総説

合成高分子への耐放射線性付与

仲 川 勤

1. はじめに

高分子材料がどのくらいの放射線照射線量に耐えるかという研究は、原子炉の構成材料に適するかどうかを明らかにするために始められ、1942~1946年頃に、すでに多くの実用的な報告¹⁾が出された。この当時は問題の性質上、耐放射線性として、次の性質の変化が重視されている。すなわち、応力-伸び曲線、引張り強さ、切断時の伸び、弾性率、せん断強さ、重量変化、比重、吸水率、光透過率、体積比抵抗、電弧抵抗などである。

現在では、耐放射線性のある高分子材料は、1) 食品に放射線を照射して長期保存性を高める包装材料、2) 使い捨て医療器具たとえばプラスチック製注射器などの放射線滅菌に用いる包装材料、として要求されている。しかもこの場合、大量の照射線量に耐えなくとも6~10 Mradの照射で、分解生成物の少ない材料であることが重要である。この程度の線量では、機械的強度などの性質はほとんど変化しないのが普通である。特に食品包装の場合には、耐放射線性に加えて、酸素透過性、水蒸気透過性などの物性もあわせて満足される高分子材料でなければならないという難しさがある。この他にも、耐放射線性のある高分子材料は、放射線施設の電気絶縁材料として、大量の照射線量に耐える材料も、依然として要求されている。

一方、このような高分子工学的な耐放射線性研究とは全く別に、生体を放射線障害から防止しようとする生物学的な放射線防護の研究が、放射線の利用の初期から始められている。ねずみなどに、種々の低分子化合物を注射し、放射線を照射して、死亡率を調べ、放射線防護作用を評価する。この種の研究は1955年頃から、主としてソ連で行なわれ、成書²⁾にまとめられている。放射線防護物質で、動物実験に最も効果のあったのは、βメル

カプトエチルアミン (I)、シスチン (II) のようにアミノ基

チオール基を有する化合物であったが、毒性も強いことから、現在に至るまで、放射線防護物質の研究は根強く続けられており、総説³⁾も出されている。

ここで、一見関係がなさそうに思われる生体の放射線防護の話題を持出したのは、あとに述べるように、高分子工学的な放射線防護と生物学的な放射線防護の間に関連があり、著者の研究室において、耐放射線性にすぐれたポリ塩化ビニルが開発できたのも、このことが契機になってからである。また、今後の耐放射線性高分子の開発の展望にも欠かすことはできないものである。

2. 汎用高分子材料の耐放射線性

高分子にガンマ線、あるいは電子線を照射した場合の影響については、高分子材料別にまとめられている⁴⁾。

放射線を照射された高分子は、主鎖切断型と架橋型に大別されるが、これは両者の反応のうち、どちらが優勢であるかで分類されるもので、二者択一的なものではない。

主鎖切断型はポリメチルメタクリレート、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、テフロン、Kel-F、セルロース、ポリイソブチレンなどで、架橋型はポリアクリル酸エステル、ナイロン、ポリエチレン、天然ゴム、スチレン-ブタジエン共重合体、ブタジエン-アクリロニトリル共重合体、ネオプレン、ポリジメチルシロキサンである。

分解あるいは架橋には、分解生成物として低分子の気体を生成する。高分子材料の放射線に対する安定性をあらわす場合、主鎖切断のG値、架橋のG値を用いる場合もあるが、分解生成物の量であらわす方が適切なことがある。そこで、⁶⁰Coからのガンマ線を10⁻⁶ mmHgの真空中で、照射を開始し、6 Mradの線量を照射した時発

Addition of Anti-Radiation Property to
Synthetic Polymers

TSUTOMU NAKAGAWA

工業技術院製品科学研究所基礎性能部機能材料課長

生した分解ガスの量を第1表⁶⁾に示した。Killoran⁶⁾はこのデータをもとにして、高分子材料の耐放射線性を次の5段階に分類している。分解ガス発生量が1) 1 μ (マイクロ) モル/g 以下, 2) 1~5 μ モル, 3) 5~10 μ モル, 4) 10~20 μ モル, 5) 50 μ モル以上。ここでは数値的に示されていないが, $\text{OCN}-(\text{CH}_2)_n-\text{NHCOO}-(\text{CH}_2)_m-\text{OH}$ の構造を有するポリウレタンも耐放射線性にすぐれ⁷⁾, おそらく1~5 μ モルの級に分類されるものと考えている。

表1 汎用高分子材料の耐放射線性

高分子	構 造	ガス発生量* (μ モル/g)
ポリアミド MXD-6	$\begin{array}{c} \text{O} & & \text{O} & \text{H} & & \text{H} \\ \parallel & & \parallel & \parallel & & \parallel \\ -\text{C}- & (\text{CH}_2)_4 & -\text{C}- & \text{N}-\text{CH}_2- & \text{C}_6\text{H}_4 & -\text{CH}_2- & \text{N}- \end{array}$	0.2
ポリスチレン	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	0.4
クロロメチル化 ポリエーテル	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{Cl} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{O}- \\ \\ \text{CH}_2\text{Cl} \end{array}$	0.5
ポリ塩化3フ ッ化エチレン	$\begin{array}{c} \text{F} & \text{F} \\ & \\ -\text{C}- & \text{C}- \\ & \\ \text{Cl} & \text{F} \end{array}$	0.6
塩 酸 ゴ ム	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	0.7
ポリエステル	$\begin{array}{c} \text{O} & & \text{O} \\ \parallel & & \parallel \\ -\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}- & \text{C}_6\text{H}_4 & -\text{C}-\text{O}- \\ & & \parallel \\ & & \text{O} \end{array}$	0.9
ポリカーボ ネ ー ト	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 & & \text{O} \\ & & \parallel \\ -\text{O}- & \text{C}_6\text{H}_4 & -\text{C}-\text{O}- \\ & & \parallel \\ \text{CH}_3 & & \text{O} \end{array}$	1.6
ナイロン 66	$\begin{array}{c} \text{O} & & \text{O} & \text{H} & & \text{H} \\ \parallel & & \parallel & \parallel & & \parallel \\ -\text{C}- & (\text{CH}_2)_4 & -\text{C}- & \text{N}- & (\text{CH}_2)_6 & -\text{N}- \end{array}$	3.5
ナイロン 11	$\begin{array}{c} \text{O} & \text{H} \\ \parallel & \parallel \\ -\text{CH}_2-(\text{CH}_2)_9-\text{C}- & \text{N}- \end{array}$	4.8
ポリ塩化 ビニリデン	$\begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{C}- \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	8.2
ポリエチレン	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	19.7
ポリエーテル	$-\text{CH}_2-\text{O}-$	85

* 真空中6 Mrad ガンマ線照射

3. 放射線に対する高分子の防護

3.1 放射線防護効果

同一分子中, または隣接分子中に他の化学構造が存在し, この存在によって, 系の主な成分の放射線による反応性を低下させることができる場合, これを放射線防護効果と呼んでいる。しかし, この用語は実験的に観測される結果を示す表現で, これにはエネルギー移動, ラジカル-ラジカル反応, 回復の過程などのようないくつか

の反応機構を通しておこっている。この放射線防護効果は1個の高分子内での防護効果すなわち, 防護作用を有する基が, 高分子に結合している場合, この基によって示めされる防護効果を, 内部防護効果といい, 高分子に対する外部の添加剤による防護効果を外部防護効果といって区別している。

合成高分子に耐放射線を与える方法としては, 1) ポリ塩化ビニルのように, ジッパー的に脱塩酸を生じて, 分解する高分子に対しては, これを妨げる共重合組成とする, 2) 放射線照射により高分子中に生じたラジカルをつぶすか, 他の安定なラジカルに変換させる, 3) いわゆる放射線防護物質を加えるのいずれかである。2) ではラジカルスカベンジャー (Radical Scavenger) 的な物質を対象と考えている。

添加物を加えて外部防護効果を期待する場合, 添加物が, 高分子フィルムや繊維中から表面に移行し, 蒸発あるいは抽出されて, 濃度が時間経過により変化することである。加工方法としては非常に容易であるので, 従来までは, この種の研究が多い¹⁾。

3.2 芳香族化合物による耐放射線性付与

芳香族化合物の誘導体の共鳴効果は高分子に相当な耐放射線性を与えることが知られている。前章において示した第1表においても, フェニル基を有する高分子は分解ガス発生量の点からも非常に安定である (フェニル基の内部防護効果)。添加物として高分子に配合されている例も多い。

3.2.1 ポリジメチルシロキサン (Ⅲ) のフェニル化⁸⁾

ポリジメチルシロキサンはガンマ線照射で容易に架橋し, 1Mradの照射でも, 粘

度が上昇し、そのG値は1.60である。しかし、フェニル基を5モル%含むポリジフェニルシロキサン構造(IV)を有するものは5~10Mrad照射までは安定であり、25モル%含有させると、50~80Mradの照射によっても粘度の増加が見られず安定で、架橋が生ずる場合から求めたG値は0.66である。

(III)

(IV)

3.2.2 ポリエチレンに芳香環の結合、混合

ポリエチレンに耐放射線性を与えるため、ポリスチレンのブレンド、および低分子の芳香族化合物として、アントラセン、フェナントレン、ナフタレンを混合し(外部防護効果)、またポリエチレンにスチレンをグラフトした後、電子線を照射し、発生する水素のG値から安定化効果を調べた⁹⁾。添加量あるいはグラフト量と水素ガス発生G値の関係を第1図に示す。芳香族化合物を加えない場合と比較して、一応ある程度の効果はあるようである。著者の研究から外部防護効果は内部防護効果ほど大きくはない。物理的な混合であるポリスチレンのブレンドよりグラフト共重合体の方が効果的である。しかし、放射線グラフトの性質から、ポリエチレンに化学的に結合している割合は少ないため、それ程の大きな差はない。

(●) ポリエチレン-ポリスチレン; (■) ポリエチレン-フェナントレン
(○) スチレングラフトポリエチレン; (□) ポリエチレン-ナフタレン
(△) ポリエチレン-フェナントレン; (---) 防護効果のない場合

第1図 ポリエチレンに対する芳香族化合物の放射線防護効果(電子線)

3.2.3 セルロースのベンゾイル化

セルロースフィルムや繊維がガンマ線照射をうけると、25Mradの線量で伸びや強度が著しく低下する。この

セルロースをピリジン中で塩化ベンゾイルと反応させその水酸基をベンゾイル化すると第2表に見られるように耐放射線性が向上した¹⁰⁾。置換率1.3とした場合、強度、伸びとも照射より10%しか低下が見られなかった。

第2表 ベンゾイル化セルロース繊維の耐放射線性

置換率	照 射 前		照 射 後*	
	切断強度 (ポンド)	伸 び (%)	切断強度 (ポンド)	伸 び (%)
0	10.5	精製綿紡糸 15.9	2.7	9.6
0.8	9.8	再延伸処理糸 15.0	8.0	13.0
1.0	12.6	11.2	7.9	7.9
1.3	12.8	12.4	10.3	11.4
1.3	5.2	スラック処理糸 23.7	4.2	21.9
1.5	6.5	34.2	5.5	39.7

* ⁶⁰Coよりガンマ線25 Mrad

3.2.4 ポリビニルアルコール、ポリアミドのフェロセン誘導体付与

最近のソ連の研究^{11,12)}によると、1,1'-ジアセチルフェロセンホルムアルデヒド樹脂(V)で、ポリビニルアルコール繊維やポリアミド繊維を処理すると

引張り強度や、弾性が放射線照射をうけても低下しない。詳細は不明であるが、ポリビニルアルコール繊維の場合5~18%のVの溶液で繊維を処理した後140~160°Cに加熱する。ポリアミド繊維の場合は3%のフェロセンホルムアルデヒドを6.5%リン酸を触媒として2時間75°Cで処理する方法である。

3.3 ヘテロ原子を含む環状化合物による防護

最近、Albarinoら¹³⁾はポリ塩化ビニルの粉末あるいはフィルムに、酸素、イオウ原子を含む環状化合物を2~10重量%配合して、1 MeV電子線を6 Mrad照射し、これらの化合物の防護効果を調べた。耐放射線性の測定

には、ポリ塩化ビニルが照射によってポリエニラジカル(VI)を生じ、あるいは共役二重結合を生じて着色することを利用して、 $\Delta A_{5000\text{\AA}}/\bar{X}$ をその尺度とした。

$\Delta A_{5000\text{\AA}}$ は、可視スペクトルで波長5000Åにおける吸光度、 $\bar{X}$ はフィルムの厚さである。1例として、1,3-ジオキサンを7.3%含有しているポリ塩化ビニル室素中、室温で照射し、ついで約20時間室素中に貯蔵し、さらに3日間空气中に保存した時の紫外、可視吸収スペクトルを第2図に示す。26種類の環状化合物、エーテル類を調べているが効果的であったと認められる14種を第3表に示す。この防護機構として、このような物質は、高分子中に生じたラジカルに水素を与え、自らは容易に消滅するラジカルとなって、ポリ塩化ビニルのジッパーの脱塩酸反応を抑制することが考えられる。たとえばテトラヒドロフランは次の作用をするのであろう。

表3 ポリ塩化ビニルに対する環状エーテル類の防護作用(6Mrad照射)

添 加 物	重 量 %	室素中貯蔵 時間, 時	空气中貯蔵 時間, 時	$\frac{\Delta A_{5000\text{\AA}}}{\bar{X}}$
ポリ塩化ビニル	0	25.4	67.9	28
テトラヒドロフラン	8.5	19.1	49.2	0
3-ヒドロキシ テトラヒドロフラン	5.4	25.5	68.6	0.7
1,3 ジオキソラン	7.3	19.8	71.5	0
1,4 ジオキサン	9.5	19.8	71.6	0
1,3 ジオキサン	9.2	19.9	71.7	0
2-ヒドロキシメチル- 1,4-ベンゾジオキサン	5.1	65.7	50.9	0.85
フルオレン	5.2	19.7	75.3	13
アントラセン	5.5	26.1	68.1	0
テトラヒドロチオフェン	5.9	25.5	69.7	3
1,4 チオキサン	4.9	25.9	70.0	0
テトラヒドロピラン- 2-メタノール	5.3	21.7	69.4	4.7
2-(2-クロロエトキシ) テトラヒドロピラン	6.0	21.8	69.5	4.4
ジベンゾフラン	5.1	19.8	75.8	7.8
2-ヒドロキシ-4-n- オクトキシベンゾフェノン	4.9	22.2	69.6	5.2

この結果、1個又は2個の酸素原子を有する5員環、6員環が効果的であり、通常は安定剤とは考えられない環

第2図 ジオキサンのポリ塩化ビニルに対する放射線防護効果(6Mrad照射, 電子線)

状イオウ化合物(1,4チオキサン)も防護効果を示している。

3.4 チオ尿素添加による防護

少し古い研究であるが、Alexanderら¹⁰⁾はポリメタクリル酸メチルにアシルチオ尿素、ジ- α -トリルチオ尿素などを10重量%を加え、約6Mrad照射した。ポリメタクリル酸メチルは曲型的な分解型であるので、照射前後の粘度変化から防護効果の係数として、 $(1-r_0/r_p)$ を定義した。ここで、 r_0 はある一定の化学変化を起こすに必要な線量であり、 r_p は添加物がある場合に一定の化学変化を起こすに必要な線量である。防護効果の係数はアシルチオ尿素で0.57、ジ- α -トリルチオ尿素で0.72であり、これは芳香族環を有するベンゾキノンの0.70と同等の防護作用である。 $-\text{S}-\text{C}=\text{N}$ または $-\text{S}=\text{C}-\text{N}$ の構造を有する化合物は効果的であることが知られるようになった。

4. 生物学的放射線防護物質と合成高分子の耐放射線化の関連

4.1 放射線防護基を有する高分子の合成

最初に少しふれたように、 β -メルカプトエチルアミンが動物に対してすぐれた放射線防護性を有するが、毒性もまた強いこと、持続性がないことから、この欠点を補なうべく、これと類似の基を有する高分子を合成しようとする研究が、Overbergerらによって行なわれた。

この段階では、しかし生体に対する防護物質を合成しようとしたものであって、高分子そのものの放射線分解を防ぐ性質を与えようとしたものではなかった。

Overberger を中心とした研究はその協同研究者である Ringsdorf¹⁶⁾ によってまとめられているが、代表的なものを第4表に示した。これらの官能性高分子は加水分解によって、チオール基やアミノ基を生じたり、あるいはこれらの基を有する低分子化合物を生成することが興味深い。

第4表 アミノ基、チオール基を生ずる可能性のある高分子

親 高 分 子	加水分解生成物
ポリ(S-ビニル, N-ビニルモノチオカルバメート)	$\begin{array}{c} -CH_2-CH-CH_2-CH- \\ \quad \quad \\ S \quad \quad N \\ \quad \quad \\ O=C \quad C=O \\ \quad \quad \\ R_2N \quad SR \end{array}$
ポリテトラヒドロ-1, 3-チアジン-2-オン	$\begin{array}{c} -CH_2-CH-CH_2-CH- \\ \quad \quad \\ S \quad \quad NR \\ \quad \quad \\ C=O \end{array}$
ポリ-N-アクリロイル-2, 2-ジメチルチアゾリン	$\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ C=O \\ \\ N \\ / \quad \backslash \\ H_2C \quad CH_3 \\ \quad \quad \\ H_2C \quad S \quad CH_3 \end{array}$
ポリ(N-メタクリロイルンステイン)	$\begin{array}{c} -CH_2-C- \\ \\ CH_3 \\ \\ C=O \\ \\ NH \\ \\ CHCOOH \\ \\ CH_2 \\ \\ SR \end{array}$
	$\begin{array}{c} -CH_2-CH-CH_2-CH- \\ \quad \quad \\ SH \quad \quad NHR \end{array}$
	$\begin{array}{c} -CH_2-CH-CH_2-CH- \\ \quad \quad \\ SH \quad \quad NHR \end{array}$
	$\begin{array}{c} -CH_2-CH- \\ \\ COOH \end{array} + CO(CH_3)_2 + NH_2-CH_2CH_2-SH$
	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ -CH_2-C- \\ \\ COOH \end{array} + \begin{array}{c} NH_2 \\ \\ CHCOOH \\ \\ CH_2 \\ \\ SH \end{array}$

成したNメチルジチオカルバメート基を有するポリ塩化ビニル(PMD)¹⁷⁾と比較してみると、構造が極めて類似していることに気付くのである。

Alexander らは生物学的な防護効果と、合成高分子の間に高度の相関関係があることを述べ、したがって高分子に対する放射線防護効果の反応機構の研究は直接、生物学で観測される効果と比較できるとした。これは放射線の合成高分子あるいは生体を構成しているタンパク質などの分子に対する共通した励起、電離作用を考えれば、当然納得の行くことである。

さきのOverberger の放射線防護基をもった高分子の合成の研究と共に、このことは著者の、ジチオカルバメート基を高分子に結合させる研究に大きな励ましとなった。

著者ら¹⁷⁾はポリ塩化ビニルに次の比較的簡単な反応で、ジチオカルバメート基を導入できることを見

出し、まず生物学的放射線防護に必要なチオール基、アミノ基を生ずる可能性のあるPMDを合成した。(その後の研究で、N, N-ジアルキルジチオカルバメート基の方がさらに防護作用が大きいこともわかっている。

4.2.1 N-メチルジチオカルバメート基を有するポリ塩化ビニルの耐放射線性^{18,19)}

ポリ塩化ビニルをN-メチルジチオカルバミン酸ナトリウムとジメチルホルムアミド(DMF)中で反応させると、50℃で、反応時間をかえることによってジチオカルバメート基の置換率が3~11%である改質ポリ塩化ビ

4.2 放射線防護基をもった合成高分子の耐放射線性

すでに述べたように、合成高分子にチオ尿素やその誘導体を添加しても防護効果があることが知られている。古くから動物実験においても、チオ尿素に近い化学構造を有するジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム(VII)が非常にすぐれた防護作用を有することが報告されている^{17,18)}。

前節で述べたOverberger らのポリ(テトラヒドロ-1,3-チアジン-2-オン)(VIII)とVIIおよび著者らが合

ニル (PMD) を合成することができた。

〔ジチオカルバメート基の内部防護効果〕

この PMD をジオキサンあるいはテトラヒドロフラン溶液から製膜し、 10^{-4} mmHg の真空中で室温 $\sim 40^\circ\text{C}$ で ^{60}Co からガンマ線を照射した。この時発生する気体の量と照射線量の関係を第3図に示す。置換率10 $\sim$ 11%のPMDから生成した分解ガスの質量分析の結果、塩酸は全く含まれず、水素ガスが主として検出された。脱塩酸反応の抑制という点から完全な防護性能を示している。第4図には6Mrad照射した場合、PMD中のジチオカルバメート基の含有量と分解ガス発生G値を示した。10 $\sim$ 11モル%の置換率のPMDから全く塩酸が検出されなかった事実から、このPMDから微量に発生した水素ガスは、ジチオカルバメート構造から発生した

(1) ポリ塩化ビニル, (2) PMD (置換率 2.3%),
(3) PMD (置換率 4.6%), (3) PMD (置換率 6.5%),
(5) PMD (置換率 10.9%)

第3図 ジチオカルバメート基を含むポリ塩化ビニルの放射線分解 (ガンマ線)

(...)防護効果がない場合, (○)15 $\sim$ 35Mrad照射, (△)6Mrad照射

第4図 N-メチルジチオカルバメート基のポリ塩化ビニルに対する内部防護効果 (ガンマ線)

として、この構造の塩化ビニル構造に対する安定化係数を次のように定義した。

$$\text{安定化係数 (内部防護効果)} = \frac{G(\text{gas})_{\text{PVC}}}{G(\text{gas})_{\text{VC}}}$$

ここで、 $G(\text{gas})_{\text{PVC}}$ はジチオカルバメート基を含まない場合のポリ塩化ビニルに照射した時の分解ガス発生G値であり、 $G(\text{gas})_{\text{VC}}$ はPMD中の塩化ビニル構造からの分解ガス発生G値である。 $G(\text{gas})_{\text{VC}}$ は計算により求める。10Mrad照射の場合、この安定化係数は置換率2.3%で3.2, 4.6%で12.4, 6.5%で18.0, 10%では無限大すなわち完全な防護性を示した。

〔ジチオカルバメート基の外部防護効果〕

ジチオカルバメート基の外部防護効果を調べるには、たとえば、N-メチルジチオカルバミン酸エチルのようなエステルをポリ塩化ビニルに混合して照射するのが普通の方法であるが、このエステルは液体で、混合した場合、移行について、表面からの蒸発が考えられるので、ここでは内部防護効果で、無限大の安定化係数を示した置換率10モル%のPMDをポリ塩化ビニルにブレンドし製膜し、照射した。ブレンドにおけるPMDの含有率と分解ガス発生G値を第5図に示す。外部防護効果を示す安定化係数を次のように定義した。

$$\text{安定化係数 (外部防護効果)} = \frac{G(\text{gas})_{\text{PVC}}}{G(\text{gas})_{\text{PVC in BP}}}$$

ここで、 $G(\text{gas})_{\text{PVC in BP}}$ はPMDとブレンドされたポリ塩化ビニルから発生したと考えられる分解ガスのG値で

(○) 防護効果がない場合, (○) 15~35Mrad 照射, (△) 6Mrad 照射

第5図 PMDのポリ塩化ビニルに対する
外部防護効果(ガンマ線)

計算により求める。10Mrad 照射での安定化係数は、PMDを20重量%含むブレンドでは2.5、60%で4.6であった。置換率11%のPMD中のジチオカルバメート構造の重量%は20.6%にすぎないから、内部防護効果と比較すると劣るが、かなりの防護作用があるといえる。

N-メチルジチオカルバメート基の防護効果は、次のようにエネルギー移動で、比較的安定なSラジカルの生成によるものであろう。

また、このPMDフィルムは放射線照射をうけても、もとのポリ塩化ビニルと比較して、酸素、炭酸ガスの透過性に大きな差異のない食品照射に適するフィルムである¹⁹⁾。

5. 結 語

合成高分子に耐放射線性を付与する事に関連して、著者の研究をまじえて概要を述べた。この方面の研究は比較的少なく、生体に対する“Radiation Protection”の研究の活発さにくらべて低調である。しかし、この方面の研究は、益々重要になってくるものと考えている。

文 献

- 1) たとえば J. G. Burr and W. M. Garrison, AECD, 2078, 1948.
- 2) A. J. Miller and G. Steel, AECD, 3634, 1948.
- 3) 邦訳「放射線障害の化学的防禦法」産業図書(昭42)
- 4) 赤星三弥, 有合化 28, 807(1970)
- 5) A. Charlesby, *Atomic Radiation and Polymers* 邦訳「放射線と高分子」朝倉書店(昭37)
- 6) B. G. Achamer, M. Tryon, and G. M. Kline, *Modern Plastics*, 37, 131(1959, Dec.)
- 7) J. J. Killoran, *Modern Packaging*, 40, 179(1967, Aug.)
- 8) D. Esarove, *ibid.*, 30, 130(1966, Jan.)
- 9) 団野皓文, 工業材質, 15, 23(昭42, No. 5)
- 10) J. B. Gardner, *J. Appl. Polymer Sci.*, 9, 1585(1965)
- 11) J. C. Arthur, Jr., T. Mares, and M. George, *Textile Research J.*, 35, 1116(1965)
- 12) S. D. Slatina, et al., *Radiokhimiya*, 1971, 13(5), 786; C. A. 76, 73577x(1972)
- 13) A. N. Starkova, et al., *ibid.*, 1971, 13, 785; C. A. 76, 73559t(1972)
- 14) R. V. Albarino and E. P. Otocka, *J. Appl. Polymer Sci.*, 16, 61(1972)
- 15) P. Alexander, A. Charlesby, and M. Ross, *Pro. Roy. Soc.*, A223, 392(1954)
- 16) たとえば, C. G. Overberger, H. Ringsdorf, and B. Avchen, *J. Org. Chem.*, 30, 3088(1965)
- 17) H. Ringsdorf, *Strahlentherapie*, 132, 627(1967)
- 18) 仲川勲, 谷口靖彦, 大河原信, 工化, 70, 2382(1967)
- 19) T. Nakagawa, H. B. Hopfenberg, and V. Stannett, *J. Appl. Polymer Sci.*, 15, 747(1971)
- 20) T. Nakagawa, H. B. Hopfenberg, and V. Stannett, *ibid.*, 15, 231(1971)