Review

ポリエチレンテレフタレート繊維の構造と物性に関する最近の研究動向

近 田 淳 雄

1. はじめに

1974年以降、差別化素材あるいは機能性繊維(中空繊維、制電性繊維、極細繊維、複合繊維、シルクライク繊維、マイクロボラス繊維)製造技術の成熟、POY、SDTY、超高速紡糸技術の進歩など、応用研究の面ではいくつかの成果が脚光を浴びている。一方基礎的な研究の面では、ESCAなど新しい分析、測定法の実用化、小角X線及び中性子散乱などの非晶構造解析への応用、動的粘弾性による非晶領域の質的評価、光散乱による高次構造の検討、ラマン散乱、赤外吸収スペクトルの配向評価への応用などにより、構造についての詳細な議論が行われるようになっている。しかし、1960年代における折たたみ構造の提案、画期的な測定法の開発といった目を見張るような成果はあがっていない。強いて言えば結晶に代って非晶領域が問題になった時代であると言える。

差別化素材、機能性繊維、測定法などについては、すでに特集があるので、ここでは地味な研究分野を取上げ、主にポリエチレンテレフタレート(PET)繊維の構造、熱的性質、変形機構(配向変化)、粘弾性などに関する研究を紹介し、溶剤処理については題名をつけた文献のみを記載することにした。

2. PETの固体構造及びアニール

2.1 繊維構造及びアニールの影響

繊維構造に関しては、長周期の存在、結晶弾性率と試料の弾性率との相違などにより、非晶領域と結晶領域とが繊維軸方向に交互に配列していることに異論を唱える報告は見当たらないが、結晶と非晶との境界、非晶鎖の状態については多少異なったいくつかの見解が報告されて

いる。

Prevorsekら¹⁾は図1のような繊維構造モデルを提出している。このモデルはPeterlin^{2,3)}がナイロンなどの構造として提出したものとほぼ同じであるが、熱収縮機構と結びつけた点で新鮮味がある(後述)。ただしPeterlinの場合はマイクロフィブリルが集合してマクロフィブリルを形成していると考えている(図2)。これに対し、Fischer, Fakirovら^{4,5)}は結晶のモザイク・ブロック構造を考え、結晶の間(横方向)にある乱れた領域は結晶の欠陥(ブロックの境界)であると主張し、フィブリルの存在を否定している。このモデルはHosemannの考え方に

図1 Prevorsekのモデル

図2 Peterlinのモデル

The Recent Trend of Researches for the Structure and Properties of Poly(ethylene Terephthalate) Fibers

ATSUO KONDA

Faculty of Textile Science and Technology,
Shinshu University, Ueda City, Nagano Pref.,
Japan

信州大学繊維学部 教授(工博)

そったものである⁶⁾。そして、tie分子は少ないこと、アニールにより面間隔及び結晶化度は変化せず、密度の増大は欠陥の減少により結晶の密度が完全結晶の密度 $1.515^{57)}$ に近づくためであること、広角X線から求められる結晶の大きさはブロックの大きさであることなどを報告している。しかしDSCから求めた結晶化度を正しいものとしている点に問題がある。なお、Alfonsoらもアニールによる密度、DSC曲線の変化、及び結晶化機構に関する研究の中で^{7,8)}、ブロック構造を考慮しており⁷⁾、Haase, Hosemannらもモザイクブロックの存在を支持している⁹⁾。一方、ポリエチレンの単結晶でもモザイクブロック構造が考えられているが、これは乾燥時の変形によって生じたもので、サスペンションの状態では存在しないと報告もある¹⁰⁾。

Casey¹¹⁾は幅を一定にして延伸したPETフィルムの結晶の大きさは(a , b 軸方向)小角X線散乱から求めた散乱体(フィブリル)の幅に等しいこと、散乱体の幅は横方向の弾性率に関係し、延伸中期における(T05)の選択的配向は引張強度に影響を与えることなどを示している。またHindelehら¹²⁾はGaussian分布とCauchy分布とを組合わせて広角X線回折における各結晶面のピークを分離し、結晶化度、結晶の大きさを求めている。アニール温度を変えても面間隔が変わらないとする前記Fischerら⁴⁾の結果を批判し、一方、結晶化度の小さい試料ではReimschuessel, Prevorsek¹³⁾らの擬フィブリル構造の存在を認めているが、この報告におけるPETの結晶化度85%という値には疑問を感じる。

糸山¹⁴⁾は熱処理による広幅NMRの変化はStatton¹⁵⁾の構造モデルで説明できることを示している。また熱収縮試料の構造をX線、アミン処理により検討した報告⁷¹⁾、高温アニールにより固相重合が起こることを示した報告¹⁶⁾もある(tie分子については4.3参照)。

2.2 無配向試料の結晶化及び結晶化試料の構造

Aharoniら¹⁷⁾は分子末端にフェニル水銀をつけたPETの溶液結晶化物における分子鎖末端はほとんど非晶領域に存在すること、分子鎖は5回のfoldのうち1回は非晶部に飛びだしていることなどを示し、Palysら¹⁸⁾は溶液から製膜したガラス状態のフィルムを用いて結晶化のmicrokineticについて実験考察し、2次核形成のメカニズム(拡散が支配的)、成長の限界速度について論じている。また結晶化に及ぼす核形成剤^{19,20)}の影響についての報告もある。またSynchrotron radiationを用いて、結晶化過程の長周期変化(減少)を測定した報告¹⁴⁹⁾もある。その他、低温結晶化の場合、総状ミセル構造をとるとの見解もあったが、最近ではfold構造をとるとの報告が多く^{21,22)}、PETではないが、結晶表面のfold²³⁾。結

晶と非晶との境界²⁴⁾、非等温結晶化⁶⁸⁾に関する文献もある。

2.3 非晶構造

2.3.1 繊維(配向試料)の非晶構造(4.3参照)

前述のようにPrevorsekら¹⁾は2種類の非晶領域を考えているが、Harisonら²⁵⁾、Valkら^{26,27)}はX線により結晶、等方的非晶、配向した非晶(中間領域²⁸⁾)の3領域の量を求め、この3相構造は動的粘弾性にも反映すること、高温アニールによる配向非晶鎖の緩和、染料吸着量の増加、 T_g の低下などについて考察している²⁸⁾。しかし E' に対する昇温過程での結晶化の影響を見落しており、 T_g 、非晶状態に関する考えは植松²⁹⁾、その他^{30,31)}と同じである。またNMRも同様な結果を与えている¹²⁵⁾。さらに、Deopuraら³²⁾は弾性率、強度、その他の物性が中間領域の量と直線的な関係にあることを報告しているが、Guptaら³³⁾は中間領域の量と非晶配向度とはよく対応し、非晶配向度と機械的性質との関係を考える限り、3相モデルは2相モデルと同じことになるといっている。またPOYについて結晶化度、結晶化指数、disorderパラメータ、中間領域の分率を求めた報告³⁴⁾、アニールによる結晶の成長、高温アニールにより非晶も大きくなることを示した報告もある³⁵⁾。

2.3.2 熔融急冷物及び溶液成型物の非晶構造

A. nodule構造その他: バルク非晶ポリマーの構造として広く認められていたFloryらによるランダムコイルモデル^{36,37)}に対し、1967年、Geil, Yehらはある程度規則的に配列した分子鎖からなるnoduleモデル及びfolded-chain fringed micellar grainモデルを提出し、注目の的となった^{38~40)}。しかし1970年代後半になると、次に示すような否定的な見解が多く発表され、現在noduleモデルは非晶固体の構造モデルとして認められていない。①PMMA及びPCの光散乱を温度を低下させながら測定したが、nodule構造発生に相当する変化は認められなかった⁴¹⁾。②多くの非晶性ポリマーについて小角X線散乱の絶対強度及び散乱角依存性を調べたが、nodule構造からの散乱としては説明できなかった⁴²⁾。また小角中性子散乱から求めた分子鎖の拡がりは何れも θ 溶媒中での値に等しかった^{43,44)}。③Geilらと同様な手法を用いて非晶ポリマーの薄膜を電顕で観察した結果、イ)高倍率にするとPepper and Salt構造(粒状構造)が見られるが、これは電顕のいたずら(対物の開口が有限であることによる)であること、ロ)焦点をずらしてみるとnoduleに似た構造が観察されるが、焦点を合わせれば消えること、などが分った⁴⁴⁾。④結像理論を検討した結果、暗視野像における明るい部分は実在の構造を表わすものではないことが分った⁴⁵⁾。

しかし鎖のショートレンジの秩序性については色々議論があり^{47,48)}結論はでないようである。

Kaempf らは⁴⁹⁾延伸PET フィルムをアルゴン高周波エッチングすると、れんがを積み重ねた構造(1000~2000 Å)が発生し、これは非晶構造に関係があると主張しており、類似の結果はGrosskurth⁵⁰⁾によっても得られている。またPETをアルカリ処理すると無配向試料では数千Åの不規則な球状凹みが、延伸試料では不規則な楕円状凹みが発生するが¹¹⁶⁾、この場合は必ずしも構造単位を反映していない。

B. 非晶鎖の分子形態及び凝集状態:最近、山下ら^{51,52)}は、PET(非晶固体)分子鎖のトランス分率が彼等の考えている分子鎖形態のトランス分率と一致すること、低温結晶化により球晶が発生し、とくに溶剤処理では急激に結晶化するので、分子鎖は大きな運動を伴わずに結晶化すると考えられること、結晶と非晶との間に密度差があまりないこと、などを理由に“PET非晶固体の構造は、融液の冷却過程で irregular fold のまま固化し、折たみ鎖中に Kink 形態の入った準安定な凍結構造である”と言っている(図3)。論拠は間接的なものが多いが、注目すべき研究の一つであろう。また笹野、河合ら²²⁾もPETの低温結晶化について考察し、Yehの二相モデルに近い非晶構造を想定しており、Hagege⁵⁴⁾は種々の期間経時変化させたPOYのDSC曲線に現われる T_g 付近のピーク温度が経過時間とともに高くなることなどを理由に、このピークはmesomorphic相の融解によるものとし、70℃の転移を1次転移とみなしているMiller⁵⁵⁾の見解を支持している。

これに対しItoら⁵⁶⁾は、 T_g 以下の熱処理で非晶鎖の充填状態が改良されて T_g は高温にずれるが、その後の結晶化過程には影響を与えないこと、 T_g 以上(80℃)で再熱処理すると T_g は低下することなどを理由に、Yehら

図3 山下のキンクコンホメーション (TTGTG)

の2相モデルを支持する上記Millerの見解を否定している。

2.4 結 晶

Fakirovら⁵⁷⁾は改めてPETの格子定数を決定し、①完全結晶の密度はBunnの値より約4%大きく1.515であり、②Bunnとの相違は分子鎖に含まれるジエチレングリコールの割合によるのではないかと述べている。しかし回折ピーク分離の問題があるとの意見もある¹²⁾。

Bhattら⁵⁸⁾は延伸により α の値が変化することを示したが、Casey¹¹⁾は延伸初期において($\bar{1}05$)の選択的配向を考えれば α の変化を考える必要がないと主張している。その他、表面と内部との構造の相違を指摘した報告⁵⁹⁾、Rulandの方法により結晶化度及び格子欠陥を測定した報告¹⁴²⁾もある。

3. PETの熱的性質

3.1 DSC (T_g については2.3.2参照)

川口、十時ら^{60,61)}はナイロン6繊維の非晶分子鎖間に架橋結合を作り、昇温時の構造変化を抑制してDSCを測定するとダブルピークは表われず、試料の真の融解挙動が観察されること、及び熱収縮、結晶表面分子鎖の融解エントロピー、tie分子も融解挙動に影響することを論じている。PETについてもDSCに表われるダブルピークの高温側ピークは一度融解した後再結晶化した領域を含むとの見解はすでに示されていたが、この考え方を実証した点で意義は大きい。Groeninckxら⁶²⁾も無配向等温結晶化PETの構造とDSCとの関係について考察し、同様な結論を得ている。またアニール前の熱履歴の影響についても考察している。

Fakirovら⁶³⁾は、熱処理温度に相当する吸熱ピークは試料の配向度に影響されるが、これは配向試料の結晶化速度が非常に速いためであると主張し、Berndtら⁶⁴⁾は加工工程で短時間処理された試料のDTA曲線から effectiveな処理温度を推定できることを示している。

Deopuraら⁶⁵⁾はX線により求めた配向試料の結晶及び中間領域の分率の和とDTA融解ピークの面積との関係は直線になることを示し、Mehtaら⁶⁶⁾は無配向PETの平衡融点、融解によるエンタルピー、エントロピー及び体積の変化を改めて測定し、それぞれ553°K, 2.69 kJ/mol, 48.6 J/deg/mol及び16.9 cm³/molの値を得ている(結晶の密度を1.515として)。その他、熱分解⁶⁷⁾、高圧下で結晶化、アニールしたPETの融解⁶⁸⁾に関するもの、DSCには触れていないが、繊維の融解過程を偏光顕微鏡で観察し、一部融解後も高温までフィブリル状組織が残ることを示した報告⁶⁹⁾もある。

3.2 熱収縮及び熱応力

あまり高温でなければ、まず非晶鎖がゴム弾性的に配向を低下させ、次に fold 構造が発生する(後者の過程では長さ変化はない)というのが PET の熱収縮に関する一般的な解釈である⁷⁰⁾。しかし構造の再編成のため、かえって分子鎖は緊張されるという報告もある^{71,72)}。一方 Prevorsek¹⁾は図1のモデルを仮定して PET の熱収縮による長周期、配向度、結晶化度の変化を測定し、①約10%までの収縮はマイクロフィブリルの収縮によること、②10~38%の収縮ではマイクロフィブリルの相対的変位が起こるが、収縮の大きな試料では部分融解、再結晶化を伴うため、収縮試料の切断伸度は収縮量からの推定値より小さくなることを示した。また毛細管の中で POY の熱収縮を測定し、POY の自然延伸比との関係を考察したものもある⁷³⁾。

Bhatt ら⁷⁴⁾は収縮応力及び非晶領域の複屈折度と延伸比との関係はゴム弾性理論に従うことを示し、北沢ら⁷⁶⁾は POY 及び加工糸の熱応力特性が仮換加工における適性加工条件の設定、異常糸のチェック、加工機械の設計に利用できることを示している。また Buchanan ら⁷⁶⁾も熱応力は加工時の熱履歴を反映すること(すでに1960年代に淵野らによる報告がある)を示し、Batra⁷⁷⁾は、PET の熱応力は熱膨張のため冷却時に増加するが、ナイロンでは増加しないと言っている。その他、緩和により複屈折が低下した試料でも、熱収縮、熱応力は低下しないという報告⁷⁸⁾、等温収縮曲線のマスターカーブについての報告⁷⁹⁾、二軸延伸フィルムの寸法安定性と機械的性質の異方性に関する報告⁸⁰⁾もある。

3.3 ガラス転移温度(2.3.2参照)その他

Chao⁸¹⁾はディラトメトリーによって求めた T_g 及び自由体積と PET の分子量、extrusion 時の冷却速度、延伸、アニールなどとの関係について報告し、 T_g 以下での2次転移の可能性について論じている。また T_g の理論的研究⁸²⁾、 T_g と退色性⁸³⁾、ガス透過⁸⁴⁾との関係、ガスクロによる T_g の測定⁸⁵⁾、各種転移、緩和(融点、ガラス及びガンマー)⁸⁶⁾などに関する報告がある。

4. PET 繊維及びフィルムの変形機構と機械的性質

4.1 変形による配向変化

配向変化については Ward を中心とする研究グループの報告が目立っている。Nobbs ら^{87~89)}は一軸延伸テープの配向度($\cos^2 \theta$, $\cos^4 \theta$)を偏光蛍光法、複屈折度、X線回折、偏光ラマン、赤外二色性など、Cunningham⁹⁰⁾らは偏光赤外により求め、これらの値がゴム状網目構造の変化を仮定して計算した値と一致することを示している。

また広幅 NMR によりグリコール残基(トランス、ゴーシュ)の配向についても論じている⁹¹⁾。さらに Hutchinson らは一軸延伸フィルムを変形すると、降伏点まではグリコール残基に弾性ひずみが集中すること、降伏点以後、構造は再編成されてテレフタレート残基の配向も進み、それ以後の変形は塑性変形に対する連続体モデルで説明できることを示し(赤外)⁹²⁾、2軸配向(ラマン、赤外)についても報告している⁹³⁾。その他、ネック(冷)延伸及び均一(温)延伸による複屈折度の変化とゴム状網目構造あるいは連続体モデルによる計算値とを比較した報告もある⁹⁴⁾。温延伸については従来の考え方と変る所はない⁹⁵⁾。

Purvis ら⁹⁶⁾も Laser-Raman Spectroscopy により $\overline{\cos^2 \theta}$, $\overline{\cos^4 \theta}$ などを求め、Wu ら⁹⁷⁾は二重配向試料の変形機構を小角及び広角 X 線によって研究している。また結晶及び非晶鎖セグメントの配向変化を詳細に検討した坂口、河合⁹⁸⁾、その他¹²²⁾の報告もある。

4.2 固有複屈折度及び赤外吸収スペクトル

結晶の固有複屈折度は、栗山 0.217^{*99)}、池田 0.253^{*100)}、岡島 0.220¹⁰¹⁾、Patterson 0.227¹⁰²⁾、Kunugi 0.251^{*}及び 0.24¹⁰³⁾、Gupta 0.29¹⁰⁴⁾、非晶の固有複屈折度は Gupta 0.20¹⁰⁴⁾、Harget 0.410¹⁰⁶⁾、Biangardi 0.2688¹⁰⁶⁾、河合 0.2054^{*122)}(^{*}印は理論値)など様々で結論はでない。分子間相互作用あるいは internal field、形態複屈折の影響、ボンド分極率の値など未解決の問題が残されており、早急な解決が望まれる。

赤外吸収については、結晶化の影響¹⁰⁷⁾、繊維試料の測定法¹⁰⁸⁾などのフーリエ変換赤外スペクトロスコピーによる検討、重水素化を利用した検討¹⁰⁹⁾が行われている。

4.3 変形機構及び強度

Kuksenko ら¹¹⁰⁾は配向した結晶性ポリマーにおける試料のひずみと長周期変化との関係は分子間力の大きさ、変形の不均一性の程度に依存すること、tie 分子の数は結晶鎖の 1/4~1/7 であるため試料ひずみの大部分を tie 分子が分担することなどを示している。Prevorsek ら¹¹¹⁾は結晶と直列に並ぶ非晶領域を欠陥(クラック)とみなし、破断時間、疲労寿命と欠陥部の応力集中、破断面の表面エネルギーなどとの関係について考察している。また、PET ではないが、変形に伴う分子切断を ESR で測定した研究も多く¹¹²⁾、成沢ら¹¹³⁾は繊維の強度と破壊に関する総説の中で Zhurukov や Peterlin の仕事(マイクロクラックの生成)を紹介している。

その他、温延伸による構造変化を光散乱像(滑り線及び応力集中パターン)の変化から論じたもの¹¹⁴⁾、横じま発生(不均一変形)¹¹⁶⁾、変形帯の構造¹¹⁶⁾、引掛強度¹¹⁷⁾、衝撃試験¹¹⁸⁾などに関する報告がある。

4.4 粘弾性

上出, 真鍋ら^{119~121)}は, Rouse-Tobolsky and Alkonis 理論から求めた $\tan \delta$ -温度曲線と実測の曲線との相違は非晶鎖充填度の不均一性にあるとして, 結晶性高分子の非晶状態を表わすパラメータ(充填度など)を実測の $\tan \delta$ -温度曲線から求めている。 $\tan \delta$ -温度曲線の広がり, ピーク温度などを問題にしていた従来の方法から一歩前進し, 非晶状態の定量化, 異種高分子間の非晶状態の比較を可能にした(アクリル繊維のデータが多い)。

Yoshihara, Kawai らは¹²²⁾, 配向度の異なる PET の動的粘弾性の温度及び周波数依存性を調べ, α , β , γ 各緩和機構(第 j 機構)について考察した。その結果, ①積分緩和強度 $J E_j$ と分子配向との相関が最も高く, ②非晶分散と見なされている β 分散は結晶高次組織の配向緩和にも関係があること, ③ α_1 は結晶 α 軸まわりの結晶粒の回転に関係があることなどを明らかにしている。また松本らも二軸延伸した PET の動的粘弾性を測定し, E' 及び β 分散と配向度との関係¹²³⁾について考察している。その他, 微細構造と緩和弾性率に対する熱履歴の影響を述べた報告もある¹²⁴⁾。

4.5 その他

シリコンオイル中で熱処理した PET 繊維の屈折率, 結晶化度, 荷重伸長曲線¹²⁵⁾, 熱処理による構造, 動的粘弾性, 荷重伸長曲線の変化¹⁴⁴⁾, 降伏挙動, DSC に対する aging 効果¹⁴⁵⁾, 及びグリコール部の炭素数を増した場合の物性変化¹²⁷⁾, などに関する報告, 弾性率には, 非晶鎖の配向以外に結晶サイズ及び tie 分子も影響することを示した報告¹²⁸⁾, 高圧押出しで作った PET の物性に関する報告¹²⁹⁾がある。

5. そ の 他

(溶剤処理の文献は最後にまとめてある)

① 配向の繊維内分布(層構造): 高速紡糸繊維は急冷下で延伸されているため内部の複屈折度は表面層に比べて小さく¹⁴⁰⁾, この分布の測定法が報告されている¹³⁹⁾。また単繊維内の局所的な分子鎖配向状態及び結晶化度を求める方法についての報告もある¹⁴¹⁾。

② 構造と染料の拡散・収着との関係を論じた報告¹³⁰⁾, 双極子モーメント¹³¹⁾, Brillouin 散乱¹³²⁾, 中性子非弾性散乱¹³³⁾, 光電導¹³⁴⁾, 熱ルミネッセンス¹³⁵⁾, 誘電率¹³⁶⁾, コロナ処理¹³⁷⁾, 超音波処理¹⁴⁶⁾などに関する報告もある。

6. お わ り に

以上, 1974~1980(1981 は一部)年の英文, 和文の文献を中心に紹介した(独文ではオリゴマー, 品質評価へ

の応用に関する研究が目を引いたが割愛し, また加工系の物性についても多数の文献を用意したが削除した)。

多くの文献に目を通したが, fold 構造の存在は確かであり, また大部分の機械的性質は総状ミセル構造でも説明できる¹¹⁸⁾。これは総状説が機械的性質, 膨潤挙動に関する多くのデータからの帰結であったことを考えれば当然であるかも知れないが, tie 分子を考えたラメラ構造との間に本質的な差異はないようにもみえる。繊維構造の中の fold 構造, tie 分子に的を絞った研究の発展が望まれる。

あわただしく整理を行ったため, 多くの見落としがあることと思う。ご指摘いただければ幸である。

文 献

- 1) D. C. Prevorsek, G. A. Tirpak, P. J. Harget and A. C. Reimschuessel, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B9**, 733 (1974)
- 2) A. Peterlin; *The Solid State of Polymers* (Ed. by P. H. Geil, E. Baer and Y. Wada), Marcel Dekker, New York, p. 83 (1974)
- 3) A. Peterlin, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B8**, 83 (1973); *Intern. J. Fract.*, **11**, 760 (1975)
- 4) E. W. Fischer, S. Fakirov, *J. Mater. Sci.*, **11**, 1041 (1976)
- 5) S. Fakirov, E. W. Fischer, R. Hoffmann and G. F. Schmidt, *Polymer*, **18**, 1121 (1977)
- 6) R. Hosemann, *Polymer*, **3**, 349 (1962)
- 7) G. C. Alfonso, E. Pedemonte and L. Ponzetti, *Polymer*, **20**, 104 (1979)
- 8) G. C. Alfonso, M. P. Verdon and A. Wasiak, *Polymer*, **19**, 711 (1978)
- 9) J. Haase, R. H. Hosemann and H. Cackovic, *Polymer*, **18**, 743 (1977)
- 10) S. M. Aharoni and P. J. Harget; *J. Polym. Sci.*, **18**, 829 (1980)
- 11) M. Casey, *Polymer*, **18**, 1219 (1977)
- 12) A. M. Hindeleh and D. J. Johnson, *Polymer*, **19**, 27 (1978)
- 13) A. C. Reimschuessel and D. C. Prevorsek, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 485 (1976)
- 14) 糸山国義, 高分子論文集, **23**, 741 (1976)
- 15) W. O. Statton, *Am. Dyestuff Repr.*, **54**, 314 (1965)
- 16) 清造, 大東, 織学誌, **35**, T-328 (1979)
- 17) S. M. Aharoni and P. J. Harget, *J. Polym. Sci. Phys. Ed.*, **16**, 159 (1978)
- 18) L. H. Palys and P. J. Phyllips, *J. Polym. Sci. Phys. Ed.*, **18**, 829 (1980)
- 19) I. Gutzow, V. Dochev, E. Dancheva and K. Dimov, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 1155 (1978)
- 20) W. Przygocki and A. Wlochowicz, *J. Appl. Polym. Sci.*, **21**, 2683 (1977)

- 21) 山下, 物延, 織学誌, **37**, T-91(1981)
- 22) 笹野, 小川, 河合, 織学誌, **33**, T-575(1977)
- 23) E. A. Dimarzio and C. M. Guttman, *Polymer*, **21**, 733 (1980)
- 24) E. A. Dimarzio, C. M. Guttman and J. D. Hoffman, *Polymer*, **21**, 1379 (1980)
- 25) I. R. Harison and J. Runt, *J. Polym. Sci.*, **14**, 317 (1976)
- 26) G. Valk, G. Jellinex and U. Schröder, *Text. Res. J.*, **50**, 46 (1980)
- 27) G. Valk and K. Bunthoff, *Chemiefasern Textilind.*, **29/81**, 334 (1979)
- 28) W. L. Lindner, *Polymer*, **14**, 9 (1973)
- 29) 植松, 植松, 高化, **17**, 22(1960)
- 30) 三石, 土浪, 織学誌, **20**, 140(1964)
- 31) 近田, 渡辺, 藤野, 小野岡, 我妻, 織工試研究報告, No.68, 25(1964)
- 32) B. L. Deopura, T. B. Sinha and D. S. Varma, *Text. Res. J.*, **47**, 267 (1977)
- 33) V. B. Gupta and S. Kumar, *Polymer*, **19**, 953 (1978)
- 34) M. Sotton, A. Arniaud and C. Rabourdin, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 2585 (1978)
- 35) R. Huisman and H. M. Henvel, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 943 (1978)
- 36) P. J. Flory, *J. Macromol. Sci. Phys.*, **B12**, 1 (1976)
- 37) D. Y. Yoon and P. J. Flory, *Polymer*, **16**, 645 (1975)
- 38) G. S. Y. Yeh, *Crit. Rev. Macromol. Chem.*, **1**, 173 (1972)
- 39) G. S. Y. Yeh, P. H. Geil, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B1**, 235 (1967); **B6**, 465 (1973)
- 40) P. H. Geil, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B12**, 173 (1976)
- 41) G. Patterson, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B12**, 61 (1976)
- 42) A. L. Reinninger, G. G. Wicks and D. R. Uhlmann, *J. Polym. Sci.*, **13**, 1247 (1975)
- 43) H. Benoit, *J. Macromol. Sci. Phys.*, **B12**, 27 (1976)
- 44) M. Meyer, J. V. Sande and D. R. Uhlmann, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 2005 (1978)
- 45) E. W. Fischer, J. H. Wendorff, M. Dettenmaier, G. Lieser and I. Voigt-Martin, *J. Macromol. Sci. Phys.*, **B12**, 41 (1976)
- 46) E. L. Thomas and E. J. Roche, *Polymer*, **20**, 1413 (1979)
- 47) C. D. Wignall and G. W. Longman, *J. Mater. Sci.*, **8**, 1439 (1973); *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B12**, 99 (1976)
- 48) G. R. Mitchell, R. Lovell and A. H. Windle, *Polymer*, **21**, 989 (1980)
- 49) G. Kaempf and H. Orth, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B11**, 151 (1975)
- 50) K. P. Grosskurth, *Kautsch. Gummi Kunst.*, **26**, 43 (1973)
- 51) 山下, 織学誌, **33**, P-247(1977)
- 52) 山下, 物延, 織学誌, **37**, T-53及びT-59(1981)
- 53) A. Jeziorny, *Polymer*, **19**, 1142 (1978)
- 54) R. Hagege, *Text. Res. J.*, **47**, 229 (1977)
- 55) G. W. Miller, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **13**, 1831 (1975)
- 56) E. Ito, K. Yamamoto, Y. Kobayashi and T. Hatakeyama, *Polymer*, **19**, 39 (1978)
- 57) S. Fakirov, E. W. Fischer and G. F. Schmidt, *Macromol. Chem.*, **176**, 2459 (1975)
- 58) G. M. Bhatt, J. P. Bell and J. R. Knox, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 373 (1976)
- 59) M. R. Padhye and P. B. Iyer, *Angewandte Makromol. Chem.*, **39**, 149 (1974)
- 60) M. Todoki and T. Kawaguchi, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **15**, 1067 (1977)
- 61) 川口, 十時, 織学誌, **34**, P-11(1978)
- 62) G. Groeninckx, H. Reynaers, H. Berghmans and G. Smets, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **18**, 1311 (1980)
- 63) S. Fakirov, E. W. Fischer, R. Hoffmann and G. F. Schmidt, *Polymer*, **18**, 1121 (1977)
- 64) H. J. Berndt and A. Bossmann, *Polymer*, **17**, 241 (1976)
- 65) B. L. Deopura, V. Kumar and T. B. Sinha, *Polymer*, **18**, 856 (1977)
- 66) A. Mehta, U. Gaur and B. Wunderlich, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 289 (1978)
- 67) 富田, 高分子論文集, **34**, 871(1977)
- 68) N. Hiramatsu and S. Hirakawa, *Polym. J.*, **12**, No. 2 (1980)
- 69) E. Pedemonte, G. C. Alfonso, G. Dondero, G. Coppola and P. Fabbri, *Polymer*, **17**, 923 (1976)
- 70) M. P. W. Wilson, *Polymer*, **15**, 277 (1974)
- 71) 大矢, 山本, 斉藤, 木下, 織学誌, **31**, T-508 (1975)
- 72) 加藤, 山本, 斉藤, 木下, 織学誌, **32**, T-279 (1976)
- 73) G. Lopatin, *J. Appl. Polym. Sci., Appl. Polym. Symp.*, **31**, 127 (1977)
- 74) G. M. Bhatt and J. P. Bell, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 575 (1976)
- 75) 北沢, 橋, 織学誌, **32**, P-359(1975)
- 76) D. R. Buchanan and G. L. Hardegree, *Text. Res. J.*, **47**, 732 (1977)
- 77) S. K. Batra, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B12**, 405 (1976)
- 78) J. Vanicek and J. Janacek, *J. Polym. Sci., Symp.*, No. 53, 325 (1975)
- 79) 石鍋, 佐々木, 石川, 織学誌, **32**, T-85(1976)
- 80) B. F. Blumentritt, *J. Appl. Polym. Sci.*, **23**, 3205 (1979)
- 81) N. P. C. Chao, J. A. Cuculo and T. W. George, *Appl. Polym. Symp.*, No. 27, 175 (1975)

- 82) N. Tanaka, *Polymer*, **19**, 770 (1978)
- 83) K. Suganuma, *Text. Res. J.*, **47**, 361 (1977)
- 84) W. J. Koros and D. R. Paul, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 2171 (1978)
- 85) P. L. Hsiung and D. M. Cates, *J. Appl. Polym. Sci.*, **19**, 3051 (1975)
- 86) H. K. Yip and H. L. Williams, *J. Appl. Polym. Sci.*, **21**, 1209; 1217 (1977)
- 87) J. H. Nobbs, D. I. Bower, I. M. Ward and D. Patterson, *Polymer*, **15**, 287 (1974)
- 88) J. H. Nobbs, D. I. Bower and I. M. Ward, *Polymer*, **17**, 25 (1976); *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **17**, 259 (1979)
- 89) J. H. Nobbs and D. I. Bower, *Polymer*, **19**, 1100 (1978)
- 90) A. Cunningham, G. R. Davies and I. M. Ward, *Polymer*, **15**, 743 (1974); A. Cunningham, I. M. Ward, H. A. Willis and V. Zichy, *Polymer*, **15**, 749 (1974)
- 91) A. Cunningham, A. J. Manuel and I. M. Ward, *Polymer*, **17**, 125 (1976)
- 92) I. J. Hutchinson, I. M. Ward, H. A. Willis and V. Zichy, *Polymer*, **21**, 55 (1980)
- 93) D. A. Jarvis, I. J. Hutchinson, D. I. Bower and I. M. Ward, *Polymer*, **21**, 41 (1980)
- 94) F. Rietsch, R. A. Duckett and I. M. Ward, *Polymer*, **20**, 1133 (1979)
- 95) 近田, 藤野, 我妻, 織学誌, **21**, 246; 253 (1965)
- 96) J. Purvis and D. I. Bower, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 1461 (1976)
- 97) W. Wu, W. B. Black and P. G. Simpson, *Polymer*, **21**, 992 (1980)
- 98) 坂口, 小田, 中井, 河合, 織学誌, **33**, T-499 (1977)
- 99) 栗山, 富板, 白樫, 織学誌, **20**, 431 (1964)
- 100) 池田, 織学誌, **25**, 1 (1969)
- 101) 岡島, 織学誌, **22**, 51 (1966)
- 102) D. Patterson and I. M. Ward, *Trans. Faraday Soc.*, **53**, 1516 (1957)
- 103) T. Kunugi, K. Shiratori, K. Uematsu and M. Hashimoto, *Polymer*, **20**, 171 (1979)
- 104) V. B. Gupta and S. Kumar, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **17**, 1307 (1979)
- 105) P. J. Harget and H. J. Oswald, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **17**, 531 (1979)
- 106) H. J. Biangardi, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **18**, 903 (1980)
- 107) L. D'Esposito and J. L. Koenig, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 1731 (1976); G. M. Venkatesh, et al., *J. Appl. Polym. Sci.*, **26**, 223 (1981)
- 108) A. Garton, D. J. Carlsson and D. M. Wiles, *Text. Res. J.*, **51**, 28 (1981)
- 109) F. J. Boerio and S. K. Bahl, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 1029 (1976); W. F. X. Frank, W. Strohmeier and M. L. Hallensleben, *Polymer*, **22**, 615 (1981)
- 110) V. S. Kuksenko and A. I. Slutsker, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B12**, 487 (1976)
- 111) D. C. Prevorsek and Y. D. Kwon, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B12**, 447 (1976)
- 112) T. Nagamura, K. Fukitani and M. Takayanagi, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **13**, 1515 (1975)
- 113) 成沢, 小川, 織学誌, **32**, P-107 (1976)
- 114) A. Konda, K. Nose and H. Ishikawa, *J. Polym. Sci. Phys. Ed.*, **14**, 1495 (1976); A. Misra and R. S. Stein, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **17**, 235 (1979); A. Garton, D. J. Carlsson, R. F. Stepanik and D. H. Wiles, *Text. Res. J.*, **49**, 335 (1979)
- 115) 中野, 岸野, 近田, 織学誌, **26**, 191 (1970); A. Konda, K. Toriumi, S. Tanaka and Y. Shimizu, 織学誌, **38**, T-16 (1982)
- 116) R. A. Duckett, B. C. Goswami and I. M. Ward, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **15**, 333 (1977)
- 117) 近田, 関口, 美斉津, 白樫, 織機誌, **27**, T127 (1974); 近田ら, 織機誌, **30**, T139 (1977); S. C. Smith, E. K. Lau and S. Backer, *Text. Res. J.*, **48**, 104 (1978)
- 118) M. Yokouchi, Y. Hiromoto and Y. Kobayashi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **24**, 1965 (1979)
- 119) 上出, 真鍋, 織学誌, **34**, P-70 (1978)
- 120) 真鍋, 上出, 中山, 織機誌, **30**, T45; T55; T66; T-85 (1977) **31**, T1 (1978)
- 121) 中山, 上出, 真鍋, 織学誌, **33**, T-139; T-147; T-192; T-199 (1977)
- 122) N. Yoshihara, A. Fukushima, Y. Watanabe, A. Nakai, S. Nomura and H. Kawai, 織学誌, **37**, T-387 (1981)
- 123) 松本, 細田, 泉, 今村, 織学誌, **30**, T-424 (1974)
- 124) G. Groeninckx, H. Berghmans and G. Smets, *J. Polym. Sci. Phys. Ed.*, **14**, 591 (1976)
- 125) 北村, 堀井, 織学誌, **34**, P-103 (1978)
- 126) G. M. Venkatesh, P. J. Bose, R. V. Shah and N. E. Dweltz, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 2357 (1978)
- 127) I. M. Ward, M. A. Wilding and H. Brody, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 263 (1976)
- 128) V. G. Gupta and S. Kumar, *J. Polym. Sci., Chem. Ed.*, **16**, 3311 (1978)
- 129) P. D. Griswold and J. A. Cuculo, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 163 (1978)
- 130) 酒井, 宮坂, 石川, 織学誌, **32**, T-524 (1976); T. Sakai, K. Miyasaka and K. Ishikawa, 織学誌, **34**, T-475 (1978)
- 131) B. Hsu, S. Kwan and L. Wong, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **13**, 2079 (1975)
- 132) G. D. Patterson, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **14**, 1909 (1976)
- 133) H. Berghmans and G. Groeninckx, *J. Polym.*

- Sci., Phys. Ed.*, **13**, 151 (1975)
- 134) Y. Takai, T. Osawa, T. Mizutani and M. Ieda, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **15**, 945 (1977)
 - 135) Y. Takai, K. Mori, T. Mizutani and M. Ieda, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 1861 (1978)
 - 136) K. Sawada and Y. Ishida, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **13**, 2247 (1975); A. K. Gupta, N. Chand and A. Mansingh, *Polymer*, **20**, 875 (1979)
 - 137) D. Briggs, D. G. Rance, C. R. Kendall and A. R. Blythe, *Polymer*, **21**, 895 (1980)
 - 138) S. Fakirov, I. Seganov, E. Kurdowa, *Makromol. Chem.*, **182**, 185 (1981)
 - 139) G. Kühnle, E. Schollmeyer und H. Herlinger, *Makromol. Chem.*, **178**, 2725 (1977); I. M. Fouda, A. A. Hamza, M. M. El-Nicklawy and K. A. El-Farhaty, *Text. Res. J.*, **51**, 355 (1981)
 - 140) 安田, 杉山, 梁川, 織学誌, **35**, T-370 (1979); 清水, 奥居, 鞠谷, 織学誌, **37**, T-135 (1981)
 - 141) 真鍋, 梶田, 上出, 織機誌, **34**, T98 (1981)
 - 142) R. Gehrke, H. G. Zachmann, *Makromol. Chem.*, **182**, 627 (1981)
 - 143) G. Elsner, M. H. J. Koch, J. Bordas, H. G. Zachmann, *Makromol. Chem.*, **182**, 1263 (1981)
 - 144) V. B. Gupta and S. Kumar, *J. Appl. Polym. Sci.*, **26**, 1865 (1981)
 - 145) M. R. Tant and G. L. Wilkes, *J. Appl. Polym. Sci.*, **26**, 2813 (1981)
 - 146) A. Wlochowicz and W. Wisuifka, *J. Appl. Polym. Sci.*, **20**, 1867 (1976); W. Czerwinski and A. Basinski, *Polimery*, **22**, 447 (1977); *International Polym. Sci. and Tech.*, **6**, T/48 (1979)

溶剤処理に関する文献

I 拡散と膨潤

- 1) 羽賀, 石橋, PET繊維と溶剤との相互作用, 織学誌, **29**, T-489 (1973)
- 2) 辻本, 高橋, 渡辺, 藤原, 水野, 大坂, 6 ナイロンおよびPETの溶剤処理による再膨潤過程について, 織学誌, **31**, T-226 (1975)
- 3) 羽賀, 坂井, 根津, 加藤, PETの微細組織とCase II型膨潤挙動, 織学誌, **34**, T-145; T-360 (1978)
- 4) 羽賀, PETの非晶域のボイド容積とCase II型膨潤挙動, 織学誌, **34**, T-282 (1978)
- 5) P. J. Makarewicz and G. L. Wilkes, Diffusion Studies of PET Crystallized by Nonreactive Liquids and Vapors, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 1529 (1978)
- 6) J. O. Warwicker, The Swelling of Polyester in Dichroacetic Acid, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 869 (1978)

II 無配向試料の結晶化

- 7) A. B. Desai and G. L. Wilkes, Solvent-Induced Crystallization of PET, *J. Polym. Sci., Symp.* No. 46, 291 (1974)
- 8) 渡辺, 三好, 高橋, 辻本, PETの有機溶剤中における結晶化, 織学誌, **33**, T-185 (1977)
- 9) P. J. Makarewicz and G. L. Wilkes, Small-Angle X-ray Scattering and Crystallization Kinetics of PET Crystallized in a Liquid Environment, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 1559 (1978)
- 10) P. J. Makarewicz and G. L. Wilkes, Morphology Studies of the Liquid-Induced Crystallization of PET: Effects of Polymer Blending, Nucleating Agents, and Molecular Weight, *J. Appl. Polym. Sci.*, **23**, 1619 (1979)

III 繊維の構造変化

- 11) 鈴木, 浅野, 池田, 木戸, PET繊維の溶剤処理による内部構造変化, 織学誌, **30**, T-413 (1974)
- 12) P. J. Makarewicz and G. L. Wilkes, Structural Rearrangements in the Liquid-Induced Crystallization of Cold-Drawn PET, *Text. Res. J.*, **48**, 136 (1978)
- 13) A. K. Kulshreshtha, A. H. Khan, G. L. Madan, X-ray diffraction study of solvent-induced crystallization in Polyester filaments, *Polymer*, **19**, 819 (1978)
- 14) E. A. Gerold, L. Rebenfeld, M. G. Scott and H.-D. Weigman, PET filaments with Radially-Differentiated Structure, *Text. Res. J.*, **49**, 652 (1979)

IV 構造変化と物性

- ◎ Interaction of Nonaqueous Solvents with Textile Fibersと題する一連の研究
- 15) A. S. Ribnick, H.-D. Weigman and L. Rebenfeld, Part I: Effects of Solvents on the Mechanical Properties of a Polyester Yarn, *Text. Res. J.*, **42**, 720 (1972); Part II: Isothermal Shrinkage Kinetics of a Polyester Yarn, *ibid.*, **43**, 176 (1973)
 - 16) A. S. Ribnick and H.-D. Weigman, Part III: The Dynamic Shrinkage of Polyester Yarns in Organic Solvents, *ibid.*, **43**, 316 (1973)
 - 17) H.-D. Weigmann and A. S. Ribnick, Part IV: Effects of Solvents on the Mechanical Properties of Various Textiles Yarns, *ibid.*, **44**, 165 (1974)
 - 18) B. H. Knox, H.-D. Weigmann and M. G. Scott, Part V: Application of the Solubility Parameter Concept to Polyester Fiber-Solvent Interaction, *ibid.*, **45**, 203 (1975)
 - 19) H.-D. Weigmann and M. G. Scott, Part VI: Effects of Solvent Treatments on Textured Polyester Yarns, *ibid.*, **45**, 554 (1975)
 - 20) H.-D. Weigmann, M. G. Scott, A. S. Ribnick and L. Rebenfeld, Part VII: Dyability of Polyester Yarns after Heat and Solvent-

- Induced Structural Modifications, *ibid.*, **46**, 574 (1976)
- 21) H.-D. Weigmann, M. G. Scott, A. S. Ribnick and R. D. Matkowsky, Part VIII: Mechanism of Dye Diffusion in Solvent-Treated Polyester Yarns, *ibid.*, **47**, 745 (1977)
- 22) H.-D. Weigmann, M. G. Scott and A. S. Ribnick, Part IX: Thermal Stability of Solvent-Induced Modifications in Polyester Fiber Structure, *ibid.*, **47**, 761 (1977); Part X: Effects of Thermal History on Polyester-Solvent Interaction, *ibid.*, **48**, 4 (1978)
- ◎ その他
- 23) B. H. Knox, M. G. Scott, H.-D. Weigmann and L. Rebenfeld, The Effects of an Aqueous Medium on the Structure and Physical Properties of Polyester Yarn, *Text. Res. J.*, **51**, 549 (1981)
- 24) L. Rebenfeld, P. J. Makarewicz, H.-D. Weigmann and G. L. Wilkes, Interaction between Solvents and Polymers in the Solid State, *J. Macromol. Sci.-Rev. Macromol. Chem.*, **C15**, 279 (1976)
- 25) E. F. Cuddihy, Solvent-Sensitivity of Biaxially Oriented PET Film, *J. Polym. Sci., Polym. Letters Ed.*, **13**, PP. 595 (1975)
- 26) E. L. Lawton and T. Murayama, Dynamic Mechanical Properties of Fibers in Liquid Media in Relation to Dyeing, *J. Appl. Polym. Sci.*, **20**, 3033 (1976)
- 27) P. J. Makarewicz, G. L. Wilkes and Y. Budnitsky, Mechanical Property Studies of PET Crystallized by Nonreactive Liquid, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 1545 (1978)
- 28) 脇田, 有機溶媒/水処理ポリエステルの動的粘弾性, 繊維誌, **37**, T-181 (1981)
- 29) Bimodal Character of Polyester-Solvent Interactionに関する一連の研究
B. H. Knox, I. Evaluation of the Solubility Parameter of the Aromatic and the Aliphatic Ester Residues of PET, *J. Appl. Polym. Sci.*, **21**, 225 (1977); II. Evaluation of the Chemical Structures of the Aromatic and Aliphatic Ester Residues of PET, *ibid.*, 249; III. The Effects of Morphology on the Nature of the Interaction of Nonaqueous Solvents with the Aromatic and the Aliphatic Ester Residues of PET, *ibid.*, 267
- 30) M. L. Gulrajani and R. K. Saxena, Factors Influencing CDT (Critical Disolution Time) of Textile Fibers, *Text. Res. J.*, **50**, 406 (1980)
- V アミン分解
- 31) 関根, 山本, 斉藤, 木下, PET フィルムの加アミン分解による表面形態の変化, 繊維誌, **31**, T-202 (1975) 斉藤, 関根, 山本, 木下, PET フィルムの加アミン分解による微細構造変化, 繊維誌, **32**, T-135 (1976)
- 32) C.-M. Chu and G. Wilkes, Superstructure in Chemically Etched PET, *J. Macromol. Sci.-Phys.*, **B10**, 551 (1974)
- 33) G. C. Adams, Structure Studies of Chemically Etched PET Film, *Polym. Eng. Sci.*, **16**, 222 (1976)
- 34) R. Murray, H. A. Davis and P. Tucker, Structure and Morphology of Amine-Treated PET Filaments, *J. Appl. Polym. Sci., Appl. Polym. Symp.*, **33**, 177 (1978)
- 35) G. E. Sweet and J. P. Bell, Selective Chemical Etching of PET Using Primary Amine, *J. Polym. Sci., Phys. Ed.*, **16**, 1935 (1978); Chemical Degradative Stress Cracking of PET Fibers, *ibid.*, 2057 (1978)
- 36) 阿部, 坂元, PET 繊維のアミン分解と形態学的研究, 高分子論文集, **33**, 263 (1976)
- 37) 坂見, 二軸延伸した PET フィルムのエチルアミン溶液処理による微細構造, 高分子論文集, **38**, 169 (1981)

(昭和 56 年 12 月 25 日受理)