

2026. 10. 24 公開講座

# 酸素を吸収する金属錯体の液体化とその応用

工学研究科  
応用化学専攻  
松岡 淳

*Membrane Engineering Group.*



# 自己紹介

松岡 淳      1993年生まれ   33歳  
出身：京都府木津川市（京都と奈良の県境）

## 経歴

2012-2016 神戸大学工学部応用化学科  
2016-2020 神戸大学大学院 博士（工学）取得  
2020-      神戸大学先端膜工学研究センター 助教

研究目的：分子のデザインによって役に立つ機能を  
持った材料を開発する  
機能性分子、相分離材料、有機溶媒分離

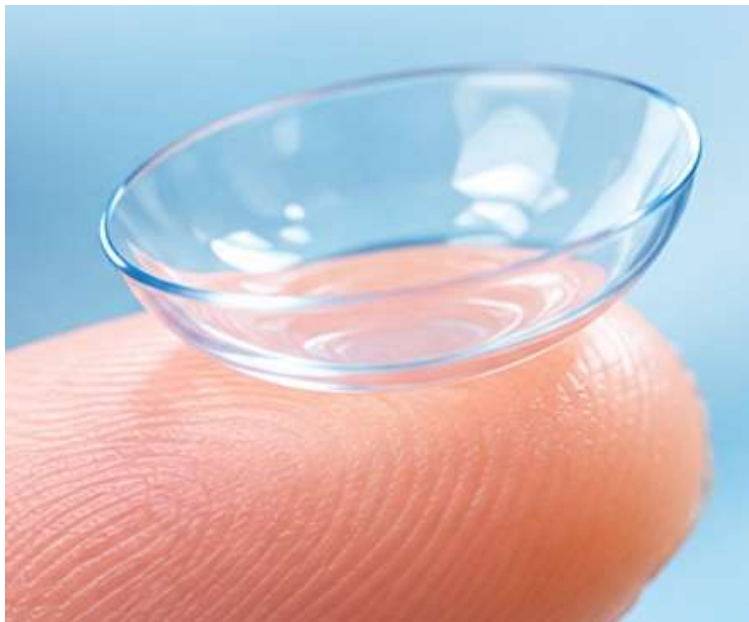


# “化学”で何を目指すのか

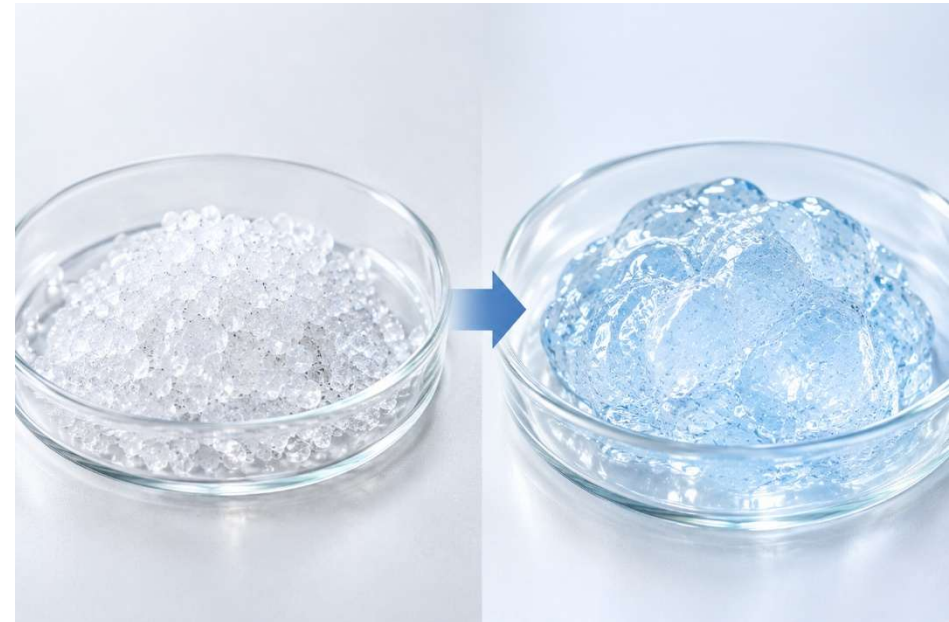
化学：物質の**構造**や**性質**について知る学問

化学が工学において果たせそうな役割

分子**構造をデザイン**することで「役に立つ**性質**」 = 「**機能**」を持った物質を生み出す（材料開発）



透明度、生体適合、酸素透過



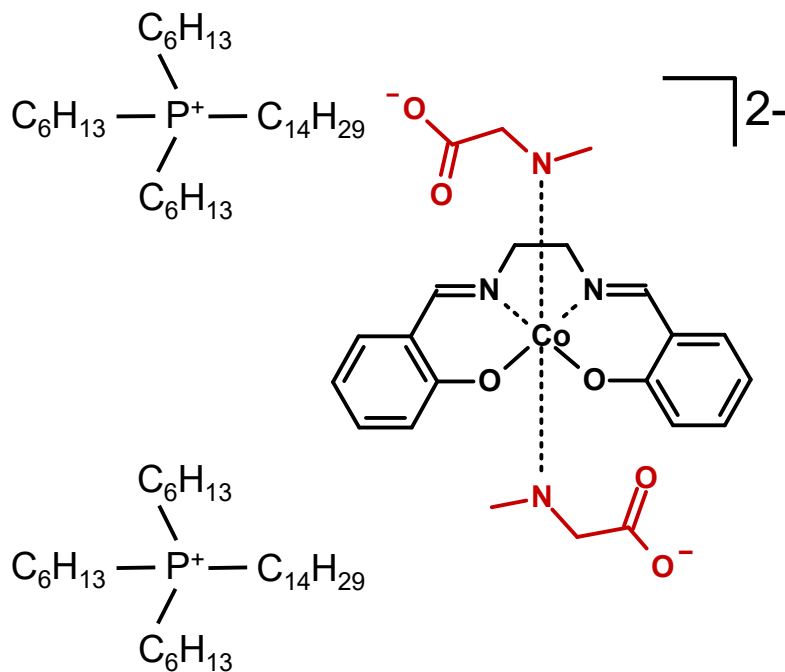
水を大量に取り込み(吸収)、保持する



# 本日の内容

## 本日取り扱う研究テーマ

酸素を吸って、吸った酸素をもう一度出すことのできる液体の開発



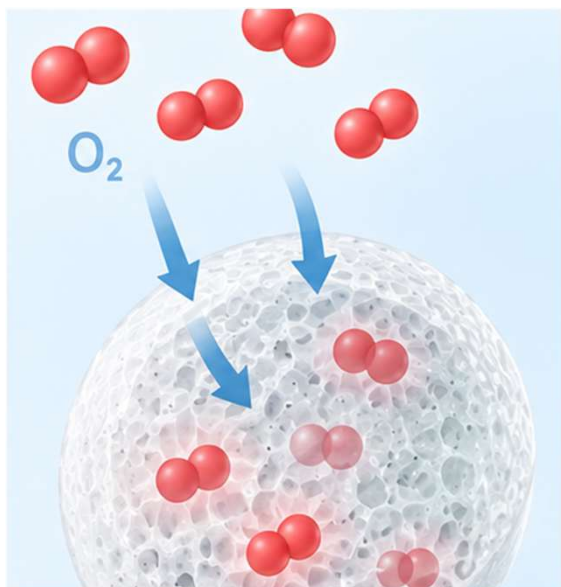
どのような戦略・考え方でそのような分子デザインを行ったのか？



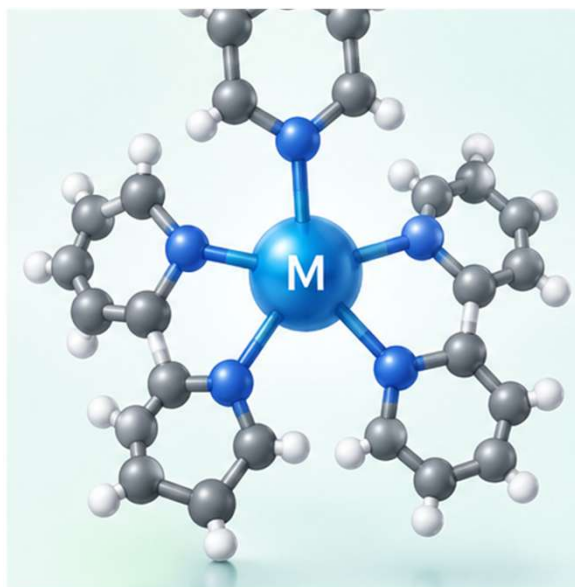
# 本日のキーワード

## 研究を構成するキーワード

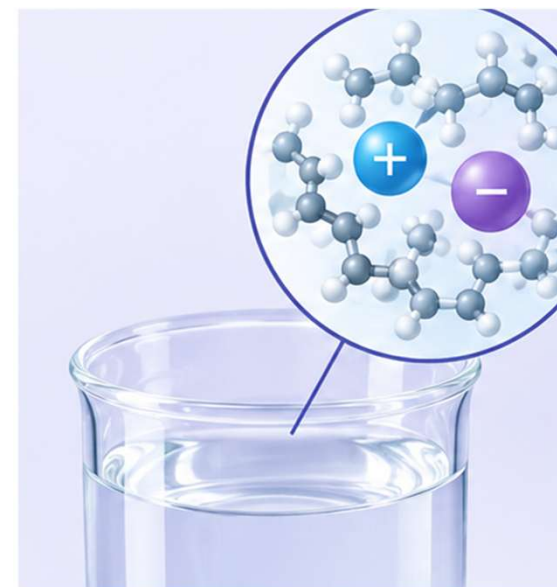
1. 酸素吸収材



2. 金属錯体



3. イオン液体

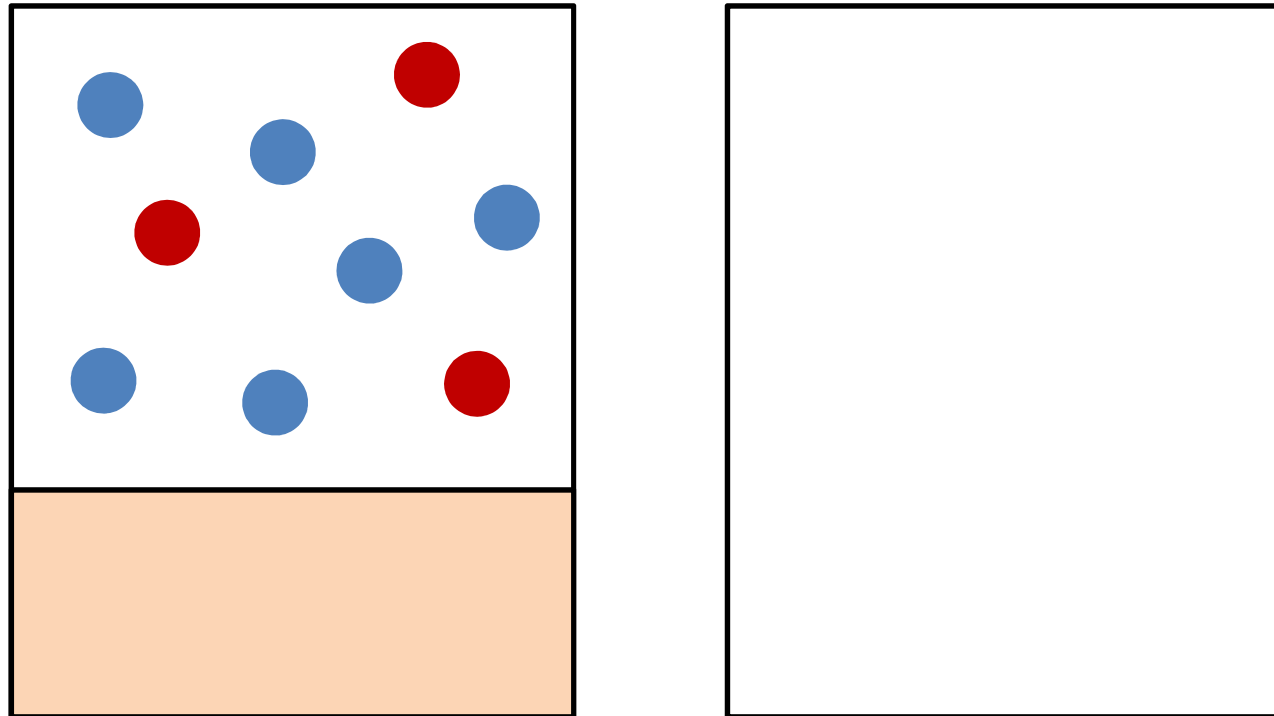


1. 「酸素を吸って、吸った酸素をもう一度出す」、「液体」という機能は何の役に立つのか
2. 酸素を吸収するような分子構造とは
3. 液体になるような分子のデザインとは



# 1. 酸素吸収材 (1/4枚)

1. 酸素吸収材 → 酸素の濃度を変化させる材料

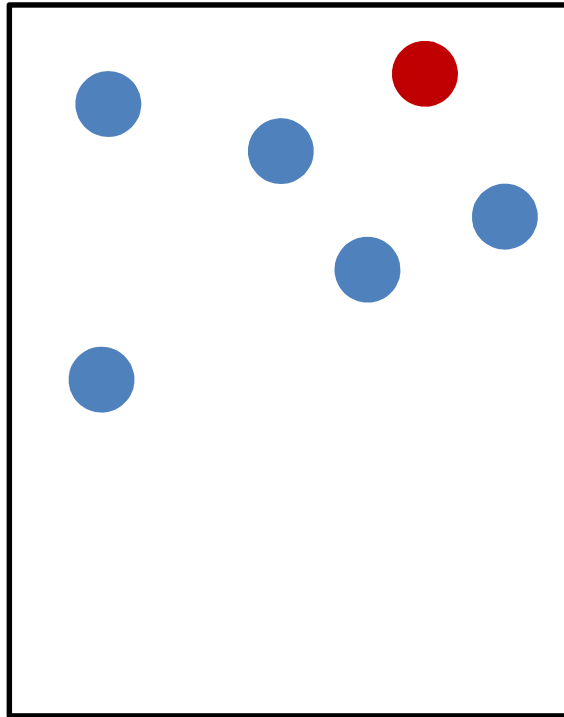


液体のメリット：ポンプで送液可能で、連続使用に向く

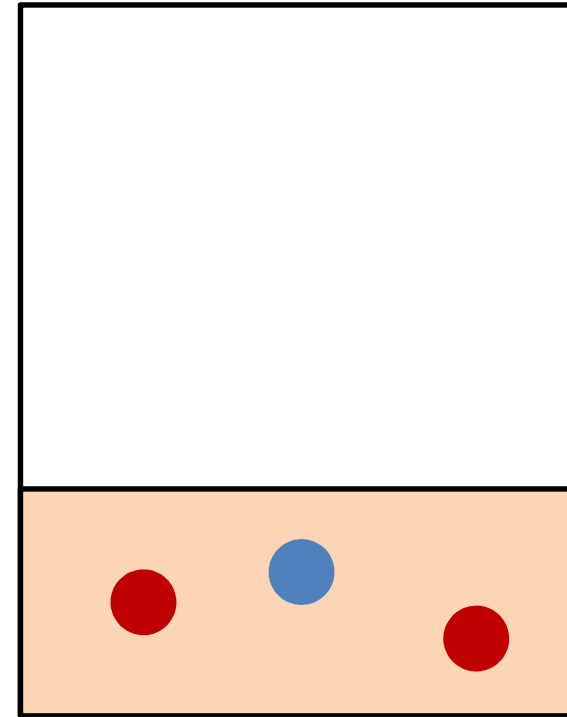


# 1. 酸素吸収材 (1/4枚)

1. 酸素吸収材 → 酸素の濃度を変化させる材料



酸素の薄い気体



酸素の濃い気体

液体のメリット：ポンプで送液可能で、連続使用に向く



# 1. 酸素吸収材 (2/4枚)

## 酸素濃度の高い空気の活用



- ・ 医療（酸素療養）
- ・ エネルギー（燃焼効率up）

## 酸素濃度の低い空気の活用



- ・ 食品（酸化防止）
- ・ 運動（低酸素トレーニング）
- ・ 美容

酸素を吸って、吸った酸素をもう一度出すことのできる液体は、身の回りの様々な分野で活用できる



# 1. 酸素吸収材 (3/4枚)

酸素を吸収する材料 例) 脱酸素剤



鉄粉、ビタミンCなど  
酸素を吸収して食品の劣化防止

一度酸素を吸収すると、  
出してくれない (使い切り)

吸収した後、もう一度酸素を放して欲しい……

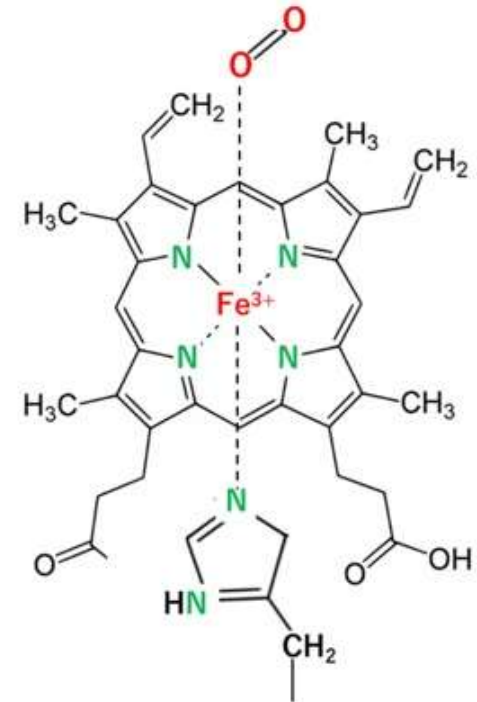
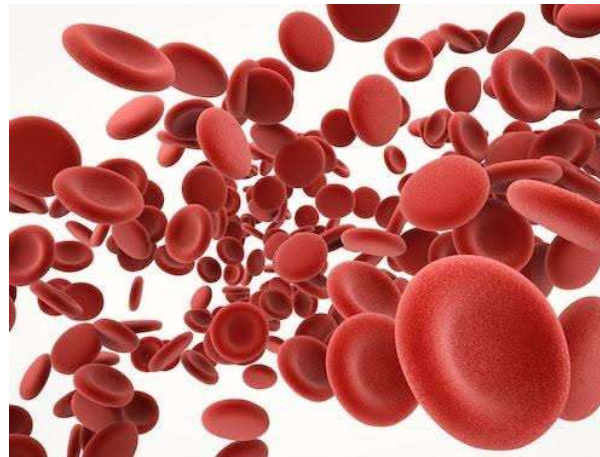
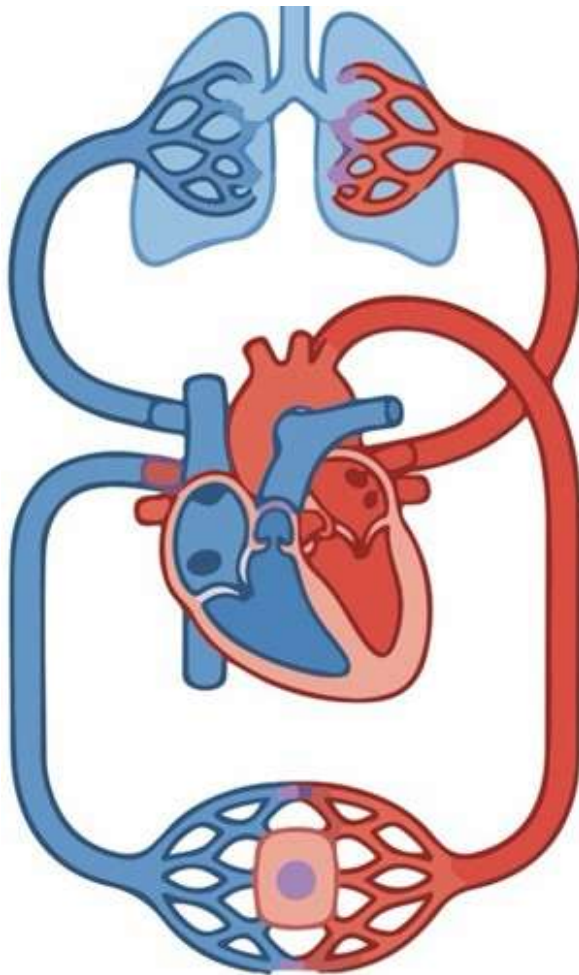
実は、**身近にあります。**



# 1. 酸素吸収材 (4/4枚)

## 血液による酸素の運搬

肺で酸素を受け取って（**吸収**）、細胞で受け渡す（**放散**）



正体は**金属錯体**

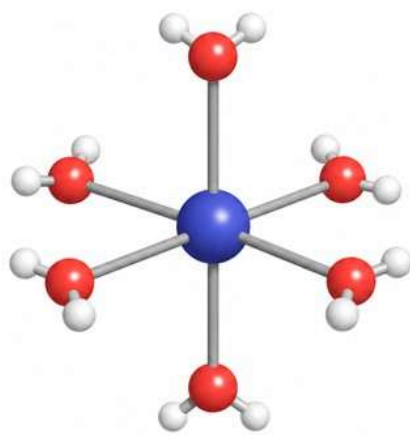
因みに

|         |            |    |
|---------|------------|----|
| ヒトなど    | ヘモグロビン（鉄）  | 赤色 |
| タコ、エビ   | ヘモシアニン（ ）  | 色  |
| ゴカイ(一部) | ヘモエリスリン（ ） | 紫  |

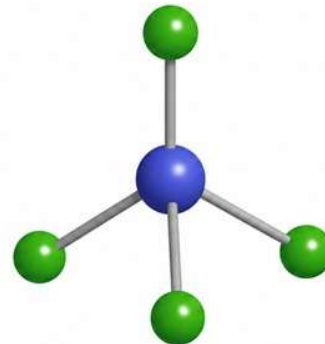


## 2. 金属錯体 (1/2枚)

金属錯体：金属原子(イオン)に別の分子やイオンがひつついた  
金属の周りの配位子に影響されて、金属の電子状態（性質）が変化する

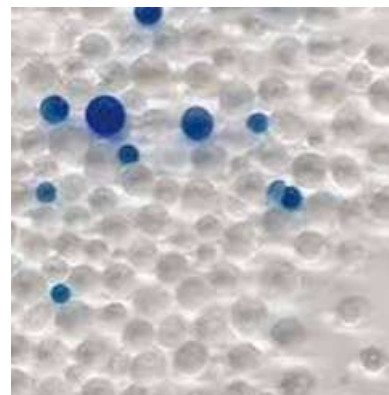


水溶液中



HCl水溶液中

似た原理を利用した色付き  
の脱水剤(シリカゲル)  
→水を吸ってしまったか  
どうかのセンサー

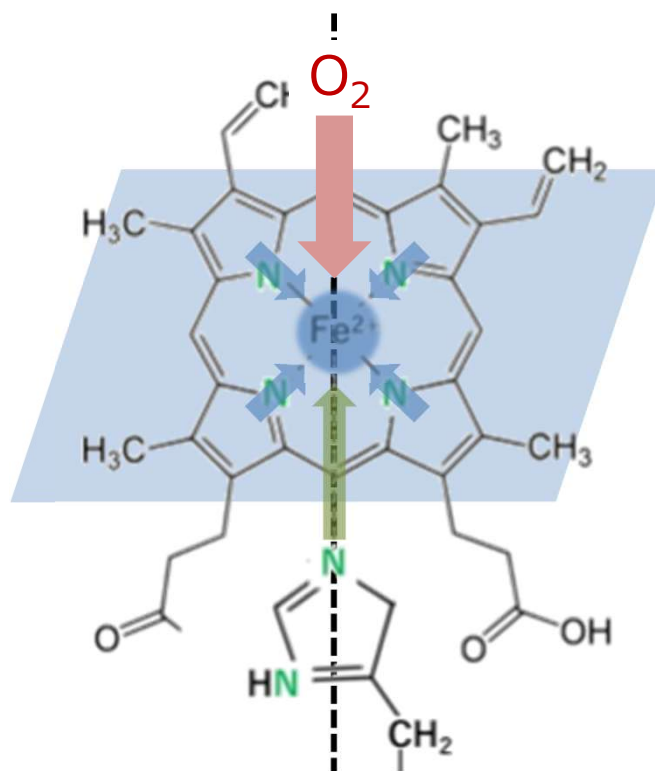




## 2. 金属錯体 (2/2枚)

酸素を吸収したり放散したりする金属錯体

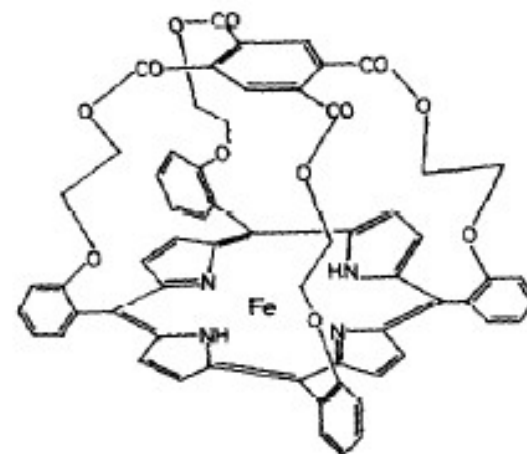
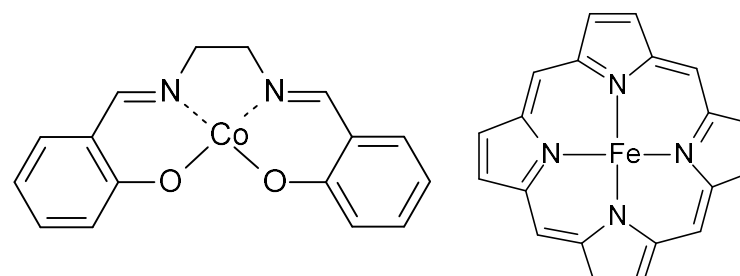
上手に周りの原子を選べば、実現できる、と生物が示してくれている



平面配位構造で  
軸方向に酸素の  
受け入れスペース

軸配位子からの  
電子提供で  
丁度よい反応性

これらの錯体のデザインの根拠もちゃんとあります…



酸素を吸収したり放散したりする金属錯体：これまで全部固体

一般的に固体だが、液体になるようなモノ → **イオン液体**

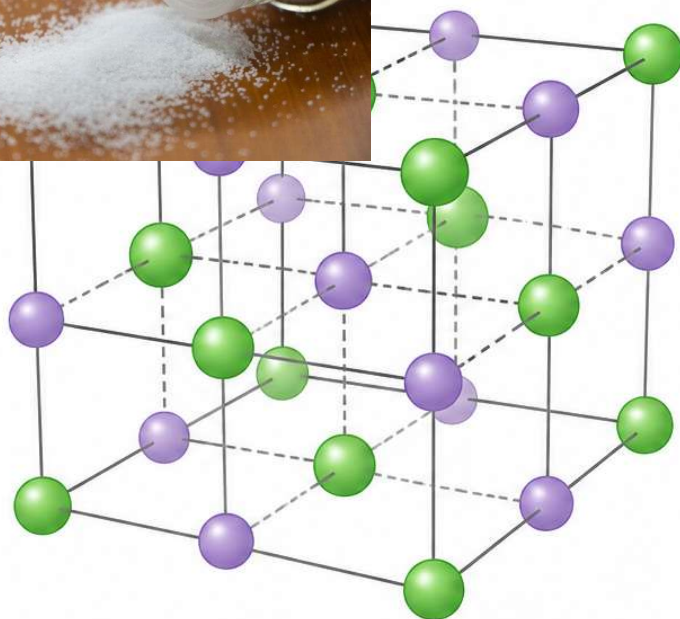


### 3. イオン液体 (1/2枚)

イオン液体：陽イオンと陰イオンのみから成る液体

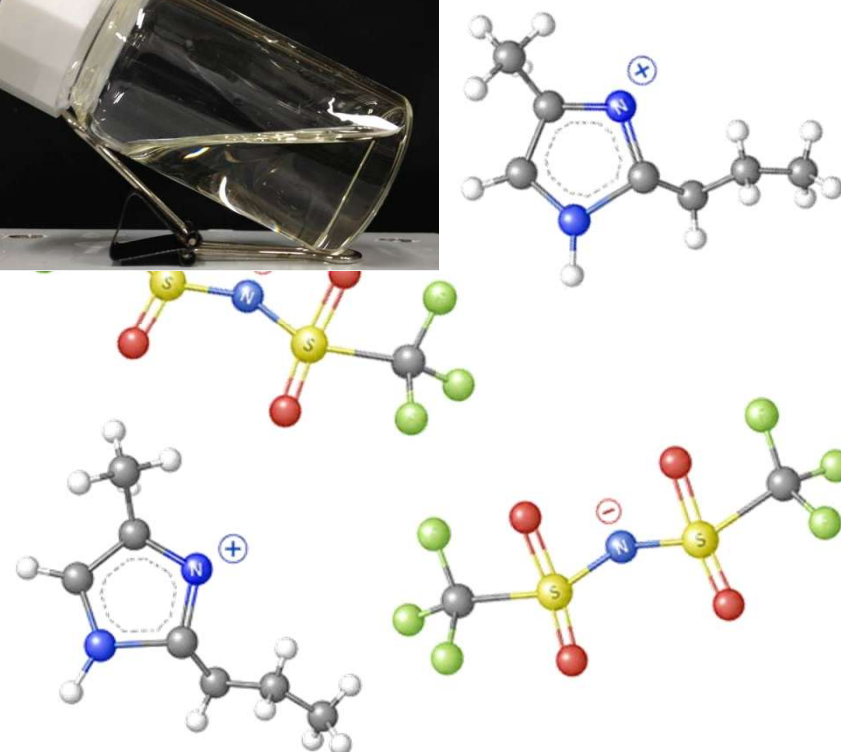
融点が高いだけの、**塩**のこと

食塩(NaCl): $T_m$  約800℃



●  $\text{Cl}^-$  (塩化物イオン) ●  $\text{Na}^+$  (ナトリウムイオン)

イオン液体( $[\text{Emim}][\text{Tf}_2\text{N}]$ ): $T_m - 17^\circ\text{C}$



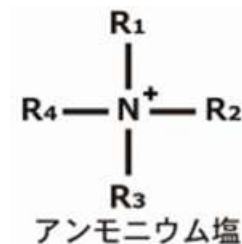
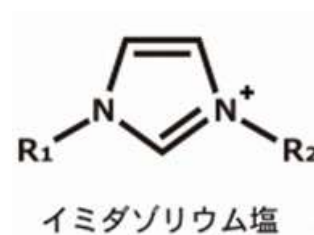


### 3. イオン液体 (2/2枚)

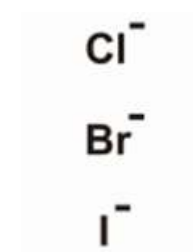
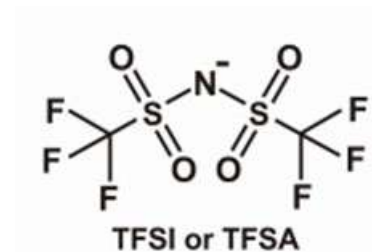
#### イオン液体の特長



#### 陽イオン



#### 陰イオン



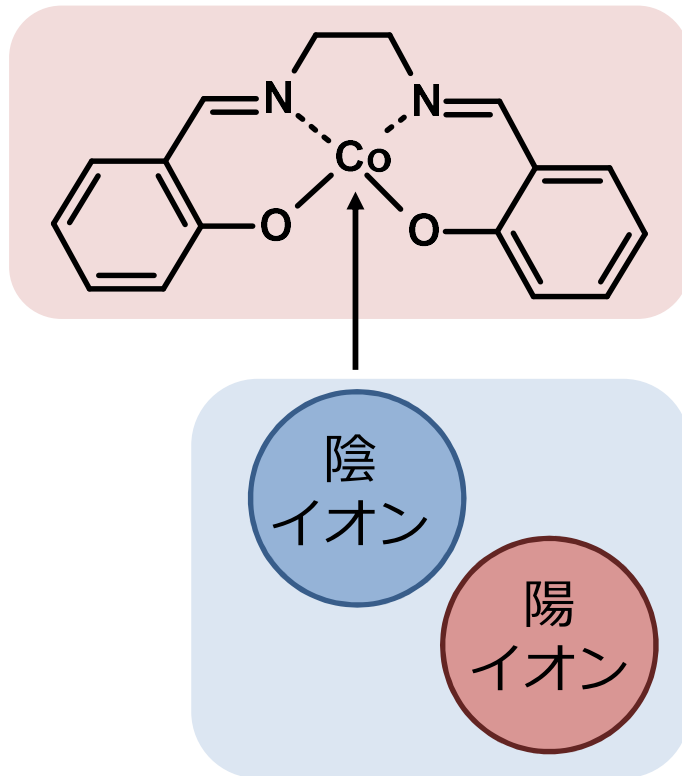
- ・ カチオンとアニオンの構造は(ほぼ)自由にデザインできる。  
組み合わせも(ほぼ)自由
- ・ 分子間の強い静電力で不揮発性の液体



# 酸素吸収性液体のデザイン

## 分子デザインの方針

金属錯体を含んだイオン液体にすれば、液体の酸素吸収材を作れる



酸素吸収性を担う錯体  
そのままでは固体

+ (配位結合)

液体化を担うイオン  
酸素吸収性は持たない

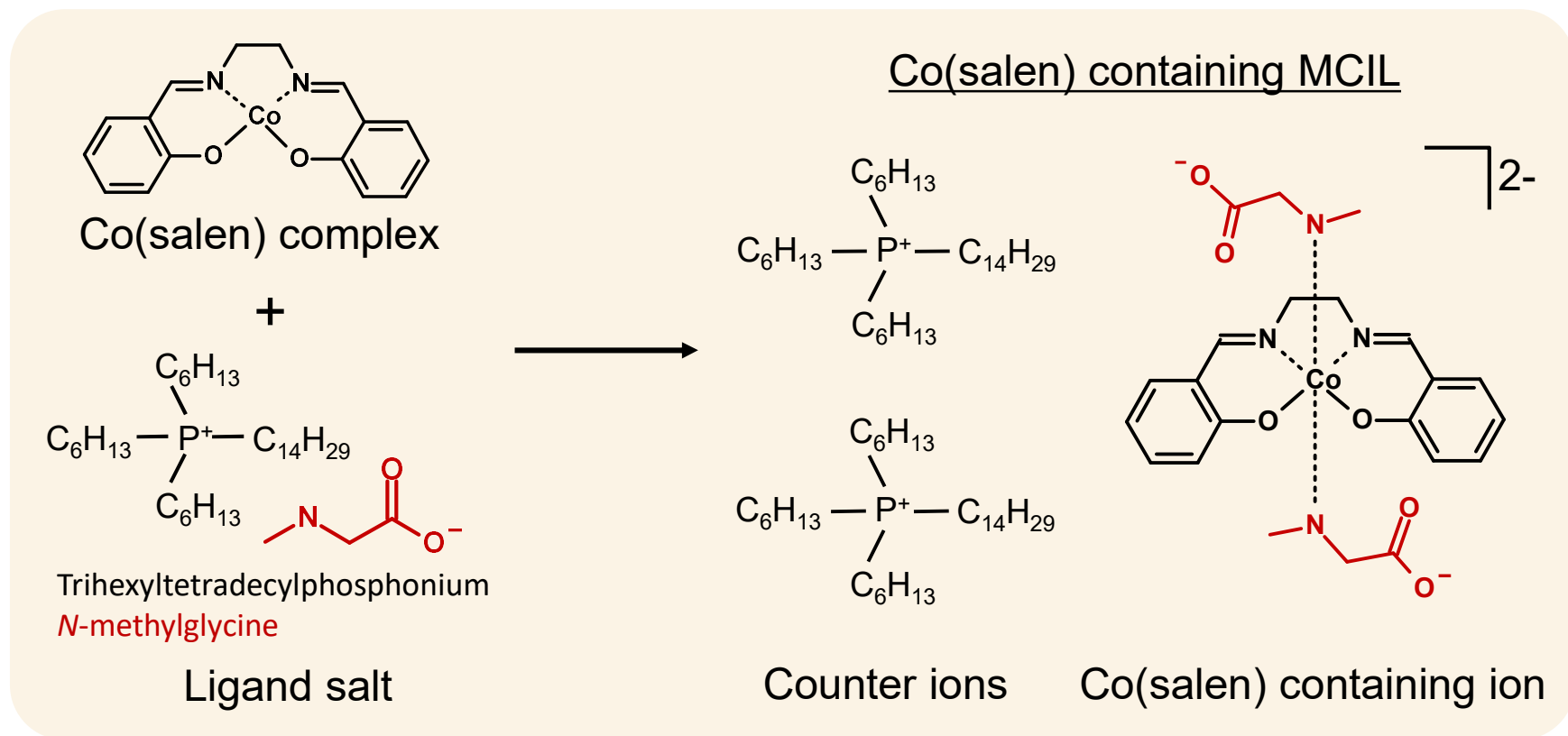


既存の化合物を配位結合という結合で組み合わせるだけで出来る



# 酸素吸収性イオン液体の合成コンセプト

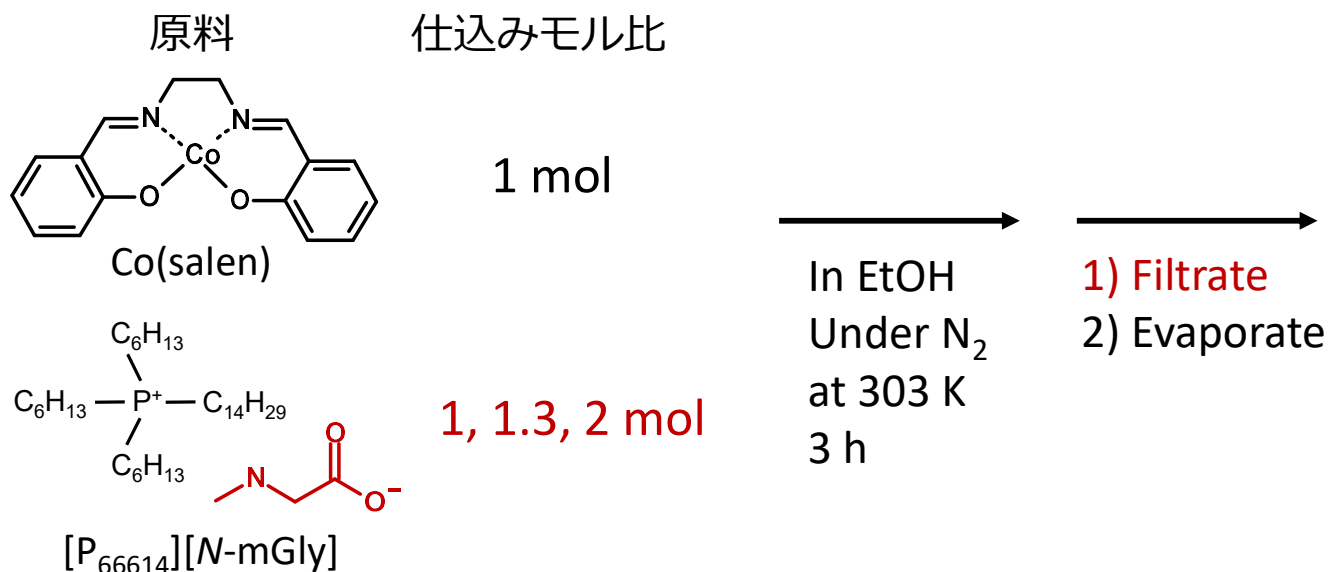
配位性官能基を有するイオン配位子をCo(salen)に配位させる



- ・ イオンが配位することによる電荷の付与
- ・ バルキーなカチオンによるクーロン力の低下（融点の低下）



# 金属錯体系イオン液体の合成



## 各仕込み比で得られた液体の元素分析結果

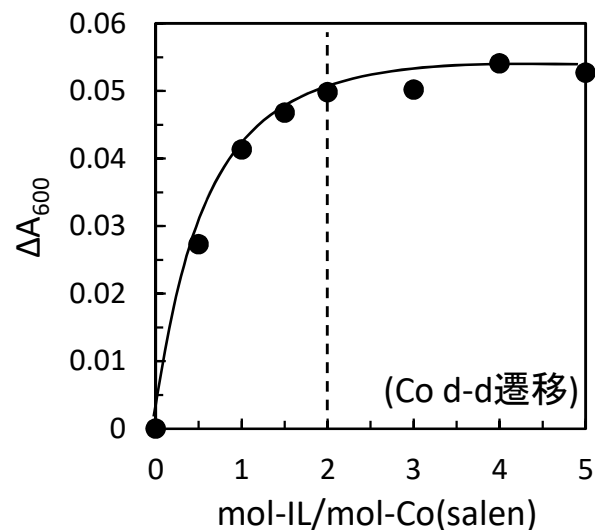
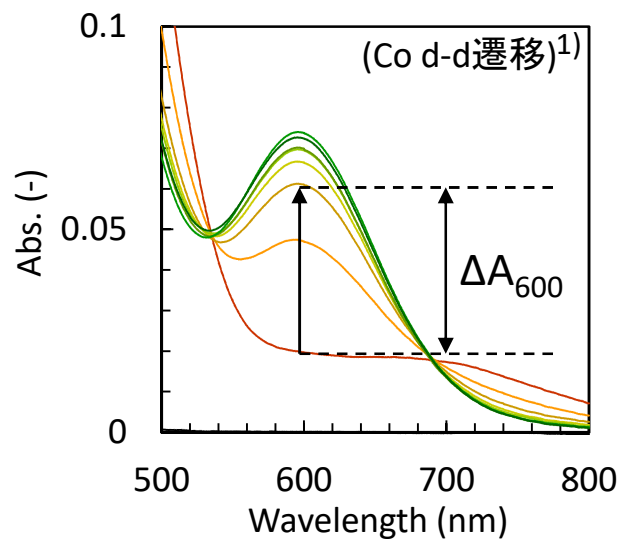
| mol ratio | C (%) | H (%) | N (%) |
|-----------|-------|-------|-------|
| 1:1       | 67.3  | 10.3  | 3.7   |
| 1:1.3     | 67.9  | 10.8  | 3.5   |
| 1:2       | 68.9  | 11.0  | 3.6   |
| Calc.     | 70.3  | 11.1  | 3.8   |

Calc. :  $\text{Co(salen)}/[\text{P}_{66614}][\text{N-mGly}] = 1/2$   
と仮定したときの計算値

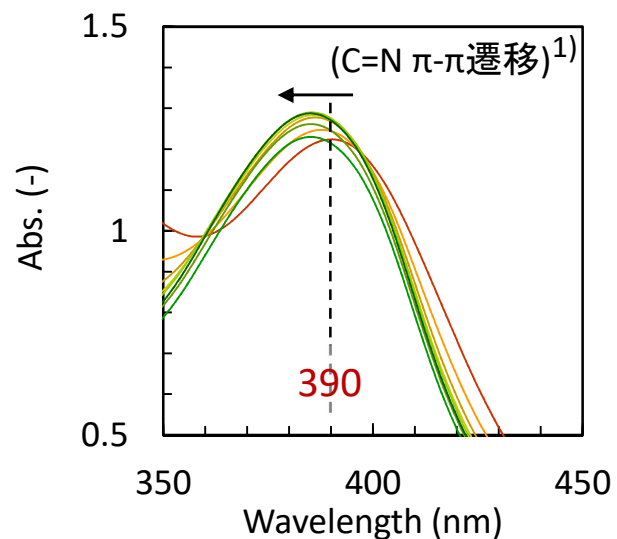
Co(salen) : 配位子IL = 1 : 2  
のモル比で液体中に  
含まれていることを確認



# 金属錯体系イオン液体のUVスペクトル

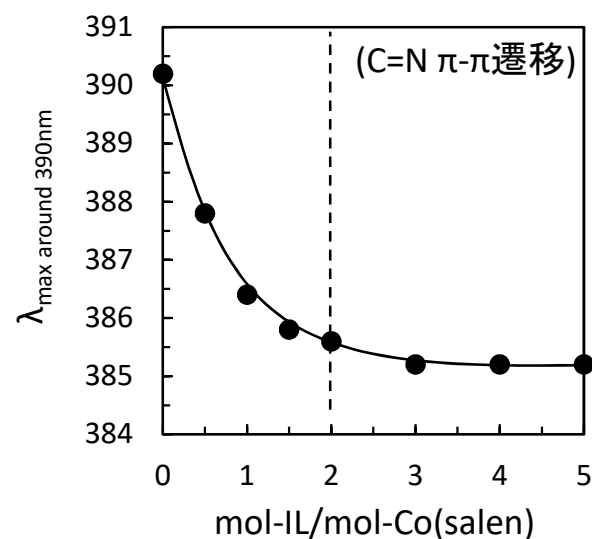


実験方法:  
Co(salen)/メタノール  
溶液に配位子ILを添  
加し、UV測定



IL/Co(salen)  
混合モル比

- 0/1
- 0.5/1
- 1/1
- 1.5/1
- 3/1
- 4/1
- 5/1

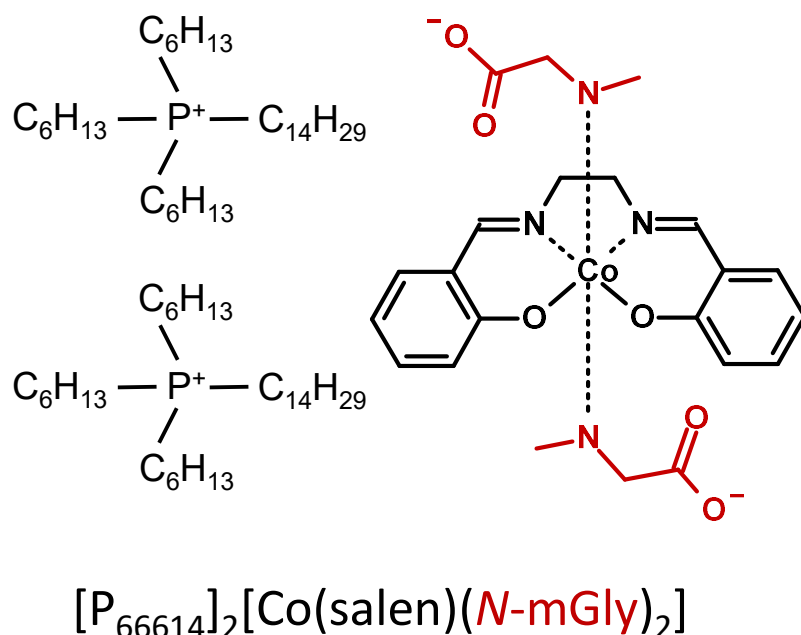


配位子ILが配位していること、配位数が2であることを示唆

# 金属錯体系イオン液体の構造

合成結果、元素分析 : Co(salen)/配位子ILが1/2のモル比で含まれる  
UVスペクトル : 配位結合の存在、配位数が2である

## 予測されるMCILの構造



カチオンとアニオンのみから構成されるため、イオン液体と言える

既存の金属錯体と配位子イオン液体を混ぜるだけで、簡単に合成可能。

配位子ILの構造を変化させることで、MCILの構造を容易に制御可能

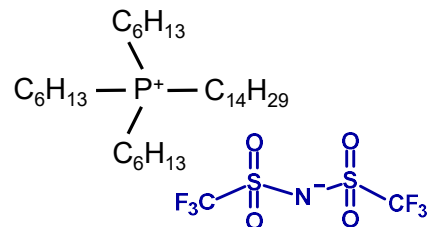
Co(salen)を含んだ金属錯体系イオン液体の合成に成功



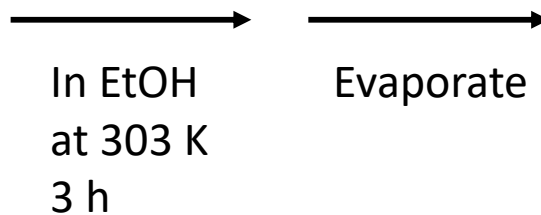
# 金属錯体系イオン液体の合成

Co(salen) 1 mol

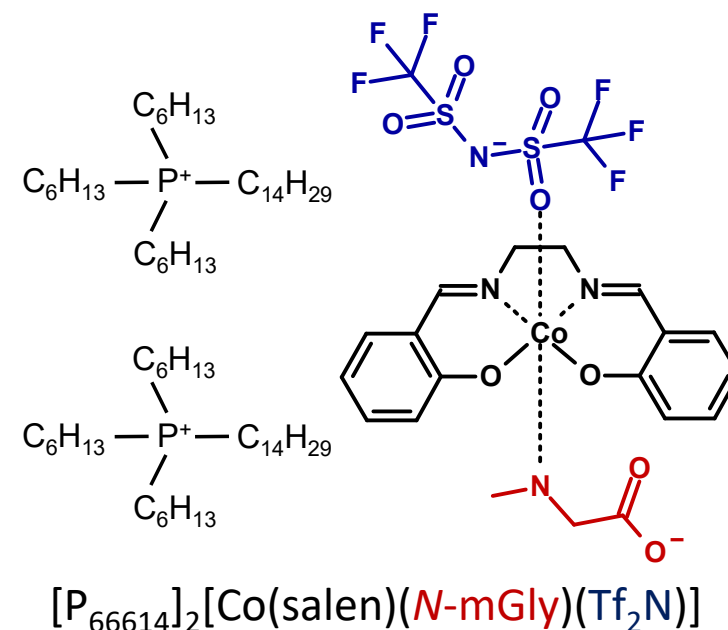
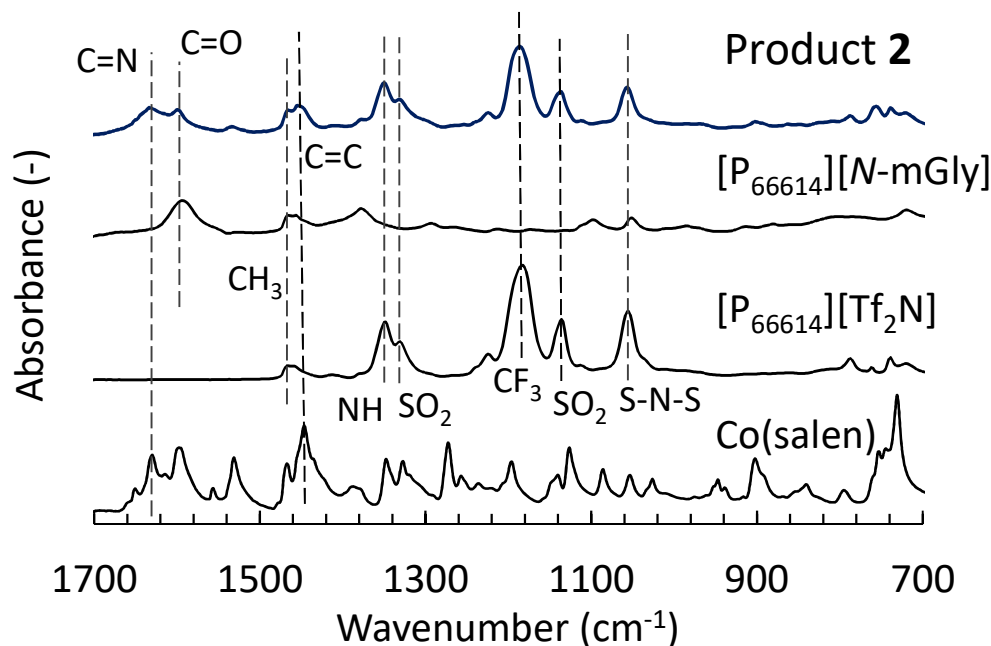
[P<sub>66614</sub>][N-mGly] 1 mol



[P<sub>66614</sub>][Tf<sub>2</sub>N]



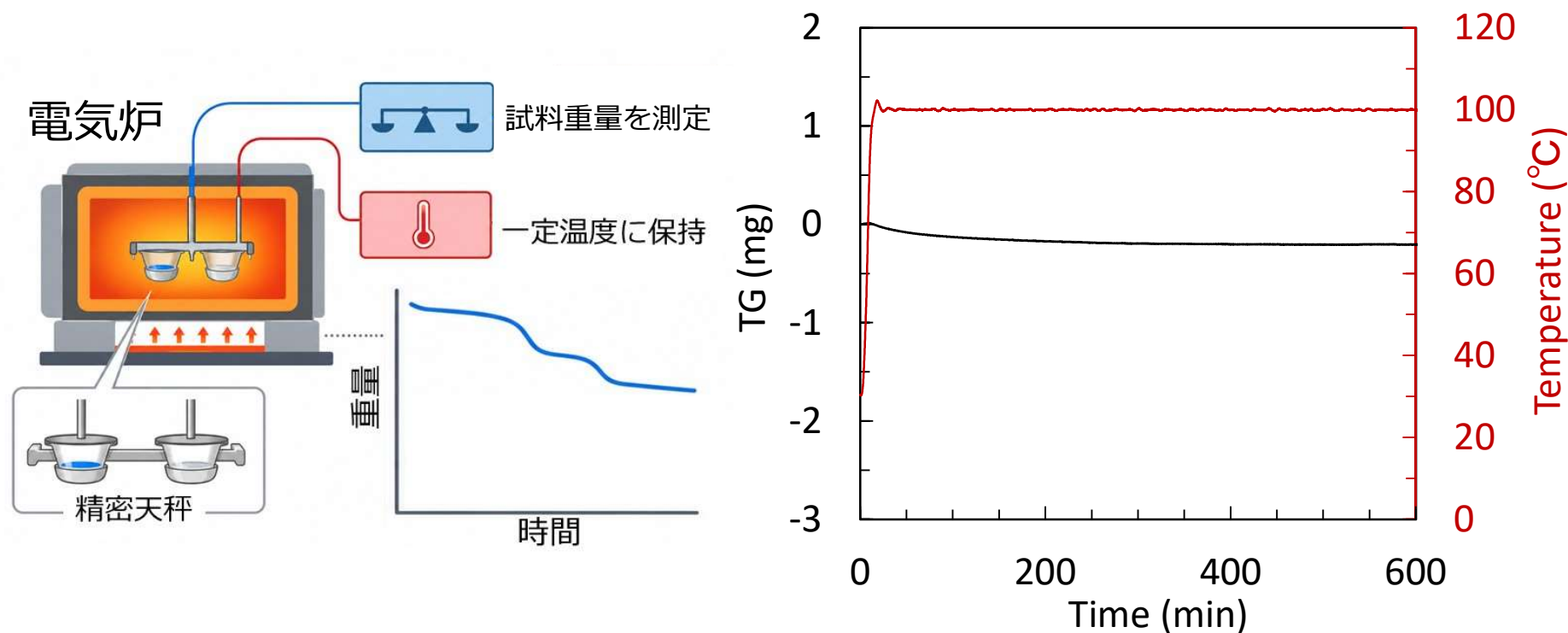
Product 2



配位子ILの種類を変えても同様にイオン液体が得られた

# 金属錯体系イオン液体の不揮発性

## 熱重量測定（イオン液体の不揮発性の確認）



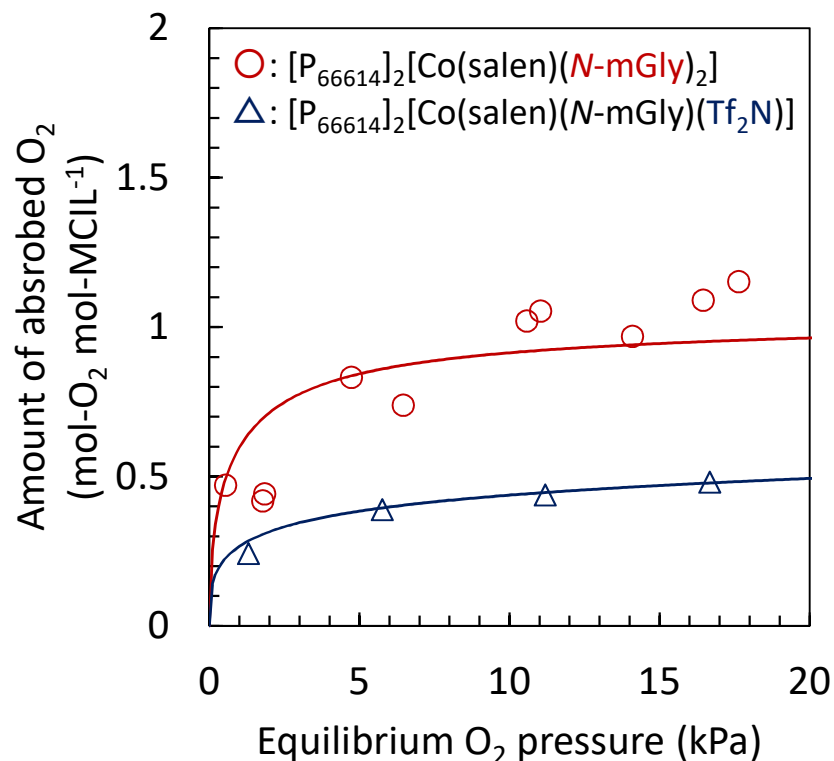
100℃で保持しても、重量はほぼ変化しない  
→気体中で用いても**揮発損失が無い**液体の酸素吸収材



# 金属錯体系イオン液体の酸素吸収性

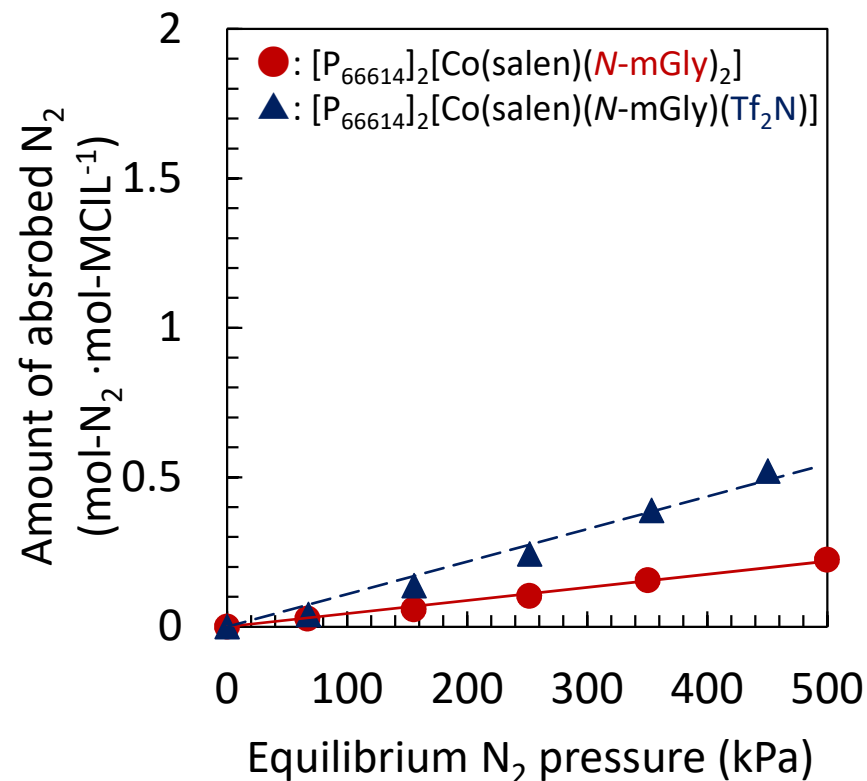
## 酸素吸収等温線

Langmuir型の等温線



## 窒素吸収等温線

Henry 則に基づく比例関係

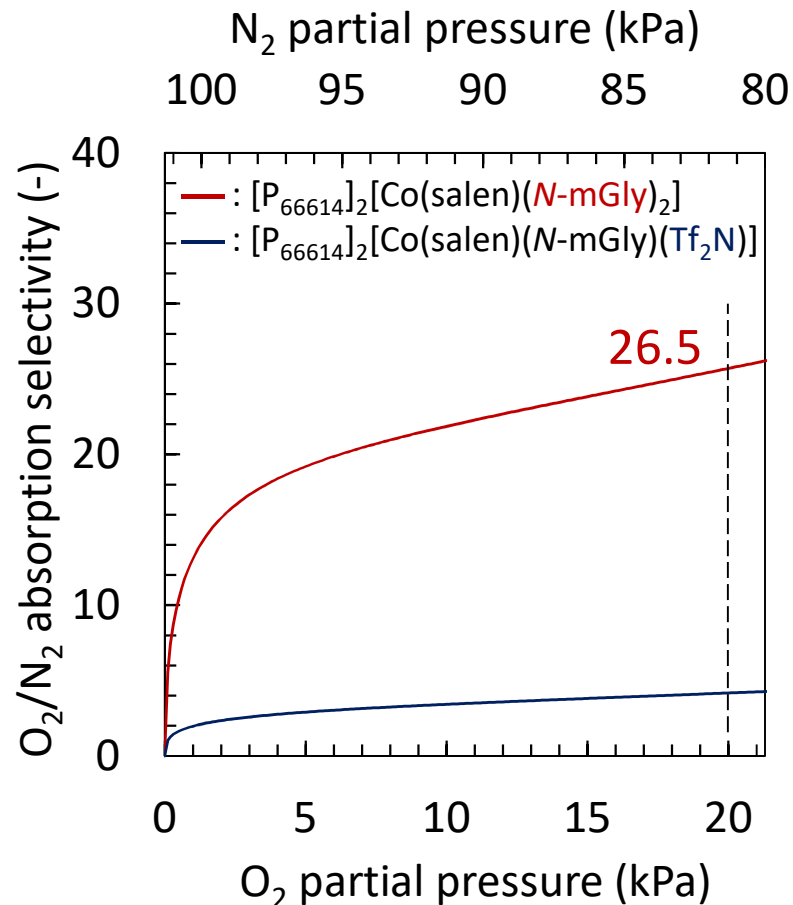


MCILは酸素を化学的に吸収する：酸素吸収性ILの合成に成功



# 金属錯体系イオン液体の酸素/窒素吸収選択性

酸素/窒素吸収量選択性 値が大きいと酸素を優先して吸収する



空気の条件では  
酸素は窒素の26.5倍吸収される

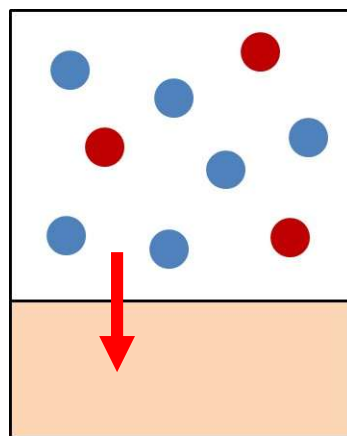
→一回吸収して放散させた場合  
酸素濃度 87.6%まで上昇

例) 医療用の酸素吸引器  
酸素濃度おおよそ90%

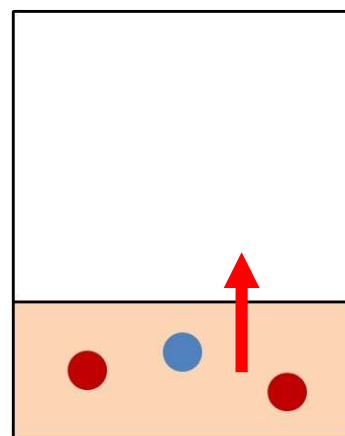
作った材料は選択的に酸素を吸収する酸素吸収材として機能する

# 酸素吸収の可逆性の確認

## 吸収・放散の繰り返し試験

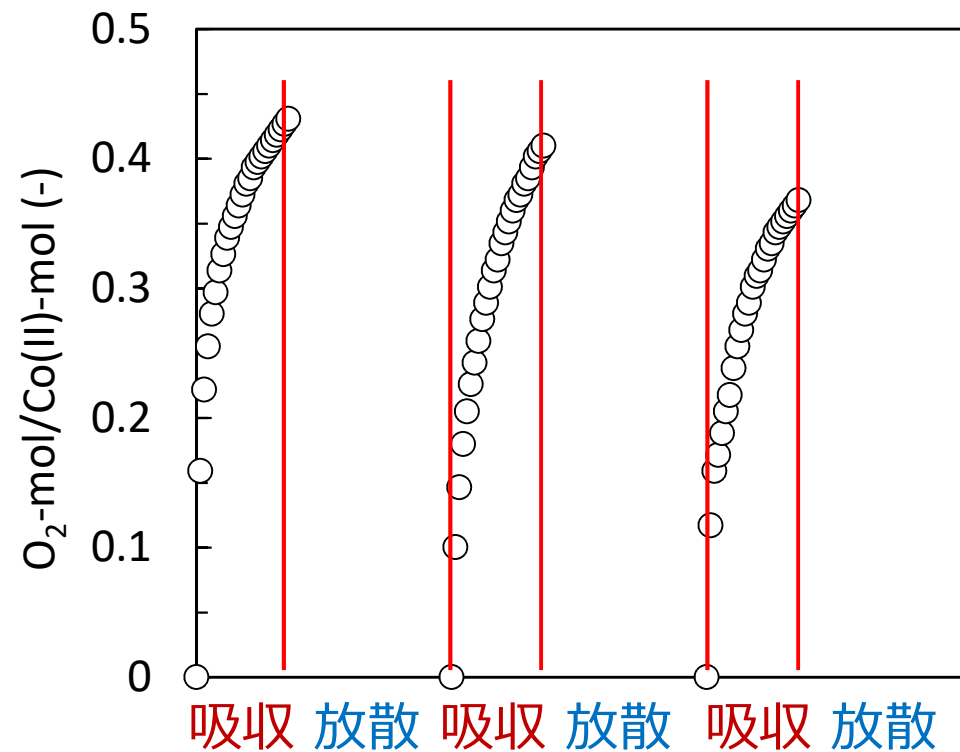


酸素吸収



酸素放散※

※放散時は真空ポンプで減圧



- ・ 85%の酸素吸収量を維持（完全ではありませんが。）

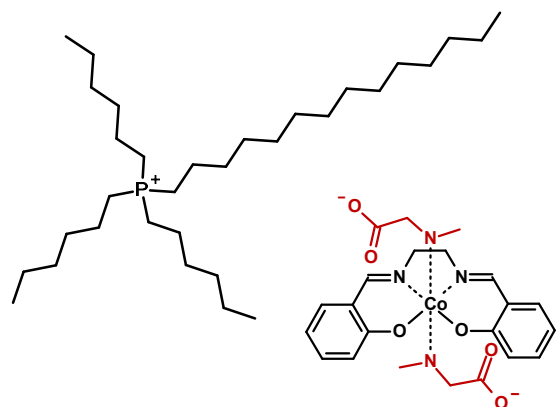
可逆的に酸素を吸収することを確認



# 分子デザインによる酸素吸収選択性の向上

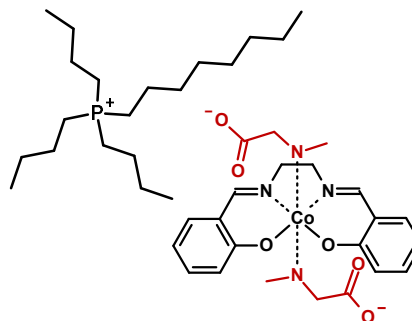
陽イオンの大きさを変える

窒素が入り込む、分子の間の隙間が小さくなる→**選択性向上**



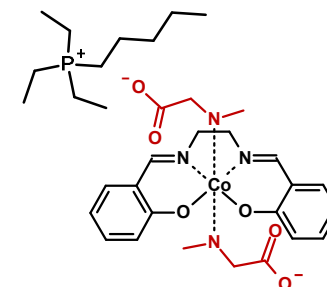
空気条件選択性  
26.5

酸素濃度  
87.6%まで上昇



空気条件選択性  
42.8

酸素濃度  
91.9%まで上昇



空気条件選択性  
**68.6**

酸素濃度  
**94.8%**まで上昇

粘度：流れにくさの尺度



1 mPa·s



1000-10000 mPa·s



90000 mPa·s

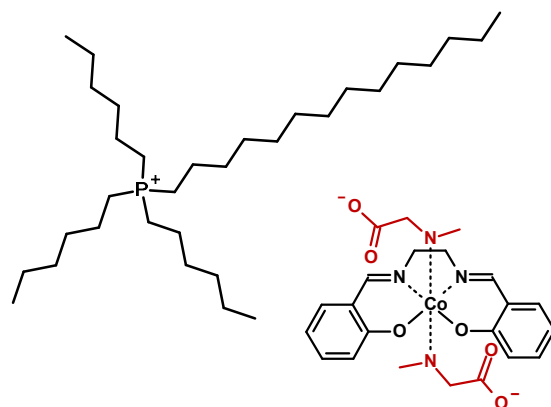
粘度が高すぎて、液体としての利点（ポンプ送液など）が難しい

粘度を下げるような分子のデザインが必要

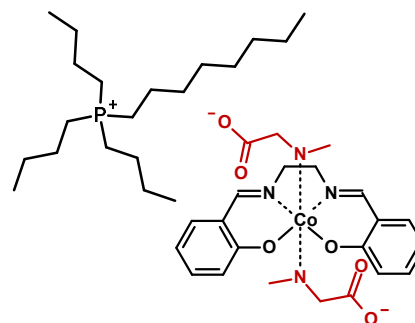
# 粘度低下に向けたデザイン (1/2枚)

陽イオンの大きさを変える

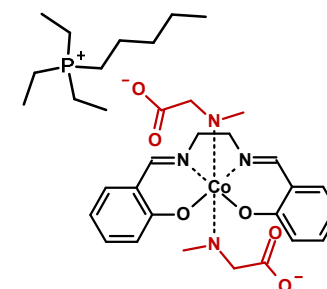
陽イオンの腕の絡み合いが減少→**粘度低下**



83150 mPa s



46125 mPa s



26500 mPa s

粘度は低下したものの、まだ非常に高い

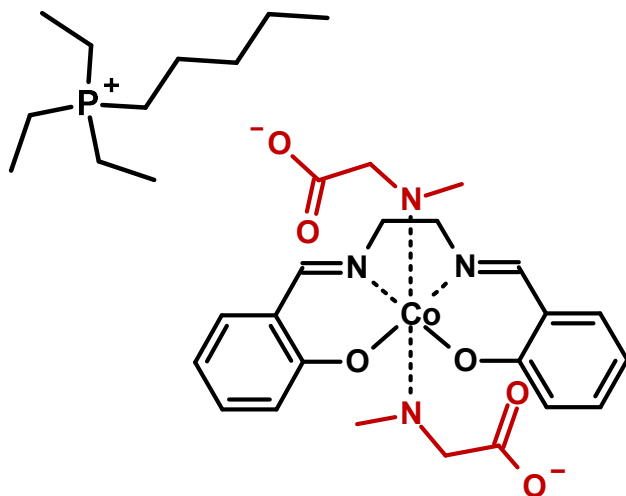
→**金属錯体の構造**そのものを変化させないといけない



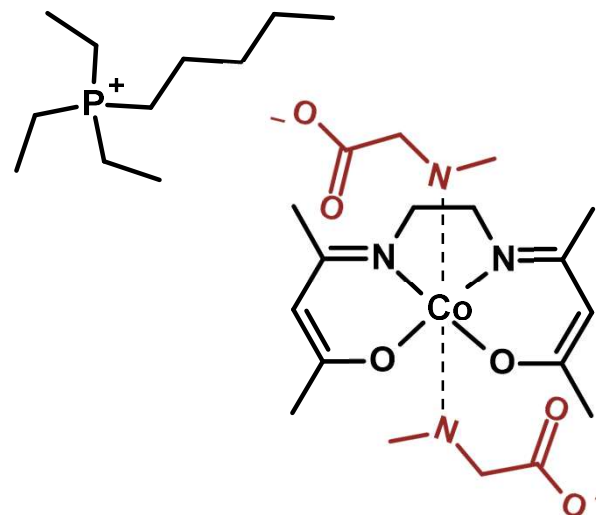
## 粘度低下に向けたデザイン (2/2枚)

金属錯体を変える

ベンゼン環由来の相互作用が減少→**粘度低下**



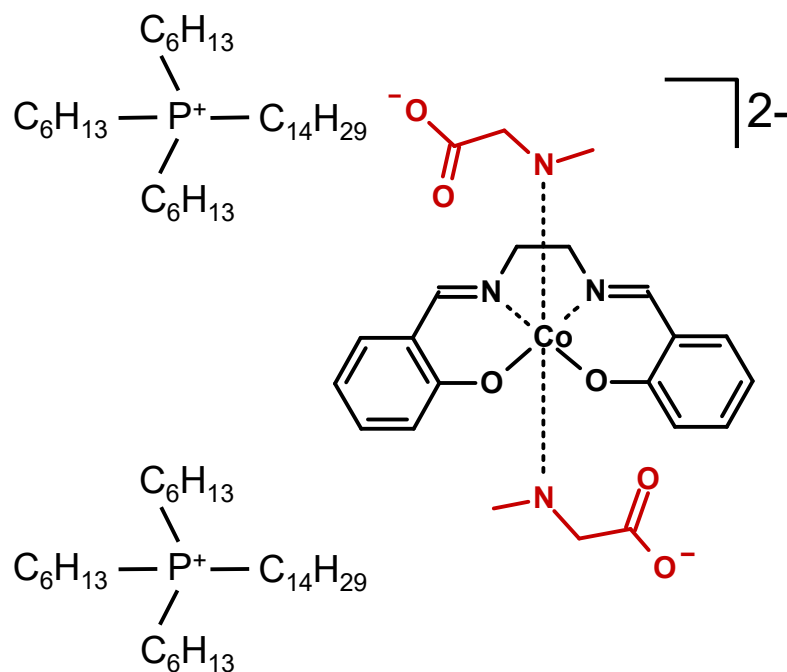
26500 mPa s



2292 mPa s

※酸素吸収性は低下

陽イオンや金属錯体の構造をデザインすることで、**粘度を制御**できる



酸素を吸収する  
 金属錯体

+

大きなイオンで  
 融点を下げた塩

発想次第で、色々な性質を有する材料を作ることができる