

# TCIメール

2009.7 **143**



## 目次

### 2 寄稿論文

- 短軸方向の分子間相互作用を利用した液晶分子構造の制御

千葉大学 大学院 工学研究科 教授  
岸川 圭希

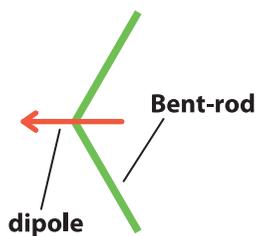
### 16 化学よもやま話 第13話

- 分子の世界のギネスブック(4)

佐藤 健太郎

### 19 製品紹介

- 高効率的不斉有機触媒
- ピンサー型ニッケル触媒
- 高効率臭素化試薬
- アミノ化剤
- 新しい酸化-還元系による脱水縮合反応
- 多置換オレフィンの合成



"liquid crystal"



東京化成工業株式会社

## 短軸方向の分子間相互作用を利用した 液晶分子構造の制御

千葉大学 大学院 工学研究科 教授 岸川 圭希

### 1 はじめに

1997年5月のことであった。「このままで良いのだろうか。」学部学生の頃から同じような有機合成の研究をしてきた35歳の私は、急に思い立って、超分子の研究がしてみたいと思い、アメリカに渡ることを決意した。さて、アメリカに知り合いはいないし、つてもない。そこで、論文誌で、面白い超分子を研究している先生に、片っぱしから「あなたの研究がしたい」と手紙をかいた。一番先に、返事をくださったのが、マサチューセッツ工科大学（MIT）のSwager先生。液晶性分子集合体や分子ワイヤーによる分子認識などの権威である。意外にも「すぐに来られますか？」とのこと。こうしてMITでの研究生生活が始まった。初日の研究テーマ説明のとき、Swager先生は、紙に簡単な図形を描いて私に手渡した（図1）。日本語の「く」の字を書き、真ん中横向きに「←」を重ねて書いた。「こういう分子を作ると、とても面白いことが起こりますよ。」“liquid crystal”の話らしい。その後、辞書で調べると“liquid crystal”は「液晶」のことであることが分かったが、研究テーマはさっぱりわからない話であった。「液晶とは何か？」まさに、ゼロからのスタートであった。

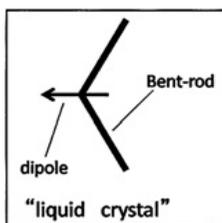


図1. 初めて見た液晶分子の設計図

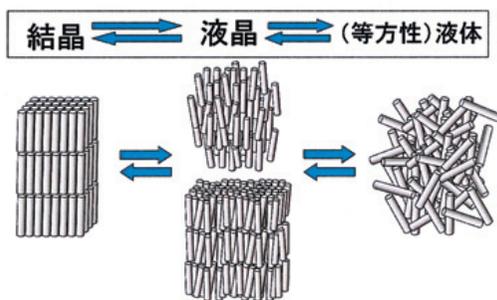
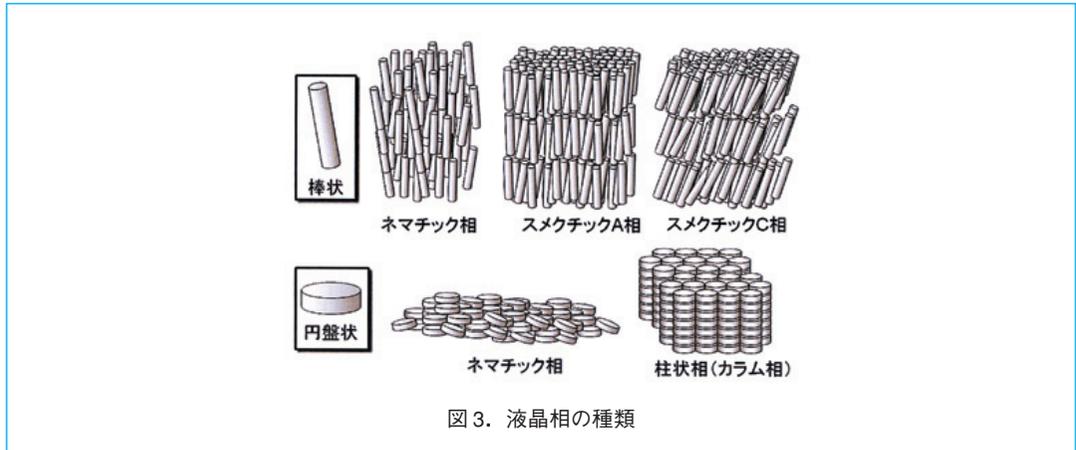
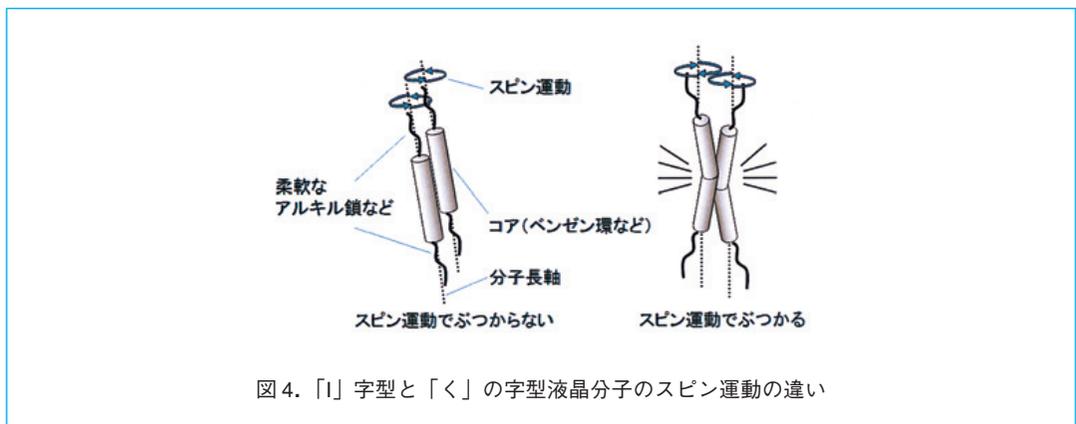


図2. 結晶・液晶・（等方性）液体の分子の様子

液晶とは液体と固体の間の中間的な状態で、流動性があるのに方向や位置の秩序を持っている(図2)。分子の形状としては、棒状と円盤状のものが液晶になりやすい。たとえば、図3に示すように、棒状では、方向がある程度揃って位置の秩序がないネマチック相、層がありその中で棒状分子が層の法線に平行に揃っているスメクチックA相、層の中で分子に傾きがあるスメクチックC相などがある。円盤状の分子では、円盤の面がある程度同方向を向いているネマチック相や、円盤が積み重なって柱状になった、柱状相などがある。また、これらとは別に、3次元的な組織で等方性のキュービック相などがある。



液晶ディスプレイに使われている液晶分子などは、英語の「I」の字のように棒状のものが多く(図4左)。「I」字型の液晶分子が分子中央を縦に通る軸(分子長軸)を中心に高速のスピンの運動をしているので、周りの分子と接していても結晶化せずに液晶状態であるらしい。ところが「く」字型の分子(図4右)は、同様なスピンの運動のとき、まわりにある分子と激しくぶつかるので、分子全体のスピンの運動が低速になる。そのため、その液晶状態は不安定化される。



また、「I」字型液晶分子には、分子末端に極性基を持ち、電界に対して応答できるものがある。たとえば、図5のように、液晶ディスプレイに使われている5CB(4'-シアノ-4'-ペンチルビフェニル)という分子は、シアノ基があり、分子長軸方向に分極しているため(分子の分極は方向と大きさをもつ双極子で表わされる。5CBの双極子を矢印で表わすと縦方向に「↑」または「↓」)、電界をかけると電界に沿って分子が縦に並ぶ。分子末端の縦方向の分極は、分子のスピンの運動を妨げず、並び(配向)をより秩序立てるものなので、液晶状態は安定化する。ところが、「I」型分子であっても、横方向(短軸方向)に双極子がある分子は、スピンの運動が妨げられるため、液晶状態は不安定になる。特に、分子中央で短軸方向に双極子がある場合は、スピンの運動が大きく妨げられ、結晶化しやすくなる。

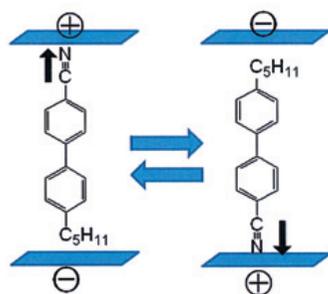


図5. 5CBの電界の中での動き

今思うと、Swager先生の描いた「く」字型で短軸方向の「←」を持つ分子は、液晶を不安定化する要素を2つも持っており、その当時の一般的な液晶分子の設計方針「安定な液晶状態を有する液晶分子」とは、正反対のもので、チャレンジングなものであったと思われる。アメリカでの初めの3か月間、「く」と「←」の分子を30種類ぐらい作ってみたが、どの分子も結晶性が高く液晶状態を示さなかった。当然の結果であった。しかし、それでも研究を続けていると、偶然、問題解決の糸口が見つかり、「く」と「←」でも安定な液晶状態を与える分子がわかってくるようになった。「止まっている部分」と「スピンしている部分」の分離が必要であった。たとえば、分子が「く」の字で、分子中央に大きな双極子があって、分子全体での回転が完全に抑えられたとしても、そこから離れた部分に回転し続ける部分があれば、この分子は結晶化せずに液晶状態を保つことができる<sup>1)</sup>。この考えは、「分子間力が強くて液晶状態になりにくいものでも、どこかの部分が回転運動、振動運動、スライド運動、湾曲運動などをし続けていれば、結晶化せずに液晶状態を保つことができる」という考えに発展できる。わかってしまえば当たり前のことであったが、MITでの1年間でやっとそのことを、身を持って知った。

その後、著者は、この考え「どこか動かし続ける」に基づいて、液晶になりにくそうなものや実現しそうな液晶状態の実現を研究テーマとして選んで研究してきた。この論文では、それらのうちいくつかについて解説したい。

## 2 中央に横方向に双極子—双極子相互作用の導入

分子**1**と**2**は、MITでの研究において、合成した化合物である(図6)<sup>2)</sup>。中央のチオフェン環には、2つのシアノ基が導入され、分子の短軸方向に計算値で6 debye以上の双極子モーメントを有している。化合物**1**のように分子長が短い場合には、液晶相は大変不安定であり、過冷却時のみに融点より26℃下で、ネマチック液晶相が現れる。そして、液晶相から結晶相への転移は瞬間的に起こる。分子が曲がった棒状であるため、スピン運動が抑えられるとともに、分子中央の大きな双極子モーメントが分子間で強く作用し、振動やスライドなどの分子運動も抑えられるため、結晶化しやすいものと考えられる。ところが、さらにもう一つずつベンゼン環を両末端に導入した**2**では、液晶相が驚くほどに安定化する。ネマチック相の温度幅は、160～252℃で、スメクチックA相の温度幅は135～160℃になる。この安定化には、(分子の長さ) / (分子の幅)の比が大きくなったことや、ベンゼン環とエステル部位が導入されて分子間相互作用が増加したという理由もあるが、分子間で固定化される分子中央から離れたところに、動き続ける部分が導入された効果が大きいと考えている。

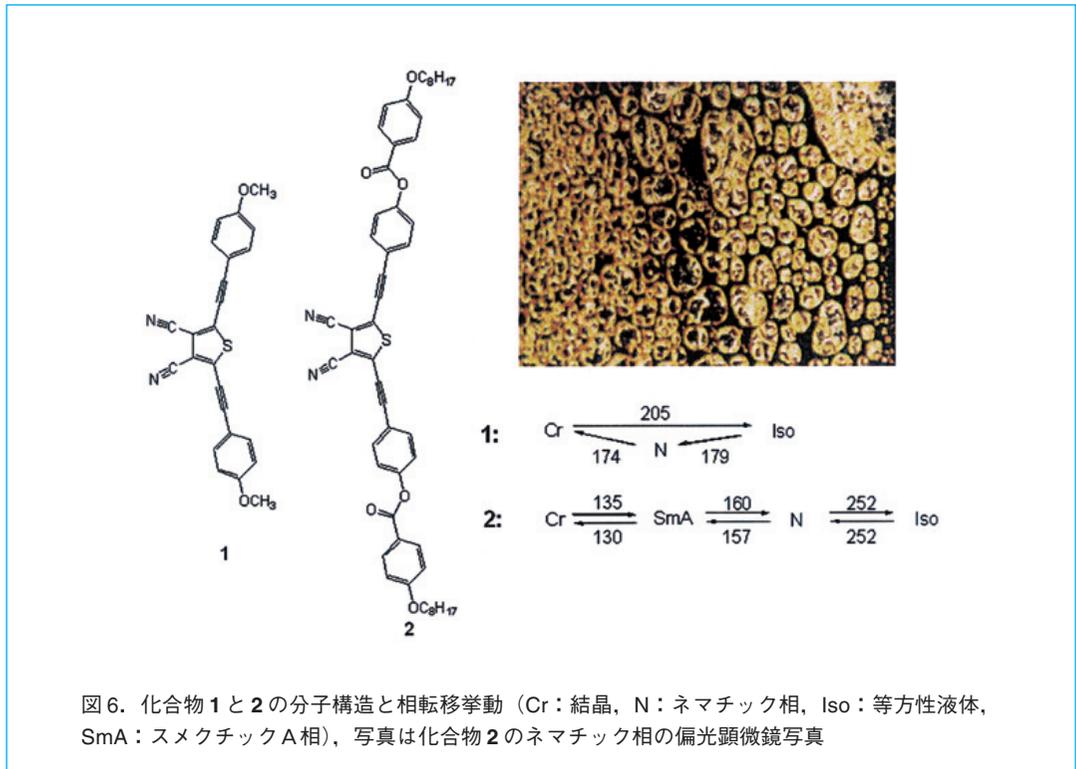


図6. 化合物1と2の分子構造と相転移挙動 (Cr: 結晶, N: ネマチック相, Iso: 等方性液体, SmA: スメクチックA相), 写真は化合物2のネマチック相の偏光顕微鏡写真

化合物3はMITの研究が終わり千葉大学に帰ってきて初めて合成した液晶化合物である(図7a)<sup>3)</sup>。さらに曲がった棒で、双極子モーメントが大きい分子として設計した。2つの棒状の部分を-CO-NR-CO-で結合すると、U字型の分子ができ、その双極子モーメントは計算値で12 debyeになった。この分子はスメクチックA相を温度幅98~199℃で、安定に示した(図7b)。この液晶相をX線回折したところ、2つの層間距離を示した(図7c)。通常、スメクチックA相では、一つの層間距離を示す。この液晶化合物は、昇温と降温を繰り返していると、いずれか一つの層間距離に収束する挙動を示した。この分子は、12 debyeという大きな双極子を持っているので、短軸方向の分子間双極子-双極子相互作用が極めて大きい。層内の分子は横方向に非常に強い力で並んでいて、スライドなどの分子運動が抑えられているものと思われる。さらに、図7dに示したように、各分子は、円筒で示したコア部が2本あるのに対し、黒い波線で示したアルキル鎖が片方の末端では2本あるが、もう片方では1本しかなく、体積的に少しだけ不足しているため、上下の層のアルキル鎖が入り込んでいない状態と、層間でアルキル鎖が入り込んだ状態が共存すると考えられる。合成した各化合物において、2つの層間隔の差は、いずれもアルキル基の入り込みの長さとも一致するので、このモデルは正しいと思われる。

もっとシンプルで、双極子-双極子相互作用が大きく、曲がった分子は作れないのかということで、化合物4を設計合成した(図8a)ところ、柱状液晶相を示した(図8b)<sup>4)</sup>。化合物4は酸無水物であるが、アルコキシという電子供与性の置換基が3つついた安息香酸無水物で、単離して結晶化させれば安定で、空气中で物性の測定も十分可能である。ただ、カラムクロマト精製ではコツがある。分離用シリカゲルを予めオープン中100℃以上で焼いて、十分に水分を飛ばしておかなければ、加水分解した酸を含まない純粋な化合物は得られない。トリメトキシ安息香酸無水物の単結晶X線回折(図8c)や分子モデルなどより、それぞれの分子が双極子を打ち消すように段違いで平行に集合してカラムを形成していると考えられる(図8d)。

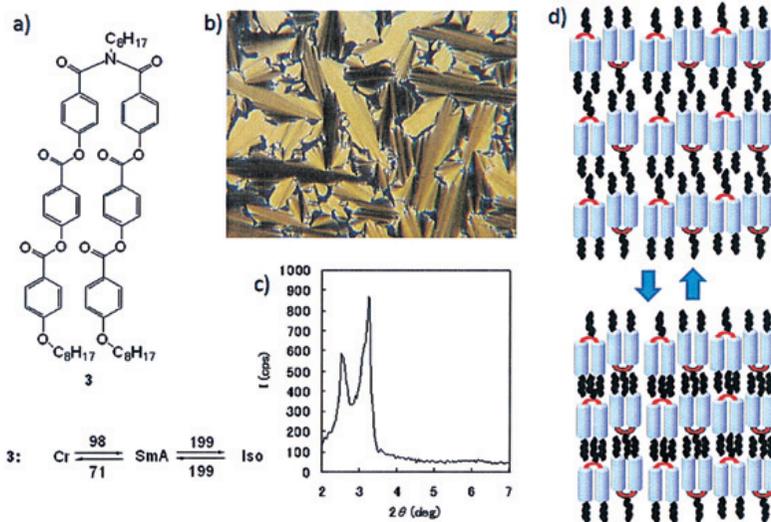


図7. a) 化合物3の分子構造と相転移挙動 (Cr: 結晶, SmA: スメクチックA相, Iso: 等方性液体), b) スメクチックA相の偏光顕微鏡写真, c) X線回析チャート, 層間隔の異なるパッキングモデル

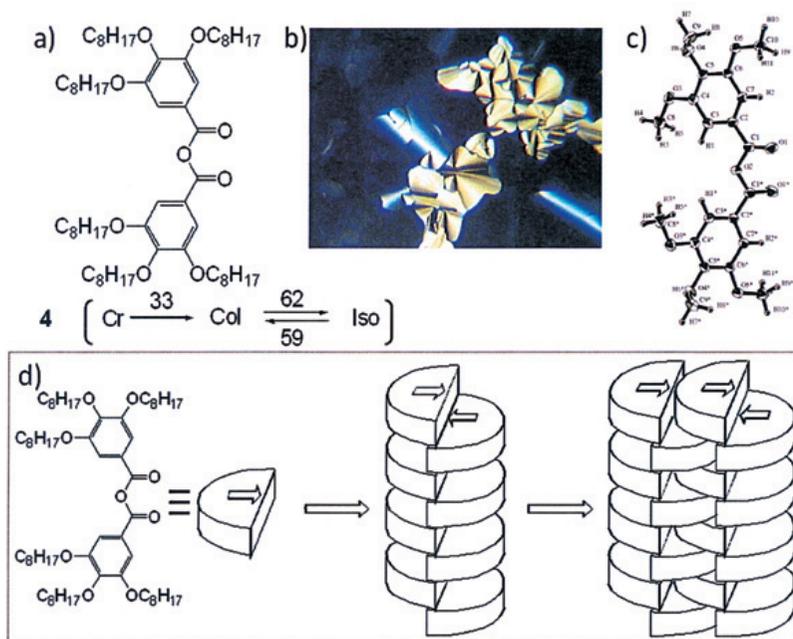


図8. a) 化合物4の分子構造と相転移挙動 (Cr: 結晶, Col: 柱状相, Iso: 等方性液体), b) 偏光顕微鏡写真, c) 単結晶X線回析により求められたトリメトキシ安息香酸無水物の構造, d) 段違い平行のパッキングモデル



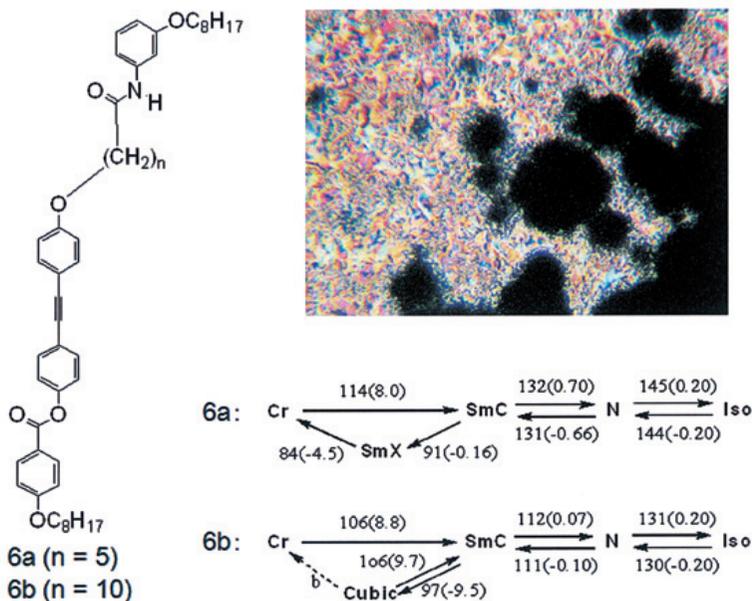


図10. 化合物 **6a** と **6b** の分子構造と相転移挙動 (Cr: 結晶, SmC: スメクチック C 相, N: ネマチック相, Cubic: キュービック相, Iso: 等方性液体), 偏光顕微鏡写真は **6b** のスメクチック C 相 (明るい部分) からキュービック相 (黒い部分) への転移の途中の状態

さらに、強力な分子間相互作用が働く尿素部位を液晶分子に組み込んでみようと考えた(図11a)<sup>9)</sup>。尿素分子は、図11bのような、一次元の分子集合体を形成する。化合物 **7a-c** では、分子末端に複数のアルキル基を導入してあるため、水素結合で積層している分子間に立体反発が生まれ、-HN-CO-NH-のなす平面が下の分子とずれて重なる。したがって、カラムの内側は、尿素部位の強い分子間水素結合が連なっているが、その周りをアルキル鎖が取り囲み、カラム間では強い双極子-双極子相互作用が働きにくい。真ん中の尿素の繰り返し距離は4.7 Åであるので、周りのベンゼン環同士はあまり強い相互作用が持てない。これは、法隆寺の五重塔の免震構造に近い(図11c)。各階の屋根や部屋が真ん中の太い柱だけで支えられているこの構造は、地震があっても揺らいでエネルギーを分散させ、五重塔を倒壊から守っているという。この尿素誘導体の分子も真ん中に強い一次元的な分子間水素結合があり、その周りの部分は、相互作用が小さく、常に揺らいでいるものと思われる。このカラムは、カラム軸方向に分極を持っているため、電界を反転させることにより、ソフトに重なった分子すべてが協同的に反転し、カラム全体の分極のスイッチングが起こる(図12)。グラフは、三角波電圧印加時における電流の変化を示しており、分極反転ピークが観測されている。このときの分子の反転は、一分子全体の回転ではなく、分子中央部の尿素結合部位のみのコンフォーメーション変化に基づいている。それまでは、キラルな分子による柱状液晶相の反転は報告されていたが<sup>10)</sup>、アキラルな分子では、一方向に積み重なりやすい円錐やボウル型の分子においてもスイッチングは観測されていなかった<sup>11)</sup>。発表当時は、イオン性の不純物の動きが観測されているのでは、という疑いが掛けられていた。その後、カラムの分極の反転が、SHG(第二次高調波発生)の干渉実験などにより証明された<sup>12)</sup>。現在、カラム径を大きくしたり、反転閾値を増やしたりして、分極状態を保持する試みを行っている。将来は、カラム一本一本の分極を制御し、超高密度記録素子を実現したいと考えている。

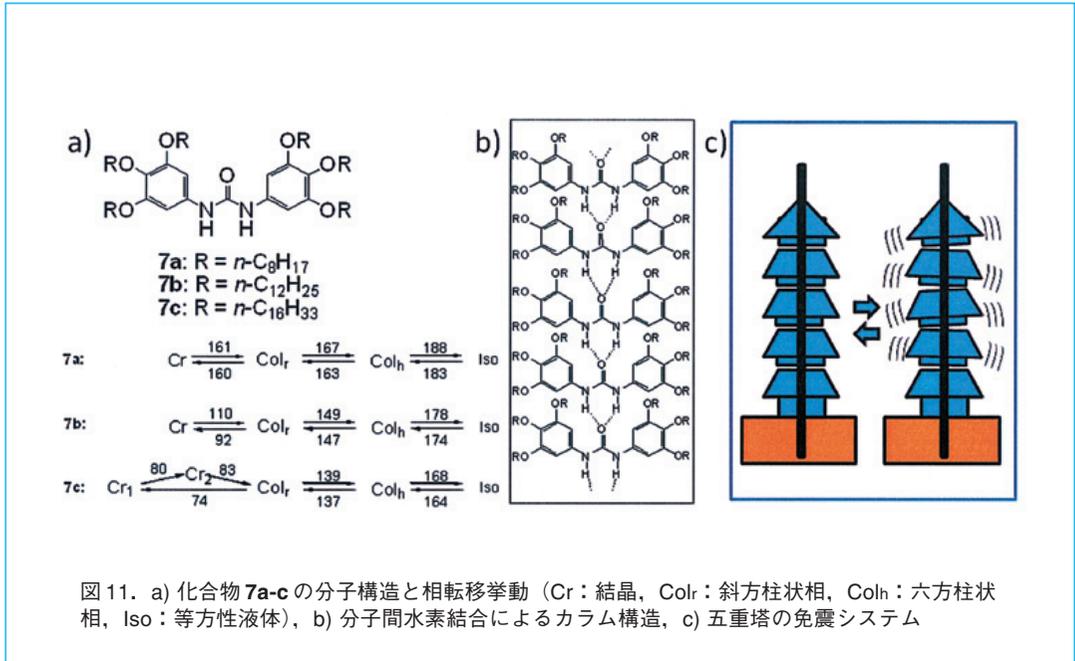


図 11. a) 化合物 **7a-c** の分子構造と相転移挙動 (Cr: 結晶, Colr: 斜方柱状相, Colh: 六方柱状相, Iso: 等方性液体), b) 分子間水素結合によるカラム構造, c) 五重塔の免震システム

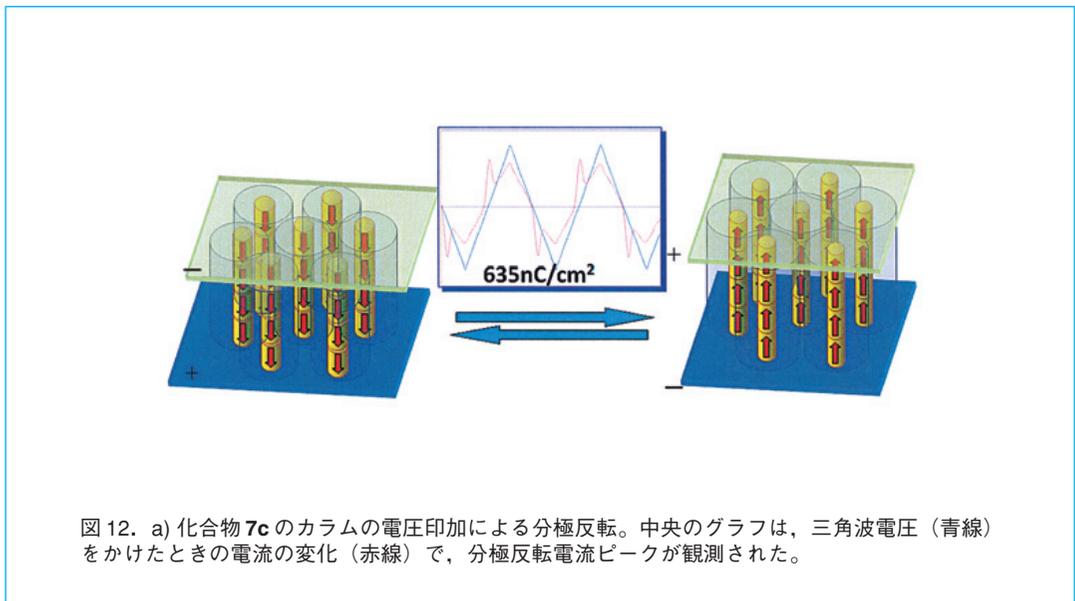
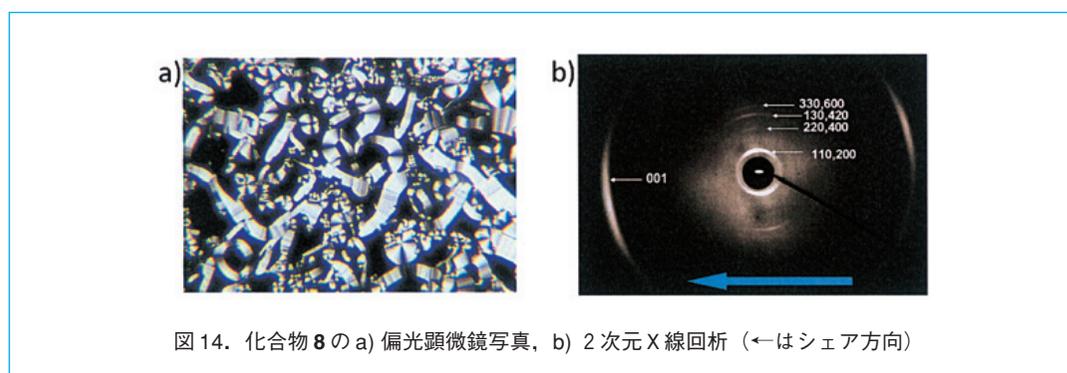
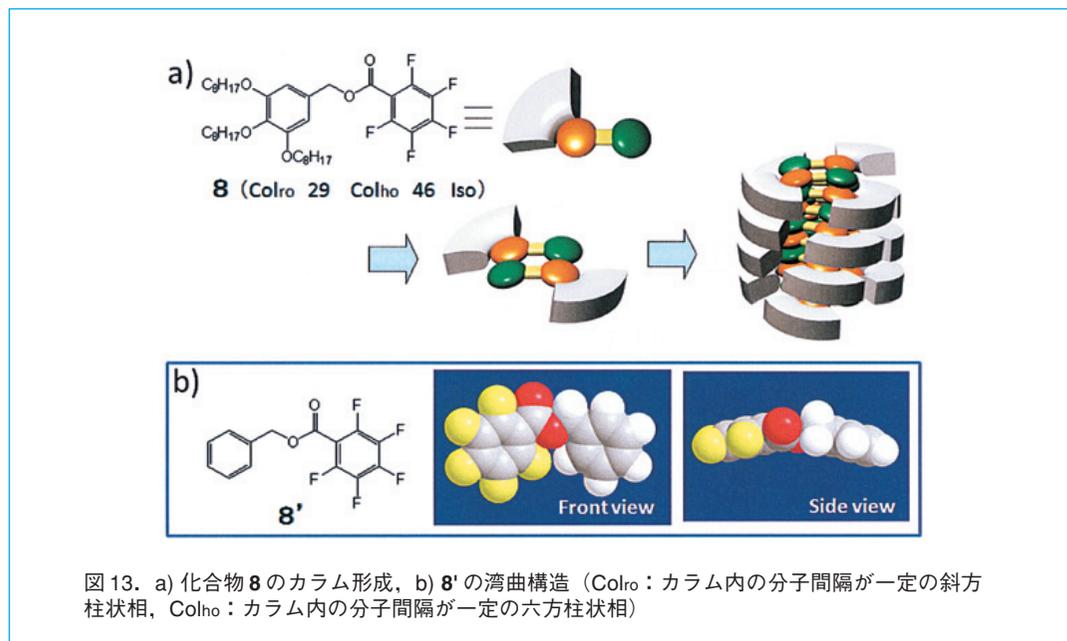


図 12. a) 化合物 **7c** のカラムの電圧印加による分極反転。中央のグラフは、三角波電圧 (青線) をかけたときの電流の変化 (赤線) で、分極反転電流ピークが観測された。

## 4 分子横方向へのパーフルオロアレーン—アレーン相互作用の導入

パーフルオロアレーン—アレーン相互作用の歴史は、1960年に Patrick と Prossor がヘキサフルオロベンゼン ( $C_6F_6$ , 融点  $5.0\text{ }^\circ\text{C}$ ) とベンゼン ( $C_6H_6$ , 融点  $5.4\text{ }^\circ\text{C}$ ) を 1:1 で混合すると室温で固化する [ $C_6F_6 - C_6H_6$  (1:1), 融点  $23.7\text{ }^\circ\text{C}$ ] ことを発見したことに始まった<sup>13)</sup>。これは、ファンデルワールス力と静電的な相互作用からなる力で、 $3.7\text{--}5.6\text{ kcal/mol}$  と大きく、水素結合に匹敵する分子間引力である<sup>14)</sup>。この力を液晶分子の集合力として使用した例は著者の知る限り 2 例のみである<sup>15)</sup>。著者らは、パーフルオロアレーンとトリアルコキシベンゼンをそれぞれ一つずつ有するシンプルな分子 **8** を設計した (図 13a)<sup>16)</sup>。



この分子は、予想どおり異種の  $\pi$  平面間に強いパーフルオロアレーン—アレーン相互作用を示し、柱状相を発現した。各分子は横から見ると「く」の字をしており (図 13b), カラム毎の分極発生が予想されたが、 $\pi$  平面間の力が強いいためか、三角波電圧をかけても分極反転は観測されなかった。やはり、尿素分子 **7** のように「中央のみで支えられ、他の部分は触れているだけ」でないと、シャープな反転は起こらないのかもしれない。偏光顕微鏡観察では、カラム内の分子間引力が強いため、リングの皮を向いたようなテープ状の光学模様を観測された (図 14a)。2次元X線回折から (図 14b), ディスク形状の 2 量体が積み重なってカラムを形成していることが確認された。

## 5 分子を短軸方向に共有結合で繋いで分子鑄型へ応用

液晶状態を利用した分子鑄型の作成としては、図15aに示すように、六方柱状相を利用したものが知られている<sup>17)</sup>。カラム中央にコア分子の一次元配列をもつ状態を形成させて、周囲の分子を重合し、一体となった後に、中央のコア分子を除去すると、等間隔にコアの分子サイズに相当する穴ができあがる。ハニカム構造であり、穴がつぶれにくく、分子認識などに利用可能である。これに比べ、図15bに示すように、スメクチック相という層状構造の液晶相は、分子鑄型になりにくい。コア分子を取り除くと、層がつぶれてしまう。

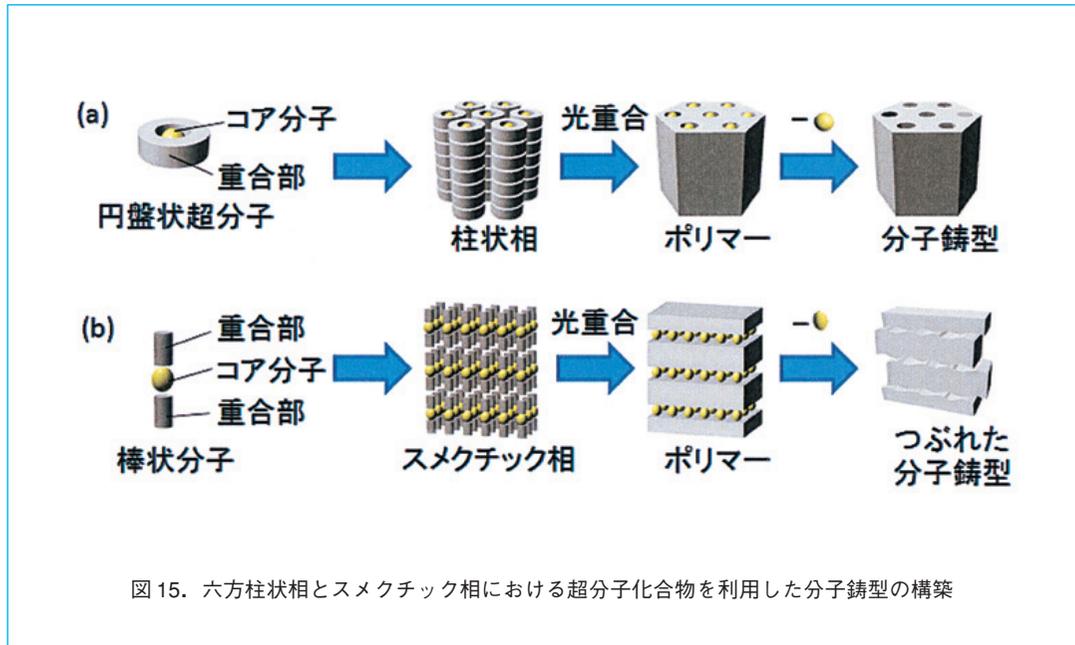


図 15. 六方柱状相とスメクチック相における超分子化合物を利用した分子鑄型の構築

当研究室では、分子鑄型に使えなかったスメクチック相を、分子鑄型として利用することを検討した<sup>18)</sup>。図16のように、超分子9は、真ん中にジピリジルエタン分子のコアを持っており、その両端にそれぞれ、パラ位にアルキル長鎖をもつ安息香酸誘導体が水素結合で接続されている。この安息香酸誘導体には、それぞれ、2つの重合基が横方向に導入されている。これとは別に、共有結合でつながっている棒状分子化合物PL [pillar (=柱)の略]も合成した。化合物9 (9:100%)のみの液晶状態において、コア分子をサンドイッチした多層膜の状態が形成され、光重合により、スメクチックA相 (図16写真)の各層で横方向の重合が進行した。しかし、図17のグラフのように、このポリマー (9:100%)から、3Mの塩酸による抽出処理で、すべてのコア分子を除去することが困難であり、216時間の浸漬後も、50%のコア分子がポリマー内に残存した。これは、コアの除去によりポリマーの端から層のつぶれが起り、コア分子が中に閉じ込められてしまうことが原因であると考えられた (図18のA1→A2→A3)。そこで、分子PLを導入するアイデアを思いついた。化合物9にPL化合物5%と10%を導入して光重合して得たポリマーにおいては、同条件で、コア分子の除去が、それぞれ、75%と100%も進み、層間隔がつぶれないポリマーが合成できたと考えられる。スメクチック相においても、柱に相当する分子を導入すると分子鑄型を形成することができることが確かめられた (図18のB1→B2→B3)。今後は、柱分子として、ゲスト分子と相互作用するものを導入し、分子認識能の高いポリマーを合成していきたい。

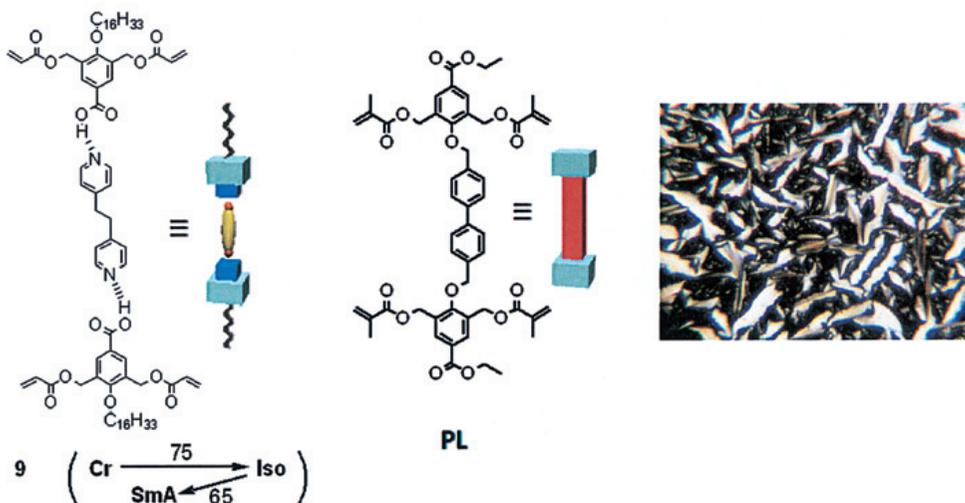


図16. 超分子化合物9の構造（相転移挙動）と柱になる分子PLの構造、写真は化合物9の偏光顕微鏡写真

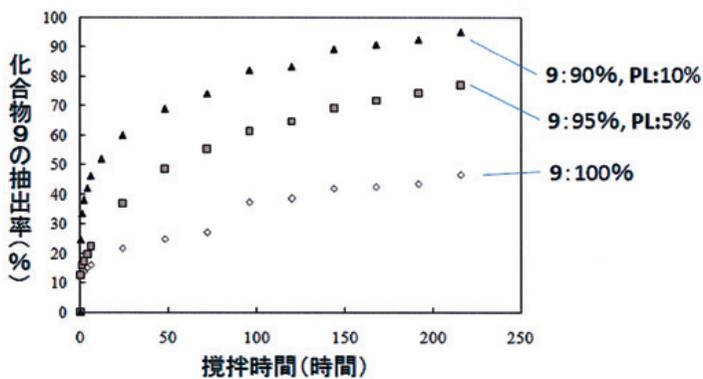


図17. 化合物9のみ、9とPLの混合物（95：5）および9とPLの混合物（90：10）のポリマーからジピリジルエタンを3M塩酸で抽出したときの時間一抽出率のグラフ

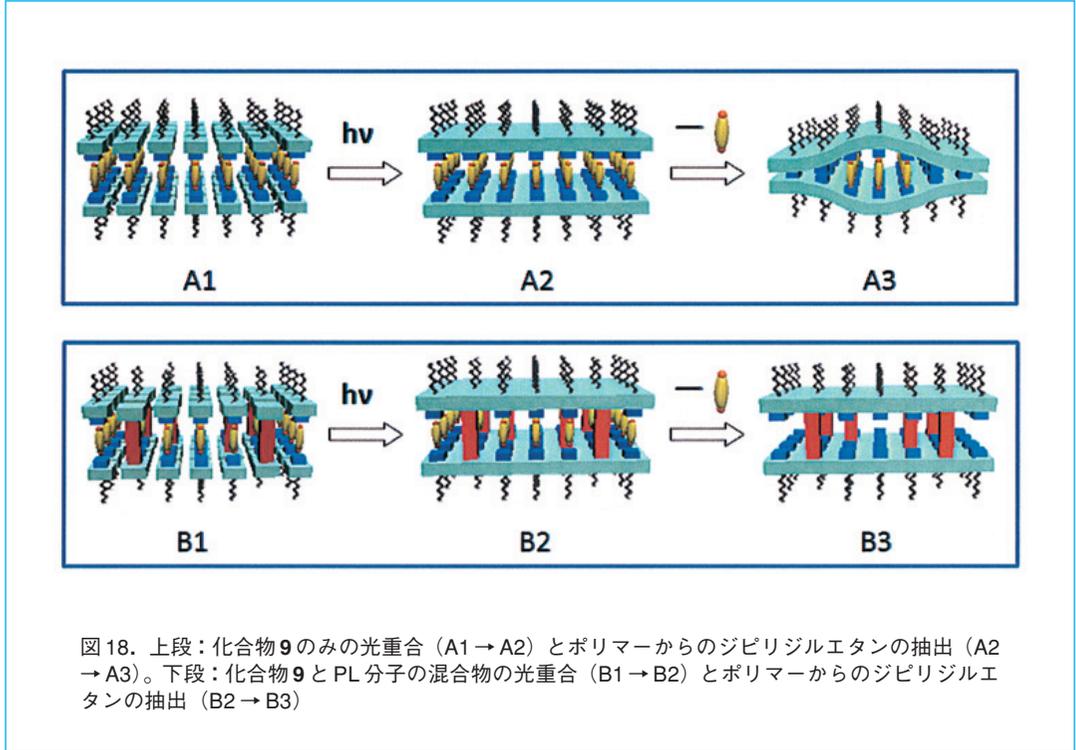


図 18. 上段：化合物 9 のみの光重合 (A1 → A2) とポリマーからのジピリジエタンの抽出 (A2 → A3)。下段：化合物 9 と PL 分子の混合物の光重合 (B1 → B2) とポリマーからのジピリジエタンの抽出 (B2 → B3)

## 6 おわりに

Swager 先生より、初めて液晶分子の設計図を手渡されてから、早いもので 12 年になる。「分子の短軸方向への強い相互作用の導入」という方向でずっと歩いてきた。短軸方向の相互作用の導入は、液晶状態を不安定化させるので、液晶状態にならないことが多いが、工夫をすることにより、液晶状態が実現した時には、他の人が得ることのできなかった新しい発見があり、大きな達成感がある。最近、著者には、一つのこだわりがある。自分の液晶研究においては、「できるだけシンプルな分子を使って、目的を達成しなければならない」と考えている。シンプルな化合物の方が、合成が簡単で、原料代が少なく済むということもある。しかしそれ以上に、シンプルであるほど、うまくいった時のインパクトが強く、他の人が利用してくれるというメリットがある。さらに、シンプルな分子は、新しい現象が見出された時に、その原因がどのような構造から来ているのかをよりの確に理解させてくれる。研究における次の一手が容易に考えられ、大きな発展につながる可能性がある。

そういうわけで、これからもコツコツと「液晶になりにくく、シンプルな液晶分子」という考えで、新しい液晶分子を合成し、その中から世の中の役に立つ液晶分子を育ていきたい。

## 文献

- 1) K. Kishikawa, N. Muramatsu, S. Kohmoto, K. Yamaguchi, M. Yamamoto, *Chem. Mater.* **2003**, *15*, 3443.
- 2) K. Kishikawa, M. C. Harris, T. M. Swager, *Chem. Mater.* **1999**, *11*, 867; S. H. Eichhorn, A. Paraskos, K. Kishikawa, T. M. Swager, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 12742; I. A. Levitsky, K. Kishikawa, S. H. Eichhorn, T. M. Swager, *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, *122*, 2474.
- 3) K. Kishikawa, Y. Miwa, T. Kurosaki, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Yamaguchi, *Chem. Mater.* **2001**, *13*, 2468; T. Kajitani, Y. Miwa, N. Igawa, M. Katoh, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Yamaguchi, K. Kishikawa, *J. Mater. Chem.* **2004**, *14*, 2612.
- 4) K. Kishikawa, S. Furusawa, T. Yamaki, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Yamaguchi, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 1597.
- 5) Reviews: T. Kato, N. Mizoshita, K. Kishimoto, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, *45*, 38; T. Kato, T. Yasuda, Y. Kamikawa, M. Yoshio, *Chem. Commun.* **2009**, 729-739.
- 6) T. Kajitani, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Kishikawa, *J. Mater. Chem.* **2004**, *14*, 3449; T. Kajitani, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Kishikawa, *Chem. Mater.* **2004**, *16*, 2329; T. Kajitani, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Kishikawa, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **2005**, *439*, 2039.
- 7) T. Kajitani, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Kishikawa, *Chem. Mater.* **2005**, *17*, 3812.
- 8) T. Kajitani, H. Masu, S. Kohmoto, M. Yamamoto, K. Yamaguchi, K. Kishikawa, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 1124; S.-W. Choi, K. Fukuda, S. Nakahara, K. Kishikawa, Y. Takanishi, K. Ishikawa, J. Watanabe, H. Takezoe, *Chem. Lett.* **2006**, *35*, 896; S. Kawauchi, S.-W. Choi, K. Fukuda, K. Kishikawa, J. Watanabe, H. Takezoe, *Chem. Lett.* **2007**, *36*, 750.
- 9) K. Kishikawa, S. Nakahara, Y. Nishikawa, S. Kohmoto, M. Yamamoto, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 2565; H. Takezoe, K. Kishikawa, E. Gorecka, *J. Mater. Chem.* **2006**, *16*, 2412.
- 10) H. Bock, W. Helfrich, *Liq. Cryst.* **1992**, *12*, 697; H. Bock, W. Helfrich, *Liq. Cryst.* **1995**, *18*, 387; H. Bock, W. Helfrich, *Liq. Cryst.* **1995**, *18*, 707; G. Heppke, D. Krüerke, M. Müller, H. Bock, *Ferroelectrics* **1996**, *179*, 203; G. Scherowsky, X. H. Chen, *Liq. Cryst.* **1994**, *17*, 803; G. Scherowsky, X. H. Chen, *J. Mater. Chem.* **1995**, *5*, 417; J. Barbera, R. Iglesias, J. L. Serrano, T. Sierra, M. R. de la Fuente, B. Palachios, M. A. Perez-Jubindo, J. T. Vazquez, *J. Am. Chem. Soc.* **1998**, *120*, 2908.
- 11) L. Lei, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **1983**, *91*, 77; L. Lei, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **1987**, *146*, 41; A. M. Levelut, J. Malthe, A. Collect. *J. Phys. (France)* **1986**, *47*, 351; H. Zimmerman, R. Poupko, Z. Luz, J. Billard, *Z. Naturforsch., Teil A* **1985**, *1794*; B. Xu, P. J. Carroll, T. M. Swager, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1996**, *35*, 2094; M. Sawamura, K. Kawai, Y. Matsuo, K. Kanie, T. Kato, E. Nakamura, *Nature* **2002**, *419*, 702.
- 12) Y. Okada, S. Matsumoto, Y. Takanishi, K. Ishikawa, S. Nakahara, K. Kishikawa, H. Takezoe, *Phys. Rev. E* **2005**, *72*, 020701(R); Y. Okada, S. Matsumoto, F. Araoka, M. Goto, Y. Takanishi, K. Ishikawa, S. Nakahara, K. Kishikawa, H. Takezoe, *Phys. Rev. E* **2007**, *76*, 041701.
- 13) C. R. Patrick, G. S. Prosser, *Nature* **1960**, *187*, 1021.
- 14) O. R. Lozman, R. J. Bushby, J. G. Vinter, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 2* **2001**, 1446; S. Lorenzo, G. R. Lewis, I. Dance, *New J. Chem.* **2000**, *24*, 295; J. HernIndez-Trujillo, F. Colmenares, G. Cuevas, M. Costas, *Chem. Phys. Lett.* **1997**, *265*, 503; A. P. West, Jr., S. Mecozzi, D. A. Dougherty, *J. Phys. Org. Chem.* **1997**, *10*, 347.
- 15) M. Weck, A. L. Dunn, K. Matsumoto, G. W. Coates, E. B. Lobkovsky, R. H. Grubbs, *Angew. Chem. Int. Ed.* **1999**, *38*, 2741; C. Dai, P. Nguyen, T. B. Marder, A. J. Scott, W. Clegg, C. Viney, *Chem. Commun.* **1999**, 2493.
- 16) K. Kishikawa, K. Oda, S. Aikyo, S. Kohmoto, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 764.
- 17) H.-K. Lee, H. Lee, Y. H. Ko, Y. J. Chang, N.-K. Oh, W.-C. Zin, K. Kim, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, *40*, 2669.
- 18) K. Kishikawa, A. Hirai, S. Kohmoto, *Chem. Mater.* **2008**, *20*, 1931.

(Received May 2009)

## 執筆者紹介

岸川 圭希 (Keiki Kishikawa) 千葉大学 大学院工学研究科 教授

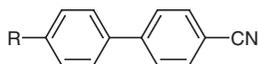
[ご経歴] 1990年3月 千葉大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了, 1990年4月 三井石油化学工業株式会社勤務, 1993年1月 千葉大学工学部助手, 1997年10月 マサチューセッツ工科大学 (Swager教授) 博士研究員, 1999年4月 千葉大学工学部助教授, 2007年4月 千葉大学大学院工学研究科准教授, 2008年 同大学教授, 現在に至る。学術博士。

[ご専門] 液晶化学, 有機合成化学, 有機光化学, 液晶を用いたナノ構造の構築

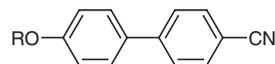
寄稿論文 TCI 関連製品

液晶原料

ビフェニル

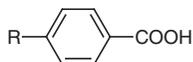


R=CH<sub>3</sub> 25g, 5g [C1741]  
R=C<sub>5</sub>H<sub>11</sub> 25g, 5g, 1g [C1550]  
R=C<sub>7</sub>H<sub>15</sub> 5g, 1g [H0812]

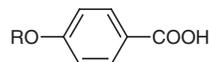


R=H 25g, 5g [H0523]  
R=C<sub>5</sub>H<sub>11</sub> 5g, 1g [C1551]  
R=C<sub>7</sub>H<sub>15</sub> 1g [C1606]

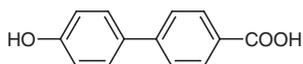
安息香酸



R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> 25g [E0379]  
R=C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> 500g, 25g [P0945]  
R=C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> 25g, 5g [B0241]  
R=C<sub>5</sub>H<sub>11</sub> 250g, 25g, 5g [A0741]  
R=C<sub>6</sub>H<sub>13</sub> 5g [H0829]  
R=C<sub>7</sub>H<sub>15</sub> 10g [H0774]  
R=C<sub>8</sub>H<sub>17</sub> 25g, 5g, 1g [00137]

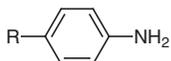


R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> 25g [E0045]  
R=C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> 25g [P0206]  
R=C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> 25g [B0896]  
R=C<sub>5</sub>H<sub>11</sub> 25g [A0708]  
R=C<sub>6</sub>H<sub>13</sub> 500g, 25g [H0247]  
R=C<sub>7</sub>H<sub>15</sub> 500g, 25g [H0248]  
R=C<sub>8</sub>H<sub>17</sub> 25g [00117]  
R=C<sub>11</sub>H<sub>23</sub> 5g [U0072]  
R=C<sub>12</sub>H<sub>25</sub> 25g, 5g [D2859]



25g, 5g [H0695]

アニリン

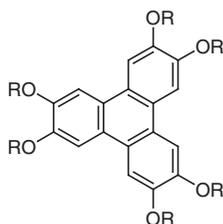


R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> 500ml, 25ml [E0061]  
R=C<sub>3</sub>H<sub>7</sub> 25ml [B0271]  
R=C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> 500ml, 25ml [B0272]  
R=C<sub>5</sub>H<sub>11</sub> 25ml [A0938]  
R=C<sub>6</sub>H<sub>13</sub> 5g [H0890]  
R=C<sub>7</sub>H<sub>15</sub> 25ml, 5ml [H0588]  
R=C<sub>8</sub>H<sub>17</sub> 25g [00186]

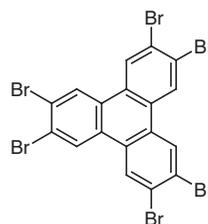


R=CH<sub>3</sub> 500g, 25g [A0487]  
R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> 500g, 25g [P0090]  
R=C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> 25g, 5g [B1003]

ディスコティック液晶原料



R=H · xH<sub>2</sub>O 5g, 1g [H0907]  
R=CH<sub>3</sub> 5g, 1g [H0898]  
R=Ac 100mg [H0923]



100mg [H1201]

この他にも多種取り扱っております。詳しくはホームページをご参照ください。  
<http://www.tokyokasei.co.jp/product/materials-chem/FO10.shtml>

## 分子の世界のギネスブック (4) —有機化学ギネスブック—

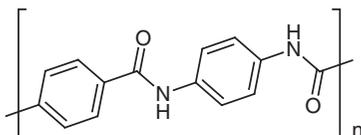
佐藤 健太郎

繊維は人類の暮らしにとって、文字通り切っても切れない関係にある。ロープとして、魚を捕る網として、身にまとう衣服として、歴史が始まって以来人類は強い繊維を追い求め続けてきた。しかし人類は天然から得られる繊維を超えるものを造り出せず、麻から得られる繊維(主成分はセルロース)などが長らく「最強の繊維」の座に君臨してきた。

歴史上初めて麻や絹、木綿に匹敵する繊維を生み出すという快挙を達成したのは、デュボン社の化学者カロザースだった。彼がヘキサメチレンジアミンとアジピン酸を重合させて、史上初の人工繊維ナイロンを生み出した物語はあまりに有名だ。ナイロンの登場は1937年。「石炭と空気と水から造られた、クモの糸より細く鋼鉄より丈夫な繊維」というキャッチフレーズからは、化学の力で生み出された驚異の新素材に対する当時の人々の興奮が伝わってくる。

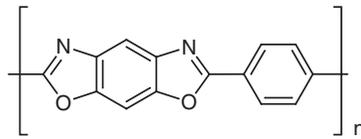
いったん化学繊維という概念が登場すると、その後の進化は速かった。手触り・染色性・洗濯のしやすさなどが改良された新しい化学繊維が次々と登場し、我々の生活を一変させた。

強靱な繊維の追究も行われてきたが、有名なのはケブラー®(デュボン社の登録商標)だろう。*p*-フェニレンジアミンと、テレフタル酸塩化物の反応によって作られる。剛直な芳香環と、丈夫なアミド結合の繰り返しから成っており、構造式を見るだけでもいかにも丈夫そうだ。その上、アミドのカルボニル酸素と水素間の水素結合、芳香環のπスタッキングが鎖同士を強固に束ねるため、ますます強靱な繊維となる。問題はあまりに強靱すぎて溶媒などに一切溶けず、成形ができないことであつたが、濃硫酸にだけは溶けることが判明し、実用化への道が開けた。ケブラー®は同じ重さの鋼鉄に比べて5倍の強度を誇り、防弾チョッキや釣り糸、航空機などに使われる。



ケブラー®の構造

そのケブラー®も、今や最強の繊維ではなくなった。ケブラー®の王座を奪い取った現チャンピオンは、東洋紡が開発した「ザイロン®」だ。ナイロンに始まる合成繊維の歴史の中で究極のものという意味で、アルファベット最後の文字Zをつけて命名された。ベンゾビスオキサゾールとベンゼン環が交互に連結したその構造を見れば、化学者ならその強靱さに納得するだろう。ザイロン®はケブラー®の2倍ほどの強度を誇り、80年代の登場以来長らく最強の有機系繊維の座を維持している。



ザイロン®の構造

ザイロン®の王座を脅かしそうなのは、ご存知の新素材カーボンナノチューブだ。カーボンナノチューブは純粋な炭素からできており、グラファイトの網目構造を丸めて筒にした構造を持つから、化学的にも構造力学的にもその強さは納得できるところだ。欠陥のないナノチューブでロープを作れば、直径1センチで1,200トンの重さを吊り上げられるという計算もある。今のところ、十分な長さで欠陥のないナノチューブを作ることはできていないが、これがもし可能になればその王座は当分揺るがないと思われる。

原子価結合理論の元祖であるライナス・ポーリングは、「この世で最強の結合は炭素の $sp^2$ 結合だ」といった。カーボンナノチューブは、いうまでもなく $sp^2$ 炭素がどこまでもつながったものだ。それを思えば、今後人類はどんなに頑張ってもこれ以上の材料を創り出すことはできない可能性さえある。

一方、最も硬い物質とはなんだろうか。実は硬さの定義は何種類もあり、硬さの順位は定義によって変動するので一概にいいにくい。とはいえ最も硬い物質として衆目が一致するのは、やはりダイヤモンドだろう。いうまでもなく $sp^3$ 炭素がどこまでも連結した構造を持ち、それぞれの炭素にひずみが全くないので極めて安定な構造だ。また薬品にも強く、屈折率が高いので美しく輝くといった特徴もこの構造に由来する。

ダイヤモンドは硬さの相対比較であるモース硬度で最高の10、定量的測定ができるヌーブ硬度でも8,000と、立方晶窒化ホウ素の4,700を大きく引き離す。どうやら自然界には、ダイヤモンドを王座から引きずり下ろしうるチャレンジャーは存在しないようだ。

では人工物質には、ダイヤモンドを凌駕する可能性はあるのだろうか？実はいくつかの理論計算が行われている。例えば閃亜鉛鉱型窒化炭素（組成式  $C_3N_4$ ）は、炭素－窒素の結合距離が短く緊密なため、ダイヤモンドより硬い可能性がある。すでに合成が試みられ、膜状のもの、ナノサイズの結晶ができたことが報告されているが、大きな結晶はいまだ得られていない。

炭素だけから成る物質にも、ダイヤモンドを超える期待がかけられているものがある。ひとつはマッカイ結晶と呼ばれるもので、フラーレンの結晶を高圧で押しつぶし、球体同士を融合させることで得られると考えられる。半導体としての性質を持ち、電子デバイスとしての可能性があるのではともいわれ、物性に興味を持たれる。ただし実際に合成されたことはなく、性質のほどはまだ不明な点が多い。

もう一つ、より可能性がありそうなのは「ロンズデーライト」と呼ばれる鉱物だ。これは一見ダイヤモンドに似ているが、氷の結晶構造と同じ配列を持ち、六方晶ダイヤモンドとも呼ばれる。ダイヤモンドがふね型シクロヘキサンのみで成るのに対し、ロンズデーライトははず型を含むのが特徴だ。隕石の衝突跡から極めて微細な結晶が発見されているので、おそらくグラファイトに激的な衝撃を与えることでできると考えられる。

最近行われた理論計算では、このロンズデーライトはダイヤモンドより約58%硬いとの結果が得られている。とはいえ天然から得られたものは不純物が多く、大規模合成も行われていない。この興味深い物質を大量合成できれば様々な応用が考えられるため、しばらく研究競争が続きそうだ。

それにしても炭素化合物の持つ豊かな可能性には、毎度驚かされてしまう。10年、20年後にはこのギネスブックが一体どのように書き換わっているのか、楽しみに研究を見守りたい。

ケブラー®(KEVLAR®)は、デュポン社の登録商標です。  
ザイロン®(ZYLON®)は、東洋紡績株式会社の登録商標です。

## 執筆者紹介

佐藤 健太郎 (Kentaro Sato)

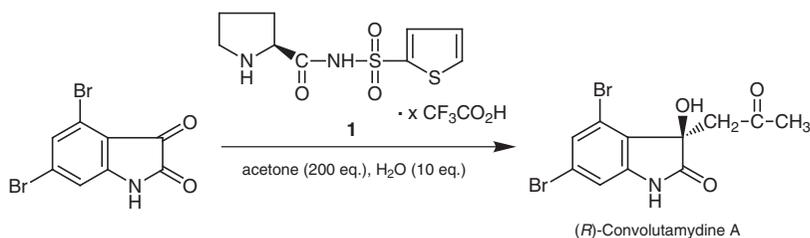
[ご経歴] 1970年生まれ、茨城県出身。東京工業大学大学院にて有機合成を専攻。製薬会社にて創薬研究に従事する傍ら、ホームページ「有機化学美術館」(<http://www.org-chem.org/youki/youki.html>)、ブログ版は<http://blog.livedoor.jp/route408/>を開設、化学に関する情報を発信してきた。現在、東京大学特任助教(広報担当)として勤務しつつ、サイエンスライターとしても活動中。著書に「有機化学美術館へようこそ」(技術評論社)「化学物質はなぜ嫌われるのか」(技術評論社)など。

[ご専門] 有機化学

## 高効率の不斉有機触媒 / Highly Efficient Asymmetric Organocatalyst

T2637 *N*-(2-Thiophenesulfonyl)-L-prolinamide Trifluoroacetate (1)

100mg 12,700 円



| Entry | Catalyst (mol%) | Reaction temp. (°C) | Reaction time (h) | Yield (%) | e.e. (%) |
|-------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|----------|
| 1     | 10              | 0                   | 7                 | 90        | 96       |
| 2     | 10              | -20                 | 45                | 98        | 97       |
| 3     | 5               | 0                   | 8                 | 99        | 96       |
| 4     | 2               | 0                   | 20                | 98        | 96       |
| 5     | 0.5             | rt                  | 132               | 70        | 92       |

2000年のListらによるプロリンを触媒とした分子間不斉アルドール反応の報告を契機として<sup>1)</sup>, 不斉有機触媒の研究が活発に行われています<sup>2)</sup>。中村らが開発したプロリン誘導体1もこうした不斉有機触媒の一つで, 不斉有機触媒としては極めて高いTONを示し, キラルアルドール付加体を得ることができます。例えば, イサチン誘導体とアセトンのアルドール反応において, 高エナンチオ選択的にアルカロイドであるコンボルタミジンAが得られています<sup>3)</sup>。1の触媒活性は極めて高く, 触媒量を0.5 mol%まで減らしても高エナンチオ選択的に目的物が得られます。この高いエナンチオ選択性の説明として, 中村らは1のアミドプロトンとチオフェン環の硫黄原子間の水素結合が関与する反応メカニズムを提唱しています。

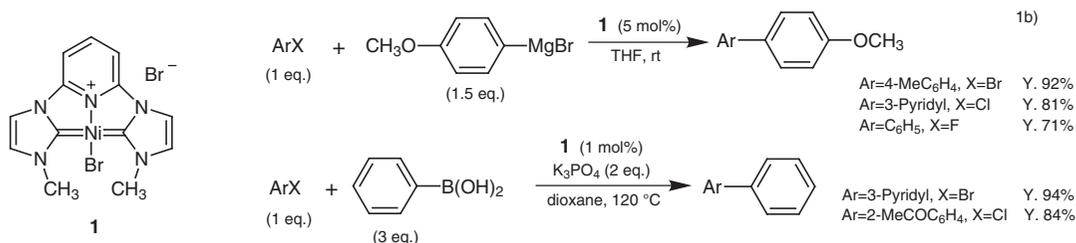
### 文献

- 1) Proline-catalyzed intermolecular asymmetric aldol reactions  
B. List, R. A. Lerner, C. F. Barbas III, *J. Am. Chem. Soc.* **2000**, *122*, 2395.
- 2) Reviews of asymmetric organocatalyst
  - a) Special issue on Asymmetric Organocatalysis, *Acc. Chem. Res.* **2004**, *37*(8), 487-631.
  - b) H. Pellissier, *Tetrahedron* **2007**, *63*, 9267.
- 3) Highly efficient asymmetric organocatalyst, *N*-(2-thiophenesulfonyl)-L-prolinamide  
S. Nakamura, N. Hara, H. Nakashima, K. Kubo, N. Shibata, T. Toru, *Chem. Eur. J.* **2008**, *14*, 8079.
- 4) First enantioselective synthesis of (*R*)-convolutamydine B and E  
N. Hara, S. Nakamura, N. Shibata, T. Toru, *Chem. Eur. J.*, in press

## ピンサー型ニッケル触媒 / Pincer-type Nickel Catalyst

### B3354 Bromo[(2,6-pyridinediyl)bis(3-methyl-1-imidazolyl-2-ylidene)]-nickel Bromide (1)

1g 17,100円



ブロモ[(2,6-ピリジンジイル)ビス(3-メチル-1-イミダゾリル-2-イリデン)]ニッケルブロミド(1)は稲本らが開発した空气中で安定なピンサー型ニッケル錯体で、Heck反応<sup>1a)</sup>、鈴木-宮浦反応<sup>1a,1b)</sup>、熊田-玉尾-Corriu反応<sup>1b)</sup>などのクロスカップリング反応の触媒として有用です。例えば、熊田-玉尾-Corriu反応では、THF溶媒中、触媒量の1の存在下、反応性の低いアリールフルオリドでも室温下で反応が進行し、高収率で目的物が得られます。また、鈴木-宮浦反応においても種々の官能基を有する基質を用いることが可能で、多様なビアリール化合物を得ることができます。

文献

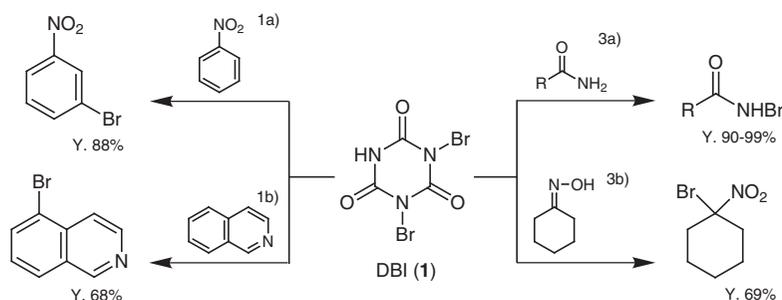
1) Catalytic activities of a bis(carbene)-derived nickel(II)-pincer complex

- a) K. Inamoto, J. Kuroda, K. Hiroya, Y. Noda, M. Watanabe, T. Sakamoto, *Organometallics* **2006**, *25*, 3095.  
b) K. Inamoto, J. Kuroda, T. Sakamoto, K. Hiroya, *Synthesis* **2007**, 2853.

## 高効率臭素化試薬 / Highly Effective Brominating Reagent

### D3753 Dibromoisocyanuric Acid (1)

5g 5,500円



ジブロモイソシアヌル酸 (DBI, 1) は、Gottardiにより最初に報告された温和かつ効果の高い臭素化試薬です<sup>1,2)</sup>。例えばニトロベンゼンから3-ブロモ誘導体への変換では、濃硫酸中でDBIを使用した場合 20 °C、5分間で88%の収率で進行するのに対し、NBSを50%硫酸中で使用した場合 85 °C、3時間で70%の収率にとどまります<sup>1a)</sup>。DBIは臭素化反応一般に幅広く使用可能な有用な試薬です<sup>3)</sup>。

文献

1) Bromination of aromatic compounds

- a) W. Gottardi, *Monatsh. Chem.* **1968**, *99*, 815; b) W. D. Brown, A. H. Gouliaev, *Synthesis* **2002**, 83.

2) A review of dibromoisocyanuric acid (DBI)

- S. C. Virgil, in *Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis*, ed. by L. A. Paquette, John Wiley & Sons, Chichester, **2001**, pp. 1560-1561.

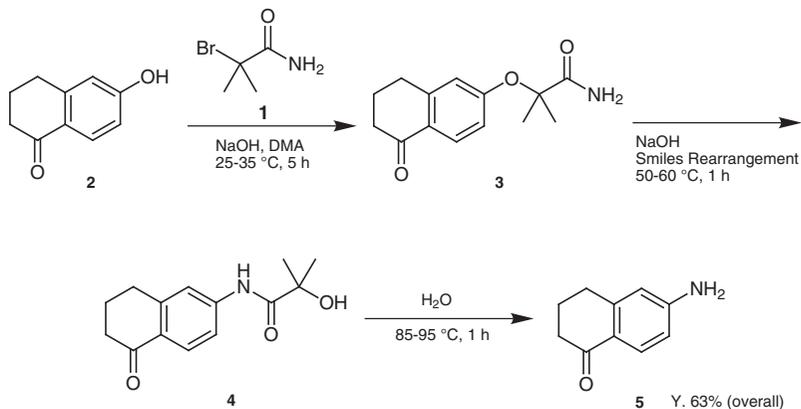
3) Bromination of other compounds

- a) Z. P. Demko, M. Bartsch, K. B. Sharpless, *Org. Lett.* **2000**, *2*, 2221; b) T. R. Walters, W. W. Zajac Jr., J. M. Woods, *J. Org. Chem.* **1991**, *56*, 316.

## アミノ化剤 / Amination via Smiles Rearrangement

B3380 2-Bromoisobutyramide (1)

5g 6,900 円



フェノールからアミンを合成する方法は、一般にNaHSO<sub>3</sub>/NH<sub>3</sub>を用いたBucherer反応が知られていますが、**1**は温和な条件でフェノール類からSmiles転位反応<sup>2)</sup>をワンポットで行い、芳香族アミン合成する有用な試薬です。例えば、フェノール**2**を**1**とアルカリ性条件下で反応させてフェノキシアーテル**3**とし、さらにNaOHを加えて加熱し、Smiles転位生成物**4**を得ました。これを加水分解し、アニリン誘導体**5**を63%の収率で得ています<sup>1a)</sup>。得られたアニリン誘導体は、医薬原料、機能性材料等に利用されています。また、本反応はチオフェノール体に応用されています<sup>1b)</sup>。

## 文献

1) A new practical one-pot conversion of phenols to anilines

- a) M. Mizuno, M. Yamano, *Org. Synth.* **2007**, *84*, 325.
- b) M. Mizuno, M. Yamano, *Org. Lett.* **2005**, *7*, 3629.
- c) J. J. Weidner, N. P. Peet, *J. Heterocycl. Chem.* **1997**, *34*, 1857.

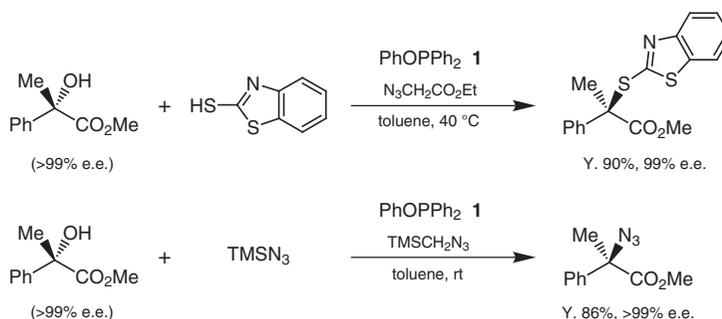
2) Smiles Rearrangement Reaction

- a) C. Bonini, M. Funicello, R. Scialpi, P. Spagnolo, *Tetrahedron* **2003**, *59*, 7515.
- b) I. G. C. Coutts, M. R. Southcott, *J. Chem. Soc. Perkin Trans. 1* **1990**, 767.
- c) C. Bonini, G. Cristiani, M. Funicello, L. Viggiani, *Synth. Commun.* **2006**, *36*, 1983.

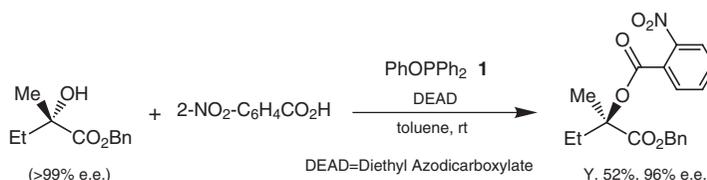
## 新しい酸化-還元系による脱水縮合反応 / New Type of Oxidation-Reduction Condensation

P1843 Phenoxydiphenylphosphine (1)

5g 5,000円 25g 14,900円



向山, 黒田らは, フェノキシジフェニルホスフィン (フェニルジフェニルホスフィナイト, **1**) (還元剤) とアジド類 (酸化剤) を組み合わせ用いる第三級アルコールのチオエーテル化反応<sup>1a,1b)</sup>, およびアジド化反応<sup>1c)</sup> を報告しています。この新しい酸化-還元系による脱水縮合反応は, 中性の穏和な条件下で進行し, 光学活性な第二級アルコールおよび $\alpha$ 位にエステル基を持つ第三級アルコールから立体反転したスルフィド, あるいはアジドを高収率で与えます。



また, 酸化剤として DEAD を用いる場合には, 第三級アルコールと 2-ニトロ安息香酸から立体反転したエステルが得られます<sup>1d)</sup>。

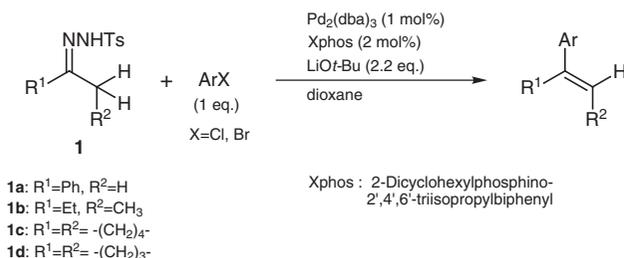
これらの反応は, 従来の光延反応 (PPh<sub>3</sub>-DEAD) では適用が困難であった立体障害の大きい第三級アルコールにも適用でき, 種々の光学活性化合物の合成への応用が期待されます。

### 文献

- 1) A New type of oxidation-reduction condensation using phenyl diphenylphosphinite
  - a) K. Kuroda, Y. Maruyama, Y. Hayashi, T. Mukaiyama, *Chem. Lett.* **2008**, 37, 836.
  - b) K. Kuroda, Y. Maruyama, Y. Hayashi, T. Mukaiyama, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2009**, 82, 381.
  - c) T. Mukaiyama, K. Kuroda, Y. Maruyama, Y. Hayashi, *Chem. Lett.* **2008**, 37, 1072.
  - d) Review: T. Mukaiyama, K. Kuroda, Y. Maruyama, *Heterocycles*, in press.

## 多置換オレフィンの合成 / Synthesis of Polysubstituted Olefins

|       |  |            |
|-------|--|------------|
| A2174 | Acetophenone <i>p</i> -Toluenesulfonylhydrazone (1a)   | 5g 6,200 円 |
| P1813 | 3-Pentanone <i>p</i> -Toluenesulfonylhydrazone (1b)    | 5g 5,300 円 |
| C2295 | Cyclohexanone <i>p</i> -Toluenesulfonylhydrazone (1c)  | 5g 5,300 円 |
| C2296 | Cyclopentanone <i>p</i> -Toluenesulfonylhydrazone (1d) | 5g 5,300 円 |



Barluengaらは*N*-トシルヒドラゾン**1**を用いた多置換オレフィンの合成法を報告しています。それによれば、**1**をパラジウム触媒と塩基の存在下、当量のハロゲン化アリールと反応させることにより、クロスカップリング反応が進行し、多置換オレフィンが得られます。この方法は、熊田、根岸、Stilleカップリング反応などと異なり、化学量論量の有機金属試薬を必要とせず、多方面での応用が期待されているクロスカップリング法です。

### 文献

*N*-Tosylhydrazones as reagents for cross-coupling reactions

J. Barluenga, P. Moriel, C. Valdés, F. Aznar, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 5587.

### 関連製品

T0286 *p*-Toluenesulfonyl Hydrazide

25g 1,600 円 500g 7,600 円

ご愛読者皆様へ

## 「TCIメール保存用ファイル」のご案内

「TCIメール保存用ファイル」(B5版2穴リングファイル)を用意致しました。

送付ご希望の方は、ホームページから

<http://www.tokyokasei.co.jp/brochure/tcicemail.html>

E-mailやFAX(件名に「保存用ファイル希望」と明記)、お電話でも承ります。  
学術部へ送付先をお知らせください。

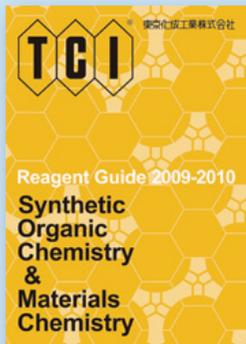
東京化成工業(株)学術部

TEL 03-5640-8857 FAX 03-5640-8868 E-mail: tcicemail@tokyokasei.co.jp

試薬ガイド「有機合成・機能性材料」編

TCI Reagent Guide 2009-2010

Synthetic Organic Chemistry & Materials Chemistry



製品を研究分野および化合物の基本構造から眺め分類、編集しています。

■分類例■ 不斉有機触媒／鈴木－宮浦クロスカップリング反応／  
グリコシル化反応／有機半導体材料／  
フォトクロミック化合物／エレクトロルミネッセンス

無料でお届けします

- ご希望の方は、弊社製品取扱店へご連絡ください。
- ホームページからお申し込みいただけます。

[www.tokyokasei.co.jp/brochure/](http://www.tokyokasei.co.jp/brochure/)

お問い合わせは

東京化成販売(株) TEL:03-3241-0573 FAX:03-3246-2094  
大阪営業所 TEL:06-6228-1155 FAX:06-6228-1158

●試薬ガイド「生化学・分析化学」編も 近日発刊予定!

出展のご案内

ぜひお立ち寄りください



#### 2009分析展

平成21年9月2日(水)～4日(金) 幕張メッセ国際展示場

#### 第29回日本糖質学会年会

平成21年9月9日(水)～11日(金) 飛騨・世界生活文化センター

#### 日本分析化学会第58年会

平成21年9月24日(木)～26日(土) 北海道大学高等教育機能開発総合センター

### 受託製造サービス

専任合成チームにより迅速な対応が可能に!

カスタム合成

スケールアップ

- 少量試作合成～トン単位まで可能
- 継続生産にも対応

主な受託分野

- 有機中間体 ○機能性材料 ○電子・情報材料
- 医薬品中間体・治療原薬<GMP対応>
- 化粧品原料 ○糖鎖 ○化性ライブラリー\*

\* (株)ケムジェネシス<化合物ライブラリーメーカー>に委託しています。

秘密保持  
契約にも  
対応します

まずは、お気軽に  
ご相談ください。

化成部

TEL:03-5651-5171 FAX:03-5640-8021

E-mail: finechemicals@tokyokasei.co.jp <http://www.tokyokasei.co.jp/jutaku/>

オンラインカタログ

構造式、品名(和・英)、分子式、CAS番号、キーワード、弊社製品  
コードからの検索が可能です。

<http://www.tokyokasei.co.jp/catalog/>

ご注文・カタログの  
ご請求は

最寄りの弊社製品取扱店へ

○ご注文・カタログのご請求に関して

東京化成販売(株) TEL:03-3241-0573 FAX:03-3246-2094  
大阪営業所 TEL:06-6228-1155 FAX:06-6228-1158

お問い合わせは

○製品に関して

学術部 TEL:03-5640-8857 FAX:03-5640-8868  
E-mail: information@tokyokasei.co.jp



東京化成工業株式会社

〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-10-2 <http://www.tokyokasei.co.jp/>

本文に掲載した化学品は試薬であり、試験・研究用のみに使用するものです。化学知識のある専門家以外の方の使用はお避けください。

弊社は掲載した製品に関して発生した特許法上の諸問題をユーザーの方々には保証するものではありません。

掲載した製品およびその価格等は発行時のものです。諸事情によりやむを得ず変更を行う場合があります。

本誌の内容の一部または全部を無断で転載あるいは複製することはご遠慮ください。

Printed in Japan