# SOLUBILITY AND SOLVENTS FOR CONSERVATION PROBLEMS

Giorgio Torraca　著

# 修復に求められる溶剤と溶解性の基礎

特定非営利活動法人 美術保存修復センター横浜　訳

# 修復に求められる溶剤と溶解性の基礎

Solubility and Solvents for Conservation Problems

Giorgio Torraca 著

翻訳

古木　真　博士（工学）

大西　章夫

特定非営利活動法人美術保存修復センター横浜

ICCROM Via di San Michele 13 - Rome, Italy

Solubility and Solvents for Conservation Problems

This publication was issued in English by ICCROM in 1975, 2nd edition 1978, 3rd edition 1984, 4th edition 1990, and reprinted 2005, under the title Solubility and Solvents for Conservation Problems. It has been translated into Japanese by Non-Profit Organization Art Conservation and Restoration Center Yokohama and Makoto Furuki, which takes responsibility for the scientific quality of the translation.

はじめに

私はおよそ 10 年前、定年後に Firenze で油彩画修復の勉強をしていました。
学校での化学の授業はイタリア語ですから、化学のベースの知識は持ち合わせていたとはいえ容易ではありませんでした。
そんな時、イタリアの Ferrara で毎年開催されている修復展を見学に行った際、修復展内の図書販売所でこの英語の図書に出会いました。多少の英語は分かりましたので、授業を理解する上で大変な手助けとなりました。

日本に帰ってから NPO 法人美術保存修復センター横浜で油彩画の修復教室をサポートする様になり、絵画の修復に向けた化学的な知識が今後必須だと考えた時この図書を思いだしました。
原著は英語ではありますが、修復技術者に向けた化学の初歩から溶剤の特性まで解説されており、基本的な知識として必要な事柄が網羅されていたので、横浜絵画修復教室で使うために翻訳をしました。

幸い私の古い友人に化学の専門家がおり、翻訳のお手伝いをお願いすることができました。彼には化学の専門用語から翻訳の文章の組み立てまで大変におせわになり、分かりやすい文章となることができたと感謝しております。

この度、これから修復の勉強を始めようとしている方々にも役立てて頂きたいと思い、出版することにしました。原著の出版元である ICCROM からは出版にむけてご理解をいただき沢山の御助力をいただき感謝しております。

2019 年 12 月
特定非営利活動法人　美術保存修復センター横浜
理事長　大西章夫

目次

第一部　溶解性の理論

1　固体の構造 - 結晶
1.1　電気陰性度
1.2　イオン結合及びイオン結晶
1.3　共有結合と共有結晶
1.4　金属結合と金属結晶
2　分子と分子間力
2.1　分子の形成
2.2　双極子
2.3　分子間力
2.3.1 双極子引力
2.3.2 水素結合
2.3.3 分散力
3　気体、液体および分子固体
3.1　気体
3.2　液体
3.3　蒸発
3.4　分子固体
4　溶解性
5　不溶性
6　中間極性の溶解度

第二部　溶剤
1　炭化水素
1.1　脂肪族炭化水素
1.2　二重結合、オレフィン系炭化水素
1.3　環式化合物、ナフテン系炭化水素
1.4　ベンゼン環、芳香族炭化水素
1.5　炭化水素溶剤の極性
1.6　工業用炭化水素溶剤
2　塩素化炭化水素溶剤
3　官能基
3.1　アルコール
3.2　ケトン
3.3　酸
3.4　アミン、塩基
3.5　エステルとアミド
3.6　エーテル

第三部　溶液、エマルジョンおよび溶剤の使用
1　液体の相溶性
2　界面活性剤、エマルジョン
3　溶液濃度
4　酸性と塩基性溶液、pH
5　溶剤の使用と蒸発速度
6　溶剤の危険、毒性および引火性
7　溶剤の混合

付表
1.　溶解度特性値の三角ダイアグラム
2.　工業用溶剤とその組成
3.　溶剤リスト及び溶解度特性値
4.　樹脂類の溶解度特性値
参考図書/文献

# 第一部 溶解性の理論

## 1. 固体 – 結晶の構造

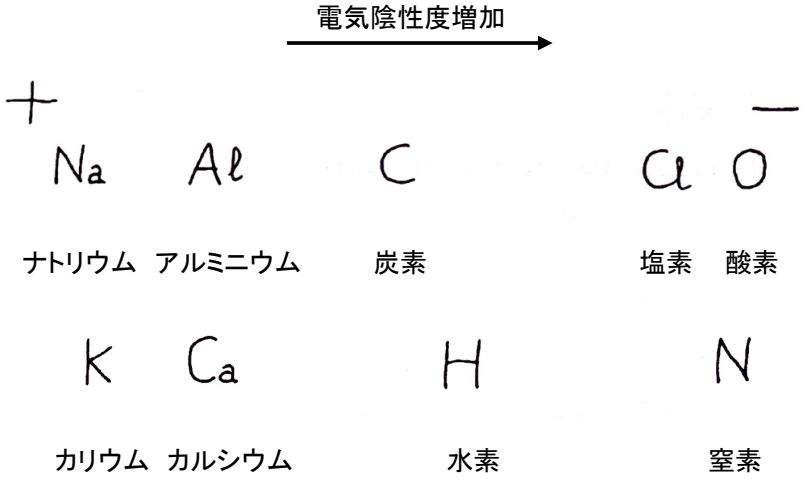
### 1.1 電気陰性度

すべての物質は、化学結合した原子によって形成されています。
原子は、負の電子で囲まれた正の核で構成されています。電子の数は、核の正電荷の数と一致します。

原子は電子を獲得したり失ったりすることで、他の原子と結合します。

電子を獲得する傾向のある原子は、電気陰性と呼ばれます。電子を失う傾向のある原子は電気陽性と呼ばれるべきですが、通常、電気陰性度が低いといわれます。

電気陰性度スケール



## 1.2 イオン結合とイオン結晶

電気陰性原子（塩素など）が電気陰性度の低い原子（ナトリウムなど）と会うと、その原子から電子を奪い、両方の原子は、電気的にアンバランスになります。

| | |
|---|---|
| $Cl^-$ | $Na^+$ |
| 塩素イオン | ナトリウムイオン |
| 核の正電荷より | 核の静電荷より |
| １電子分多い | １電子分少ない |

電荷を帯びた原子はイオンと呼ばれます。負イオンは正イオンを引き付け、イオン結合を形成します。多くのイオン結合が集まるとお互いに引き合い、三次元の規則的な構造を形成します。これはイオン結晶と呼ばれます。

イオン結晶

塩化ナトリウム

$$\begin{array}{ccccc} Na^+ & Cl^- & Na^+ & Cl^- & Na^+ \\ Cl^- & Na^+ & Cl^- & Na^+ & Cl^- \\ Na^+ & Cl^- & Na^+ & Cl^- & Na^+ \\ Cl^- & Na^+ & Cl^- & Na^+ & Cl^- \\ Na^+ & Cl^- & Na^+ & Cl^- & Na^+ \end{array}$$

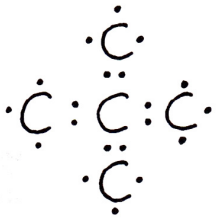
## 1.3 共有結合と共有結晶

電気陰性度スケールの中央から右側の原子は、互いに出会ったときに電子を共有し、結合を形成します。これを共有結合と言います。

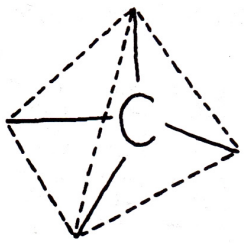
$$C\cdot + \cdot C = C:C \quad \text{OR} \quad C-C$$

炭素は最も外側の殻に4つの電子を持つので、他の4つの炭素原子と4つの共有結合を形成することができます。

4つの炭素原子のそれぞれは、別の3つの炭素原子に結合することができ、これを繰り返して規則的な三次元構造が形成されます。



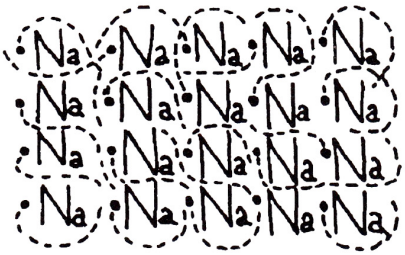
これも整然とした三次元配列を形成し、精密な共有結晶となります。
四面体の中心の原子から各頂点に結合が向かっているので、この結晶を描くことは簡単ではありません。




## 1.4 金属結合と金属結晶

電気陰性度スケールの左側の原子は、同じ種類の他の原子と出会った時に電子を共有します。共有された電子は、2つの原子の間に（共有結合のように）固定されず、結合を形成したすべての原子の周りを自由に移動します。

この場合も規則的な三次元配列が形成され、このタイプの結晶は金属結晶と呼ばれます。



金属結晶

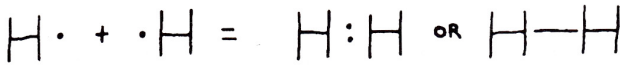
ナトリウム

電子は結晶の中を動き回ることができるので、金属には電気伝導性があります。

## 2.分子と分子間力

### 2.1 分子の形成

共有結合により少数の原子によるグループが形成されます。




水素分子

これを分子と呼びます。

分子は一定数の原子により形成され、結晶は多くの数の原子で構成されます。

メタン

## 2.2 双極子

1つの共有結合を形成する2つの原子の電気陰性度が等しくない場合、結合に関わる2つの電子は等しく共有されず、電気陰性原子側に近づき小さな負電荷を得ます。
逆に、もう一方の原子はわずかに正電荷を帯びます。

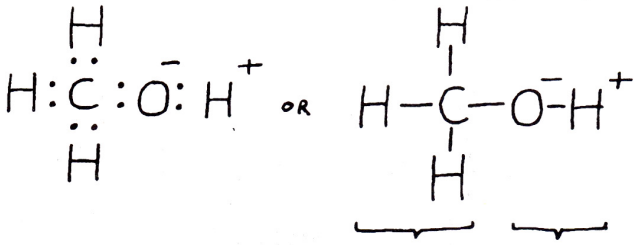
この結合はわずかに分極していると言われます（電気的な極性を示すので）。

その他の例としては以下のものがあります。

これらの分極した結合は、双極子（すなわち、相反する電気極性の対）と呼ばれます。

双極子を内在する分子は極性分子と呼ばれ、双極子を含まないものは非極性分子と呼ばれます。

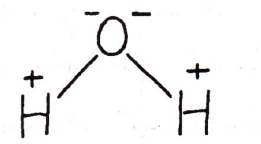
分子は、極性部分と非極性部分とを有します。



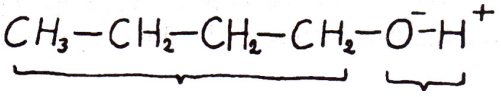

メチルアルコール
（メタノール）

極性部分が非極性部分より大きい分子は強い極性分子と呼ばれます。

水は非常に強い極性分子です。



極性部分が非極性部分より小さい分子は弱い極性分子です。



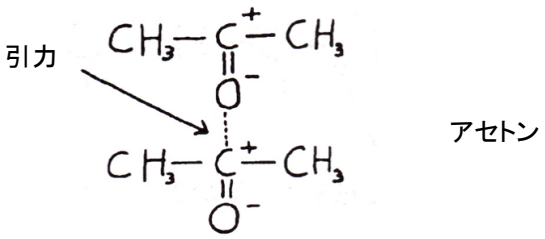
非極性部分　　極性部分

n−ブチルアルコール

（n−ブタノール）

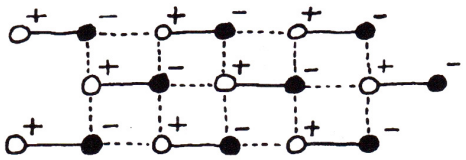
## 2.3 分子間力

### 2.3.1 双極子引力




双極子の正の部分は、他の分子の双極子の負の部分を引きつけます。

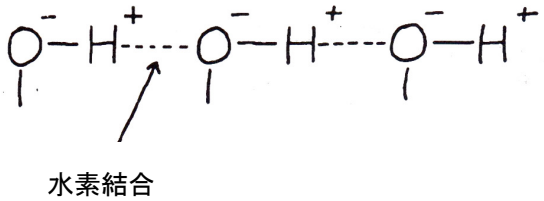
一般的に双極子 −●—○+ を有する一定数の分子間には、全体として引力が形成されます。



## 2.3.2 水素結合

$-0^{-}-H^{+}$で形成される双極子は水素原子がただ一個の電子しか持たずこれが酸素原子に引き寄せられている点で非常に特異的です。

正の水素原子核は電子を持たず完全にむき出しで負の原子との間に強い引力を形成します。これを水素結合と呼びます。

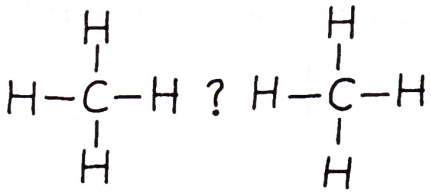



水素結合は、双極子ー双極子引力の中でも特別な形で、通常の双極子ー双極子よりも強い力で結びついています。

0-H 基を含む全ての分子は、同じ分子同士または 0-H 基を含む他の分子（例えば水のように）と水素結合を形成することができます。

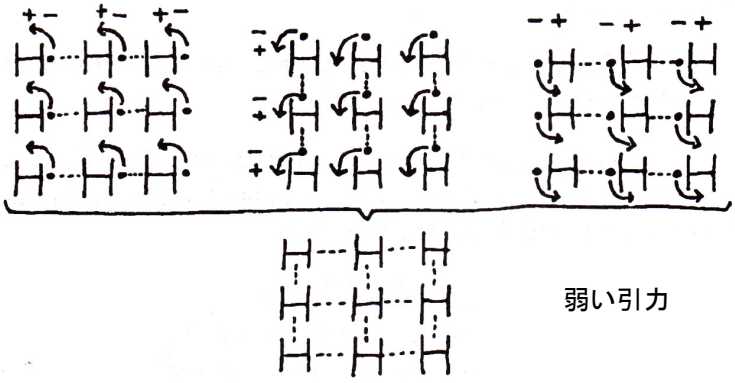
### 2.3.3 分散力

双極子が存在しないとき、分子間に引力があるでしょうか？




引き合わない？

いいえ、誘起双極子（分散またはファンデルワールス力）による弱い引力があります。
誘起双極子は、正の水素原子核の周りを回る電子によって形成されます。



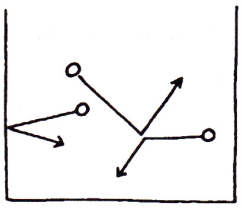

これらの力は、通常の双極子−双極子相互作用によりはるかに弱いものです。

## 3.気体、液体および分子固体

### 3.1 気体

分子間の引力が低い場合、分子は一定速度で直線的に空間内を移動します。
温度が高いほど速くなります。

分子がお互いに衝突したり、容器の壁に当たったりすると、跳ね返り、新しい経路で飛び続けます。

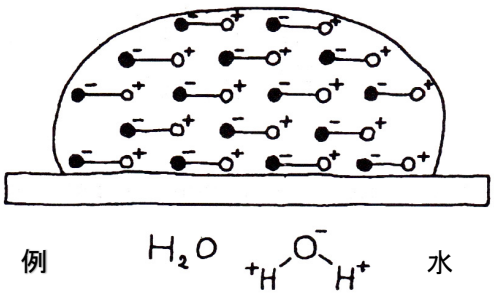


### 3.2 液体

分子が低温で減速するとき、または引力が大きいときには、もはや互いに当たったときに跳ね返えらず、そこに一緒に留まります。

共に引き寄せられても、運動の自由度がある分子の塊は、液体と呼ばれます。

極性分子からなる液体は極性液体と呼ばれます。
この極性液体内部の分子の引き合う力は大きく、盛り上がった液滴を形成する傾向があります（高い表面張力）。



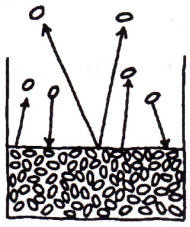
非極性分子からなる液体は、非極性液体と呼ばれ、内部の分子の引力は小さくなります。そして非極性液体は、表面に薄く広がる傾向があります（低い表面張力）。

## 3.3 蒸発

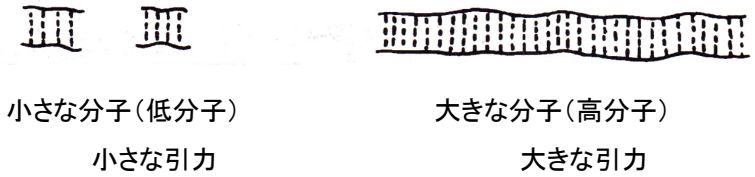
分子が液体中の引力から逃げ出し、大気中に出ることを蒸発すると言います。

低分子量の非極性液体は引力が低いため、容易に蒸発します。

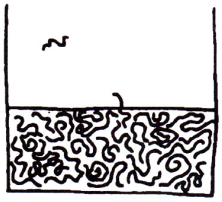
この時、一部の分子は液体側に戻ります（液化）。



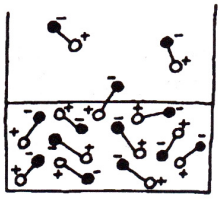
大きな分子（高分子）は小さい分子（低分子）よりも大きな引力を持っています。



大きな分子による液体は蒸発しにくくなります。



分子の大きさが等しい時は、極性液体の方が非極性液体よりも蒸発しにくくなります。



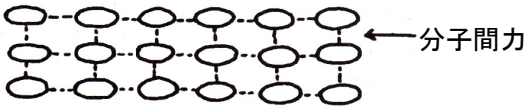
## 3.4 分子固体

引力が非常に大きい（または温度が非常に低い）とき、分子は固体を形成します。

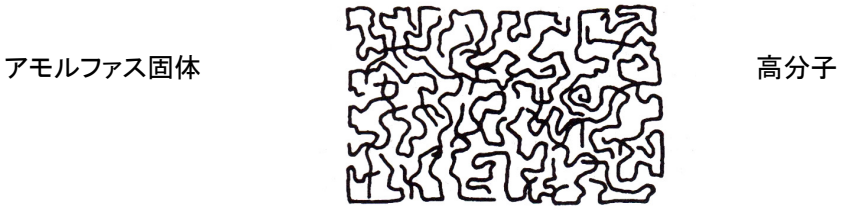
分子固体は、分子が三次元配列を形成するように積み重ねられ、引力（双極子−双極子またはファンデルワールス）によって定位置に保持される秩序構造を作ります。

この構造は結晶であり、分子結晶と呼ばれています。小さな分子の方が結晶になりやすいです。

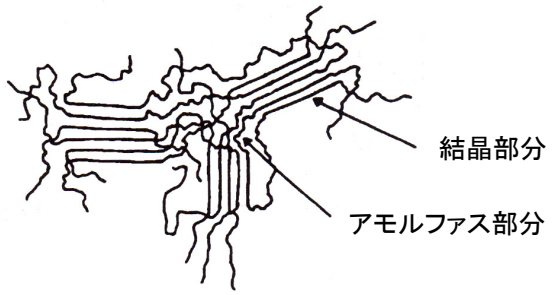
分子結晶



高分子はしばしば秩序のない固体（非晶質/アモルファス固体）を形成します。
強い引力によって分子の結晶化が阻害されます。



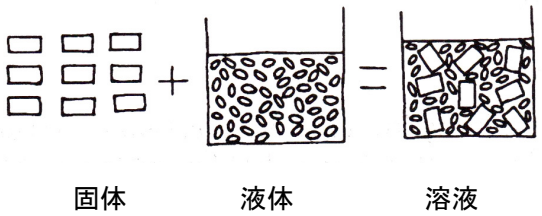

大きな分子の場合、固体の一部が結晶を構成し、残りが非晶質であることはしばしば見受けられます。




## 4.溶解性

固体はそれを構成する原子や分子のレベルまで、液体の分子によりバラバラにされることで、液体に溶解します。

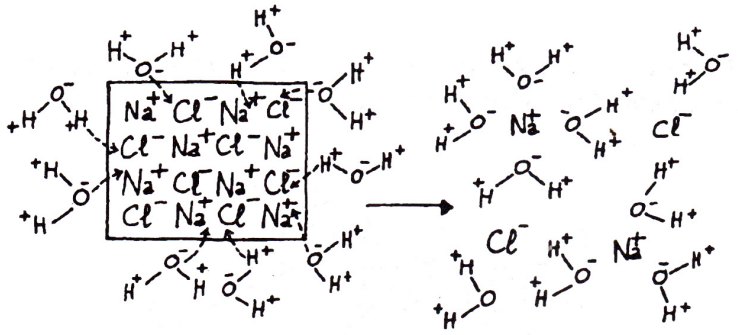
液体の分子が、固体の原子や分子の結合力や引力を破壊しながらそれらの間に入り込みます。



液体が溶液から蒸発すると、固体は元に戻ります。

金属結晶や共有結晶を溶剤で溶解することは不可能です。液体状態への変化は、化学反応による結合の破壊で起きますが、この場合、液体の蒸発後に固体を変化させずに回収することは不可能です。

一方で、非常に極性の溶剤、例えばジクロロメタンなどによって、イオン性結晶および非常に極性の高い分子固体を溶解することが可能です。例えば水は最も極性の高い溶剤とも言えます。



塩化ナトリウム ＋ 水　　溶液（食塩水）

塩化ナトリウム結晶は水に溶解します。 溶解は以下のような傾向があります。

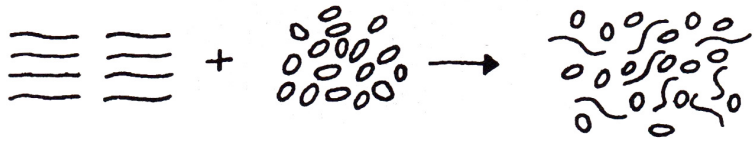
(a)　電気的引力

溶液中の水分子とイオン（ナトリウムや塩素）は、少なくとも固体中のイオン間の引力以上の相互引力を生じます。

(b)　無秩序化

水とイオンがイオン同士と同等の電気的引力であれば、無秩序化が支配的になります。温度が高い程無秩序化しやすくなります。

非極性分子固体を非極性溶剤に溶解することは可能です。



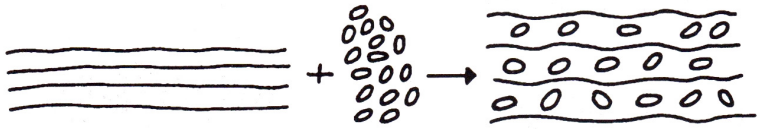
非極性固体　　非極性溶剤　　溶液

この場合、液体中および固体中のどちらにも弱い電気的引力（ファンデルワールス型）しか存在しません。液体分子と固体分子の間にも溶液中で同じ引力が相互に発生します。

したがって、液体分子同士と固体分子同士に働く引力が等しければ無秩序化、すなわち溶解が起こります。

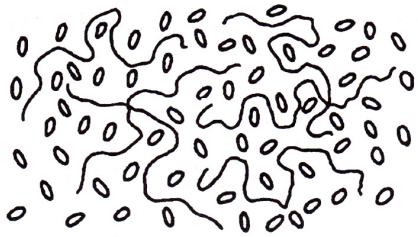
溶剤が適合していても、高分子を溶解することは容易ではありません。
溶剤分子は、長い分子の隙間に浸透するのには時間が掛かります。

溶剤が浸透すると、固体は膨潤し柔らかくなります。



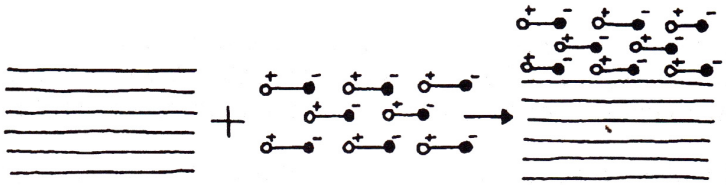
高分子　　溶剤　　膨潤

溶解は、長い分子が完全に分離した場合にのみ生じます。
この段階に到達するには非常に時間がかかり、超高分子の場合は到達できない場合もあります。



高分子の溶液

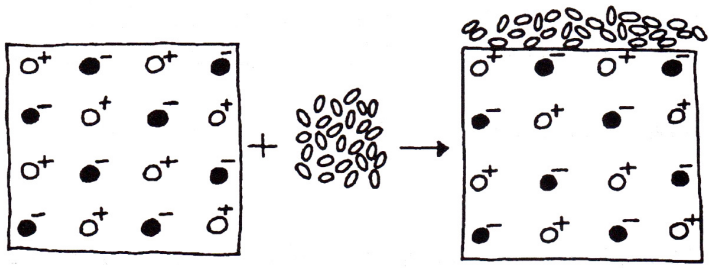
## 5.不溶性



非極性固体　　極性溶剤　　不溶性

無秩序化しない

溶解(=無秩序化)するには、極性分子は1つ1つバラバラになる必要があります。
非極性の液体分子と極性の固体分子の間には電気的引力は働きません。
したがって、この場合他の引力も等しくならず、無秩序化は支配的になりません。



極性固体　　非極性溶剤　　不溶性

無秩序化しない

## 6.中間極性の溶解度

一般に、固体は、固体と性質が非常に似ている液体によって溶解されます。

これは、液体内部の液体分子間に働く引力が、固体内部の分子（または原子）間に働く引力と等しいことを意味しています。
この場合、溶剤と固体分子の引力を交換することが可能で、最終的に無秩序化、すなわち溶解に至ります。

固体に合った溶剤を簡単に見つけられるようにするには、すべての溶剤とすべての固体を、それらに内在する引力に基づいて分類する必要があります。

修復技術で扱うほとんどの固体は分子固体です。それらは、3つのタイプの力に基づいて分類することができます。

1） 双極子−双極子または乾いた極性

2） 水素結合または湿った極性

3） 分散力または無極性

双極子−双極子引力を水素結合と分けておくことは重要です。なぜなら、水素結合を含む固体が水など分子内に OH 基を有する溶剤によく溶ける傾向にあることからです。そのため、後者の極性を「湿った極性」（修復においてのみ使用される独特の呼称）と呼び、他方 OH 基を含まない双極子−双極子引力を「乾いた極性」（同様に独特の呼称）と呼びます。

種々の溶剤の、これらの3つのタイプの力は概ね計算することができます。それらを溶剤内での分子間に働く総力に対するパーセンテージとして表すことで、溶剤および混合物を、溶解度特性値三角ダイアグラムへ図式的に位置付けることができます（付表1）。

一方固体材料の計算ははるかに難しく、利用可能なデータはほとんどありません。

しかし、それぞれの固体の溶解挙動を実験によって評価し、三角ダイアグラムの中に位置付けることは可能です。

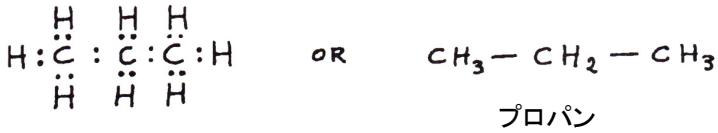
溶解実験の結果はある限られた三角ダイアグラム内の領域に集まり、固体の可溶領域と呼ばれます。

# 第二部　溶剤

## 1.炭化水素

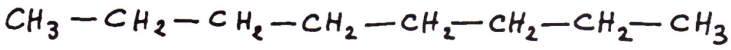
### 1.1 脂肪族炭化水素

水素と炭素だけを含む分子は炭化水素と呼ばれます。




より大きな分子は、他の炭素原子を加えて原子が鎖状になることで形成されます。
鎖状構造からなる炭化水素は脂肪族炭化水素と呼ばれます。

n−オクタン



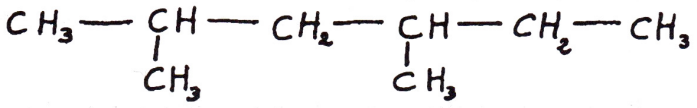

鎖の末端基は常に$-CH_3$ 基であり、メチル基と呼ばれ、中心基の$-CH_2-$はメチレン基と呼ばれます。

小さな炭化水素はメタンやプロパンのような気体です。中間のものは液体で（オクタンのような）あり、長い鎖はその長さによって鎖間の引力が増加するので、固体（パラフィンワックスのような）を形成します。

炭化水素溶剤は、6～12個の炭素原子の分子によって形成されます。
短い分子は揮発性が高く、長い分子はゆっくりと蒸発します。

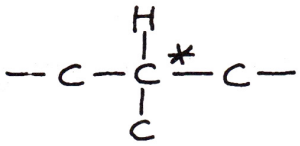
n−オクタンのような直鎖炭化水素はパラフィンと呼ばれます。

直鎖炭化水素に鎖が分岐する場合もあります。



iso−オクタン

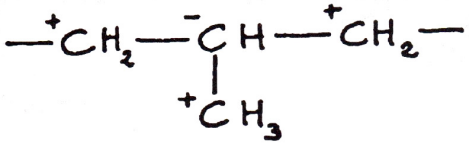
分岐炭化水素は、イソパラフィンと呼ばれます。 分岐点には特殊な性質があります。分岐点にある炭素原子は第3級炭素(原子)と呼ばれ、



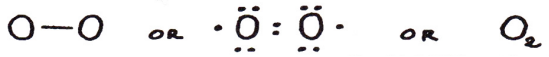
＊第3級炭素

それは、3つの他の炭素(原子)と1つの水素(原子)に結合した炭素(原子)になります。

第3級炭素(原子)は鎖の残りの部分に対してわずかに負であり、電気陰性度の高い分子と容易に反応します(電子吸引性)。



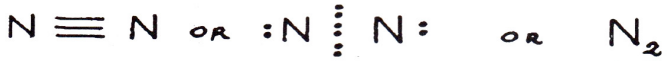
酸素(分子)は電子欠乏分子（電気陰性度が高い）の一例であり、




酸素分子

2つの孤立電子を有しています。分子はすべての電子が対になった方が安定であるが、その場合各分子が8つの電子を持つことになります。

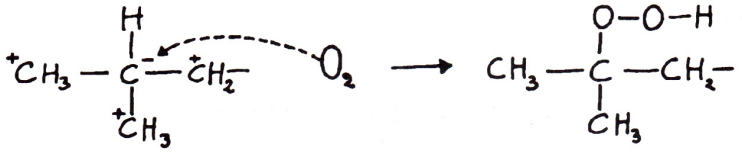
空気は窒素（約75％）と酸素（約26％）分子で構成されているため、大気中のすべての物質は酸素との反応に晒されています。これに反して窒素は非常に安定で、反応性はありません。




窒素分子

酸素との反応は酸化と呼ばれています。

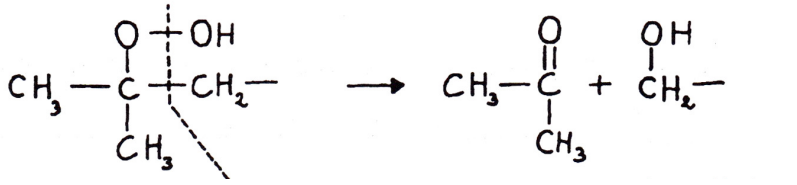
第3級炭素(原子)は、鎖の他の部分よりも容易に酸化されます。



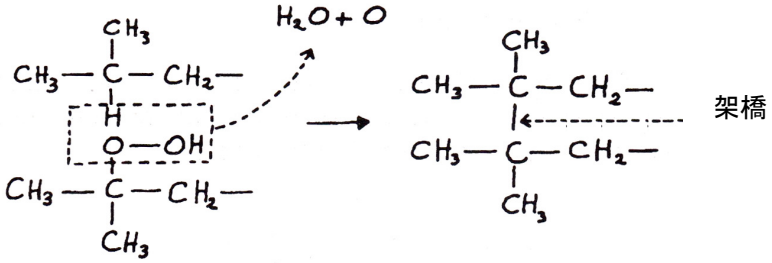

ヒドロペルオキシド

酸化の中間生成物（ヒドロペルオキシド）は安定ではなく、2つの異なる方法で分解されます。

(a)　ヒドロペルオキシドの分解。

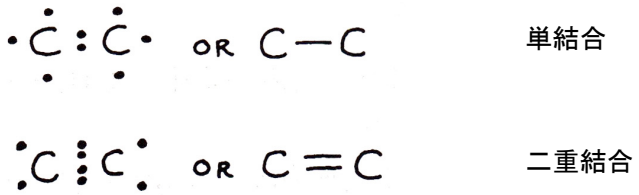



(b) 2つの分子が架橋し、より大きな分子が形成されます。

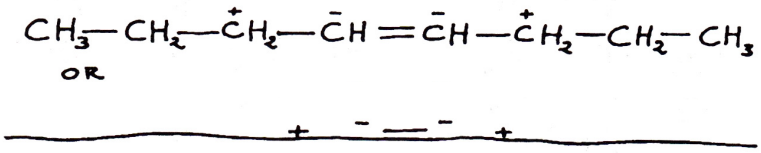



## 1.2 二重結合　オレフィン系炭化水素

隣接する2つの炭素原子は、それらの間に2つの共有結合を形成することができます。



二重結合は、2つの炭素間の強い結合ですが、分子の他の場所よりも多くの電子が存在する領域でもあります。

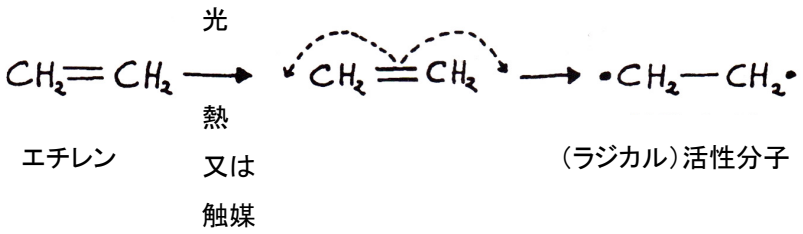



したがって、二重結合部分は分子の中で反応し易い点であり、その反応性は第3級炭素(原子)以上です。

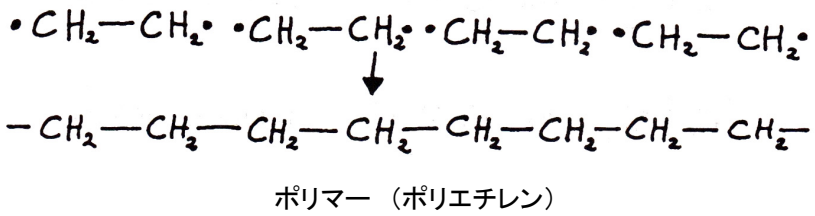
二重結合を含む炭化水素はオレフィンと呼ばれます。それらはいくつかのパターンの反応を起こします。

## (a) 重合

反応の第一ステップは活性化と呼ばれます。 光（特に紫外線）、熱または反応を促進する物質（触媒）によって、反応が引き起こされます。

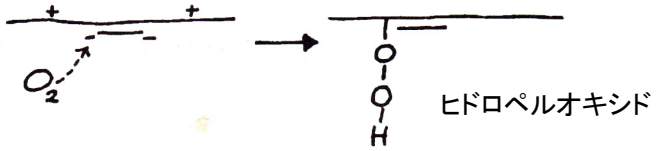



第二ステップでは、いくつかの活性化された分子同士が一体化してポリマーと呼ばれる長い鎖を形成します。



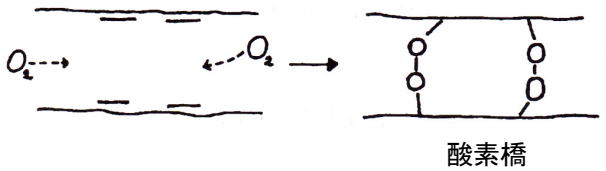
### (b)酸化

二重結合の酸化は、第3級炭素原子の酸化よりも容易です。
第一ステップは常に、分子の最も負な点にヒドロペルオキシドを形成することです。




ヒドロペルオキシドは不安定で、既に示されているように壊れたり架橋したりします。

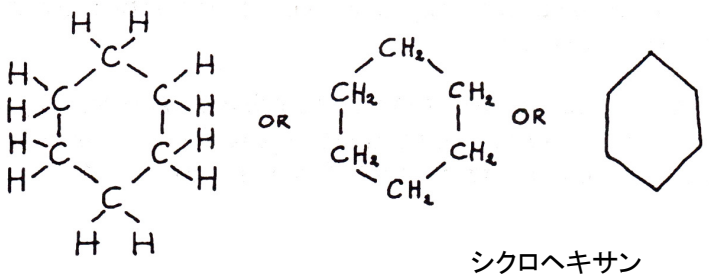
二重結合と酸素との特殊な反応例として、酸素橋の形成があります。



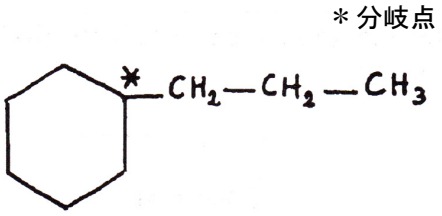

酸素橋は、2つ以上の二重結合を有する分子で形成されやすいです。

## 1.3 環式化合物・ナフテン系炭化水素

6個の炭素原子は結合して、容易に環を形成することができます。
また、5原子環も形成することができますが、他の環を形成することは困難です。

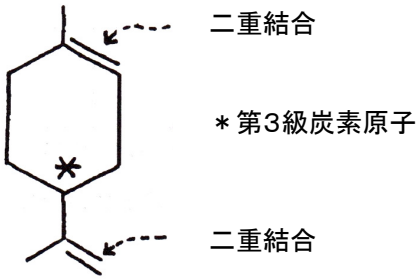


環式の炭化水素はナフテンと呼ばれます。環に側鎖が付く場合があります。




環の分岐点は第3級炭素(原子)になります。

テレピン油は、側鎖と二重結合を有する環式炭化水素を含有します。




テレピン油の中に位置する炭化水素

したがって、テレピン油はわずかに極性（分岐点および二重結合はわずかに負）であり、かなり反応性（重合または酸化し易い）です。

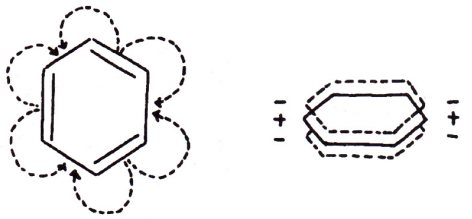
テレピン油は、新鮮な天然樹脂の良い溶剤です。
今では、より安定したパラフィン系炭化水素と芳香族系炭化水素の調整混合物で置き換えることができます。1.6 工業用炭化水素溶剤　参照。

## 1.4 ベンゼン環、芳香族炭化水素

3つの二重結合を有する炭素の6員環は特別な性質を有します。
これはベンゼン環と呼ばれ、分子内にこの環を含む炭化水素はすべて芳香族炭化水素と呼ばれます。

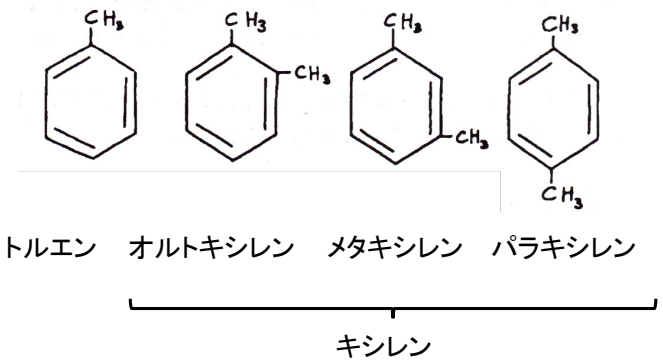
ベンゼン

交互の（共役の）二重結合により、いくつかの電子が炭素原子の環の周りのわずかに上か下を動き回ることができるようになります。

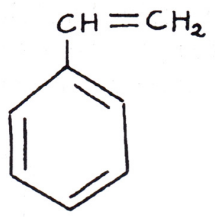


この電子の独特な分布は、芳香族炭化水素にわずかな極性を持たせ、他の特性（臭い、毒性）も生じます。

ベンゼンそれ自体は有用な溶剤であり、環に側鎖が付加することによって他の溶剤が形成されます。



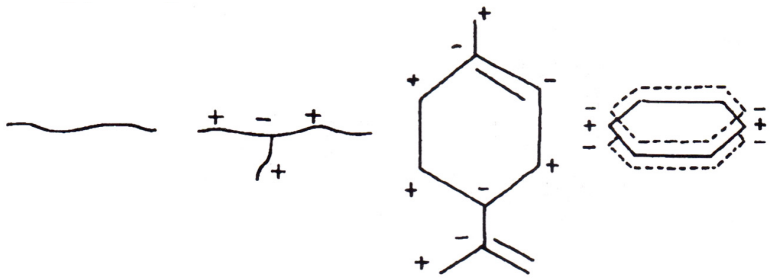
スチレンは、側鎖にも二重結合を有します。




## 1.5 炭化水素溶剤の極性

オレフィン系炭化水素は、不安定であるために通常溶剤としては使用されません。テレピン油は例外です。

炭化水素溶剤を、極性が増加する順に以下のように並べることができます。



直鎖炭化水素（パラフィン　分岐炭化水素 iso-パラフィン　環式炭化水素 テレピン油　芳香族 共役系）

## 1.6 工業用炭化水素溶剤

テレピン油（樹脂樹木の滲出液の液体成分）や芳香族溶剤（コールタールの蒸留により得られる）以外、全ての炭化水素溶剤は鉱物油から得られます。

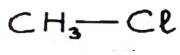
多くの混合物が市販されており、パラフィン系から芳香族に至る極性の範囲をカバーしています。

代表的な工業用溶剤のリストとその組成を巻末に付表2として添付します。

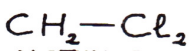
## 2.塩素化炭化水素溶剤

炭化水素分子中へ塩素が加わると、乾いた極性を示します。

分子間の引力が増すことで、より小さな分子が適切な蒸発速度を得て、溶剤として使えるようになります。



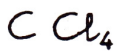

塩化メチル



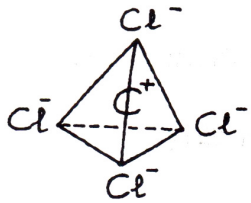

塩化メチレン

クロロホルム

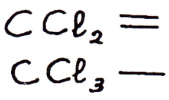
四塩化炭素は、分子が対称であり、双極子が幾分相殺されるので、塩素化炭化水素の中で最も低い極性です。塩素化炭化水素は、水素結合を形成する傾向がほとんどないため、水と混和しません。




四塩化炭素




他にエチレンやエタン分子に由来する塩素化炭化水素があります。




トリクロロエチレン

トリクロロエタン

トリクロロエタン(クロロテン)はトリクロロエチレン(トリエリン)や他の塩素化溶剤より毒性が少なく、修復作業に適しています。

塩素化炭化水素は可燃性ではありません。

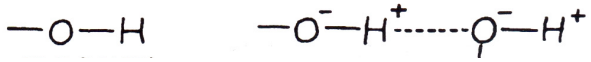
## 3. 官能基

以下の溶剤は、炭化水素分子に酸素および/または窒素を含む原子群を付加することによって製造されます。

このような原子群は官能基と呼ばれ、分子の極性を変化させます。

### 3.1 アルコール

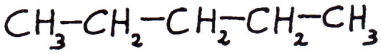
アルコールは、極性があり、水素結合を形成する水酸基を含みます。



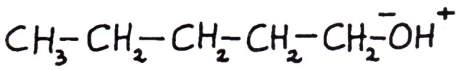
水酸基　　双極子と水素結合

水酸基は湿った極性を増加させます。

エタン　　エチルアルコール（エタノール）



n−ペンタン



n−アミルアルコール

炭化水素鎖がより長い場合、湿った極性が弱まり、水との相溶性が低下します。

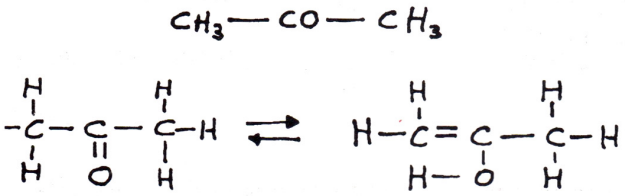
エチルアルコールは水と完全に(任意の比率で)相溶性ですが、n-アミルアルコールは限られた量の水としか混合できません(またはその逆、水に溶けるアミルアルコールもわずかです)。

## 3.2 ケトン

ケトンは、極性化したカルボニル基によって特徴づけられ、乾いた極性が増します。

しかしながら、メチル基またはメチレン基がカルボニル基の隣に位置する場合、いくつかの結合をシフトさせることによって水酸基が形成され得るので、湿った極性が生じます。

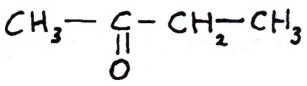
アセトン



エノール型

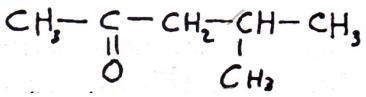
ケトンのいくつかの分子は、水酸基を含む構造に変化します。 後者はエノール型ケトンと呼ばれます。反対方向を向く2つの矢印は反応が両方向に進むことを示します(すなわち、エノール型から通常のケトンが再形成されることもあります)。

他の興味深いケトンとしては次の2つがあります。



メチルエチルケトン

(MEK)



メチル iso-ブチルケトン

(MIK)

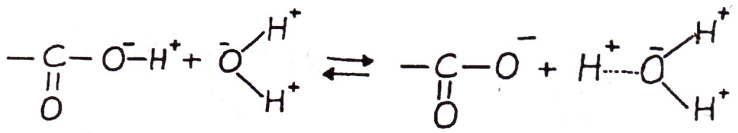
これらはアセトンよりもゆっくりと蒸発することから、修復用途により適しています。

カルボニル基の近くにメチル基およびメチレン基が存在するため、湿った極性も示します。

### 3.3 酸

いくつかの官能基は、分子の極性を変化させるだけではなく、特別な化学的性質も付与します。

-COOH 基は酸性基の1つで、水と反応します。



酸性基は水によってイオン化され、水素イオンと呼ばれる $H^+$イオンを生成します。

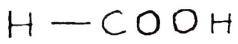
両矢印が示すように、反応は双方向に進むことができ、イオンは再結合して非解離の酸に戻ります。

この様な平衡反応により、この種の酸の水溶液中には一定数の水素イオンが存在することになります（1,000分子あたり約1個の水素イオンの割合）。

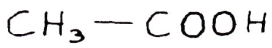
定義として、水と接触して水素イオンを生成するすべての物質を酸と呼びます。

水素イオンはレモンのような味（典型的な酸味）があり、化学的に活性が高く、金属を腐食し、炭酸カルシウムや他の塩を溶解し、タンパク分子を分解します。

−COOH タイプの酸は有機酸と呼ばれ、水と接触しても少数の水素イオンしか生成しないため、弱酸です。

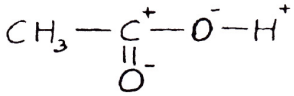


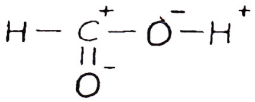
蟻酸



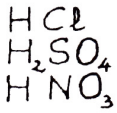
酢酸

水の非存在下で、これらの酸は、分子の非極性部分が小さく、湿った極性と乾いた極性が存在するので、強い極性の溶剤として振舞います。





炭化水素分子から形成されず、−COOH 基も含有しない酸もあります。 これらは無機酸と呼ばれています。



塩酸
硫酸
硝酸

上記の酸は、多くの水素イオンを生成するため強酸です。

イオン化反応はイオン化の方向にのみ反応が起き、塩酸または硝酸は１分子に付き1つの水素イオンが生成されます（硫酸は、1分子につき2つの水素イオンを生成します）。

これらの無機酸は、溶剤とみなすことはできません。

水に二酸化炭素が溶解すると、非常に弱い無機酸が形成されます。

$$CO_2 + H_2O \rightleftarrows H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + H_2O \rightleftarrows HCO_3^- + H^+ \quad H_2O$$

二酸化炭素は大気中に存在するので、ある程度の量は常に水に溶けます。 蒸留水がわずかに酸性なのはこのことによります。

## 3.4 アミン、塩基

$-NH_2$ 基は、アミン基と呼ばれ、水と反応します。

$$-NH_2 + H_2O \rightleftarrows -NH_3^+ + OH^-$$

アミンは水によってイオン化され、水酸化物イオンと呼ばれる $OH^-$ イオンを一部が生じます。

矢印が示すように、反応は両方向に進み、イオンが再結合すればアミンと水に戻ります。

およそ1,000分子のアミンから1つの水酸化物イオンしか生成しないので、水溶液中の水酸化物イオンの数はかなり限定的です。

定義上、水と接触して水酸化物イオンを生じるすべての物質を塩基と呼びます。

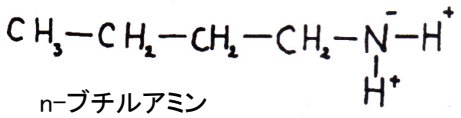
水酸化物イオンには苦味があり、脂肪の分子を分解したり酸を中和したりすることができ、化学的な観点からは非常に活性です。

$$H^+ + OH^- \rightleftarrows H_2O$$

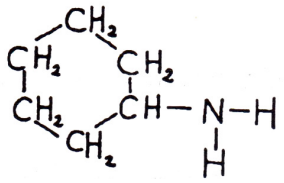
**酸の塩基による中和 あるいはその逆**

アミンは水と接触すると少数の水酸化物イオンを生成するので弱塩基です。

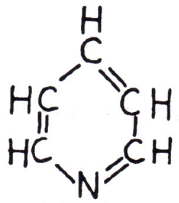
水が存在しない場合、アミンは水素結合を形成する可能性のある極性溶剤（湿った極性）として挙動します。



n−ブチルアミン



シクロヘキシルアミン



ピリジン

アンモニアはアミンよりもさらに弱い塩基です。その塩基性は同じタイプのイオン化の反応によるものです。

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

アンモニア　水　アンモニウムイオン　水酸化物イオン

炭化水素分子を含まず、アミン基も有しない塩基も存在します。

以下のような無機塩基があります。

| | |
|---|---|
| NaOH | 水酸化ナトリウム（苛性ソーダ） |
| KOH | 水酸化カリウム（苛性カリ） |

これらは水と接触すると、多数の水酸化物イオンを生成するため、強塩基（またはアルカリ）と呼ばれます。

$$NaOH + H_2O \rightarrow Na^+ + OH^- \cdots H_2O$$

反応は一方向のみに進み、水酸化物ナトリウム 1 ユニットで 1 つの水酸化イオンを生成します。

アルカリより弱い無機塩基もあります。

炭酸ナトリウム　$Na_2CO_3 + H_2O \rightleftharpoons NaHCO_3 + Na^+ + OH^-$

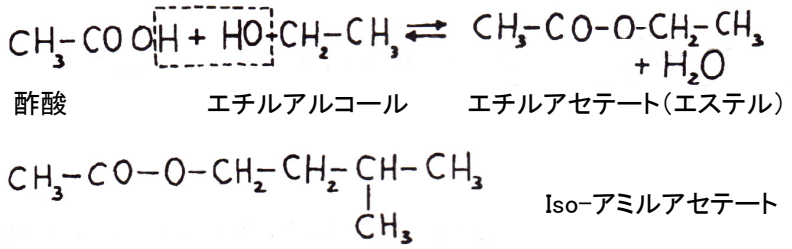
炭酸水素ナトリウム　$NaHCO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + Na^+ + OH^-$

炭酸ナトリウム（またはソーダ）は、水酸化ナトリウム（苛性ソーダ）よりも弱い塩基です。なぜなら、炭酸ナトリウムは、はるかに少ない水酸化物イオンしか生成しないからです。炭酸水素ナトリウム（重炭酸ナトリウム/重曹）はさらに弱い塩基です。

アンモニアや無機塩基は溶剤とは見なされていませんが、修復においては、その化学的活性のため、洗浄に使用することがきます。

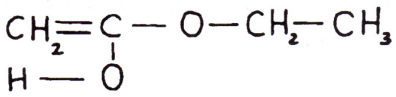
## 3.5 エステルとアミド

酸はアルコールと結合してエステルを形成します。



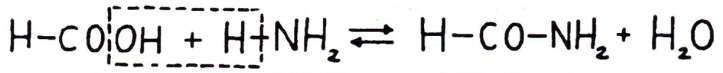

すべてのエステルは分子内に乾いた極性を与える基を含みます。

しかし、カルボニル基の近くにメチル基またはメチレン基がある場合、ケトンの場合と同様にエノール型が形成されることから、水素結合も可能となります。

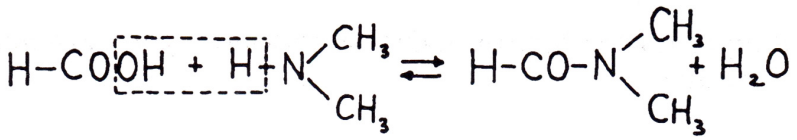


エノール型のエチルアセテート

酸は、アンモニアまたはアミンと結合してアミドを形成します。

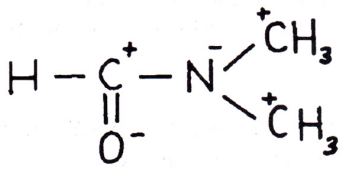



蟻酸　　アンモニア　　ホルムアミド




蟻酸　　ジメチルアミン　　ジメチルホルムアミド

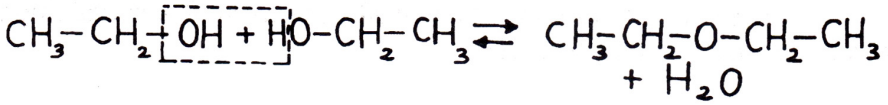
ジメチルホルムアミドは強い乾いた極性を示す溶剤です。




この乾いた極性により、酸化した天然樹脂のための良い溶剤として利用できます。

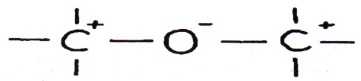
## 3.6 エーテル

エーテルは、2つのアルコールの結合により形成されます。

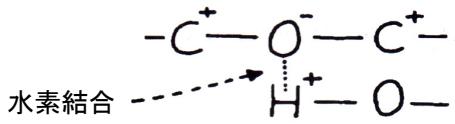



エチルアルコール　　エチルアルコール　　エチルエーテル

エーテル基の極性は主に乾いた極性ですが、

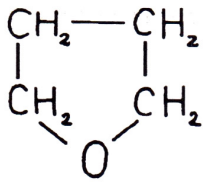


酸素原子を介した他の分子との水素結合も可能です。

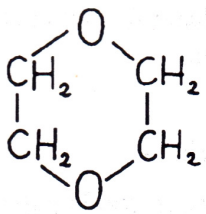



エチルエーテルは、あまりにも揮発性が高く可燃性のため、修復では使われません（浸水腐敗した木材の処理は例外です）。

テトラヒドロフランとジオキサンも、揮発性ですが、溶剤としては重要です。 これらは特徴的な環構造を有しています。

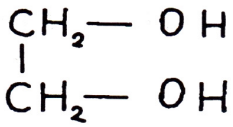


テトラヒドロフラン



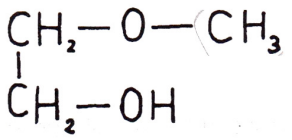
ジオキサン

分子中に2つのアルコール基を含む重要なアルコールがあります。



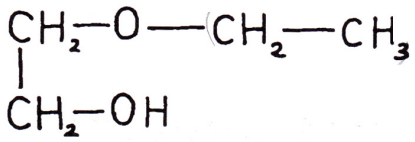
エチレングリコール

アルコール基とメチルアルコールがエーテル結合したり、



エチレングリコールメチルエーテル
（メチルセルソルブ）

エチルアルコールとエーテル結合したりします。



エチレングリコールエチルエーテル
（セルソルブ）

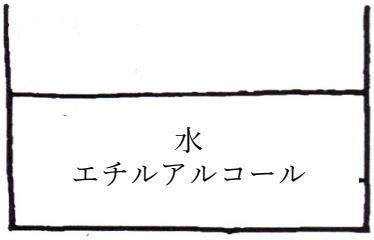
こうしてできるセロソルブは、分子内に乾いた極性と湿った極性の両方の極性を有するため、特別な溶剤特性を示します。

## 第三部 溶剤、エマルジョンおよび溶剤の使用

### 1. 液体の相溶性

2つの液体を混合した時、均一の液相を形成する場合があります。この時、2つの液体は見分けることができません。
例えば、水とエチルアルコールを混ぜた時がこの例にあたります。

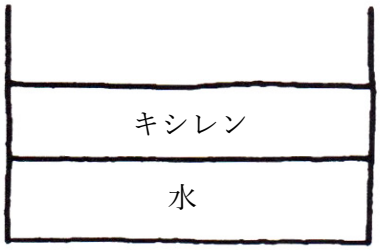
そのような2つの液体は相溶性があると言います。




相溶性あり

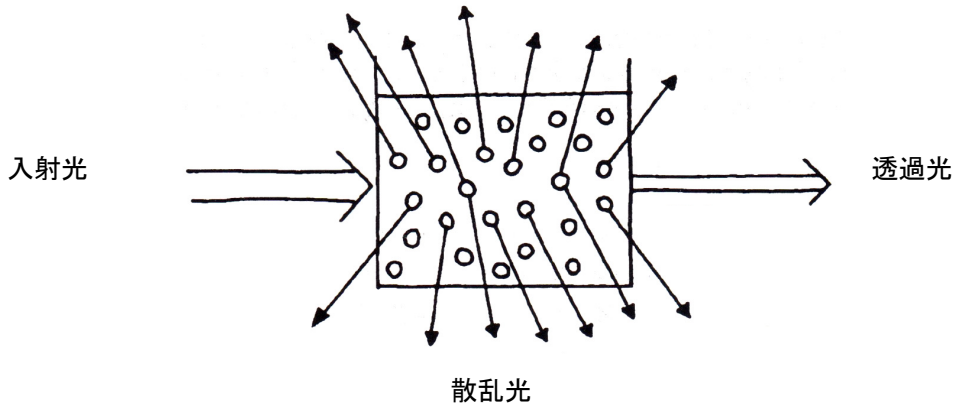
一方、2つの別個の液体層が形成され、層状にその境目がはっきりと見える場合があります。
例えば水とキシレンがその例です。

キシレンは水より軽く
上に溜まる




相溶性ない

2つの層にエネルギーを加えてかき混ぜると、層の一体性は壊れますが、それでも2つの液体は分離したままです。条件によりますが、水の中にキシレン液滴が分散した懸濁液か、その逆を得ることができます。




液滴が非常に小さい場合であっても、光をあらゆる方向に散乱することから、その存在を確認できます。

液体の透明度は著しく低下し、牛乳のように白く見えます（入射光が白色であるため）。

懸濁液は、界面活性剤によって安定化されない限り不安定です。
機械的作用を停止すると、すぐ2つの透明な液体層が再形成されてきます。

相溶性の原理は溶解性の原理と同じです。類似の性質の液体は、相互に引き合う力を発現してよく混ざり、他の条件が同じならば、無秩序化が優勢となります。

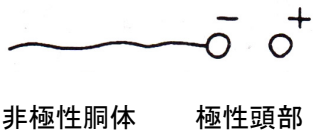
異なる性質の液体は、それらの分子間に相互の引力が働かないため良く混ざらず、無秩序化が働きません。

中間的な場合、溶解度特性値三角ダイアグラム上で相溶性または不相溶性を予測するのに役立ちます。

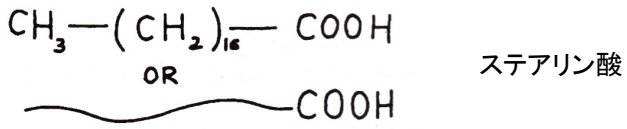
## 2. 界面活性剤、エマルジョン

非相溶性液体の不安定な懸濁液は、界面活性剤によって安定化することができます。

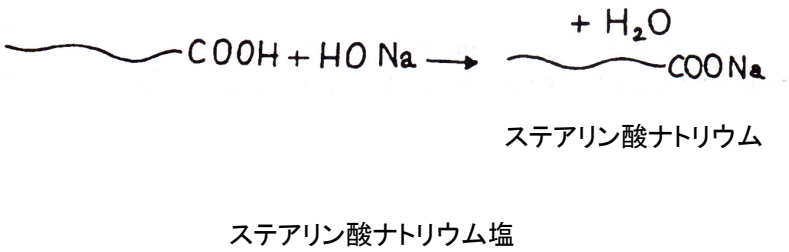
界面活性剤の分子は、極性の頭部と付着した長い非極性の胴体からなります。
最も一般的なタイプでは、極性部分は大きな陰イオンと小さな陽イオンから構成されています。



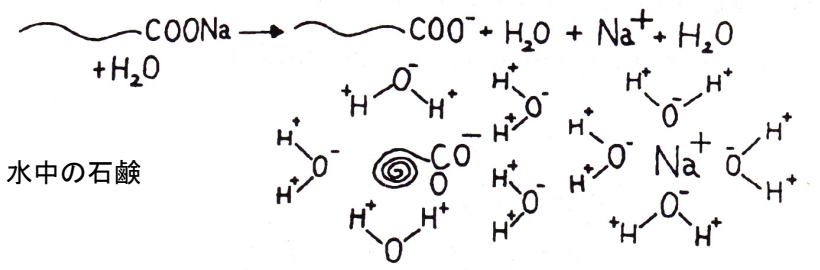

このような分子は、非常に長い炭化水素鎖を有する有機酸を出発原料として作ることができます。




この酸を苛性ソーダで中和すると、有機酸のナトリウム塩が合成されます。

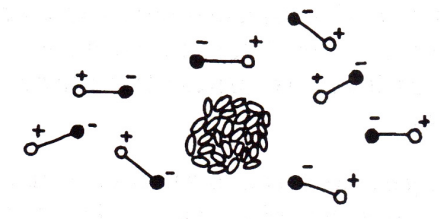


水と接触すると、塩がイオン化され、水分子が陽イオンと酸の陰性部分を取り囲みます。

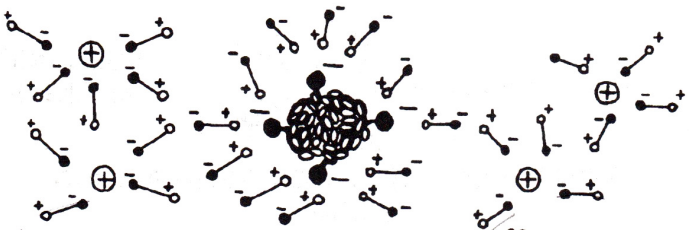



通称石鹸とよばれています。石鹸の界面活性は、非極性の尾部が非極性物質に付着し、極性頭部が水分子と水素結合を形成することによります。

水中で不安定な懸濁液を形成している非極性物質の液滴があるとします。



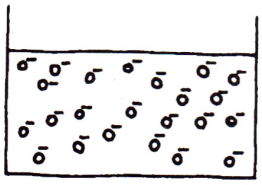
懸濁液は下図の様に石鹸により安定化されます。



水中のナトリウム塩　　非極性液滴上の石鹸分子　　水中のナトリウム塩

この状態では、非極性物質の液滴は、同じ符号（負）の電荷を帯び、互いに反発するので、合体することはありません。

安定化した懸濁液はエマルジョンと呼ばれています。

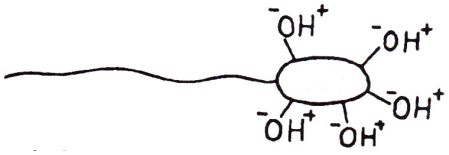


エマルジョン
（安定化した懸濁液）

エマルジョンは、光散乱に起因する不透明で乳白色の外観（牛乳がエマルジョンであるように）から溶液とは簡単に見分けることができます。本当の溶液は透明なものです。

石鹸や界面活性剤（それらを全てまとめて洗剤と言います）の洗浄作用は、水に溶解しにくい汚れ粒子を水中に分散させ、安定な懸濁液を形成することに由来します。

非イオン性の洗剤は非極性の尾部に複数のアルコール基（OH）あるいは他の水分子と水素結合を形成し得る官能基を有する頭部が結合して形成されます。




非イオン性洗剤

非極性尾部　　水素結合性頭部

非イオン性界面活性剤は、ナトリウムイオンを放出することも、溶液の塩基性を生じさせることもなく、石鹸と同じ機能を果たすことができます。

弱い有機酸のナトリウム塩は、下記反応によって塩基性を引き起こします（それは塩基に敏感な材料を損傷する可能性があります）。

この反応は、加水分解と呼ばれます。水酸化物イオンが生成する場合は塩基性加水分解（上記の場合）、水素イオンが生成する場合は酸加水分解と呼ばれます。

## 3.溶液濃度

液体が別の物質（または複数の物質）と混合されて溶液が得られる場合、溶液の組成は、所定量に溶解された物質の量によって表すことができます。
これを、溶液中における物質の濃度と呼びます。

固体を液体に溶解した場合、その濃度は通常、100 ml の溶剤に溶けている固体の重量（グラム）として表されます。溶液の体積と溶剤の体積には一般に僅かな差がありますが、およそ同じとして上記の様に濃度が定義されています。

**例： 10 g の食塩（塩化ナトリウム）が 500 ml の水に溶解している場合**
**食塩（塩化ナトリウム）の濃度は、10/500 = 2 % (w/v)と表す。**

w/v 記号（重量/体積パーセントを意味する）は、パーセンテージの計算に使用される単位を示します。

重量/重量(w/w)や体積/体積(v/v)百分率も使用され、後者は液体混合の場合に使用されます。

例:アセトン 1 分を水 3 分で希釈した場合、
アセトンの濃度は 1/(3+1) = 25 % (v/v)と表す。

濃度をパーセンテージで表す時、どんなパーセンテージなのか(w/v、w/w または v/v)表記しておくことが大切です。なぜなら、一つの単位から他の単位に変ると数値が変わってしまうからです。

化学的操作では、濃度は 1 リットルあたりのモル数で表されます。1 モルは、溶解した物質の分子量に等しいグラム数です。

例:塩酸(HCl) 1 モルが 1 リッターに溶けている場合、塩酸の分子量は 36 なので、
1 モル溶液は＝1 モル/リッター = 36 g/リッター
＝3.6 g/100 ml = 3.6 % (w/v)と表す。

0.5 モル溶液は＝0.5 モル/リッター= 18 gr/リッター
＝1.8 % (w/v)と表す。

1 モル/リットルを含む溶液は 1 モル(または 1M)と呼ばれます。 半分の濃度の溶液は 0.5モル(または0.5M)です。

$$[HCl] = 1$$

角括弧はモル濃度を示すために使用します。上記の式は、塩酸溶液が1モルであることを意味します。

## 4.酸性および塩基性溶液、 pH

水中の溶液が酸性、中性または塩基性であるかどうかを知ることは重要です。

酸と塩基の定義によると、
(a) 水酸化物イオンよりも多くの水素イオンが存在する場合、溶液は酸性です。

$$[H^+] > [OH^-]$$

(b) 水酸化物イオンと同数の水素イオンが存在する場合、溶液は中性です。

$$[OH^-] = [H^+]$$

(c) 水素イオンよりも多くの水酸化物イオンが存在する場合、溶液は塩基性です。

$$[OH^-] > [H^+]$$

したがって、溶液が酸性であるか塩基性であるかを言うためには、$H^+$と $OH^-$両方の濃度を知る必要があります。

ここで、双方向に進行する中和反応（中和の平衡）のために、$H^+$と $OH^-$のモル濃度の積が一定の既知の数字になります。

$$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$$

このことを、記号的に次の様に記述します。

$$[H^+] \times [OH^-] = \text{定数}$$

$$\text{定数} = 10^{-14}$$

この数値は、小数点の後に13個のゼロが最初の数字の 1 の前に持つ非常に小さいものです。

上の方程式によれば、$[H^+]$を知っていれば$[OH^-]$を計算することができ、その逆も同様です。

通常、$[H^+]$のみを測定して、溶液が酸性、中性または塩基性であるかどうかを調べます。

$[H^+]$は非常に小さな数であり、小数点の後に数個のゼロがあるので、単純化するために以下の様に変換されます。

溶剤が中性である場合

$$[H^+] = [OH^-] \quad \text{AND} \quad [H^+] \times [OH^-] = 10^{-14}$$

$$\text{従い}, \quad [H^+] = 10^{-7} \qquad [OH^-] = 10^{-7}$$

数字$10^{-7}$をより簡単にするために、それを逆数$10^{7}$に変換し、さらに対数7に変換します。この最後の数字を溶液の pH と呼びます。

**中性の pH は 7 です**

極めて塩基性の高い溶液では、水酸化物イオンの濃度が1になることがあります。
（苛性ソーダ1モルなどで起き得ます。）
定義に従い：

$[OH^-]=1$ であれば、$[H^+] \times [OH^-]=10^{-14}$ なので
$[H^+]$は $10^{-14}$ となります。
ここで逆数を取り（$10^{14}$）、対数表示すると 14 となります。
従い、非常に強い塩基の pH は 14 です。

水素イオンの濃度が0.1に等しく（塩酸0.1モルの場合）、非常に強い酸性溶液の場合：

$[H^+] = 0.1= 10^{-1}$ であれば、$[H^+] \times [OH^-] =10^{-14}$ なので
$[OH^-] = 10^{-13}$、$[H^+] = 10^{-1}$ となります。
ここで逆数を取り（$10^{1}$）、対数表示すると 1 となります。
従い、非常に強い酸の pH は 1 です。

水素イオンの濃度が1に等しい場合（塩酸1モルの場合）：

$[H^+] = 1 = 10^{0}$ であり、
ここで逆数を取り（$10^{0}$）、対数表示すると 0 となります。
従い、極めて強い酸の pH は 0 です

pH 値は、所定の pH で色の変わる色素（レモンが添加されたとき紅茶のような）を用いた指示薬で測定することができます。
電気的方法による pH メーターでも測定することができます。

## 5. 溶剤の使用と蒸発速度

使用する溶剤は、実施すべき作業にあった蒸発速度でなければなりません。

例えば、絵画の洗浄の場合、溶剤の蒸発速度が速すぎると（アセトンを使った時に良くあるが）、溶剤が蒸発する前に酸化したワニス層を適度に軟化させて除去することはとても困難です。

逆に、蒸発速度が遅すぎると、溶剤はオリジナルの絵具層に長時間接触したままになり、これを軟化してしまう可能性があります。このような状態下では、絵具層はわずかな機械的作用によって容易に損傷する危険性があります。

ゆっくりと蒸発する溶剤の、別の好ましくない作用は、湿った表面に埃が容易に付着するという事です。

過度にゆっくりとした蒸発速度を示す溶剤としては、グリセリンおよびトリエタノールアミン等です。

含浸によって対象物を固化させるために接着剤の担体として溶剤を使用する場合、蒸発速度が速いとコンポジットの浸透が阻害され、一方ゆっくりだと長時間物体が粘着性のままになってしまいます。

蒸発速度は、室温における溶剤の蒸気圧を知っていれば容易に推定できます。

蒸気圧は水銀柱で計測することができ、mmHg の単位で表されます。液体が沸騰するときの蒸気圧は1気圧であり、1気圧は760 mmHg になります。

室温で2～5 mmHg の間の蒸気圧を示す溶剤は、上記タイプの修復作業に最適です。やや広い 1～20 mmHg の範囲は、依然として修復のための一般的な仕様として受け入れられます。

残念なことにいくつかの溶剤について、室温での蒸気圧が得られないことがしばしばあります。本書添付付表3の「溶剤リスト及び溶解度特性値」を参照ください。そのような場合には、溶剤の沸点が有用な指標となります。

沸点が130 ℃～170 ℃の炭化水素溶剤は、修復作業に最適です。

極性溶剤の場合、蒸気圧の温度による変化が急峻なため、適度な沸点は低めになります。

水（沸点100 ℃）は許容レベルの溶剤であり、エチルアルコール（沸点78 ℃）も少し速いがまだ使用可能です。

## 6.溶剤の危険性、毒性および引火性

ほとんどの溶剤は毒性があり、蒸気に長期間さらされると中毒を引き起こします。

溶剤の危険性は、作業者の継続曝露に対する医療(健康)規制に基づき最大許容濃度（空気中）や限界閾値（TL）から、何が最善か見積もることができます。

この濃度は百万分率（ppm）で表されます。低い数字（例えば25未満）は、比較的高い毒性を示します。25と100との間の数字は平均毒性レベル（いくつかの一般的な溶剤がこの範囲に入る）に相当し、100～1,000の毒性は低いとみなすことができます。
1,000以上では、毒性は全くないと推測されます。

しかし、空気中の最大許容濃度の値は定期的に改訂され、いくつかの溶剤の新たな長期間毒性作用が発見されているため、これまでのすべての改訂で数値が低下してきていることを覚えておく必要があります。

したがって、すべての溶剤は潜在的に危険なものとみなし、空気中の濃度を制御し、作業者の暴露時間を短縮するための適切な予防措置を講じることをお勧めします。

絵画洗浄時に濃厚な溶剤蒸気への長時間の暴露の恐れがある場合は、特別な注意を払う必要があります。

また可燃性の溶剤を使用する場合にも注意が必要です。

引火性は、溶剤の引火点を測定することによって数値化されます。

引火点は、溶剤蒸気と空気との混合物が炎(裸火)または火花によって点火される最低温度です。

特に大量の溶剤を使用し、その引火点が室温以下あるいはわずかに上の場合には、火災予防策を真剣に検討する必要があります。

輸送規制は、潜在的に危険なものとして、37 ℃より下の引火点を有する液体すべてを含めています。

火災は、一般に気相で発生し、液体自体が発火することは滅多にありません。
揮発性の溶剤を使用し、空気が溶剤蒸気で飽和すると、点火源が可燃物から遠ざかっていてもスパーク(通常の電気スイッチは作動するとスパークを発生させます)やタバコの火でも着火します。

## 7.溶剤の混合

溶剤の混合物は頻繁に修復に使用されます。それらの溶解度特性は、全ての成分の3つの溶解度特性値が分かっていれば推定することができます。各成分の特性値を混合物中の濃度で乗算し、これらを足し合わせます。

濃度単位として最も精度の高いモルパーセント(混合物100モル当たりのモル数)を使用すべきですが、特性値自体の精度を考えれば、体積濃度(v/v)または重量濃度(w/w)を使用しても差し支えないでしょう。

一例として、メチルイソブチルケトン（30 %v/v）、メチルセロソルブ（30 %v/v）および ジメチルホルムア ミド（40 %v/ v）の混合物の近似溶解度特性値を計算します。

| | 溶解度特性値 | | |
|---|---|---|---|
| | N | D | H |
| MIK | 58 | 22 | 20 |
| メチルセルソルブ | 39 | 22 | 39 |
| ジ メチルフォルムアミド | 41 | 32 | 27 |

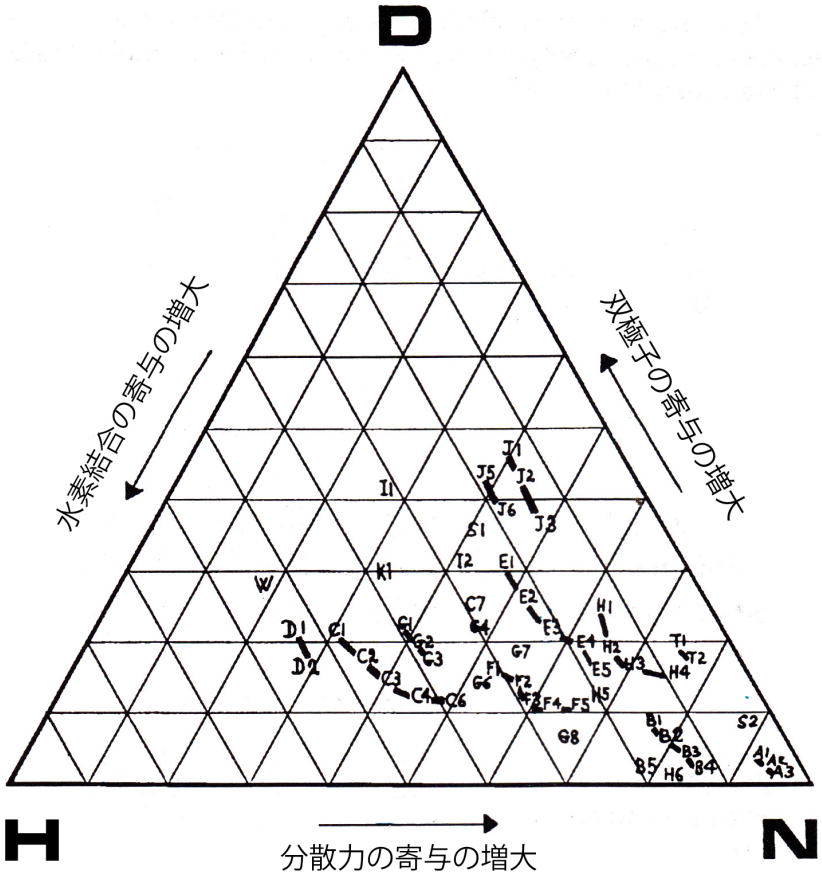
| | 溶解度特性値への濃度による寄与 | | |
|---|---|---|---|
| | N | D | H |
| MIK（30 %） | 58x（30/100） | 22x（30/100） | 20x（30/100） |
| メチルセルソルブ（30 %） | 39x（30/100） | 22x（30/100） | 39x（30/100） |
| ジ メチルフォルムアミド（40 %） | 41x（40/100） | 32 x（40/100） | 27x（40/100） |

| | 混合溶剤の溶解度特性値計算 | | |
|---|---|---|---|
| | N | D | H |
| MIK | 17.4 | 6.6 | 6.0 |
| メチルセルソルブ | 11.7 | 6.6 | 11.7 |
| ジ メチルフォルムアミド | 16.4 | 12.8 | 10.8 |
| 混合溶剤 | 45.5 | 26.0 | 28.5 = 100 |

混合物は三角ダイアグラムの特定座標に位置つけることができ、溶解度領域が既知である固形物に対するその溶解挙動を評価することができます。

酸または塩基性成分（および水）を溶剤に添加する場合、混合物の溶剤特性を溶解度特性値のみから評価することはできません。 水素または水酸化物イオンとの化学反応の可能性も考慮されなければなりません。

## 付表 1　溶解度特性値の三角ダイアグラム




溶解度特性値の三角ダイアグラム

オハイオ州コロンバスのアシュランド・ケミカルズ・カンパニー（Ashland Chemicals Company）によって発表された J.P. Teas による樹脂溶解度予測のデータ。
次ページ以下の付表3「溶剤リスト及び溶解度特性値表」、付表4「重合体及び樹脂の溶解度特性値」を参照してください。

D =双極子−双極子引力
H =水素結合
N =分散力

## 付表 2　工業用溶剤とその組成

| Trade Name<br>製品名 | Paraffinic<br>直鎖炭化水素<br>% | Iso-paraffinic<br>分岐炭化水素<br>% | Naphthenic<br>環炭化水素<br>% | Aromatic<br>芳香族<br>% | Boiling Range<br>沸点<br>°C |
|---|---|---|---|---|---|
| Shellsol T (Shell) | 100 | – | – | – | 180 - 190 |
| Isopar G (Esso) | – | 93 | 7 | – | 160 - 175 |
| Shellsol B (Shell) | 89 | – | 11 | – | 140 - 160 |
| Shellsol B.8 (Shell) | 82 | – | 10 | 8 | 150 - 190 |
| V.M. & P.N. (Shell) | 45 | – | 42 | 13 | 120 - 135 |
| V.M. & P.N. (Esso) | 49 | – | 40 | 11 | 120 - 135 |
| White Spirit (Esso) | 81 | – | 3 | 16 | 180 - 200 |
| Shellsol E (Shell) | 15 | – | 3 | 82 | 160 - 185 |
| Shellsol A (Shell) | 1 | – | – | 99 | 160 - 180 |
| Solvesso 100 (Esso) | 1 | – | – | 99 | 155 - 170 |

# 付表3　溶剤リスト及び溶解度特性値

| 番号 | 溶剤名称 | 蒸発温度 | 蒸気圧 | | Sp. Gr | 毒性 TLV | 引火点 | 溶解度係数 | | | 他の名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (C) | mmHg | at ℃ | | (ppm) | ℃ | N (Fd) | D (Fp) | H (Fa) | (E)英語、(I)イタリア語 |
| **脂肪族炭化水素** | | | | | | | | | | | |
| A1 | ミネラルスピリット | 150-196 | 14 | 50 | 0.77 | 500 | 38 | 90 | 4 | 6 | white spirit(E)、リグロイン、鉱精 |
| A2 | ナフサ | 118-139 | - | - | 0.75 | 470 | -7 | 94 | 3 | 3 | |
| A3 | オドレスミネスピ | 181-200 | - | - | 0.76 | - | 54 | 98 | 1 | 1 | odourless solvent(E) |
| **芳香族芳香族炭化水素** | | | | | | | | | | | |
| B1 | ベンゼン | 80 | 74.6 | 20 | 0.88 | 10 | -11 | 78 | 8 | 14 | benzene (I, E) |
| B2 | トルエン | 110 | 22 | 20 | 0.86 | 100 | 4 | 80 | 7 | 13 | toluene (I, E) |
| B3 | キシレン | 138-140 | 10 | 30 | 0.87 | 100 | 17 | 83 | 5 | 12 | xylene (E)、Xilene (I)　solvessolxylene |
| B4 | エチルベンゼン | 136 | 10 | 25 | 0.86 | 100 | 15 | 87 | 3 | 10 | Ethylbenzene (E)、Etilbenzene (I) |
| B5 | スチレン | 146 | 6.5 | 25 | 0.91 | 50 | 31 | 78 | 4 | 18 | Styrene (E)、Stirene (I) |
| **環状炭化水素** | | | | | | | | | | | |
| T1 | ジペンテン(リモネン) | 175 | 2 | 20 | 0.84 | 100 | 41 | 75 | 20 | 5 | Limonen (E)、Limonene (I) |
| T2 | テレピン油、ターペンタイン | 154-170 | 4 | 20 | 0.85-0.87 | 100 | 34 | 77 | 18 | 5 | Turpentine (E)、Essenza di trementina (I) |
| - | シクロヘキサン | 81 | 77 | 20 | 0.78 | 300 | -20 | 94 | 2 | 4 | cyclohexane (E)、Cicloesano (I) |

| 番号 | 溶剤名称 | 蒸発温度 | 蒸気圧 | | Sp. Gr | 毒性 TLV | 引火点 | 溶解度係数 | | | 他の名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (C) | mmHg | at ℃ | | (ppm) | ℃ | N (Fd) | D (Fp) | H (Fa) | (E)英語、(I)イタリア語 |
| **アルコール** | | | | | | | | | | | |
| C1 | メチルアルコール(メタノール) | 65 | 95 | 20 | 0.79 | 200 | 10 | 30 | 22 | 48 | netanolo (I)、methanol (E) |
| C2 | エチルアルコール(エタノール) | 78 | 40 | 20 | 0.79 | 1000 | 12 | 36 | 18 | 46 | etanolo (I)、ethanol (E) |
| C3 | プロピルアルコール<br>(プロパノール) | 97 | 21 | 25 | 0.8 | 200 | 25 | 40 | 16 | 44 | propanol (E)、propanolo (I) |
| – | イソプロピルアルコール<br>(イソプロパノール) | 82 | 33 | 20 | 0.79 | 400 | 12 | – | – | – | 2-propanol (E)、2-propanolo (I)、(IPA) |
| C4 | ブチルアルコール(ブタノール) | 117 | 5.5 | 20 | 0.81 | 50 | 24 | 43 | 15 | 42 | butanol (E)、Butanolo (I) |
| – | 2-ブチルアルコール<br>(2-ブタノール) | 99 | 12 | 20 | 0.81 | 50 | 23 | – | – | – | 2-Butanol (E)、2-butanolo (I) |
| – | イソブチルアルコール<br>(イソブタノール) | 108 | 9 | 20 | 0.8 | 100 | 37 | – | – | – | isobutyl alcohol (E)、2-metil-1-propanolo (I) |
| – | 3-ブチルアルコール<br>(3-ブタノール) | 82 | 42 | 25 | 0.78 | 100 | 11 | – | – | – | |
| – | n-アミルアルコール | 138 | 1 | 13 | 0.82 | 100 | 37 | 46 | 13 | 41 | n-pentyl alcohol (E)、1-pentanolo (I) |
| C6 | シクロヘキサノール | 161 | 1 | 20 | 0.95 | 50 | 67 | 50 | 12 | 38 | cicloesanolo (I)、cyclohexanol (E) |
| D1 | グリセリン | 290 | 0.0025 | 30 | 1.26 | – | 175 | 25 | 23 | 52 | glicerina (I)、glycerini (E) |
| D2 | エチレングリコール<br>(グリコール) | 198 | 0.06 | 20 | 1.11 | 100 | 115 | 30 | 18 | 52 | etilen glicolo (I)、glycol (E) |
| – | エチレンクロロヒドリン<br>(2-クロロエタノール) | 128 | 4.9 | 20 | 1.2 | 1 | 60 | – | – | – | 2-chloroethanol (E)、2-cloroetanolo (I) |
| C7 | ジアセトンアルコール | 168 | 1 | 20 | 0.93 | 50 | 65 | 45 | 24 | 31 | diacetone alcohol (E)、Diacetone alcohol (I) |
| – | メチルイソブチルカルビノール | 132 | 3 | 20 | 0.81 | 25 | 54 | 50 | 10 | 40 | 4 メチル-2-ペンタノール |

| 番号 | 溶剤名称 | 蒸発温度 | 蒸気圧 | | Sp. Gr | 毒性 TLV | 引火点 | 溶解度係数 | | | 他の名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (C) | mmHg | at ℃ | | (ppm) | ℃ | N (Fd) | D (Fp) | H (Fa) | (E)英語、(I)イタリア語 |
| **水** | | | | | | | | | | | |
| W | 水 | 100 | 17 | 20 | 1 | n.p. | n.i. | 18 | 28 | 54 | Water (E)、Acqua (I) |
| **ケトン** | | | | | | | | | | | |
| E1 | アセトン | 56 | 178 | 20 | 0.79 | 750 | −19 | 47 | 32 | 21 | acetone (I, E) |
| E2 | メチルエチルケトン(MEK) | 80 | 77 | 20 | 0.81 | 200 | −6 | 53 | 26 | 21 | metil etil chetone (I), metiletilchetone (E) |
| )− | メチル n−プロピルケトン | 102 | 16 | 20 | 0.81 | 200 | 7 | − | − | − | |
| E3 | メチルイソブチルケトン(MIK) | 117 | 7.5 | 25 | 0.8 | 50 | 17 | 58 | 22 | 20 | metil isobutyl chetone (I)、Methyl isobutul ketone (E) |
| − | メシチルオキシド | 129 | 9 | 20 | 0.86 | 15 | 32 | 55 | 24 | 21 | Mesityl oxide (E) |
| E4 | メチルイソアミルケトン | 144 | − | − | 0.82 | 100 | 35 | 62 | 20 | 18 | 2−ヘキサノ−5−メチル |
| E5 | ジイソブチルケトン | 168 | 1.7 | 20 | 0.81 | 50 | 49 | 67 | 16 | 17 | 4−ヘプタノン−2.6−ジメチル |
| E6 | シクロヘキサン | 156 | 4.5 | 25 | 0.95 | 25 | 44 | 55 | 28 | 17 | cicloesano (I)、cyclohexane (E) |
| **エステル** | | | | | | | | | | | |
| F1 | エチルアセテート | 77 | 73 | 20 | 0.9 | 400 | −4 | 51 | 18 | 31 | |
| F2 | プロピルアセテート | 102 | 35 | 25 | 0.89 | 200 | 14 | 57 | 15 | 28 | |
| F3 | ブチルアセテート | 126 | 10 | 20 | 0.88 | 150 | 22 | 60 | 13 | 27 | |
| F4 | イソブチルイソブチラーテ | 147 | 10 | 38 | 0.86 | − | 49 | 63 | 12 | 25 | |
| F5 | アミルアセテート | 149 | 5 | 25 | 0.88 | 100 | 25 | 60 | 12 | 28 | |
| − | イソアミルアセテート | 143 | 6 | 25 | 0.88 | 100 | 23 | 60 | 12 | 28 | |

| 番号 | 溶剤名称 | 蒸発温度 | 蒸気圧 | | Sp. Gr | 毒性 TLV | 引火点 | 溶解度係数 | | | 他の名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (C) | mmHg | at ℃ | | (ppm) | ℃ | N (Fd) | D (Fp) | H (Fa) | (E)英語、(I)イタリア語 |
| **エーテル** | | | | | | | | | | | |
| ― | エチルエーテル(エーテル) | 35 | 439 | 20 | 0.71 | 400 | −45 | − | − | − | |
| G1 | メチルセロソルブ | 125 | 6 | 20 | 0.97 | 25 | 38 | 39 | 22 | 39 | |
| G2 | エチルセロソルブ | 135 | 4 | 20 | 0.93 | 100 | 40 | 42 | 20 | 38 | セロソルブ |
| G3 | ブチルセロソルブ | 171 | 0.6 | 20 | 0.9 | 50 | 60 | 46 | 18 | 36 | |
| G4 | ジエチレングリコールエチルエーテル | 202 | 0.13 | 20 | 0.99 | − | 96 | 48 | 23 | 29 | カルビトール |
| G6 | セロソルブアセテート | 156 | 1 | 20 | 0.97 | 25 | 47 | 51 | 15 | 34 | |
| G7 | テトラヒドロフラン | 65 | 114 | 15 | 0.89 | 200 | −17 | 55 | 19 | 26 | |
| G8 | ジオキサン | 101 | 37 | 25 | 1.03 | 25 | 11 | 67 | 7 | 26 | |
| **塩素系溶剤** | | | | | | | | | | | |
| H1 | メチレンクロライド | 40 | 440 | 25 | 1.33 | 100 | n.i. | 62 | 26 | 12 | ジクロロメタン |
| H2 | エチレンクロライド | 84 | 78 | 20 | 1.26 | 50 | 13 | 67 | 19 | 14 | 1.2−ジクロロエタン |
| H3 | トリクロロエタン | 74 | 100 | 20 | 1.34 | 350 | n.i. | 70 | 19 | 11 | |
| H4 | クロロベンゼン | 132 | 10 | 22 | 1.11 | 75 | 29 | 75 | 17 | 18 | |
| H5 | トリクロロエチレン | 87 | 58 | 20 | 1.46 | 50 | n.i. | 68 | 12 | 20 | トリエリン |
| ― | クロロフォルム | 61 | 160 | 20 | 1.49 | 10 | n.i. | 67 | 12 | 21 | トリクロロメタン |
| H6 | 四塩化炭素 | 77 | 91 | 20 | 1.59 | 5 | n.i. | 85 | 2 | 13 | カーボンテトラクロライド |

| 番号 | 溶剤名称 | 蒸発温度 | 蒸気圧 | | Sp. Gr | 毒性 TLV | 引火点 | 溶解度係数 | | | 他の名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (C) | mmHg | at ℃ | | (ppm) | ℃ | N(Fd) | D(Fp) | H(Fa) | (E)英語、(I)イタリア語 |
| **窒素化合物** | | | | | | | | | | | |
| I1 | ホルムアミド | 211 | − | − | 1.13 | − | 154 | 28 | 42 | 30 | |
| I2 | ジメチルホルムアミド | 153 | 4 | 25 | 0.94 | 10 | 67 | 41 | 32 | 27 | |
| J1 | ニトロメタン | 101 | 28 | 20 | 1.13 | 100 | 35 | 40 | 47 | 13 | |
| J2 | ニトロエタン | 115 | 16 | 20 | 1.05 | 100 | 28 | 44 | 43 | 13 | |
| J3 | ニトロプロパン | 132 | 7 | 20 | 1 | 15 | 18 | 50 | 37 | 13 | |
| J5 | アセトニロリル | 80 | 100 | 27 | 0.79 | 40* | 6 | 39 | 45 | 16 | メチルシアニド |
| J6 | ブチロニトリル | 118 | − | − | 0.8 | − | − | 46 | 38 | 16 | プロピルシアミド |
| **塩基** | | | | | | | | | | | |
| − | n−ブチルアミン | 78 | − | − | 0,76 | 5 | −12 | 59 | 14 | 27 | |
| − | シクロヘキシルアミン | 134 | 15 | 30 | 0.87 | 10 | 32 | 65 | 11 | 24 | |
| − | ピリジン | 115 | 20 | 25 | 0.98 | 5 | 20 | 56 | 26 | 18 | |
| K1 | エタノールアミン | 171 | 6 | 60 | 1.02 | 3 | 85 | 32 | 29 | 40 | |
| − | トリエタノールアミン | 343 | − | − | 1.13 | − | 179 | − | − | − | |
| − | モルホリン | 128 | − | − | 1 | 20 | 38 | − | − | − | |

| 番号 | 溶剤名称 | 蒸発温度 | 蒸気圧 | | Sp. Gr | 毒性 TLV | 引火点 | 溶解度係数 | | | 他の名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (C) | mmHg | at ℃ | | (ppm) | ℃ | N(Fd) | D(Fp) | H(Fa) | (E)英語、(I)イタリア語 |
| **酸** | | | | | | | | | | | |
| ― | 蟻酸 | 101 | 40 | 24 | 1.23 | 5 | 69 | − | − | − | |
| ― | 酢酸 | 118 | 11 | 20 | 1.05 | 10 | 40 | − | − | − | |
| **硫化物** | | | | | | | | | | | |
| S1 | ジメチルスルホキシド(DMSO) | dec100 | 0.37 | 20 | 1.1 | − | 95 | 41 | 36 | 23 | |
| S2 | 二硫化炭素 | 46 | 360 | 20 | 1.27 | 10 | −30 | 88 | 8 | 4 | |

## 付表 4　樹脂類の溶解度特性値

| 樹脂名称 | | N (Fd) | D (Fp) | H (Fa) |
|---|---|---|---|---|
| ポリメタクリル酸メチル樹脂 | Poly-methyl-methacrylate | 51 | 27 | 22 |
| アクリル樹脂 | Poly-ethyl-acrylate (Lucite 2042/Dupont) | 55 | 32 | 13 |
| ポリビニルアセテート樹脂 (PVA) | Poly-vinyl-acetate (Mowilith 50) | 51 | 27 | 22 |
| ポリビニルブチラール樹脂 | Poly-vinyl-butyral (PVB) | 46 | 24 | 30 |
| 塩化ビニル樹脂 | Poly-vinyl-chloride (Vipla KR) | 54 | 26 | 20 |
| エポキシ樹脂 | Epoxy resin, beforesetting (Epikote 1001) | 44 | 28 | 28 |
| スチレン樹脂 | Polystyrene (Polystyrene LG) | 63 | 22 | 15 |
| アミド樹脂 | Polymide | 56 | 5 | 39 |
| 石油系炭化水素樹脂 | Petroleum hydrocarbon | 72 | 13 | 15 |
| ニトロセルロース | Nitro-cellulose | 38 | 38 | 24 |
| エチルセルロース | Ethyl-cellulose | 47 | 28 | 25 |
| 尿素樹脂 | Urea-formaldehyde resin | 48 | 20 | 32 |
| ロジンエステル樹脂 | Rosin ester | 57 | 19 | 24 |

# 参考図書


1. BROWNING, E. Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents. Amsterdam: Elsevier, 1965.
2. CLYDESDALE, A. Chemicals in Conservation: A Guide to Possible Hazards and Safe Use. Edinburgh: Scottish Development Agency/ SSCR, 1982.
3. CROWLEY, J.D., G.S. TEAGUE, and J.E. LOWE. "A Three Dimensional Approach to Solubility". Journal of Paint Technology, XXVIII, N° 496 (May 1966) 269-280.
4. FELLER, R.L., and C. BAILLIE. "Solubility of Aged Coatings Based on Daumar, Mastic and Resin AW2". Bulletin of American Group IIC, XII, N° 2 (1972) 72.
5. FELLER, R.L., and M. CURRAN. "Changes in Solubility and Removability of Varnish Resin with Age". Bulletin of the American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, XV, N° 2 (1975) 17.
6. (*) FELLER, R.L., N.E. STOLOW, and H. JONES. On Picture Varnishes and Their Solvents. 2nd ed. rev. Cleveland, Ohio: Press of Case Western Reserve University, 1971.
7. (*) GETTENS, R.J., and G.L. STOUT. Painting Materials - A Short Encyclopaedia. New York: Dover Publications Inc., 1966.
8. Handbook of Organic Industrial Solvents. 5th ed. Chicago, Illinois: Alliance of American Insurers, 1980.
9. HEDLEY, G. "Solubility Parameters and Varnish Removal: A Survey". The Conservator, N° 4 (1980) 12-18.
10. HILDEBRAND, J.H., and R.L. SCOTT. The Solubility of Non-electrolytes. 3rd ed. New York: Dover Publications Inc., 1964.
11. MARSDEN, C. Solvents Guide. 2nd ed. London: Cleaver-Hume Press, 1963.
12. MELLAN, I. Industrial Solvents Handbook. Park Ridge, New Jersey: Noyes Data Corporation, 1970.
13. MUIR, G.D., Ed. Hazards in the Chemical Laboratory. 2nd ed. London: The Chemical Society, 1977.
14. PASCOE, M.W. "Toxic Hazards from Solvents in Conservation". The Conservator, N° 4 (1980) 25-28.
15. SAX, N. I. Dangerous Properties of Industrial Materials. London: Chapman & Hill, 1966.
16. TEAS, J.P. "Graphic Analysis of Resin Solubilities". Journal of Paint Technology, XL, N° 516 (January 1968) 19-25.


(*) 研究もしくは参考書として推薦される。

特定非営利活動法人　美術保存修復センター横浜
神奈川県横浜市中区弥生町 2−15−1
ストークタワー大通公園Ⅲ　703
TEL 045-231-6006
FAX 045-489-4987
URL: https://yokohama@npo-acrc.org

修復に求められる溶剤と溶解性の基礎

2020年 1 月13日 初版発行

著　者　　古木　真
著　者　　大西　章夫
制　作　　MyISBN
発行所　　デザインエッグ株式会社

ISBN978-4-8150-1630-2

9 784815 016302

ACRC
yokohama