



プラスチックの可能性を探求して

—— 井上研究室 ~ 有機材料工学科 ——



井上 隆 教授

新素材は、私たちの身の回りのものから最先端の工業製品まで、様々な分野にわたって使用されている。今回の話題の中心であるポリマーアロイも新素材の一つで、従来のプラスチックより優れたプラスチックと言える存在である。ポリマーアロイという言葉は、もしかすると耳慣れない言葉かもしれない。しかし、既にポリマーアロイも身の回りの製品によく使われているので、誰もが目にしたり、手にしたりしているはずである。今回そのポリマーアロイを扱っている有機材料工学科ハイブリット材料設計の井上研究室を訪ねた。



なぜ今、ポリマーアロイなのか

ポリマーアロイとは2種類以上の高分子(=ポリマー)で構成される高分子の複合材料である。これは複数の高分子を混ぜ合わせて、より良い特質を持つ材料を作ろうという、金属材料における合金とよく似た手法を高分子材料に適用したものである。そこでその名称に合金を意味する‘アロイ(=Alloy)’を用いている。つまり、ポリマーアロイは文字通り‘高分子の合金’といえる材料なのである。

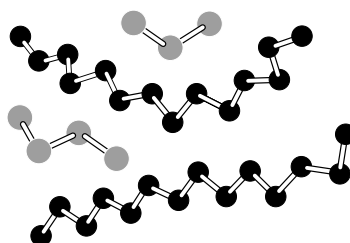
ポリマーアロイには多くの種類があり、それぞれに優れた特質を持っているが、すべてに共通することがある。それは、再三繰り返すようであるが、異なる種類の高分子を混ぜ合わせて作られているということである。それでは、なぜ高分子を混ぜ合わせるといふ方法に至ったのだろうか。その謎を解くには、過去の高分子開発の歴史を振り返る必要があるようだ。

かつての高分子材料の開発は、次に挙げる2つの方法が一般的であった。1つは新しいモノマー(=単量体)を作ることであり、もう1つは複数のモノマーを組み合わせて1つの高分子を作る際の配列を変えることである。(ここで1つおさらいを

すると、モノマーとは、例えばポリエチレンのモノマーはエチレン、デンプンのモノマーはブドウ糖、というように高分子を構成する繰り返しの最小単位のことである。)しかし新しいモノマーを作るには、膨大な費用と時間が必要であり、また、従来の汎用モノマーの配列パターンにも限りがあるため、それらの方法に限界が見えてきたのである。

そこで、安く大量に生産できる既存の高分子を数種類混ぜ合わせてみよう、という試みから作られたのがポリマーアロイである。そうすることによって様々な性質のプラスチックができるため、今大きな期待が寄せられている。

ポリマーアロイ中の異なる高分子同士は、水や



油、エーテル等の液体同士の状態と同じように、溶け合うか、溶け合わないか、のどちらかの状態がある。ただし、ポリマーアロイの状態を考えると、日常の感覚よりもミクロな感覚で見た議論が必要になってくる。例えばマヨネーズは、主に油と酢と卵からできているが、はたしてこれらは溶け合っていると言えるだろうか。巨視的に見ると、マヨネーズは全ての材料が溶け合い均一な状態になっているかのように見える。しかし、微視的に見ると、油の海の中に酢の島が、卵液で周りを縁取られて細かく分散しているにすぎないのである。つまり、マヨネーズは均一ではなく、溶け合っていないものと言える。今回、溶け合うものと溶け合わないものは、この様な考えで区別することにしよう。

前者の場合、溶け合うということはそれだけよく性質が似ているということであり、全く新しい特質を持った材料ができる可能性は低い。そこで新しい特質と機能を持つポリマーアロイのほとんどは後者、すなわち溶け合わない高分子同士からなるポリマーアロイである。ポリマーアロイの性質を決める主要要素は、当然のことであるが各高分子の性質とその混合の割合である。さらに、より用途にふさわしい性質を引き出す方法としては、粒の大きさのコントロールがある。例えば、AとBという2種類の溶け合わない高分子を軽く攪拌してみると、条件により先程のマヨネーズで挙げた例と同様であるが、いわばAないしBの海

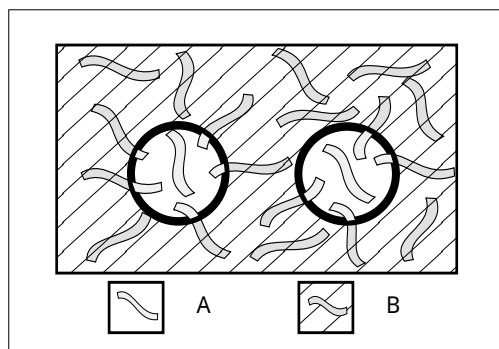


図1 ポリマーアロイ

にもう一方の島が浮いている状態になる。しかし、攪拌するだけでは数 μm ($1\mu\text{m} = 10^{-6}\text{m}$)程度までしか細かくなならない。境界A-Bを化学結合させると、その化学結合したものでA・Bの両領域が結びつけられ、粒の大きさは $0.1\mu\text{m}$ 程度まで細かくなる。図1のように隣り合った同じ種類の分子同士の反発力によりAの粒は分散し、A-Bの化学結合がなかったときよりも粒の分布の偏りは小さくなる。

さらに細かい粒状で混じりあったものを作るには、初めから2つの高分子を結合させたものをたくさん用意するのである。この分子の溶液を作ると、親水基と疎水基をもつ石けん分子が、水中で作るミセルと同じような状態になる。このミセル状の粒の大きさは 100 ($1 = 10^{-10}\text{m}$)程度である。



様々な性質を持つプラスチックたち

それでは、実際にどのような性質のポリマーアロイが、どのような場面で使用されているのか。そのうちの一部を紹介しよう。

1. 従来の材料に代わるより良い材料

今、200 まで耐えられるポリマーAと、80 までしか耐えられないが薬品に強いポリマーBを混ぜ合わせることを考えてみよう。Bの分量がAの分量より多く、いわばBの海の中にAが島のように散らばっている状態を想定する(図2)。このとき、薬品に強いBが外側にあるためその性質が生きてくるのは容易に理解できる。しかし、耐熱性は上がるだろうか。単純に考えると、たとえ比較的熱に強いAが混ざっていても、熱に弱いB

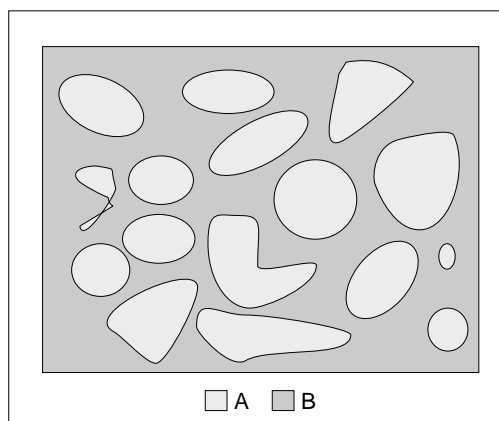


図2 ポリマーアロイ

を基本としている以上、低温で軟らかくなってしまいそうである。また従来はそれが常識であった。しかし、そうではないということが、実験的に明らかになった。さらに、現在では理論的な説明もできるようになっている。簡単な仕組みとしては、粒状の耐熱性の良いA同士を、ある適当な距離にまで近づけることにより材料全体の耐熱性が上がる。その結果、耐熱性と耐薬品性を合わせもつ材料ができるのである。

このほかにも、金属材料に負けない強度、日光に長時間当たっても変質しないという性質など、高分子材料をアロイにすることで得られる性質には様々なものがある。そして何よりもポリマーアロイは、プラスチック特有の成形しやすく軽いという特質がある。そのため、以前は鉄が使用されていた部分にポリマーアロイが使用されることが増えてきた。例えば、自動車のバンパーなどの外装や、最近では飛行機の尾翼にも、このようなポリマーアロイが使われている。今後ポリマーアロイが鉄に取って代わる分野はさらに増えていく、と井上先生は考えておられる。

2. 光学機器関連

CDやLDなどの光ディスクの基盤（データが書き込まれている金属板を覆っているもの）やコピー機のレンズに使用される材料が、特に要求される性能は、透明で複屈折（結晶に入射した光が2つの屈折光線に分かれる現象）を起こさないことである。では、その材料が複屈折を起こすとどのような問題が生じるのだろうか。コピー機のレンズならばコピーした原稿が鮮明に写し出されなかったり、CDの基盤ならば再生した際に雑音が混じったりという問題が生じてしまうのである。通常、高分子の分子鎖は成形したときに向いていた方向で固定される。例えば、光ディスクの基盤

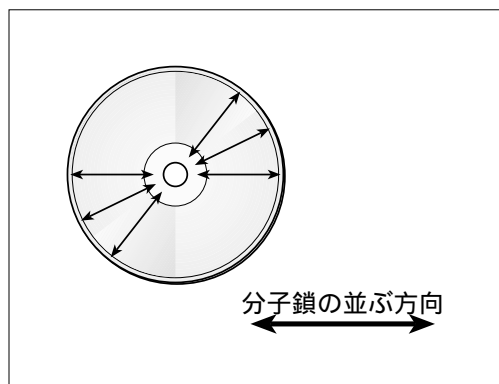


図3 光ディスク

では、光ディスクの中心から放射状にその分子鎖が並んで成形される（図3）。このとき、その高分子がある特定の方向に光を屈折させてしまう性質を持てると、複屈折が起こる。しかし、この問題も高分子材料をアロイにすることによって解決されている。屈折率が分子鎖と平行方向に大きい高分子、分子鎖と垂直方向に大きい高分子という2種類の高分子を組み合わせれば、光学的な方向性のないポリマーアロイができるのだ。ここで先程の溶け合う高分子同士が用いられている。なぜなら、材料のどこをとっても均一な状態であれば、どの部分でも互いの屈折方向を打ち消しあうことができ、光学的な方向性はなくなるからだ。

3. エレクトロニクス関連

ICやLSIなどのデリケートな電子部品にとって静電気や電磁波は大敵である。その対策の一つとして、機器をおさめている箱の材料を工夫するという方法がある。以下にその事例を紹介しよう。

静電気は、じめじめしている梅雨ときより乾燥している冬の方が発生しやすい。その理由を簡単に説明すると、静電気は水分を含んでいるものを伝わって逃げているため、湿気の多い梅雨ときは物が帯電しにくくなっているからだ。つまり、材料に水分を含ませれば、静電気は軽減するのである。そこで、静電気のこのような性質をうまく利用したポリマーアロイが、電子部品を内部に持つ機器の外装として使用されている。それは、水分を含みやすい高分子を細長くしてベースとなる高分子の中にばらまいて作られているのだ。こうすることで、ベースとなる高分子の性質を保ちつつ、静電気を逃がす材料となっている。この材料



は従来にはない優れた特長がある。それは、従来の帯電防止剤入りのプラスチックには、時間が経つにつれて帯電防止剤がとれて、その効果が薄れるという問題点があった。しかしこのポリマーアロイは、どこにでもある水分を利用して帯電を防いでいるので、水分が蒸発しても、大気中から水分が補給されるし、また水分をよく含むポリマーが時間とともに減ることはない、その効果は半永久的となるのだ。

電磁波は私たちの日常生活に欠かせない電気製品、例えば、テレビやパソコン、オーディオ製品などから大量に発生する。この無差別とも言える電磁波の発生は、機械類の誤作動を引き起こし、時には思わぬ事故の原因となる。皆さんは、ラジオを金網で覆うと電波が入らなくなりラジオが聞けなくなる、という話を聞いたことはないだろうか。このように電磁波の侵入を防ぐには、金属製の外装にすると良い。しかし、金属を外装に用いれば、製品の重量はかなり重くなるので、この方法は現実的ではない。そこで、軽量化することによって重点を置くと、プラスチックを用いるということになる。ところが、本来プラスチックは電気絶縁性であるため、そのままでは電磁波を透過してしまうという問題点がある。つまり、最も望ましいのは、プラスチックの軽さを保ちつつ電磁波を防ぐことのできる材料である。その解決策の一つに、プラスチックに金属のメッキをするという方法がある。メッキといっても一般にプラスチックは電気を通さないため、電気分解によるメッキはできない。従って、以下のように薄い金属の膜をプラスチックに張り付けるといった方法が採られる。図4を見て欲しい。Aというポリマーの中に粒状のBというポリマーがあり、そのまた中にAの粒々が入ったサラミソーセージに似た絵がかいてある図である。通常のプラスチックは、表面がつるつるしているため、金属を張り付けることはできない。しかし、図4のサラミソーセージのような形をもつポリマーアロイを作ればメッキも可能となる。なぜなら、サラミ状のBの部分のみを薬品で溶かして表面にでこぼこを作れば、金属が根を下ろしたように引っかかり、メッキができるのである。

4．砂漠の緑化計画

今、ポリマーアロイは砂漠の緑化計画にも使用

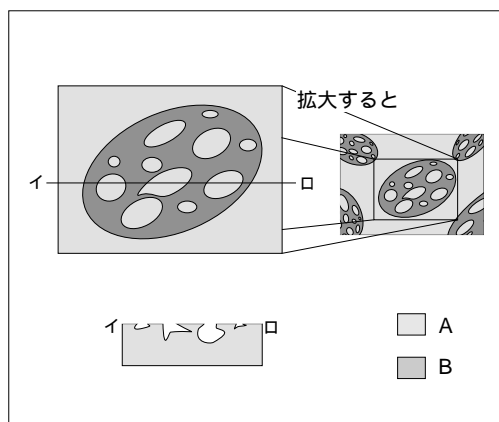


図4 サラミ状ポリマーアロイ

されている。それは砂漠の深さ20cm ぐらいのところ、水をたくさん含むことのできるポリマーアロイを広範囲に敷き詰めて、地表からの水分の蒸発を防ぐ計画である。

以前から体積の1000倍近くの水を含むことができる高分子は存在していた。しかし、そういう物質は水分を含んだときに力を加えると木綿豆腐のようにぼろぼろに崩れてしまうものがほとんどであった。ところが、この場合は地中に埋めることを目的としているので、それでは人が上を歩いたときに地面がぐちゃぐちゃになってしまい具合が悪い。もっとしっかりとした状態のものが地面に埋まっていた方が好ましいのである。ここで使用されているポリマーアロイは水分を含んだときにコンニャクのような固型状になる。それは、水分をたくさん含むことのできる高分子と、形状を保持する役割をする高分子が組み合わされてできた特質である。

5．医用関連

人工血管などの医用材料として用いられるためには生体適合性、つまり生体になじみやすい性質をもつ材料でなければならない。

それは親水性の高分子と疎水性の高分子が交互に並び、さらにその各粒の大きさが100 程度のものでなければいけないことが分かっている。そうではない場合は材料の表面に血液がどんどん吸着してしまい、人工血管であればつまってしまうのだ。

そこで先程の最も細かい100 程度の粒の大きさの親水性の高分子と疎水性の高分子から成るボ

リマーアロイが使用される。

さらにこの親水基と疎水基が細かく交互に並んだものは、リンパ球の分離にも利用されている。リンパ球はB型とT型の2種類があるが、B型のみを生きたまま吸着できるポリマーアロイがあ



本当に地球に優しいこと

ゴミ問題の中でも、とりわけ有機材料のゴミはマスコミ等で批判されることが多い。有機材料に携わっていらっしゃる立場から井上先生はリサイクル、ひいては本当に地球に優しいとはどのようなことなのかということについて、次のように考えておられる。

「各種の飲料用の容器を使用した場合に、リサイクルも含めて最終的に処分されるまでどの程度環境に負荷がかかるかを明確に示した資料がある。これによれば、PETボトルを新しく石油から作った場合の環境にかかる負荷は、PETボトルを使用後に、回収してリサイクルした場合よりも、ずっと小さい。またガラスびんやアルミニウム缶をリサイクルした場合と比べてもCO₂やNO_xの排出量や廃水処理による水質汚濁などを踏まえると、環境への負荷は小さい。このように考えるとPETボトルは都市ゴミと一緒に燃やすことが経済的だし、環境にも優しいことになる。このようなデータをもっとマスコミが流して欲しい。

さらに、“海にPETボトルが浮いていて不快だ。これは自然に分解されないPETが悪い”と決めつけるのではなく、“PETボトルが海に浮いている。これは各自のマナーの問題である。確かにマナーの改善には限度があるだろう。しかし、PETボトルがなければ、生活はどうなるのか考えて欲しい”といった記事が現れて欲しい。また、ビールやコーラを運ぶプラスチックのコンテナがもしな

る。そこで、どちらかが異常になった時に、このポリマーアロイを用いて2つを分離し、異常な方に治療をして、体内に戻すということが行われている。

かったらどうする。仮に、木箱で運ぶとしたら安全性や木材資源はどうなるのか。このような総合的な視点で、生活や環境への負荷を議論すべきである。

いわば見識ある報道による世間一般の教育とも言えることをマスコミにやって欲しい。世間を無責任にあおる記事。あたかもそれに応えるかに見える新技術開発の記事。ぜひ眉に唾をして読んで欲しい。

私の専門との関連で『回収した廃プラスチックを新品のプラスチックと混ぜて合わせてアロイを作っては』とよく言われる。確かにそれは技術的には可能である。しかし、どうやって回収するのか、回収したものはどこに貯蔵するのか、洗浄するだけで水系にどれくらい負担をかけるのか、などを忘れた議論である。繰り返しになるが廃プラスチックは燃やすのが正解である。製品の品質を上げ、少しでもロングライフ化することがゴミ問題においてのポリマーアロイの使命である。そうすることにより、ゴミの量を減らすことができる。これがポリマーアロイとゴミ問題との唯一の接点である。」

ゴミ問題に限らず、何が本当に良いことなのかをよく考え、そして情報を鵜呑みにせずしっかり自分で消化することが、必要なのではないだろうか。

最後に井上先生にポリマーアロイは今後どう発展していくのか、と伺ったところ、しばらく考えた後に「予想がつかない。」とおっしゃった。「ただ、今までの流れからであれば、大きく分けて2つの方向性が考えられる。1つはさらに軽くて丈夫な構造材料としての発展であり、もう1つはより生体に近い生体材料としての発展である。しか

し、これはあくまでも今までの流れからの予想であって、全く新しい用途のポリマーアロイが開発される可能性も大いにある。」とつけ加えられた。

お忙しい中、取材に協力していただいたことを感謝するとともに、井上先生の今後のより一層のご活躍を期待しております。

(起橋 美夏)