高分子オブジェクトの
非共有結合的合成

清水 敏美

Toshimi SHIMIZU, 物質工学工業技術研究所

1. はじめに

高分子はモノマーと呼ばれる低分子（小分子）が共有結合によって何千、何万と一次的に連鎖した線状巨大分子である。しかし、最近、共有結合とは結合力において明確に異なる機械的結合、水素結合、配位結合などの弱い相互作用を連鎖様式にもつ高分子（狭義には錯体や分子集合体と呼ばれるものもある）、さらには紐状の線状高分子ではない樹状、はしご型、といった新しい空間幾何構造をもつ高分子が多数生まれている。これら「新構造高分子」は新規な合成プロセス、予測不可能な新機能や新性能が期待できる点で注目されている¹⁾。特に、水素結合や配位結合によって支配された、低分子から複雑な構造をもつ高分子の構築手法は、従来の有機合成化学と相補的に組み合わせることで新規な合成戦略や戦術になりうる。本稿では、まず表題にある高分子オブジェクトの背景となる「新構造高分子」について分類し、集積性のある低・中分子量化合物が自発的に形成する種々の形態をもつ高分子オブジェクトに焦点をあててみたい。

2. 高分子オブジェクトの位置づけ

“新構造高分子”そのものの命名、定義はいまだ明確でない。ここでは、共有結合とは異なる新しい結合や新しい幾何構造をもつ高分子と定義したい。構造の何が新しいかに着目して分類すると、4種に分類できよう（図1）。まずは高分子鎖の形態が新しい高分子群である。高分子鎖の形態が星型、樹木状、はしご型、環状、くし型などをとる線状一次元高分子の異形型である。第2はモノマー自身の形態が新しいもの、たとえば剛球状分子として知られるフラーレンなどを共有結合で数珠状に連結

図1 “新構造高分子”の一つの分類

したものが該当するであろう。第3はモノマー分子どうしを連結する結合が新しい高分子群である。従来の共有結合に比べてずっと弱い機械的結合、金属配位結合などを利用している。ネックレス状のロタキサン型ポリマーや、オリンピックマークのように輪が鎖のようにつながったカテナン型ポリマーが該当する。第4は構造の次元が新しい高分子群である。最近 Stupp²⁾らによって二次元高分子という新しい概念が紹介され始めた。本稿で取り扱う高分子オブジェクトは三次元高分子に分類でき、それ自身がシート、ロッド、ファイバー、チューブ、ディスク、スフィアなどの高次構造や形態をもつのが特徴である。上記の“新構造高分子”については異なった観点からの君塚・国武³⁾、彌田・松下⁴⁾らの優れた解説がある。ここでは、それらと重複しない範囲で形態ごとにここ2,3年の研究動向を中心に紹介する。

清水敏美 工業技術院物質工学工業技術研究所有機材料部 (305-8565 つくば市東1-1) 研究室長、工博

1975年京都大学工学部高分子化学科卒、1977年同大学院修士課程修了。同年より繊維高分子材料研究所勤務。1990～91年フンボルト財団奨学研究員を経て、1994年より現職。専門は生体高分子、分子集合体化学。〈趣味〉スキー、道路地図鑑賞

図2 コーン型または平板テーパ型の高分子構成単位の集合様式

3. ロッド

ロッド状の集合体はタンパク質が形成する構造体として数多く自然界に存在する。特に、タバコモザイクウイルスは単一のタンパク質分子が1回転当たり16.3個らせん状に集合した、直径が約3 nm、長さが200 nmのロッド状ウイルスであり、その中心内孔にリボ核酸が存在する。その組織化の情報は分子中に埋め込まれ、物理的または化学的に解離しても、条件が整えば再構成が起これ、そのロッド状構造体は復元する。

高分子鎖のコンホメーションはそれらの相挙動や材料物性を決める重要な要素である。柔軟性の高い高分子鎖の場合、そのコンホメーションは重合度によって制御され、低重合度であれば伸びきったコンホメーションを、高重合度になれば溶液中でランダムコンホメーションを、結晶相で屈曲コンホメーションをとる。Percecらは樹状の側鎖グループをもつポリスチレンやポリメタクリレート自己集合を通して、高分子オブジェクトの形態をロッドあるいはスフィアへと制御することに成功している⁵⁾。すなわち、低重合度ではコーン型の高分子単位が集合して球状のポリマー（高分子鎖はランダムコイル）を、重合度を上げると平板テーパ型の単位が集合してロッド状のポリマー（高分子鎖は延伸型）を形成した（図2）。この重合度と高分子鎖コンホメーションとの相互関係は先に述べた通常の合成高分子とはまったく逆である。一般に、われわれが目にするコラーゲン繊維などの高分子オブジェクトはその構成要素である分子とはサイズの大きな隔りがある。天然は2段階の合成戦略を用いてこのサイズの隔りをうめている。すなわち、

図3 マイクロチューブ上に析出したロッド状構造体（位相差光学顕微鏡写真、水中、25℃）

核酸、アミノ酸、糖は共有結合的に連鎖してサブミクロンの巨大分子をつくる。それらは非共有結合的に集合して、時にはウイルスを形成する。これに対して、上記の結果は中・高分子量化合物の直接的な非共有結合形成による大きなオブジェクトの形成の例を示しており大変興味深い。

剛直なロッド型のポリオールが天然のアミノ酸残基を含まないで、水素結合連鎖メカニズムによるプロトンチャネルモデルを示した例もそれに近い⁶⁾。円偏光二色性や蛍光スペクトルよりこのものは脂質二分子膜中では単分子状態で機能するが、塩化メチレンなどの非極性溶媒中や高濃度においては自己集合してチャネル活性のないロッド型の構造体を形成することがわかった。

双頭型ペプチド脂質 1 ($n=10, m=2$) が形成するマイ

クロチューブ（後述）の外壁上に幅が約50 nm、長さが5~10 μmのロッドが析出する（図3）。希薄酢酸の蒸気拡散法を利用して単結晶化に成功し、X線構造解析を行った結果、分子は最近接する周囲の6分子とグリシン残基のアミド基間で三次元的な水素結合を形成し、擬ヘキサゴナル格子をとっていた⁷⁾。高分子であるポリグリシン（ナイロン2）が同様なヘキサゴナル格子（ポリグリシンII型構造）を形成することが知られ、この結果は低分子の自己集積により初めて高分子の三次元構造を自発的に形成したことを意味する。

4. ファイバー

Fuhrhopらによる合成両親媒性物質を用いた種々の

ファイバー形成⁹⁾や Menger らによるファイバーの非共有結合的合成⁹⁾は新しい材料プロセスとして興味深い。

通常、長鎖のアルキル鎖をもつ両親媒性化合物が疎水性相互作用と水素結合などの方向性のある分子間力を駆動力として水中でファイバーを形成する。今我らは長鎖をもたないアゾ染料 **2** を用いて、染料/水/メタノール

の三元系で高メタノール濃度においてファイバー形成とその束化を見いだした¹⁰⁾。この場合、 π - π スタッキング相互作用も集合の駆動力として働くモデルを提唱している。ファイバー形成はこのように、水または有機溶媒などの分散媒体を必要とするが、らせん状の分子形態と分子間ドナー-アクセプター相互作用を利用して溶媒なしでファイバーを形成する系が見いだされた¹¹⁾。分子配列などは未確認であるが、この場合、等方性液体から冷却して直接ファイバーを得た初めての例である。擬イソシアニン染料の J-会合体とポリビニルスルフェート (PVS) の複合化自己集合からも、長くて柔軟な蛍光性ファイバー (長さが数百 μm 、厚さおよび幅が数十〜数百 nm) が形成された¹²⁾。近接場走査型光学顕微鏡および原子間力顕微鏡を用いて検討した結果、染料分子と PVS ポリマーは集合して層状構造を形成し、それらがさらに非共有結合性の架橋によりファイバーを形成し、それらがさらにファンデルワールス相互作用により束化し、より大きなファイバーとなっていると考えられた。

最近、種々の低分子有機化合物が有機溶媒のゲル化剤として有効であることがわかってきた。それら化合物は有機溶媒中で種々の分子間力によって繊維状の構造体を形成し、つぎに溶媒分子を抱き込みながら三次元ネットワークを形成する。オイルゲル化の機構、ファイバーの形態、分子配列などについては Terech¹³⁾、伊原ら¹⁴⁾、田村¹⁵⁾、英ら¹⁶⁾による最近の優れた総説や解説があるので詳細を譲り、ここでは最近の新展開について述べてみたい。

有機ゲルの結晶化あるいは機械的弱さを改善するために重合性のメタクリロイル基をもつシクロヘキサン系有機ゲル化剤 **3** が Loose らにより開発された¹⁷⁾。このものは、自己集合を通じてモノマー状態ですでにゲル化している点で一般の高分子ゲルとは異なる。光開始剤を共存させてゲルを形成し、光重合を行った結果、重合前と比較して有機溶媒の濃度に依存せず 135°C まで融解しな

い熱安定性に優れたゲル化剤の開発に成功した。重合後、長周期間隔が 2.07 nm と短くなり、繊維幅も 25 nm と分子が密に充填した細いファイバーが高度に架橋しあった構造を見いだした。英ら¹⁶⁾によれば、有機溶媒中でファイバー形成を起こしてゲル化する低分子ゲル化剤は、準安定状態であるゲルを安定化させ結晶化を妨げる何らかの要因をもっている。Esch らはファイバー形成能のあるビスウレア系の化合物の単分子膜をグラファイト上に物理吸着させ、走査型トンネル顕微鏡を用いて分子レベルでの観察を行った結果、カルボニル基の配向が二次元面内で鏡像体関係にある 2 種類のシート構造を直視することに成功した¹⁸⁾。この結果は、水素結合連鎖が形成するシート構造の欠陥部や水素結合ネットワークの乱れ¹⁹⁾が、先のゲル化の要因の一つと強く関連していることを示唆している。

筆者らは、糖鎖が水中で方向性をもって多重に水素結合する性質を利用して、D-グルコース残基が脂質分子の両端でアミド結合を介して疎水部と連結した双頭型糖脂質 **4** を合成し、水中でのファイバー形成を調べた。その

結果として、初めてねじれ構造と平板状構造が連結炭化水素の炭素偶奇数に応じて制御される立体効果を示した (図 4)²⁰⁾。しかも、厚さ約 3 nm の単分子膜リボンが幅約 35 nm の右巻きらせんを形成し、それがたとえば 8 本束なり高次の繊維構造を形成し、つぎつぎと階層的な高次構造化を起こしていることを明らかにした^{21), 22)}。

5. チューブ

チューブは Yager と Shoen らによる精力的な研究に

図 4 **4** ($n=12$) から形成したねじれたファイバー状構造体
(偏光光学顕微鏡写真, 水中, 25°C)

端を発す²³⁾。ジアセチレン基を疎水鎖に含むリン脂質がエタノール/水混合媒体を冷却する過程で自発的に自己集積してチューブ形成を起こす。最近では膜厚が約 10 nm, 長さが 10~100 μm , 直径が 0.2~0.7 μm の高品質のチューブが調製可能になり, この 2, 3 年, 形態とサイズを生かした従来にないメソスコピック材料²⁴⁾としての応用研究, さらにチューブ形成の理論研究の両面が進展している。ナノメートルからマイクロメートルの直径をもつチューブ形状は最新の精密有機合成技術をもってしてもその三次元構造を作るにはほとんど不可能に近い。天然のチューブは松葉の気孔表面にあり, 炭酸ガスと酸素の交換に寄与している。合成ナノチューブとしてはカーボンナノチューブが知られるが, それ以外は脂質の自己集合のみより合成される。

チューブ自身の形態(膜厚, 孔径, 長さなど)や安定性が制御, 向上できれば材料としての付加価値が高まる。Thomas らは高分解能シンクロトロン散乱を用いて高温側(球状ベシクル)と低温側(チューブ)のラメラ層の相互距離を評価し, 冷却速度がチューブの形態, 特にチューブの長さを制御できると考えた。0.08~10 $^{\circ}\text{C}/\text{時}$ と冷却速度を変えた結果, 長さが 1~100 μm の範囲で制御可能であることを見いだした²⁵⁾。また, アニオン性の糖リン脂質が水中で直径が 1 μm , 長さが 100 μm のチューブを形成すること, 疎水部をフッ素化することで熱安定性が増すことが示された²⁶⁾。従来より, ヘリカルリボンがその準安定状態から安定状態のチューブに変化することが知られているが, ここではその形態変化は認められない。しかし, ゲル-液晶相転移温度以上ではもはやチューブとしてではなく, 球状のベシクルとして存在する。

新しい試みとして, Spector らが, チューブ形成は脂質二分子膜中のキラルな分子充填様式と二分子膜間の相互作用を駆動力として起こることを, ジアセチレン部に帰属できる 195 nm の光学活性帯と脂質の頭部に由来する 202~205 nm 光学活性帯の強度比から円偏光二色性を用いて証明している²⁷⁾。さらに, Ringler らはビオチン残基を含むジオクタデシルアミン誘導体 5 から内

径 16 nm の直線チューブを形成させ, その表面を鋳型に用いてストレプトアビジンを規則的なヘリカル構造をとらせて結晶化させることに成功した²⁸⁾。このストレプトアビジン被覆チューブは, ビオチン化した種々のタン

パク質, ベシクルなどに対する分子認識デバイスとして期待できる。

リン脂質系のチューブをメタル化したり, 複合化することによる種々の興味ある電気物性や磁気物性が Schnur と Shashidhar によってまとめられている²⁴⁾。チューブの内側と外側を無電解蒸着法によりニッケルや銅, コバルトやパラジウムのような金属材料によって被覆できる。これらの微小な金属チューブをエポキシ樹脂中に配向させて導入することで新しい電気複合材料が可能である。さらに, ニッケル-鉄合金で被覆したチューブを含む複合材料のマイクロ波誘電特性を調べた結果, 高い誘電率と高い誘電異方性をわずかに 0.5% の重量含有率で示すことが明らかにされた。しかも, リソグラフィーで現在作られているマイクロカソードに代替できる真空場発光カソードがニッケル被覆のチューブによって可能となってきた。海洋生物付着忌避物質をエポキシ樹脂と混合し, 銅で被覆したチューブとスラリー化し, 塗料に混合した結果, 数箇月徐放が続いたのに対し, チューブを用いないと, 数時間で放出した。この結果は, チューブ材料が農業分野, 医療分野, 環境分野で長期間持続可能な徐放システムに応用可能であることを示している。

筆者らは, 光学活性なリン脂質系の代わりに, オリゴグリシン鎖を分子両端に導入した双頭型ペプチド脂質 1 を用いて, 従来例のない, 内部に多数の球状小胞体(ベシクル)を内包する直径が 1~3 μm , 長さが数百 μm の閉じたマイクロチューブを形成させることに成功した(図 5)^{19), 29)}。このチューブは 100 $^{\circ}\text{C}$ までの加熱や超音波処理によっても形態変化はみられず, 物理的な安定性が高いチューブを提供する。酸-アニオン型の分子間水素結合が単分子膜シート内で形成するのが駆動力であり, 膜シート間で酸-酸型水素結合が形成されればマイクロ

図 5 1 ($n=10, m=2$) から形成した有機マイクロチューブ
(暗視野光学顕微鏡写真, 水中, 25 $^{\circ}\text{C}$)

図6 6分子のデンドリマー構成単位からなるディスク状構造体

チューブ表面上でロッドに変化する^{7),19)}。

6. ディスク・スフィア

球状のウイルスとして知られるエイコサヘドラルウイルスはコーン状のタンパク質からなる集合体であり、その中でRNA鎖はランダムコイルのコンホメーションをとっている。先に述べたように Percec らはコーン状の合成高分子を用いてその自己集合により球状の構造体を形成することに成功した³⁰⁾。

新しい中分子量のデンドリマーを構築する方法として Zimmerman らは剛直な芳香族系スパーサの両端にイソフタル酸部をもち、その中央部にデンドリマーを担持する構成単位6を用いて自己集合的に6分子が会合した、最大直径が9 nm、厚さが2 nmのディスクを合成した(図6)³¹⁾。サイズ排除クロマトグラフィー、蒸気圧浸透法、レーザー光散乱法から求められた分子量は6量体の理論値とよく一致した。一方、巨大なおたまじゃくし型の界面活性剤7が低分子系と同様にベシクル、ミセル

状ロッド、球状ミセルを形成することが見いだされている³²⁾。Hest らが、従来の界面活性剤と形態は同じであるがサイズが2~5倍程度大きいデンドリマー親水部とポリスチレン疎水部をもつ新しい両親媒性高分子を合成し、その水中での会合特性を検討してわかった。従来の界面活性剤がコンパクトな親水性頭部をもつものに対し、両親媒性の高分子共重合体が線状の一次元的な親水性頭部をもつため、これまでサイズと形態が会合に及ぼす効果を両者の間で比較することができなかった。この結果は、Israelachvili らの分子形態と会合状態を示した理論³³⁾とよい一致を示した点で非常に興味深い。

加和らは球状形態をとる高分子の核部分にランタノイドカチオンを閉じこめ、末端カルボキシル基のポリエーテル系構成単位3分子どうしを非共有結合的に組み合わせ、発光特性を飛躍的に向上させることに成功している³⁴⁾。従来、ランタノイド系元素の無機物への溶解性が低かったのを高分子の殻で被覆し、その球状高分子のアンテナ効果と自己消光を抑えたランタノイドの局在化が大きく寄与していると考えられる。両親媒性のブロックまたはランダム共重合体、あるいは疎水化多糖が興味ある球状の自己組織化構造をとることが報告されている。紙面の都合で省略せざるをえないが、森島や秋吉らの優れた総説^{35)~37)}を参照していただきたい。

7. おわりに

以上述べた低・中分子量構成単位から高分子系を構築する非共有結合的な合成戦略は、合成に関わるエネルギーを最小化するとともに、最終目的の構造体構築を最大の正確性をもって再現する特徴をもっている³¹⁾。しかも、最近の動向としては、その構成単位(共有結合的合成におけるモノマー分子に相当する)が低分子からより分子量の大きい中³⁸⁾・高分子量化合物へ、単一成分子から分子認識などを利用した複合成分子³⁹⁾へと移りつつある。後者に関しては、君塚の解説^{3a)}を参照していただきたい。こうして複雑な構造を素早く、正確につくる点で非共有結合的合成法は今後ますます興味ある展開が期待できる。なお、今回詳しく述べる余裕がなかったが、高分子の形態そのものが球状である樹状高分子(通常デンドリマーと呼ばれる)は、その特性、集合、応用など、どれをとっても予測不可能な夢をもっている。このデンドリマーについては本号の特集を参照していただきたい。

文 献

- 1) 高分子(1996)4月号, 特集「新構造高分子」を参照
- 2) S.I. Stupp, S. Son, H.C. Lin, L.S. Li: *Science*, **259**, 59 (1993)
- 3) たとえば, a) 君塚信夫: 表面科学, **19**, 237 (1998). b) 君塚

- 信夫, 国武豊喜: 高分子, **45**, 240 (1996). c) 君塚信夫: 表面, **34**, 639 (1996)
- 4) 彌田智一, 松下未知雄: 高分子, **47**, 331 (1998)
 - 5) V. Percec, C.-H. Ahn, G. Ungar, D. J. P. Yeardley, M. Moller, S. S. Sheiko: *Nature*, **391**, 161 (1998)
 - 6) L. A. Weiss, N. Sakai, B. Ghebremariam, C. Ni, S. Matile: *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 12142 (1997)
 - 7) T. Shimizu, M. Kogiso, M. Masuda: *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 6209 (1997)
 - 8) J.-H. Fuhrhop, J. Koenig: "Membranes and Molecular Assemblies: The Synkinetic Approach", The Royal Society of Chemistry, London (1994)
 - 9) F. M. Menger, S. J. Lee: *J. Am. Chem. Soc.*, **116**, 5987 (1994)
 - 10) T. Imae, L. Gagel, C. Tunich, G. Plats, T. Iwamoto, K. Funayama: *Langmuir*, **14**, 2197 (1998)
 - 11) C. Nuckolls, T. J. Katz, L. Castellanos: *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 3767 (1996)
 - 12) D. A. Higgins, J. Kerimo, D. A. V. Bout, P. F. Barbara: *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 4049 (1996)
 - 13) P. Terech "Specialist Surfactants", I. D. Robb, Ed., Chapman and Hall, London (1997), p. 208
 - 14) 伊原博隆, 鉢迫 博, 平山忠一, 山田仁穂: 表面, **32**, 44 (1994)
 - 15) 田村隆光: 表面, **33**, 73 (1995)
 - 16) たとえば, 英 謙二, 白井汪芳: 高分子加工, **45**, 21 (1996)
 - 17) M. de Loose, J. van Esch, I. Stokroos, R. M. Kellogg, B. L. Feringa: *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 12675 (1997)
 - 18) J. van Esch, S. de Feyter, R. M. Kellogg, F. de Schryver, B. L. Feringa: *Chem. Eur. J.*, **3**, 1238 (1997)
 - 19) M. Kogiso, S. Ohnishi, K. Yase, M. Masuda, T. Shimizu: *Langmuir*, **14**, 4978 (1998)
 - 20) T. Shimizu, M. Masuda: *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 2812 (1997)
 - 21) 清水敏美, 増田光俊, 小木曾真樹, 浅川真澄: 高分子論文集, **54**, 815 (1997)
 - 22) 清水敏美: 表面科学, **19**, 222 (1998)
 - 23) P. Yager, P. Schoen: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, **106**, 371 (1984)
 - 24) J. M. Schnur, R. Shashidhar: *Adv. Mater.*, **6**, 971 (1994)
 - 25) B. N. Thomas, C. R. Safinya, R. J. Plano, N. A. Clark: *Science*, **267**, 1635 (1995)
 - 26) F. Giulieri, F. Guilod, J. Geriner, M.-P. Krafft: *Chem. Eur. J.*, **2**, 1335 (1996)
 - 27) M. S. Spector, K. R. K. Easwaran, G. Jyothi, J. V. Selinger, A. Singh, J. M. Schnur: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **93**, 2943 (1996)
 - 28) P. Ringler, W. Mueller, H. Ringsdorf, A. Brissson: *Chem. Eur. J.*, **3**, 620 (1997)
 - 29) T. Shimizu, M. Kogiso, M. Masuda: *Nature*, **383**, 487 (1996)
 - 30) V. S. K. Balagurusamy, G. Ungar, V. Percec, G. Johansson: *J. Am. Chem. Soc.*, **119**, 1539 (1997)
 - 31) S. C. Zimmerman, F. Zeng, D. E. C. Reichert, S. V. Kolotuchin: *Science*, **271**, 1095 (1996)
 - 32) J. C. M. van Hest, D. A. P. Delnoye, M. W. P. L. Baars, M. H. P. van Genderen, E. W. Meijer: *Science*, **268**, 1592 (1995)
 - 33) J. N. Israelachvili, D. J. Mitchell, B. W. Ninham: *J. Chem. Soc. Faraday Trans. 2*, **72**, 1525 (1976)
 - 34) M. Kawa, J. M. Frechet: *Chem. Mater.*, **10**, 286 (1998)
 - 35) 森島洋太郎: 表面, **34**, 672 (1996)
 - 36) 森島洋太郎: 高分子, **46**, 128 (1997)
 - 37) 秋吉一成: 同仁ニュース, No. 185, 3 (1997)
 - 38) 高分子 (1997) 10月号, 特集「中分子の世界」を参照
 - 39) N. Kimizuka, T. Kawasaki, K. Hirata, T. Kunitake: *J. Am. Chem. Soc.*, **120**, 4094 (1998)

掲示板

長瀬科学技術振興財団平成 11 年度助成候補者募集

1. 対象: ①生化学および有機化学等の分野において研究活動を行う研究者・研究機関 ②生化学および有機化学等の分野において研究調査を行う研究者の海外派遣・招聘 (除く留学)
2. 助成期間: 1999 年 4 月～2000 年 3 月末
3. ①研究助成金: 250 万円以内/件, 10 数件
②国際交流助成金: 50 万円以内/件, 10 件程度
4. 資格: 個人またはグループ. 同一内容で他の財団から既に助成金を受けている場合は資格がありません. 報告書の提出が可能な方
5. 締切: 12 月 15 日
6. 交付時期: 1999 年 4 月予定

〒103-8355 東京都中央区日本橋小舟町 5-1

☎03-3665-3021

[550-8668] 大阪市西区新町 1-1-17 ☎06-535-2117

(財)長瀬科学技術振興財団

山田科学振興財団 1999 年度研究援助募集

1. 対象: 自然科学の基礎的研究に対して援助. 実用指向の研究は対象外です.
 2. 選考に当たり特に配慮される点: イ. 萌芽的研究, ロ. 大学に新研究室を創設して間もない場合, ハ. 学際性の豊かな研究, ニ. 国際協力研究
 3. 援助額: 100～500 万円/件, 総額 4,000 万円 (10 件程度)
 4. 締切日: 1999 年 3 月 31 日 (本会締切 2 月 28 日)
※本会より推薦ご希望の方は, 本会選考資料としてコピーを 16 部同封して下さい.
 5. 結果: 1999 年 7 月末
- 〒544-8666 大阪市生野区巽西 1-8-1 ロート製薬 (株)内 (財)山田科学振興財団 ☎06-757-3311
Fax 06-757-3160