

光開始カチオン重合 (2)

Photoinitiated Cationic Polymerization

本稿では、カチオン光開始剤、すなわちオニウム塩の直接および増感（間接）分解の最近の状況をまとめた。光分解によってオニウム塩は分解し、ラジカルカチオンおよび／またはブレンステッド酸を生成し、環状エーテルやビニルエーテルなどの適当なモノマーのカチオン重合を開始する。さまざまな添加剤がオニウム塩を分解するのに間接的役割を果たすが、それには三つの一般的な方法がある。一つ目の方法では電子的に励起された増感剤とオニウム塩との電子移動反応による増感剤ラジカルカチオンの生成を含む。二つ目の方法においては、電荷移動錯体中の電子供与性化合物が同様の電子移動反応を受ける。その場合、電子供与性化合物のラジカルカチオンが生成する。最後に、光化学的に形成されるラジカルが、電子移動あるいは付加-解離機構を経てカチオン重合の開始を誘起させることができる。また、*N*-フェナシリウム塩や塩を含まないシステムによる光開始についても記述する。

前号からのつづき

Mehmet Atilla Tasdelen

イスタンブール工科大学 化学科

Yusuf Yagci

イスタンブール工科大学 化学科 教授

翻訳：遠藤 剛・森 秀晴（山形大学 工学部）

3.3 フリーラジカル光

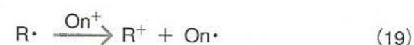
開始剤による増感

フリーラジカルはオニウム塩の分解を誘起できる。現在、2種類のフリーラジカルによって誘起される開始が利用できる。

3.3.1 ラジカルの酸化

間接開始システムのなかで、フリーラジカルで促進されるカチオン重合は、幅広い吸収特性をもつフリーラジカル光開始剤が利用できるため、最も順応性のある反応である。多くの光化学的に形成されるラジカルはオニウム塩によって酸化される^{23)~28)}。発生し

たカチオンは次の反応に従ってカチオン重合の開始種として用いられる。



この過程は通常フリーラジカル促進型カチオン重合と呼ばれる。いわゆるフリーラジカル促進型カチオン重合は、非常に順応性のある優れた光増感カチオン重合である²⁹⁾³⁰⁾。フリーラジカルは光化学的のみならず、熱的に

あるいは反応系への高エネルギー線の照射によっても生成される。表5はフリーラジカル促進型カチオン重合に一般的に用いられるフリーラジカル光開始剤とオニウム塩の組み合わせを示す。

酸化剤としてのオニウム塩の効率はそれらの電子親和性と関係する。オニウム塩の酸化力が高いほど還元電位 $E_{\text{red}}^{1/2}(\text{On}^+)$ が高く(さらに正と)なる。

この形式の重合におけるオニウム塩の効率は、トリアルキルスルホニウム塩<アルコキシピリジニウム塩<ジアリールヨードニウム塩<アリールジアゾニウム塩の順に上昇する(表3参照)。アリールジアゾニウム塩はラジカルの酸化には最も適している。しかしながら、それらの熱的安定性が低いために実用的応用にはいたっていない。ジフェニルヨードニウム塩もまた比較的高い還元電位をもつ。フリーラジカルの酸化に非常に適しており、それらの塩は光発生フリーラジカルの酸化に最も頻繁に用いられてきた。一方、トリフェニルスルホニウム塩は、その低い還元電位のためラジカルに誘起されるカチオン重合に対してはあまり有効ではない。しかしながら、いくつかの高い求核ラジカルはスルホニウム塩によって酸化される。

もしフリーラジカルとオニウムイオンそれぞれの酸化と還元電位が知られているならば、あるラジカルがあるオニウム塩によって酸化されるか否かは、Rehm-Weller式(21)を基に評価することができる。

$$\Delta G = F[E_{\text{ox}}^{1/2}(\text{R}') - E_{\text{red}}^{1/2}(\text{On}^+)] \quad (21)$$

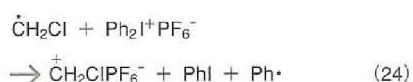
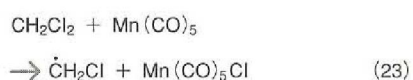
しかしながら、ラジカル促進型重合に含まれる多くのラジカルの正確な酸化電位 $E_{\text{ox}}^{1/2}(\text{R}')$ が知られていないた

表5 フリーラジカル促進型カチオン重合の開始システム

フリーラジカル源	オニウム塩	参 照
アシルホスフィンオキシド	ヨードニウム/ピリジニウム塩	23) 24)
ビニルハライド	スルホニウム/ピリジニウム塩	25) 26)
<i>o</i> -フタルアルデヒド	ピリジニウム塩	27)
ベンゾイン誘導体	ヨードニウム/ピリジニウム塩	31) 32)
ベンゾフェノン	ヨードニウム/ピリジニウム塩	31) 32)
アゾ化合物	ヨードニウム/ピリジニウム塩	31) 32)
染料-アミン	ヨードニウム塩	33)
ポリシラン	ヨードニウム/ピリジニウム塩	28) 34)

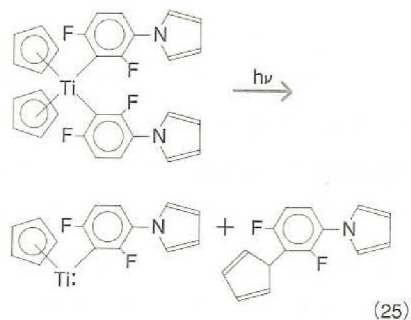
め、通常 ΔG の計算は不可能である。

さらに近年、シクロヘキセンオキシド(CHO)のような環状エーテル類やブチルビニルエーテル(BVE)のようなアルキルビニルエーテル類のカチオン重合に対する新規な可視光開始システムが報告されている³⁵⁾。このシステムは、有機ハライド、すなわちハロゲン含有溶媒とデカカルボニルジマンガ、 $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$ 、ジフェニルヨードニウム塩、 $\text{Ph}_2\text{I}^+\text{PF}_6^-$ のようなオニウム塩から構成されている。ラジカルの発生は、有機ハライド存在下 $\text{Mn}_2(\text{CO})_{10}$ にオニウム塩が透明である $\lambda = 436\text{nm}$ で照射することより達成されている。提案されている開始機構、ここでは塩化メチレン溶媒とジフェニルヨードニウム塩が有機ハライドと酸化剤としてそれぞれ用いられているが、それを以下に示す。

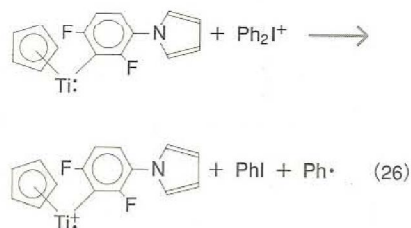


このシステムは反応性カチオンの発生に対して3成分から構成されており、開始機構はやや複雑である。しかしながら、チタノセン誘導体は光分解により直接活性化されフリーラジカル重合を開始する一成分系のわずかな例の一つである³⁶⁾。チタノセン型光開始剤、すなわちイルガキュア784もまたフリーラジカル促進型カチオン重合中の可視光フリーラジカル源として、その適性を評価された。そのなかで、シクロヘキセンオキシド(CHO)がイルガキュア784とオニウム塩の組み合わせにより重合されている。CHOはヨードニウムと *N*-アルコキシピリジニウム塩によって効率的に重合された。単純な三級スルホニウム塩は、酸化還元電位が適さないためラジカルに誘起される分解を受けない。とくに、光開始システムの2成分は重合の開始に必要な不可欠であり、筆者らが検討した反応条件下ではその成分のうち一つがないときポリマーは形成されない。プロトン補足剤、2,6-ジ-*tert*-ブチル-4-メチルピリジンが反応混合物中に存在するときは照射中にポリマーは形成せず、これはプロトンが開始剤として作用することを示唆している。チタノセン誘導体の光分解挙動はその構造に関連する。

ラジカルトラップ実験より、非フッ素化ジアリールチタノセンが金属-アリアル配位子結合の均一開裂を経て光分解し、アリアルとチタノセンラジカルを発生することが明らかにされている。イルガキュア784のようなフッ素化チタノセン誘導体は一級有機ラジカルではなく、むしろ次の反応に従いチタノセンを中心としたビラジカルを生成することが知られている。



オニウム塩のような適当な酸化剤の存在下で、それらのビラジカルは電子移動反応によってラジカルカチオンを生成する。

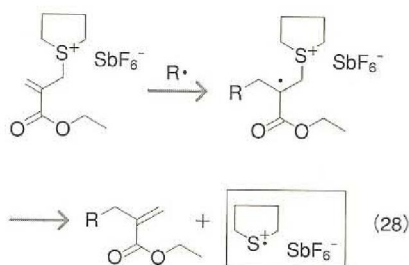
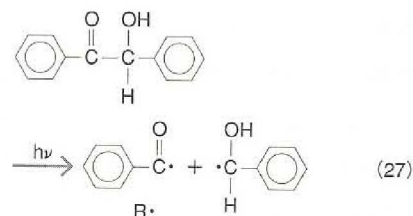


スペクトル的な研究とプロトン補足剤の存在下で重合が進行しないことから、そのように形成されたラジカルカチオンによって直接重合が開始されるとは考えられない。現在、どのようにプロトンが発生するのか明らかになっていないにもかかわらず、これらの結果はそれらが開始に重要な役割を担っていることを示唆している。

3.3.2 付加-開裂反応

光誘起カチオン重合に対する付加開裂型反応の使用は、いくつかの近年の研究課題であった^{37)~39)}。容易に酸化されるカチオンあるいはオニウムカチオンとエキシプレックスを形成する分子に基づくのではなく、付加開裂反応は実際に重合系の波長応答性を調整する非常に有用な方法である。これまで付加開裂型開始剤に用いられてきた化合物を表6にまとめた。それらの化合物はエチル- α -(プロモメチル)アクリレートと相当する複素芳香族化合物との反応、あるいはETM⁺SbF₆⁻の場合、ピコリンN-オキシドとの反応によって合成される。

付加開裂型開始の機構をETM⁺SbF₆⁻とベンゾインを例にして表す。



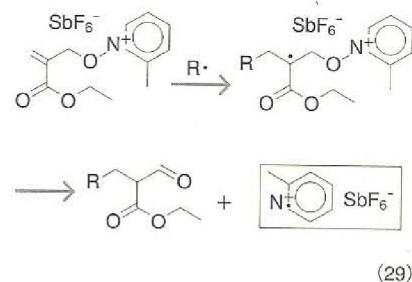
一段階目はフリーラジカルの光発生である。実際には光によって均一開裂を起こしやすい化合物をラジカル源として用いることができる。そのラジカルがアリアルオニウム塩の二重結合に付加してオニウム塩カチオンのヘテロ原子の α 位にラジカルを生成する。結果

表6 付加開裂反応に用いられるアリアル化合物

	エチル- α -(テトラヒドロチオフェニウムメチル)アクリレートヘキサフルオロアンチモネート ³⁷⁾ ETM ⁺ SbF ₆ ⁻
	2-エトキシカルボニル-2-プロベニルピリジニウムヘキサフルオロアンチモネート ³⁸⁾ EPPY ⁺ SbF ₆ ⁻
	2-エトキシカルボニル-2-プロベニルピコリニウムヘキサフルオロアンチモネート ³⁹⁾⁴⁰⁾ EPP ⁺ SbF ₆ ⁻

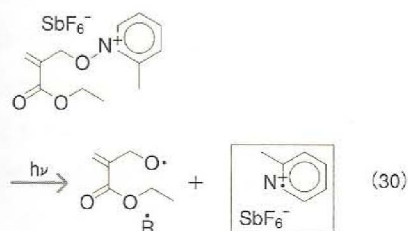
として、分子が開裂を受けて開始剤となるカチオン種を生成する。提案されている機構は光分解生成物の解析によって証明されている。シクロヘキセンオキシド、プチルビニルエーテル、N-ビニルカルバゾールのようなカチオン的に重合可能な多くのモノマーの開始効率が示されてきた。

EPP⁺SbF₆⁻の場合、光発生ラジカルの付加の後、窒素原子の α 位にラジカルが生成する。N-O結合は相対的に弱くなり開裂して開始ピリジニウムラジカルカチオンを与える。それらのラジカルカチオンによる直接開始のほかに、重合混合物中の水素供与性成分との相互作用後の反応性ブレンステッド酸の形成が提案されてきた。



とくに、ほかにラジカル源が存在し

ないとき、ETM⁺SbF₆⁻を含むモノマー溶液への270nmでの照射によりカチオン重合は起こる³⁹⁾。アルコキシピリジニウム塩で知られているように、N-O結合は照射により簡単に開裂することができる。そのように発生したラジカルはアリル基の二重結合に付加して付加開裂を始める。さらに、ETM⁺SbF₆⁻の光分解で直接形成されたピコリニウム型のラジカルカチオンは前述したようにカチオン重合を開始できる。



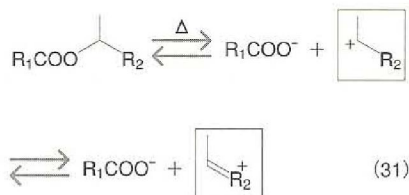
これらをまとめると、付加開裂反応に基づく光重合システムの利点は実際にはすべてのタイプのラジカル源が開始に利用しうる点である。したがって適切な波長応答性を伴うラジカル源の選択により、入射光の波長に光重合をうまく適応させることができる。

3.4 塩構造をもたない熱および光開始剤

オニウム塩開始剤は、しばしば一般のモノマーに十分に可溶でないことから、さらにはポリマーに無機不純物(対イオンから生じる)を導入してしまうことから、塩構造をもたない熱潜在

性システムが考案されてきた。

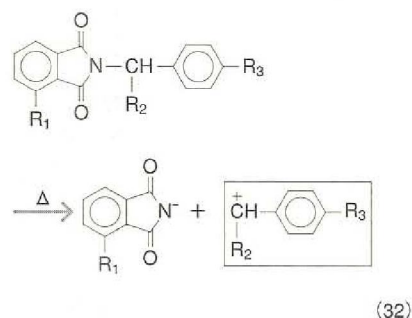
近年、遠藤らはN-置換フタルイミド⁴¹⁾、アミンイミド⁴²⁾、カルボン酸エステル⁴³⁾、スルホン酸エステル⁴⁴⁾、置換フェノール⁴⁵⁾を、塩構造をもたない熱潜在性開始剤^{*}として報告してきた。エステル類(R₁=CH₃, CHCl₂, CF₃, CCl₃, R₂=OCH₂CH(CH₃)₂, Ph)は、熱により共鳴安定化されたカルボカチオンを生成することを見いだしてきた。その化合物は、イソブチルビニルエーテルの熱バルク重合に用いられている。生成物の解析によって、可能な開始種としてのプレnstेटド酸の形成は除外される。



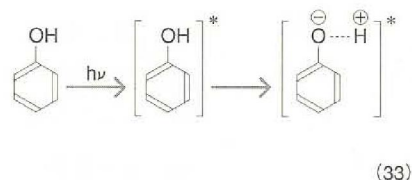
置換基R₁とR₂は重合活性に強い影響を示す。異なる誘導体に対して25°C(非熱潜在性)から100°Cの間の重合温度が選択されている。R₁の場合、熱感度がCF₃>CCl₃>CHCl₂>CH₃の順番で低下する。電子吸引力置換基をもつ誘導体の活性向上は、形成されるカルボキシアニオンの安定化によって説明される。R₂に関しては、OCH₂CH(CH₃)₂を有する誘導体がフェニル置換体よりもさらに活性であった。これは明らかにベンジルカチオンに比べてオニウムイオンの高い安定性のためであった。

開環重合にうまく適用されている塩構造をもたない開始剤のそのほかのタイプとしてN-ベンジルフタルイミド誘導体がある。それらの化合物は熱によるイオン対形成を受け、低求核フタ

ルイミドアニオンと一緒に開始ベンジルカチオンが形成される。開始効率はアジリジンの重合で示されている。



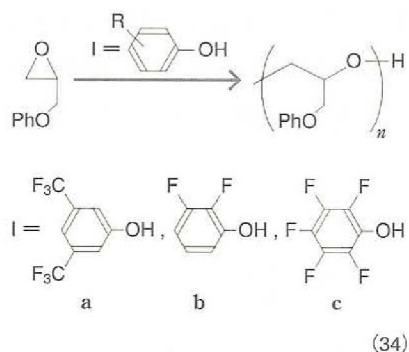
置換フェノールも開環重合に利用された。フェノールは通常高温においてさえ、エポキシドの重合を開始するのは困難であり、それはおそらく重合に対する不十分な酸性度と重合停止剤として作用する解離されたフェノキシドイオンの比較的高い求核性のためである。したがって、フェノキシドイオンの求核性をベンゼン環へ適切な置換基を導入することにより立体的にまた電子的に低下させることができ、その結果解離状態の安定化をもたらす。塩構造をもたない新規な光開始剤としてさまざまな置換フェノールが開環重合を開始する。



このように、CF₃あるいはF基を適切な置換基として有するフェノールa-cはカチオン開環重合の塩構造をもたない光潜在性開始剤として有効に作用することが見いだされ、そこでは光潜在性開始剤の活性の順がb~c>aと評価された(式34)。

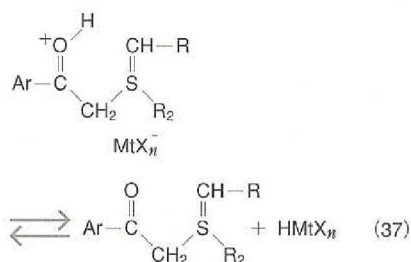
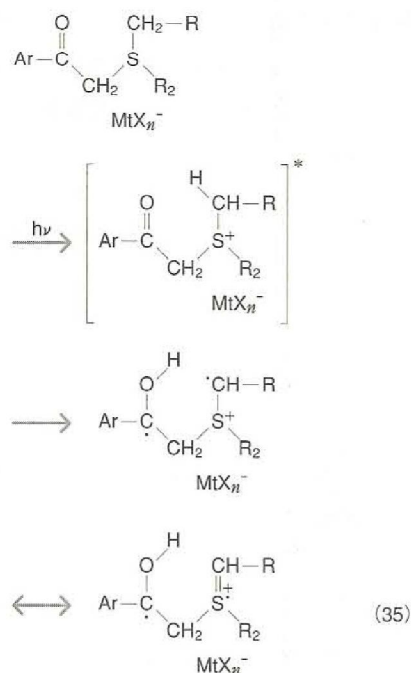
【潜在性開始剤】

常温常圧の条件下では活性を示さず、外部刺激により活性を示す触媒を潜在性触媒と呼び、この概念を重合の開始剤に拡張したものが潜在性開始剤である。熱、光などの外部刺激によりラジカルやカチオンなどの重合開始の活性種を生成する。

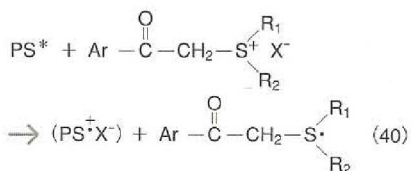


3.5 N-フェナシル型光開始剤

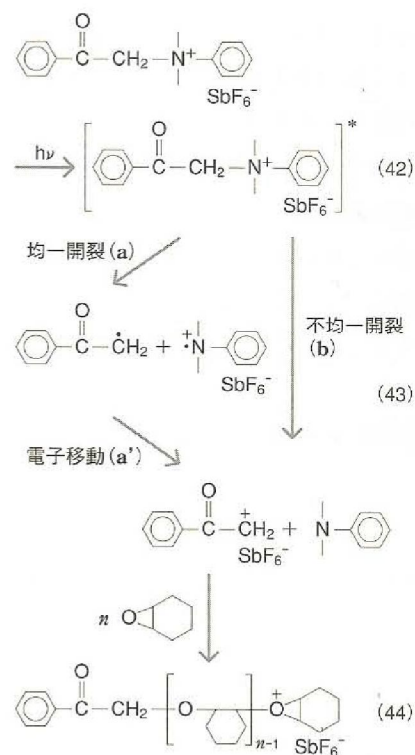
近年、Crivelloのグループが新規な光開始剤のあらたな種類、すなわちフェナシルスルホニウム塩を発表した^{(47)~(50)}。このタイプの塩によるカチオン重合の光開始は可逆過程を経て進行すると提案されている⁽⁵¹⁾。硫黄原子に隣接する炭素原子からの光励起塩の分子内水素引き抜きの後、内部で電子移動が起き、続いて脱プロトン化によって硫黄イリドとプロトン性酸を与え、それが重合を開始する(式35~38)。



それらの塩の分解は光増感によっても誘起することができる。以下の反応に示したように、ジアルキルフェナシルスルホニウム塩の光増感機構は、励起光増感剤からスルホニウム塩への電子移動を含む。光増感剤のラジカルカチオンはその後重合反応を開始する。ジアルキルフェナシルスルホニウム塩は比較的低い還元電位をもつことから、電子移動プロセスは非常に容易である。さらに、引き続いて起こるジアルキルフェナシル硫黄フリーラジカルの迅速な分解が逆電子移動を防ぎ、その結果このプロセスを非常に効率的にする。



近年、YagciらはN-フェナシル-N,N-ジメチルアニリニウムヘキサフルオロアンチモネート(PDA+SbF₆⁻)が照射により適当なモノマーのカチオン重合を効率的に開始することを報告した⁽⁵¹⁾。興味深いことに、開始機構はスルホニウム類似体を用いた場合とまったく異なる⁽⁵⁰⁾⁽⁵²⁾。フェナシルアニリニウム塩は不可逆的な光分解を受け、式42~44にしたがって光開始種が生成することが提案されている。重合およびスペクトル的な研究は、不均一あるいは均一開裂と引き続き起こる電子移動によって形成されるベンジル型カチオンが開始に対応することを明らかにした。



非求核性対イオンを伴うフェナシルアニリニウム塩は、フェナシル部位が光化学的に励起され、またN,N-ジメチルアニリンがその弱い塩基性のためによい脱離基として作用するため、潜在性

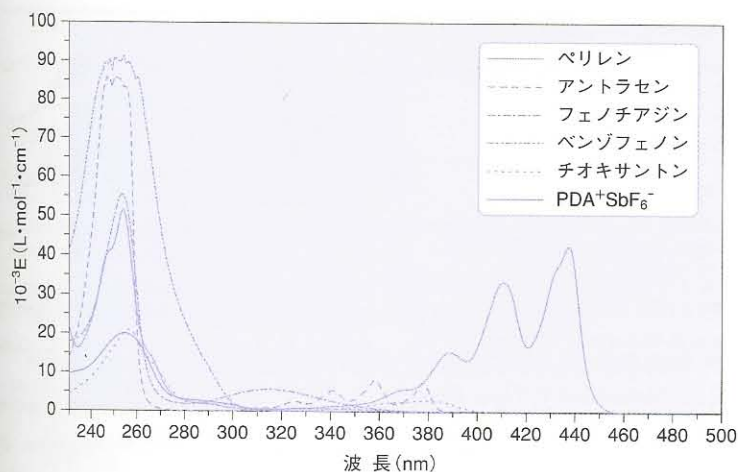
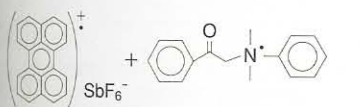
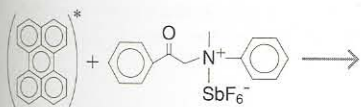


図4 ペリレン、アントラセン、フェノチアジン、ベンゾフェノン、チオキサントンと $\text{PDA}^+\text{SbF}_6^-$ の CH_2Cl_2 溶液中の光学吸収スペクトル

光開始剤として作用すると予想される。

彼らは、この化合物とペリレン、アントラセン、フェノチアジンのような多核芳香族化合物⁵³⁾、あるいはベンゾフェノンやチオキサントンのような芳香族カルボニル化合物との光増感の可能性に関するさらなる研究についても報告している。それらの化合物と $\text{PDA}^+\text{SbF}_6^-$ の吸収特性を図4に示した。

とくにチオキサントンやベンゾフェノンは熱力学的条件が適さないため、この酸化還元反応に関係しない。電子移動に基づく機構としてペリレンと $\text{PDA}^+\text{SbF}_6^-$ の場合を下に示した。

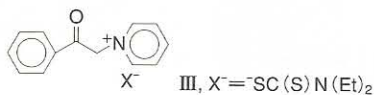
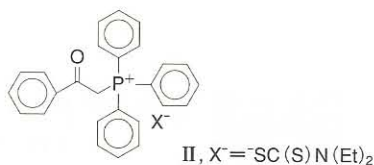
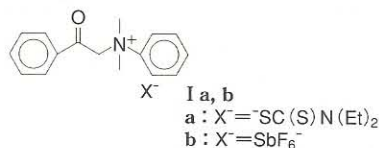


Monomer (45)

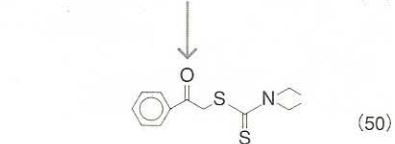
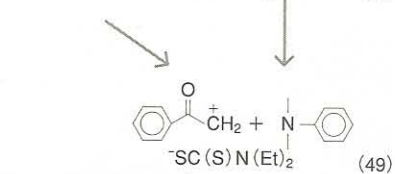
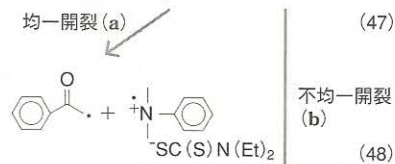
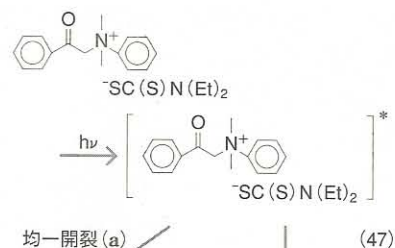
Polymer (46)

フェナシル発色団基を有するアニリ

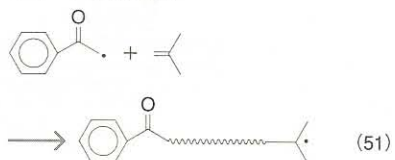
ニウム、ホスフォニウム、ピリジニウム塩は、メチルメタクリレート (MMA) のようなビニルモノマーのラジカル重合を光化学的にも開始する。この研究で用いられた塩の構造を以下に示す。



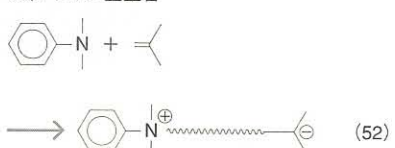
ビニルモノマーの光開始重合はフェナシル型オニウム塩とチオカルバメートアニオンによって誘起されることが下式に示されている。それぞれの補足剤存在下での重合は、フリーラジカルと双性イオン型機構の両者が開始において役割を果たすことを示唆した。



フリーラジカル重合

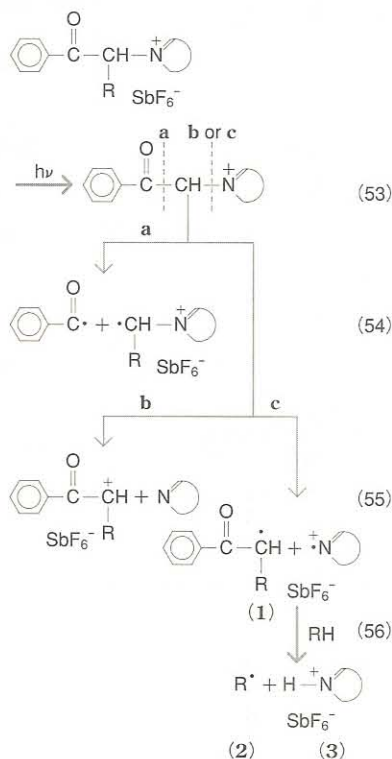


双性イオン型重合



遠藤らは、*N*-フェナシルアンモニウム塩⁵⁵⁾が光カチオン開始剤と同様に光ラジカルと熱カチオン開始剤として作用することを示した(式53~56)。エポキシドのカチオン重合は、ラジカル的に重合することが可能であるにもかかわらず、経路(a)の光開始反応の場合は起こらないと考えられている。経路(b)においては、カルベニウムカチオンが光照射によって発生される。経路(c)では、炭素-窒素結合が光照射によって均一に開裂して炭素ラジカルとアンモニウムカチオンラジカルを発

生することが示唆された。その後、カチオンラジカルは、おそらく周囲のモノマーからの水素引き抜きによりプロトン化されたアンモニウムカチオンに変換される。ラジカル重合の活性種は(1)あるいは(2)、またカチオン重合の活性種は(3)と思われる。



4 未来に向けて

光カチオン重合は適切な開始システムを伴うモノマーへの光照射により巧みに誘起される。本稿に記載した開始システムは幅広い波長領域でのカチオン重合を可能にする。このような光開始カチオン重合の発展に伴い、後硬化の制限や酸素の抑制効果、また揮発性物質の発生、毒性などの従来克服が困難であったさまざまな課題を解決することが可能となる。これらの基礎的研究の推進と分子設計・合成手法のさらなる展開は、インク、接着剤、表面コート、マイクロエレクトロニクス、

プリント基板などの先端分野で応用可能な未来材料の創出を誘起するものと期待している。

[引用・参考文献]

- 23) Y. Yagci and W. Schnabel: *Macromol. Chem., Rapid Commun.*, **8**, 209 (1987).
- 24) Y. Yagci, J. Borbely and W. Schnabel: *Eur. Polym. J.*, **25**, 129 (1989).
- 25) N. Johnen, S. Kobayashi, Y. Yagci and W. Schnabel: *Polym. Bull.*, **30**, 279 (1993).
- 26) A. Okan, I.E. Serhatli and Y. Yagci: *Polym. Bull.*, **37**, 723 (1996).
- 27) Y. Yagci and S. Denizligil: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **33**, 1461 (1995).
- 28) Y. Yagci, Y. Kminek and W. Schnabel: *Eur. Polym. J.*, **28**, 387 (1992).
- 29) Y. Yagci: *J. Rad. Curing*, **16**, 9 (1989).
- 30) Y. Yagci and W. Schnabel: *Makromol. Chem., Macromol. Symp.*, **60**, 133 (1992).
- 31) Y. Yagci and A. Ledwith: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **26**, 1911 (1988).
- 32) A. Böttcher, K. Hasebe, G. Hizal, Y. Yagci, P. Stellberg and W. Schnabel: *Polymer*, **32**, 2289 (1991).
- 33) Y. Bi and D.C. Neckers: *Macromolecules*, **27**, 3683 (1994).
- 34) Y. Yagci, I. Kminek and W. Schnabel: *Polymer*, **34**, 426 (1993).
- 35) Y. Yagci and Y. Hepuzer: *Macromolecules*, **32**, 6367 (1999).
- 36) M. Degirmenci, A. Onen, Y. Yagci and S.P. Pappas: *Polym. Bull.*, **46**, 443 (2001).
- 37) S. Denizligil, Y. Yagci and C. McArdle: *Polymer*, **36**, 3093 (1995).
- 38) Y. Yagci and A. Önen: *J. Polym. Sci.,*

Polym. Chem. Ed., **34**, 3621 (1996).

- 39) I. Reetz, V. Bacak and Y. Yagci: *Polym. Int.*, **43**, 27 (1997).
- 40) I. Reetz, V. Bacak and Y. Yagci: *Macromol. Chem. Phys.*, **198**, 19 (1997).
- 41) T. Takata, Y.Z. Mencelolu and T. Endo: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **30**, 501 (1992).
- 42) S.D. Lee, F. Sanda and T. Endo: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **35**, 689 (1997).
- 43) T. Moriguchi, Y. Nakane, T. Takata and T. Endo: *Macromolecules*, **28**, 4334 (1995).
- 44) a) S.D. Lee, T. Takata and T. Endo: *Macromolecules*, **29**, 3317 (1996).
b) S.D. Lee, T. Takata and T. Endo: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **37**, 293 (1999).
- 45) T. Hino and T. Endo: *Macromolecules*, **37**, 1671 (2004).
- 46) J. Gao, N. Li and M. Freindorf: *J. Am. Chem. Soc.*, **118**, 4912 (1996).
- 47) S. Kong and J.V. Crivello: *Polym. Prepr. (Am. Chem. Soc., Div. Polym. Chem.)*, **40**, 569 (1999).
- 48) J.V. Crivello and J.H.W. Lam: *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Ed.*, **17**, 2877 (1979).
- 49) a) J.V. Crivello: U.S. Patent 4,417,061 (1983).
b) J.V. Crivello: U.S. Patent 4,442,197 (1984).
- 50) J.V. Crivello and S. Kong: *Macromolecules*, **33**, 825 (2000).
- 51) F. Kasapoglu, A. Onen, N. Bicak and Y. Yagci: *Polymer*, **43**, 2575 (2002).
- 52) J.V. Crivello and J.L. Lee: *Macromolecules*, **16**, 864 (1983).
- 53) F. Kasapoglu and Y. Yagci: *Macromol. Rapid Commun.*, **23**, 567 (2002).
- 54) F. Kasapoglu, N. Arsu, M. Aydin and Y. Yagci: *J. Photochem. Photobiology., A-Chem.*, **159**, 151 (2003).
- 55) E. Takahashi, F. Sanda and T. Endo: *J. Appl. Polym. Sci.*, **91**, 3470 (2004).



Mehmet Atilla Tasdelen

イスタンブール工科大学 化学科

Gaziantepに生まれる。2000年IzmirのEge大学より化学の学士号を取得。イスタンブール工科大学の高分子科学・技術プログラムにおいて、制御された(controlled)ラジカル重合とラジカル促進型カチオン重合を併用したブロック共重合体に関する修士課程の研究を行う。現在、Yusuf Yagci教授の指導下でPh.D.に向けてデンドリマー状分子の光化学修飾に関する研究を行っている。



Yusuf Yagci

イスタンブール工科大学 化学科 教授

1952年トルコ共和国Mustafakemalpasayaに生まれる。1974年Yildiz大学化学工学科を卒業。1979年イギリスLiverpool大学にてAnthony Ledwith教授の下Ph.D.取得。1980年からイスタンブール工科大学に在職、現在にいたる。その間、学科長を務める(1996~2001)。他にも多数の大学にて客員教授を兼任。ベルリンのHahn-Meitner-Institute (1988~1996, Alexander von Humboldt Foundation Scholarship)、東京工業大学(1995)、豊橋科学技術大学(2002, Japan Society of Promotion of Science)、ミュンヘン工科大学(2000, 2003, Alexander von Humboldt Stiftung)など。Designed Monomers and Polymersのco-editorを務めるとともに、5つの高分子関連学術誌の編集委員を務める。1989年Turkish Scientific Research CouncilのEncouragement PrizeおよびScience Prizeを受賞。Turkish Academy of Science会員、Turkish Chemical Society名誉会員。専門は、光ラジカル・カチオン重合、ブロック・グラフト共重合体の合成、導電性・液晶性高分子の合成など。

未来材料

Expected Materials for the Future

12

2004

光開始カチオン重合(2)

不斉分子ゲルによる1次元ナノ構造の構築とその展開

CS₂を原料とする新しい高分子の創製

酸化物による熱電変換

人工オパール「フォトリソニック結晶」と光制御

セラミックス基ナノコンポジットの未来展開

■ おもちゃから夢を育むために

■ 分子多様性の創出と機能開拓

