放射線利用による高分子材料の改良・改質

(日本原子力研究所) 中瀬吉昭, 栗山 将
(高崎研究所大阪支所)

高分子材料の改良・改質のために、放射線を利用した研究の最近の動向について解説する。放射線利用の際に用いる線源と、そこから出る放射線の物質に対する作用について概観し、利用分野について分類して紹介するとともに、放射線利用による高分子材料の改良・改質の位置付けを行う。次に、世界における研究動向を最近の研究例から明らかにするとともに、われわれの研究成果を若干紹介する。

I. ま え が き

放射線利用による高分子材料の改良・改質には、 ^{60}Co γ 線や電子線が一般に用いられている。放射線高分子化学の研究の初期では γ 線が主として用いられたが、エネルギー効率が高く、 γ 線に比べて高線量率が容易に得られる電子線の利用も加速器の低廉化とともに注目を浴びてきている。放射線を利用する利点は、高分子素材をフィルム状または繊維状のまま容易に加工処理でき、かつ低温でも反応が進行し、その雰囲気環境を変えて反応を制御でき、かつ触媒残渣などの不純物の含まれない、ことなどが挙げられる。

以下に、これらを概観するとともに日本原子力研究所高崎研究所大阪支所で得られた最近の成果の一部を紹介する。

II. 線源および放射線の作用

放射線化学で利用する放射線は、天然あるいは人工放射性物質(元素)から放射される γ 線と、荷電粒子(電子、イオン等)を電磁的に加速した高エネルギー放射線あるいはこの荷電粒子の衝突により2次的に放射されるX線など、に分類することができる。

γ 線源として実用に供せられているのは ^{60}Co や ^{137}Cs の密封線源が一般的である。荷電粒子の加速器としては、その加速電圧の発生方式の違いから、パン・デ・グラフ型、変圧器型、コック・クロフト・ワルトン型あるいは高周波加速型などが利用されている。工業利用では、 ^{60}Co γ 線、電子加速器の変圧器型、コック・クロフト・ワルトン型が多く見受けられる^①。今後は、電子を金属に衝突させて発生する制動放射X線や各種ガス・金属イオンなどの粒子線も、半導体工業等微細加工分野で利用されるものと考えられる^②。

γ 線やX線の電磁波が物質内に入射すると、物質を構成する原子から電子が飛び出す。この2次的に飛び

出した電子がその後の主役を演ずるので、 γ 線、X線の作用は電子線を入射させたときに起こる作用と同等と考えられる。電子線の照射により、物質内にイオン、ラジカル等の活性種が数多く発生する。これらのまわりの物質に対する化学的、物理的あるいは電気的作用およびその後の化学反応を利用するのが、放射線の照射利用である。

III. 利用分野の概観

放射線の化学的、物理的、電気的作用が、一般的に各種学問分野でどのように利用されているか第1表にまとめてみる。

第1表 放射線の物質に対する作用と利用分野

分野	電 気	物 理	化 学	生物 (医学)	地 学	考古学
化学的作用	絶縁体 レジスト	合金 (半導体)	合成 改質 分解 環境保全	殺菌 殺虫 品種改良 発芽防止 不妊化 治療	年代	年代
物理的作用	半導体 電源	発光源 熱源 蛍光分析 構造解析	RI製造 放射化 分析	ペース メーカー 診断	計測	蛍光分析
電気的作用	発電	電池 計測				

1. 化学的作用の利用

電子線架橋による電線・ケーブルの絶縁体の製造や集積回路(LSI, VLSI)製造時のマスク(レジスト材)の調製をあげることができる(電気分野)。

物理分野では、中性子の核反応を利用したシリコン半導体の製造等、広義の意味での合金の製造がある。

Modification of Polymeric Material by Irradiation:
Yoshiaki NAKASE, Isamu KURIYAMA.

(1983年 5月25日 受理)

化学分野では、発生したイオンやラジカルの引き起こす化学反応を利用し、オレフィン類の塩素化、臭素化、ヒドラジン等の低分子化合物の合成、触媒残査のない高純度のポリエチレン、アクリル系樹脂の合成がある。また、後に詳しく述べる高分子材料の改良・改質もこの領域に入り、橋かけ・グラフト反応が利用されている。材料を高度に橋かけをして脆くしたり、あるいは分子鎖の切断を利用し、分解して再資源化することも真剣に検討されている。また、トリハロメタンの分解等の環境保全への利用^⑩もここに分類できる。

生物分野における化学作用は、生体等を構成する分子に直接作用する場合と、周囲の水などで発生したイオン、ラジカルが生体分子を攻撃する間接作用との両者があり^⑪、殺菌、殺虫、昆虫等の不妊化、動植物の染色体の突然変異による品種の改良、さらにジャガイモ、玉ネギの発芽防止等に利用されている。また、医学における放射線治療もここに入れることができる。

地学、考古学分野では、地中の放射線により生成した安定なラジカルの定量から年代を推定することが行われている^⑫。

2. 物理的作用の利用

各種イオンを材料に打ち込む半導体の製造や、放射線を熱源とした電源はすでに実用化されている(電気分野)。物理分野でも、対象物質の選択により発光源、熱源としての利用があり、さらに電磁波としての回折現象を利用し、物質の構造解析に古くから利用されており、また蛍光作用を利用した分析手法も実用となっている。

化学分野では、微量元素の定量を可能にした放射化分析があり、放射性同位元素(RI)の製造も活発に行われ、機器等構造体の非破壊検査にも使用されている。

生物(医学)分野では、心臓のペースメーカー、医学診断(CTスキャン等)が実用化されている。

地学分野では、地層の密度測定、水分測定等の計測、蛍光分析に放射線は重要な位置を占めている。

3. 電気的作用の利用

熱電子あるいはプラズマによる直接発電が試みられ(電気分野)、電離電流を利用した計測や熱電素子、光電素子を用いた電池は物理分野に分類できる。

このように、放射線の利用分野を簡単に概観したが、かなり広い分野で利用されており、小規模ではあるが、着々と実用化が進んでいる。しかし、放射線の化学的作用が最も利用しやすく、その工業化も期待されているが塗膜の硬化、電線・ケーブルの絶縁体、発泡ポリエチレン、化粧合板の製造が目立つ存在である。

Ⅳ. 高分子材料の改良・改質

高分子材料の改良・改質は、放射線の化学的作用を利用して材料を構成する高分子鎖間の橋かけ、すなわち、①網目構造を生成する場合、②官能基を持つ各種低分子化合物(モノマー等)を結合させて他種の機能を付与するグラフト重合の場合、③材料の崩壊あるいは低分子化を促進する場合、の3種に分けることができる。これらを橋かけ、グラフトおよび分解と名付けて若干の説明を次に行う。

1. 橋 かけ

材料を構成する高分子鎖間に網目構造(橋かけ)が生成すると溶剤に溶解難くなり、したがって膨潤なども起こし難くなる(耐溶剤性の向上)、また加熱しても大きな流動性を示さなくなる(耐熱性の向上)。この網目は高温でも安定であるので、材料を変形させても網目は残り、冷却すると全体が歪んだ状態で固定される。これを加熱するとその歪みがとれ、元の状態にもどる(記憶効果)が、これを利用して電線・ケーブルの接続点の絶縁カバー、被覆鋼管の溶接部の保護カバー等が実用化されている^⑬。

2. グラフト

高分子材料の本来の特質(可撓性、疎水性等)を失わずに他の機能を付与する目的で、各種モノマーのグラフト重合が行われている。例えば、水になじみのない疎水性材料の可撓性や機械的強度をそのまま利用し、水溶性ポリマーを与えるモノマーをグラフト重合して親水性を付与する。これは膜、繊維材料などの染色性、吸湿性あるいは風合いの向上に役立つ^⑭。また、核エネルギーの開発に伴い核燃料として重要なUやLiを海水から捕集することが研究されている。金属吸着機能を持つモノマーを各種基材にグラフト重合させ、高効率選択吸着性のイオンあるいはキレート樹脂の合成が行われている^⑮。その他、海水の脱塩、血液の浄化等に用いる選択透過性膜の機能性の向上もグラフト重合で行われているが、特に放射線利用の最大の特徴である無触媒(触媒残査が残らない)をかかげて、医用材料の合成、酵母の固定化、薬品の徐放化(slow release)への応用も多い^⑯。また、木材、コンクリートあるいは無機・有機材料との複合材料の合成も放射線の透過性を最大限に利用した方法である^⑰。

3. 分 解

フッ素樹脂の放射線による低分子化は、固体潤滑剤の合成法として実用化されている。また光分解性を与えるモノマーをグラフト重合したポリプロピレンフィ

ルムのように、自然光で分解しやすく加工処理した報告もある。また産業あるいは民生廃棄物中の廃セルローズ、バガス(砂糖キビの搾りかす)等を放射線分解した後、酵母、酵素などの固定化生物活性体で糖化発酵させる等、未利用資源の再利用でも放射線照射は有望視されている⁽¹¹⁾。

V. 高分子材料の改良・改質に関する 最近の世界の動向

1. 橋かけ

工業的な利用は、耐熱性電線の被覆形成のポリエチレン、ポリ塩化ビニルの橋かけ、生ゴムの橋かけがあり、これらのプロセス研究が数多く発表されている。生産をより効率よく、安定に行うための研究とともに、その反応機構をより詳しく理解するための研究が主流である。ポリエチレンの橋かけにより耐熱性を向上させるとともに、太陽熱等エネルギー貯蔵(蓄熱)材としての検討が進められているのも最近の傾向である。その他の例として、第1図に示すようにポリエチレンに低エネルギー電子線を照射して耐海水性を向上させたもの⁽¹²⁾がある。これらの基礎研究も地道に続けられ、網目構造の物性に及ぼす影響についての解明がある。原子力発電所格納容器内で用いる電線・ケーブルの絶縁体としてイオウ加硫のエチレン・プロピレンゴムの耐放射線性の優れている理由が、網目構造そのものよりむしろ、イオウ原子の存在によることがわかった⁽¹³⁾。

寿命増加係数=処理試料/原試料(それぞれの結晶化度が1%低下するのに要する時間の比)

第1図 ポリエチレン(PE)の表面処理と寿命増加係数との関係⁽¹²⁾

初期ゲル分率
○: 0%, ⊙: 10%, ●: 37%, ●: 58%

(a) イオウ加硫

初期ゲル分率
○: 0%, ⊙: 6%, △: 53%, ▽: 74%, ●: 92%

(b) DCP(ジクミルパーオキシド)加硫

第2図 照射試料(エチレン・プロピレンゴム)のゲル分率に及ぼす線量率の影響⁽¹³⁾(照射線量: 1 MGy)

第2図(a)は、初期ゲル分率の高い(イオウ量の多い)ほど照射後(100 Mrad=1 MGy)のゲル分率の低下は小さいことを示し、第2図(b)は、過酸化物による加硫ではイオウが存在しないため、照射後のゲル分率の変化は初期ゲル分率に影響されないことを示している。そのほか、ポリエチレン等が融体から結晶化するとき、その橋かけ点が結晶化度等の物性を左右する⁽¹⁴⁾が、これらの研究成果の工業的利用価値は大きい。

2. グラフト

グラフト重合の歴史は古い。しかし、研究は常に活発に行われ、最近では膜等の分離機能の改良、生体適合性材料の開発が盛んである。一方、これらの加工プロセスの開発は、放射線法の工業化の期待を担って進められている。さらに、各種機能を付与するための探索的研究とともに、グラフト反応機構の解明や反応条件の確立のための研究が進められており、グラフト物の微細構造の解明、グラフト重合に伴う基材ポリマーの構造変化の研究も多い。

プロセス改良の例では、第3図に示すように、グラフト重合の一段法を多段法に変えると、同一グラフト

率でも膜の電気抵抗は大幅に低下する⁽¹⁵⁾。また、第2表の例では、ナイロン-6に水溶性のアクリルアミドをグラフト重合させ、水や臭素化合物の透過効率をセロハンより改良できたことを示している⁽¹⁶⁾。

○：1段グラフト物，△：多段グラフト物
第3図 ポリエチレン膜に対するグラフト率と電気抵抗との関係⁽¹⁵⁾

第2表 アクリルアミドをグラフトしたナイロン膜に対する水・塩の透過性(37°C)⁽¹⁶⁾(原文献表Ⅱの一部)

膜	グラフ ト率 (%)	厚さ (μm)	カチオンのストークス半径($\text{\AA}$)						流量 $\times 10^5$ ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	相対的 選択性	性能 ($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)
			透過係数(P)($10^7\text{ cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$)								
			HTO	Me_4NBr	NaBr	KBr	NBrH_4	HBr	P_{HBr} δ	P_{HBr} $P_{\text{Bu}_4\text{NBr}}$	流量 $\times 10^5$ $\times$ 選択性
1	204	48 $\pm$ 1	10	0.26 $\pm$ 0.02	0.83 $\pm$ 0.05	0.90 $\pm$ 0.08	1.0 $\pm$ 0.06	3.9 $\pm$ 0.2	8 $\pm$ 1	59 $\pm$ 9	472
2	249	57 $\pm$ 1	—	0.65 $\pm$ 0.06	2.2 $\pm$ 0.1	2.8 $\pm$ 0.2	2.8 $\pm$ 0.2	10.2 $\pm$ 0.6	18 $\pm$ 1	93 $\pm$ 15	1,674
3	582	92 $\pm$ 1	16	3.6 $\pm$ 0.3	9.0 $\pm$ 0.6	11.3 $\pm$ 0.7	11.8 $\pm$ 0.5	24 $\pm$ 2	26 $\pm$ 3	34 $\pm$ 5	884
4	856	125 $\pm$ 5	50	5.9 $\pm$ 0.6	15 $\pm$ 2	18 $\pm$ 2	18 $\pm$ 2	39 $\pm$ 3	31 $\pm$ 9	33 $\pm$ 9	1,023
5	1,270	140 $\pm$ 5	116	9.6 $\pm$ 0.9	18 $\pm$ 1	24 $\pm$ 2	23 $\pm$ 2	51 $\pm$ 5	36 $\pm$ 5	28 $\pm$ 7	1,008
6/8	470	100 $\pm$ 10		0.6 $\pm$ 0.1	—	2.0 $\pm$ 0.3	2.0 $\pm$ 0.3	16 $\pm$ 3	16 $\pm$ 5	67 $\pm$ 33	1,072
6/8	470	100 $\pm$ 10		—	—	—	—	11 $\pm$ 2	11 $\pm$ 3	52 $\pm$ 30	572
セロファン	18 $\pm$ 1	16		6.4 $\pm$ 0.9	9.1 $\pm$ 0.9	12 $\pm$ 1	11 $\pm$ 1	13 $\pm$ 1	73 $\pm$ 12	5 $\pm$ 1	365

3. 分解

高分子材料の放射線分解を工業的に利用した顕著な例は、超微細半導体(LSI, VLSI)の製造におけるリソグラフィーである。高性能ポジおよびネガ型レジスト材料の開発が急テンポで進展している⁽¹⁷⁾。例えば、CF₃⁺ビームを照射し、減肉し易い材料が数多く開発されている。その1例を第4図に示すが、微細パターン加工のドライプロセスが目的である⁽¹⁸⁾。

4. 基礎研究

上述の橋かけ、グラフトおよび分解では、主に応用

面を紹介したが、これらを包括する照射効果の研究も活発である。ポリエチレン等の結晶性材料では、分子鎖の橋かけ、切断が非晶域から進行して次第に結晶域を侵すこと、また各種材料の微細構造の照射による変化などが、かなり詳細に明らかになりつつある。詳しくは、総説⁽¹⁹⁾を参照されたい。最近のトピックスとして、高分子鎖の橋かけ点の直接定量の試み⁽²⁰⁾、大線量照射による結晶の崩壊挙動⁽²¹⁾、劣化に及ぼす各種因子の複合・相乗効果の研究⁽²²⁾、照射生成物の分析による損傷機構の解明⁽²³⁾など各種データの蓄積が始まり、材

料の使用限界線量の評価の精度の向上が期待できる。

厚さ損失単位: 1.6×10^{-6} m

PIPMK: ポリイソプロピルメチルケトン

PBCHS: ポリビスシクロヘプタン

PMMA: ポリメタクリル酸メチル

PPMA: ポリメタクリル酸フェニル

PMAN: ポリメタクリルニトリル

PMS: ポリ α -メチルスチレン

AZ1350J: ホトレジスト

VARCUM: ノボラック樹脂

第4図 各種ポリマーの CF_3^+ によるエッチング速度⁽¹⁸⁾

Ⅶ. 原研大阪支所における研究

放射線高分子化学の分野において、高分子材料の関連する工業、産業で将来重要になると考えられる課題について、事前に評価し放射線利用・放射線化学の立場で基礎的な研究を行い、応用のために必要とされる基礎データの蓄積を図っている。

例えば、新しいプロセスの開発では、より省エネルギー、省資源化、無公害化を目指し、材料自体の開発では、より高性能化、高品質化、高付加価値化を目指しているが、この目的達成のための一方法として、放射線化学の立場から検討し、工業化に寄与する基礎データ

の蓄積は有意義であろう。

放射線グラフト重合により、原材料の長所を失うことなく高品質化、高付加価値化が可能である。前者では、耐熱性の向上、難燃性の付与等があり、基材内部で反応が起こる必要があり⁽²⁴⁾、後者では、吸湿性、親水性、物質識別性の付与等があり、基材の表面のグラフト重合で十分な場合が多い⁽²⁵⁾。基材の表面は、マクロ的な意味では直接雰囲気暴露されているところと定義できるが、ミクロ的には結晶粒等の構造単位を表面を考える必要がある。また、化学反応が繊維とフィルムとは異なることなどから、上述のミクロな表面を考える必要があり、われわれはこの立場で、放射線重合、照射効果の基礎研究を進めている。本章では、材料の表面機能性の向上に関して得られた成果の一部を述べる。

1. 研究成果

ポリエステル(PET)繊維に親水性を与える目的でアクリル酸などの放射線グラフト重合を行なったところ、グラフトPETは炭酸ソーダ水溶液等のアルカリ性で加水分解することがわかった⁽²⁶⁾。これはアクリル酸がPET繊維内に浸入したためと考えられるので、次に、重合度が20程度のポリエチレングリコールのアクリル酸ジエステルあるいはメタクリル酸ジエステルを用いて繊維表面でのグラフト重合を試みた⁽²⁷⁾。

第5図は、グラフトPET試織布の水滴浸透法による吸水速度とグラフト率との関係を示す。重合度14のポリエチレングリコールジメタクリル酸エステル(PEGMA-14G)の水溶液にPET布を浸した後、余分の水溶液を絞りとりチッ素雰囲気下で電子線を室温および -65°C で照射した。グラフト率が3%程度で吸水時間は20~30sになり、原布の6~9倍の速度になる。室温照射でグラフト率が5%以上になると、生成ポリマーが密につまるため吸水速度は低下する。しかし、 -65°C 重合の場合、グラフト率が15%になっても吸水速度は大きい、これは凍結状態で重合したため、生成ポリマーが多孔質構造になったことによる。

第6図は、吸湿性について調べた結果である。いずれの湿度においても吸湿量はグラフト率の増加とともに増しているが、木綿の吸湿性には及ばない。一方、摩擦帯電電圧は、第7図に示すように数%のグラフト率で木綿の値以下になり、大幅に改良できた。グラフト後もPET布の機械的特性が失われていないことは、引張り強度、伸びおよび引裂き強度について確認した結果を第3表に示した通りである。また、グラフト重合により生成したポリマーは繊維間や繊維表面に存

線量率: $0.16 \text{ Mrad} \cdot \text{s}^{-1}$

第5図 ポリエチレングリコール(重合度14)のジメタクリル酸エステル(PEGMA-14G)をグラフトしたポリエチレン布の吸水速度と見かけのグラフト率との関係⁽²⁷⁾

Cotton: 木綿の帯電電圧

第7図 ポリエチレングリコール(重合度14)のジメタクリル酸エステル(PEGMA-14G)をグラフトした布の摩擦帯電電圧とグラフト率との関係⁽²⁷⁾

Cotton: 木綿の吸湿率

第6図 ポリエチレングリコール(重合度14)のジメタクリル酸エステル(PEGMA-14G)をグラフトしたポリエステル布の吸湿量と見かけのグラフト率との関係⁽²⁷⁾

第3表 ポリエチレングリコール(重合度14)のジメタクリル酸エステル(PEGMA-14G)をグラフトした PET 布の機械的性質(縦方向)⁽²⁷⁾

見かけの グラフト 率(%)	厚さ (mm)	引張り 強度† (kg)	伸び (%)	引裂き 強度†† (kg)
0	0.25	46	35.3	1.3
3.7	0.24	45	33.5	1.3
8.5	0.25	44	34.8	1.3
11.6	0.25	51	37.3	1.8
39.7	0.26	49	36.8	1.3

† 引張り試験片 4 cm×2.5 cm, 50%/min

†† 引裂き試験片 6 cm×2.5 cm, 10 cm/min

在していることを, 電子顕微鏡観察で確認したことを付記する。

次に, PET布の機械的性質や耐アルカリ性を損うことなく難燃化した例を示す⁽²⁸⁾。水あるいはメタノー

ルに可溶なオリゴマー(2-クロロエチルビニルホスホネートとホスホネートエステル共縮合物, Fyrol 76®)をPET布に電子線グラフト重合した。グラフトPET布のリン含有量(グラフト率に比例)と極限酸素指数(LOI)との関係を第8図に示す。リン含有量約5%(グラフト率23%)でLOIは25になり自己消火性を示す。また、吸湿性も増加し、摩擦帯電電圧は第9図に示すようにグラフト率(Add. on)3%で木綿の値にまで低下する。グラフト率の増加につれて帯電電圧はさらに低下し、低圧(30V)の一定値に落ち着くことがわかる。

照射温度: 室温, 線量率: $3.3 \text{ Mrad} \cdot \text{s}^{-1}$

第8図 ビニルホスホネートをグラフトしたポリエステル布中のリン含量と極限酸素指数との関係⁽²⁸⁾

上述の2例では、PET繊維を膨潤させずに、その表面にオリゴマーを付着させた状態でグラフト重合を行ったが、生成ポリマーは繊維表面に強固に付着し、薄膜を形成して目的とした機能を示すようになったと思われる。

次に、疎水性高分子材料にスルホン基を持つモノマーをグラフト重合し、金属イオンの吸着速度の非常に大きなイオン交換樹脂を合成した例を示す⁽²⁹⁾。水中の金属イオンを速やかに吸着するためには、吸着サイトが樹脂表面に存在する必要がある。この場合、単なる表面重合ではなく若干量の膨潤剤を併用するのが今回の重合の鍵であった。ポリ塩化ビニル(PVC)およびポリ塩化ビニリデン(PVD)樹脂に2-アクリルアミド-2-メチルプロパンスルホン酸(AMPS)をγ線グラフト重合させる。水/アセトン系にAMPSを溶解し、そこへ粒子状(直径50~100 μm)のPVCあるいはPVDを加え

測定: 22°C , 相対湿度: 55%

第9図 ビニルホスホネートをグラフトしたポリエステル布の摩擦帯電電圧とグラフト率との関係⁽²⁸⁾

攪拌しながらγ線を照射した。ここで、アセトンは樹脂の膨潤剤である。水中のLiイオンの樹脂への吸着挙動を第10図に示す。

グラフト率: 1.5%(PVC), 10%(PVD)

第10図 グラフトポリマーのLiイオンの吸着速度の市販品(ダイヤイオン)との比較⁽²⁹⁾

樹脂量は、そのスルホン酸基の数と水中のLiイオンの数とが等しくなるように調節した。比較に用いた市

販品はハイ・ポーラス型樹脂で、交換容量が最大のものである。Liイオンの初期吸着速度は、PVC、PVDのどちらを基材としたグラフト物でも市販品より大きい。グラフト重合イオン交換樹脂の表面の電子顕微鏡写真を写真1(a),(b)に示す。写真1(a)は、PVD樹脂のグラフト前後の外観を示す。グラフト率0%は原試料で直径50~100 μm の球形粒子である。グラフト率15%の試料の表面には玉状のポリマーが付着しているが、PVD樹脂の原形はほとんど変化していない。写真1

(b)は、グラフト率の増加によるポリマー付着の状況を示す。多孔質のPVD樹脂の表面に玉状のポリマーが付着するが、グラフト率の増加に従い、その径が大きくなるとともに数も増加することがわかる。

写真1の電顕写真は風乾後に得たものであるが、水中に浸漬後凍結乾燥をした試料では、玉状ポリマーがかなり変形していることがわかった。したがって、水中では、これらのグラフトポリマーは、かなり広がった形態をしているものと推定している。

(a) グラフト前後の外観

(b) グラフト率の増加によるポリマー付着の状況

写真1 AMPSをグラフトしたPVDの走査型電子顕微鏡写真⁽²⁰⁾

VII. あとがき

放射線利用において、線源の使い易さは重要な問題であり、最近実用化され出した自己遮蔽型電子加速器などは比較的手軽に使用でき、放射線化学プロセスの工業化の促進に役立つものと思われる。また、原子力発電所での使用済核燃料の再処理物、特に高レベル固化体の線源としての利用などは、核エネルギーの開発およびその定着化のために有益であり、真剣に取り組むべき問題である。これに関し、(財)原子力環境整備センターで検討が始まっている⁽²⁰⁾ことや、関西原子力懇談会の原子力研究開発調査委員会(委員長 関電・川勝理氏)内の放射性廃棄物の利用に関するワーキング・グループ(主査 近大・辻 良夫教授)が活動を開始したことは、放射線化学の工業的応用の促進のために、ひいては原子力平和利用の定着のために望ましい方向であ

ろう。このような活動の発展を期待して本稿を閉じたい。

なお、参考文献については、できるだけ最近のものに限らせて頂いた。また、片寄った引用になっているかもしれないがご容赦いただきたい。

—参考文献—

- (1) 坂本 勇, 水沢健一, 柏木正之, 谷口周一: 日新電機技報, 25[3], 2 (1980).
- (2) 蒲生健次, 難波 進: 応用物理, 52, 120 (1983).
- (3) 作本彰久, 宮田定次郎, 新井隆正, 新井英彦: JAERI-1282, (1982).
- (4) 川嶋浩二: 原子力誌, 24[12], 931 (1982).
- (5) 池谷元何: 同上, 24[2], 110 (1982).
- (6) Ota, S.: Radiat. Phys. Chem., 18, 81 (1981).
- (7) 岡田紀夫: 原子力工業, 24[12], 44 (1978).
- (8) 片貝秋雄, 須藤高信, 大道英樹, 石垣 功, 岡本次郎: 日化第46秋年会講演予稿集, 838 (1982).
- (9) 筏 義人, 嘉悦 勲: 原子力工業, 25[5], 73 (1979).
- (10) WITT, A.E., HENISE, P.D., GRIEST, L.W.: Radiat.

- Phys. Chem.*, **18**, 67 (1981).
- (11) 嘉悦 勲: 原子力工業, **28**(4), 31 (1982).
- (12) BAIRD, R.W.: *Radiat. Phys. Chem.*, **19**, 113 (1982).
- (13) NAKASE, Y., ITO, M.: *IEEE Trans. Electr. Insul.*, **EI-16**, 528 (1981);
NAKASE, Y., KURIYAMA, I.: *ibid.*, **EI-18**, 78 (1983).
- (14) TAKEDA, Y.: *Radiat. Phys. Chem.*, **18**, 853 (1981);
MARKOVIC, V., SILVERMAN, J.: *ibid.*, **20**, 149 (1982).
- (15) OMICHI, H., OKAMOTO, J.: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **20**, 521, (1982).
- (16) HARUVY, Y., RAJBENBACH, L.A., JAGUR-GRADIZINSKI, J.: *J. Appl. Polym. Sci.*, **27**, 2711 (1982).
- (17) 柴山恭一, 小野 博: 海外高分子研究, **1981**, 223.
- (18) HIRAOKA, H., WELSH, Jr., L.W.: *Radiat. Phys. Chem.*, **18**, 907 (1981).
- (19) KELLER, A.: "Developments in Crystalline Polymer. -1", Chap. 2 (1982), D.C. Bassett, Ed. Appl. Sci. Publ. London.
- (20) SOHMA, J., SHIOTANI, M., YOSHIDA, T.: *Rep. Prog. Polym. Phys. Jpn.*, **24**, 497 (1982); *Radiation. Phys. Chem.*, **21**, 413 (1983).
- (21) YODA, O., KURIYAMA, I., ODAJIMA, A.: *J. Mater. Sci. Lett.*, **1**, 451 (1982).
- (22) CLOUGH, R.L., GILLEN, K.T.: *J. Polym. Sci. Polym. Chem. Ed.*, **19**, 2041 (1981).
- (23) 渡辺裕平, 早川直広: 日化第47春年会講演予稿集, **I**, 364 (1983).
- (24) 梶 加名子: 工業材料, **31**(4), 98 (1983).
- (25) 筏 義人: 機能材料, **2**(7), 1 (1982).
- (26) 岡田紀夫, 嶋野泰尚, 梶 加名子, 桜田一郎: *JAERI-5030*, p 60 (1975).
- (27) 梶 加名子: *JAERI-M 9481*, p 36, 60 (1981).
- (28) 梶 加名子, 大倉 啓, 岡田紀夫: 繊維誌, **35**, T-80 (1979).
- (29) 中瀬吉昭, 赤坂信弘: *JAERI-M 82-095*, (1982).
- (30) 村越駿一: 原子力工業, **29**(4), 39 (1983).

昭和58年度文部省科学研究費補助金・配分テーマ一覧(原子力学)

(文部省昭和58年度科学研究費補助金395億円のうち、内定した配分件数・額は約13,000件、319億円で、そのうち原子力学は35件、1億820万円であります(昨年度36件、1億2,250万円)。なお、原子力学分科の配分審査委員(第1, 2段)は本基金より推薦しております。次号にエネルギー特別研究(エネルギー、核融合を掲載の予定)。

テーマ (※は継続, ○は新規)	氏名 (単位/万円)	テーマ (※は継続, ○は新規)	氏名 (単位/万円)
総合研究A		影響 (名大・工) 松井尚之 (130)	
○放出放射性核種の物理・化学的形態と、 形態別影響評価 (筑波大) 池田長生 (600)		○結晶性およびアモルファス酸化シリコン の照射損傷の比較 (名大・工) 伊藤憲昭 (110)	
○高速中性子の空中伝播と生体吸収線量の 評価 (東大・工) 関口 晃 (630)		○Mn 体系中の中性子スペクトルの測定と 解析および組定数の評価 (京大炉) 林 脩平 (170)	
一般研究A		○MTR 型原子炉の模擬燃料板間における 気液二相流の構造 (京大炉) 西原英晃 (160)	
○電子線 He 同時照射による合金中の He の効果 (北大・工) 竹山太郎 (2, 250)		○高レベル放射性廃棄物模擬ガラスの蒸発 挙動 (京大原研) 浅野 満 (100)	
* 原子炉炉心露出事故 (東工大) 青木成文 (560)		○極超高速で回転する気体遠心分離機内の 流れの新解法(1) (京大・工) 桜井健郎 (70)	
* 直交磁場下におけるアルカリ金属系 2 成分 環状噴霧流の伝熱・流動機構 (京大・工) 芹沢昭示 (340)		○新しい相関方程式に基づく乱流解析手法 (阪大・工) 関谷 全 (60)	
一般研究B		○ガドリニウム固溶二酸化 U 燃料の O/M 比 の酸素分圧依存性 (九大・工) 杉崎昌和 (160)	
* 原子炉雑音現象における非線形効果同定法 の検証 (筑波大) 齊藤慶一 (320)		○冷印材の沸騰音響解析に基づく原子炉の 診断システム (九大・工) 大田正男 (120)	
○原子炉冷却系の化学除染 (東大・工) 石樽彌吉 (420)		○高レベル放射性固化体の照射効果 試験研究 (九大・工) 古屋廣高 (100)	
○磁場中における液体金属の動的挙動 (東大原研) 宮 健三 (280)		○原子炉壁材料開発研究 (北大・工) 桐谷道雄 (950)	
* 高レベル廃棄物ガラス固化体の熱水反応 (東大・工) 清瀬量平 (50)		* 高感度標準中性子線量計の試作研究 (東大・工) 関口 晃 (130)	
* 確率論的実験手法による原子炉燃料 高未臨界度の決定 (名大・工) 仁科浩二郎 (200)		○低エネルギー β 核種の位置分布画像モニタ 装置 (名大・工) 池田幸正 (550)	
○炉心溶融仮想事故後の崩壊熱除去 (阪大・工) 宮崎慶次 (350)		○原子炉を用いた半導体メモリの故障原因 診断 (京大炉) 木村逸郎 (330)	
一般研究C		* 低損失光ファイバを用いた新しい放射線 モニタリングシステム (阪大・工) 高橋亮人 (110)	
○反跳飛跡検出器のエネルギー依存中性子 感度の決定 (北大・工) 成田正邦 (170)		○反応生成ガス捕捉による中性子照射量測定 の実用化 (九大・総理工) 神田幸則 (440)	
○20K メタン加速器冷中性子源 (北大・工) 井上和彦 (160)		* 高温ガス炉用熱交換器の性能改善 (九大・工) 長谷川修 (100)	
○高 α 線放射アクチノイド核種の核分裂 断面積測定 (東北大) 平川直弘 (160)		○光刺激エキソ電子放出現象を利用した高感 度放射線イメージフィルム (金沢工大) 南戸秀仁 (120)	
○管群と衝撃波の干渉 (東大・工) 班目春樹 (110)			
○水素-空気-水蒸気系内の伝播火炎と物体 の相互作用 (東工大) 三神 尚 (140)			
○高燃焼度用燃料の高温での酸素ポテン シャルおよび蒸発挙動 (名大・工) 松井恒雄 (170)			
○核分裂片損傷の基礎過程, 空格子欠陥の			