

プラスチックのリサイクルをめざす授業についての考察

梶田 一文

はじめに

現代社会ではプラスチックはなくてはならないものであり、文字どおり生活の隅々にまで浸透している。しかし、便利なプラスチックも家庭で利用された後は大部分がゴミとして捨てられている。その結果埋立地の不足、焼却設備の不足、有害ガスの発生、散乱による美観の破壊など多くの問題を引き起こしている。これらは大きくマスコミに取り扱われ、環境保全に向けての廃棄物の処理には自治体、産業界、地域社会から大きな関心が寄せられている。

最近では資源保護の立場から廃棄物の見直し、再利用、再資源化がさげられるようになった。かつてはゴミとして捨てられていた牛乳パックの回収や、空き缶の回収は一般家庭でも行われるようになり、これらのリサイクルシステムはほぼ完成している。この傾向はプラスチックについても例外ではなく、スーパー等において発泡スチロール製トレイの回収や、飲料用ペットボトルの回収が行われるようになってきた。

空き缶や紙のリサイクルでは分別が重要であることはよく理解されている。同様にプラスチックのリサイクルにおいても分別が重要であるが、プラスチックは種類が多く、物質的な区別をつけにくい。日常生活において、消費者はプラスチックの種類にはほとんど注意を払わず、プラスチックの一語を用いて様々な種類をひとまとめにしている。それでも不都合はほとんどなく、プラスチックの種類を区別する必要を感じていない。しかし、同じように見えるプラスチックも種類により物理的、化学的性質が異なり、すべてを同一にリサイクル処理することは不可能である。それぞれの種類に応じた方法でリサイクルを行わなければならない、プラスチックの分別が必要となる。

プラスチックはかさが高いため、いろいろな種類が多量に混ざって集められたものを分別するのは困難である。したがって、少量の段階で、一人一人の消費者により分別されることが望ましい。消費者の手を離れるときにはすでに分別が行われており、そのまま種類ごとにリサイクルに向けられることが理想的である。このことは消費者をリサイクルの中心に位置付けることになる。分別を主体的に行うのは消費者であり、消費者はプラスチックの種類を区別することが望ましい。しかし、実際にプラスチックの種類を区別するのは非常に困難であり、一般の消費者には不可能であるといっても過言ではない。

ところが、最近製造者側のリサイクルに向けての取組として、分類コードによるプラスチックの種類表示

がされるようになってきた。このことにより、プラスチックの種類を区別は非常に容易になり、リサイクルに向けての環境は整ったといえる。あとは消費者一人一人がリサイクルに向けての理解と意欲を高めることでリサイクルへの動きを加速させることができる。

高等学校の化学では従来プラスチックについての学習は最後の段階であった。それはプラスチックの物質としての複雑さからやむを得ないことであり、内容も化学構造を中心としたものであった。現行の学習指導要領では化学ⅠAでこれまでと違った取り扱いがされるようになり、身の回りの身近な材料の代表的なものとして、成分の違いや特徴および用途を中心に扱われるようになった。そこでは日常生活との関連を中心に、プラスチックへの関心を高め理解を深めるとともにプラスチック利用の問題点にも触れていく必要がある。さらに環境保全に向けての内容を取り入れ、資源保護、環境保全の態度の育成を図ることが望まれる。

本研究ではプラスチックのリサイクルに対する興味づけと科学的な理解を深めることを目的とし、家庭の廃プラスチックを用いた生徒の興味を引きつける実験の開発と指導の展開について検討した。

1 プラスチックへの興味づけを図る

プラスチック類はあまりにも多く身の回りに存在するため、種類や性質についてはほとんど意識されていない。とくに商品包装用に用いられるプラスチック類は商品が取り出されたらすべて捨てられるといっても過言ではない。このようなプラスチック製品を用い、大きな変化が観察される実験を行うことはプラスチックへの興味・関心をひきおこし、今後の学習への導入として効果的である。

【展開事例 1】 プラスチックの熱による変形

1 ねらい

- (1) ゴミとして廃棄していたプラスチックも別の形で再利用することができることに気づかせる。
- (2) 見た目は同じでも、熱による変化の違いに気づかせ、プラスチックには種類の異なるものがあることを知る。

2 準備

- (1) 器具：オーブントースター、アルミホイル、電話帳のような厚みのある本、はさみ、油性フェルトペン
- (2) 材料・試薬：ミニトマトのケース、果物のトレイ、おかきのトレイ、弁当のふたなどのプラスチック製品

3 学習活動

- (1) プラスチック製品にフェルトペンで好きな絵を描

き、切り抜く。(大きさはオーブントースターに入る大きさ。)

(2) オーブントースターをあらかじめ加熱しておき、アルミホイルにのせたプラスチック片を入れる。

(3) オーブントースター内のプラスチック片の収縮の様子を観察する。

(4) プラスチック片の収縮が終われば直ちにオーブントースターからアルミホイルにのせたままプラスチック片を取り出し、本にはさみ上から押さえる。

4 評価

(1) プラスチック片の収縮の様子が観察できたか。

(2) プラスチックに興味を持ったか。

(3) 多くのプラスチック片についても試みようという意欲がみられたか。

(4) 収縮の様子の違いはプラスチックの種類の違いであると考えることができたか。

5 指導上の留意点

熱可塑性のプラスチックを原料とする製品は熱を加えて成形されている。加熱してプラスチックが軟化したときに外力を加え、分子間にひずみを持たせて成形し、そのまま冷却して形を保持させている。オーブントースター内でプラスチック片は均一に加熱され軟化する。そのときプラスチックは分子間のひずみをなくすることが可能になる。それが収縮として観察される。収縮の様子はプラスチックの種類により異なるので物質の違いに触れることができる。この実験ではポリスチレン製の製品が興味深い変化を示す。大きく収縮し、透明で厚みのあるものが得られる。はじめにパンチで穴をあけておき、収縮した後その穴にひも等をおしてオリジナルのアクセサリを作ることができる。この実験は普段何も考えず捨てているプラスチックを見直し、再利用に対する興味・関心を持たせることができる。

【展開事例 2】 プラスチックの溶解

1 ねらい

(1) プラスチックが示す大きな変化を観察し、関心を持つ。

(2) プラスチックが薬品に侵されやすいことを知る。

2 準備

(1) 器具：ビーカー(100ml)、ガラス棒

(2) 材料・試薬：発泡スチロール製トレイ、アセトン、酢酸エチル

3 学習活動

(1) ビーカーにアセトンを10ml入れる。

(2) 発泡スチロール製トレイを約3cm四方にちぎりビーカーのアセトンに入れ、変化を観察する。

(3) ビーカーに酢酸エチルを10ml入れ、同様の操作を行う。

4 評価

(1) アセトンと酢酸エチルとでは発泡スチロールの変化が異なることが観察できたか。

(2) 発泡スチロールと溶媒の関係に興味を持ったか。

(3) ほかの溶媒、ほかのプラスチックの組み合わせでも実験しようという意欲を持ったか。

5 指導上の留意点

変化の大きな現象は驚きを与え、物質に対する興味を大きくさせる。発泡スチロールはいずれの溶媒でも盛んに気泡を発生させ、みるみる形を失っていく。アセトンを用いた場合はペースト状のポリスチレンが沈殿するが、酢酸エチルを用いた場合は溶解が起こり、均一な溶液が得られる。一見同じように見える現象でも、アセトンでは溶解したとは言えない。このことは溶解について発展的な考察の対象を与え、溶解現象への理解を深めさせることができる。

また、酢酸エチルに発泡スチロールを溶解させた溶液ではチンダル現象やブラウン運動を観察することができる¹⁾。したがって、コロイド溶液の教材としての利用も可能である。

発泡スチロールは家庭ゴミに含まれるプラスチックとしては最も目立つものであり、また物質として他と区別しやすく、成分的にも純度が高く実験材料として優れたものである。

2 プラスチックへの理解を深める

プラスチック製品を作っているプラスチックの種類は製品の品質表示で調べることができる。多くの製品について種類を調べたことを課題として与えることはプラスチックへの理解を進める上で有効である。さらに簡単な実験をとおしてプラスチックの性質を比較し違いを知ることでプラスチックの理解を更に深めることができる。

【展開事例】 プラスチックの性質と種類

1 ねらい

(1) 多種多様なプラスチックがあることを知り、簡単なプラスチックの見分け方を知る。

(2) 廃棄されたプラスチックを焼却処理することにより有害物質が発生することを知る。

(3) プラスチックのリサイクルへの導入とする。

2 準備

(1) 器具：ビーカー(100ml)、ピンセット、蒸発皿、銅線(径1mm、長さ20cm)

(2) 材料・試薬：身の回りのプラスチック製品、リトマス試験紙

3 学習活動

(1) 家庭等から用意してきたプラスチック製品を一辺が2cm程度の小片にする。

(2) ビーカーに水を入れ、プラスチックの各小片を入れ、水の密度(1g/ml)とプラスチックの密度とを比較する。

(3) ビーカーに熱湯を用意し、プラスチックの各小片を入れ、約一分間熱する。プラスチックの小片をピンセットでつまみ出し、硬さの変化を見る。

- (4) ガスバーナーに点火し、ピンセットでつまんだプラスチックの薄片を炎に近づける。
- (5) プラスチックを燃やし、水でぬらしたリトマス試験紙を煙にかざし色の変化の有無を調べる。
- (6) ガスバーナーの炎で銅線の先の表面を黒く焼いてプラスチックに触れ、プラスチックが付着した銅線を炎の中に入れて炎の色を観察する。
- (7) 各操作で観察されたことがらを別表と比較しプラスチックの種類を決める。

4 評価

- (1) 多くの種類のプラスチック製品を用意できたか。
- (2) プラスチックの種類について興味・関心が高まったか。
- (3) プラスチックの燃焼の際に発生する有害物質を理解できたか。
- (4) 廃棄物問題に対して積極的に取り組もうとする姿勢が見られたか。

5 指導上の留意点

日常生活ではプラスチック類はどれも同じであるという認識でもほとんど不都合はなく、種類を意識をする必要はない。例えば、ポリエチレン製の袋であってもビニル袋やナイロン袋と呼ぶことが多い。これは材質の区別を意識していないことの現れであるが、特に支障はない。しかし、プラスチックのリサイクルを目指すにはこのことは大きな妨げとなる。リサイクルではプラスチックを区別し分別することが必要である。この実験ではプラスチックの種類を決定することが目的ではなく、その性質の違いを確認し、多種であることを認識させることが目的である。また燃焼実験とおして、燃焼の際の有害ガスの発生も体験させることができる。しかし、危険防止のため燃焼させる量は必要最小限にとどめなければならない。

3 プラスチックのリサイクルへ向けて

資源問題、エネルギー問題がとりざたされ、リサイクルに向けての動きが活発になってきた。化学教育においては科学的な裏付けのもとにリサイクルの有用性を理解し、環境保全に向けて積極的に行動できる姿勢を育てたい。そのためには、実際に体験し、原理を学ぶ意義は大きい。紙のリサイクルでは牛乳パックから手漉き葉書の製作が広く行われるようになり、再生を身近に体験することができる。しかし、プラスチックのリサイクルを体験させる教材例はほとんどない。そこで、次の実験を開発した。

【展開事例 1】 プラスチックの加熱成形³⁾

1 ねらい

- (1) 廃棄物のリサイクル方法の一つである再生を体験する。
- (2) プラスチックの再生利用への意欲を高める。

2 準備

- (1) 器具：調理用圧力鍋、かみそりの刃またはカッター

ナイフ、半球形の型（同じ大きさのもの2個）

- (2) 材料・試薬：発泡スチロール製トレイ

3 学習活動

(1) 発泡スチロール片の準備

きれいに洗って乾燥させた発泡スチロール製トレイを、かみそりの刃またはカッターナイフで一辺が4mm程度（そろわなくてもよい）のさいの目に切る。

(2) 同じ大きさの型2個に刻んだ発泡スチロール片をすりきりいっぱいまで入れ、2個の型を合わせる。2個の型の合わせ目をセロハンテープで3、4か所とめる。

(3) 調理用圧力鍋に約100 mlの水を入れ、すのこ棚（圧力鍋専用の蒸し器、なければ金網に足をつけ型が水につからないようにする）を用い蒸す状態にし、発泡スチロール片の入った型を入れて蓋をセットし加熱する。

(4) 圧力鍋の圧力調整装置から蒸気が出はじめてさらに約2分間加熱を続ける。

(5) 加熱を止め、圧力鍋の圧力調整装置のおもりをはずし急な減圧をしてそのまま放置、冷却する。

(6) 冷却後、圧力鍋から型を取り出し、セロハンテープをはずして型を離し、成形された発泡スチロールの球を取り出す。

4 評価

- (1) 発泡スチロールのリサイクルへの興味・関心が高まったか。
- (2) 圧力鍋による成形の仕組みが理解できたか。
- (3) 廃プラスチックの成形を応用しようとする意欲が見られたか。

5 指導上の留意点

廃棄物のリサイクルの方法については、再利用、再生利用、再資源化の3種類がある。再利用は酒やビールの空びんの回収や古着などでなじみのあるもので、廃棄せずにそのまま再度利用することである。再生利用は古新聞、空き缶、ガラスのリサイクルでとられている方法で、一旦原料素材に戻し、再度同一の素材の製品を作り出すことである。再資源化は一旦素原料や中間原料に戻し、他の資源として利用する方法である。この実験はこれらのリサイクルの方法の中で、再生にあたる。

トレイの発泡スチロールは気泡の膨張の程度が低く、気泡の隔壁のポリスチレンも厚い。従って加熱によりポリスチレンが軟化すると更に気泡の膨張が見られ全体のかさが増し、型にそった成形ができる。この成形で発泡スチロール製トレイから全く形状の違うものを作り出すことを体験させ、再生の原理を理解させることができる。

さらに、興味を覚えた場合には他の形への成形を行い、造形的な応用も可能である。

【展開事例 2】 ポリスチレンのスチレンモノマーへの分解

1 ねらい

(1) 廃棄物のリサイクル方法の一つである再資源化を理解する。

(2) ポリスチレンからスチレンへの変化を理解する。

(3) プラスチックの再資源化を進める意欲を高める。

2 準備

(1) 器具：枝つきフラスコ(300ml)、リービッヒ冷却管、三角フラスコ(100ml)(2個)、試験管、アダプター、温度計、三脚、金網、ゴム管

(2) 材料・試薬：臭素水、発泡スチロール製のトレイや包装材(約30g~50g)

3 学習活動

(1) 小さくちぎった発泡スチロール片を直火で、小さな炎でゆっくりと加熱しながら枝つきフラスコ内に入れていく。

(2) 発泡スチロールは収縮、融解しさかんに白煙を発生しながら褐色から黒色近くまで変化していくがゆっくりと加熱を続ける。

(3) 110℃をこえるあたりから留出がはじまる。留出液はスチレン臭を持つが褐色をしており明らかに不純物を含むことが分かる。

(4) 留出温度がしだいに上昇し、130℃くらいで留出液の色が無色になれば受け器を交換し、留出液を集める。再び温度が上がり始めるまで留出液を集める。

(5) 温度が上がり始めたら加熱をやめる。

(6) 得られた留出液を試験管に少量とり、臭素水を1滴滴下し、よく振り混ぜる。

4 評価

(1) 発泡スチロールのリサイクルへの興味・関心が高まったか。

(2) 実験器具の組み立てができたか。

(3) ポリスチレンのスチレンモノマーへの変化が理解できたか。

(4) 臭素のスチレンへの付加反応が理解できたか。

5 指導上の留意点

再資源化には二つの方法がある。一つはエネルギー源として利用する方法で、これは単に燃焼により発生する熱を利用することである。もう一つは熱処理や化学処理により原料にもどしたり、簡単な物質に変化させ、物質的な資源として利用する方法である。前者については特に実験を行うまでもないと思う。ここでは後者について実験をとおしての理解をめざした。

発泡スチロールの素材であるポリスチレンは熱分解により容易に原料モノマーであるスチレンに戻すことができる。スチレンの確認は容易で、臭素水を用いて付加反応を試みると脱色がおこり、臭素の付加がおこることで確認することができる。この実験によりポリスチレンは簡単にスチレンモノマーに戻せることがわかり、再資源化を理解させることができる。

換気を良くし、スチレンの蒸気を吸入しないようにしなければならない。また、ガスの炎を小さくして引火が起らないよう慎重な取り扱いが必要である。マ

ントルヒーターを利用するのが最善である。

【展開事例 3】 ポリスチレンへの再重合

1 ねらい

発泡スチロールの熱分解により得られたスチレンモノマーを再びポリスチレンに変えることで化学的なリサイクルの完結を理解させ、リサイクルへの意欲を高める。

2 準備

(1) 器具：試験管(大)、時計皿、葉さじ

(2) 材料・試薬：スチレンモノマー、塩化スズ(IV)、沸騰石

3 学習活動

(1) 発泡スチロールの分解で得たスチレンモノマー10mlを大型試験管に入れる。

(2) 塩化スズ(IV)の結晶を小さじ1ぱい加え、沸騰石を入れ小さな炎で直火で加熱する。

(3) 加熱を続けると褐色になり、次第に粘度が増してくることが泡の様子で分かる。20分程度加熱を続けた後、時計皿に流し出し、放置して冷却する。

4 評価

(1) 発泡スチロールのリサイクルへの興味・関心が高まったか。

(2) スチレンのポリスチレンへの変化が理解できたか。

5 指導上の留意点

実験室でのスチレンの付加重合はいくつかの方法で紹介されている^{3),4),5)}。ここではその中で最も簡単で安全な塩化スズ(IV)のみを触媒とする方法を試みる。

この重合反応で得られる樹脂は外見上は樹脂化しているが、分子量を測定してみるとまだポリマー化は進んでいない⁶⁾。しかしこの方法は簡単で危険も少なく重合を体験するにはよい方法である。

おわりに

今後、廃棄物問題の解決と限られた資源の活用のためにリサイクル社会の建設が一層求められる。様々な廃棄物に対するリサイクル技術の開発とともに、技術を生かすリサイクルシステムが社会的にも整備されていくであろう。それに伴って消費者のリサイクルに対する意識の向上や適切な対処も重要になる。消費者自身が廃棄物に関する正確な知識を持つ必要性は大きい。

学校における環境教育の目的は環境問題について理解を深め、環境保全に向けて行動できる人材を育成することである。高等学校においては、環境保全に向けての態度を育成するとともに、科学的な知識を身につけさせることが重要である。それは環境に関して何らかの選択や意志決定を行う際、的確な判断の根拠となるものである。

この研究では実験をとおして廃プラスチックのリサイクルに興味を示し、関心を高め、リサイクルに向けての意欲を高める指導について検討した。高等学校化学における指導を前提にしたが、一部家庭科やホーム

ルームでの利用も可能である。プラスチックのリサイクルは始まってまだ日が浅い。また物質的な複雑さから、牛乳パックや空き缶のリサイクルと同じように一般的に受け入れられるまでにはまだまだ時間が必要で

あると思われる。その意味からも、授業でプラスチックのリサイクルを教材として扱うことは重要であり、研究を続け更に多くの教材を準備する必要がある。

別表 主なプラスチックの性質³⁾

プラスチックの種類 (略号) [分類用コード]	分類	燃 焼 試 験				燃 焼 の 様 子	臭 気	他 の 特 徴	密 度 g/ml
		燃 焼 性	点 火 性	自 燃 性					
メタクリル樹脂 (PMMA) [7]**	A	容易	直ちに点火	有	軟化。黄色に変色しながら燃焼。炎から離しても燃え続けわずかの炭が残る。	刺激臭のある甘酸っぱいにおい	透明性が良い。	1.18 ~1.19	
フェノール樹脂 (PF) [7]**	B	困難	困難で遅い	有	燃えずに炭化する。膨張して亀裂が入ることがある。	フェノール臭	電気絶縁性にすぐれる。	1.28 ~1.45	
ポリエチレン(PE) 低密度(LDPE) [4] 高密度(HDPE) [2]	A	容易	直ちに点火	有	炎を近づけると融けてしたたり落ちながら激しく燃える。燃えかすは黒い。	パラフィンの燃焼臭	手で引っばると、くびれを生じ伸びる。	低密度 0.92 高密度 0.94 ~0.97	
ポリプロピレン (PP) [5]	A	容易	直ちに点火	有	融けながら燃え、少量の白煙を生ずる。燃えかすは黒色。PEほど激しくしたたり落ちない。	甘味のある石油臭	ポリスチレンとともに食品用トレーに多用される。	0.91 前後	
ポリスチレン (PS) [6]	A	容易	直ちに点火	有	炎から出しても燃え続け軟化する。このとき多量のすすを出す。	スチレンの特有臭	発泡させないものは透明性が良い。	無発泡 1.04 ~1.09	
メラミン樹脂 (MF) [7]**	B	困難	困難	無	燃焼せず、膨張して亀裂が入る。	アンモニア臭、ホルマリン臭も混じる。	硬度が高い。熱分解でアルカリ性の気体が発生する。	1.54 ~1.90	
ユリア樹脂 (尿素樹脂) (UF)[7]**	B	困難	困難で遅い	有	燃焼した部分が白色に変化しつつ燃える。膨張して亀裂が入る。	ホルマリン臭	熱分解でアルカリ性の気体が発生する。	1.5 前後	
ポリ塩化ビニル (PVC) [3]	A	困難	困難	無	黒煙を上げ燃える。炎から出すと火は消える。燃えかすは黒色。	刺激臭	熱分解で塩化水素が発生する。銅線につけ炎へ入れると緑色の銅の炎色反応が観察される。	軟質 1.16 ~1.35 硬質 1.35 ~1.45	
ポリエチレンテレフタレート (PET)[1]	A	やや困難	やや困難	有	わずかな黒煙を上げ燃える。炎は小さい。	パラフィンの燃焼臭	弾力性があり強度が大きい。	1.38	

* A: 熱可塑性

B: 熱硬化性

** その他としてまとめられている

文献

- 1) 梶田一文, 『化学と教育』, 41(4), 252(1993).
- 2) 梶田一文, 『化学と教育』, 41(4), 240(1993).
- 3) 赤堀二郎, 木村健次郎 監修, 『増訂化学実験事典』, 講談社(1973).
- 4) 林 良重, 若林覚 編, 『理科実験指導シリーズ

化学』, 講談社(1982), p.113

- 5) 盛口裏, 高田博志, 『いきいき化学アイデア実験』, 新生出版(1990), p.88
- 6) 梶田一文, 『兵庫県理化学会誌』, 35, 17(1992).
- 7) 長倉三郎, 武田一美 監修, 『図解実験観察大事典化学』, 東京書籍(1982).