

放射線によるポリエチレンのグラフト重合

Graft Polymerization on Polyethylene by Irradiation

三 浦 正 敏* 川 松 俊 治*

Masatoshi Miura

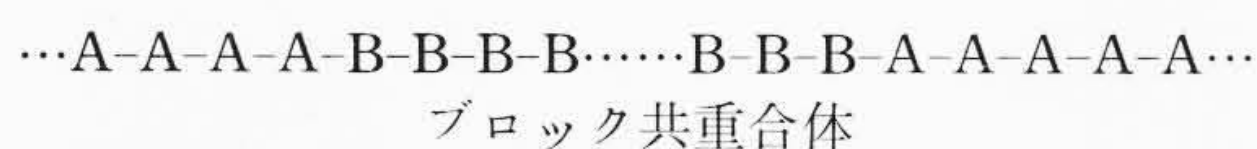
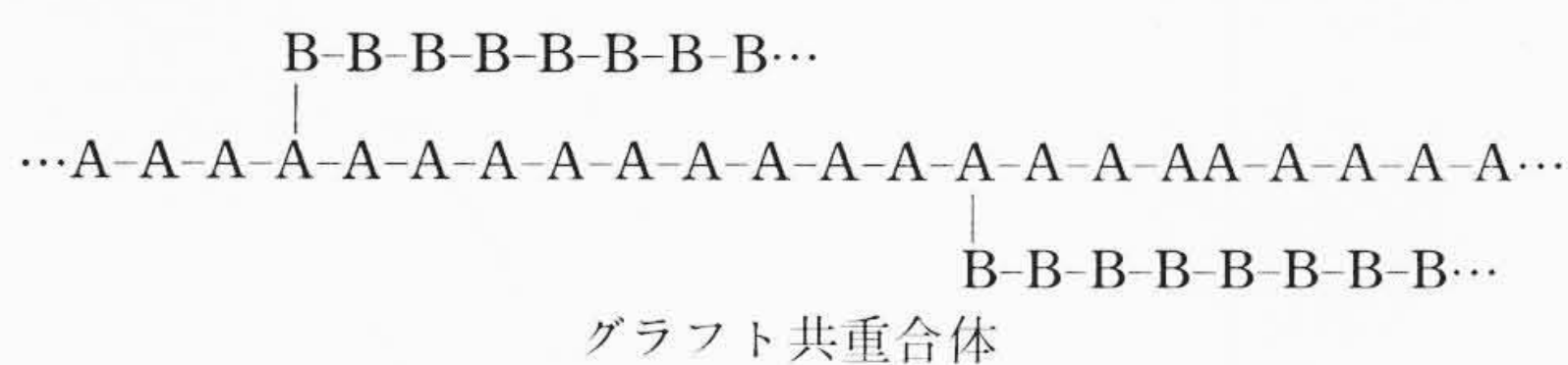
Shunji Kawamatsu

内 容 梗 概

放射線を利用してグラフト重合を行なう場合代表的な四つの方法すなわち浸漬同時照射法、気相同時照射法、パーオキサイドを利用する方法、捕捉(そく)遊離基を利用する方法で、ポリエチレンを基体としてスチレンおよびアクリロニトリルのグラフト重合を行ない、グラフト重合反応および生成ポリマーの性質について検討し、これらのグラフト重合法の得失について考察した。

1. 緒 言

グラフト共重合体とは下図に示すようにAのくり返しよりなる高分子にBのくり返しよりなる高分子の枝が付いているものをいう。これと類似したものにブロック共重合体がある。これは下図の右に示したもので、線状高分子のある部分はAのみのくり返しより成り、他の部分はBのみのくり返しより成るものをいう。放射線によるグラフト重合ではグラフト共重合体のみが生成するわけではなく、



一般にブロック共重合体的な要素も含んだ高分子ができる。しかしこのようなものも普通グラフト共重合体の範囲に入れている。グラフト重合とはこのように高分子に異なった別の高分子を接枝することであるが、この枝高分子の性質を適当に選択することにより、高分子を望みの性質に変性することが可能である。放射線はこのグラフト共重合体の合成に有力な手段を提供している。すなわち高分子に放射線を照射すると遊離基が生成するが、適当な条件を選べばこの遊離基にモノマーを付加させて枝ポリマーを生長させることが可能である。一方、放射線エネルギーの化学工業への利用の面から考えると、グラフト重合は照射量が比較的少なく済み、照射費の製造原価中に占める割合が少ないので、現在のところ最も工業化されやすいものの一つに数えられている。

放射線グラフト重合の方法は大別して同時照射法と前照射法に分けられる。同時照射法とはポリマーとモノマーを共存させて、これに放射線を照射する方法であるが、これには液状のモノマーもしくはモノマー溶液にポリマーを浸漬して照射する方法と、モノマーを気体の形でポリマーと共存させて照射する方法がある。前照射法はポリマーをあらかじめ照射したあとにモノマーで処理する方法で、これには照射を真空中で行ない、生成した遊離基をそのままグラフト重合に利用する方法と、空气中で、酸化されやすい条件で高分子を照射し、生成したパーオキサイドをグラフト重合の開始剤として利用する方法がある。照射を空气中で行なっても、強い線量率で照射し、直ちにモノマー中で比較的低温でグラフト重合を行なえば、空气中照射ではあるが、グラフト重合を開始するのは主とした捕捉遊離基で、反応機構も真空中で照射した場合と異なることもある⁽¹⁾。また高分子によっては照射により生成した遊離基が非常に安定で、空气中に長時間放置しておいてもほとんどパーオキシ化され

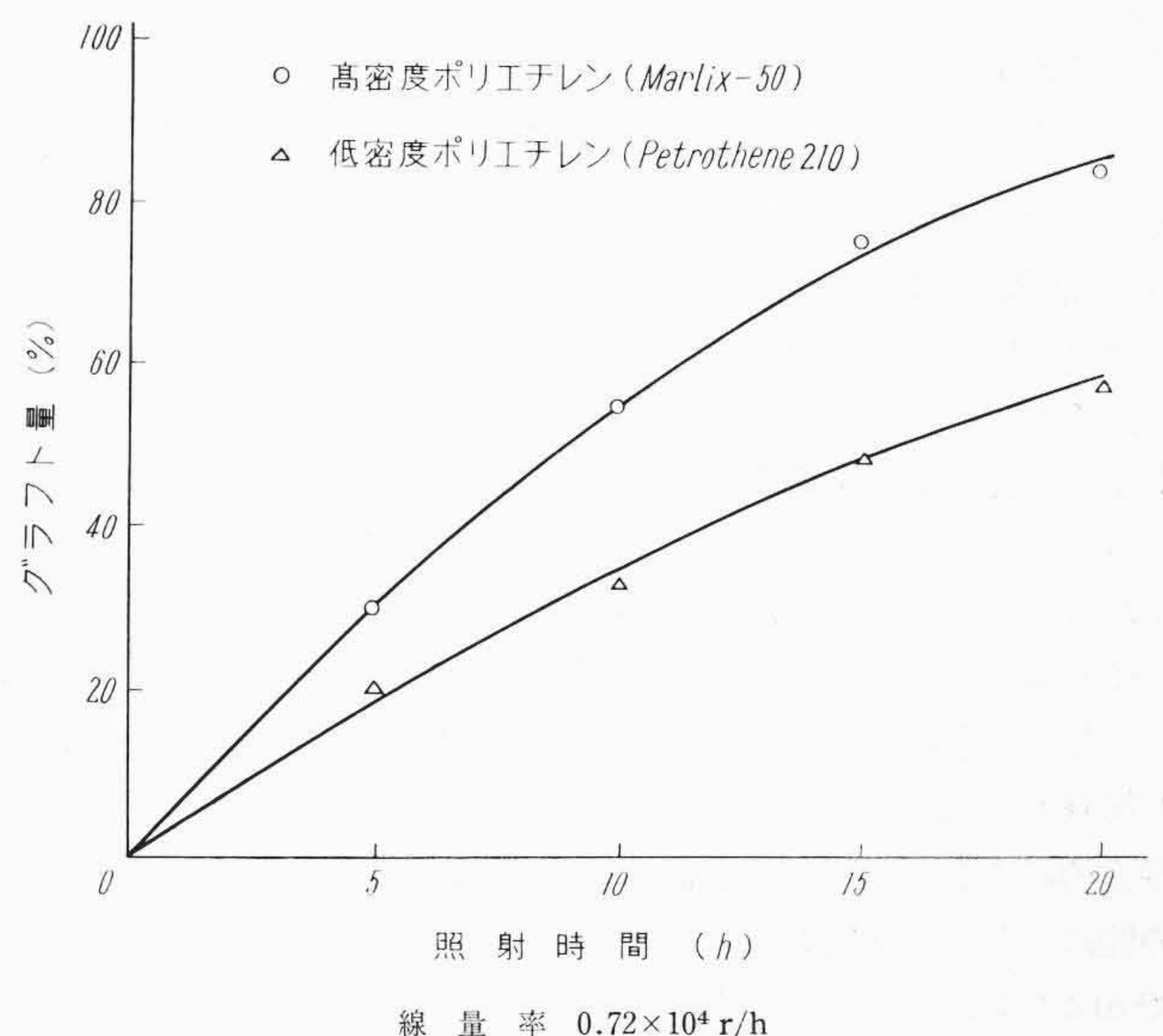
ないが、高分子を適度に膨潤させる溶剤中では顕著な反応性を示すものもある⁽²⁾。したがって前照射法によるグラフト重合の挙動は照射条件よりむしろグラフト重合を開始する活性基が遊離基かパーオキサイドかそのいずれであるかにより決まるものである。

以上述べた四つの方法はそれぞれ利害得失があるが、著者らはこれらの方法によりポリエチレンフィルムにスチレンおよびアクリロニトリルのグラフト重合を行ない、これらグラフト重合反応および生成ポリマーの性質について検討したので、これらについて以下報告する。

2. 同時照射法

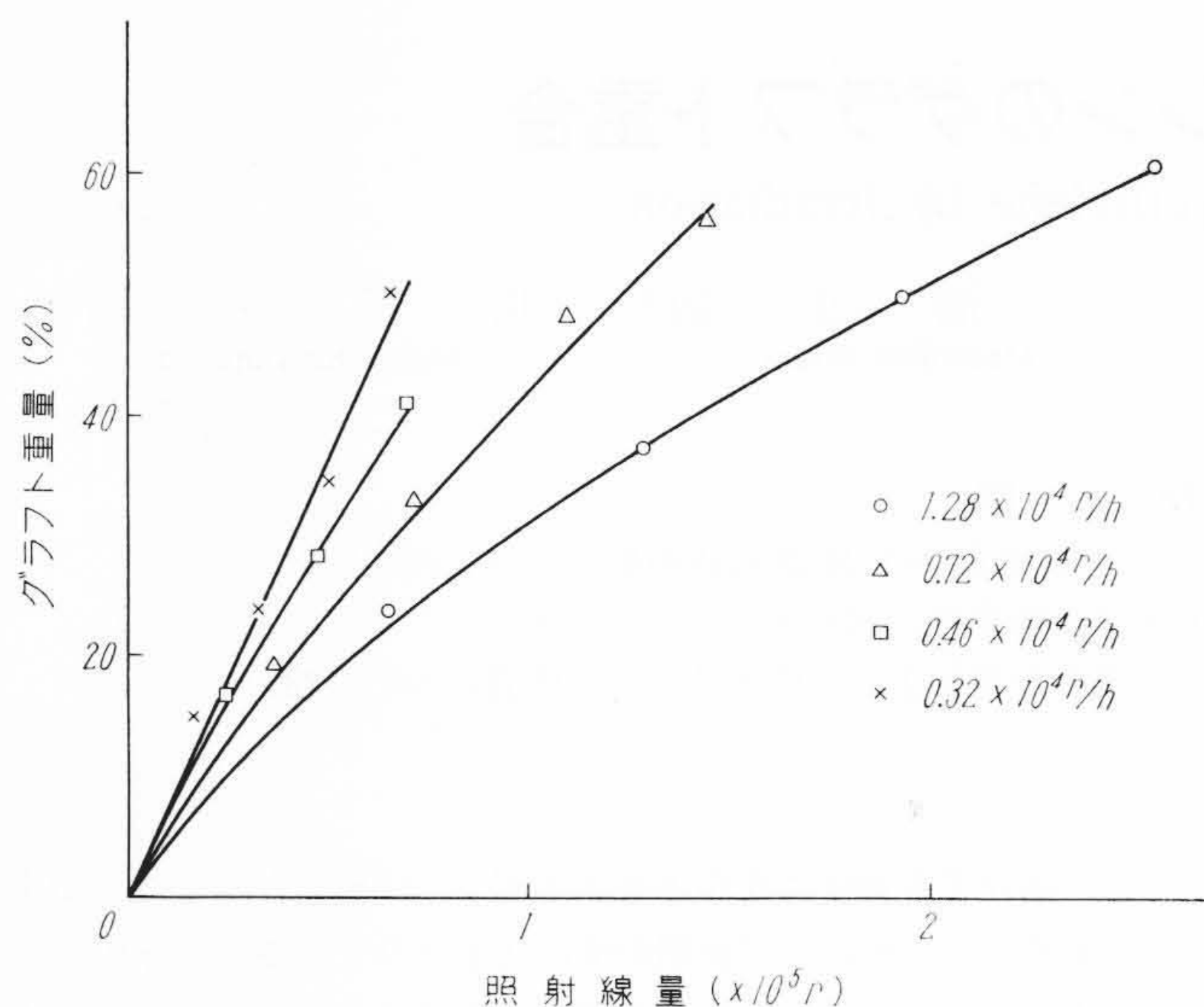
2.1 浸漬同時照射法

この方法でグラフト重合を行なうと比較的少線量でグラフト共重合体をうることができるが、モノマーも同時に照射されるため、ホモポリマーができやすい。第1図に厚さ 0.1 mm のポリエチレンフィルムを脱ガスしたスチレン中に浸漬し、空温で、酸素の存在しない状態で ^{60}Co の γ 線を照射し、グラフト重合を行なった場合のグラフト量と照射時間の関係を示す。グラフト量は初めの試料の重量を P_0 、グラフト後の重量を P とすると $(P-P_0/P_0) \times 100(\%)$ で表わされる。第1図からわかるように、比較的わずかな線量でグラフト重合が進行しているが、グラフト速度は反応の進行とともに少しずつ低下してゆく。また高密度ポリエチレンの方が低密度のものよりグラフト速度が大きくなっている。アクリロニトリルを低密度ポリエチレンにグラフトした場合は逆にグラフト速度は加速するような傾



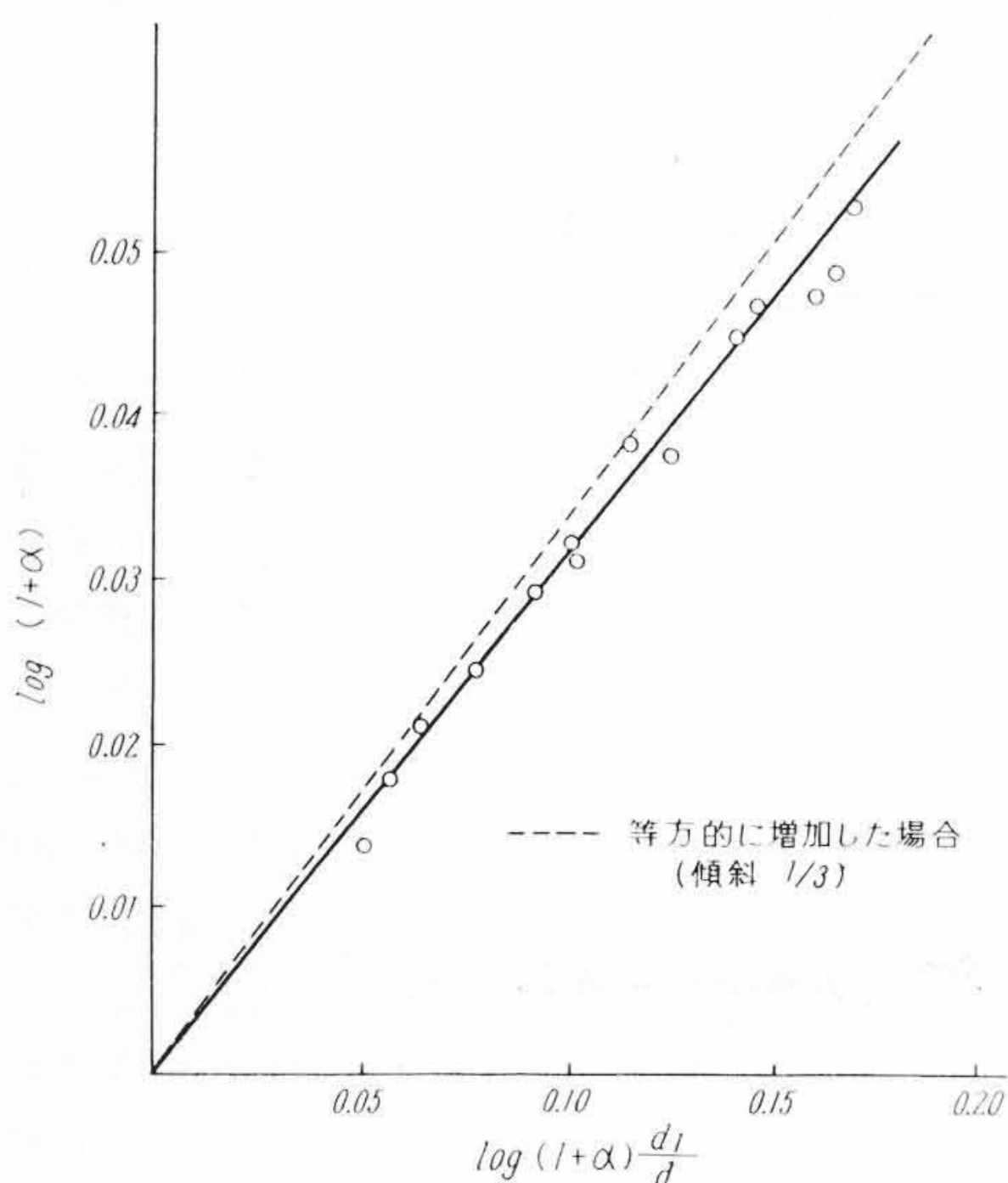
第1図 浸漬同時照射法によるポリエチレン—スチレングラフト重合

* 日立製作所中央研究所



線量との関係
ポリエチレン，低密度（ペトロテン 210）
グラフト重合は浸漬同時照射法による

第2図 ポリエチレン-スチレングラフト重合におけるグラフト量と照射



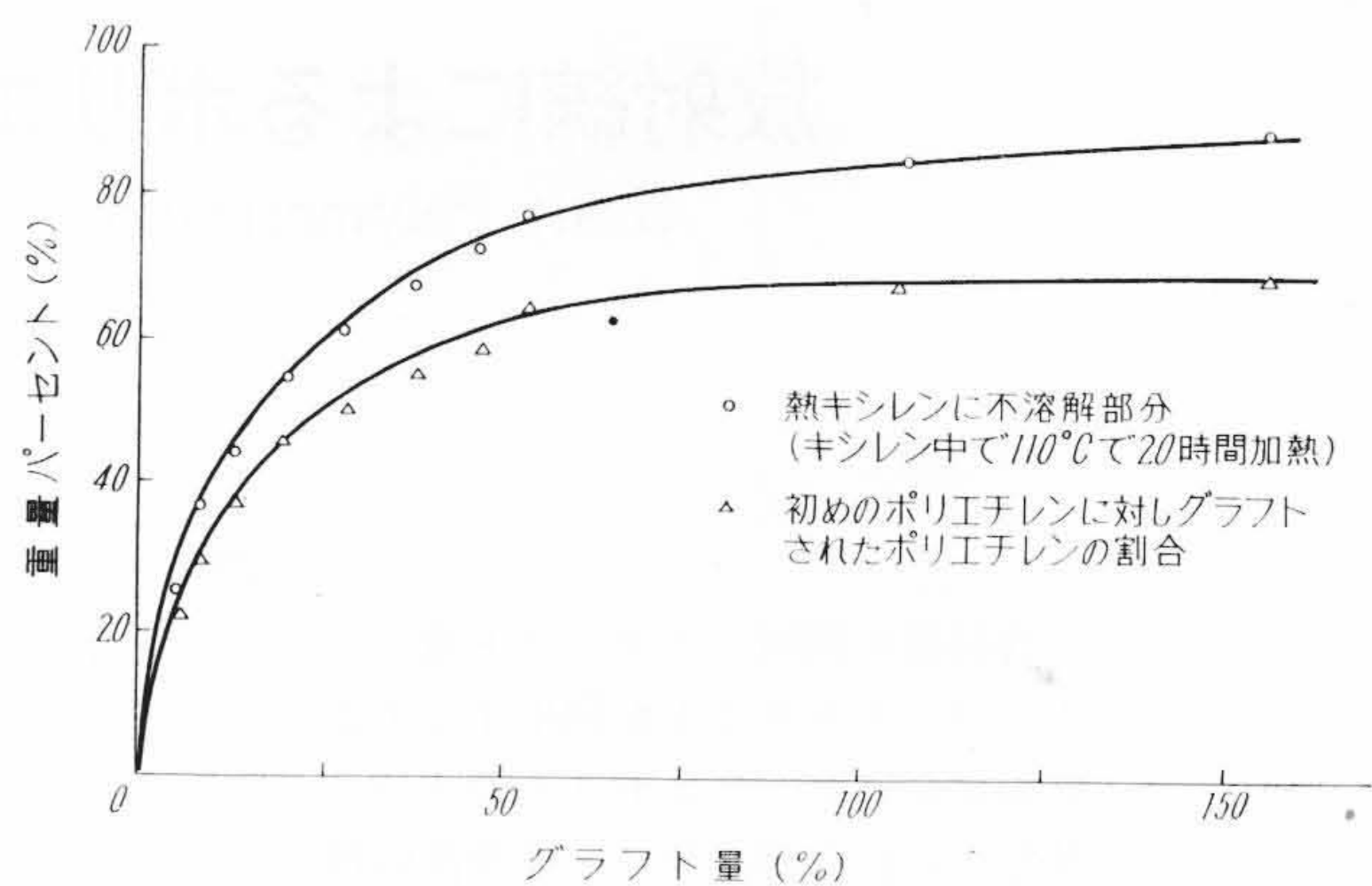
α : 長さの増加 x : グラフト量 d_1 : ポリエチレンの比重
 d : グラフト量 x のグラフトポリマーの比重

試料 フィルムは低密度ポリエチレン（ペトロテン-210）の $80 \times 1 \times 0.01$ cm の形のもの

第3図 ポリエチレン-スチレングラフト重合におけるグラフト重合による長さの増加率とグラフト量との関係

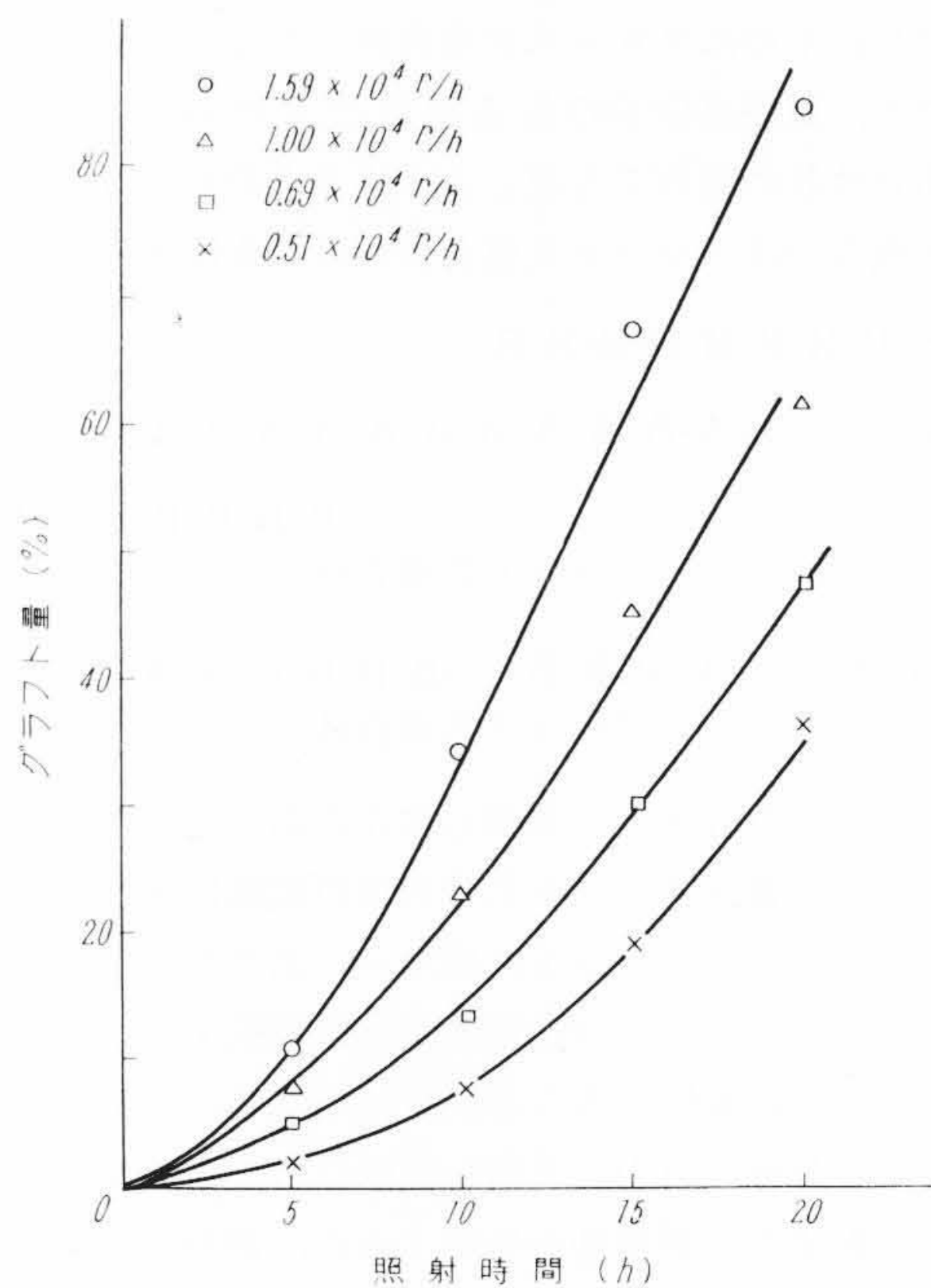
向を示す。次に線量率依存性をみるため、線量率を変えてグラフト量と照射時間の関係を調べた結果、スチレン、アクリロニトリルのいずれの場合も単位線量あたりのグラフト量が線量率が低くなるほど大きくなることが明らかになった。一例としてスチレンをグラフトした場合の結果を第2図に示す。

ポリエチレンフィルムにグラフト重合を行なうと形がかなり大きくなる。この広がり規則性を検討する意味で、第3図に $80 \times 1 \times 0.01$ cm の細長いテープ状の低密度ポリエチレンにスチレンをグラフトした場合の長さの増加を測定し、等方的に大きくなると仮定した場合との比較を示した。グラフト重合が内部まで均一に起こり、等方的に大きくなったと仮定すると、 $\log(1+\alpha)$ と $\log \frac{d_1}{d} (1+x)$ の間に $1/3$ のこう配をもった直線関係が成り立つはずである。ここで α はグラフト重合による長さの増加率、 d_1 はポリエチレンの比重、 d はグラフト量 x のポリマーの比重である。もし仮に表面グラフトならば、厚さの増加率が大きく、長さの増加率は著しく低くなるは



グラフトポリマー：厚さ 0.1mm の低密度ポリエチレン（ペトロテン-210）フィルムに浸漬同時照射法でグラフトしたもの

第4図 ポリエチレン-アクリロニトリルグラフトポリマーの熱キシレン中での不溶解量および初めてのポリエチレンに対し、グラフトされたポリエチレンの割合



ポリエチレン：低密度（ペトロテン-210）スチレンの飽和蒸気中で室温で照射

第5図 気相同時照射法によるポリエチレン-スチレングラフト重合

ずである。第3図にみられるように、ポリエチレン-スチレングラフト重合ではいずれの方向にもほぼ等しい割合で大きくなっており、表面グラフトではなく、内部までグラフトされていると考えられる。

アクリロニトリルの場合は、ポリエチレンは溶かすが、アクリロニトリルは溶かさないキシレンを溶剤として用い、 90°C で 10 時間加熱してグラフトしたフィルムのキシレンに不溶解の量を測定した。その結果を第4図に示す。可溶部分は流動点および窒素分析の結果、ほとんどポリエチレンと考えられるが、この可溶部分をポリエチレンとし、不溶解部分をグラフトポリマーおよびグラフトポリマー中に包含されているアクリロニトリルのホモポリマーとして、初めてのポリエチレンに対してグラフトされたポリエチレンの割合を求め、同じ第4図に示した。グラフト量が大体 50% 以上になるとポリアクリロニトリルと結合しているポリエチレンの割合はほぼ一定になり、このことから 0.1 mm の厚さのフィルムでは約 65% 程度のポリエチレンはグラフトされるが、内部の 35% 程度の部分はグラフト量が増大しても未反応のまま残るものと推察される。すなわち

この条件下では内部まで均一なグラフト重合は行なわれていないものと考えられる。

2.2 気相同時照射法

ポリエチレンをモノマーの蒸気中で照射してもグラフト重合が起こる。この方法は同時照射法であるが、モノマーが気相であるためホモポリマーの生成量が少なく、また使用するモノマーの量も少なくすむので工業的にも興味ある方法である。われわれのところでもスチレン、アクリロニトリルの飽和蒸気中で、酸素の存在しない状態で、室温で低密度ポリエチレンに γ 線を照射しグラフト重合を行なった⁽³⁾。第5図にスチレンをグラフトした場合の照射時間とグラフト量の関係を示したが、浸漬法とは異なって反応初期に反応速度が加速するような傾向が認められる。またグラフト重合の線量率依存性は浸漬法と同様に認められ、低線量率ほど単位線量あたりのグラフト量は高くなっている。アクリロニトリルの場合もスチレンと類似した挙動を示した。

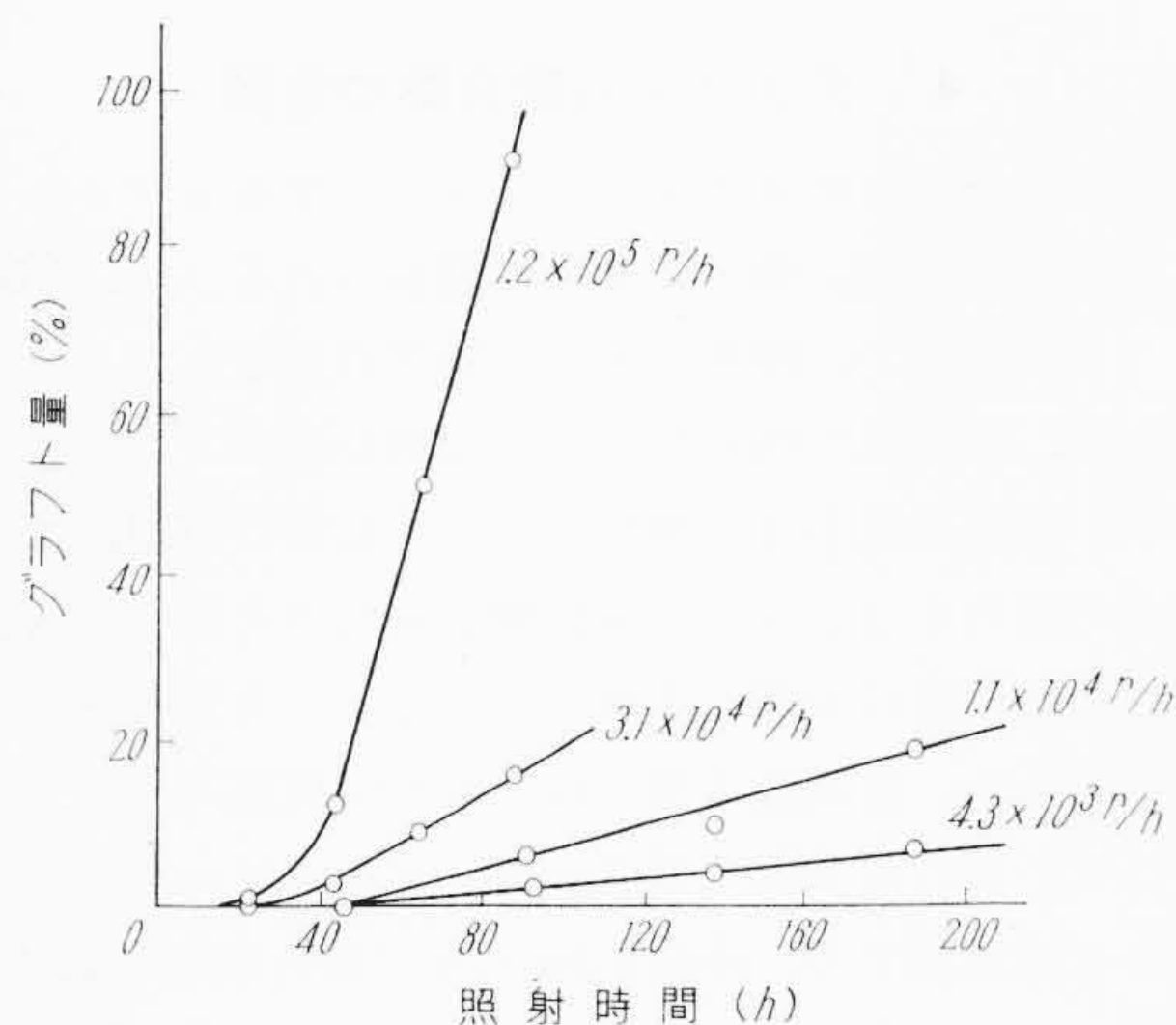
3. 前照射法

3.1 パーオキシドを利用する方法

ポリエチレンに放射線を照射すると遊離基を生成するが、酸素が共存する場合は、これが遊離基に付加してパーオキシドが形成される。一般に酸化反応は下記に示すような段階で起こるものと考えられている。放射線酸化では(1)の段階は温度にあまり依存しないので、



(3)の段階が一番大きな活性化エネルギーを必要とするであろう。したがって放射線による常温酸化ではR-Hの結合の弱い場合を除いて一般に(3)の反応によるヒドロパーオキシ化はあまり起こっていないと推定されている。放射線酸化したフィルムをモノマー中で加熱するとパーオキシドが分解し、グラフト重合が起こる。ジパーオキシドは高分子遊離基のみを生成するため、連鎖移動によるホモポリマーの生成を除けばグラフトポリマーのみを生成する。ヒドロパーオキシドからは高分子遊離基とヒドロキシ遊離基が生成し、後者の遊離基からホモポリマーが形成される。ポリエチレンについてこの方法でグラフト重合を行なうとホモポリマーもかなり生成するので、ヒドロパーオキシドも生成していることは確かであろう。空气中で γ 線照射した低密度ポリエチレンフィルムをアクリロニトリル中に浸漬し、酸素を除いた状態で加熱し、グラ



グラフト重合: 80℃ 3時間
ポリエチレン: 低密度 (Alatnon-10)

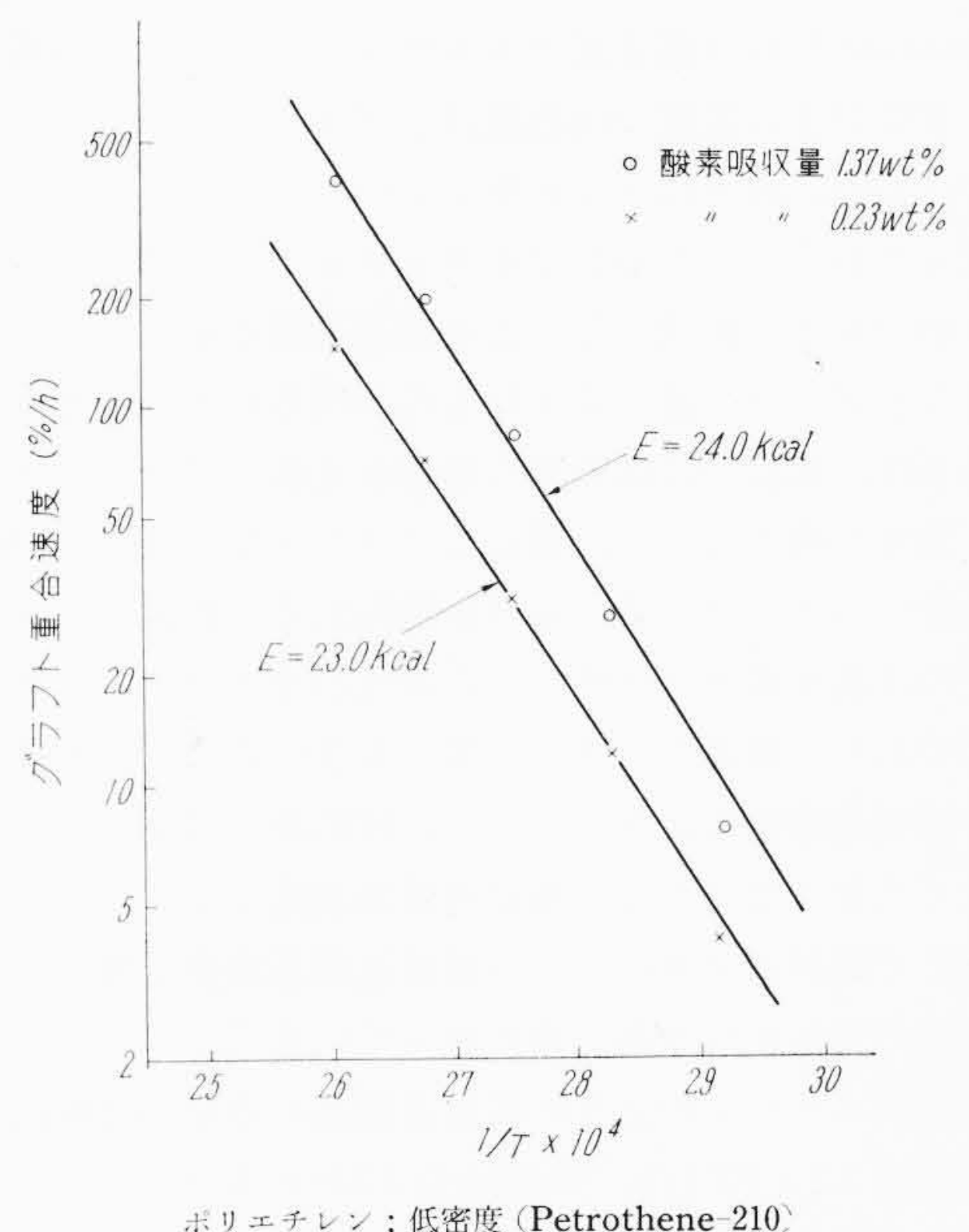
第6図 空气中照射時間とグラフト量の関係

フト重合を行なうと、グラフト量は反応時間に比例して増加し、誘導期は認められない。しかし照射量とグラフト速度の関係においては第6図に示すように明らかに誘導期が存在し、その後照射時間に比例してグラフト速度が増大してゆく。この誘導期にはポリマー中の酸化安定剤もかなり影響を与えているものと思われる。グラフト速度が誘導期後の照射時間に比例することは、パーオキシドは誘導期の部分を除いた照射線量に比例して生成し、グラフト速度はパーオキシド濃度に比例することを意味するものと思う。(3)の段階によりヒドロパーオキシドが生成するならば、この反応は連鎖反応になり、酸化は加速するはずである。しかしパーオキシドは照射量に比例して生成しているで、この場合は連鎖パーオキシ化は起こっていないようである。またグラフト速度がパーオキシド濃度に比例することから、停止反応は連鎖生長末端の遊離基の埋蔵による一分子停止反応が起こっているものと推定される。第6図の直線部分のこう配は各線量率におけるパーオキシ化速度に対応するもので、これはほぼ線量率に比例している。このことは誘導期を別にするとパーオキシ化に線量率依存性のないことを意味するが、測定点も少なく、線量率の範囲も十分でないので明確なことはいえない。しかし誘導期には線量率依存性が認められる。Chapiro⁽⁴⁾はパーオキシ化速度は線量率の0.74乗に比例すると報告しており、また一定照射時間ごとに酸素の吸収速度を測定した結果⁽⁵⁾では線量率依存性が認められている。

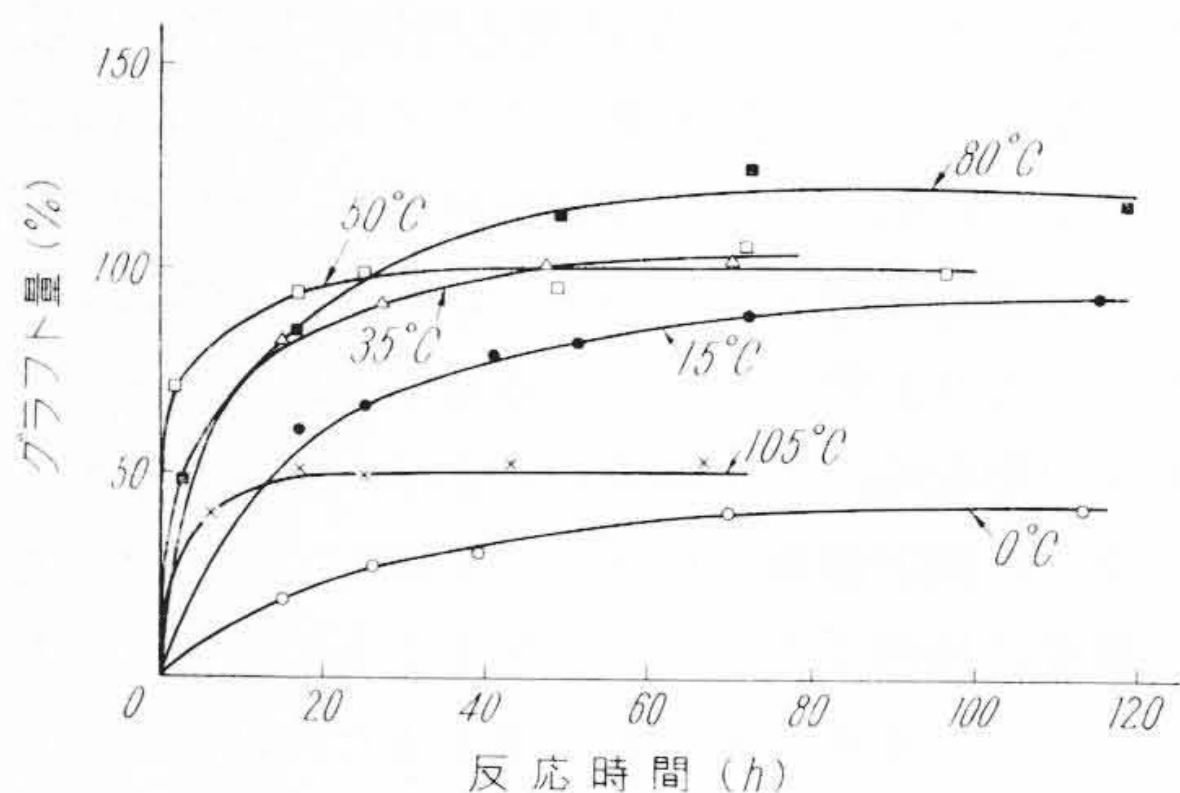
グラフト速度の温度依存性はほぼアレニウスの式を満足しており第7図に示すように活性化エネルギーは23~24 kcal/molになる。オゾン酸化した同じ厚さのポリエチレンフィルムでは22.3 kcal/mol 空气中でロール練りして酸化させたものでは21.6 kcal/molで、いずれもほぼ等しい値になっており、このこともこの空气中前照射によるポリエチレンのグラフト重合はパーオキシドにより起こっていることを裏づける資料の一つになっている。

3.2 捕捉遊離基を利用する方法

高分子中に生成した遊離基にはかなり寿命の長いものもあり、したがって真空中で照射後、酸素に触れないようにしてモノマーと接触させると、室温においてもグラフト重合が進行する。この方法は比較的低温でもグラフト重合ができ、また遊離基の連鎖移動による以外にはモノマーの単独重合は起こらないのでホモポリマーの生成量が一般に非常に少ない。まず反応温度の影響を考えると、高

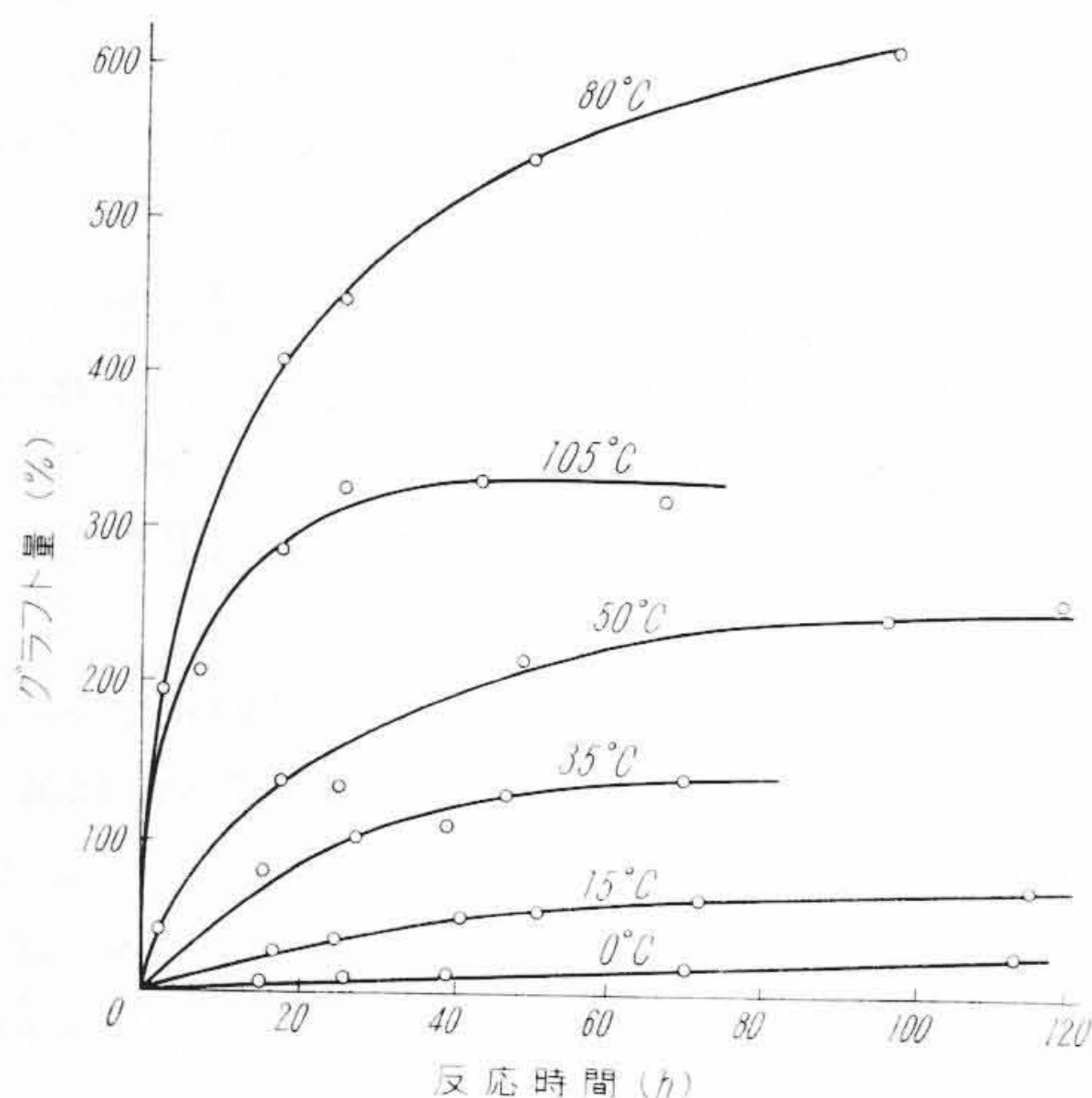


第7図 空气中前照射によるポリエチレン-アクリロニトリルグラフト重合における重合速度と温度との関係



照射量 10 Mr, 線量強度 1.2×10^5 r/h
ポリエチレン: Alathon-10, フィルムの厚さ 0.1mm

第8図 真空中前照射による低密度ポリエチレン-アクリロニトリルグラフト重合におけるグラフト温度の影響

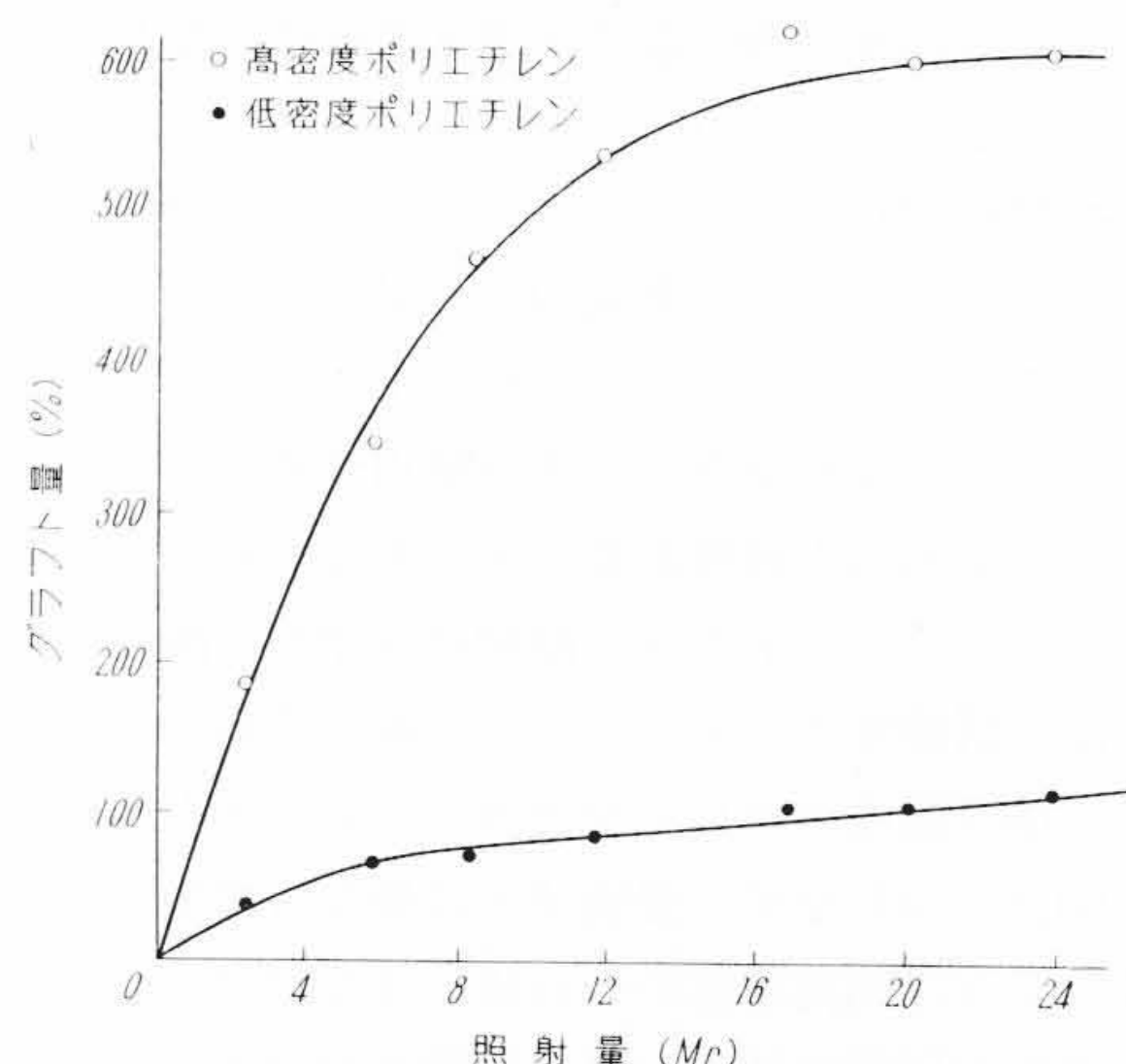


照射量 10 Mr, 線量率 1.2×10^5 r/h
ポリエチレン: Marlex-50, フィルムの厚さ 0.1mm

第9図 真空中前照射による高密度ポリエチレン-アクリロニトリルグラフト重合におけるグラフト温度の影響

分子中の捕捉遊離基でグラフト重合を行なう場合は、温度が高くなるとグラフト速度は増加するが、一方捕捉遊離基の消滅速度も著しく大きくなり、グラフト量はすぐに飽和する傾向を示す。またポリマーが反応系の中で膨潤する場合には、この遊離基の消滅速度は大きく、したがって低い温度の方がグラフト量が大きくなる結果となる。Ballantine⁽⁷⁾らは低密度ポリエチレン-スチレンの系で実験を行ない、0°C以上の温度では低温ほどグラフト量が大きくなることを明らかにした。我々はポリエチレン-アクリロニトリルの系で実験を行なったが⁽⁶⁾、この場合はポリエチレンもグラフトポリマーもモノマー中であまり膨潤しないため第8,9図に示すようにむしろ加熱したほうがグラフト量の大きなものが得られる。高密度ポリエチレンの場合は、低温では低密度の場合と比較してグラフト速度が小さいが、温度が高くなると、著しくグラフト量が増大し、80°Cでは低密度の数倍のグラフト量のものが得られる。低温でグラフト速度の小さいのは高密度ポリエチレンのほうがモノマーの拡散速度が小さいためであり、高温でグラフト量が多いのは、高密度ポリエチレン中の捕捉遊離基により安定で、比較的高い温度でもその消滅反応はさほど小さくなく、また捕捉遊離基濃度がより高いためと思われる。ESRで照射ポリエチレンの捕捉遊離基濃度を測定した結果でも、高密度の方がかなり高い値になっている⁽⁷⁾。

高密度ポリエチレンのように捕捉遊離基の寿命が比較的長いものでは、線量率 1.2×10^5 r/h, 照射線量 3 Mr の範囲で、グラフト量は照射線量に比例して増加することが認められた。すなわちこの程度の照射量では遊離基の消滅速度はほとんど無視でき、捕捉遊離基は



高密度ポリエチレン: Marlex-50, 低密度ポリエチレン: Alathon-10
照射量 10 Mr, 線量率 1.2×10^5 r/h, グラフト温度 80°C, 24時間

第10図 真空中前照射によるポリエチレン-アクリロニトリルグラフト重合における照射線量とグラフト量の関係

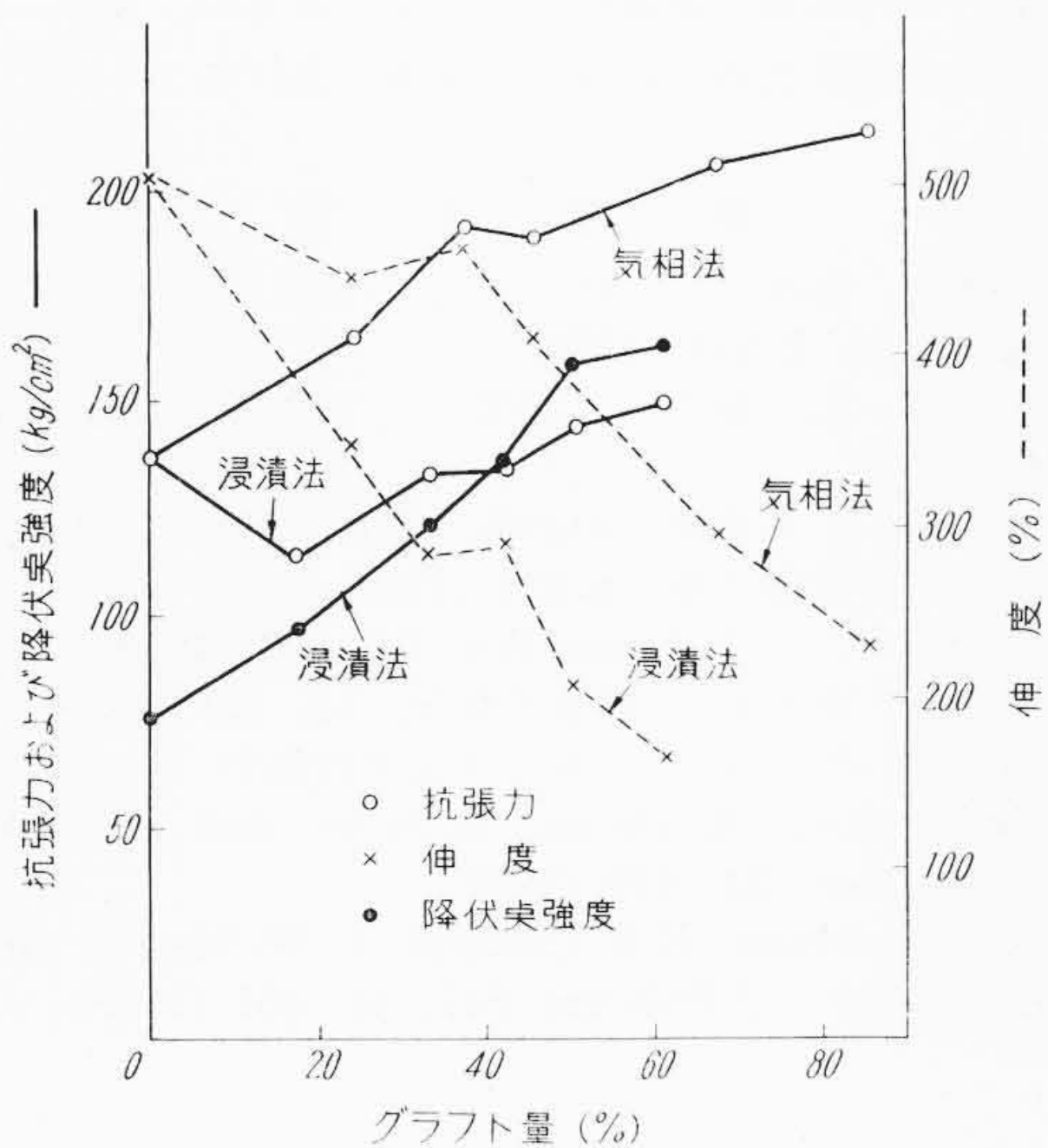
照射線量に比例して増大する。したがってグラフト量は捕捉遊離基濃度に比例するものと推察される。照射をさらに長時間続けると遊離基の消滅速度は無視できなくなる。遊離基が照射量に比例して生成し、かつこれが2分子反応で消滅すると照射時間に対する遊離基濃度の変化は次式で示される。

$$[R\cdot] = \tanh\left(\frac{t}{\tau}\right) \dots\dots\dots (1)$$

ここで $[R\cdot]$ は遊離基濃度、 t は照射時間、 τ は平均寿命である。第10図にグラフト温度 80°Cにおける照射線量とグラフト量の関係を示す。高密度の方はよく上式を満足するが、低密度のものはある線量以上のところで照射量に比例してグラフト量が増大している。しかしグラフト温度を下げた35°Cで行なうと、高密度の場合と同様にグラフト量が飽和する。以上の結果から推察すると、ポリエチレン中に捕捉されている遊離基には長寿命のものと短寿命のものがああり、低密度ポリエチレンの場合、35°Cでは主として短寿命遊離基がグラフト重合に関与し、80°Cでは長寿命と短寿命の両方が反応するものと思われる。すなわち短寿命遊離基の濃度は照射の初期に飽和し、一定になるが、長寿命のそれは寿命が非常に長いため測定した範囲では照射量に比例して増大してゆく。高密度ポリエチレンの場合(1)式を満足する結果が得られたのは、80°Cでは短寿命遊離基のみが主として反応しているためであろう。(1)式から第10図の値に基づいて平均寿命 τ を求めると71時間になるが、これは80°Cでグラフト重合に関与する短寿命の捕捉遊離基の平均寿命であり、このほかにきわめて長寿命の捕捉遊離基も存在するものと思われる。

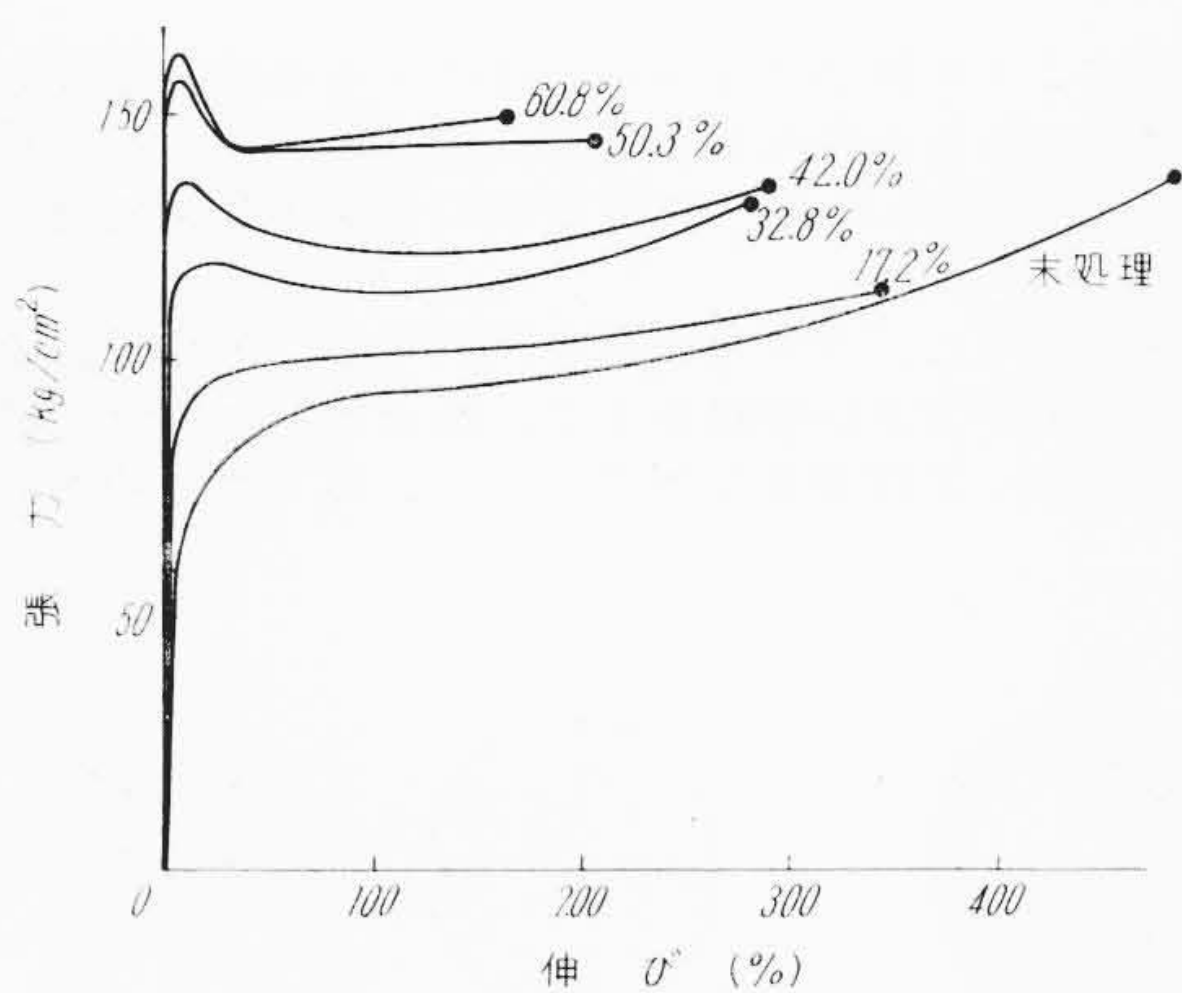
4. グラフト共重合体の性質

低密度ポリエチレンにスチレンをグラフトするとフィルムはかたくなり、抗張力の増加、伸びの低下が期待される。第11図にグラフトポリマーの抗張力、破断の伸び、降伏点強度とグラフト量の関係を示したが、浸漬法で得られたものは伸びはグラフト量とともに低下するが、抗張力はあまり増加しない。しかし第12図の応力-伸び特性から明らかのように、単位伸びあたりの応力は大きくなっており、降伏点強度は顕著に上昇している。一方気相法で得られたものと比較すると、浸漬法で得られたものは抗張力、伸びのいずれも低くなっている。浸漬法でポリエチレンにスチレンをグラフトするとフィルムは白濁する。Hoffmanらも同様な現象を認め⁽⁸⁾、ある場合にはフィルムの表面にぶつぶつができ、その中にポリスチレンのスチレン溶液がはいっていることを認めた。白濁したフィルムはおそらくこのような粒子が微細に分散しているものと思われる。気



ポリエチレン：低密度 (Petrothene-210)

第11図 同時照射法によるポリエチレン-スチレングラフトポリマーの抗張力、降伏点強度および伸度とグラフト量との関係



ポリエチレン：低密度 (Petrothene-210)

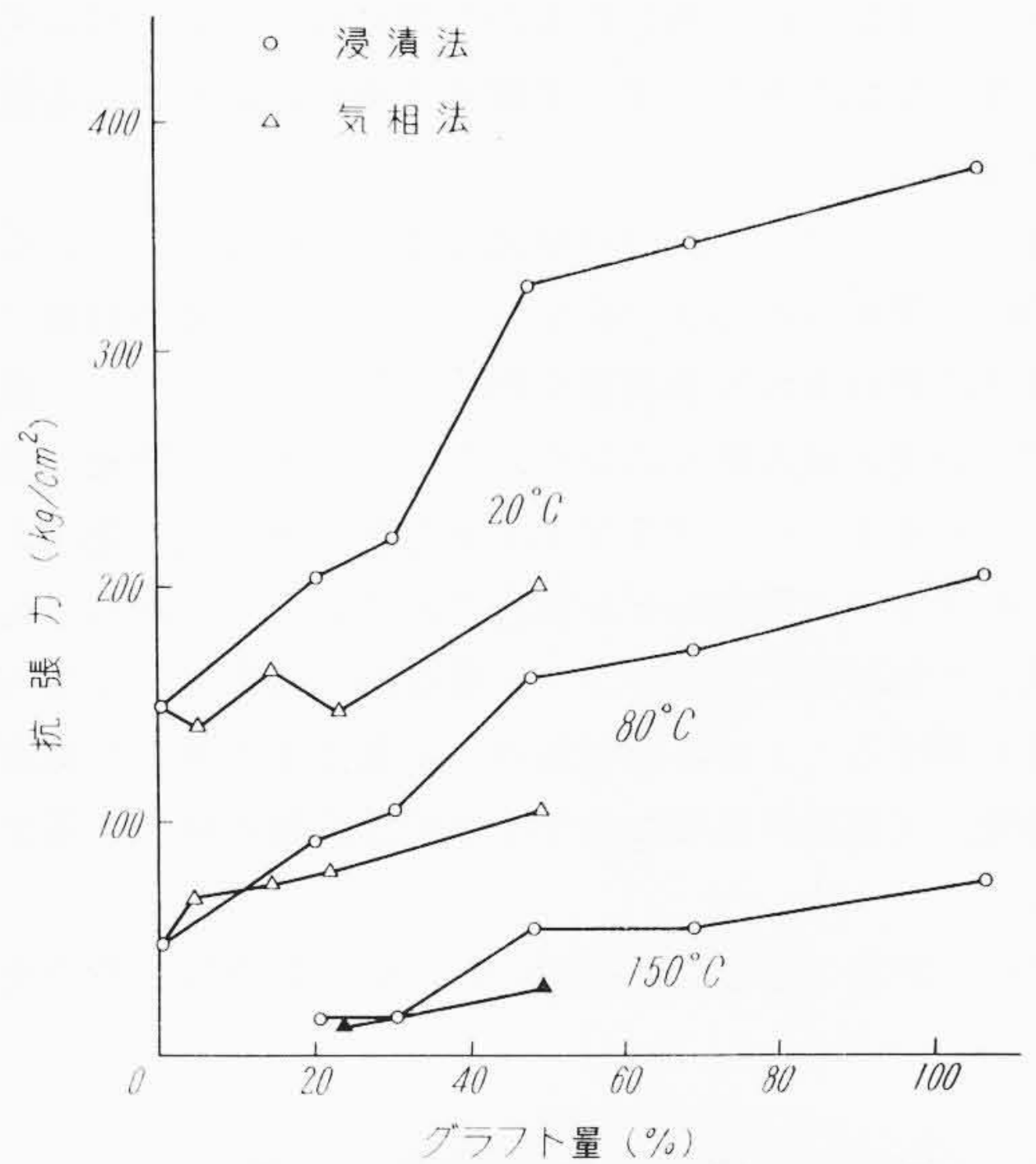
第12図 浸漬同時照射法によるポリエチレン-スチレングラフトポリマーの張力-伸び特性 (図中数字はグラフト量を示す)

相法でグラフトしたものでは、フィルムの透明度はグラフト後も変わらず、より均一な組成のものになっている。このような構造上の違いがグラフトポリマーの抗張力、伸びにも影響しているのであろう。また捕捉遊離基を利用する方法でスチレンをグラフトした場合も気相法と同様に均一な組成のフィルムが得られた。

ポリアクリロニトリルはポリスチレンに比較して軟化点が高いので、アクリロニトリルをグラフトしたものでは比較的高い温度における機械的性質の改善が期待される。第13図に浸漬法および気相法で低密度ポリエチレンにアクリロニトリルをグラフトしたものについて、20, 80, 150°Cにおける抗張力とグラフト量の関係を示したが、スチレンの場合と異なり、浸漬法で得られたもののほうが抗張力は大きくなっている。伸びは第14図に示したように、室温ではグラフト量の増加とともに低下するが、温度が高くなると逆にグラフト量とともに増加する。

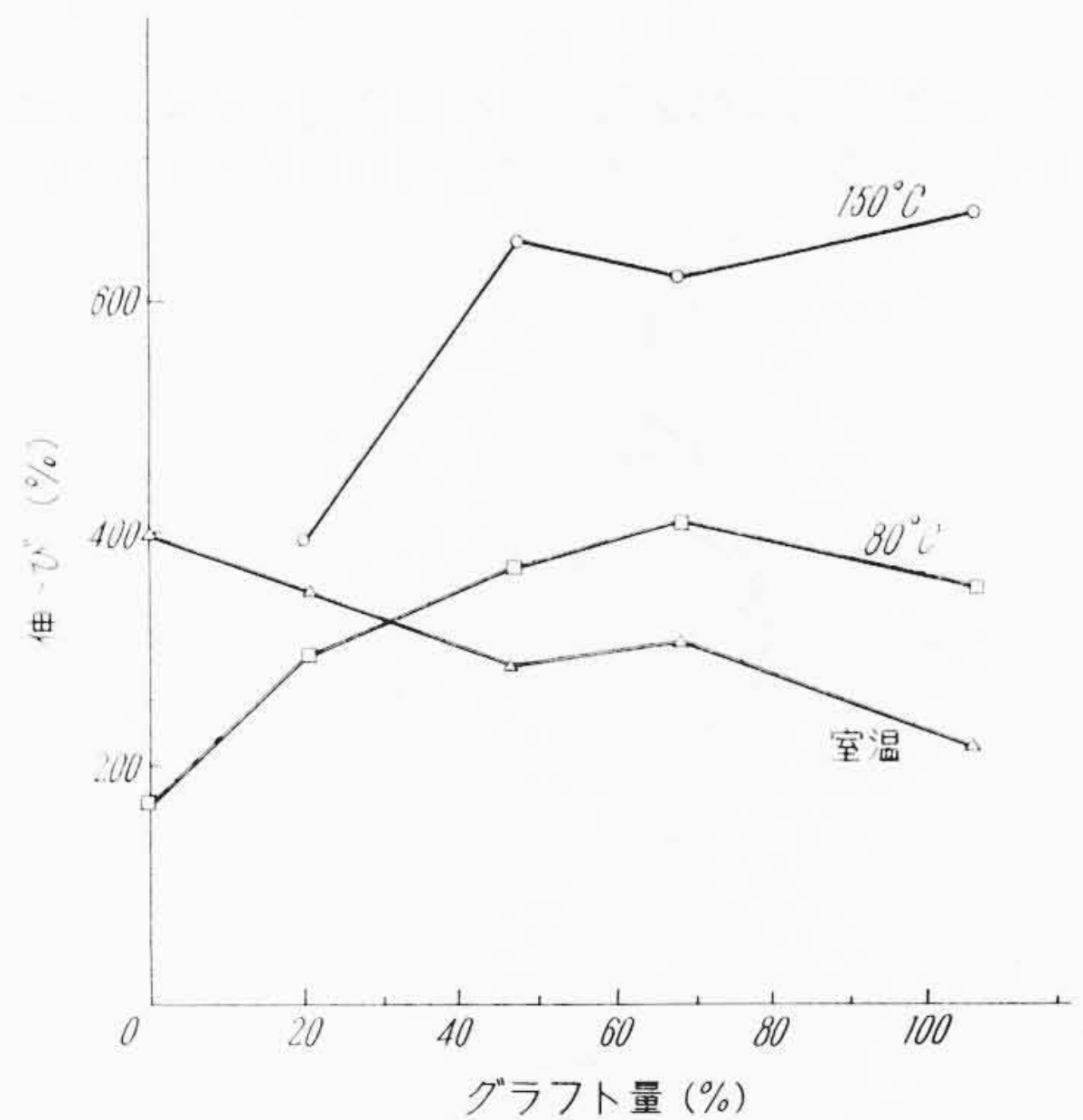
5. 結 言

グラフト重合は放射線により容易に行なえるが、そのうち代表的な四つの方法でポリエチレンにスチレンおよびアクリロニトリルをグラフト重合し、それぞれのグラフト重合反応について検討を加え、さらに生成ポリマーの機械的性質を測定したので、これについ



ポリエチレン：低密度 (Petrothene-21)

第13図 同時照射法によりポリエチレン-アクリロニトリルグラフトポリマーの抗張力とグラフト量との関係



ポリエチレン：低密度 (Petrothene-210)

第14図 浸漬同時照射法によるポリエチレン-アクリロニトリルグラフトポリマーのグラフト量と伸びの関係

て報告した。これら四つの方法の得失を考えてみると、同時照射法は一般に照射線量が少なくすむ。そのうち浸漬法は放射線で重合しやすいモノマーの場合にはホモポリマーの生成量が多く、気相法はホモポリマーの生成量は少ないが、蒸気圧の低いモノマーには適用できない。前照射法は同時照射法より大きな線量を必要とするが、グラフトされた枝ポリマーが照射されないため、照射により変化しやすいポリマーを接枝する場合には有利である。そのうちパーオキシドを利用する方法はホモポリマーの生成量が多く、また幹ポリマーが多少なりとも酸化劣化する点が欠点であるが、このパーオキシドは比較的安定で、長時間放置しておいてもグラフト重合に対する活性はあまり低下しない。捕捉遊離基を利用する方法は酸化劣化の心配はなく、ホモポリマーの生成量も少なく、ポリマーがモノマー中で多少なりとも膨潤する場合には室温でもグラフトできる点が有利であるが、遊離基は酸素と付加してパーオキシドを作りやすく、また酸素を遮断しても、遊離基は急速に消滅してゆく場合もあり、パーオキシドを利用する方法と比較して照射後のポリマーの取り扱いが幾分めんどろである。また浸漬法でポリエチレンにスチレンをグラフトするとフィルムは白濁し、ポリスチレンのホ

モポリマーが不均一に分散したものが得られた。したがって重合法の選択は重合反応のみならず、生成ポリマーのほうからも検討されなければならない。

放射線によるグラフト重合の研究は盛んに行なわれているが、まだ本格的に工業化されるまでに至っていない。一方放射線グラフト重合の研究に刺激されて放射線を利用しないでフィルム、繊維にグラフトする研究が最近盛んになり、たとえばオゾン酸化、熱酸化などによりパーオキシしてグラフトする方法、セリウム塩によるセルローズへのグラフト重合などが報告されている。これらの化学的方法に対抗して放射線によるグラフト重合が工業化されるためには照射設備費を下げる必要があるであり、工業生産に適した加速器など線源の開発、工業化に必要な化学工学的諸問題の解決が望まれる次第である。

終わりに、終始ご激励、ご指導いただいた日立製作所中央研究所

浜田副所長、北川部長に深謝申しあげるとともに、種々ご援助、ご協力いただいた関係者各位に厚くお礼申しあげます。

参 考 文 献

- (1) 篠原康夫, 富岡研二, 向山鋭次: 第3回日本アイソトープ会議報文集, p. 274 (1959)
- (2) 桜田一郎, 岡田紀夫, 久語栄子: 放射線と高分子, 3, No. 4, 316 (1960)
- (3) 三浦正敏, 川松俊治, 中田修, 平井忠明: 第3回日本アイソトープ会議報文集, p. 271 (1959)
- (4) A. Chapiro: J. Polymer Sci., 34, 439 (1959)
- (5) 川松俊治, 新井旭: 高分子化学, 16, 358 (1959)
- (6) 三浦正敏, 川松俊治: 高分子化学投稿中
- (7) D. Ballantine, A. Glines, G. Adler and D. J. Metz: J. Polymer Sci., 34, 419 (1959)
- (8) Allans Hcuffman, E. R. Gilliland, E. W. Merrill and W. H. Stockmayer: J. Polymer Sci., 34, 461 (1959)



登録新案第522755号

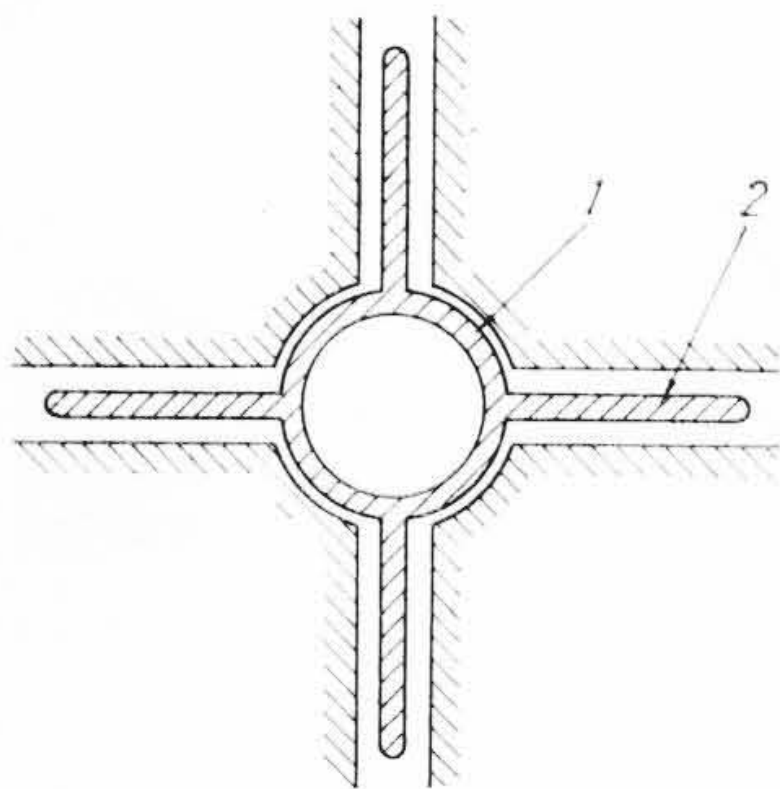
新 案 の 紹 介



松 本 政 吉・江 頭 一 晃

原 子 炉 制 御 棒

従来の原子炉制御棒は第2図および第3図に示すように中性子吸収物質1を断面円形の中実または中空の棒状とするか、あるいは

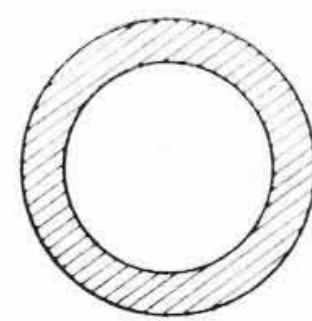


第1図

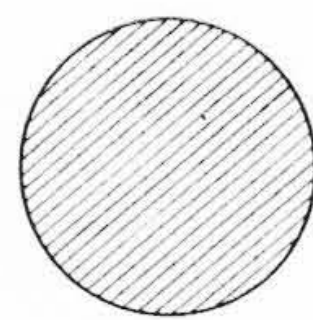
第4図に示すように断面十字形の杆体にするのが普通であったが、この考案は、これらを組み合わせ第1図に示すように、断面円形の棒状体1に長手方向にそって複数の板状部2を突設したものである。

この考案によると、十字形断面の利点である単位断面積当りの熱中性子吸収面積が大きい特徴をして、断面円形の特徴と組み合わせ機械的強度大で、工作容易な形でうることができる効果がある。

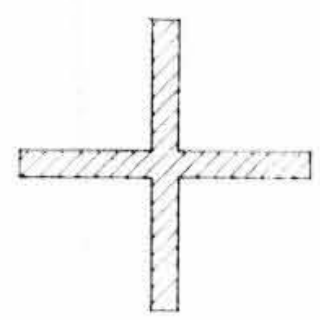
(丸山)



第2図



第3図



第4図



特許第286681号

特 許 の 紹 介



松 本 政 吉・守 田 孝 博

過 熱 部 を 有 す る 原 子 炉

同一炉心に過熱部を設けている原子炉にあって、過熱部に制御棒をそう入することは技術的にむずかしい、しかし過熱部は温度が高く、かつ冷却作用も弱いので蒸発部以上に機能的な制御を必要とするのが実情である。

この発明は過熱部を構成する部分を他の炉心部分に対し相対的に移動し、過熱部の、原子炉内に配置された中性子吸収材あるいは減速材の関係位置を変えることにより、過熱部を構成する炉心、の核反応ないしは中性子の漏えい状態を変えて過熱部の制御を行なうようにしたことを特徴とするものである。

図において1は蒸発部、2は過熱部で給水口5から導入される冷却水は、炉心下部から蒸発部1に導入されて蒸発し、蒸気はスクラバー3を経て開口4から、過熱部2を流下するものであるが、この原子炉は、発明により、過熱部6を上下に操作されるように構成されていて、過熱部6の制御を行なわれる。

このように構成することにより、制御棒を設けなくとも、過熱部の制御を行なえる。

(丸山)

