— 論 文 —

(日本化学会誌, 1985, (7), p.1429~1435)

© 1985 The Chemical Society of Japan

活性炭触媒によるポリプロピレンの分解

(1985 年 2 月 20 日 受 理)

上道 芳夫*・菖蒲 明己・野口 直也・加納 久雄

活性炭触媒によるポリプロピレン (PP) の分解を 477~526°C, 固定床流通系で行ない分解生成物の組成を明らかにした。活性炭はポリプロピレンの分解および芳香族炭化水素の生成に有効な触媒で, 反応温度 502°C, 接触時間 35.0 g-cat・min/g-PP の条件下では生成物の約 20 wt% が *m*-キシレンと 1, 3, 5-トリメチルベンゼンを主成分とする芳香族炭化水素であった。この芳香族生成量は活性炭上でのポリエチレンの分解の場合の約 2/3 であり, ポリプロピレンの反応では環化反応が起こりにくいことを示していた。分解生成物の炭素数分布は, ラジカル連鎖機構で進行すると考えられる熱分解のそれとは明らかに異なっており, 反応はおもに活性炭表面での第三級水素の引き抜きで開始され, 生成した第三級ラジカルの β -開裂後に生じる新しい第二級ラジカルはただちに触媒上の水素により飽和される機構が考えられた。そして環化反応は分解がかなり進行した低分子化フラグメントの段階で起こると推測された。

1 緒 言

廃プラスチック再資源化の基礎研究として, 触媒を用いてポリプロピレン分解生成物の組成を制御しようとする研究が行なわれているが, これまでポリプロピレンの分解に用いられたのはシリカ-アルミナ¹⁾, ゼオライト^{1,2)}の固体酸触媒のみである。しかし生成物組成に用途に応じたフレキシビリティをもたせるためには, 性質の異なる他の触媒についての研究が必要と考えられる。

著者らは最近, 活性炭がポリエチレンからの芳香族炭化水素の生成にきわめて有効な触媒であることを見いだした³⁾。この触媒は従来ポリマーの分解に用いられてきた固体酸触媒とは性質を異にするもので, その触媒作用は注目に値する。したがって活性炭触媒をポリプロピレンの分解に用いたときも, ポリエチレンの場合と同様選択的に芳香族が生成するかどうか, さらにポリプロピレンのメチル基の分枝が活性炭上での反応性にどのように影響するかはきわめて興味深いことである。

そこで本報では, 活性炭触媒によるポリプロピレンの分解を行ない生成物組成およびその組成に対する反応温度, 接触時間の影響さらには分解機構について検討した結果について述べる。

2 実 験

2.1 実験方法

ポリプロピレンの分解は既報¹⁾と同様の固定床流通系装置を用い, 温度 477~526°C, 供給速度 (*F*) 0.072~0.60 g-PP/min (PP: ポリプロピレン), 触媒量 (*W*) 3.0 g (4~8 メッシュ) の

条件下で行なった。なお熱分解では触媒 3.0 g と見かけ上同体積のガラスビーズ (8.9 g, 3.5 mm ϕ) を用いた。

2.2 試料および触媒

試料ポリプロピレンはこれまでと同様イソタクチックポリプロピレン (住友ノーブレン S 101, 平均分子量 1.6×10^5) を使用した。活性炭触媒はポリエチレンの分解³⁾と同じく三菱化成製ダイアソープを 600°C, 3 時間排気焼成し反応に用いた。

2.3 生成物の分析

ポリプロピレン分解生成物は GLC で分析した。その条件は既報³⁾と同様であった。

3 結果と考察

3.1 分解生成物の組成と反応時間の影響

表 1 は活性炭触媒によるポリプロピレンの分解生成物の組成を示している。ここで高沸点成分 (HBP: high boiling point products) の組成は不明であるが少なくとも炭素数 24 以上の炭化水素と推測された¹⁾。この表から明かなように反応初期 (10 分) での主成分はパラフィンと芳香族で, 熱分解と同じ生成物 (*e*) 印) のうち不飽和成分 (2-メチルプロペン, 2-メチル-1-ペンテン, 2, 4-ジメチル-1-ヘプテンなど) はきわめて少なかった。このように脂肪族成分中でパラフィンが圧倒的に多いのは, 芳香族およびコーク析出過程で生じる水素によりオレフィンが水素化されたことによると考えられる。また飽和, 不飽和の違いがあっても脂肪族成分の大部分は熱分解生成物と同じ炭素骨格をもっていた。このことは活性炭上では骨格異性化反応がほとんど起こらなかったことを示唆している。芳香族の主成分は *m*-キシレンと 1, 3, 5-トリメチルベンゼンであったが, この 1, 3, 5-トリメチルベンゼンは熱力学的⁴⁾には 1, 2, 4-異性体よりはるかに生成しにくい

4) S. H. Hastings, D. E. Nicholson, *J. Chem. Eng. Data*, 6, 1(1961).

室蘭工業大学工業化学科, 050 室蘭市水元町

1) Y. Uemichi, Y. Kashiwaya, M. Tsukidate, A. Ayame, H. Kanoh, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 56, 2768(1983).

2) 小平 勲, 大沢善次郎, 安藤 宏, 日化, 1977, 1892.

3) 上道芳夫, 菖蒲明己, 金塚高次, 加納久雄, 日化, 1985, 735.

Table 1 Composition of degradation products formed over activated carbon catalyst at 502°C and $W/F=35.0$ g-cat·min/g-PP

Carbon No.	Component	Composition/wt%		Carbon No.	Component	Composition/wt%	
		10 ^{a)}	170 ^{a)}			10	170
0	Hydrogen	0.2	tr ^{b)}	8	4-Methylheptane ^{e)}	1.1	1.3
1	Methane	3.6	0.7		Ethylbenzene+Styrene	0.4	tr
2	Ethane ^{e)}	3.6	1.1		<i>m</i> -Xylene ^{c)}	6.2	0.5
	Ethylene	0.3	0.3		<i>o</i> -Xylene	0.5	tr
3	Propane	7.6	1.4		Others	0.6	2.0
	Propylene ^{e)}	7.2	4.1	9	2,4-Dimethylheptane	0.8	1.5
4	Butane	1.2	tr		2,4-Dimethyl-1-heptene ^{e)}	tr	11.6
	Isobutane	12.0	0.3		2,4-Dimethyl-2-heptene	0.1	1.1
	2-Methylpropene ^{e)} +1-Butene	2.3	3.3		Ethyltoluenes	0.6	0.1
	2-Butenes	0.3	0.1		1,3,5-Trimethylbenzene	5.8	0.8
5	Pentane ^{e)}	11.1	3.2		1,2,4-Trimethylbenzene	1.1	0.1
	2-Methylbutane	0.7	tr		1,2,3-Trimethylbenzene	0.2	tr
	1-Pentene	0.4	0.4		Others	0.3	1.7
	2-Methyl-1-butene	0.2	0.2	10	2,4,6-Trimethylheptane	0.1	0.5
	2-Pentenenes	2.4	1.3		2,4,6-Trimethyl-1-heptene ^{e)}	0	2.8
	2-Methyl-2-butene	0.5	0.2		2,4,6-Trimethyl-2-heptene	0	0.4
6	Hexane	0.5	tr		Aromatics	1.5	0.1
	2-Methylpentane	13.4	1.1		Others	tr	1.6
	3-Methylpentane	0.6	tr	11	4,6-Dimethylnonanes ^{e)} (2) ^{d)}	tr	2.0
	4-Methyl-1-pentene	0.2	0.3		Others	0.4	0.2
	4-Methyl-2-pentene	0.9	1.0	12	2,4,6-Trimethyl-1-nonenes ^{e)} (2)	tr	2.7
	2-Methyl-1-pentene ^{e)}	1.0	2.8		Others	0.1	1.8
	2-Methyl-2-pentene	1.5	1.1	13	2,4,6,8-Tetramethyl-1-nonenes ^{e)} (2)	0	1.3
	Methylcyclopentane	0.2	tr		Others	0	0.8
	Methylcyclopentenenes	0.3	tr	14	4,6,8-Trimethylundecanes ^{e)} (3)	0	1.4
	Benzene	0.5	0.1		Others	0	0.9
	Others	0.7	0.1	15	2,4,6,8-Tetramethyl-1-undecenes ^{e)} (4)	0	4.2
7	2,4-Dimethylpentane	1.6	0.2		Others	0	0.3
	2-Methylhexane	0.4	0.1	16	2,4,6,8,10-Pentamethyl-1-undecenes ^{e)} (3)	0	1.0
	3-Methylhexane	0.2	tr		Others	0	0.7
	Heptane	0.1	tr	17~23		0	6.5
	2,4-Dimethyl-1-pentene ^{e)}	0.3	1.1	H. B. P		0	23.1
	2,4-Dimethyl-2-pentene	0.4	0.4	Total		100.2	100.1
	Toluene	3.4	0.2	Yield of products/wt%		83.5	100.0
	Others	0.6	2.0				

a) Reaction time/min.

b) Trace amount of less than 0.05%.

c) *p*-Xylene (less than one-tenth of the amount of *m*-xylene) is included.

d) The number of diastereomeric isomer.

e) Main component in each carbon number fraction of thermal degradation products.

はずである。しかるに C₉ 芳香族として選択的にこの 1,3,5-異性体が生成するという結果は、環化前の脂肪族フラグメントの炭素骨格を反映しているものであり、さらに芳香族の異性化も起こらなかったことを示唆している。熱分解では芳香族はまったく生成しなかったため、芳香族の生成は活性炭の触媒作用によることが明らかである。なお、C₁₀ 芳香族は可能な異性体が多く個々の成分の同定はしていない。また C₁₁ 以上の成分ではジアステレオマー⁵⁾が存在し詳細な同定は不可能であった。そこで生成物を水素化⁶⁾し、水素化しない場合とのクロマトグラムの比較から各成分

濃度を求めた。したがって二重結合の位置は不明で表中の 1-アルケンには 2-アルケンなども含まれている可能性がある。

170 分後の組成を反応初期とくらべると生成物の炭素数分布は高炭素数側へシフトした。また芳香族成分は初期では 20 wt% であったが、170 分後には 3 wt% といちじるしく減少した。このような組成変化は反応時間とともに触媒活性が低下したことを示しており、その原因はコークの析出にあると考えられる。

3.2 反応温度の影響

図 1 は分解生成物を水素、直鎖パラフィン、分枝パラフィン、

5) M. Seegar, H. J. Cantow, *Makromol. Chem.*, **176**, 2059(1975).6) Y. Uemichi, A. Ayame, Y. Kashiwaya, H. Kanoh, *J. Chromatogr.*, **259**, 69(1983).

Fig. 1 Effect of reaction temperature on product composition at $W/F=35.0$ g-cat·min/g-PP

■ : Hydrogen, ● : Normal paraffins, △ : Isoparaffins, ○ : Olefins, □ : Aromatics
The broken line indicates the amount of aromatics formed in degradation of polyethylene (PE) at $W/F=31.6$ g-cat·min/g-PE.

Fig. 2 Effect of reaction temperature on product distribution at $W/F=35.0$ g-cat·min/g-PP

オレフィン、芳香族、高沸点成分に分類したときの生成物組成に対する反応温度の影響を示している。この組成は反応初期のもので、以下とくにことわらないかぎり生成物組成あるいは生成物の炭素数分布は初期値で表わす。なお図1の条件下では反応初期に高沸点成分は生成しなかった。芳香族生成量は反応温度とともに増加したが、ポリエチレンの分解における生成量⁹⁾ (図中破線) より約 10% 少なかった。このことからポリプロピレンの分解ではポリエチレンの場合より環化反応が起こりにくいことは明らかであった。しかし 477°C での芳香族生成量はシリカ-アルミナを用いたときの約 2 倍⁹⁾で、活性炭はこれまでポリプロピレンの分解に用いられた触媒の中では芳香族生成にもっとも有効な触媒で

Fig. 3 Effect of contact time on product distribution at 502°C

Fig. 4 Effect of contact time on product composition at 502°C

(a) Total products, (b) Products over C_6 fraction
■ : Hydrogen, ● : Normal paraffins, ○ : Olefins, △ : Isoparaffins, □ : Aromatics, ▲ : HBP

あった。一方、分解生成物の炭素数分布は反応温度が低くなると高炭素数側へ移行し分布の広がりが見られた (図2) が、この温

度領域では生成物の大部分は炭素数 3~9 のきわめて狭い範囲に分布していた。

3.3 接触時間の影響

分解生成物の炭素数分布および組成に対する接触時間の影響をそれぞれ図 3, 4 に示した。図 3 の炭素数分布はポリプロピレン供給速度が小さくなる（接触時間の増大）につれて低炭素数側へシフトし、フラグメントの逐次的分解が促進されていることを示唆している。この図はまた熱分解生成物の分布とも比較しているが、活性炭の分解促進能はいちじるしく高いことが明らかである。このような炭素数分布の変化につれて生成物組成も図 4 のように変化した。図 4-(a) は全生成物の、図 4-(b) は六員環形成が可能な C₆ 以上の成分の組成変化をみたものである。これらの結果は接触時間の短い領域では分枝パラフィン、オレフィンが生成し、接触時間の増大につれてそれらのフラグメントが逐次的に分解するかあるいは環化して芳香族成分になることを示唆している。したがって、環化反応はポリプロピレンの低分子化があまり進んでいないマクロフラグメントの段階では起こらないと考えられる。

3.4 反応機構

活性炭触媒による炭化水素の分解⁷⁾、脱水素反応⁸⁾はラジカル的に進行すると考えられており、本研究のポリプロピレンの分解においてもラジカル機構を仮定できよう。活性炭は脱水素能が高く、また C-H 結合の水素は第一級<第二級<第三級の順に引き抜かれやすくなることを考慮すると、ポリプロピレンの低分子化反応は以下のように第三級水素の引き抜き（(1)式）で開始されると考えられる。

ここで・H* は触媒上の水素原子を意味する。(1)式で生成した第三級ラジカルはβ-開裂（(2)あるいは(3)式）するとイソプロペニル基を有するオレフィンと第二級ラジカルになる。この第二級ラジカルは触媒上の水素原子と結合し相当するパラフィンになる（(4)式）。ここで生成物（A）~（D）は一般的には以下のように表わされ、（A）は炭素数 4, 7, 10, ……の、（B）は 6, 9,

12, ……のオレフィンであり、（C）、（D）はそれぞれ炭素数 5, 8, 11, ……、3, 6, 9, ……のパラフィンである。そして個々の具体的な成分は表 2 のようになる。このほかにはプロピレンが（2）あるいは（3）式で生成した第二級ラジカルが安定化する前にβ-開裂したとき生成し、この成分は構造的には（B）のグループに属する。（1）~（4）式の機構では（A）~（D）のなかでとくに優先的に生成するグループはなく、各グループとも同確率で生成すると考えられる。したがって（B）と（D）に属する成分の炭素数は同じであるから、炭素数 3, 6, 9, 12, ……の成分は（A）、（C）に属する成分より多く生成することになる。事実図 5 に示されているように生成物の炭素数分布（mol% 表示）は炭素数 3, 6, 9, 12 でピークを示した。なお高沸点成分の組成は不明なので図 5 は高沸点成分以外の分布である。

活性炭には脱水素能があり、触媒上に脱水素された水素は水素化能をもつ⁹⁾。したがってオレフィンかパラフィンのいずれかし生成しないと考えられる炭素数成分（4, 7, 10, …と 5, 8, 11, …のシリーズ）でも、生成後の水素化あるいは脱水素によって飽和、不飽和の両成分が存在し得ることになる。しかし接触時間が短い領域での各炭素数成分中のパラフィン/オレフィン比は（1）~（4）式を反映して炭素数 5, 8, 11, …で大きく、逆に 4, 7, 10…では小さく、3, 6, 9…では中程度になると予測される。なぜならこの領域では低分子化反応がきわめて優勢で、生成物が水素化あるいは脱水素される確率はあまり高くないと考えられるからである。そして事実パラフィン/オレフィン比は上記の予測どおり規則的になっていた（図 6）。なおこのように第三級ラジカルに分

7) B. S. Greensfelder, H. H. Voge, G. M. Good, *Ind. Eng. Chem.*, **41**, 2573(1949).

8) 藤元 薫, 浜田博和, 功力泰碩, 石油誌, **15**, 1022(1972).

9) 大勝靖一, 山崎慶重, 長 哲郎, 石油誌, **22**, 164(1979).

Table 2 Components expected from scission of three types of radicals

Carbon No.	Component		
	Tertiary	Secondary	Primary
3	Propane	Propane	Propane
4	2-Methylpropene	Propylene	Propylene
5	Pentane	Isobutane	Isobutane
6	2-Methylpentane	2-Pentene	1-Pentene
7	2-Methyl-1-pentene	2-Methylpentane	2-Methylpentane
8	2,4-Dimethyl-1-pentene	4-Methyl-2-pentene	4-Methyl-1-pentene
9	2,4-Dimethylheptane	2,4-Dimethylpentane	2,4-Dimethylpentane
10	2,4-Dimethyl-1-heptene	4-Methyl-2-heptene	4-Methyl-1-heptene
11	2,4,6-Trimethyl-1-heptene	2,4-Dimethylheptane	2,4-Dimethylheptane
12	4,6-Dimethylnonane	4,6-Dimethyl-2-heptene	4,6-Dimethyl-1-heptene
13	2,4,6-Trimethylnonane	2,4,6-Trimethylheptane	2,4,6-Trimethylheptane
	2,4,6-Trimethyl-1-nonene	4,6-Dimethyl-2-nonene	4,6-Dimethyl-1-nonene
	2,4,6-Trimethyl-2-nonene	2,4,6-Trimethylnonane	2,4,6-Trimethylnonane
	2,4,6,8-Tetramethyl-1-nonene	4,6,8-Trimethyl-2-nonene	4,6,8-Trimethyl-1-nonene
		2,4,6,8-Tetramethylnonane	2,4,6,8-Tetramethylnonane

(n:0,1,2,3,...)

解生成物が水素化、脱水素を受ける場合のみでなく、つぎに詳しく述べるように第二級あるいは第一級水素の引き抜きの寄与がある場合にも図6の結果は得られる。

活性炭は第一級と第二級水素しか存在しないポリエチレンの分解においても触媒能を示した⁹⁾。このことはポリプロピレンの反応においても第二級水素の引き抜き((5)式)が起こり得ること

を示唆する。そこで第二級水素の引き抜きで生成した第二級ラジカルが第三級ラジカルの場合((2)~(4)式)と同様にβ-開裂、安定化するなら生成物は上記の(E)~(H)の4種に分類できる。

そして個々の具体的な成分は表2のようにになる。この第二級ラジカルの分解で生じる成分の炭素骨格は第三級ラジカルの分解

Fig. 5 Molar distribution of the products at 502°C and W/F=9.5 g-cat·min/g-PP

Fig. 6 Molar ratio of paraffins to olefins in each carbon number fraction obtained at 502°C and W/F=9.5 g-cat·min/g-PP.

によるものと同じであるが、オレフィンの二重結合の位置が異なる。これらのオレフィンのうち C_8 以上の成分の同定はできなかったが、2-ペンテン、4-メチル-2-ペンテンはポリプロピレンの分解でも生成することが確認された(表1)。しかし活性炭上では水素化、脱水素が起こりその結果二重結合移動も起こり得るからこれら生成物が第二級水素の引き抜きに起因していると結論することはできない。たとえば4-メチル-2-ペンテンは(3)式の第三級ラジカルの β -開裂後に生じる第二級ラジカル(炭素数6の場合)の一部が(4)式のように安定化されずに(6)式のように脱水素された場合でも生成可能である。

また、第三級ラジカルの分解で生成した2-メチル-1-ペンテンの二重結合異性化あるいは2-メチルペンテンの脱水素反応((7)式)でも4-メチル-2-ペンテンの生成は可能である。分解生成物

には C_8 オレフィンとして2-メチル-2-ペンテンも含まれていた(表1)。この成分は2-メチル-1-ペンテン、4-メチル-2-ペンテンとは異なり炭素-炭素結合の切断のみでは生成し得ないので、(7)式のような異性化あるいは脱水素反応が起きていると考えられる。

このように第二級水素の引き抜きについても考察したが、生成物の炭素骨格、二重結合の位置のみから第二級水素の引き抜きがどの程度反応に寄与しているかを議論することは困難である。このことは第一級水素の引き抜きを仮定した場合も同様である。しかし第二級、第一級ラジカルからの分解生成物(表2)のパラフィン/オレフィン比は第三級ラジカルの場合とは異なり炭素数4, 7, 10, ...で大きく、5, 8, 11, ...では小さくなるはずであるが、図6にはこのような傾向はない。したがって第三級水素の引き抜きが優位なことは確かであろう。

本研究の条件下では熱的分解も起こる(図3)ので、反応の初期過程は熱分解の影響も含まれていると考えられる。それはポリプロピレンのようなマクロ分子の触媒活性点への拡散が十分速いとは考えられず、活性点まで拡散する間に熱的に分解する可能性があるからである。図7は熱分解と接触分解における各炭素数成分の生成量の比を示している。活性炭上では分解がいちじるしく促進されるので、全体的な傾向として低炭素数側でこの比は大きくなった。しかし炭素数3, 9, 15でのこの比は明らかに小さかった。図3に示されているように、熱分解では第一級あるいは第二級ラジカルの β -開裂による C_3 成分と、第二級ラジカルが第三級ラジカルへ分子内転移した後に β -開裂することで生じる C_9 , C_{15} 成分がとくに多く生成する¹⁰⁾が、図7の結果は活性炭上では熱分解ほど選択的に C_3 , C_9 , C_{15} 成分が生成しないことを示唆している。以上のことから活性炭上での反応機構は熱分解のラジカル連

Fig. 7 Ratio of the amount of each carbon number fraction formed in catalytic degradation ($F=0.316$ g-PP/min) to that in thermal degradation ($F=0.328$) at 502°C

鎖機構¹⁰⁾ではなく、さきに述べた水素引き抜きによる機構が支持される。

ポリプロピレンの低分子化反応で生成した一次分解フラグメントは接触時間が大きくなるとさらにくり返し反応する。図4-(b)は低接触時間領域において C_6 以上の分枝パラフィンが増加することを示しているが、これは分枝パラフィンが反応しないのではなく、反応によって消滅する速度より環化反応などで生じる水素によりオレフィンが水素化されパラフィンとなる速度の方が大きいことを示唆していると考えられる。この図から明らかなように直鎖パラフィンの生成はきわめて少ないので一次分解フラグメントの二次的反應で重要なのは分枝パラフィン、分枝オレフィンの分解、環化ということになる。低分子化分枝パラフィンの分解は基本的には水素引き抜きで開始されと考えられるが、低分子化が進むにつれてフラグメントの第一級、第二級、第三級水素の個数の比が変わりもっとも引き抜かれやすい第三級水素の比率は小さくなる。したがってつねに第三級水素の引き抜きが優位であるかは疑問である。また低分子化の進行につれて環化反応の生起を無視できなくなる。このように一次分解フラグメントの炭素数あるいは二重結合の有無が、それらの二次的反應にどのように影響するかということについては不明な点が多く、現段階では詳細

10) E. Kiran, J. K. Gillham, *J. Appl. Polym. Sci.*, **20**, 2045(1976).

な機構は明らかでない。しかしポリプロピレンの分解による *m*-キシレンと 1,3,5-トリメチルベンゼンの生成は, (8), (9) 式のようにそれぞれ C₈, C₉ 低分子化フラグメントが環化することで説明できる。

一方 C₆, C₇ フラグメントの直鎖部分の炭素数は 5 であり, メ

チル基の移動が起これば芳香族になり得るが, すでに述べたように活性炭上では骨格異性化反応がほとんど起こらないと見なされるので, これらのフラグメントから直接ベンゼン, トルエンが生成するとは考えにくい。このことがポリエチレンの分解の場合より芳香族生成量が少なかったひとつの原因と考えられる。

Degradation of Polypropylene over Activated Carbon Catalyst

Yoshio UEMICHI*, Akimi AYAME, Naoya NOGUCHI and Hisao KANOH

*Department of Industrial Chemistry, Muroran Institute of Technology ;
Mizumoto-cho, Muroran-shi 050 Japan*

Catalytic effects of activated carbon on degradation of polypropylene were investigated at 477~526°C by using a fixed-bed flow system. The catalyst was effective for the C-C bond scission of the chain and the dehydrocyclization of the aliphatic fragments with relatively low molecular weight. The degradation products obtained at 502°C and with the contact time of 35.0 g-cat·min/g-PP were distributed among C₁~C₁₂ fractions and contained 20 wt% of aromatics. The amount of aromatics, of which the main components were *m*-xylene and 1,3,5-trimethylbenzene, corresponded to about two-thirds of that formed in degradation of polyethylene over activated carbon. Therefore, it was evident that the dehydrocyclization was difficult to occur in degradation of polypropylene, compared with the case of polyethylene. The degradation reaction over activated carbon seems to be initiated primarily by the abstraction of hydrogen atom bound at tertiary carbon on the catalyst surface.

~~~~~