

吸水性ポリマーを用いた結晶構造モデルの開発

岡田 花生*¹・鎌田 正裕*²

理科教育学分野

(2016年5月25日受理)

OKADA, K. and KAMATA, M.: Crystal structure model using water absorptive polymer. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Div. Nat. Sci., 68: 25-30. (2016) ISSN 1880-4330

Abstract

Crystal structure model was developed using transparent spheres of glass and water absorptive polymer. The model is made of an acrylic box packed with the spheres so that the glass spheres reflect a unit cell and the polymer spheres reflect the lattice structure around it. Since water absorptive polymer becomes invisible in water, only a unit cell made of glass spheres is visible when water is put into the acrylic box. There are four types of crystal structure in our model; face-centered cubic structure, body-centered cubic structure, hexagonal close-packed structure and sodium chloride structure. In addition, we developed a new method to observe cross section of the lattice structure using a laser beam

Keywords: crystal structure, model, water absorptive polymer, chemistry education, senior high school

Department of Science Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 本研究では、水に入れると見えなくなる球形の吸水性ポリマーとガラス球を用いて、結晶構造モデルを製作した。結晶構造モデルは、透明なアクリルケースの中に単位格子等をガラス球で、その周りの結晶構造をポリマー球で組んで製作した。このようにすることで、結晶構造部から水を抜いた時には結晶構造全体を、結晶構造部へ水を入れた時にはガラス球で組み立てた単位格子や特定の原子のみを観察することができる。製作した結晶構造モデルは、面心立方格子構造、体心立方格子構造、六方最密充填構造、塩化ナトリウム型構造の4種類で、これにシート状のレーザー光を当てることで、任意断面を観察する方法についても検討した。

*1 東京学芸大学 教育学部 理科専修 平成26年度卒業生

*2 東京学芸大学 基礎自然科学講座 理科教育学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

1. はじめに

高等学校の「化学」においては、塩化ナトリウムに代表されるイオン結晶に加え、金属結晶の体心立方格子、面心立方格子、六方最密充填構造を取り上げて、結晶格子の概念やその構造を理解させることが求められている¹⁾。これに基づき、教科書などで単位格子については丁寧に述べられているが、単位格子がどのように並んで結晶構造を構成しているのかについての扱いはやや限定的である²⁾。これは、結晶構造は直接目視で観察することができず模型などに頼る必要があるものの、この種の模型の多くでは単位格子の構造と結晶の繰り返し構造の関係が十分に表現できていないためと考えられる。

そこで本研究では、上記の視点に基づき、さまざまな角度から結晶構造が観察でき、その中で、単位格子がどのように組み合わせられて、結晶構造全体ができていくかを視覚的に示すことのできる結晶構造モデルの開発に取り組んだ。

2. 結晶構造モデルの原理

図1に示したように、十分に吸水した吸水性ポリマーの球には、水に入れると見えなくなる性質がある。この性質に着目して、吸水性ポリマーでできた球とガラス球から成る結晶構造モデルを開発した。モデルの大まかな構造は図2に示す通りで、透明なアクリルケースの中に吸水性ポリマーの球とガラス球を並べて固定し、そこに水を入れたり出したりできるようにしたものである。結晶を構成する粒子として吸水性ポリマーの球を使用し、その中の一部（単位格子に相当する部分）をガラス球に置き換えることで、これらの球を充てんした部分（以後、結晶構造部と呼ぶ）に

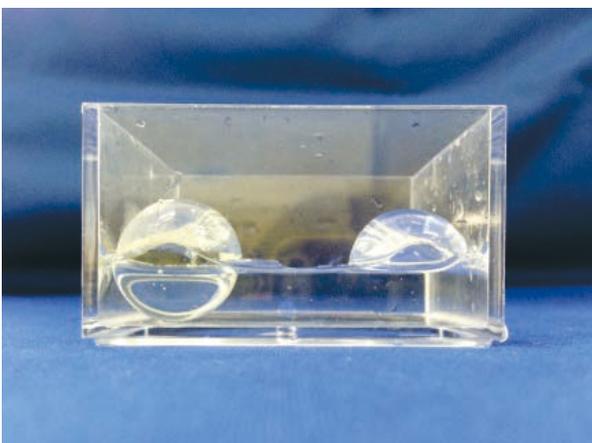


図1 ガラス球（左）と吸水後の吸水性ポリマー（右）

水を入れていない時には結晶構造全体が見え、同部分へ水を入れた時には吸水性ポリマーが消えてガラス球のみが、すなわち単位格子のみが見える。結晶構造部への水の出し入れは、容器の上下をひっくり返すことで行う。

なお、ここで用いた吸水性ポリマーは、「高吸水性高分子」「高吸水性樹脂」とも呼ばれるもので、自重の数百倍から千倍ほどの水を吸収する能力をもつ高分子である。吸水前と吸水後の様子を図3に示す。吸水ポリマーは親水性の高分子を三次元の網目状にすることで、その網目構造の間に水を取り込むことができるようにしたものである。十分に水を吸収した時は、吸水性ポリマー球は水と屈折率が等しくなるため、水に入れると消えて見える。このような現象は、ガラスとある種の油の組み合わせでも見ることが可能である

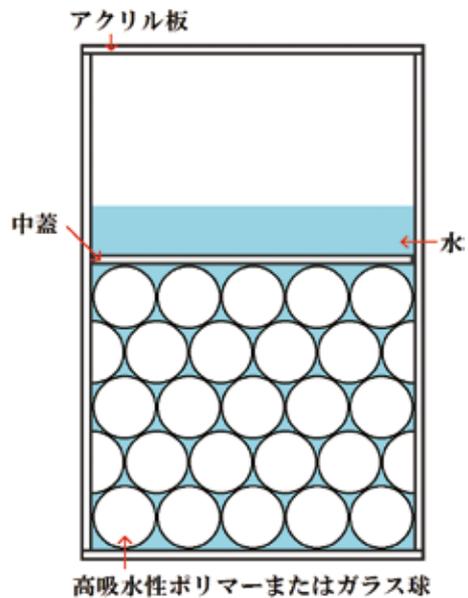


図2 結晶構造モデルの概略

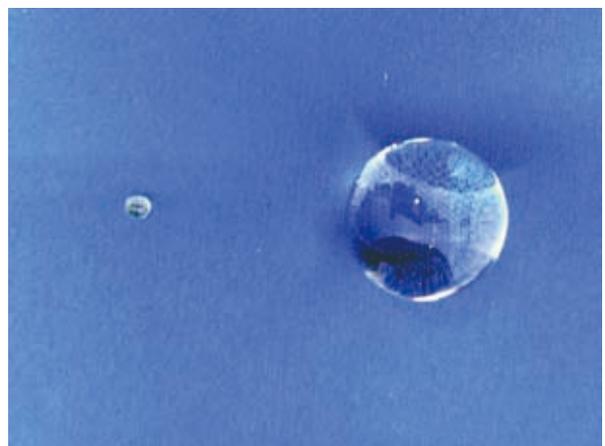


図3 吸水前の吸水性ポリマー（左）と吸水後の吸水性ポリマー（右）

が、ガラスと油の屈折率をそろえようとすると、光の波長を定めただけで、油の組成や温度を正確にコントロールする必要があり、扱いは複雑である³⁾。これに対し、水を吸収した吸水ポリマーはその成分のほとんどが水であるため、広い温度範囲、波長域で屈折率が水と等しくなり、ガラスと油のような組み合わせに比べて、扱いが非常に容易となる。

今回使用した吸水ポリマーは、東急ハンズ等で販売されているMAGIC BALLと株式会社ナリカで販売されているクリアスフィア（型番S77-3211）の2種類である。いずれも、吸水後のサイズにばらつきはあるが、前者については直径が約 $11.0 \pm 0.5\text{mm}$ のものを、後者については、 $25 \pm 1\text{mm}$ のものを選んで使用した。

3. 面心立方格子構造モデル

面心立方格子構造は、原子の位置関係を見ると3層ずつの繰り返しが続いている。本研究では、図4の並べ方で面心立方格子構造モデルを製作した。単位格子を作る原子にガラス球を、それ以外の原子を吸水性ポリマー球を用いることで、結晶構造部に水を入れ

た際に単位格子のみが観察できるようにした。また、面心立方格子構造はケース側面と結晶構造の間に大きな隙間が生じるため結晶構造がずれて崩れやすい。これを防ぐために、生じた隙間には切断した吸水性ポリマーを挿入した。

4. 体心立方格子構造モデル

体心立方格子構造は、原子の位置関係を見ると2層の繰り返しが続いている。体心立方格子構造では同じ段における隣の原子との間に隙間があるため、下段の支えがない最下層の吸水性ポリマーを正しい位置に並べるのは難しく、またそのままでは定位置に固定することができない。そのため、最下層の吸水性ポリマーを固定するために図6のような底敷きを、プラスチック板に発泡スチロールの半球を接着することによって製作した。

底敷きを含めた体心立方格子構造モデルの並べ方を図7に示す。1段目に表されている円は全て発泡スチロール球の半球である。このようにして組み上げられた結晶構造モデルを図8に示す。

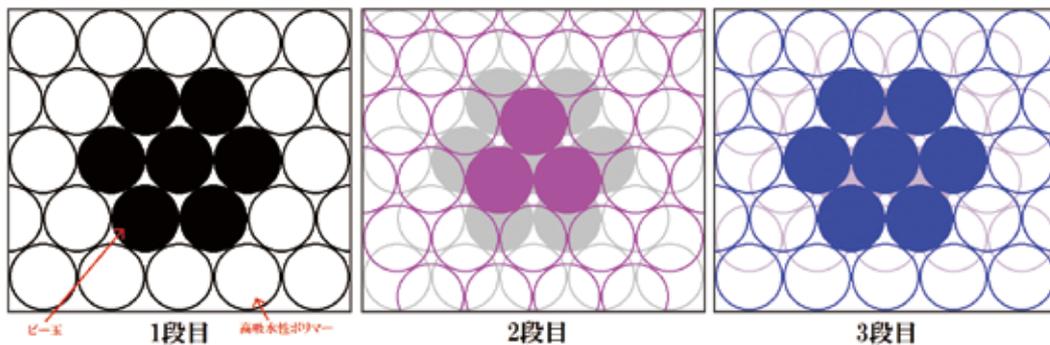


図4 面心立方格子構造モデルの並べ方

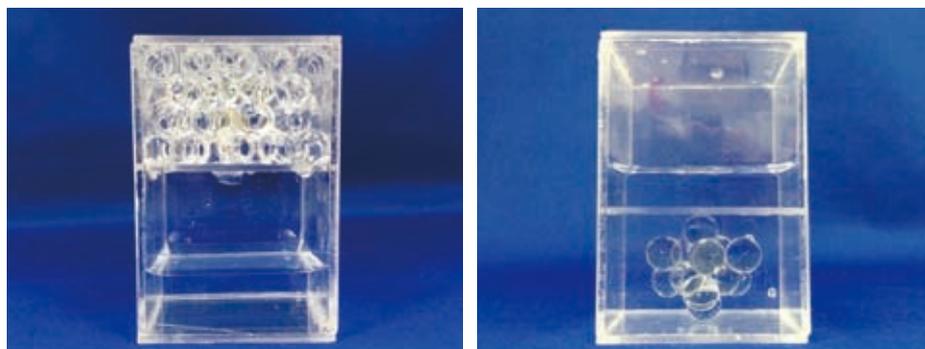


図5 MAGIC BALLを用いた面心立方格子構造モデル
 (左) 結晶構造部分に水を入れていない状態
 (右) 結晶構造部分に水を入れた状態



図6 体心立方格子構造の底敷き

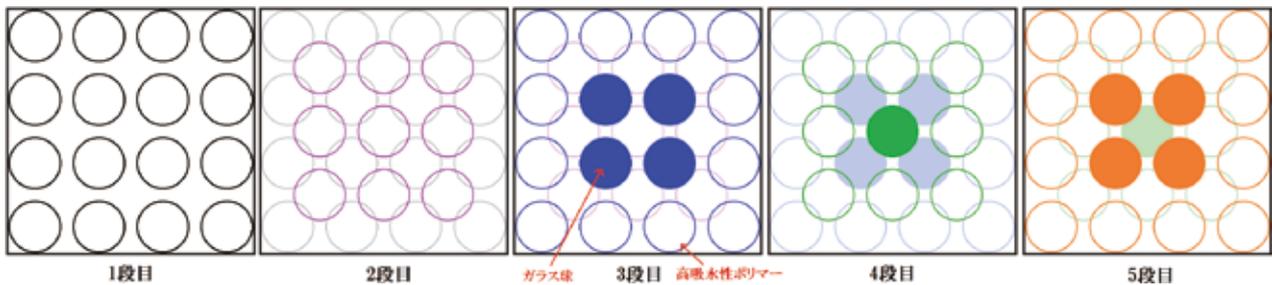


図7 体心立方格子構造モデルの並べ方



図8 クリアスフィアを用いた体心立方格子構造モデル
(左) 結晶構造部分に水を入れていない状態
(右) 結晶構造部分に水を入れた状態

5. 六方最密充填構造モデル

六方最密充填構造は、面心立方格子構造と一層ずつの並べ方は同じであり、2層ずつの繰り返しになっている。本研究では、図9の並べ方で六方最密充填構造モデルを製作した。

単位格子を3個合わせた六角柱を作る原子をガラス球、それ以外を吸水性ポリマーで表すことで、結晶構造の部分へ水を入れた際に六角柱を作る原子を観察できるようにした。また、六方最密充填構造は、面心立方格子構造と同様にケース側面と結晶構造の間に大きな隙間が生じるため結晶構造がずれて崩れやすい。

そこで、生じた隙間には切断した吸水性ポリマーを挿入した。完成したモデルを図10に示す。

6. 塩化ナトリウム型構造モデル

塩化ナトリウム型構造は、面心立方格子構造に並んだ Cl^- の間に Na^+ が入り込んでおり、 Na^+ と Cl^- をいずれも同じものとして見ると単純立方格子構造のようになっている。本研究では、図11の並べ方で塩化ナトリウム型構造モデルを製作した。

Cl^- をガラス球、 Na^+ を吸水性ポリマーで表すことで、結晶構造の部分へ水を入れた際に Cl^- が面心立方

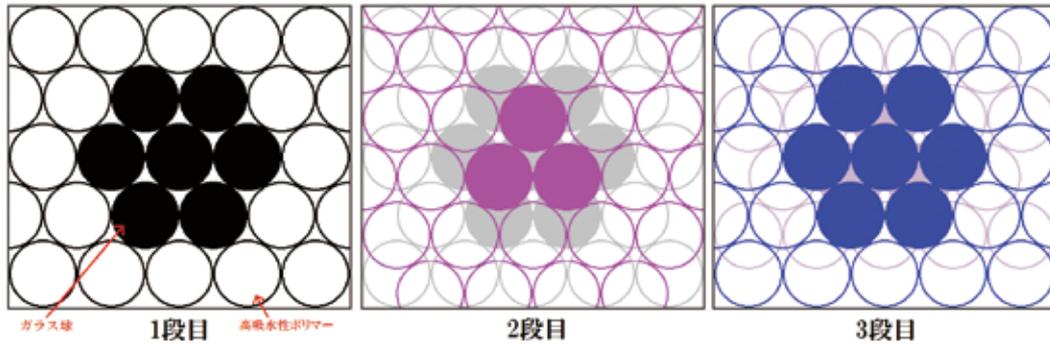


図9 六方最密充填構造モデルの並べ方

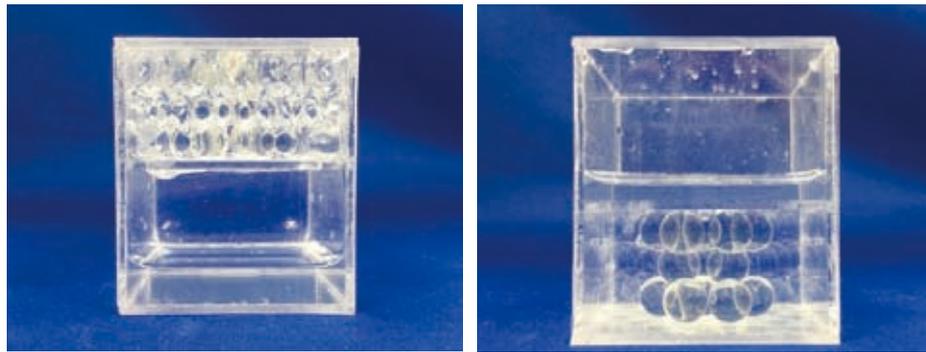


図10 MAGIC BALLを用いた六方最密充填構造モデル

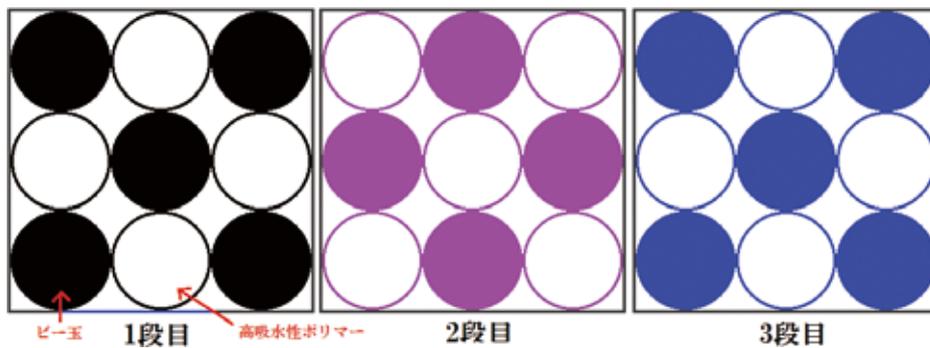


図11 塩化ナトリウム型構造モデルの並べ方

格子構造をとっていることを観察できるようにした。実際の Na^+ と Cl^- の直径は異なるが、結晶構造モデルにおいてガラス球と吸水性ポリマーの大きさが異なるとケースの中で結晶構造が崩れてしまうため、本研究では直径が同じ11mmのガラス球と吸水性ポリマーを用いた。完成した結晶構造モデルを図12に示す。

7. レーザー光を用いた結晶構造の断面の観察

コロイド溶液にレーザー光を当てると、チンダル現象により光の通ったところが光って見える。この現象を利用して、結晶構造の任意断面を観察する方法を検討した。

結晶構造モデルの中の水に絵の具を少量溶かしてコロイド溶液にし、そこにレーザー光を当てる。すると、ガラス球や吸水性ポリマー球以外の部分でレーザー光の通ったところが光って見える。そこで図13のように、レーザー光をシート状に広げてモデル内に照射すると、レーザー光の当たっている面内の粒子部は光らず、それ以外の部分が光って見える(図14)。このようにして結晶構造の断面を観察することができる。本研究では、図13に示すように、レーザー光を拡散させるために直径5mmのアクリル棒を用いた。この方法を利用すれば、結晶構造内の原子間の距離を求める際の説明などに活用することができる。

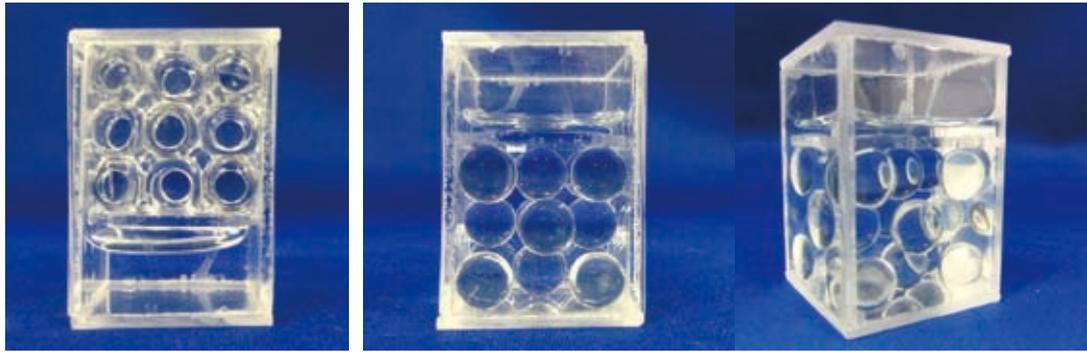


図12 MAGIC BALL を用いた塩化ナトリウム型構造モデル
 (左) 結晶構造部分に水を入れていない状態
 (右) 結晶構造部分に水を入れた状態

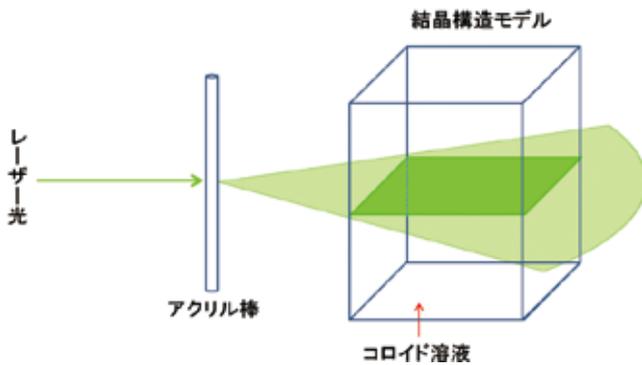


図13 レーザー光を用いた結晶構造の断面の観察の概略

8. おわりに

面心立方格子構造, 体心立方格子構造, 六方最密充填構造, 塩化ナトリウム型構造の4種類の結晶構造モデルの製作によって, 結晶構造とその中の単位格子や原子の並び方を同時に観察することができる教材を開発することができた。また, コロイド溶液とレーザー光を用いることで結晶構造の任意断面を可視化できることを確認した。

結晶構造を扱った授業において本教材を用いることで, 結晶構造の並び方や, 結晶構造内における単位格子などの観察が容易になり, 生徒の結晶構造に対する関心を高めるとともに理解を深める教育効果が期待できる。

参考文献

- 1) 文部科学省, 「高等学校学習指導要領解説 理科編 (平成21年7月)」, 大日本図書 (東京), pp.62-63, 2009.
- 2) 齋藤烈, 藤嶋昭, 山本隆一ほか, 「化学」, 啓林館 (大阪), pp.33-43, 2012.
- 3) 荻野文丸, 鎌田正裕, 下川慶史, 化学工学論文集 第18巻 第4号 pp.510-514, 1992

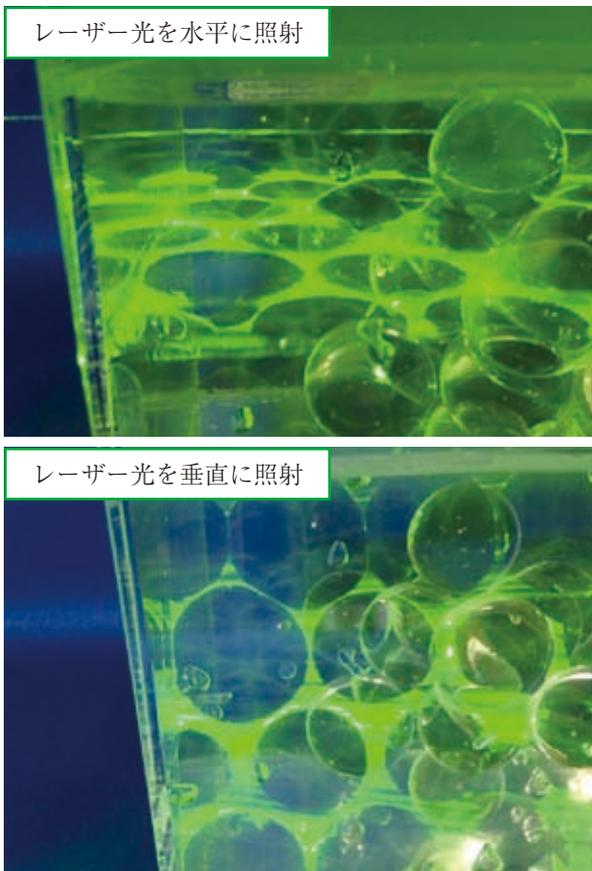


図14 結晶構造の断面を観察している様子