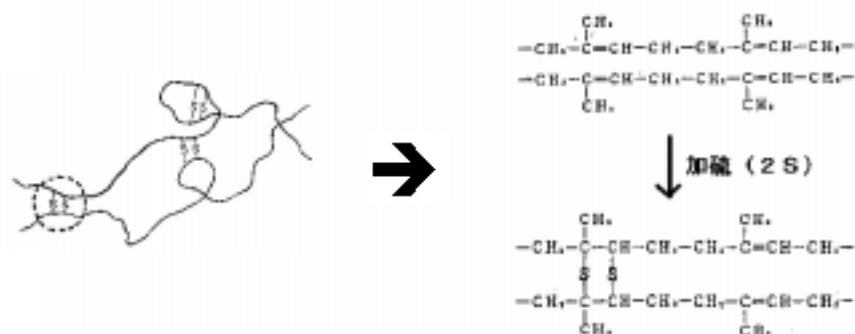




二重結合 $C=C$ のところの炭素と硫黄が化学結合（共有結合）によって結びつくことを「橋かけ」といいます。

図 1-4 「橋かけ」反応の模式図

(2) 大英帝国のゴムの独り占め

大英帝国による天然ゴム生産の独占が近代に入り戦略物資の独占という意味をもつよう

になり、ゴムが大英帝国の帝国主義政策を支えていたことを学習する。

p. 47

2 大英帝国のゴムの独り占め

加硫技術の発見により生ゴムは生産材になりました。加硫ゴムの出現は数千の新しい用途を生み出し、まったく新しい工業を創りだしてゴムの新時代を築きました。こうして無数のゴム製品が市場に現われはじめました。そして産業革命期に発明された蒸気機関車*が普及してくると、鉄道車両に大量のゴムが使われるようになりました。こうして 1850 年代にはゴム・ブームと呼ばれる時代がやってきました。

質問 1 2 鉄道車両に大量のゴムが使われましたが、何のためにゴムが使われていたのでしょうか。

※ 1830 年、イギリスのリバプールとマンチェスター間に鉄道が開通し、同じ年に合衆国のチャールストンとオーゲスター間にも機関車が走りました。産業革命の後進国であるフランス・ドイツ・ロシアなどでも鉄道の導入はいずれも速く、1830 年代です。1840 年に合衆国はすでに 4500 km の鉄道をもっていました。鉄道建設のスピードはこれ以後急加速され、ゴムの需要は激増していきました。

1830 年	23 トン	1874 年	6458 トン
1840 年	332	1888 年	11018
1857 年	1100	1897 年	19816

図 2-1 生ゴムのイギリスへの輸入量

p. 51

アマゾン河流域のゴムを産出する地帯はブラジルの領土です。この国はポルトガルの植民地でしたが、1822 年ポルトガルのドン・ペトロ王子がブラジルの皇帝となって独立しました。したがって、1850 年代のゴム・ブームの頃はブラジルが野生ゴムの木からの採取により、生ゴム生産を独占していました。そしてブラジルは生ゴムに輸出税をかけるなどして多くの収入を得ていました。また収入源を守るために、**ゴムの種子・苗の持ち出しを禁止**していました。

ゴム・ブームによりゴム需要が急増し、ゴムは世界的な規模の生産材としての地位を築きつつありました。こうした中で、大英帝国はブラジルから野生ゴムの木を盗み出し、ゴム園をつくる計画に着手しました。この計画は植物学者、外交官などの総力を結集したものでした。ゴムの種子の腐敗による何回かの失敗の後、1876年ゴムの種子の持ち出しに成功しました。ロンドンの王立植物園の温室では、盗んで運んできたゴムの種子のうち2800粒が発芽したのです。腐敗しやすいゴムの種子をこうして発芽させるには、植物学者の周到な準備と研究があったのでした。発芽して育ったゴムの苗はイギリスの植民地であるスリランカの王立植物園に移され、ここを根拠地として気候風土の適地が選定されました。そしてゴムの木は根拠地スリランカで栽培された他、東南アジア各地へ移されゴム園がつくられていきました。



パラゴムの木というのは大英帝国がブラジルから持ち出したゴムの木の種類です。アマゾン河本流の南側にだけ分布し、最も良質のラテックスを出すものです。

図2-4 パラゴムの木の葉と種子
(『ラバー・デベロップメンツ』, 29巻3号より)

p. 52

東南アジアに移植された栽培ゴムの木から、1889年に半トンの生ゴムが生産されました。その後、栽培ゴムの産量は急激に増大し、1912年には野生ゴムの生産量を抜きました。これ以後、野生ゴムの生産は急速に衰えてなくなり、大英帝国はゴムを独占することになりました。このゴムの独占は第二次世界大戦後、東南アジアの諸国がイギリスから独立するまで続きました。

1900年	4 トン	1920年	20万 トン
1905年	145	1930年	80万
1810年	8200	1940年	140万
		1990年	510万

図3-5 栽培ゴムの生産量

質問14 大英帝国のゴム独占はたんなる物質の独占ということでは説明できない大きな意味をもっています。ゴムの独占が大英帝国の帝国主義政策*を推進するのに、大きな役割を果たしてきましたが、それはどんな役割であったのでしょうか。
※ 工業原料と市場を得るために植民地を獲得するという政策

p. 53

ゴムがなければタイヤは生産できず、ジープやトラックが走れないことはもちろん飛行機も離着陸できないのですから、ゴムは戦争遂行のためには絶対必要なもの（**戦略物資**）でした。したがって、大英帝国が戦略物資であるゴムを独占することは、戦争によって植民地を獲得するという帝国主義政策を推進するのに非常に都合がよいことでした。つまり大英帝国はゴムを道具にして植民地を広げていったのでした。

ゴムの歴史をみてくると、ゴムをつくる「技術」は「社会」との結びつきが強く社会の進展とともに発展してきたことがわかります。ゴムをつくる「技術」は過去の歴史的蓄積の中から生まれてきた人類の共通の財産であるにもかかわらず、結果的には大英帝国の帝国主義政策を支えるという役割を果たしてきました。それも大英帝国の国民のすべてというのではなく、一部の資本家にゴムをつくる「技術」は従属してきたといえます。

〔オアシス〕

熱病マラリヤの特効薬キニーネはキナノキの樹皮に含まれています。キナノキは南アメリカのアンデスの高地に野生しており、インディオの間ではマラリヤの特効薬として古くから知られていました。

大英帝国はさらに植民地を大きく広げる野望を持っていました。新たな植民地を獲得するためにも、植民地を支配するためにも多くの兵士や役人を派遣しなければなりません。そのためには兵士や役人をマラリヤから守るためには、アンデスの野生キナノキからとれるキニーネだけではたりません。そこで、1860年代にキナノキをアンデスから盗みだしました。キナノキはロンドンの王立植物園で栽培され、気候風土の適地が選定された後、インドやセイロンの農場で大規模に栽培されました。1870年代、大規模に栽培されたキナノキからとれるキニーネを兵士に持たせ、大英帝国は新たな植民地を求めてアフリカに進出を始めました。キナノキの盗みだし後、1870年代にゴムの木の盗みだしが行われました。キニーネもゴムを帝国主義政策を進めるには、なくてはならないものだったのです。

(3) ドイツ帝国の挑戦

ドイツ帝国は植民を獲得して市場と原材料を手に入れるため、武力で大英帝国に対抗する必要に迫られていました。しかし、戦略物資である天然ゴムは大英帝国によって独占されていたため、ドイツ国内では合成ゴムづくりの研究を盛んに行われ、ついに合成ゴムづく

りに成功したのです。ドイツ帝国は自らつくった合成ゴムを用いて第二次世界大戦に参入していったことを学習する。この合成ゴムづくりが高分子概念の形成に大きく貢献したこと、また高分子概念の形成が合成ゴムづくりに大きく貢献したことを示す。

p. 54

3 ドイツ帝国の挑戦

大英帝国は植民地である東南アジアでゴムを栽培し、戦略物資であるゴムを独占していました。そして、ゴムの独占を維持するために東南アジアに多くの軍隊を配置していました。しかし、帝国主義の後発国であるドイツなどは市場と原材料を確保するために大英帝国のゴム独占を切り崩す必要に迫られていました。

質問 15 1920年代後半、ドイツ帝国は大英帝国のゴム独占を切り崩そうとする動きが出てきました。ドイツ帝国のとった方法とはどのようなものだったのでしょうか。

ヒント： 第二次世界大戦のとき、日本はゴムを得るためにゴム園のある東南アジアを攻撃して占領しました。当時、ドイツは非常に化学、技術が進んでおり、武力によらない化学、技術の力で、ゴムを得ようとしていました。化学、技術の力でゴムを得るといのは、どのようなことなのでしょう。

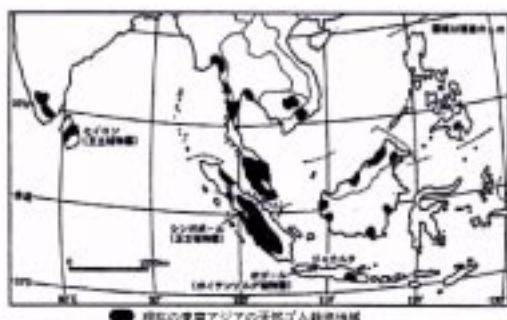


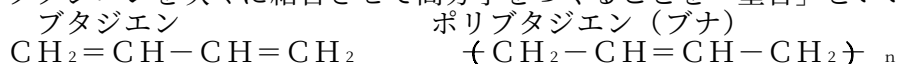
図3-1 天然ゴム栽培地域（中川鶴太郎，前掲書，97頁）

p. 55

1920年代後半、ドイツのイーゲー社は通称「ブナ (Buna)」という合成ゴムをつくりだしました。このブナという名称はブタジエン (Butadien) ^{*1} をナトリウム (Natrium) を触媒にして「重合」させたという意味です。この「重合」という概念はシュタウディンガーが1920年に発表したものです。**1920年代後半では、化学学会はまだ高分子の存在を認めていませんでしたが、イーゲー社などの現場で働く化学技術者はいち早くシュタウディンガーの考えを受け入れていた**ようです。シュタウディンガー自身も当時を回顧して「大学にいる化学者よりも、現場で働く技術者のほうが私の理論を先に理解してくれた」といっています。ドイツは合成ゴム「ブナ」を改良した「ブナS」^{*2}を用いて第二次世界大戦を戦うことになります。

ドイツ帝国は大英帝国に対抗するために合成ゴムをつくり出したといえます。この合成ゴムをつくるには、ゴムをつくる「技術」を通して「科学 (化学)」もかかわっていたのです。

※1 ブタジエンを次々に結合させて高分子をつくることを「重合」といいます。



n: 重合度 例えばn=1000ならばブタジエンが1000個結合 (重合) した高分子になっています。

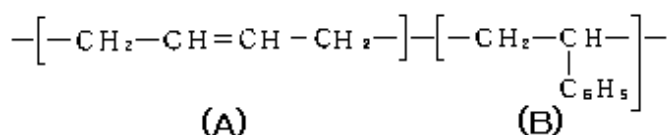
※2 1931年、カローザス (アメリカ) によって高分子の存在は疑いのないものとなりました。その2年後の1933年、ドイツのイーゲー社は「ブナS」という新しい合成ゴムをつくりました。これはブタジエンとスチレン (Stylen) をナトリウムを触媒にして重合したもので、名前もブナと同じ方法でつけられました。

p. 56

ドイツ政府は1933年にブナS系合成ゴムの大増産計画を立て、1935年にはすでに月産25トンに達しました。そして1935年9月、ナチス党大会においてヒットラーは合成ゴムの国産化完了を宣言しました。このように党大会の総裁演説でいなければならないほどゴムは重要な戦略物資なのでした。この4年後の1939年9月1日、ドイツ陸空軍がポーランドへ侵攻し、第二次世界大戦の幕が落とされました。

[オアシス]

ブナSの構造は



のようになります。(A)の部分はブタジエンからきたもので、これだけを単独で重合させるとポリブタジエン (ブナ) というゴムになります。ポリブタジエン (ブナ) は強度などの実用性において天然ゴムに劣ります。(B)の部分はスチレンからきたもので、これだけを単独で重合させるとポリスチレンという硬いプラスチックになります。つまりブナSは、ゴム性とプラスチック性がほどよくミックスされたゴムなのです。そして(A)と(B)の混合比を変えてやれば望みの実用性がえられます。例えばスチレンの配合量を少なくしてやればゴム性が強調されるから、耐寒性がよくなります。反対にスチレンを多くしてやれば硬いゴムになり、靴底などに適したゴムになります。ブナSはもっともバランスのとれた合成ゴムで、今日ではSBR (スチレン・ブタジエンラバー) と呼ばれ、合成ゴム総生産の80%程度をしめる汎用ゴムとなっています。

2.4 未来の高分子

高分子物質はゴムのように構造材料として用いられる他に機能性材料という特性をもっている。高分子鎖に結合している官能基は高分子の立体構造の多様性により、官能基の多様な空間的配置をとることを可能にしている。このことにより、ある特定な物質と相互作用をもつことができ、多様な機能を期待できることを学習する。例えば環境問題を考えるとき、このような機能をもつ高分子を用いて、さまざまな有害物質の除去や分解ができる可能性を秘めているを示し、このような科学・技術の研究を進めるにはどのような社会的条件が必要かという問題

提起とする。

「未来の高分子」は次の三部で構成した。

- ・ 高分子の立体構造と性質
- ・ 材料から機能へ

高分子をつくってきたことを学習する。

(1) 高分子の立体構造と性質

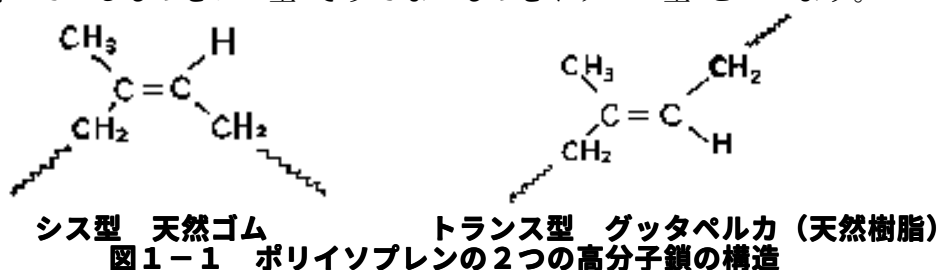
チィグラー・ナッタ触媒の発見により、構造単位の並べ方を制御することができるようになった。このことにより、合成天然ゴムをつくることができるようになり、高分子鎖の形を意図的に設計することできる道が拓かれたことを学習する。

p. 58

1 合成天然ゴム

1-1 天然ゴムの秘密

天然ゴムはポリイソプレンですが、実はこのポリイソプレンは、イソプレンの結合の仕方の違いにより、次のような2つのタイプが存在します。炭素-炭素間の2重結合を基準にして、 $-CH_3$ が一方の側に偏っているものをシス型*そうでないものをトランス型*といいます。



※ ラテン語で、シス (c i s) は「同じ側にあるもの」という意味で、トランス (t r a n s) は「反対側にあるもの」という意味です。

質問16 ポリイソプレンのシス型は室温ではゴムの性質を示すが、トランス型はプラスチックの性質を示します。シス型とトランス型ではどちらが高分子鎖の相互作用が大きいのですか。

p. 59

高分子鎖の相互作用が小さいものがゴムの性質を示し、相互作用が大きいものがプラスチックの性質を示します。したがって、トランス型がプラスチックの性質を示すことから、高分子鎖の相互作用はトランス型の方が大きいのです。

トランス型は高分子鎖が折りたたまれた形になり、プラスチックの性質を示します。これに対し、シス型は丸まった形になり、分子内回転運動ができる空間が十分に存在するため、ゴムの性質を示します。



シス型 天然ゴム トランス型 グッタペルカ（天然樹脂）
図1-2 ポリイソプレンの高分子鎖の模式図

イソプレンを単に重合させただけでは、高分子鎖の構造はシス型とトランス型が混じったものになります。したがって、天然ゴムを創るには、

- ・ 天然ゴムがシス型ポリイソプレンであることを発見
 - ・ シス型ポリイソプレンを合成する技術を発見
- しなければなりません。

この天然ゴムを創るという難しい課題はどのように解決されたのでしょうか。

p. 60

1-2 画期的な触媒の発見

1936年にイギリスのICI社は酸素を触媒して2000気圧の圧力をかけてエチレンを重合させてポリエチレンをつくる方法を見つけました。

図1-3 エチレンを重合させてポリエチレンをつくる

この方法は2000気圧にも耐えられる装置が必要であり、装置をつくるための費用の負担や安全面など多くの問題を含んでいました。

1953年ドイツのマックスプランク石炭研究所で有機金属を研究していたチグラー教授は液体の四塩化チタン $TiCl_4$ とトリエチルアルミニウム $Al(C_2H_5)_3$ を触媒^{*1}にすると、圧力を高くしなくてもポリエチレンができることを発見しました。この情報はチグラー教授に研究費を提供していたイタリアのモンテカチーニ社へ報告され、さらにモンテカチーニ社の顧問をしていたナッタ教授（イタリア）に報告されました。この報告をもとに1954年ナッタ教授は液体の四塩化チタンの代わりに固体の三塩化チタン^{*2}を使い、プロピレンを重合させてポリプロピレンをつくることを見つけたのでした。

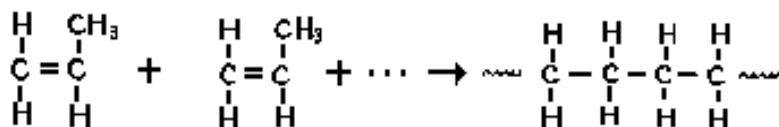


図1-4 プロピレンを重合させてポリプロピレンをつくる

p. 61

※1 ポリエチレンをつくるには、図1-3のように、エチレンを重合させる必要があります。エチレンの重合を容易にするために用いられるのが触媒です。したがって、良い触媒ほど重合が

容易に起きるので、小さな圧力でポリエチレンをつくることができます。つまり良い触媒を発見すると大がかりな装置も必要なく、ポリエチレンをわずかな費用でつくることができます。

- ※ 2 当時の常識では、三塩化チタンなどの固体を触媒に用いることは考えられないことでした。しかし、ナッタは固体触媒が非常にすぐれた作用をもつことを知っていたと考えられます。

ポリプロピレンはゴムの性質を示すはずだ、とナッタは予想していました。ところが、実際にできたポリプロピレンはプラスチックの性質を示し、結果的には見込み違いでした。

質問 1 7 ポリプロピレンは、図 7 の A、B のように、 $-\text{CH}_3$ が一方の側に出ているもの
 $-\text{CH}_3$ が不規則に出ているものがあります。ナッタのつくったポリプロピレンは
 プラスチックの性質を示しましたが、図 1-5 の A、B のどちらですか。
 ヒント：高分子鎖に結合している原子や原子団の規則性が大きいものほど、高分子は折りた
 まれた形になります。

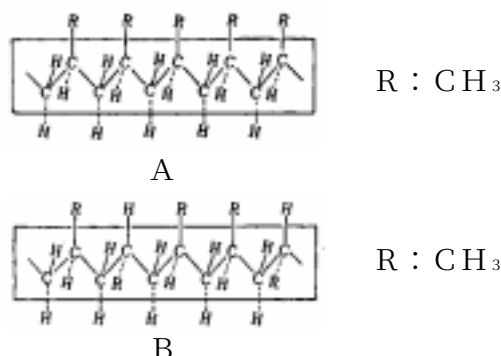


図 1-5 ポリプロピレンの立体規則性

p. 62

ナッタは、つくったポリプロピレンを X 線を使って調べて、高分子が折りたたまれた形になっているのを発見しました。このポリプロピレンは図 1-5、A のように $-\text{CH}_3$ が不規則に出ているのではなく、図 1-5、B のように $-\text{CH}_3$ が一方の側にだけ出ているものでした。

このように**高分子鎖に結合している原子や原子団の規則性が大きいものほど、高分子鎖の相互作用は大きくなり、プラスチックの性質を示します。**

1960 年代のチグラーとナッタ教授の大発見によって、合成天然ゴム^{*}やいろいろな合成ゴムをつくり出す道が切り拓かれたのでした。

チグラー・ナッタ触媒の発見により、高分子鎖に結合している原子や原子団の**種類**を変えて高分子の相互作用の大きさを調節するだけでなく、高分子鎖に結合している原子や原子団の**空間的配置**を変えて高分子鎖の相互作用を調節することができるようになり、いろいろな高分子材料がつくられるになりました。

※ 1954 年、アメリカのグッドリッチ社は、天然ゴムとほとんど同じシス型ポリイソプレンである合成天然ゴムをつくることに成功しました。続いて同じ年、ファイアストーン・タイヤ・ゴム社、翌年、グッドイヤー・タイヤ・ゴム社が、イソプレンの結合の仕方をコントロールすることで、合成天然ゴムをつくることに成功しました。

(2) 材料から機能へ

高吸水性高分子や紫外線樹脂を用いた実験により、機能をもつ高分子について学習する。

また、未来において高分子鎖の形を意図的に設計することがさらに進んだとき、環境問題などを解決することができる極めて高次の機能性高分子をつくることのできる可能性があることに触れる。

2 材料から機能へ

2-1 機能をもつ高分子

高吸水性高分子

産業界では、高分子鎖の相互作用を用途にあわせて変化させ、いろいろな高分子材料をつくってきました。例えば強靱な繊維をつくるためには、高分子鎖どうしの相互作用の大きい高分子が材料として使われます。また、空気など周囲の環境にある物質と相互作用して高分子材料が変質しないものをつくってきました。例えば、石油ストーブや灯油を送るゴムホースには、灯油と相互作用が小さい高分子が材料として使われています。

これまでの高分子材料と違って、他の物質と高分子との相互作用が大きいことを利用して、他の物質を分離する高分子物質が開発されました。このような高分子は機能性高分子と呼ばれています。機能性高分子は、特定の物質と相互作用が大きくなるように、高分子鎖に特定の原子や原子団を結合したものです。

ここで、機能性高分子のひとつである吸水性高分子について、学習することにしましょう。

質問19 ビーカーの中に約1000 gの水があります。この水を吸収して、ビーカーを逆さにしても水がしみ出ることがないようにするためには、最小限何gの吸水性高分子が必要でしょうか。

予想

ア 0.1g イ 5 g ウ 20 g エ 100 g

[実験] ビーカーの中に吸水性高分子を指定量入れ、そこに水1000 gをそそぎ、ビーカーを逆さまにし、水がしみだすかどうかを調べる。

正解はイです。

それにしても、5 gの吸水性高分子がどうして1000 gもの水を吸収できるのでしょうか。

吸水性高分子は粉末の状態では、図2-1, Aのように、小さく丸まった形をしています。高分子鎖どうしは加硫されたときのように結合しており、高分子鎖がバラバラになることはありません。図2-1, Aの小さく丸まった形の高分子は、水分子を吸収すると図2-1, Bのように拡がりなります。

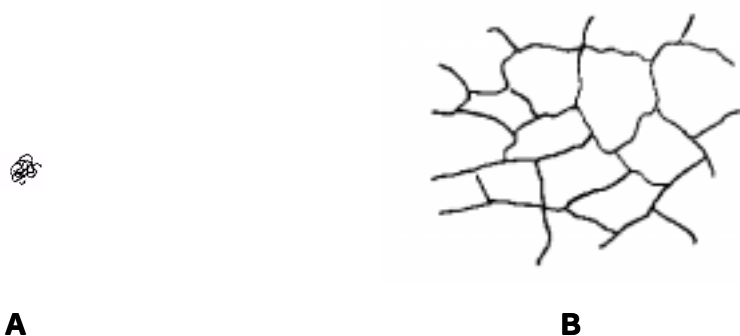


図2-1 吸水性高分子の形

ところで、吸水性高分子はなぜ水分子を吸収して、水分子をしっかりと捕まえることができるのでしょうか。それは、水分子と相互作用の大きい原子団が高分子鎖にたくさん結合しているからです。吸水性高分子は分子レベルで水と接触するので、その接触面積が極めて大きくなるため、極めて大量の水分子を捕まえることができるのです。

質問20 吸収性高分子にはどのような原子団が結合していますか。

予想

ア $-\text{CH}_3$ イ $-\text{C}_6\text{H}_5$ ウ $-\text{COOH}$

ヒント： 同じ原子でできているものどうしは相互作用が大きくなります。

p. 68

水分子 HOH と同じ原子でできている $-\text{COOH}$ が水分子との相互作用が大きいので、吸水性高分子には $-\text{COOH}$ がたくさん結合しています。正解はウです。

吸水性高分子に結合している $-\text{COOH}$ は、水の中では H^+ がとれて $-\text{COO}^-$ になります。このため、図13のように $-\text{COO}^-$ による電気的な反発により、高分子鎖はさらに大きく広げられるのです。

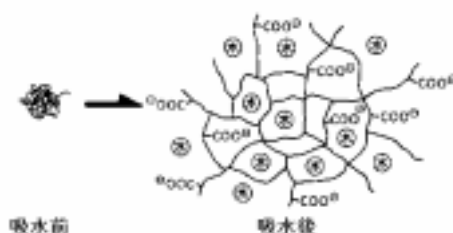


図2-2 電気的の反発によって高吸水性高分子はさらに広がる

吸水性高分子は紙おむつなどに利用され、今ではなくてはならないものになっています。また、保水力があるので砂漠でも農業ができるという夢を実現するために応用開発が進められています。

p. 72

2-2 未来の高分子

特定の物質と相互作用の大きい高分子をつくるには、**高分子鎖についている原子・原子団の種類**のほかに**高分子の形**が重要になってきます。高分子の形を思いどおりにつくることができれば、空気中や水などに溶けている有害物質を除去したり、分解して無害な物質にしたりすることが可能です。例えば、海水中の環境ホルモンを除去したり、温暖化の原因といわれている大気中の二酸化炭素を除去することが、未来の高分子では可能になるかもしれません。

地球環境問題を科学・技術の面から改善のするために、高分子の研究はなくてはならないものです。今後、地球環境問題の解決に向けて高分子の研究がいかに重要であることを市民ひとりひとり認識し、**本当に役に立つ研究ができるように市民ひとりひとりが支えていくような社会**をつくっていく必要があります。このことは、決して研究者や技術者たちだけに任せておけないことなのです。

【註】

- (1) 高村泰男編著『物理教授法の研究』、北海道大学図書刊行会、1987、まえがき
- (2) 丸山博「自然の階層論に基づく「環境科学」教育の体系化について」『環境教育』1号、環境教育学会、1991

IV 授業実践による授業書「高分子物質の化学」の評価・検証と今後の課題

1. 感想文からの分析

授業実践は本田貴俊教諭を授業者として、札幌月寒高校定時制4年生のクラスで、13時間（1999年11月10日～2000年1月26日）で実施された。アンケート調査は、下にある様式で、全授業が終了した段階で書いてもらった。

高分子物質の化学・アンケート調査

授業書「高分子物質の化学」の内容はどうでしたか。次の項目の中からもっとも適当だと思うものに○をつけてください。

I ゴムの科学

	わかりにくい	ふつう	わかりやすい
ゴムの不思議な性質	・	・	・
ゴム分子の素顔	・	・	・
ゴムの性質	・	・	・
	つまらない	ふつう	おもしろい
ゴムの不思議な性質	・	・	・
ゴム分子の素顔	・	・	・
ゴムの性質	・	・	・

II ゴムの科学・技術・社会

	わかりにくい	ふつう	わかりやすい
華麗なるゴムのデビュー	・	・	・
大英帝国のゴムの独り占め	・	・	・
ドイツ帝国の挑戦	・	・	・
	つまらない	ふつう	おもしろい
華麗なるゴムのデビュー	・	・	・
大英帝国のゴムの独り占め	・	・	・
ドイツ帝国の挑戦	・	・	・

III 未来の高分子へ

	わかりにくい	ふつう	わかりやすい
高分子の立体構造と性質	・	・	・
材料から機能	・	・	・
	つまらない	ふつう	おもしろい
高分子の立体構造と性質	・	・	・
材料から機能	・	・	・

授業書を使っている授業の方式はどうでしたか。次の項目の中からもっとも適当だと思うものに○をつけてください。できれば、その理由も書いてください。

- ア 授業書を使った方がよい。
 イ 授業書を使わない他の教科・科目とほとんど同じである。
 ウ 授業書を使わないで、教科書をやった方がよい。
 エ その他
 「理由」

とくにおもしろかったところ、とくにつまらなかったところを書いてください。

アンケート調査の集計は次のとおりである。
 「ふつう」と「わかりやすい」をあわせると、
 80%になり、「わかりにくい」は20%を占めた。
 また、「ふつう」「おもしろい」をあわせると81
 %になり、「つまらない」は19%を占めた。

「わかりやすい」の人数がもっとも多かったのは「I ゴムの科学」で、28%を占めた。これらのアンケート調査結果(1)をみると、おおむね生徒たちに受け入れられ、理解されたもの
 と考える。

アンケート調査結果(1)

I ゴムの科学

※ 数字は人数

	わかりにくい	ふつう	わかりやすい
1 ゴムの不思議な性質	4	14	10
2 ゴム分子の素顔	6	15	6
3 ゴムの性質	4	16	7

II ゴムの科学・技術・社会

	わかりにくい	ふつう	わかりやすい
1 華麗なるゴムのデビュー	5	17	4
2 大英帝国のゴムの独り占め	7	16	5
3 ドイツ帝国の挑戦	7	16	5

III 未来の高分子へ

	わかりにくい	ふつう	わかりやすい
1 高分子の立体構造と性質	6	17	4
2 材料から機能	5	17	5

I ゴムの科学

	つまらない	ふつう	おもしろい
1 ゴムの不思議な性質	4	14	10
2 ゴム分子の素顔	5	18	5
3 ゴムの性質	4	19	5

II ゴムの科学・技術・社会

	つまらない	ふつう	おもしろい
1 華麗なるゴムのデビュー	5	17	5
2 大英帝国のゴムの独り占め	7	16	4
3 ドイツ帝国の挑戦	8	15	4

III 未来の高分子へ

	つまらない	ふつう	おもしろい
1 高分子の立体構造と性質	5	17	6
2 材料から機能	4	16	7

授業書方式については多くの生徒が肯定的に評価してくれた。イを選んだ2名は理由の欄に特になにも記載していなかった。ウを選んだ3名のうち2名（1名は理由の記載なし）の理由は、教科書を使用する授業と違って、定期テストの準備をどうしたらよいかわからないということ、大学入試などに対応できないからということである。「高分子物質の化学」を授業書方式で学習することで、高分子物質の本質を捉えることが大学入試などでも決してマイナスでないことをきちんと説明する必要があるかもしれない。エを選んだ3名のうち2名（1名は理由の記載なし）の理由は、「授業書はなんか見にくかった。もっとみやすくしてほしいかった。」

「授業書はわかりやすいところもあるが、おぼえにくいところがあった。」である。

「B とくにおもしろかったところ、とくにつもしろくなかったところ」では、実験について楽しかったという意見が多かった。「全部つまらなかった」という意見があった。授業で、ほとんど欠席していた生徒やはじめから授業に

参加しようとしていなかった生徒にも、授業に目を向けてもらえるように、授業の中で生徒と対話できるような工夫を授業書の中に織り込むことを検討する必要がある。「C 全体的な感想」でも「授業を進めることばかりに重点を置き、もっと質問時間をとってほしいかった。」という感想が見られた。また、分子の構造式がよく理解できなかったという感想もあった。高校化学で分子の構造式について学習していなくても理解できるように、分子の構造式だけを提示せず、あわせて模型を使って説明するなどの工夫が必要であった。

「C 全体的な感想」では、「実験は見ておもしろかったけど、話しだけのときはつまらなかった。」と同様な感想が3つあった。この感想を授業過程の分析と結びつけて考えると、読んでいる時間が長いところは、思い切った焦点化と生徒の活動性を高める質問を設定するなどの工夫が必要である。

札幌西高校で1992年度に実施（授業者八島）したときの感想は次のとおりである。札幌西高

校では、「Ⅲ 未来の高分子へ」を除いて授業実践を行った。

＜A 授業書方式について＞

アを選んだ生徒の感想

・「すっごく面白かった。中学のときは、ただ意味も分からず化学式などを覚えていた。でもこの授業は本当の「化学」を勉強しているという感じです。理科はずっと苦手だったのに、今は、自分で考えたりできるようになった。中学のときは理科はできなかったけど、少しだけ化学的分野に興味があって高校に入って分子や原子について疑問だったことの、こたえがでた部分もあった。身のまわりのもの全部が分子や原子でできているのがとっても不思議です。こう考えると、身のまわりにあるものでもいろんな疑問がわいてきます。私でも「高分子」などという難しそうなことを少しでも理解できてうれしいです。もっと、いろんなことについて勉強し、考えたりしたいです。」

・「自分の学校生活9年間で1番楽しく、たけになる授業でした。まず第一に教科書ではなく、特別プリントにそって学習でき、少し賢くなったような気がしました。八島先生がいつも強調されていた、「考える力、想像する力」の必要性を、今、ひしひしと感じています。学校の他の授業もこのように楽しく、興味のもてるものにしてほしいです。そうすれば、やる気も湧いてくるし、みんなの授業に参加する態度も改善され、活気に満ち、そこから新たな考えも生まれてくると思います。」

ウを選んだ生徒の感想

・「ゴムの弾性力やその他の特徴の理由をちゃんとした理論で説明していったので、とてもむずかしく感じた。だけど、ゴムの仕組みがわかって楽しかった。教科書を使わないので、どこがポイントかというのがわからなかった。」

・「授業自体は悪くないと思う。内容もおもしろく実けんもなかなかよかった。しかし授業のペースが遅いと思う。授業書のプリントが1枚1枚バラバラなため、前の内容を調べにくいし、

またこれらの勉強がはたして実際の試験に役に立つかということだ。」

＜C 全体的な感想について＞

・「理科は得意でなかったが化学に対する興味をととても持つことができた。分子などをイメージできるようになり、化学はとても面白いと思った。興味をもってやれば、いやいややるよりはどの教科もわかるようになるから、こんなにたくさんの時間をかけたことは決して無駄ではなかったと思う。他の授業だと気が重くなるが授業が始まる前、化学だとわくわくする。他のクラスは教科書を使って難しそうなことをやっているが、分子のイメージなどができることによって、もっと私たちは短時間で同じことが理解できるかもしれない。いままでの授業で1番面白く、1番ためになったことはなんといっても質問を考えることだった。友だち同志で真剣にたくさん意見を出し合ったりして、少し考える力がついたと思う。まちがった時もあったけど、その分理解が深まったと思う。」

・「えーと、これまでの授業は・・・一体全体何だったのか。私は今、このことを考えています。現在私はこれまでの授業を振り返ってとても楽しい授業だったと思うとともに、高分子というものに大きな関心を持ちました。原子がひものようにくっついていくというその形態はこれまで全く想像しなかったことであり、その特異な性質によって、それまで「なぜだろう」と考えることすらしなかったゴム物質の運動が解明されたということで、私の心は化学に引きつけられたと思います。この授業は大学受験のための勉強という立場から見るとほとんど意味のないものだと思います。だからこの手の授業は高校での授業に必要不可欠なものだとは決して思いません。ただ授業に対する興味付けという意味では役立つかもしれないと思うし、これからの人生に影響を与えるかもしれないと思う。結果的にこの授業がプラスになるかマイナスになるか、すべてこれからだと思う。」

アンケート調査結果（２）

A 授業書方式について

※ 数字は人数

ア 授業書を使った方がよい。	15
イ 授業書を使わない他の教科・科目とほとんど同じである。	2
ウ 授業書を使わないで、教科書をやった方がよい。	3
エ その他	3

「理由」

肯定的理由

- ・実験の結果とか、みんなで考えてから答えのプリントを配ったから、思考力がついたと思う。教科書だと先が読めるから、おもしろくない！
- ・授業書を使った方がらくだったし、楽しかった。
- ・ノートを書かない分、真剣に話を聞けるから。（３名）
- ・授業書に空らんが多ければ、自分が気がついたときに、いろいろ記入できると思う！ヒントなどがあり、自分でいろいろ想像しながら答えをもとめていけるから良い。
- ・もっとはやくこういうじゅぎょうがしたかった。

否定的理由

- ・答えがわかりづらい。テストの時にまったく授業が役に立たない。テスト勉強をするときに、化学式など7割以上、覚え直さなければならず非常に効率が悪い。
- ・授業書はわかりやすいところもあるが、ほとんど自分で読んだり聞いたりするので、覚えにくいところがあった。
- ・授業書はなんか見にくかった。
- ・テストのとき、何をどうやって勉強したらいいかわからないから。

B とくにおもしろかったところ、とくにつまらなかったところを書いてください。

肯定的意見

- ・おもしろかったのはゴムのびちぢみの実験
- ・すらいむづくりがたのしかった。
- ・ゴムは不思議がいっぱい。
- ・せんいをつくるときたのしかった。
- ・物質の特性を活かした応用などが楽しかった。

肯定・否定的意見

- ・口でせつめいするよりじっけんをみたほうがわかりやすかった。
- ・おもしろかったのは全部の実験！とくにゴムの指サックづくりが良かった。ネチョネチョしていたけどよかった。つまらなかったところは、プリントに書いてある文字を先生が棒読みしてた所。他に何か色々なことを言ってほしかった。
- ・実験はおもしろいし、想像性がますます思われる。一番覚えづらい構造式や変化前・変化後をおおまかにしかとらえられず、くわしく理解できない。

否定的意見

- ・何をやっているかわからなかった
- ・全部つまらない。

C 全体的な感想を書いてください。

- ・いつもの授業より楽しかった。
- ・実験は見ておもしろかったけど、話しだけのときはつまらなかった。（３名）
- ・教科書を使うより楽だったから。
- ・実験をするのがとても興味深かった。もっと早くにこういう授業に取り組みたかった。P. S ねむくなるなるのはこの授業書のプランではなく先生のせいだと思う。
- ・授業を進めることばかりに重点を置き、もっと質問時間をとってほしかった。
- ・想像性やゆとりのある授業ではあるが、大学入試や国家試験はそうならないので、試験をまず変えることが重要では。

2. 評価テストの分析

評価テストは、2学期末考査・3学期末考査にあわせて実施した。評価テストでは、授業書

の持ち込みを許可した。

評価テストⅠでは主に高分子概念について評価を試みた。高分子概念についての認識が形成さ

れたかについて、問題番号 2, 3, 4, 5, 6 の解答を分析して評価した。それぞれの問題のねらい、正答率は次のとおりである。

表 2 問題のねらい

問題番号 2	高分子がどのくらい恐ろしく長い分子であるかを問うている。 (高分子とは恐ろしくひょろ長い分子であるという認識)
問題番号 3	ゴムの温度が高くなると回転運動をしているゴム分子の炭素－炭素軸の数が多くなり、ゴム分子はさらに丸まって小さな糸まりの形になることを理解しているかを問う。また、ゴム分子が高分子であるから、ゴム分子どうしがからみあっているため、ゴムを引き伸ばすことができることを問うている。 (ゴム弾性についての認識)
問題番号 4	ゴムとプラスチックの関係がこれらの物質をつくっている炭素－炭素軸の回転運動の有無であることを問うている。 (ゴムとプラスチックの違いについての認識)
問題番号 5	ゴム、プラスチック、繊維それぞれの高分子の形、そしてその形と相互作用の大きさの関係について問うている。 (高分子の形と相互作用の大きさについての認識)
問題番号 6	高分子概念の形成には、アカデミックな化学（科学）だけでなくゴムづくりという産業界の技術が重要な役割を果たしたことについて問うている。 (高分子概念の形成における科学と技術の関わりについての認識)

表 3 高分子概念形成の分析に関わる正答率

問題番号	正答率(%)	問題番号	正答率(%)
2	58	4	(1) 86
	(1) 86		(2) 80
3	(2) 76		(1) 92

(3)	62	5	(2)	78
(4)	50		(3)	62
			6	67

問題 2 は、もっとも基本的な高分子概念について問うているにもかかわらず、正答率は 58% と高くなかった。しかし、誤答の中で「エ」と答えている生徒は、高分子が恐ろしくひょろ長い分子であることを認識していると考えられる。このことを考慮すると約 7 割の生徒が高分子が恐ろしくひょろ長いことを認識していると思われる。

問題 3 の正答率は(2)は 76% であるが(3)は 62% と低かった。ゴムに熱湯をかけると、ゴム分子がさらに丸まって、小さな糸まりの形になることは理解しているが、このことと回転運動しているゴム分子の炭素－炭素軸の数との関わりと結びつけられない生徒が多いことを示している。(4)は、高分子どうしのからみあいとゴム弾性との関わりについての問題で、正答率は 50% であった。記述式で、決して簡単とは言えない問題にもかかわらず、5 割の生徒が理解していたことは評価できると考える。

問題 4 は、ゴムとプラスチックの違いを高分子の回転運動との関わりから捉えることができるかという問題で、正答率が(1)86%、(2)80% と非常に高かった。

問題 5 は、高分子の形と相互作用の大きさについての問題で、正答率が(1)92%、(2)78% と予想外に高かった。ゴム・プラスチック・繊維の関係と高分子の形、さらにその形と集合状態の関係をきちんと理解していることは驚きである。しかし、(3)の正答率が 62% にとどまっている。このことは、高分子の集合状態と高分子鎖の相互作用との関わりについての理解がそれほど簡単にいかないことを示している。高分子鎖の「相互作用」についての実体的イメージをつくれるような生徒の学習活動を考える必要がある。

問題 6 は、高分子概念の形成における科学と

八島

技術の関わりについての問題で、正答率67%である。正答率は記述式であることを考えると決して低くないと考えられる。

高分子概念の形成には化学（科学）だけでなく技術が関わっていることを理解することは、科学と技術の関わりを考える上で重要である。

評価テストⅠ（1999年12月実施）

- 1 次の文の（ ）に当てはまる適当な語句を書きなさい。
- ヨーロッパ人で最初にゴムを見たのはイタリア人の（1）でした。彼は、ミニカ島の住民の遊び道具であるゴムボールが地面に当たってはずむ様子を「まるで生きもののようだ」と記録に書いています。実際には、ドミニカ島などの住民はゴムボールのほかに（2）などにゴムを利用して生活に役立っていました。
 - デンプンとブドウ糖の水溶液をセロハン袋に入れて、ビーカーのお湯の中につるした。しばらくすると、セロハン袋からブドウ糖だけがでてきた。このことから、分子の大きさはブドウ糖の方がデンプンより（3）ことがわかる。

- 2 天然ゴムは、イソプレン $\text{CH}_2=\overset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{C}}}-\text{CH}=\text{CH}_2$ がおおよそ何個つながったものか。次の中からもっとも正しいものを選び、記号で書きなさい。

ア 数個 イ 数百個 ウ 数万個 エ 数億個

- 3 次の問いに答えなさい。
- ゴムひもにおもりを下げ、そこに熱湯をかけるとゴムひもはどうなりますか。次のア～ウから正しいものを選び、その記号を書きなさい。
ア ちぢむ。 イ のびる。 ウ 変化しない。
 - ゴムひもにおもりを下げ、そこに熱湯をかけたとき、糸まりの形をしたゴム分子はどのような形になりますか。次のア～ウから正しいものを選び、その記号を書きなさい。
ア のびて長い形になる。
イ さらに丸まって、小さな糸まりの形になる。
ウ そのままの形をしている。
 - ゴムひもにおもりを下げ、そこに熱湯をかけたとき、回転運動をしているゴム分子の炭素－炭素軸の数はどうなりますか。次のア～ウから正しいものを選び、その記号を書きなさい。
ア 多くなる。 イ 少なくなる。 ウ 変化しない。
 - もしゴムが高分子でなく長さが短い分子でできているなら、ゴムをいったん伸ばすと伸びたままでもとにもどらなくなると考えられます。なぜそうなるかを書きなさい。

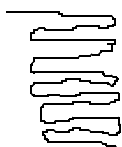
- 4 ゴムボールを液体窒素で冷やしてから、床に落とすとゴムボールはガチャンという音とともにわれてしまいます。このことについて次の問いに答えなさい。
- このとき、ゴムボールはゴム状態から何という状態になりましたか。
 - このとき、回転運動をしているゴム分子の炭素－炭素軸の数はどうなりますか、ア～オから正しいものを選び、その記号を書きなさい。
ア 非常に多くなる。 イ 少し多くなる。 ウ 少し少なくなる。
エ ほとんどなくなる。 オ 変化しない。
 - このような変化は一般に何と呼ばれますか。

- 5 次の図のア～ウはゴム状態、プラスチック状態、繊維状態の典型的な高分子の形を示したものです。次の間に答えなさい。

ア



イ



ウ



- 図のア～ウはゴム状態、プラスチック状態、繊維状態のどれに対応しますか、それぞれに対応する記号を書きなさい。
- 高分子鎖が集合するとき、もっとも密につまりやすい高分子の形はどれですか、記号で答えよ。また、2番目に密につまりやすい高分子の形はどれですか、記号で答えよ。
- 高分子鎖が集合するとき、相互作用がもっとも大きい高分子の形はどれですか、記号で答えよ。また、2番目に相互作用が大きい高分子の形はどれですか、記号で答えよ。

- 6 その当時、ほとんど全部の化学者が高分子は存在しないと考えていました。シュタウディンガーは何をしたから、高分子の存在を感じることができたのでしょうか。
- 7 シュタウディンガーはゴムの溶液がいつまでも大きな粘性を失わないことが、ゴム分子が高分子である証拠と考えました。どうして大きな粘性を失わないことが高分子である証拠といえるのでしょうか。
- 8 知っている高分子物質の名前を5つ書きなさい。

評価テストⅡでは、科学・技術・社会との関わりを通してゴム物質についてのトータルな認識形成の基礎が身に付いているかどうかについて評価を試みた。また、高分子の特性から未来の高分子が環境問題などの解決に向けてどのような可能性をもっているかを理解しているかどうかについても評価を試みた。ゴム物質についてのトータルな認識の基礎が形成されているかどうかについては問題番号2、5、6、未来の高分子の理解については問題番号8、9、10の解答を分析して評価した。それぞれの問題のねらい、正答率は次のとおりである。

表4 問題のねらい（ゴム物質についてのトータルな認識形成）

問題番号2	加硫技術の科学的意味、社会的意味について問うている。 （加硫技術についての認識）
問題番号3、4、5	ゴムが加硫技術を介して社会とどのように関わってきたかについて問うている。また、帝国主義政策を進める上でゴム物質が果たした役割について問うている。 （ゴムと社会の関わりについての認識）
問題番号6	合成ゴムがどのような科学的・技術的・社会的背景の中で創り出されたかを問うている。 （合成ゴムについてのトータルな認識）

表5 トータルな認識形成の分析に関わる正答率

問題番号	正答率(%)	問題番号	正答率(%)
2	(1) 66	3	78
	(2) 55	4	68

(3)	45	5	61
(4)	66	6	30

問題2は、加硫技術についての問題で、(3)45%、(4)66%と正答率に開きが見られた。これは、加硫を「人工的からみあい」と答えていても、加硫の科学的意味を正確に理解していない生徒が多いことを示している。この部分の授業書の改善が必要である。

問題3、4、5はゴムと社会との関わりについての問題で、正答率が問題3が78%、問題4が68%、問題5が61%になり、記述式での解答であることを考慮すると、まずまずの正答率であると考ええる。

問題6は、合成ゴムと科学・技術・社会との関わりについての問題で、正答率が30%と非常に低かった。授業書ではこのことをコンパクトにまとめていないことが正答率が低い理由のひとつであると考えられる。また、ヒントとなる語句をもとに論述するという問題で、どのように手をつけたらよいのかわからなかったのではと考えられる。何も書いてない答案がほとんどであった。この部分の授業書の手直しや問題の問い方などについても工夫する必要がある。

表6 問題のねらい（未来の高分子についての認識）

問題番号8、9	吸水性高分子、感光性高分子のメカニズムについて問うている。 （機能性高分子についての認識）
問題番号10	未来の高分子がどのような可能性をもっているかを問うている。 （未来の高分子についての認識）

表7 未来の高分子の分析に関わる正答率

問題番号	正答率(%)	問題番号	正答率(%)
8	8	10	78
9	57		

問題8, 9は, 吸水性高分子, 感光性高分子についての問題で, 正答率が問題8が8%, 問題9が57%であった。問題8の正答率が極端に低いのは, 問題6と同じような理由が考えられる。この部分の授業書の手直しが必要である。

問題10は, 未来の高分子の可能性についての問題で, 正答率が78%と高かった。

評価テストⅡでは, 最後にボーナス問題と称して, 「高分子を学習して, 高分子についてどのようなイメージを持ったか自由に書いてください。」と感想を書いてもらった。感想は次のとおりである。

- ・日常, 普通に使っているゴムがこんなものだと思わなかった。けっこう高分子は奥が深いものだと知らされた。
- ・高分子といっても硬いプラスチックのようなものもあれば, ゴムのようなやわらかいものもあり, ましてデンプンのように食べられるものまであるのに驚いた。
- ・現在, ゴミ問題となっているポリやその他のプラスチックがすべて高分子で出来ているとは

知らなかった。これから先ゴムは, 良くも悪くも使う側しだいと最後に結んだことの意味がよくわかった。これからの高分子の変化には, 注目をしていきたい。

・ものすごい科学的でむずかしい言葉とかあってわかりずらかったけど, なになにに利用されているとか, なになにの性質をもっているとかわかって自分のイメージはびっくりするほどすごい!!

・はやく高分子の形を思いどおりにつくれるようになったら, これから地球に役立つかもしれないので, はやくできればいいと思う。

・高分子というのは, 人間が生きていく上でほんとうに必のような物なのだと思います。

・高分子の研究では科学と技術の結びつきがキーポイントとなる。

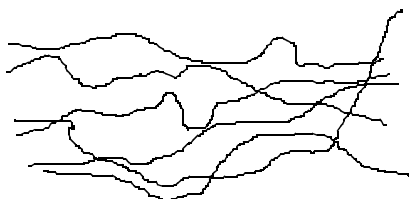
・自由自在にいろいろな物に変化するようなイメージを持った。

・高分子で, いろいろな物が作れるんだなあと思いました。

感想の中には, 高分子の多様性や未来の機能性高分子と環境問題についての記述, さらに科学と技術の関わり的重要性についての記述などが見られ, 授業書「炭素化合物の化学」の学習のねらいが達成されていることが伺える。

評価テストⅡ (2000年1月実施)

- 次の()の中に適当な語句を書き入れなさい。
 - ・南米の先住民はゴムを水筒・(1)・(2)などに利用していました。このことは, 地理の研究のために来ていたフランス人である(3)によってフランスの王立アカデミーに報告されました。そしてこの報告は1751年に出版されると, それはただちにヨーロッパの技術者の関心を集めました。こうして19世紀初めには, (4)を背景にしたイギリスを中心にゴムをゴムバンド・ガーターなどに利用されるようになりました。
 - ・高分子鎖に結合している原子や原子団の規則性が大きいものほど, (5)は大きくなり, プラスチックの性質を示します。
- 加硫技術について, 次の問いに答えなさい。
 - (1) 加硫していないゴムはどのような欠点をもっていますか, 書きなさい。
 - (2) ゴムの欠点をなおすのに, なくてはならない物質をひとつ書きなさい。
 - (3) 次の図は加硫する前のゴム分子の一部を示しています。加硫技術によって, その図はどのように変化しますか。次の図に何かを書き加えて, 加硫した後のゴム分子を示すようにしてください。



- (4) 「からみあい」という言葉を使って、加硫技術を説明してください。
- 3 1850年代には大量のゴムが使われるようになり、いわゆるゴム・ブームと呼ばれる時代がやってきました。このとき、大量のゴムがどういふところの、どういふ部分に使われたかを書きなさい。
- 4 東南アジアでゴムの木が栽培され、ゴム園ができたいきさつについて、次の語句を使って説明しなさい。
「語句」 野生ゴム、大英帝国、ロンドンの王立植物園
- 5 大英帝国のゴム独占と帝国主義政策とのつながりについて説明しなさい。
- 6 1920年代後半、ドイツ帝国が大英帝国のゴム独占を切り崩すために、ドイツ帝国は合成ゴムを創り出しました。ドイツ帝国は、合成ゴムをなぜ創り出すことができたのでしょうか、次の語句を使って説明しなさい。
「語句」 帝国主義の後発国、シュタウディンガー、ゴムづくりの技術
- 7 ポリエチレンをつくる上での産業界の課題を解決するために研究が進められた結果、チグラー・ナッタ触媒が発見されました。ここでいう産業界の課題とは何か、書きなさい。
- 8 なぜ、少量の吸水性高分子が大量の水を吸水することができるか、次の語句を使って説明しなさい。
「語句」 高分子鎖が加硫されたときのように結合、水分子をしっかりと捕まえることができる原子団、電気的反発による高分子鎖の広がり
- 9 スタンプクラブがどのようにしてつくられるかを説明しなさい。
- 10 未来の高分子がどのような可能性をもっているかを書きなさい。
- 11 ボーナス問題
高分子を学習して、高分子についてどのようなイメージを持ったか自由に書いてください。
(科学的なこと、歴史的なこと、社会的なことなど何でもかまいません。)

V 今後の課題

授業見学による授業過程、アンケート調査、評価テストなどによる分析を総合すると、授業書「高分子物質の化学」が高分子の本質を捉える上で高い有効性があることが示された。しかし、個々の記述や展開においていろいろと問題点があることが明らかになった。特に「Ⅲ 未来の高分子へ」は焦点を絞って改訂しなければならないことが明らかになった。

今後、授業書を改訂し、授業実践を通してさらに授業づくりの実践的研究を進めて行きたい。

VI 主な参考文献

- 1) 中川鶴太郎 ゴム物語 大月書店 1984
- 2) 久保亮五 ゴム弾性 裳華房 1996 (初版復刻版)
- 3) 高分子学会編 高分子科学の基礎 東京化学同人 1978
- 4) 八島弘典 高分子物質をどのように捉えるか 道立理科教育センター研究紀要第8号 1996
- 5) 八島弘典 高分子物質の捉え方と教授プランの基本構想 道立理科教育センター研究紀要 第10号 1998
(やしま ひろみち 化学研究室長)