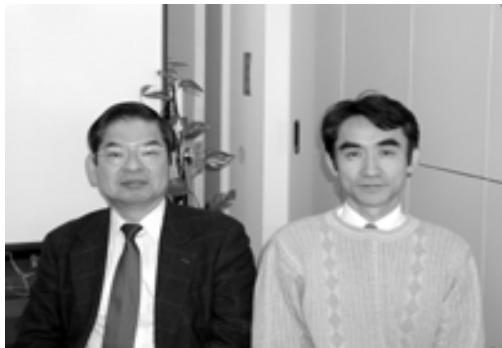




## 高分子・液晶・光

池田・塩野研究室～資源化学研究所



池田 富樹 教授(左) 塩野 肅 助教授(右)



## 『液晶』で規則性を

高分子が人間の手によって合成されるようになって約100年。この間に作り出されたプラスチックや繊維などの様々な高分子は、今やあらゆるところで使われている。しかし、膨大な情報を蓄えているDNAや、体内で化学反応の仲立ちをしている酵素といった自然界の高分子と比べると、人間が作り出してきた高分子の機能は限定されている。そのような中、分子設計を上手く行い、高分子が持つ様々な可能性を引き出し、高機能高性能高分子を作ろうという動きが、近年盛んになってきている。

では、どうすれば高機能高性能高分子を作ることができるのであるのか。池田教授は、自然界の高分子が持つ「規則性」に注目した。人間が合成する高分子は、同じ構造の繰り返しではあるものの、各分子はランダムに並んでいて分子の集合体としての規則性を持っていない。しかし、自然界の高分子は各分子が規則正しく並ぶことで機能している。それならば、規則的に分子を並べることが出来れば、その高分子は特別な機能を持つので

プラスチック、繊維、ゴム……。現在、我々の周りには、安価で軽く、加工もしやすい高分子材料が溢れている。以前は強度的な問題から他の材料を使っていたようなところにも、高分子材料は使われるようになった。高分子材料が我々の生活を変えたと言っても良いだろう。しかし、これらの高分子材料も高分子の持つポテンシャルを十分に発揮できているとは言えない。

池田・塩野研究室では、「規則性」に注目して、今までにないような高機能高性能高分子材料を目指し研究に取り組んでいる。

はないだろうか。そこで池田教授は、高分子に規則性を与える手段として液晶を考えた。

液晶は、液体が持つ流動性と結晶が持つ配向性(分子が規則正しく並ぶ)という二つの性質を併せ持っている。そのため液晶は何もしなければ、分子が一つの方向を向いた状態(液晶相)をとる。しかし、外からエネルギーを加えると配向がバラバラになった状態(等方相)になり(図1)、この液晶相と等方相とでは、屈折率などの性質が大きく異なる。例えば、液晶ディスプレイは、液晶の配向を上手く制御することによって機能している\*。

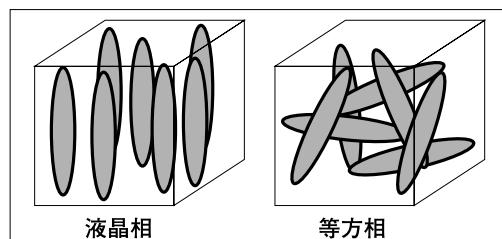


図1 液晶相と等方相

\* 液晶についての詳細は LANDFALL 34号 竹添・石川研究室の記事参照

<http://www.titech-coop.or.jp/landfall/pdf/34/34-4takezoeisikawaken.pdf>

更に、液晶の興味深い振る舞いに協同現象というものがある。協同現象とは、並んでいる液晶分子のうちたった一つの分子の配向が何らかのきっかけで変化すると、ドミノ倒しのようにその周囲



## 『光』で配向を変えると.....

通常、液晶の配向は電界によって制御されている。しかし、この場合電極などが必要となるため、構造が複雑になってしまふ。そこで、池田教授は光によって液晶の配向を制御できないかと考えた。光で制御すれば、電極などを必要としないため、単純な構造にできる。更に、桁違いの高速化も可能になるという利点もある。

光によって配向を変化させるためには、光に反応する物質が必要となる。池田教授は、光に反応する物質としてよく知られていたアゾベンゼンを用いた。アゾベンゼンには、紫外光を当てると棒状のトランス体からV字型のシス体に変化し、可視光を当てるとまた元に戻るという性質がある。この性質を利用しようと考えたのだ。

液晶の中に少量のアゾベンゼンを混ぜる。トランス体のアゾベンゼンは棒状であり、液晶も棒状であるから安定する。これに紫外光を当てると、アゾベンゼンがV字型のシス体に変化し、周囲の液晶の配向が部分的にバラバラになる。その後、それらの配向変化が協同現象により系全体に伝わる(図2)。

このようにして、液晶の配向を光によって変化させることはできた。しかし、応答に200ミリ秒と時間がかかった。そこでより高速で応答するように分子設計をし、その応答速度を測定するという地道な研究が繰り返された。そして5年に及ぶ研究の結果、200ナノ秒という100万倍もの高速化に成功したのだ。

決め手となったのは、トランス体のアゾベンゼ

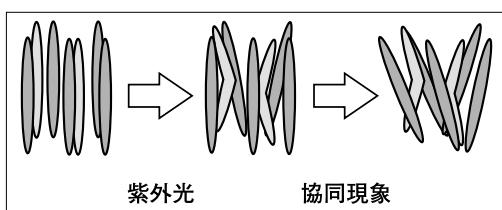


図2 光によって配向を変化させる

の分子の配向も変化するという現象である。この性質により、非常に小さなエネルギーで、系全体の配向を変化させることができる。

ンが液晶であることを池田・塩野研究室の学生が偶然発見したことであった。それまでは、液晶の中にアゾベンゼンを混ぜていたため、配向の変化が周りに伝わるのに時間がかかった。しかし、アゾベンゼンが液晶であるということがわかったおかげで、アゾベンゼンだけで液晶を構成すれば良いのではないかという発想が生まれた。そして「アゾベンゼン液晶」を作ったところ、先に述べたような高速化に成功したのだ。高分子液晶系でのナノ秒単位の応答は世界初のことであった。

現在はアゾベンゼン液晶が持つ特性を活かし、ホログラフィーへの応用が進められている。ホログラフィーとは、強度情報を載せた光と位相情報を載せた光を同時に記録することにより、完全な三次元画像を記録・再生する技術である。強度情報とは写真のような画像情報のことであり、位相情報とはその画像情報に奥行きを与える情報のことである。

ホログラフィーの記録は、強度情報を載せた光と位相情報を載せた光を干渉させ、その干渉による光の強弱を屈折率変化に変換して記録するのが最も効率が良い方法として知られている。光によって配向を変させ、高い屈折率変化を誘起できるアゾベンゼン液晶は、ホログラフィーの記録にうってつけなのだ(図3)。

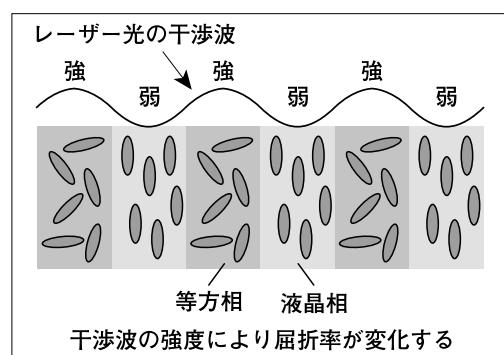


図3 ホログラフィーの記録

また高分子にはガラス転移という性質がある。そのため、ガラス転移温度( $T_g$ )より温度が高ければ分子は自由に動くが、 $T_g$ より低くなると分子の動きがガラスのように凍結されてしまうのだ。この性質により、アゾベンゼン液晶は書き込みを行った後に、 $T_g$ より温度を下げ液晶の配向性を凍結させて保存することができる。そして $T_g$ より温度を上げることで配向性を復活させ、書き込んだ情報を消去することができる。

実際にアゾベンゼン液晶を用いてホログラフィーの記録・再生を行ったところ、非常に綺麗な三次元画像が表示されたそうだ。また、書き込み・



## 『光』で曲がる

昨年の9月11日に発行されたイギリスの科学雑誌『Nature』に池田・塩野研究室で開発された光屈曲プラスチックが紹介された。光屈曲プラスチックとは、その名の通り光を当てると曲がるプラスチックのことだ。このような材料は世界初のもので様々な分野の研究者から注目を集めている。

この光屈曲プラスチックでも、先に出てきたアゾベンゼンが用いられる。シス体のアゾベンゼンがトランス体のそれよりも短いということを利用するのだ。アゾベンゼンは、光を非常に吸収しやすいため、紫外光は表面の数ミクロンで全て吸収される。そして表面上のアゾベンゼンがシス体になることにより表面が縮み、引っ張られるように曲がるというイメージだ。

しかし、単純にアゾベンゼンを用いてプラスチックを作っても曲がらない。先に述べたようにアゾベンゼンは液晶であるため、協同現象が起こる。そのため、紫外光を当てることにより、連鎖的に表面全体でのシス・トランス異性化を誘起することはできるが、それだけでは分子同士の相関が弱いため曲がらないのだ。そこで、アゾベンゼン同士を化学結合によって繋ぎ、架橋高分子を作る。そうすることで、分子同士の相関を強めることができる。そして、より曲がりやすくするために分子全体を一つの方向に揃えるラビングという作業を架橋の際に施す。こうして作ったものをモノドメインフィルムといふ。

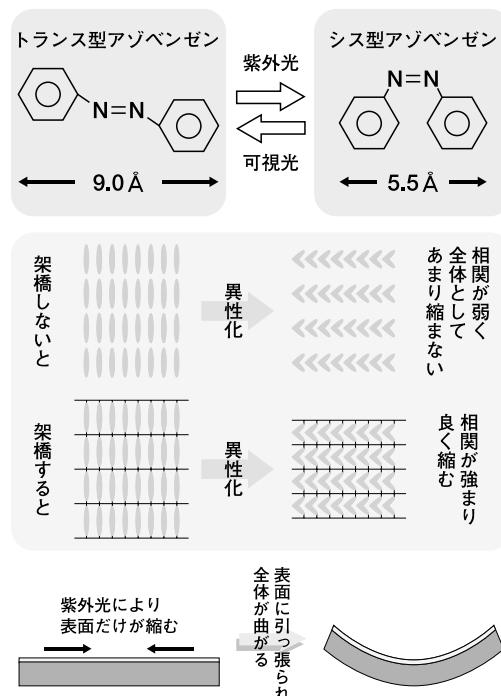
これに紫外光を当てると、表面の0.5ミクロンほどが縮み、曲がるのだ。また、可視光を当てる

書き換えを高速で行うことにより、三次元動画も再生できると期待される。現段階では、数秒程度それもスローモーションのような動画しか再生できないが、将来的には完全な三次元動画を実現したいと考えているそうだ。

これまでホログラフィーに用いられていた材料は、効率が悪い、書き換えが出来ないなどの問題点があった。アゾベンゼン液晶は、光によって高い屈折率変化を誘起でき、書き換えも可能である。このアゾベンゼン液晶の開発により、ホログラフィーの研究がますます盛んになるのではないだろうか。

ことにより、もとに戻すこともできる。

ところで、モノドメインフィルムはアゾベンゼン分子全体が一つの方向に向いているため、作った時点で曲がる方向が決まっている。幅広い場面で応用するためには、曲げたい方向に曲げられた方が都合が良い。そこで、考案されたのがポリドメインフィルムである。



モノドメインフィルムでは、ラビングすることにより、分子全体を一つの方向に向けたが、ポリドメインフィルムはラビングしないで作る。それまでは、アゾベンゼンを全て同じ向きにしないと曲がらないと考えていたが発想を転換してみたのだ。ラビングしないで作ることにより、部分的に分子の向きが揃ったフィルムを作ることができる。これに偏光を当てると、その偏光と同じ向きを向いているドメイン(領域)が必ず存在する。そしてそのドメインだけで光が効率よく吸収されることにより、その偏光と同じ向きに曲がるので(図5)。

現状では光を太陽電池で電気エネルギーに変換してから運動エネルギーに変換するため、効率が悪い。ここで紹介した光屈曲プラスチックは、光から直接運動エネルギーに変換できるため、効率が良い。更に、光で動きを制御するため遠隔操作が可能である。また構造が単純なため軽く、様々な形状にして働かせることができる。

「新しい材料ができたとき、それをいかに多くの人に知ってもらうか、それが重要だと考えています」と池田教授は語る。自分だけで思い付く応用例には限りがある。だからこそ多くの分野の研究者に働きかけることによって、その材料の可能性が広がるのだ。『Nature』を始めとする科学雑誌に

投稿したり、頻繁に研究会で発表をするのもそのような思いからだろう。こうした外部へのプレゼンテーションを通じて、光屈曲プラスチックの新たな可能性が生まれるかもしれない。

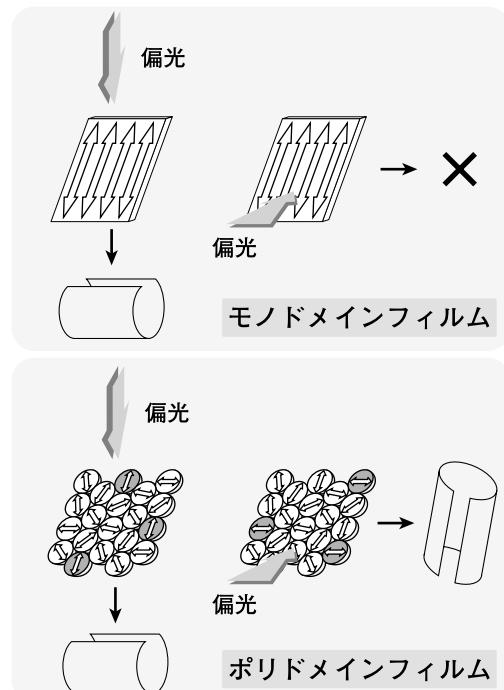
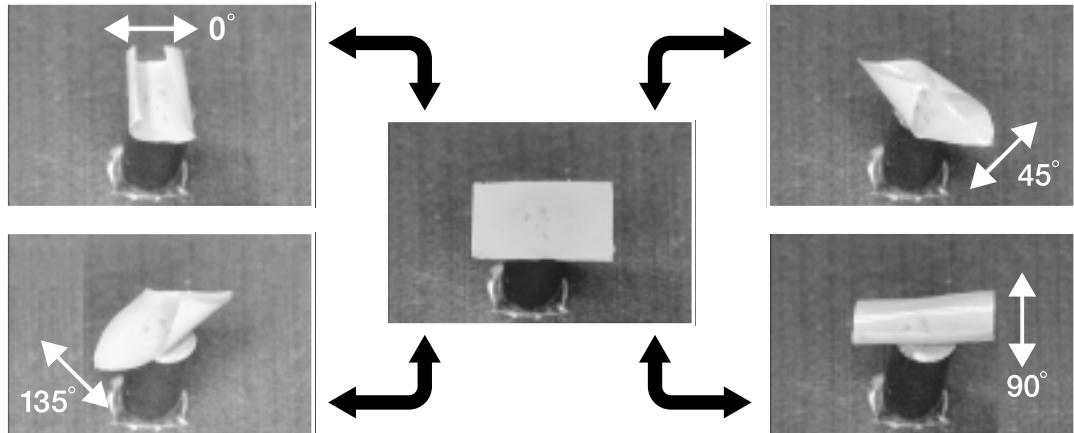


図5 モノドメインとポリドメイン



「研究は“楽しく”しなければならない」。池田教授は、取材の最中に何度もこうおっしゃった。このような想いが池田・塩野研究室の研究の成果に繋がっているのだろう。

最後になりますが、非常にお忙しい中、快く取材に応じて下さった池田教授にお礼を申し上げます。そしてこれから池田・塩野研究室のますますの発展をお祈りいたします。(吉田 周平)