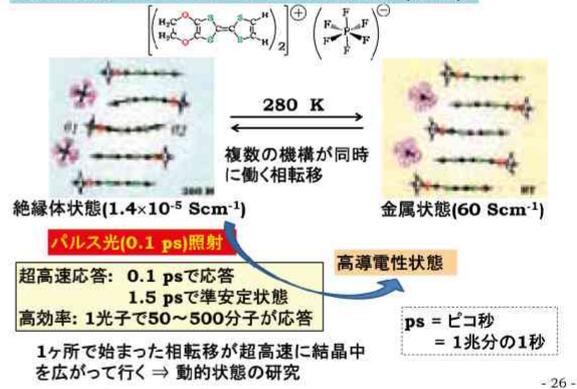
### 絶縁化の抑制 - 有機(分子性)超伝導体



### 最近楽しんでいること - EDO-TTF錯体 (作製)



### 最近楽しんでいること - EDO-TTF錯体 (物性)



### 電気を流す有機物

- (有機)分子の多様性  
 → 多様な錯体 → 多様な物理現象  
 超伝導の種類も色々, 奇妙な相転移を起す物質
- 物質開拓 → 新現象探索 → 新学問分野
- 金属と絶縁体の中間近傍に位置する物質  
 これまでに知られていなかった相転移現象  
 微弱な刺激に迅速・巨大な応答  
 ⇒ 動的挙動の科学, 実用材料の基

電気を流す有機物を研究するには、...  
 化学 (有機化学, 物理化学, 分析化学)  
 物理学 (物性物理学, 実験, 理論)  
 ... 広い範囲の科学  
 研究協力者・好奇心



### 実験に向けて

TTFとクロラニルの錯体を作製する  
 TTFとTCNQの錯体を作製する  
 錯体の電気伝導性を測定する

白衣、保護メガネを必ず持参する事  
 貴重品を身に付けられる服装で出席する事

実験手順・宿題

- TTFとクロラニル、TTFとTCNQはそれぞれ1:1の物質比で混合します。
- いずれの錯体作製でも、TTFは0.10 g使用します。
- 物質質量比を1:1とするために必要なクロラニル、および、TCNQの質量を計算してください。

物質	化学式	分子量 (g/モル)
TTF	(C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> S <sub>4</sub> )	12.01 × 6 + 1.01 × 4 + 32.07 × 4 = 204.38
クロラニル	(C <sub>6</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>4</sub> )	12.01 × 6 + 35.45 × 4 + 16.00 × 4 = 204.38
TCNQ	(C <sub>12</sub> H <sub>4</sub> N <sub>4</sub> )	12.01 × 12 + 1.01 × 4 + 14.01 × 4 = 204.38

ヒント: TTFの分子量は、12.01 × 6 + 1.01 × 4 + 32.07 × 4 = 204.38  
 従って、0.10 gのTTFは、物質質量に換算すると0.10 ÷ 204.38 モル

## 最先端科学の体験型学習講座

### Experienced-based Learning Course for Advanced Science (ELCAS)

日時：

2015年1月10日(土) 14:00~18:00

実験内容：

実験はAグループ(4人)、Bグループ(3人)に分かれて行う。それぞれ、電子供与体である Tetrathiafulvalene (TTF) と電子受容体である Chloranil (QCl<sub>4</sub>)、Tetracyanoquinodimethane (TCNQ)を用いて、下記の実験を行なう。ティーチングアシスタント(TA)2名が、実験器具の使い方等のサポートを行なう。

- [1] (TTF)(QCl<sub>4</sub>)錯体の作製
- [2] (TTF)(QCl<sub>4</sub>)の電気抵抗の測定と温度変化による色変化の観察
- [3] (TTF)(TCNQ)錯体の作製
- [4] (TTF)(TCNQ)錯体の電気抵抗の測定
- [5] 紫外-可視-近赤外スペクトルの測定 (今回は時間の都合で実施しない)

#### 注意！

- ・薬品を用いるので、白衣、保護メガネ、手袋を着用する。
- ・薬品が目に入ったり、皮膚についた場合は、すぐに大量の水で洗い流す。
- ・使用した溶媒等の実験廃棄物は、TAの指示に従って廃棄する。

実験手順：

[0] TCNQの昇華精製 (TAが行なう)

真空下でTCNQを昇華精製する。昇華条件は、浴温 180 - 210°C / 27-40 Pa (0.2 - 0.3 mmHg)である。

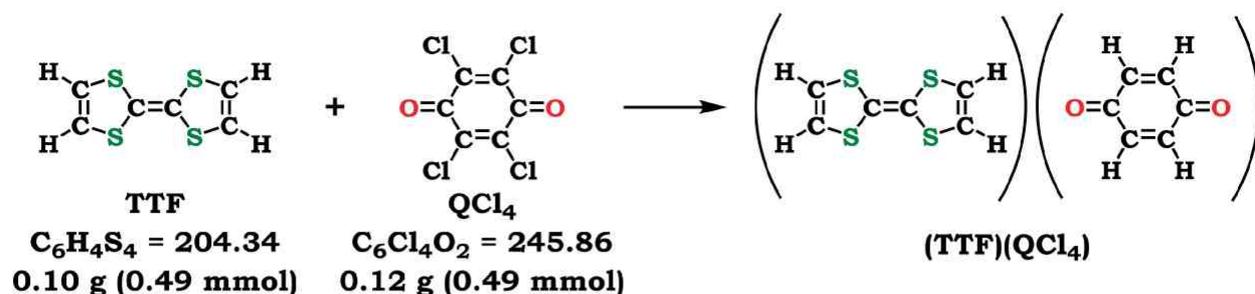
・テフロン容器に粗製TCNQ 1gを測り取り、容器を傾けた時に内容物がこぼれ出さないように、テフロンシートをひも状に引き伸ばしたもので蓋をする。空冷型の昇華装置を用い、昇華物が硝子と接触しないよう装置内側をテフロンシートでカバーしておく。

また、真空ポンプを保護するため、液体窒素トラップと昇華装置の間にアルカリトラップ(粒状KOHを充填した硝子管)を挟んでおく必要がある。

報告されているTCNQの物性値

融点 289-291°C [D.S. Acker, W.R. Hertler, Journal of the American Chemical Society, vol. 84, No. 17, pp. 3370-3374 (1962)]

[1] (TTF)(QCl<sub>4</sub>)錯体の作製

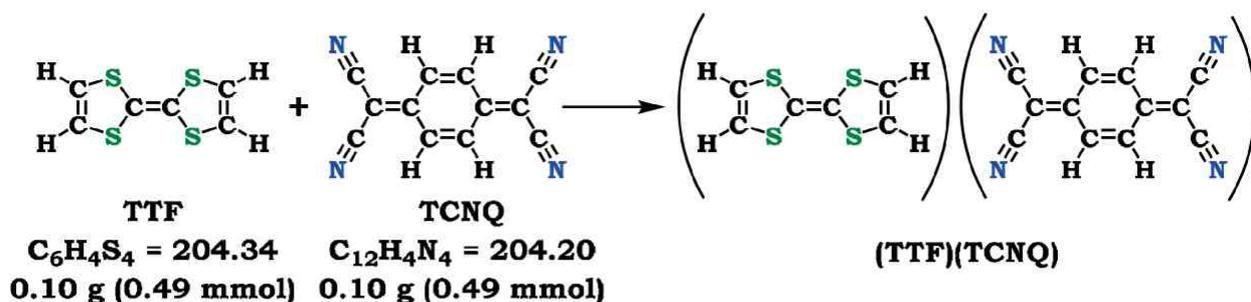


1. 市販の TTF 0.10 g を 30 mL 三角フラスコに入れ、10 mL のアセトニトリルを加える。
2. ホットプレート上に三角フラスコを置き、TTF を加熱溶解する。ただし、アセトニトリル(沸点 82°C)を沸騰させないようにする。
3. 市販の QCl<sub>4</sub> 0.12 g を 50 mL 三角フラスコに入れ、アセトニトリル 15 mL に加熱溶解する。
4. 三角フラスコをホットプレートから降ろし、QCl<sub>4</sub> の溶液に TTF の溶液を加えて、攪拌する。
5. TTF と QCl<sub>4</sub> の混合液を氷水で冷やす。
6. 析出した沈殿を、21 mm 径の桐山漏斗(濾紙 No.4)を用いて吸引ろ過して集める。
7. 集めた沈殿を少量のアセトニトリルで洗浄する。
8. 漏斗上で吸引を続けて溶媒を除く。集めた沈殿をろ紙に挟み、上から押さえつけることにより、余分な溶媒を取り除く。沈殿はできるだけひと塊となるようにまとめる。約 70 mg の緑色沈殿が得られる。

[2] (TTF)(QCl<sub>4</sub>)の電気抵抗の測定と温度変化による色変化の観察

1. (TTF)(QCl<sub>4</sub>)粉末の塊にテスターをあて、電気抵抗を測定する。
2. (TTF)(QCl<sub>4</sub>)粉末をカバーガラスに挟み、粉末がこぼれないように周囲にテフロンテープを巻く。
3. (TTF)(QCl<sub>4</sub>)粉末をカバーガラスごと液体窒素(沸点-196°C)に浸し、色の変化を観察する。

### [3] (TTF)(TCNQ)錯体の作製



1. 市販の TTF 0.10 g を 30 mL 三角フラスコに入れ、10 mL のアセトニトリルを加える。
2. ホットプレート上に三角フラスコを置き、TTF を加熱溶解する。ただし、アセトニトリル(沸点 82°C)を沸騰させないようにする。
3. 昇華精製した TCNQ 0.10 g を 50 mL 三角フラスコに入れ、アセトニトリル 15 mL に加熱溶解する。
4. 三角フラスコをホットプレートから降ろし、TCNQ の溶液に TTF の溶液を加えて、攪拌する。
5. TTF と TCNQ の混合液を氷水で冷やす。
6. 析出した沈殿を、21 mm 径の桐山漏斗(濾紙 No.4)を用いて吸引ろ過して集める。
7. 集めた沈殿を少量のアセトニトリルで洗浄する。
8. 漏斗上で吸引を続けて溶媒を除く。集めた沈殿をろ紙に挟み、上から押さえつけることにより、余分な溶媒を取り除く。沈殿はできるだけひと塊となるようにまとめる。約 130 mg の黒色沈殿が得られる。

### [4] (TTF)(TCNQ)錯体の電気抵抗の測定

1. TTF の粉末を固め、テスターをあてて電気抵抗を測定する。
2. TCNQ の粉末を固め、テスターをあてて電気抵抗を測定する。
3. (TTF)(TCNQ)粉末の塊にテスターをあて、電気抵抗を測定する。

[5] 紫外-可視-近赤外スペクトルの測定 今年度は実施しない

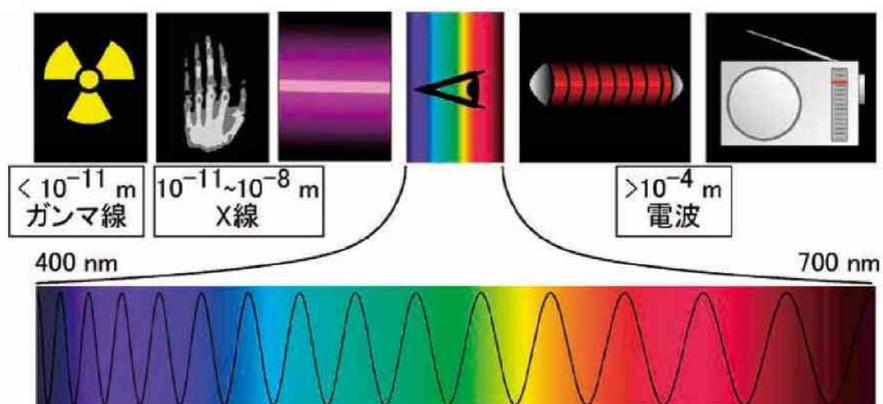
紫外-可視-近赤外分光計を立ち上げ、装置の安定化のため 30~60 分待つ。

PC を立ち上げ、250~1300 nm の範囲でベースライン補正を行なう。

1. 市販の TTF 10.2 mg を 50 mL のメスフラスコに入れ、アセトニトリルを加えて 50 mL の溶液を調製する。
2. 2 mL のホールピペット、20 mL のメスフラスコを用いて、1 の溶液を 10 倍に希釈する。これで、濃度  $0.1 \times 10^{-3}$  mol/L の TTF 溶液となる。
3.  $0.1 \times 10^{-3}$  mol/L の TTF 溶液を石英セルに入れ、スペクトルの測定を行なう。
4. 昇華した TCNQ 10.2 mg を 50 mL のメスフラスコに入れ、アセトニトリルを加えて 50 mL の溶液を調製する。
5. 2 mL のホールピペット、20 mL のメスフラスコを用いて、4 の溶液を 10 倍に希釈する。これで、濃度  $0.1 \times 10^{-3}$  mol/L の TCNQ 溶液となる。
6.  $0.1 \times 10^{-3}$  mol/L の TCNQ 溶液を石英セルに入れ、スペクトルの測定を行なう。
7. 作製した(TTF)(TCNQ) 5 mg を 20 mL のメスフラスコに入れ、アセトニトリルを加えて 20 mL の懸濁液(完全には溶解しない)とする。
8. (TTF)(TCNQ)の懸濁液の上澄みをパスツールピペットを用いて石英セルに移し、スペクトルの測定を行なう。すなわち、(TTF)(TCNQ)の飽和溶液の測定を行なうことになる。
9. 時間があれば、(TTF)(TCNQ) 2 mg を 50 mL のメスフラスコに入れ、アセトニトリルを加えて 50 mL の溶液を調製する。この濃度  $0.1 \times 10^{-3}$  mol/L の (TTF)(TCNQ)溶液についてスペクトルの測定を行なう。

・可視光線

人間の目に光として感じる波長範囲の光。波長範囲の下限は 360~400 nm、上限は 760~830 nm である。可視光線の波長は、nm(ナノメートル)単位で表されることが多い。1 nm =  $1 \times 10^{-9}$  m。波長によって異なる色感覚を与え、紫(380~450 nm)、青(450~495 nm)、緑(495~570 nm)、黄(570~590 nm)、橙(590~620 nm)、赤(620~750 nm)として認識される。



(数値データと図の元版は日本語版ウィキペディアより)

## 著者略歴

### 矢持 秀起



1957年生  
1979年 神戸大学理学部化学科卒業  
1984年 大阪大学大学院理学研究科博士課程後期課程単位修得退学後、  
学位取得(理学博士)  
1984年 東京大学物性研究所助手  
(この間、1988年4月から1年間は、米国で博士研究員)  
1990年 京都大学理学部化学科助手、1995年 理学研究科化学専攻への配置換え  
1995年 京都大学理学研究科化学専攻助教授  
2004年 京都大学低温物質科学研究センター教授(現職).

### 大塚 晃弘



1963年生  
1986年 上智大学理工学部化学科卒業  
1991年 東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了(理学博士)  
1991年 京都大学理学部 教務職員(極低温研究室勤務)  
1995年 京都大学大学院理学研究科 助手(同上)  
2002年 京都大学低温物質科学研究センター 助手  
2007年 同センター 助教  
2014年 同センター 准教授(現職)  
この間、1998年2月から1年間(米国テンプル大)及び2003年9月から3ヶ月間  
(米国アラバマ大)は、文部(科学)省在外研究員

### 中野 義明



1977年生  
2000年 京都大学工学部工業化学科卒業  
2005年 京都大学大学院工学研究科分子工学専攻博士後期課程修了  
京都大学博士(工学)  
2005年 京都大学低温物質科学研究センター 教務補佐員  
2005年 同センター 研究員  
2008年 京都大学物質-細胞統合システム拠点 研究員  
2009年 京都大学低温物質科学研究センター 助教(現職)

### 常見 俊直



1976年生  
1999年 京都大学理学部卒業  
2001年 東京大学大学院理学系研究科修士課程修了  
2005年 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了  
2005年 大阪大学核物理研究センター 教務補佐員  
2006年 京都大学大学院物理学・宇宙物理学専攻 研究員  
2011年 京都大学大学院理学研究科 社会連携室 研究員  
2011年 京都大学大学院理学研究科 学術推進部 社会交流室 研究員  
(10月に組織改組)  
2012年 京都大学大学院理学研究科 学術推進部 社会交流室 講師(現職)

### 川添 達朗



1981年生  
2006年 宮城教育大学教育学部生涯教育総合課程卒業  
2008年 京都大学大学院理学研究科生物科学専攻修士課程修了  
2014年 京都大学大学院理学研究科生物科学専攻博士課程単位取得退学  
2014年 京都大学大学院理学研究科生物科学専攻教務補佐員 (現職)  
2014年 京都大学学際融合教育研究推進センター 高大接続科学教育ユニット  
研究員(現職)