



ビデオ教材「石の灰は生きている？」と消石灰の実体積イオン結晶模型の作成について

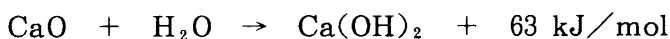
メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-07-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐々木, 修治, 榊原, 郁子 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.32150/00009121

ビデオ教材「石の灰は生きている？」と消石灰の 実体積イオン結晶模型の作成について

佐々木 修治 榊原 郁子

1. ビデオ教材「石の灰は生きている？」の作成について

仮説実験授業研究会で、菓子や海苔の乾燥剤として使われている生石灰（CaO、酸化カルシウム）を教材としてとり上げた授業書の作成が行われています¹⁾。生石灰（CaO）は水（H₂O）と化合して消石灰（Ca(OH)₂、水酸化カルシウム）になります。この反応に伴って多量の熱が発生します。化学反応式では、次のように書き表わされます。



生石灰（CaO）が乾燥剤として利用されるのは、生石灰と水は非常に化合しやすいので、空気中に含まれているわずかの水分とも反応するからです。その際、体積の大きな増加が起こります。

日常見慣れた乾燥剤の中に入っている薬品に、少量の水を加えると湯気が出て来て非常に熱くなり、同時に乾燥剤の白い粒がむくむくとふくらんでくるのは非常に興味深いものです。カルシウムは、生物界と無生物界に広く存在し、長い時間をかけて生物界と無生物界の間を巡っている元素で人間との関りも深いものです。乾燥剤として使われている生石灰（CaO）の実験から出発して、カルシウムの化合物について楽しく学べる授業書が間もなく利用できるようになります。

物質の変化を学ぶときに、その反応に関与する物質を構成している粒子（原子・分子・イオン）を頭の中に思い描くことが出来るようになると、化学反応を容易に理解できることが実践的に明らかにされています²⁾。原子や分子のイメージを形成する際に分子模型を利用すると、非常に効果があることも多くの学級で行われた授業実験で確かめられています。そこで、生石灰（CaO）と水が化合して消石灰（Ca(OH)₂）になる反応についても、分子模型を使えるようにしたいと考えました。生石灰と消石灰は、カルシウムイオン（Ca⁺）と酸化物イオン（O²⁻）または水酸化物イオン（OH⁻）が多数集まった固体ですから。厳密にいうとイオン結晶模型です。発泡スチロール球を使って生石灰と消石灰の2億倍の実体積イオン結晶模型を作成し、誰にでも作れる方法を工夫しました。生石灰のイオン結晶模型は、カルシウムイオンと酸化物イオンを塩化ナトリウムのように交互に並べればよいので省略しましたが、消石灰のイオン結晶模型については、その詳しい作り方を最後に付してあります。（生石灰についても詳しい作り方のマニュアルが出来ていますので、必要な方は筆者に御連絡下さい）

生石灰や消石灰のイオン結晶模型を作るところまで手がまわらない先生のために、生石灰の実験と結晶模型を使って生石灰と水が化合して消石灰になる様子を示すビデオ教材を作りました。次のページからはそのシナリオが載せてあります。

2. 「石の灰は生きている？」シナリオ

おせんべいや海苔の袋

味付け海苔やおせんべいの袋のなかにはたいていこんな小さな袋が入っています。

中に入っている小さな袋
(数種類)

この小さな袋は中のものが湿気ないようにしたり、味が変わらないようにしたりするために入っています。

海苔から乾燥剤を取り出す

海苔に入っているこの小さな袋は空気中の水分によって海苔が湿気ないように入れてあります。



これを入れておくと海苔がパリパリしたままで湿気ません。

物が湿気ないようにする薬品を乾燥剤といいます。

中身は生石灰と書いてあります。

袋を開けて取り出す

生石灰は白い粉っぽい粒のようですね

袋の文字のアップ
(生石灰、禁水)

袋には「禁水」、水を触れさせないように、と書いてあります。では、この生石灰に水を加えるとどうなるのでしょうか。

水に入れてはいけないと書いてありますが注意して実験してみることにしましょう。

生石灰をビーカーに入れ
水を注ぐ

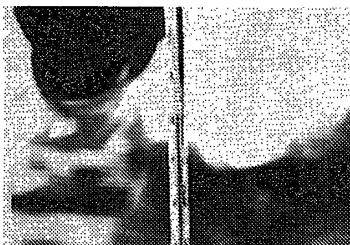
あれっ？なにも起きないようですね。少し待ってみることにしましょう。

・ 1分後 2分後の表示

湯気が出てきました。

温度計のアップ

ぐつぐつと音を立てて沸騰しているようです。温度を計ってみましょう。



82度まで上がりました。

生石灰に水を加えるとこのように熱を出します。

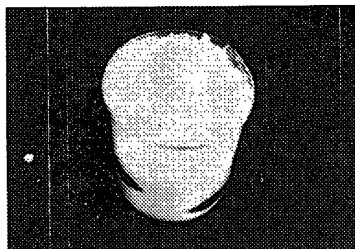
生石灰に水を加えたときに出る熱を利用したものもうられています。

かん酒、お弁当

これはお酒、これはお弁当です。火の気のないところで温められる優れた物です。この容器の下のほうに生石灰と水が別々に入っています。飲んだり食べたりする前に仕切りを壊すと生石灰と水が混ざりするような構造になっています。生石灰から出る熱をうまく利用しているのが分かりますね。

また春先には、木炭の粉と生石灰を混ぜたものを雪の上にまいて
いるところもあります。そうすると雪が早く溶けるわけです。

上からのアップ



水を加えた後の生石灰を見てみましょう。水気がなくバサバサし
た粉になっています。ずいぶん量も増えています。さっき加えた水
は生石灰に吸い取られてしまったようです。

これにもっと水を加えるとどうなるでしょう。

何もおきません。

生石灰に水を加えてできたものを消石灰といいます。

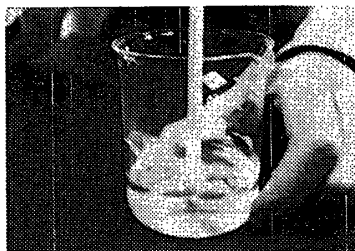
生石灰に水を加えると熱を出して生きていたようにだったので生き
ている石灰で、消石灰は水を加えても火が消えたように何もおき
ないので消えた石灰というわけです。

みなさんの中には石灰水というものを使ったことがある人もい
るでしょう。石灰水というのはこの消石灰を水に溶かしたものです。

石灰水は二酸化炭素を通すと白く濁るので、二酸化炭素があるか
どうか調べるときに使います。

では実際にやってみましょう。

実験



これは消石灰を水に溶かしたものです。上澄をビーカーにとりま
す。ストローで息を吹き込んでみましょう。

液が白く濁りました。このまま置いておくと白い粉が底に沈いま
す。

この底に沈んだ粉は生石灰に水と二酸化炭素が加わったもので
す。水を加えたときには熱が出ました。

それでは、この粉に熱を加えて水と二酸化炭素を追い出したら、
また生石灰にすることは出来ないでしょうか。

実験

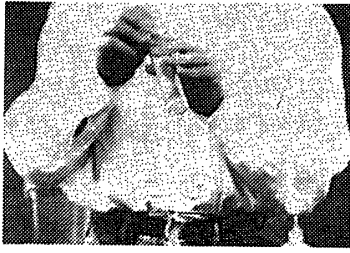
この粉を熱してみることにします。消石灰を使って二酸化炭素が
出ているかどうか調べてみましょう。

注射器で採取

注射器で上から出てくる気体を集めます。この気体を石灰水に通
してみましょう。

石灰水は濁りました。二酸化炭素がでていることが確かめられま
した。

るつばに直接水を入れる



テロップ

試薬びん (生石灰)

生石灰と水、消石灰
を入れたビーカー

原子模型 (2種類)

生石灰結晶模型



本当に生石灰ができたのでしょうか。これに水を加えてみます。生石灰ができたのならきっと、水を加えると熱くなるはずですよ。

熱が出ました。確かに生石灰ができました。

消石灰に二酸化炭素を通すとできる白い粉は、実は二酸化炭素を作るときに使う石灰石と同じ物質です。

生石灰に水を加えると消石灰に、消石灰に二酸化炭素を加えると石灰石に、さらに石灰石を熱すると生石灰になりました。生石灰に水や二酸化炭素の分子がくっついたり離れたりして、別の物質に変化するのです。

生石灰に加えた水の分子は消石灰の中でどうなっているのでしょうか。

電子顕微鏡を使ったら見えないのでしょうか。

水の分子はとても小さいので、電子顕微鏡を使っても見ることは出来ません。しかし科学者達はいろいろな実験をしたり計算をしたりして、原子や分子の大きさや形を明らかにしています。原子はボールのような球形をしています。原子を拡大して1億倍にするとピンポン球くらいの大きさになります。

科学者の研究をもとに生石灰と消石灰を2億倍に拡大した模型を作りました。

これが生石灰の2億倍の模型です。赤色の大きい球とオレンジ色の小さい球が見えます。たった2種類の球しか見えませんね。生石灰というものは本当に大小2種類の球が集まったものなのでしょうか。

科学者は生石灰には酸素原子とカルシウム原子の2種類しか入っていないことを実験で確かめました。

物が電気を帯びると引き付け合ったり反発したりします。プラスの電気を帯びたものとマイナスの電気を帯びたものは引き合いますが、同じ電気を帯びたもの同士は反発して離れます。

磁石のS極とN極が引き合い、N極同士またはS極同士が反発し合うのとよくにしています。

赤い大きい球が酸素原子、オレンジ色の小さい球がカルシウム原子です。

このカルシウム原子はプラスの電気を、酸素原子はマイナスの電

気を帯びているので、電気的な力で引き合い、このように互い違いに並びます。

プラスまたはマイナスの電気を帯びている原子をイオンといいます。

生石灰結晶模型 マグネット式

プラスまたはマイナスの電気を帯びた模型を作るのは難しいので磁石を使ってイオンの模型を作りました。

カルシウムイオンと酸素イオンはこの様にくっつきます。

しかし、カルシウムイオン同志または酸素イオン同志は反発しあって離れます。

消石灰はどんな原子やイオンが集まっているのでしょうか。

水を加えた消石灰

生石灰に水を加えたとき、加えた水は生石灰に吸い取られパサパサの粉になりました。また体積も増えました。

ビーカーに印をつける 生石灰と水の位置

生石灰に水を加えるとどれだけ体積が変わるか印をつけて確かめてみましょう。

生石灰をビーカーの3分の1くらい入れます。それに生石灰と同じくらいの量の水を加えます。

初めにあった生石灰の2倍以上の体積の消石灰ができました。

生石灰、水分子の模型（粘土）

生石灰から消石灰への変化を2億倍の分子模型を使ってみてみることにしましょう。

生石灰に水分子が出会うところから始まります。

水分子は酸素原子1つに水素原子2つが結合してできています。

水分子の水素原子は生石灰の酸素イオンに引き寄せられ、水分子から酸素イオンへ水素原子の移動が起こります。

水分子は1個の水素原子を酸素イオンに渡して水酸化物イオンというものになり、カルシウムイオンと結合します。水素原子をもらった酸素イオンも、やはり水酸化物イオンになりカルシウムイオンと結合します。

消石灰結晶模型

これが消石灰の分子模型です。

カルシウムイオンと水酸化物イオンが1対2の割合で規則正しく並んでいます。水酸化物イオンとカルシウムイオンの集まりなので消石灰は水酸化カルシウムといいます。

生石灰の分子模型と比べてみると水分子が入り込んだ分だけ体積が増えているのが良く分かります。

化学反応はたくさんあります。しかしどの反応にしても様々な原子の動きがあるのです。一瞬にして終わってしまう反応にしても原子と原子の結び付きが変わって違う物質へと変化していくのです。

お菓子に入っていた、たった一つの乾燥剤からいろいろなことがわかりました。皆さんも身の回りのいろんなものから化学を、また原子の世界を考えてみませんか。きっといろんな発見や感動を得られることでしょう。

(END)

3. カルシウム化合物の化学

生石灰（CaO）はカルシウムと酸素との化合物ですが、カルシウムは動・植物、鉱物界に広く存在する重要な金属元素です。動物では骨や歯、貝殻などの成分として多量に含まれています。また、すべての細胞に含まれていて種々の生体反応を調節する大切な役割をはたしています。石灰岩は、炭酸カルシウム（CaCO₃）を主成分とする岩石ですが、石材として利用される他に、セメント等の材料としても大量に使われているものです。

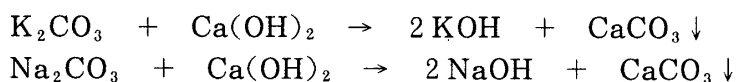
化合物について学ぶとき、酸素との化合物（酸化物）が初めにとり上げられることが多いです。それは、地球上では酸素が多いので最も出来やすい化合物であること、また、酸素は反応性に富む元素なので、多くの酸化物は安定な化合物であることなどによります。いろいろな化合物を空气中で強く熱すると、分解して酸化物になるものが多く、その酸化物は水や酸と反応して別の化合物に変化します。酸化物はいろいろな化合物の要の位置にあるものといえます。

生石灰（CaO）は、石灰岩（CaCO₃）を高温で焼いて作られています。金属カルシウムを高温の炎に入れて燃やして作ることもできます。これらの反応は多くの金属元素で共通するものですが、カルシウムの場合は、実験室でも比較的容易に生石灰を作れるので教材に適しています。

生石灰（CaO）は水と反応して、消石灰（Ca(OH)₂）になりますが、この変化は現象的に興味深いばかりでなく、化学の基本的な反応としても重要なものです。それは、水の分子から水酸化物イオン（OH⁻）ができる反応であるという点です。水酸化物イオンを水より多く含む水溶液をアルカリ性を示すといいますが、水にとかした時強いアルカリ性を示す物質をアルカリといいますが、アルカリの働きは、酸の働きとともに化学反応の根幹をなすものであり、アルカリの働きの実体である水酸化物イオン（OH⁻）について具体的なイメージが描けるようになることは、物質について学ぶときに非常に役立つ武器を獲得することになります。

アルカリとしてよく使われるのは水酸化ナトリウム（NaOH）ですが、酸化ナトリウム（NaO）は水との反応が非常に強く取り扱いが難しいので教材としては利用できません。

水酸化ナトリウム（NaOH）を作るために、昔は生石灰（または消石灰）が用いられたのです。³⁾ 中世までアルカリというのは、陸上の植物や海藻を燃やすと後に残る灰に含まれているものでした。これらの灰の主成分は、炭酸カリウム（K₂CO₃）と炭酸ナトリウム（Na₂CO₃）でアルカリとしては穏やかな作用をするものです。消石灰はわずかしか水に溶けないのでアルカリとしての働きは弱いものです。ところが、灰を水にとかし消石灰の懸濁液を入れてよくかきまぜると、強いアルカリに変わります。これは、次の反応式で示されるような反応が起きて、水酸化カリウム（KOH）や水酸化ナトリウム（NaOH）ができるためです。



消石灰（Ca(OH)₂）は水にわずかしか溶けない（100 gの水に0.16 g）ので⁴⁾、その水溶液の水酸化物イオン（OH⁻）の濃度が低くアルカリとしての働きは弱いのですが、水酸化ナトリウム（NaOH）は100 gの水に114 g、水酸化カリウムは100 gの水に118 gもとけるので、濃い溶液を用いることができます。アルカリの濃い溶液は、動・植物に対して激しい腐蝕性を持っているので苛性アルカリともいわれています。このようにして作られた水酸化ナトリウムはさまざまな用途に使われるようになり現在は食塩の電気分解で大量に作られています。もとをたどると消石灰にいきつくわけです。

4. 消石灰の実体積イオン結晶模型と水酸化物イオン

アルカリの作用といわれているものは、実は水酸化物イオン (OH^-) がもっている性質です。これは、酸の作用の実体であるオキソニウムイオン (H_3O^+) とともに、水溶液の中で行われる化学反応に広く関与しています。水酸化物イオン (OH^-) とオキソニウムイオン (H_3O^+) について生き生きとしたイメージを持てると、化学に対する親しみがぐっと深まるものだと思います。これらのイオンについてのイメージをつくっていく上でも、分子模型が有効だろうと考えています。

分子模型としてもいろいろなタイプのものが考案され市販されていますが⁵⁾、原子の大きさに合わせた球を用いている実体積模型といわれるタイプのものが、初心者が原子、分子のイメージをつくるのに適しています。分子の実体積模型も数社から発売されていますが⁶⁾、いろいろな有機化合物の分子を作るように製作されていますので、非常に精密なものとなりそれを扱うには化学の専門的知識が必要です。また、かなり高価なものです。現在市販されているものは、初等、中等教育段階では利用できないでしょう。

今までに作られた結晶模型の多くは、球と棒を組み合わせたものです。金属結晶模型やイオン結晶模型として球を並べたものも作られていますが、球を使っても実体積模型とはいえないものです。金属結晶でも原子と原子は重なり合って結合していますが、球を並べた模型では、原子より小さい球を用いているからです。また、イオン結晶では、食塩 (NaCl) などの単原子イオンのみで出来ているものは、イオンの実体積模型といえますが、消石灰 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) や炭酸カルシウム (CaCO_3) のように複数の原子が共有結合等で結ばれているイオン (OH^- 、 CO_3^{2-} 等) を含む化合物の場合は、球で代用するのは、実際の形や大きさを相当簡略化したものになるからです。

多くの無機化合物は、消石灰や炭酸カルシウムのように多原子イオンを含んでいます。そして、この多原子イオンは、化学反応の際にそのまま一かたまりとして他のイオンと置き換わるのが普通です。多原子イオンをまとまりの良い一かたまりとして認識する上でも、多原子イオンを含むイオンの実体積結晶模型が有効であろうと考えています。

私たちの研究室では、昨年度に発泡スチロール球を使って塩素、ヨウ素、二酸化炭素の実体積分子結晶模型 (1億倍) を作り、炭酸カルシウム (CaCO_3) の実体積イオン結晶模型も作りました⁷⁾。結晶構造を示す図を見てはじめて作る時には、どう並べたらよいのかとまどうことが多く、試行錯誤して作り上げるのですが、一たん出来上がると、イオン同志の並び方の規則性が見えて来て簡単にまちがいをなく作る方法が探り出せました。

今年度作成を試みた消石灰は、水酸化物イオン (OH^-) という水溶液には必ず存在する最も基礎的な多原子イオンを含む結晶です。消石灰は石灰水として小学校でも使われており、消石灰の実体積イオン結晶の利用範囲は大きいものと思います。幸い作り方もはじめに考えていたよりもはるかに簡単であることがわかりました。この後に消石灰の結晶模型の作り方を載せておきますので、作ってみてください。

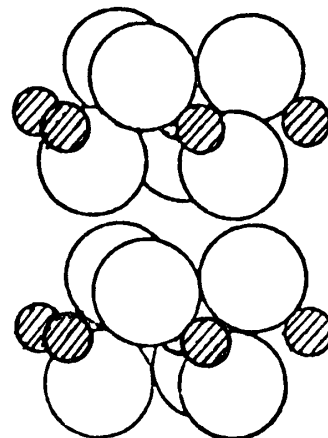
消石灰結晶模型（2億倍）の作り方

1. はじめに

生石灰（CaO）の結晶模型は酸素イオンとカルシウムイオンが交互に並んでいる単純な構造となっています。その生石灰に水を反応させてできる消石灰（Ca(OH)₂）はどのような構造になっていると思いますか？

消石灰の結晶構造は難しくいうと三方晶系のヨウ化カドミウム（CdI₂）型といいます。このようにいわれるとなにがなんだかわからないと思います。しかし「カルシウムイオン（Ca²⁺）を水酸化物イオン（OH⁻）でサンドイッチしている層が重なってできている」⁹⁾とえば少しはわかるのではないのでしょうか。

あれこれ考えるよりもまず作ってみてください。作り方は少し複雑ですが、組み立ててみると見事ピタリと組み合わせられていることがわかると思います。



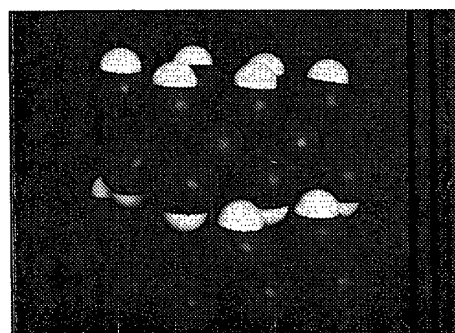
CdI₂型結晶構造⁸⁾

2. 用意するもの

- ・発泡スチロール球
 - 35mm球 12個
 - 45mm球 24個
 - 50mm球 12個
- ・接着剤（発泡スチロール又は木工用ボンド）
- ・水性の塗料（ユニボスカ等）
- ・竹ぐし、つまようじ等を数本
- ・カッター

3. 作ってみましょう

この消石灰の結晶模型は発泡スチロール球をイオンと考えて作ります。大きさの違う球はそれぞれ、45mm球はカルシウムイオン、35mm球と50mm球で水酸化物イオンを作ります（注1）。また、発泡スチロール球はすべて白色であるので酸素には赤色、カルシウムイオンにはオレンジ色を塗ってわかり易く、見た目をきれいにします。水素は白にしますので色は塗りません。



（注1） 2億倍の水素原子模型は直径50mmの発泡スチロール球を使いますが、水酸化物イオンの水素原子では35mm球を使うことにしました。それは水酸化物イオンの酸素原子として、酸化物イオンと同じ大きさである50mmの発泡スチロール球を使うことにしたので、水素も50mm球では釣合わないからです。この大きさで模型を組み立てたとき格子定数¹⁰⁾を2億倍にした値とはほぼ一致するようになります。

(1) 水酸化物イオンの作り方

酸素原子は50mm球を切り口が直径35mmになるように切断します。びんのふたや、コンパスなどで直径35mmの円の印をつけてからカッターで切とうまく切ることができます。印は図1のように発泡スチロール球にある中心を通る穴と円周を通過している線を利用してつけます。

水素原子は35mm球を半分にして使います。(注2)。発泡スチロール球にはちょうど半分のところまで線が付いているのでそれを利用すると良いでしょう。

できた酸素原子と水素原子を接着して水酸化物イオンとします。

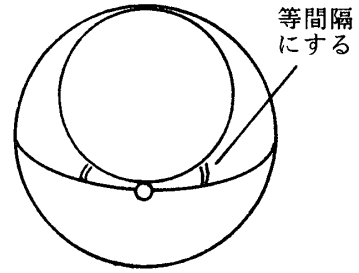


図 2

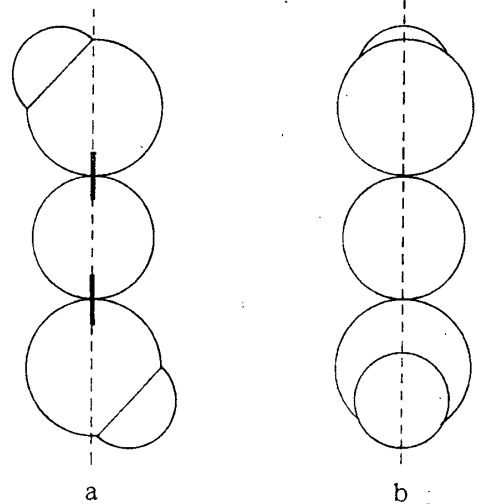


図 a を 90° 回転したもの

図 2

(2) 水酸化物イオンとカルシウムイオンの結合

1個のカルシウムイオンに2個の水酸化物イオンを直線に接着します。接着のときには竹ぐしを2cm位に切ったものを補強材として球の中心を通る穴に差し込みボンドで接着すると直線につながることができます。そのときに水素原子の向きに注意してください。図2のように水素原子も直線になるようにします。

この組合せを最少ユニットとし、12個作ります。

(3) 最少ユニットの結合

① (2)で作った組み合わせ(便宜上、Aとします)を3組接着します。接着は平らな机などの上に置いたまま行います。

Aを机の上に置くと転がって図3のようになって安定します。2個の水酸化物イオンのうち、1方水酸化物イオンの水素原子と酸素原子が同時に机の上に接するようになります。その状態のまま、図4のようにAを1個づつずらして水酸化物イオンとカルシウムイオンが隣り合うように、また、隣り合うカルシウムイオンと水酸化物イオンの酸素原子の中心を結ぶ線がすべて直交するように接着します。この組み合わせを4組作ります。

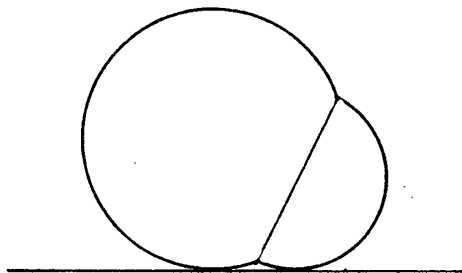


図 3

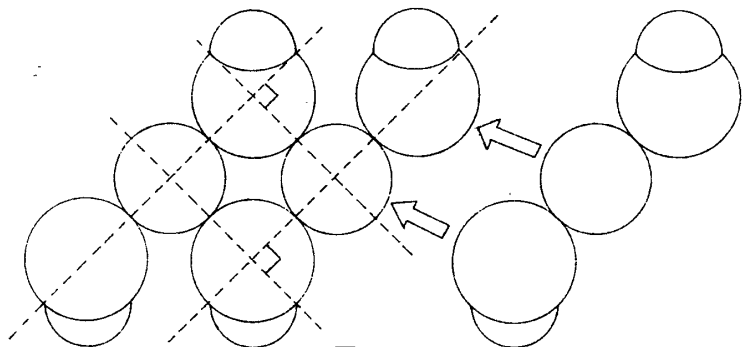
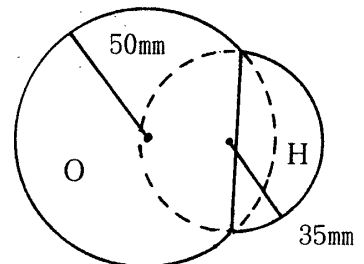


図 4

(注2) 水素原子と酸素原子は右の図のように深く重なり合って水酸化物イオン(OH⁻)を作っています。重なり部分をカットすると半分よりやや小さい程度ですので、材料の節約と手間を考えて、半分に切ったものを使います。



② (3) で作ったもの (Bとします) を2組つつ重ねて接着します。この時上へのせるほうのBは図5のように右斜め下に1つだけずらして水酸化物イオンの酸素原子とカルシウムイオンがかさなるように接着します。このときも、カルシウムイオンと酸素原子の中心を結んだ線が、上下、左右とも直交するようにします。

同じものを2組作ります。

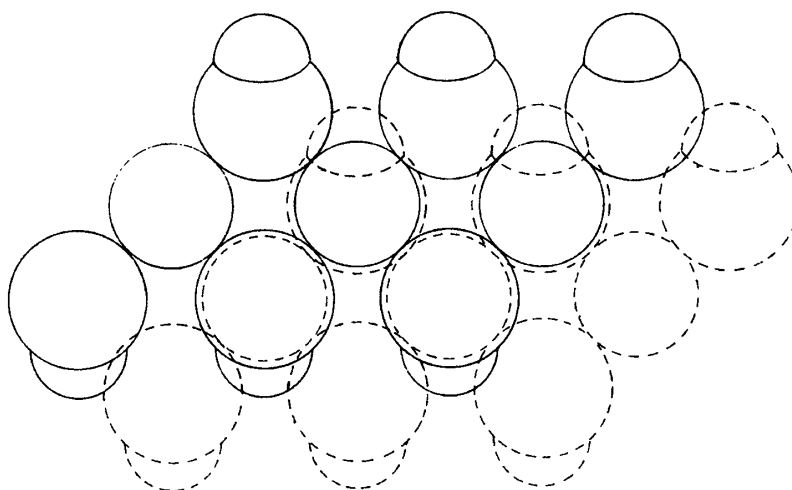


図 5

(5) 完成

(4) でできた2組を水素が上下になるように向きを変えてから上下に重ね合わせます。うまく組合せると机の上に置くことができます。

参考文献等

- (1) 板倉聖宣・吉村七郎 私信
- (2) 平林 浩 「授業書〈燃焼〉のねらいと構成」『授業科学研究』第1集、p.171~177 (仮説社、1979)
- (3) 田中 実 『原子の発見』〈ちくま少年図書館43〉科学の本 (筑摩書房、1979)
- (4) 久保亮五他編 『岩波理化学辞典第4版』 (岩波書店、1987)
- (5) HGS 分子構造模型、日ノ本合成樹脂製作所製、発売：丸善
MRK 分子構造模型、三田村理研工業 (製造中止)
モリモッド分子模型 (英国製)、中村理科工業販売
フィーベ分子構造模型 (西独 PHYWE 社製)、内田洋行販売
- (6) CPK 精密分子モデル (米国イーリング社製)、代理店：利康商事 K. K
STS 分子模型 (星薬科大学高橋浩教授他)、発売：丸善
- (7) 大石篤史・榊原郁子 「発泡スチロール球を用いた結晶の実体積模型の作り方」 年報『いわみざわ』第10号 (1989) p.48~57
- (8) 桐山良一・桐山良子 『構造無機化学 I・II』 (第3版) I、p.80~84 II、p.123 〈共立全書16〉 (共立出版KK、1979)
- (9) J. D. Lee 『無機化学』 p.40~41 (東京化学同人、1982)
- (10) 日本化学会編 『化学便覧』改定3版 II-693、698、717、718 (丸善、1984)

(佐々木修治：本分校 化学研究室 4年目学生)

(榊原 郁子：本分校 化学研究室)