

資 料

 ^{13}C —NMR スペクトルによる高分子の分析

門 坂 忠 雄, 牧 田 兼 正*

Analysis of Polymers by ^{13}C —NMR Spectrometry

Tadao KADOSAKA and Kanemasa MAKITA*

* Osaka Customs Laboratory,

4—10—3, Minato—Ku, Osaka—Shi, 552 Japan

Many kinds of polymers and copolymers were studied with ^{13}C —Nuclear magnetic resonance (^{13}C —NMR) spectroscopy for purpose of accumulating data with which a lot of imported polymer samples would be able to easily and certainly identified in customs laboratory.

^{13}C —spectra were obtained on Hitachi R—26 pulsed ^{13}C —NMR spectrometer (10MHz, 4K bit memory computer). This report contains ^{13}C —NMR spectra of 37 kinds of polymer and copolymers and assignments of their signals.

—Received Sep. 7, 1981—

1 緒 言

合成高分子の一次形態のもの(粒, 塊等及び半製品)は, 関税率表において第 39.01 号の重縮合, 重付加系の高分子と第 39.02 号の重合系の高分子に分類されている。これらの号は更に高分子の形態及び種類に従い細分されているので, 高分子の種類を分析し鑑別する必要がある。

関税率表分類上の解釈は別として, 一般にオリゴマーはその平均重合度 5 以上のものを高分子とみているが, 分子量から重合度を算出する際には各モノマー単位の構造をある程度まで明確にする必要がある。

共重合体まで含めると一般に使用されている高分子の種類はきわめて多く, その上, 社会情勢の変化につれ, 特異な目的, 機能を持つ高分子が製造される。こ

れら種々の高分子を的確に分析鑑別するには従来化学分析, 赤外吸収スペクトル, ^1H —NMR スペクトル等の分析法が用いられてきたが, 共重合物間の判別及び, 類似高分子間の判別など困難な場合に遭遇する。これらの判別には ^{13}C —NMR スペクトルが非常に有力な手段となる。分子構造の解析には, もちろん ^{13}C —NMR スペクトルを用いるのが最も有効であると考えられる。

^{13}C —NMR は高分子の骨格を構成している炭素の結合状態の直接の情報が得られ, また各炭素のシグナルが 1 本の鋭いピークとして現われることが多いため帰属が比較的容易という特徴を持っている。

本資料では, 試薬として販売されている多種類の高分子及び輸入品の中で標準となると認められた高分子の試料について ^{13}C —NMR スペクトルの測定を行い, 得られたスペクトルの各シグナルを文献, 類似高分子又は同一構造基を持つ低分子化合物の既知のデー

* 大阪税関輸入部分析室 552 大阪市港区築港 4—10—3

タ及びオフレゾナンス測定結果を参考に帰属を行った。

使用した装置は日立 R-26 型 FT- ^{13}C -NMR 測定装置 (共鳴周波数 10MHz) である。この装置は低分子化合物の分析に対して十分な性能を持っているが、高分子の立体規則性の研究等に使用するには性能不足を否定し難い。しかしこの装置を用いても一部の種類の試料 (Fig. 3 の塩化ゴム等のハロゲン化高分子など) を除き高分子の種類の判別が十分に可能であり、種々の高分子の ^{13}C -NMR スペクトルのデータを蓄積して行けば高分子の関税率表上の分類にとって大いに役立つものと考え、本資料をまとめた。

2 実 験

測定装置は日立 R-26 (共鳴周波数 10MHz, パルス励起フーリエ変換型, 4K バイトの記憶容量を持つ積算装置を備えている) を用いた。容媒は重クロロホルム又は重水を用い、一部の試料については重アセトン等を用いた。試料は大部分の場合 30w/v% の濃度で測定した。しかし溶解度又は溶液の粘度からくる制約のためそれより低濃度で測定したものは特記した。化学シフトの基準物質は有機溶媒系の場合はテトラメチルシラン (TMS) を、重水の場合は毛细管に封入した TMS, 又はジオキサンを用いた。

パルス間隔: 1~4 sec.
パルス角度: 標準 50°C (その他 45°)
積算数: 4,000~70,000

なお、化学シフト値の装置に起因する誤差を小さくするため、若干の標準物質の実測化学シフト値を文献値と比較し化学シフト補正曲線を作成、これを用いてスペクトルを補正した。

3 結 果

3・1 重合系高分子の ^{13}C -NMR スペクトル

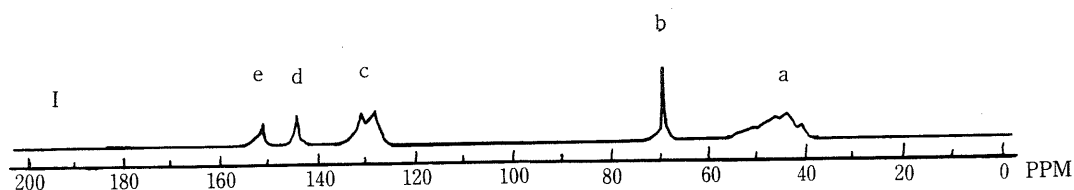
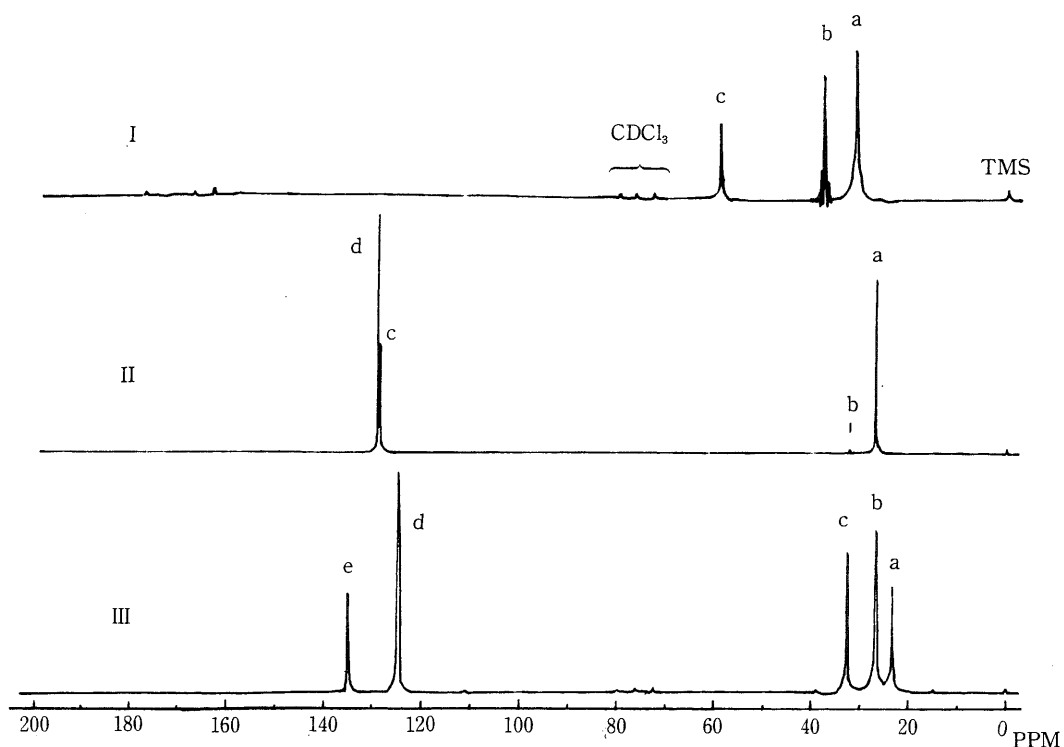


Fig. 1 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polystyrene sulfonate sodium	a	{ 44.2 PPM 47	b : dioxane as reference	① D ₂ O ② 8900 ③ 1
	b	69.7		
	c	{ 128.7 131.3		
	d	143.9		
	e	151.5		

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

Fig. 2 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

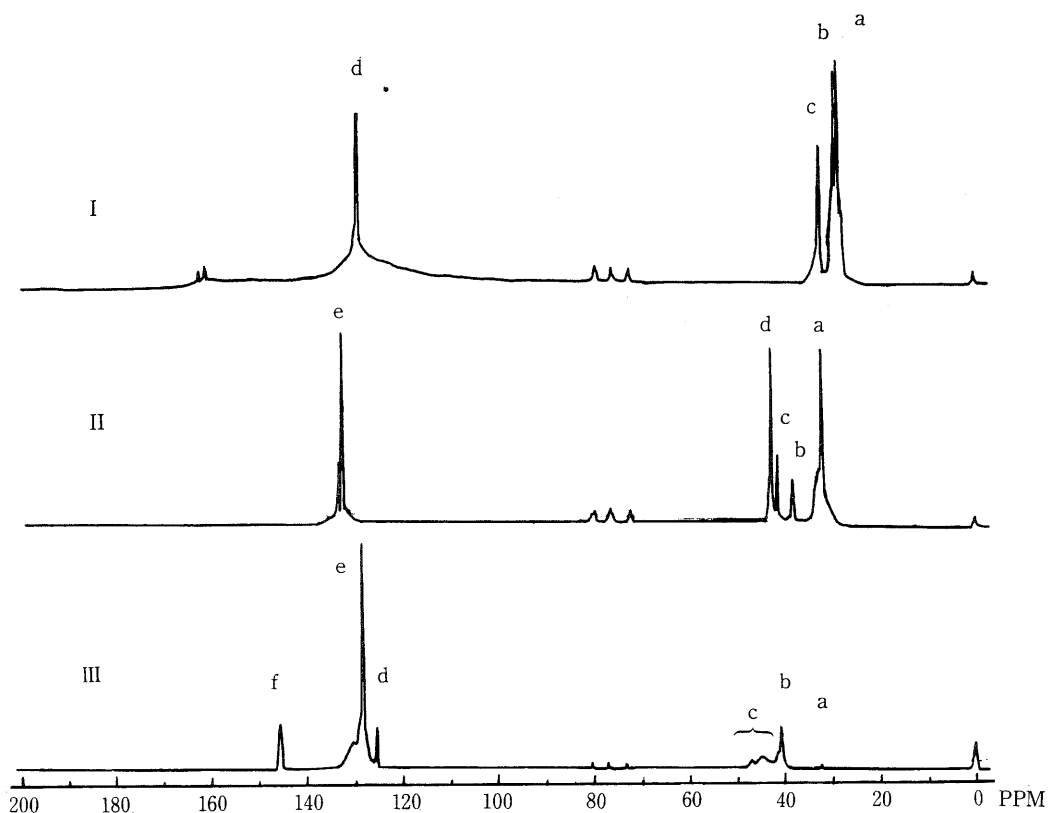
Assignment :

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polyisobutylene [Opanol B-10]	a b c	31.0 PPM (q*) 38.9 (s*) 59.2 (d*)	$\left(\begin{array}{c} \text{a CH}_3 \\ \\ \text{c CH}_2 - \text{C} \\ \\ \text{b CH}_3 \\ \text{a CH}_3 \end{array} \right)_n$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2
II Poly-1,4-cis-butadiene	a b c	26.9 32.5 { 129.3 (d*) 129.5 (d*)	$\left(\begin{array}{c} \text{a CH}_2 \\ \\ \text{CH} = \text{CH} \\ \quad \\ \text{c} \quad \text{c} \end{array} \right)_n$ b : $=\text{CH}-\text{CH}_2-$ in trans structure	① CDCl_3 ② 7300 ③ 1
III Poly-cis-isoprene [Cariflex IR 309]	a b c d e	23.4 26.5 32.4 125.2 (d*) 135.1 (s*)	$\left(\begin{array}{c} \text{c CH}_2 \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} = \text{C} - \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{a} \quad \text{H} \end{array} \right)_n$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2

* Results of off-resonance spectra

s : Singlet d : Doublet q : Quartet

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

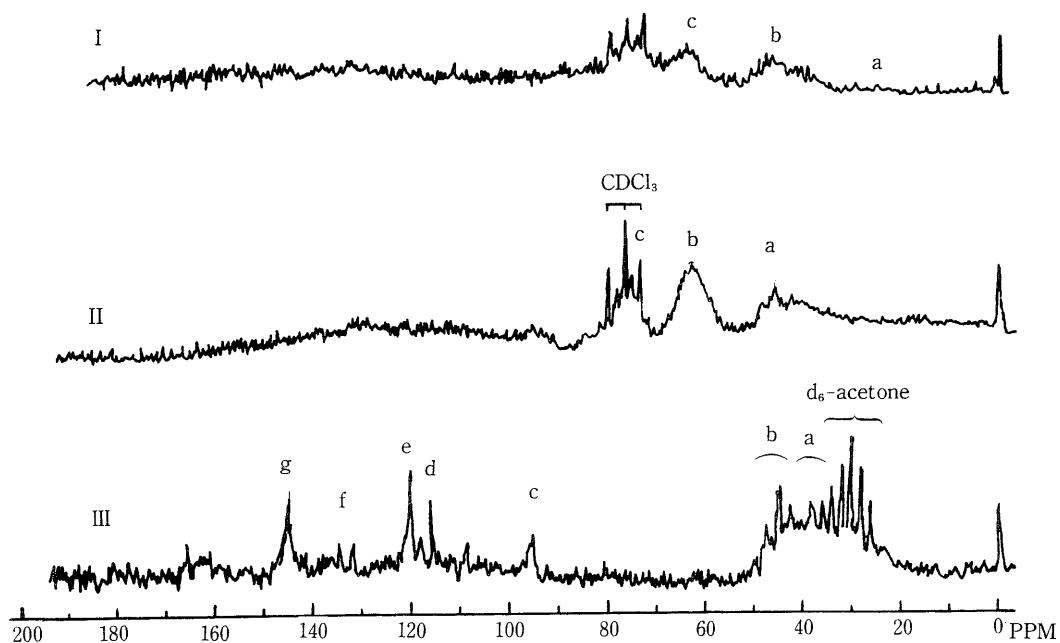
Fig. 3 $C-13$ NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurment condition
I Polyoctenyene (Vestnamer 8012)	a b c	28.7 PPM 32.3 129.6	$\left(\begin{array}{ccccc} c & d & b & a & b \\ CH=CH-CH_2-(CH_2)_4-CH_2 \end{array} \right)_n$	① $CDCl_3$ ② 11200 ③ 4
II Polynorbornene (Norsorex N)	a b c d e	32.3 39.3 41.4 43.0 133.1	$\left(\begin{array}{c} e \quad e \\ CH_2=CH_2 \\ \text{Cyclopentane ring} \\ d \quad a \quad a \quad d \end{array} \right)_n$	① $CDCl_3$ ② 16400 ③ 1 ④ 10W/V%
III High impact polystyrene	a b c d e f	32.5 40.8 $\begin{cases} 44.1 \\ 46.0 \end{cases}$ 125.7 128.2 145.7	a : $=CH-CH_2$ in butadiene group $\left(\begin{array}{c} b \\ CH_2-CH \\ \text{Phenyl ring} \\ f \quad d \end{array} \right)_n$	① $CDCl_3$ ② 15000 ③ 2

s : Singlet d : Doublet q : Quartet

① : solvent ② : Number of transients ③ : pulse interval ④ : concentration

Fig. 4 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurment condition
I Chlorinated polypropylene	a b c	~25 PPM ~47 ~62		① CDCl_3 ② 11600 ③ 2
II Chlorinated rubber (Alloprene R-10)	a b c	~45 ~63 ~75		① CDCl_3 ② 29100 ③ 2
III Vinylidene fluoride —hexafluoro— propylene copolymer (Fluorel FC-2170)	a b c d e f g	$\begin{cases} 35.4 \\ 38.1 \end{cases}$ $\begin{cases} 44.2 \\ 46.8 \end{cases}$ 95.5 75.7 120.2 132.5 134.4 145.0	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{F}}{\overset{\text{F}}{\text{C}}} \right)_m - \left(\text{CH}_2 - \underset{\text{CF}_3}{\overset{\text{F}}{\text{C}}} \right)_n$	① $(\text{CD}_3)_2\text{CO}$ ② 17700 ③ 1

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

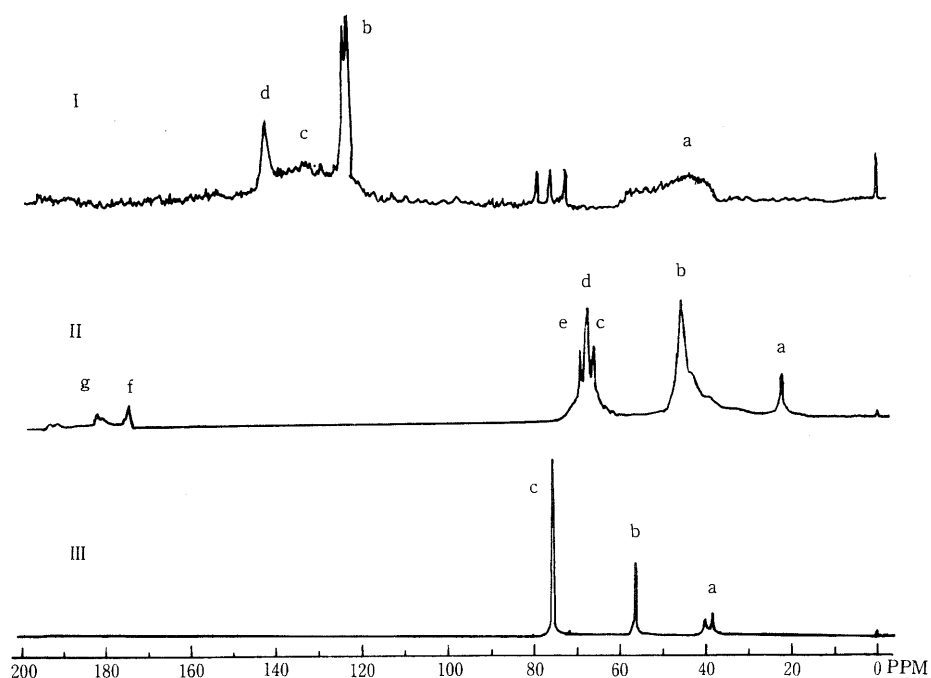
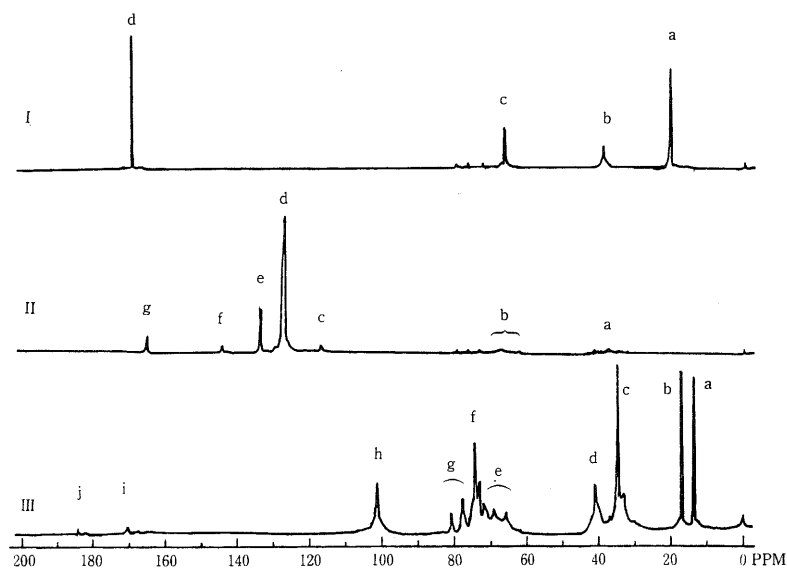


Fig. 5 C-13 NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurment condition
I Brominated polystyrene (Pyro-Chek 68 PB)	a b c d	~40 PPM 122.9 132.5 142.0	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{C}_6\text{H}_4\text{Br}_m}{\text{CH}} \right)_n$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 4
II Polyvinyl alcohol	a b c d e f g	22.2 45.6 65.9 67.4 68.2 174.4 181.0	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} \right)_m$ residual group : $\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{OCOCH}_3}{\text{CH}} \right)_n$	① D_2O ② 23800 ③ 1
III Polyvinyl methyl ether	a b c	$\begin{cases} 38.4 \\ 40.4 \end{cases}$ 56.4 75.8	$\left(\text{CH}_2 - \underset{\text{OCH}_3}{\text{CH}} \right)_n$	① CDCl_3 ② 7000 ③ 1

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

Fig. 6 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurment condition
I Polyvinyl acetate	a b c d	21.0 PPM 39.3 67.1 170.0	$\left[\begin{array}{c} \text{b} \quad \text{c} \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{O} - \text{CO} \quad \text{CH}_3 \\ \text{d} \quad \text{a} \end{array} \right]_n$	① CDCl_3 ② 16000 ③ 1
II Polyvinyl cinnamate	a b c d e f g h	~38 63~68 117.9 127.8 128.4 129.8 134.1 145.0 165.8	$\left[\begin{array}{c} \text{a} \quad \text{b} \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{O} \\ \\ \text{h} \quad \text{CO} \\ \\ \text{c} \quad \text{CH} \\ \\ \text{g} \quad \text{CH} \\ \\ \text{f} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \\ \text{e} \end{array} \right]_n \quad \text{d}$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2
III Polyvinyl butyral	a b c d e f g h i j	13.2 16.9 36.8 42.9 61~68 73.8 77~80.4 101.5 170.5 184.1	$\left[\begin{array}{c} \text{c} \quad \text{e, f} \quad \text{c} \quad \text{e, f} \\ \text{CH}_2\text{CH} \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH} \\ \quad \quad \\ \text{O} \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{h} \quad \text{CH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{a} \quad \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \end{array} \right]_m$ residual $\left[\begin{array}{c} \text{d} \quad \text{e} \\ \text{CH}_2 - \text{CH} \\ \\ \text{b} \quad \text{OCOCH}_3 \\ \text{i} \end{array} \right]_n$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

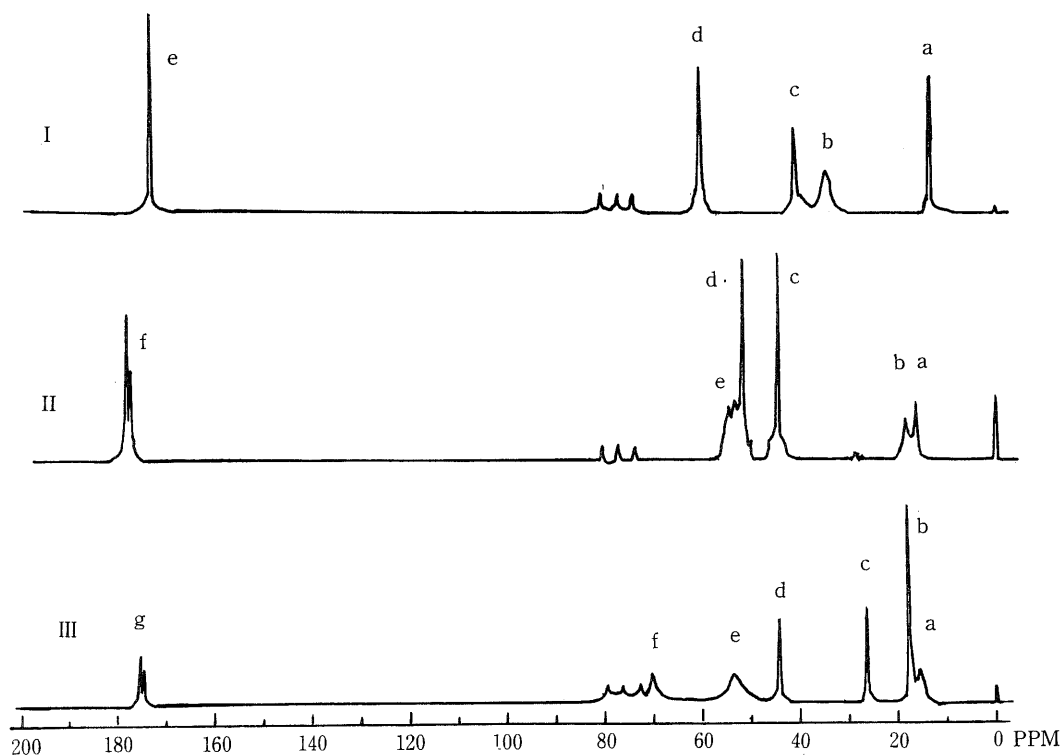
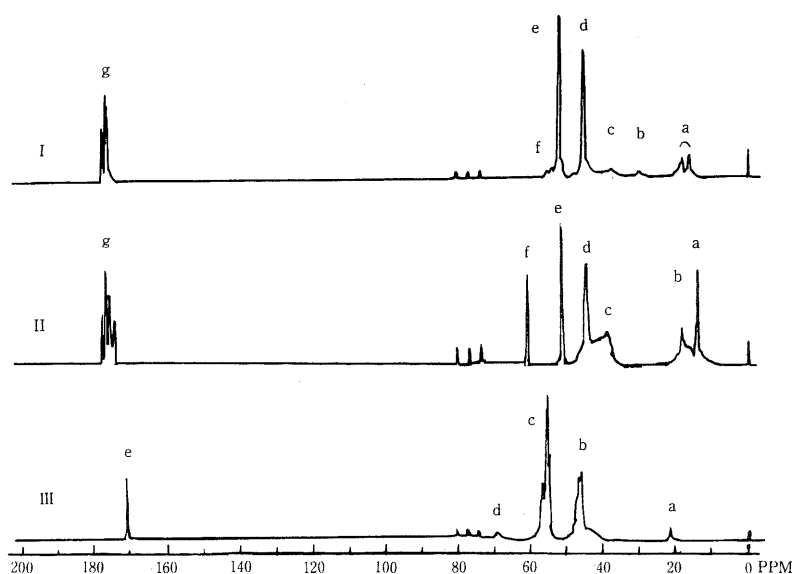


Fig. 7 C-13 NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polyethyl acrylate	a b c d e	13.7 PPM 34.5 41.3 60.3 172.7	$\left(\begin{array}{c} \text{b} \quad \text{c} \\ \text{---CH}_2\text{---CH---} \\ \quad \quad \text{e} \quad \text{CO} \\ \quad \quad \quad \text{O} \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \text{d} \quad \quad \text{a} \end{array} \right)_n$	① CDCl ₃ ② 15000 ③ 4
II Polymethyl methacrylate	a b c d e f	16.7 19.1 44.7 51.6 54.6 { 176.6 177.6	$\left(\begin{array}{c} \quad \quad \text{a, b} \\ \quad \quad \text{CH}_3 \\ \text{e} \quad \text{c} \quad \\ \text{---CH}_2\text{---C---} \\ \quad \quad \\ \quad \quad \text{C} \quad \text{OO} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \quad \quad \text{f} \quad \quad \text{d} \end{array} \right)_n$	① CDCl ₃ ② 65000 ③ 1
III Poly-iso-butyl methacrylate	a b c d e f g	16.3 18.6 26.8 44.4 54.2 70.6 { 174.5 175.5	$\left(\begin{array}{c} \quad \quad \text{a} \\ \quad \quad \text{CH}_3 \\ \text{e} \quad \text{d} \quad \\ \text{---CH}_2\text{---C---} \\ \quad \quad \text{g} \quad \text{CO} \\ \quad \quad \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{CH}_2 \quad \text{CH}(\text{CH}_3)_2 \\ \quad \quad \quad \text{f} \quad \quad \text{c} \quad \quad \text{b} \end{array} \right)_n$	① CDCl ₃ ② 6400 ③ 2

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

Fig. 8 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Methylmethacrylate-methylacrylate copolymer*	a b c d e f g	$\begin{cases} 116.7 \\ 19.1 \\ 29.7 \\ 37.0 \\ 44.9 \\ 51.7 \\ 53.3 \end{cases}$ PPM $\begin{cases} 176.3 \\ 177.3 \end{cases}$	$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{a CH}_3 \\ \text{f} \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{---} \\ \\ \text{d} \\ \text{COOCH}_3 \\ \text{g} \quad \text{e} \end{array} \quad \text{m} \\ \text{---} \left(\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{---} \right) \text{---} \\ \\ \text{COOCH}_3 \\ \text{g} \quad \text{e} \end{array} \quad \text{m}$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2
II Polymethyl ethyl methacrylate (Palaloid B-82)	a b c d e f g	$\begin{cases} 13.6 \\ 18.6 \\ 38.7 \\ 44.4 \\ 51.6 \\ 60.5 \end{cases}$ 175~180	$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{b CH}_3 \\ \text{d} \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{---} \\ \\ \text{COOCH}_3 \\ \text{g} \quad \text{e} \end{array} \quad \text{m} \\ \text{---} \left(\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{---} \right) \text{---} \\ \\ \text{CO CH}_2 \text{ CH}_3 \\ \text{g} \quad \text{f} \quad \text{a} \end{array} \quad \text{n}$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2
III Vinyl chloride-vinyl acetate(86:14) copolymer [VYHD]	a b c d e	$\begin{cases} 21.0 \\ 46.3 \\ 47.0 \\ 55.9 \\ 68.9 \\ 170.5 \end{cases}$	$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \text{b CH}_3 \\ \text{d} \\ \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{---} \\ \\ \text{Cl} \end{array} \quad \text{m} \\ \text{---} \left(\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{---} \right) \text{---} \\ \\ \text{O CO CH}_3 \\ \text{e} \quad \text{a} \end{array} \quad \text{n}$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2

* Methyl acrylate 20%

①: Solvent ②: Number of transients ③: Pulse interval

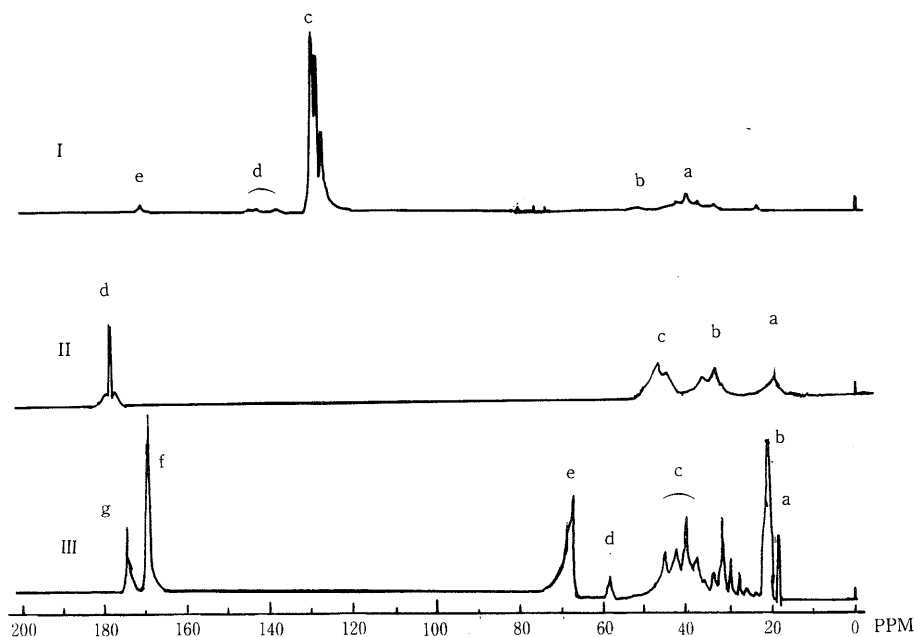
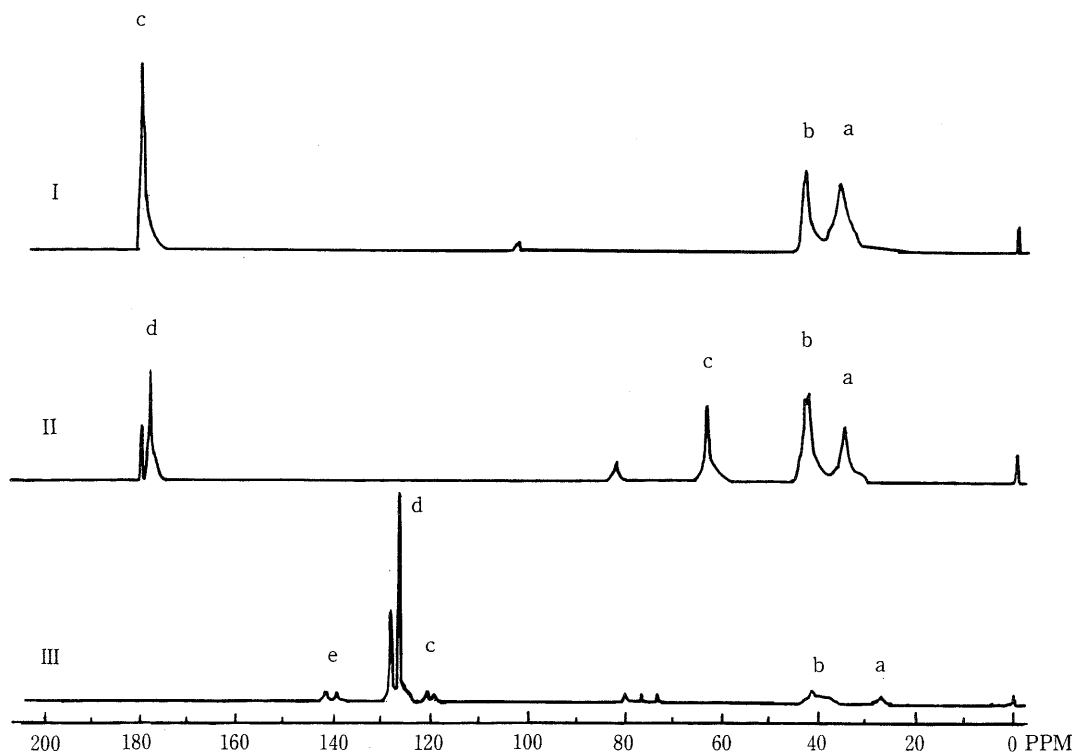


Fig. 9 C-13 NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Styrene-maleic anhydride copolymer	a b c d e	40.2 PPM { 42.8 50.9 126.1 127.1 129.8 135~145 170.8	$\left[\begin{array}{c} \text{b} \quad \text{a} \\ \quad \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{d} \quad \text{c} \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{a} \quad \text{a} \\ \quad \\ -\text{CH}-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{e} \quad \text{e} \end{array} \right]_n$	① CDCl ₃ ② 9000 ③ 2
II Poly vinyl pyrrolidone	a b c d	19.1 33.2 { 44.1 46.1 178.0	$\left[\begin{array}{c} \text{b} \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{c} \quad \text{d} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CO} \\ \quad \\ \text{a} \quad \text{CH}_2-\text{CH}_2 \quad \text{c} \end{array} \right]_n$	① D ₂ O ② 12500 ③ 2
III Vinyl acetate- vinyl pyrrolidone (7:3) copolymer	a b c d e f g	18.9 21.0 { 37.4 39.7 42.2 44.9 57.3 67.6 169.9 174.4	$\left[\begin{array}{c} \text{c} \quad \text{d} \\ \quad \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{c} \quad \text{g} \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CO} \\ \quad \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \quad \text{a} \quad \text{c} \end{array} \right]_m \left[\begin{array}{c} \text{c} \quad \text{h} \\ \quad \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \quad \\ \text{f} \quad \text{CO} \\ \quad \\ \text{b} \quad \text{CH}_3 \quad \text{n} \end{array} \right]_n$	① (CD ₃) ₂ CD ② 13000 ③ 2

: ① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

Fig. 10 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polyacrylamide	a b c	36.0 PPM 43.4 180.2	$\left(\begin{array}{cc} \text{a} & \text{b} \\ \text{CH}_2 & -\text{CH}- \\ & \\ & \text{CONH}_2 \\ & \text{c} \end{array} \right)_n$	① D_2O ② 25900 ③ 2
II Polyacrylamide methylol	a b c d	35.4 42.8 63.4 $\begin{cases} 177.8 \\ 179.9 \end{cases}$	$\left(\begin{array}{cc} \text{a} & \text{b} \\ \text{CH}_2 & -\text{CH}- \\ & \\ & \text{CONH CH}_2\text{OH} \\ & \text{d} \quad \text{c} \end{array} \right)_n$	① D_2O ② 58300 ③ 10W/V%
III Styrene-acrylo- nitril copolymer	a b c d e	26.8 $\begin{cases} 37.4 \\ 41.2 \end{cases}$ $\begin{cases} 119.4 \\ 120.8 \end{cases}$ $\begin{cases} 127.0 \\ 128.7 \end{cases}$ $\begin{cases} 139.8 \\ 141.7 \end{cases}$	$\left(\begin{array}{cc} \text{b} & \text{b} \\ \text{CH}_2 & -\text{C}-\text{CH}- \\ & \\ & \text{d} \left\{ \text{C}_6\text{H}_5 \right\} \text{e} \end{array} \right)_m \left(\begin{array}{cc} \text{b} & \text{a} \\ \text{CH}_2 & -\text{CH}- \\ & \\ & \text{CN} \\ & \text{e} \end{array} \right)_n$	① CDCl_3 ② 10000 ③ 2

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

3・2 縮合系及び重付加系高分子の¹³C-NMRスペクトル

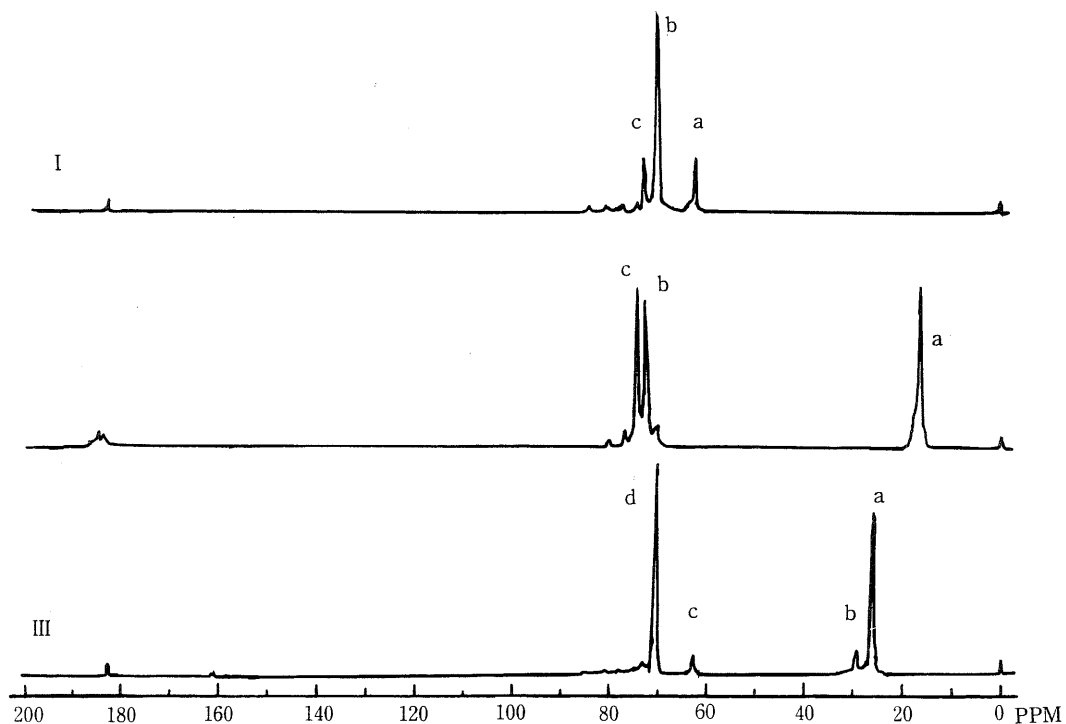
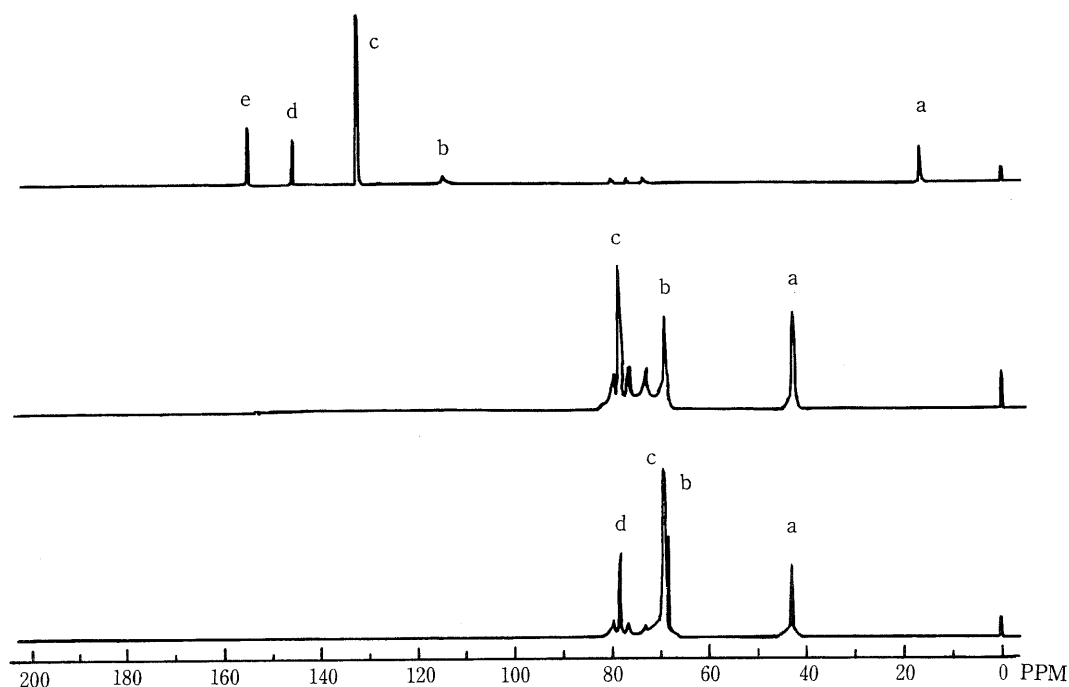


Fig. 11 C-13 NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polyethylene glycol 300	a b c	61.3 PPM 70.3 72.6	$\left(\begin{array}{cc} b & b \\ \text{OCH}_2 & \text{CH}_2 \end{array} \right)_n \text{OCH}_2 \text{CH}_2 \text{OH}$ c a	① CDCl ₃ ② 1100 ③ 1
II Polypropylene glycol (Av. M. W. 2000)	a b c	17.2 73.3 75.2	$\begin{array}{c} b, c \quad \text{H} \quad b, c \\ \left(\text{CH}_2 - \text{C} - \text{O} \right)_n \\ \\ \text{CH}_3 \\ a \end{array}$	① CDCl ₃ ② 14700 ③ 1
III Polybutylene glycol [Polymeg 650]	a b c d	25.6 28.6 61.5 70.2	$\left(\begin{array}{cccc} d & a & a & d \\ \text{CH}_2 & \text{CH}_2 & \text{CH}_2 & \text{CH}_2\text{O} \end{array} \right)_n$ H O CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ — c b d	① CDCl ₃ ② 11500 ③ 2

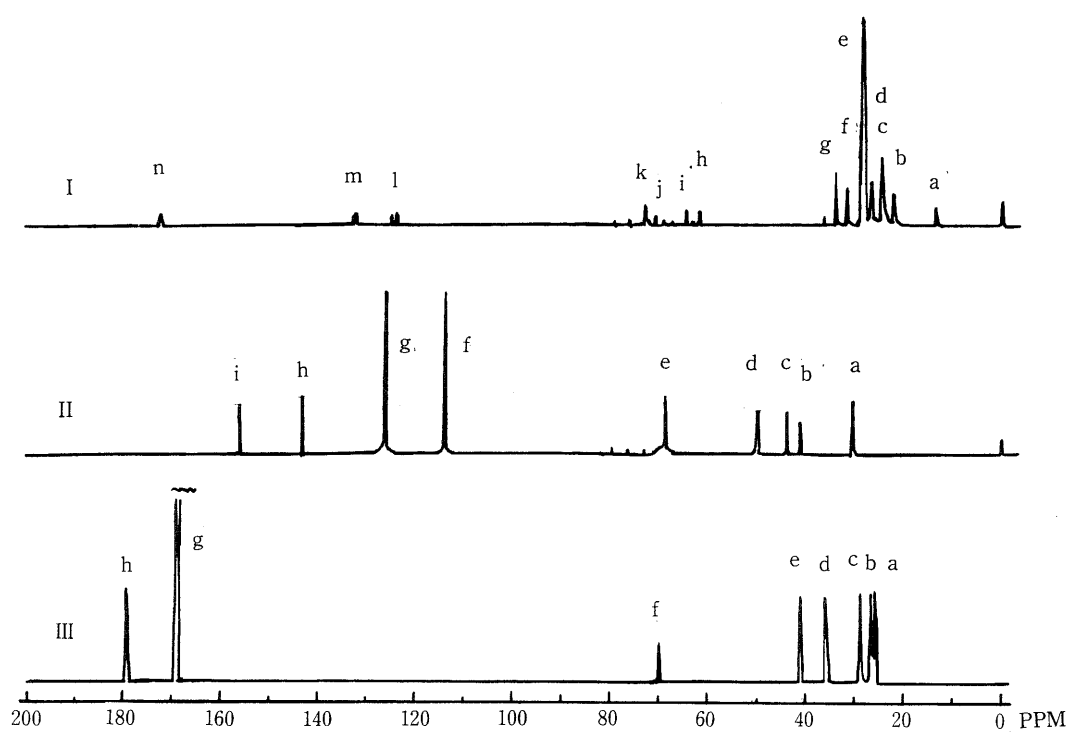
① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

Fig. 12 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polyphenylene oxide	a b c d e	16.9 PPM 114.8 132.8 145.8 155.0	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \text{ b} \\ \\ \text{O}-\text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{CH}_3 \text{ c} \end{array} \right)_n$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2
II Polyepichlorohydrin [Hydrin 100]	a b c	43.2 69.6 79.2	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}-\text{O}- \\ \\ \text{CH}_2\text{Cl} \end{array} \right)_n$	① CDCl_3 ② 16400 ③ 2
III Epichlorohydrin- ethylene oxide copolymer [Hydrin 200]	a b c d	43.6 69.6 70.4 78.9	$\left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CHO} \\ \\ \text{CH}_2\text{Cl} \end{array} \right)_m \left(\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH}_2\text{O} \end{array} \right)_n$	① CDCl_3 ② 10700 ③ 2

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval

Fig. 13 ^{13}C -NMR spectra of sample I, II and III

Assignment

Sample	Signal	Chemical shift	Assignment	Measurement condition
I Polyester produced from azelaic acid and glycerin; oil modified (Paraplex RGA-8)	a b c d e f g h i j k l m n	13.8 PPM 22.6 24.8 26.9 28.8 31.9 34.2 61.9 65.1 71.4 73.5 { 124.0 125.0 132.2 132.7 172.5		① CDCl_3 ② 10400 ③ 2
II Epoxy resin (Bisphenol A type) (Epicot 834)	a b c d e f g h i	30.7 41.3 44.0 49.8 68.9 114.0 127.4 143.2 156.1		① CDCl_3 ② 4096 ③ 1
III Nylon-6, 6	a b c d e f g h	25.2 26.1 29.0 35.6 40.3 69.7 168.6 179.3	f : dioxane as reference	① HCOOH ② 16400 ③ 2 ④ 20W/V%

① : Solvent ② : Number of transients ③ : Pulse interval ④ : Concentration

文 献

- 1) G. C. Levy, G. L. Nelson ; 田中誠之ら訳 : " 有機化学者のための炭素-13 核磁気共鳴 ", 東京化学同人 (1973)
- 2) J. B. Stothers ; 伊東徹ら訳 : " C-13NMR スペクトル理論と応用 ", 482, 広川書店 (1972)
- 3) 田中康之, 佐藤寿弥, ゴム協会誌, **50**(3), 182, (1977)
- 4) K. J. Ivin : J. Poly. Sci., Poly. Symposium, **62**, 89, (1978)
- 5) 斎藤純, 田中誠之 : " 高分子の NMR II " 91, 化学同人