高分子と液晶

表示装置として有望なことから、液晶がにわかに時代の脚光をあびていることはすでにご承知のとおりである。不完全きわまる高分子結晶を扱っていた高分子物性の研究者にとって、液晶は何となく親近感を覚えるテーマである。研究室の道具立てもそのまま液晶の研究に役立つものが多いようである。しかし高分子そのものが液晶になることが知られているのは今のところ合成ポリペプチドの α ラセンやDNAの二重ラセンである。一方液晶は生体膜の構成要素として重要な意義をもっているので、この方面からもこれから大いに研究されるであろう。共重合物でスメクチック液晶特有の膜状の構造をとるものも知られている。フィルム状高分子でその表面だけが液晶状態になるようなものができたら利用価値は大きいと予想される。本稿では基礎的性質の入門的な考察を行なうにとどめる。

岩 柳 茂 夫*

1. 液晶の再登場

ここ両3年液晶が科学技術界のトピックスの一つになっているようである。表示装置（具体的には時計の文字板とか壁かけテレビ）としてのエレクトロルミネッセンスに見切りをつけて、それに代わるものとしてRCA社が可能性を探索した対象がこの液晶だということである¹⁾。有機結晶の、ある種のものが融解する前に液晶状態——光学的には異方性でありながら流動性を示す——を経過することが知られたのは古い。*p*-azoxyanisoleとかコレステロールエステルとか液晶となりうる化合物の数は今日では2000を越すといわれている²⁾。古い液晶の研究者のなかにはFriedel³⁾、OseenさらにはW. Bragg⁴⁾らの高分子研究に携さわるわれわれにとってもなじみのある大学者の名前が見え、1920～1930年ころはさぞはなやかな話題をまいたものと想像される。その後最近のブームに至るまでの期間液晶が全然忘れ去られていたかという、そうでもないようで、Faraday SocietyのGeneral Discussionsで、有名なF. C. Frankが液晶に関する一般的な考察を提出したりしている⁵⁾。

2. ネマチック液晶

液晶に3種類あり、それらをネマチック、スメクチック、コレステリックと呼ぶことはFriedel³⁾以来変わっていない。それらの定義とか性質に関しては内外にさまざまな解説がある^{1), 2)}。ここでも液晶のこれら3種の特

Para-azoxyanisole (117～134°C)

APAPA

Anisylidene para-amino phenylacetate
(83～100°C)

第1図 ネマチック液晶となる化合物の代表例二つ

徴から話を始めよう。

いちばん単純なネマチック液晶では、棒状分子が軸方向をそろえて並んでいる（一軸正結晶）が、分子の重心の位置は全く自由に動き得る。第1図に代表的なネマチック液晶物質の構造式を示す。もとよりこの状態が試料全体に保たれるものではなく、細かい多数の勝手な方向にむいたドメインに限定されている（多結晶構造、Swarm）。これに対応して顕微鏡下では糸状の構造を見ることができる。透明電極を塗った2枚のガラス板の間に保持された厚さ10 μ ほどのネマチック液晶はそのままではほとんど完全に透明である。これに1,000 V/cm程度の電場（直流でも交流でもよい）をかけてやると、ドメインが整列、成長して、強誘電体を思わせるような特有なパターンが肉眼でも見えるようになる⁶⁾。配向にはある程度の遅延時間を要するが、液体中の個々の分子が配向するときと異なり、配向はきわめて完全に行なわれる。こうなると光の散乱が激しくなり、試料は不透明となる（文献⁶⁾にはこれと反対の記述がある）。これが表示装置として利用されるところである。電場の強さが

* Shigeo IWAYANAGI 理化学研究所（高分子物理研究室、351 埼玉県北足立郡大和町）主任研究員・理博

High Polymers and Liquid Crystals

第2図 コレステロールの構造式

5,000 V/cm を越すと、ドメイン構造の動揺が見られ、光の散乱はさらに激しくなる (Dynamic scattering mode)⁷⁾。イオンの流れの伴う液晶中の乱流が原因であるとされている。これらの諸現象の解明には、界面の影響と分子軸と電気的雙極子モーメントの方向とのなす角とが大切な因子である。

3. コレステリック液晶

コレステロール誘導体の多くのもので、分子の中央の板状の環状部分(第2図)が互いに平行に並ぶが、その方位が第3図に矢印で示すようにラセン状に変わって行くことがある。ラセン軸に垂直な面内では分子の方位は一定しており、ラセンのピッチ(第3図では 5,500 Å)は板状分子の厚さ(3 Å)に比べて十分大きいので、X線回折などで局所的な分子の配列を見ればネマチック液晶と異ならない。コレステリック液晶のラセンのピッチが無限大となったのがネマチック液晶だと考えられる。コレステリック液晶はラセン軸を軸とする一軸負結晶である。第1図に構造式を示した、コレステロール自身は液晶状態にならない。3の位置の OH 基を置換してハロゲン化物、エステルなどによってのはじめてコレステリック液晶が実現できる。ラセンのピッチは置換

E : ラセン軸, 5,500 Å : ラセンのピッチ, 3 Å : 分子の厚さ
第3図 コレステリック液晶における分子のラセン配列

基 (の体積, flexibility, 雙極子モーメント), 溶媒, 温度, 外部磁場などによって変わる。

コレステリック液晶をラセン軸に垂直の方向から見れば、ラセン軸にそって屈折率が周期的に変わる層状構造と見なすことができる (これと次節で述べるスメクチック液晶の層状構造とは意味も、大きさもぜんぜん異なることに注意されたい)。ラセンのピッチが可視光線の波長程度ならば、この層状構造による光の Bragg 反射を見ることができる。ラセンのピッチがそれより大きければ、この層状構造を顕微鏡下で縞模様として観察することができる。

コレステリック液晶の光学的性質は興味深く、実用的にも大切なものであるが、いずれも分子のラセン的配列に基くものである。その第一は 1 mm あたり数千にも及ぶ大きな光学活性を示すことである。この値は分子内または結晶内の原子の配列に基くショ糖水溶液や水晶の場合の数百倍になっている。第二は白色光の選択的反射による美しい虹色 (iridescent color) である。これはある波長範囲(ラセンのピッチを中心として数百 Å の幅)で円偏光の成分が完全に反射され、もう一方の成分が損失なく透過することに基く現象である。したがってラセンのピッチを変える要因によって液晶の色は鋭敏に変わる。これが液晶の第二の重要な用途 (温度測定, 材料の非破壊検査など) を開くものである。

左から Dr. L.J. Zapas (NBS), Dr. P.S. Marvin (NBS), Prof. D.J. Plazek (Univ. Pittsburgh), 筆者の順, 5th International Congress on Rheology (1968) のときのゲストたちとともに。

岩柳茂夫氏 昭和16年3月東京大学理学部物理学科卒業, 昭和19年理化学研究所に入所し, 高分子物性レオロジーの研究に従事し現在に至る。趣味としたことは多数あるがこれが趣味だといえるものはない。

4. スメクチック液晶

スメクチック液晶では分子は層状の集合状態をとる。各層（膜）の中で分子は層にほぼ垂直で、層の厚さは分子の長さ（またはその2倍）にきちんと定まっている。膜は相互にはすべりやすいが、膜自身は強くできている。ある物質では結晶からネマチック液晶に転移する前にこのスメクチック液晶を経由することがある。顕微鏡下では Grandjean テラスとか bâtonnet（小さな棒）とかいわれる形態がよく見られる。幾何学の助けをかりれば、このように厚さ一定の膜のとりうる形態を一般的に論ずることができる⁹⁾。

円錐面と平面との交りはダ円か双曲線であることは周知の通りである。一つのダ円を通る任意の円錐面の頂点の軌跡を考えれば、それはこのダ円の長軸を通り、ダ円の面に垂直な平面内の双曲線になることは容易にわかる。このようなダ円と双曲線の一組を focal conics という。互いに相手の焦点を通るからである。さてこの両者と交る任意の直線と直交する曲面（群）を考える。こ

第4図 a 紙面に垂直な平面内の円と紙面との交点が B, B' で、多数の同心円が Dupin の cyclide の切口である。

第4図 b 紙面の垂直な平面内のダ円の長軸が B B', 多数の同心円が Dupin の cyclide の切口である。

の Dupin の cyclide といわれる曲面群がわれわれにとって大切なのは、群に属する任意の2曲面は等間隔にあるからである。それでスメクチック液晶がガラス板などにはさまれるときなど、それを構成する分子膜は一般に Dupin の cyclide となる。Dupin の cyclide を宙で頭に画くのはむづかしいかも知れないが、最も簡単な例を考えることはいくらか助けになるであろう。円とその中心を通り、面に垂直な直線は focal conics の特殊な場合である（第4図 a）。この図形を直線 AA' のまわりに回転すれば Dupin の cyclide はこの場合 torus であることがわかる。各分子は radical 方向にあるが、直線 AA' の所で急に向きを変える。一般には第4図 b に示すように AA' は双曲線である。これは顕微鏡下でしばしばお目にかかる図形である。円柱面とか円錐面自体も Dupin の cyclide の特殊な場合である。

5. Lyotropic 液晶

液晶状態を実現する手段は温度変化とは限らない。2成分系にしてやることによって液晶となる物質がある。せっけんとかレシチン（リン脂質の一種）などが古くから知られているその実例である。いずれも水を加えることによってさまざまな集合状態（lyotropic mesophase）を呈する^{9),10)} それらのうち lamellar phase といわれるものなどは典型的なスメクチック液晶である。これまで考えてきた単体の温度を変えて実現できる場合を特に thermotropic mesophase と呼ぶことがある。せっけんやレシチンでは分子が親水性の基と疎水性の基とからできていて（amphiphilic molecule）、これが水と一緒にな

って液晶を形成しうる原因である。

第5図に卵黄レシチンの一主要成分 2, 3-dipalmitoyl phosphatidyl choline (C₁₆) の構造式を示す。卵黄レシチンはこの他にパラフィン鎖の長さの異なるもの（C₁₈）とか、パラフィン鎖に不飽和結合を含むものとかの混合物である。図にはとなりの分子の極性基の部分をも示し、極性基間の結合方式を明らかにしてある。無水（結晶）状態ではパラフィン鎖はジグザグに伸びた形態をとり、2分子が結晶格子の周期をなすものとすれば、それは $2.54 \text{ \AA} \times 21 = 53.3 \text{ \AA}$ となる（この計算では O—P—O とか C—O—C などの結合も C—C—C の結合と同じ長

第5図 2, 3-dipalmitoyl phosphatidyl choline (C₁₆) の構造式

さだとしてしまっている)。レンチンは 45%までは水を含んで均一な液晶相 (lamellar phase) を形成しうる。このとき水は極性基の間に割って入り、分子を図で横の方向に引きはなす。それに伴ってパラフィン鎖がミクロブラウン運動を始めてランダムになるので、脂質層は薄くなる。液晶としての周期も初めは上記の値より小さいが、水が増えれば反対に大きくなる。さらに水を増せば均一な溶液とならず、suspension となる。水はレンチンに対して溶媒ではないのである。

6. 生物体と液晶

生体組織内には液晶状態にあるものがかかなり知られている。液体では組織となり得ず、結晶では融通がきかな過ぎ、生体内の化学反応工場として液晶状態が最も好適なのであろう。生体膜と総称される多くのものはリン脂質、コレステロールと水とから成る lyotropic なスメクチック液晶と考えられる。タンパク質がこれに加わって

第 6 図 卵黄レンチンと水との境にできる
ミエリン構造 (偏光顕微鏡)

実際には複雑な構造を取る。細胞には多種多様の生体膜があることが知られている。はかり知れないその機能のうちそのいくつかはその構成要素たるリン脂質の液晶状態によるものであろうとの予感がある。水と油とは古来混り合わないものの典型として知られているが、この難事を生体内で可能にしているのがリン脂質なのである。

たとえばわれわれの神経せんいは軸索とそれを取り囲む管状の髄鞘 (ミエリン鞘) とから成り、後者は脂質の層とタンパク質の層とが交互に同心円的に配列している。この層状構造の X 線回折による周期は 170~180 Å であり、脂質分子は放射状に並んでいることが知られている。

神経せんいその他ミトコンドリア、葉緑体、細胞核などをアルカリ処理すると構成成分の脂質が管状または球状に突出していわゆるミエリン像をつくるのが光学または電子顕微鏡下で見られる。第 6 図は卵黄から分離精製したレンチンが水と共存するときできるミエリン構造で、レンチンから突出してきた管状構造物が折れ曲ったりねじれたりしているのが見える。この構造中には水が 60% 程度以上含まれている。このような管状構造は前述の通りの cyclide に属する。

細胞内のある場所の化学的組成の変化がスメクチック液晶膜内の配列変化 (振れなど) の波動として伝播して情報伝達を行なうのであろうというような speculation もある¹¹⁾。

7. ブロック共重合物

液晶状態を呈する分子は一般に小さな分子ではないが、さりとて高分子でもない。高分子で液晶となるもの

(a) 層状構造: 溶媒 S はエチルベンゼンなど、

(b) ヘキサゴナル構造: 溶媒 S はニトロメタン

第 7 図 スチレン (A) (実線) と、エチレンオキシド (B) (破線) とのブロック共重合物の集合状態

はないだろうか？ lyotropic なスメクチック液晶が分子の amphiphilic な性質に基くものとするれば、ブロック共重合物 A B の A を疎水性、B を親水性のものとしてやればよいはずである¹²⁾。たとえば A がスチレンブロック、B がエチレンオキシドブロックの A B 共重合物をブチルフタレートとかエチルベンゼンなどの溶媒 (S) と共存させれば lamellar phase (第 7 図 a) を見ることができる (整数比 1 : 2 : 3 : 4 : に並んだ X 線反射)。溶媒を極性の大きいニトロメタンに代えれば、逆に円柱状に集まったスチレンブロックがエチレンオキシドブロックのニトロメタン溶液中で hexagonal な配置をとる (第 7 図 b)。

8. 合成ポリペプチドと DNA

Poly- α -benzyl-L-glutamate (PBLG) などの合成ポリペプチドのヘリックス溶液はある濃度以上で偏光顕微鏡で見られる程度の縞模様を示す。濃度を上げて行けば、縞の間隔は狭くなって見えなくなるが、コレステリック液晶に特有な光学的諸性質を示すようになる。みごとな形態学的、光学的研究によってこれが実際にコレステリック液晶であることを確かめたのが Robinson の研究である¹³⁾。Robinson はさらに DNA や transfer RNA の水溶液でも同様の縞模様を見出し、それらがやはりコレステリック液晶であると考えている¹⁴⁾。

PBLG のヘリックス溶液を数千 gauss の磁場の中に入れておけば、試料全体にわたってヘリックスが配向する。Sobajima はこれを確かめるのに、ヘリックスに伴って配向する溶媒からの NMR シグナル (CH_2Cl_2 で doublet になる) を調べた¹⁵⁾。この配向はヘリックスの反磁性の異方性に基いて液晶ドメインが配向することによるものであろう。benzyl 基の代わりに methyl 基を入れても配向が見られるというから、配向はベンゼン環の反磁性に特有なものとは限らない。配向の原因として反磁性以外のもっと複雑な原因を考える人もある¹⁶⁾。こうして配向した液晶の溶媒を蒸発させれば、配向性のよ

第 8 図 DNA フィルのコレステリック液晶に基づく縞模様

第 9 図 合成ポリペプチドの相変化 (Flory による)

いフィルムが得られる¹⁷⁾。電場による PBLG などの配向も飯塚によって調べられている¹⁸⁾。

9. Flory の考察

液晶状態を呈する物質の大切な特徴の一つは、分子が球対称から著しくはずれているということである。ヘリックスを巻いているということはこの特徴を具えているわけである。このような棒状をなす高分子の相変化に関しては Flory の一般的な考察がある¹⁹⁾。重要な問題にはいつも Flory が登場する！

合成ポリペプチドはヘリックス 溶媒中では、ヘリックスを巻いたまま希薄溶液中に懸濁することができる (II)。これを適当な条件に持ち来たせばランダムコイル (III) に変化させることができる。ヘリックスコイル転移 [3] である。もちろん結晶 (I) を溶解または融解して直接ランダムコイルにすることも可能である [1]。ヘリックス高分子の溶液 (II) は希薄ならば異方性を示さないが、ある濃度 A を越せば相分離を起こし、異方性を示す溶液と溶媒との 2 相になる。長い棒が全くランダムのままであることは、たとえ棒の間の相互作用を考えなくとも不利であることを示したのが Flory である。相分離の際の体積濃度 v_2^* は

$$v_2^* = \frac{8}{\alpha} \left(1 - \frac{2}{\alpha} \right), \quad \alpha \text{ は棒の軸比}$$

で与えられる。この関係式は PBLG についてだいたい成立することが Robinson によって確かめられている。さらに濃度を上げて行けば、ある濃度 (B) で溶媒相が失われて、液晶相のみとなる。

10. Plastic Crystal

有機分子性結晶のあるもの (分子の形が球形に近いもの) では、分子の回転が起こってもなお分子の重心のつくる 3 次元格子は保たれることがある。すなわち回転転移の上の温度の安定な結晶相である。この相は認められるほどの変形を起こすための力が小さいので柔粘性結晶 (plastic crystal) といわれる²⁰⁾。X 線反射の少ない

ことから不規則性の大きいことが知られ、融解のエントロピーが小さく、NMR 吸収線の motional narrowing が著しいことから分子の回転運動が激しいことがわかる。

高分子で plastic crystal の性質を最も著しく示すのは *trans* 1-, 4-polybutadiene である。この結晶は転移点以下では単斜晶系 ($P2_1/a$) で、転移点で六方晶系に変わる²¹⁾。転移点で、1) 多くの X 線反射が消失し、002 に相当する反射だけが残る、2) 弾性率は急激に低下し、弾性損失 $\tan \delta$ は段階的に増大し、3) MNR 吸収線の二次モーメントは 12 gauss² から 3 gauss² へ低下し、4) 固相転移のエントロピーは 5 cal/deg·mol で、これはむしろ *trans*-polyisoprene の融解のエントロピーとほぼ等しい。転移点で結晶の *c* 軸の長さが著しく短縮することから、ここで始まる分子運動が単なる棒状回転だとは考えられない²²⁾。

テフロン[®]の室温転移でも同様なことが起きているが、上の場合ほど激しくない。NMR 二次モーメントの低下は 10 から 6 gauss²、相転移のエントロピーは 1.5 cal/deg·mol である。

11. 言葉の問題

液晶 (liquid crystal) ということをはきらって代わりに mesophase (中間相) という人がある。liquid crystal という言葉に矛盾を感じるか否かは人の好みによるものと思われる。paracrystal をこれらと同義語として使用している例を文献中に見かけるが、この方はさけた方がよいのではなからうか？ 液晶は確かに paracrystal ではあるが、paracrystal はもっと広く流動性のほとんどない場合も含むからである。

線型高分子の結晶を考えよう。単位のくり返しは規則正しく、軸はまっすぐに伸びていて (たわみがなく) 互いに平行であるとする (棒状分子)。第 10 図では分子はジグザグに結合された棒で現わされている。このような場合分子の配列に 3 種の disorder が考えられる²³⁾。

第 10 図 棒状分子 (太いジグザグ線) の配置を定めるパラメーター (Vainshtein による)

- 1) 軸方向の変位の乱れ (ずれ), その分布を $\tau(z)$
- 2) 各分子の方位角 ψ の乱れ (回転), その分布を $f(\psi)$

3) 各分子の *ab* 網平面の格子点からのはずれ (網目のひずみ), その分布を $W(x, y)$ とする。

網目のひずみには 2 種類ある。第 1 種のものでは各格子点のまわりの分子の存在確率はその格子点からはなれるに従い小さくなるが、どの格子点についても同一であり、long range order があるといわれる。第 2 種のものでは統計的な平均分子間距離 $\bar{a}$, $\bar{b}$ は考えられるが、試料全体にわたって格子を形成していない。この液体的な場合は short range order しかないといわれ、Hosemann はこのような結晶を paracrystal といっている。ポリアクリロニトリルがその代表的な例の一つである²⁴⁾。

ネマチック液晶では棒状分子の方位に関してだけは結晶的な秩序があるが、他の自由度に関しては第 2 種の disorder あるいは全く random である。このことを記号的に $\infty \tau_{\infty} W(x, y)$ と書き表わすことができる。ここで最初の ∞ は分子の方位角が全くランダムであることを、次の τ_{∞} はずれが全くランダムであることを示す。

これに対してスメクチック液晶は $\infty c \tau(z) W(x, y) / 2$ と書き現わされる。ここで c は軸方向のくり返し周期で、最後の 1/2 は *z* 軸に垂直な対称面があることを示している。

ネマチック液晶が棒状分子の方位に関してだけ秩序があったが、plastic crystal では逆に分子の方位が全くランダムになっている。

メルトから急冷した isotactic ポリプロピレンは、はっきりした X 線反射を示さないが、赤外吸収は熱処理した試料と変わりはない²⁵⁾。このことは急冷試料でも分子は 3₁, ラセンを巻いているが、分子の配列が横方向に規則性がないことを示している。Natta²⁶⁾ はこの相をスメクチック相といった。これはラメラ構造をとっているからであろうか？ paracrystal といった方が適当だったのではないだろうか？

おわりに

高分子で液晶状態を示す実例を二三述べた。ここに述べた限りではそれらは特異なケースであるかも知れない。しかし高分子固体物性の研究者にとって液晶状態はとりつきやすい研究テーマである。高分子結晶は理想的結晶からほど遠いこと液晶と同様であり、研究手段もしたがって共通なものが多いからである。本稿で研究のディテールにまで立ち入ることはできなかったが、不完全な結晶としての高分子と液晶とを考察してみた次第である。

文 献

- 1) 小林駿介, 広瀬竹男: エレクトロニクス, **14**, 545, 804 (1969); 野村貞夫: 物性, **10**, 385 (1969); 舩林成和, 松山礼子: 物性, **11**, 46 (1970); 古畑, 野村, 鳥山: 固体物理, **4**, 242 (1969)
- 2) 総合報告の詳細なものにはやや古いが次のものがある。G.H. Brown, W.G. Shaw: *Chem. Rev.*, **57**, 1049 (1957); G.W. Gray: *Molecular Structure and the Properties of Liquid Crystals* (1962, Academic Press, London)
- 3) G. Friedel: *Ann. Phys.*, **18**, 273 (1922)
- 4) G. Bragg: *Nature*, **133**, 445 (1934)
- 5) 次の論文集には最近の有用な研究成果が多数含まれている。Configurations and Interactions of Macromolecules and Liquid Crystals (General Discussions of the Faraday Society, Vol. 25, 1958); Ordered Fluids, and Liquid Crystals (American Chemical Society, 1967); G. H. Brown, G. J. Dienes, M. M. Labes: *Liquid Crystals* (Proceedings of the International Conference on Liquid Crystals, Kent Univ. Aug., 1965, Gordon and Breach)
- 6) R. Williams: *J. Chem. Phys.*, **39**, 384 (1963); R. Williams, G. Heilmier: *J. Chem. Phys.*, **44**, 638 (1966)
- 7) G. H. Heilmier, L. A. Zanoni, L. A. Barton: *Proc. IEEE*, **56**, 1162 (1968)
- 8) ランダウ, アヒエゼール, リフシツ, 物理学 (小野, 豊田訳, 1969, 岩波書店) p. 224
- 9) V. Luzzati, T. Guilik-Krzywicki, A. Tardieu: *Nature*, **218**, 1031 (1968)
- 10) H. Lecuyer, D. G. Dervichian: *J. Mol. Biol.*, **45**, 39 (1969)
- 11) J. L. Fargason, G. H. Brown: *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **45**, 120 (1968)
- 12) A. Skoulios, G. Finaz: *J. Chim. Phys.*, **59**, 473 (1962); G. Tsouladze, A. Skoulios: *J. Chim. Phys.*, **60**, 626 (1963)
- 13) C. Robinson et al.: *Trans. Faraday Soc.*, **52**, 571 (1955); **54**, 29 (1957); *Tetrahedron*, **13**, 219 (1963)
- 14) C. Robinson, J. C. Ward: *Nature*, **180**, 1183 (1957)
- 15) S. Sobajima: *J. Phys. Soc. Japan*, **23**, 1070 (1967)
- 16) 鈴木英雄, 三好博泰: 物理学会誌, **24**, 539 (1969)
- 17) E. T. Samulski, A. Tobolsky: *Macromolecules*, **1**, 555 (1968)
- 18) E. Iizuka: *Rep. Progr. Polymer Phys. Japan*, **12**, 541 (1969)
- 19) P. J. Flory: *J. Polymer Sci.*, **49**, 105 (1961)
- 20) J. G. Aston: *Physical Chemistry of the Organic Solid State*, vol. 1 (1963) Chapt. 9
- 21) S. Iwayanagi et al.: *J. Macromol. Sci.*, **32**, 163 (196)
- 22) S. Iwayanagi et al. *Rep. Progr. Polymer Phys. Japan*, **8**, 303 (1965); **9**, 197 (1966); **11**, 339 (1968); **11**, 255 (1968)
- 23) B. K. Vainshtein: *Diffraction of X-rays by Chain Molecules* (Elsevier, Amsterdam, 1966)
- 24) R. Hosemann, P. H. Lindenmeyer: *J. Appl. Phys.*, **34**, 42 (1963)
- 25) R. L. Miller: *Polymeyr*, **1**, 135 (1960)
- 26) G. Natta et al.: *J. Am. Chem. Soc.*, **77**, 1708 (1955)

高分子学会の英文原報雑誌

Vol. 1, No. 3 発売中

Polymer Journal の3号が発行されました。3号掲載論文の内容は、本誌8月(221号)前付グリーンページにあります。

論文(Full Paper と Short Communication)の投稿も受け付けております。「投稿への注意」「Polymer Journal 執筆要領」を熟読のうえ、奮って投稿されるようお励めします。

「購読申込書」は学会事務局に用意してあります。希望者は会員課 P J 購読係に氏名・送付先を明記してお申し込み下さい。

104 東京都中央区銀座5-12-8 本州ビル4階

社団法人 高分子学会

電話 東京 (03) 543-3771 (代表)