(昭和 38 年 5 月 13 日 受理)

ポリエチレンテレフタレート延伸繊維の熱処理に関する研究

(2) 熱処理 P.E.T. 繊維の光粘弾性挙動の温度依存性

東京工業大学 白 樫 侃・栗 山 将・石 川 欣 造

STUDIES ON HEAT-TREATMENT OF THE DRAWN POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FIBERS. (2) TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE PHOTO-VISCOELASTIC BEHAVIOR ON THE DRAWN AND HEATED POLYETHYLENE TEREPHTHALATE FILAMENT.

By Kan Shirakashi, Isamu Kuriyama and Kinzo Ishikawa.

(Department of Textile Physics, Tokyo Institute of Technology, Ookayama, Meguro-ku, Tokyo, Japan)

The apparatus employed to measure the temperature dependence of the birefringence on synthetic fiber was improved. The temperature dependence of the birefringence and static tension on P.E.T. filament, drawn and heated at a constant length, varying draw ratio and heating condition, were measured over a wide range of temperature under a constant heating and cooling rates.

The optical-stress coefficient ($\Delta n/f$) for successive heating and cooling at the various temperature was investigated. The results are shown as follows:

1) The temperature dependence of the optical-stress coefficient on the un-treated P.E.T. filaments is that $\Delta n/f$ decreases rapidly up to the transition temperature, independent of draw ratio, and begins to increase near the region, whereas beyond this region, it increases linearly with the increase of temperature. The rate of the increase for a lower stretched filament is larger than for a higher one. The value of $\Delta n/f$ at various extensions on un-treated P.E.T. filament increases with rising temperature and changes in the vicinity of transformation temperature on the static-tension (f) vs. temperature curve of P.E.T. filament. This transformation temperature may be moved towards higher temperature with the increase of extension.

2) Relation of the temperature dependence on the optical-stress coefficient at a constant length for dry-heated P.E.T. filament is quite similar to the behavior on the un-treated filament. The curvature of the ($\Delta n/f$) vs. (T) curves near the transformation temperature becomes larger and shifts towards higher temperature with rise of temperature by heating. And, the transformation temperature of ($\Delta n/f$) vs. (T) curves for higher stretched filament is always higher than for lower one.

3) The rate of decrease of $\Delta n/f$ within the lower temperature in $\Delta n/f \sim T$ curves of P.E.T. filaments, which were heated in various media of heating, decrease and the transformation temperatures shift towards higher temperature in the order of heat treatment by dry air, steam and hot water.

4) The temperature dependence of the heated P.E.T. filament on the birefringence (Δn) at a constant length is that Δn exhibits a minimum value near transformation temperature, and beyond its temperature, Δn increases with rising temperature. Its rate of increase is smaller for the temperature raised by heating, but the value of Δn in the (Δn) vs. (T) relation of the heated filament at the most elevated temperature (210°C) becomes lower within the higher temperature than its value at just before the rise of temperature. The variation of Δn in (Δn)~(T) curves of the

dry-heated higher stretched P. E. T. filament is smaller as compared with that of the lower stretched.

(Received May 13, 1963)

1. 緒 言

合成繊維工業の目覚ましい発展にともない新製品の開発とともに、在来の合成繊維の品質の一層の向上が望まれる。とくに熱可塑性合成繊維は、延伸熱処理などの後処理加工操作によつて、それらの分子構造より期待される性能を充分に発揮させ、かつ要求される諸物性を保持させられるので、加熱冷却過程における鎖状分子の異方性を検討することは重要な課題である。

そこで、著者らは本報においては P. E. T. の延伸比および熱処理条件を変え、緊張加熱冷却したときの複屈折および静的張力の温度挙動から、その光学的諸性質の温度依存性を検討して、熱処理の基礎的資料を提供することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 実験装置の改良

既報¹⁾の光学系における加熱炉および温度検出部分に若干の改良を加えた。Fig. 1(a) に改造加熱炉の側面図を示す。従来の熱電対の代りに、サーミスタを試料近傍

Fig. 1(a). Side view of heating and cooling box

- S: Specimens
 T_h : Thermistor
 1: Glass plate (Transparent)
 2: Thin quartz plate (Transparent)
 3: Thin copper plate
 4: Copper pipe for uniformly heating
 5: Main heater
 6: Glass fiber for insulating heat

Fig. 1(b). Circuit for measuring temperature.

- A: Amplifier C: Relay
 B: Phase analyser Th.: Thermistor

に挿入し一定温度の熱源で狭い炉内の空気恒温槽を完全に囲み得るように工夫した。すなわち、加熱炉の上下の窓ガラスの内側の2枚は透明石英ガラスによつて、外界との熱遮断すると同時に、光の吸収を少なくし、側面は均熱用の肉厚銅パイプを配置し、その外側に主ヒータ板を設けた。この銅パイプは冷却時には冷媒を通じて低温のコントロールも可能である。温度調節には、Fig. 1(b)に示すような電気回路を採用し、1コのサーミスタで常温から+250°Cまで、 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内に調節できるように、ホイットストーンブリッジの抵抗に工夫を加えた。

2.2 実験試料の調整および実験方法

供試した試料は、前報²⁾と同様に、伸延比 3.0 (128d) および 3.72 (100d) の帝人 K. K. 製のテトロン延伸未熱処理糸および工場処理糸（製造工程中に熱処理され、処理時間は極めて短時間に行なわれているものと推定される。処理温度 170°C）である。未処理糸の熱処理条件は、いずれも定長下で処理温度（70°C~210°C）、処理媒体（空気、水、スチーム）を変え 20 分間熱固定した。

複屈折の測定には、改造繊維用光粘弾性測定機を使用し、温度サイクルは、室温→200°C→室温とし、昇降温速度とも 2°C/min とした。0.5% および 10% の伸長率を与えてから 20 分後にリターデーションの測定を開始するとともに昇温した。また同条件で静的張力の温度挙動も測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 未処理糸の光学的性質の温度依存性

Fig. 2 および Fig. 3 に伸延比 3.00 と 3.72 の各未処理糸の等速昇温冷却過程における複屈折 (Δn)—温度と静的張力 (f)—温度曲線のひずみ依存性を示した。ひずみ 0% 下では、収縮応力の発生し始める温度域より、 Δn の増大するのが顕著となり、収縮応力の最大域を過ぎて昇温とともに静的張力の低下を見る温度域では、さらに Δn の増加がますます顕著となる。これは結晶化寄与によるのであろう。降温過程では、張力の温度挙動とは逆に、降温とともに Δn は漸増する。ひずみ量が 5% および 10% と増すと、昇温過程における張力の変態点が高温側にずれるが、それに対応して Δn の急激に増加し始める温度域は高温側にずれる。降温過程における Δn は、0% ひずみと同様に、降温するに従つて漸増する。3.72 倍糸も 3.00 倍糸の複屈折および静的張力の温度挙動と同傾向を示すが、その変化量は極めて少ない。

次に、W. Kuhn, L. R. G. Treloar³⁾ は統計論に基づ

Fig. 2. Static stress and birefringence for successive heating and cooling at various temperatures for non-heated and drawn P.E.T. filament (Draw ratio: 3.00) after giving various extensions. The rate of both the heating and cooling: 2°C/min.

いて、結晶化を含まない網状ゴムのひずみ-複屈折関係について次のような理論式を導いている。

$$\Delta n/f = \frac{2\pi}{45kT} \cdot \frac{(\bar{n}^2 + 2)^2}{\bar{n}} \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (1)$$

一定温度下では

$$\Delta n/f = c \text{ (常数)} \quad (2)$$

$$\text{ただし } c = \frac{2\pi}{4kT} \cdot \frac{(\bar{n}^2 + 2)^2}{\bar{n}} \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \quad (3)$$

ここで、 Δn : 複屈折、 f : 応力、 k : Boltzmann 常数、 T : 絶対温度、 $\bar{n}$: 無応力下での平均の屈折率、 $(\alpha_1 - \alpha_2)$: 主分極率の差

式(2)の c は光弾性係数 (d/g または cm^2/dyne) となり、一般の Brewster 法則に対応するものである。また、Tobolsky^{4,5)} らは、ポリマーの応力緩和と複屈折との関係を考察するのに、 $f/\Delta n \cdot T = \text{const.}$ として、二三の高分子物質の力学的挙動を検討しているが、本報では、取扱う温度域が、P.E.T. のガラス状温度域からゴム状温度域へと広汎にまたがるので一応式(2)(3)に従って考察検討する。

Fig. 3. Static stress and birefringence for successive heating and cooling at various temperatures for non-heated and drawn P.E.T. filament (Draw ratio: 3.72) after giving various extensions. The rate of both the heating and cooling: 2°C/min.

Fig. 2 および Fig. 3 の結果を式(4)、(5)により整理し、各温度における光弾性係数を温度に対してプロットしたのが Fig. 4 である。0% ひずみにおける、3.00 および 3.72 倍延伸糸の光弾性係数は、温度上昇とともに、著しく直線的に低下しガラス転移点近傍 (3.00 倍糸: 79.6°C, 3.72 倍糸: 74.8°C) で増加に転ずる。この光弾性係数の変態域は、低延伸糸では温度軸に対し鋭い凹状を示すが、高延伸糸では 70°C 近くから光弾性係数の減少割合が昇温とともに小さくなり、その傾向が 120°C 近傍まで持続されて、ゆるやかに増大に転じてゆく。ついで昇温すると、いずれも温度に対し、ほぼ直線的に増加するが、3.00 倍延伸糸に、3.72 倍延伸糸に比し、その増加速度はかなり大きい。降温過程では 3.72 倍延伸糸では漸増するが、3.00 倍延伸糸では漸減する。与えひずみ量が 5%、10% と増すと、昇温とともに $\Delta n/f$ は増大し、静的張力的変態点付近で $\Delta n/f$ も変曲するがその変態点はひずみ量とともに高温側にずれる。さらに昇温するとそれに従って $\Delta n/f$ も増加する。降温過程でも降温とともに $\Delta n/f$ は 3.00 倍および 3.72 倍

Fig. 4. Stress-optical-coefficient ($\Delta n/f$) for successive heating and cooling at various temperatures for non-heated and drawn P. E. T. filaments. (Draw ratio : 3.72 and 3.00) after giving various extension.

Heating process ; —
Cooling process ; .....

延伸糸とも漸増する。

ガラス化状態における $\Delta n/f$ は、主鎖に沿つての局所的な分子鎖の配位状態に依存するので、延伸工程にうけたひずみが加温によつて解放されても、エントロピー的寄与が小さいために配向は乱れ、 Δn は減少しようとするため $\Delta n/f < 0$ となり、低下する。ついでエントロピー収縮が顕著に起こり始める転移点近傍では、 $\Delta n, f$ とも増大するので $\Delta n/f > 0$ となり、さらに加温すると結晶化が進み、 Δn は増大し、内部エネルギー寄与によつて f は漸減するが、3.00 倍延伸糸では、 $\partial \Delta n / \partial t$ の増分が $\partial f / \partial t$ の減分より大きいので、 $\Delta n/f$ は昇温とともに増大し、3.72 倍延伸糸では $\partial \Delta n / \partial t, \partial f / \partial t$ の変分がほぼ等しいので $\Delta n/f$ の変化量は小さくなる。降温過程では、再結晶化とともに f は減少するが軸方向への異方性が大きくなり、 Δn は増加する。従つて、 $\Delta n/f$ は

3.72 倍延伸糸では漸減するが、3.00 倍延伸糸では漸減する。

与えひずみ量が大いときには、室温中での伸長によつて副網状構造の破壊のみならず、主網目部分の一部までが切断されて流動を起こし、主網目部分は接近するために凝集相互作用によつて緩和過程における静的張力 f は著しく減少するが、伸長方向に分子鎖は配向するので、 Δn は増大する。斯様な繊維構造が加温によつて、熱運動が活発化し、凝集作用が弱められ、その結果配向は乱れ Δn はわずかに低下するが、昇温によつて残存している主網目を結び目としたエントロピー収縮が発現し、この温度域における張力の温度挙動に変態点が現われる。巨視的には張力が増大するので、その張力の増加によつて Δn は増加する。与伸比率が小さいときには、副網目構造の二次的結合ないしは、その網状部分が破壊

Fig. 5. Stress-optical coefficient ($\Delta n/f$) for successive heating and cooling at various temperatures under a constant length for drawn P. E. T. filaments. (Draw ratio : 3.00) heated in dry air at various temperatures. The rate of both the heating and cooling : 2°C/min.

Heating process : —
Cooling process ; .....

Fig. 6. Stress-optical-coefficient ($\Delta n/f$) for successive heating and cooling at various temperatures under a constant length for drawn P. E. T. filaments, (Draw ratio : 3.72) heated in dry at various temperatures. The rate of both the heating and cooling : $2^\circ\text{C}/\text{min}$.

Heating process : ———
Cooling process : ······

されるに過ぎず、従つて加温過程における張力の変態点は低温側にずれ、 Δn の変化量も小さくなる。

3.2 乾熱処理温度の光弾性挙動におよぼす影響

Fig. 5 および Fig. 6 に 3.00 倍および 3.72 倍延伸糸の定長下、乾燥空气中で熱固定した処理糸の 0% ひずみにおける光弾性係数 $\Delta n/f$ の温度挙動を示した。3.00 倍延伸糸の低温 (90 および 130°C) 処理糸においては、未処理糸と同様に、室温より転移点近傍までは $\Delta n/f$ は激しく低下し、転移点近傍で増加に転ずるが、この変曲点における彎曲部分は、処理温度が高いほどゆるやかな弧状を描いて減少するのみで、増大する傾向が現れない。210°C 処理糸においては、 $\Delta n/f$ は昇温するに従つて、150°C 付近までは温度軸に対して凹状に減じ、さらに昇温すると凸状に減ずる。従つて、150°C 付近に $\Delta n/f$ の変態点が存在する。降温過程では、いずれの処理糸もほとんど同傾向に降温とともに漸減する。一方 3.72 倍延伸糸の光弾性係数の温度挙動は、3.00 倍延伸糸と同じ挙動を示すが、 $\Delta n/f$ の減少から増大に転ず

Fig. 7. Relation between temperature of transformation of $\Delta n/f$ and temperature by heating on successive heating.

る温度域は、3.00 倍延伸糸に比してさらに鈍角的となり、この変態点を過ぎてからの $\Delta n/f$ の増分も小さくなる。3.00 倍および 3.72 倍延伸糸乾熱処理糸の $\Delta n/f$ の変態点と処理温度との関係を Fig. 7 に示す。両者の関係は、未処理糸を除くと延伸比が異つても、同一の逆S字曲線で示され、処理温度が高いほど変態点も高くなる。また、同一処理温度においては、高延伸糸の変態点は常に低延伸糸のそれより高温となる。

前報の結果から各処理糸は、処理温度が高くなるに従つて密度、X線の結晶化度、全複屈折および結晶域の複屈折の値は、延伸比が異つても同一傾向で増大し、非晶領域の複屈折の値のみが、3.72倍延伸糸に比して、3.00倍延伸糸が著しく増大することにより、高温処理糸ほど、熱固定中に延伸工程などでうけたひずみを充分緩和し、分子鎖の緊張方向への再配向により、エネルギー的に高い準安定な二重網状構造が形成されている。すなわち、乾熱処理によつて、この二重網状構造の主網目部分および副次的網状部分を形成する二次的結合が、処理温度が高くなるほど、数多くかつ熱的に安定した強さを保持するために、エントロピー収縮力を発現する温度域は、処理温度が高くなるに従つて高温側にずれる。従つて定長下の昇温過程における熱処理糸のエントロピー収縮力の寄与に基づいて生ずる $\Delta n/f$ の変態点も処理温度が高いほど、高温側にずれると同時に、その温度域後での $\Delta n/f$ 変化も、未処理糸のそれに比して小さくなる。同様に同一処理温度における 3.72 倍延伸糸の $\Delta n/f$ の変態点が 3.00 倍延伸糸に比して高温になるのも理解できる。

3.3 加熱処理媒体の影響

加熱処理媒体を空気、温水およびスチームと変化し、

Fig. 8. Stress-optical-coefficient ($\Delta n/f$) for successive heating and cooling at various temperatures under a constant length for drawn P. E. T. filaments heated in various media of heating at 90°C. The rate of both the heating and cooling : 2°C/min.

Heating process : —
Cooling process : .....

定長下で熱固定した各処理系の0%ひずみ下の等速昇温冷却過程における光弾性係数 $\Delta n/f$ の温度挙動を調べ、Fig. 8 に 90°C 温水および乾熱処理系、Fig. 9 に 130°C スチームおよび乾熱処理系の各々の光弾性係数の温度挙動を示した。最初に Fig. 8 において、未処理系および乾熱処理系は、ほぼ同一の温度挙動を示すが、温水処理系の低温域における $\Delta n/f$ の減少率が、前2者に比して著しく小さくなり、その変化は温度軸に対してゆるやかに凹状を描いて増加に転じ、変態点（高低温度域の $(\ln(\Delta n/f) \sim \text{Temp})$ の直線部分の延長の交点）も乾熱処理系のそれにより 30°C ほど高温側にずれる。この変態点を過ぎてからの $\Delta n/f$ の温度挙動は、乾熱処理系のそれと全く同一挙動を示す。つぎに、Fig. 9 においては、130°C スチーム処理系の低温域での $\Delta n/f$ の減少

Fig. 9. Stress-optical-coefficient ($\Delta n/f$) for successive heating and cooling at various temperatures under a constant length for drawn P. E. T. filaments heated in various media of heating at 130°C. The rate of both the heating and cooling : 2°C/min.

Heating process : —
Cooling process : .....

Table 1. Transformation temperature °C on $[\ln(\Delta n/f) \sim T]$ curves in various media of heating.

Draw Ratio	3.00	3.72
Non heated treatment	79.6	74.8
90°C in dry air	88.4	94.8
90°C in hot water	118.4	124.8
130°C in dry air	110.4	114.6
130°C in steam	119.9	133.6

率は、温水処理系と乾熱処理系の中間の値を示し、 $\Delta n/f$ の変態点は、乾熱処理系に比して 3.00 倍延伸系では約 10°C、3.72 倍延伸系では約 20°C 程高温側にずれ、そ

の変態域はやはり鈍角的に増加に転ずる(第1表)。

温水処理系においては、昇温過程におけるエントロピー収縮の発現状態が比較的低温域から発生し、かつゆるやかな増加率で f は増加するが、乾熱処理系では、処理温度近くになつてエントロピー効果が急に顕著にあらわれる。スチーム処理では、両処理系の中間の挙動を示す。また、空気中にて求められた等速昇温過程における収縮率の分布曲線では、その極大値が乾熱処理、湿熱処理の順に高温側にずれると同時に、その曲線の尖鋭性も湿熱処理のほうが小さくなり、極大値の値自身も小さくなるなどの諸結果から、湿熱処理ではいずれも無定形領域に吸着された水分子の可塑性効果および熱容量効果が相加わつて、二重網状構造の主網目部分のみならず副次的網状部分を形成する二次的結合が、熱的に安定した強さを持つているものと考えられるので、低温域において、湿熱処理系の温度増加に対する $\Delta n/f$ の変化率は小さくなり、 $\Delta n/f$ の変態点も高温側にずれるのであろう。

3.4 乾熱処理による複屈折—温度挙動におよぼす影響

各処理温度で定長乾熱固定した P. E. T 糸のひずみ 0 % 下における昇温開始時の複屈折の値を 0 とし、それと等速昇温冷却過程における各温度で求められた複屈折の差を各温度に対してプロットしたのが、Fig. 10 (a) (3.00 倍延伸糸)、および Fig. 10 (b) (3.72 倍延伸糸)である。最初に、Fig. 10 (a) に見られるように、未処理糸および乾熱処理糸ともに、昇温するに従つて、ガラス転移点近傍あるいは、エントロピー収縮を発生する温度域では、複屈折の値は低下し、以後の昇温過程では複屈折は増大する。その増加率は、処理温度が高くなるに従つて小さくなり、170°C 以上の高温で熱処理したものは、ほとんど複屈折の値は変化せず、高温域ではかえつて複屈折の値は、出発時より低下する傾向が現われる。これは、熱処理時に形成された微結晶の部分融解によつて分子鎖の配向が乱れる結果であらう。降温過程

Fig. 10 (a). Relative birefringence for successive heating and cooling at various temperatures under a constant length for drawn P. E. T. filaments (Draw ratio: 3.00) heated in dry air at various temperature. The rate of both the heating and cooling; 2°C/min.

Fig. 10 (b). Relative birefringence for successive heating and cooling at various temperatures under a constant length for drawn P. E. T. filaments (Draw ratio: 3.72) heated in dry air at various temperatures. The rate of both the heating and cooling; 2°C/min.

では、低温処理系では降温とともに複屈折の値は漸増する。加熱冷却過程における(複屈折)―(温度)曲線は、処理温度が高いほど変化量は小さくなる。同様に、湿熱処理糸および与えひずみ量が大いときにも、乾熱処理

と同じ(複屈折)-(温度)挙動を示すが、複屈折値が極小になる温度域は多少高温側にずれ、(複屈折)-(温度)曲線の変化量も乾熱処理系に比して小さくなる。

次に Fig. 10(b) の高延伸系においては、未熱処理系、低温処理系および高温処理系ともに、3.00 倍延伸系と同様の複屈折の温度依存性を示すが、加熱冷却過程における(複屈折)-(温度)曲線の変化量はますます小さくなる。これは、前述の非晶領域複屈折の値が処理温度の増大に対してわずかに増加しないことや、無定形領域の複屈折寄与が処理温度が高くなるとかえって減少するという実験結果とよく一致している。すなわち高延伸系においては、温度に対して安定な二重網状構造が形成され、無定形域の分子鎖の熱運動がかなり拘束される程度の結合の強さを保持しているものと考えられる。

4. 総 括

延伸比および熱処理条件を変えて定長固定した各 P. E. T. 繊維の緊張加熱冷却時の複屈折および静的張力から各温度における $\Delta n/f$ を求め、以下の結果を得た。

1) 未処理系の $\Delta n/f-T$ 曲線は、0% ひずみ下ではガラス転移点近傍までは、昇温とともに $\Delta n/f$ は急速に減少しその減少割合は延伸に独立である。ついで、ガラス転移点近傍で $\Delta n/f$ は増加に転ずるが、その増加率は低延伸倍率ほど大きい。与えひずみ量が増すと、 $\Delta n/f$ は昇温とともに増大するが静的張力の変態点で $\Delta n/f$ も変曲し、その変態点はひずみ量とともに高温側にずれる。

2) 乾熱処理系の 0% ひずみ下における 3.00 倍延伸系の $\Delta n/f-T$ 曲線は、いずれも室温時より転移点近傍まで同一勾配で低下しつつ増加に転ずるが、この変曲点における彎曲度は処理温度が高くなるほどゆるやかになり、高温で熱処理した場合には、 $\Delta n/f$ はゆるやかな減少を示すのみである。処理温度が高くなるに従って、この変曲点は高温側にずれる。3.72 倍延伸系も 3.00 倍延伸系とはほぼ同挙動を示す。

3) 熱処理媒体を変えた各熱処理系の $\Delta n/f-T$ 曲線は、乾熱スチームおよび温水処理の順に、 $\Delta n/f$ の低温域での減少割合が小さくなり、かつ $\Delta n/f$ が減少から増加に転ずる温度域も高温側にずれ、その変曲点における彎曲の割合も大きくなる。

4) 低延伸系の $\Delta n-T$ 挙動は、転移点を過ぎてからの Δn の増加率は、処理温度が高くなるに従って減じ、高温処理系では、高温域でかえって室温時より低下する傾向が見られる。また、加熱冷却過程における $\Delta n-T$ 曲線の変化量も、処理温度が高くなるほど小さくなる。高延伸系の $\Delta n-T$ 挙動も、低延伸系とはほぼ同様であるが、 Δn の極小点が高温側にずれ、 $\Delta n-T$ 曲線の変化量はますます小さくなる。

付 記

本研究は、昭和 36 年秋季繊維学会研究発表会で報告した内容に一部の実験を加えてまとめたものである。

終わりに、装置の改良に御協力していただいた幹産業 K. K. の松井孝夫氏および実験の一部を担当していただいた、富板和夫氏(東工大大学院)島崎鋭子嬢に厚く感謝の意を表わします。

文 献

- 1) 白樫、栗山、石川(欣); 織学誌, 18, 644 (1962)
- 2) 白樫、栗山、富板; 織学誌, 19, 944 (1963)
- 3) L. R. G. Treloar; The Physics of Rubber Elasticity (1958) p. 197
- 4) R. S. Stein, A. V. Tobolsky; Text, Res. J., 18, 201, 302 (1948)
- 5) *ibid.*, 19, 1 (1949)
- 6) 辻、河田; 光弾性実験法(下)(日刊工業) p. 97
- 7) A. V. Tobolsky; Properties and Structures of Polymers (1960), p. 217
- 8) 和田八三久; 高分子, 10, 1961, p. 521
- 9) W. O. Statton; J. Appl. phys., 32, 1961, p. 2332

後記: 本報をポリエチレンテレフタレート繊維の光粘弾性的挙動に関する研究の第 3 報とする。