

HTPB 推進薬の研究

福間 大蔵*, 鈴木 茂*, 城田 賢正*

原田 都弘**, 清水 治昭***

コンポジット系推進薬用バインダーとして優れた特性を有していることから、近年実用化研究が活発に行われている末端水酸基ポリブタジエンポリマー（以下HTPBと略称）をイオン重合合法で合成し、ポリマーの物理化学特性を調査するとともに、バインダーとしての利用技術開発研究を行った。

イオン重合型 HTPB は、ラジカル重合型 HTPB と比較すると分子量分布がシャープになり、粘度も低い。ミクロ構造的には 1,2 ビニル型 2 重結合が多くなるが耐老化性は良好である。

バインダー用としては、分子量 2500~3500 で、末端水酸基の級数は 1 級のものが最適であり、トリオールを架橋剤にし、ジイソシアネートで硬化することにより優れた物性を有するバインダーになる。

本 HTPB を用いることにより、従来のポリブタジエンポリマーでは製造不可能であった低バインダー量高性能推進薬が製造できた。この推進薬の製造作業性、物性および燃焼特性からみて、本 HTPB が実用可能と判断された。

1. 緒言

コンポジット系固体推進薬の性能は、その燃料兼粘結剤（以下バインダーと略）の種類で左右され、ポリサルファイド、ポリウレタン、ポリブタジエンと進歩し、末端カルボキシル基ポリブタジエンポリマー Carboxyl Terminated Polybutadiene (以下CTPBと略) をバインダーとするポリブタジエン系推進薬が現在もっとも多く使用されている。

ポリブタジエン系推進薬の比推力は、理論的には、推進薬中のバインダーの量が 9%~11% の点で最高になるが、CTPB では、ポリマーの粘度が高いことと、物性上の制約から、12%~14% が限度である。

この CTPB と同等の燃料価を有しかつ CTPB より製造性、物性等が向上できるポリブタジエンポリマーとして近年実用化研究が盛んになってきたのが末端水酸基ポリブタジエンポリマー Hydroxyl Terminated Polybutadiene (以下 HTPB と略) である¹⁻³⁾。

米国等では、HTPB 系推進薬はすでに実用化されており⁴⁾、推進薬そのものや、この推進薬を用いたロケットの研究報告が数多く発表され、新しく開発されるロケットには、殆んど全て HTPB 系推進薬が適用

されているようである。

これらの推進薬に使用されている HTPB は、米国 ARCO 社製の R-45 系ポリマーであり、過酸化物を反応開始剤として用いるラジカル重合で合成され CTPB に比べると種々の優れた特性を有しているものの、入手性に問題がある他、合成時に官能度数(f)や f の分布をコントロールできず、ポリマーの製造ロットにより硬化したバインダーの物性一ひいては推進薬の物性一がばらつく可能性がある。

筆者らは、以前 CTPB の国産化研究においてイオン重合でポリマーを合成し、この問題を解決した⁵⁾が、今回 HTPB についても、同様の主旨でイオン重合合法により HTPB を合成、これを用いた高性能固体推進薬の研究を行なったので、その結果を報告する。

2. イオン重合 HTPB の開発

2.1 HTPB の合成およびイオン重合 HTPB の特性

ポリマーを合成する場合、合成条件および官能基の付加方法により分子量や官能基の級数が変化する。本研究では分子量と官能基の級数を変化させた 5 種類のポリマーを合成し、ポリマーの粘度、2 官能性のイソシアネート（ジイソシアネート）との反応性などから最適ポリマーを選定した。

イオン重合合法による HTPB の合成フローを第 1 図

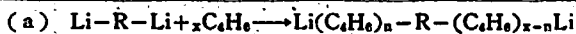
昭和55年5月1日 受理

*日産自動車株式会社航空事業部 埼玉県川越市橋

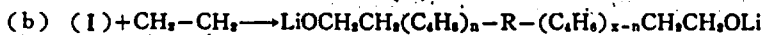
**日本合成ゴム株式会社研究所 神奈川県川崎市生田

***日本油国油株式会社 愛知県知多郡武豊町

Fig. 1 Reaction of JSR-HTPB Polymerization



(I)



(II)

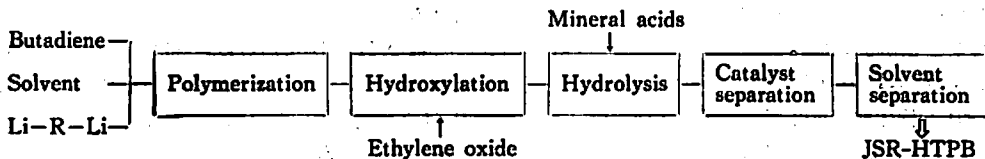


Table 1 Physical and Chemical properties of JSR-HTPB and R-45M

Item	LP-R-3	LP-R-4	LP-R-6	LP-263	LP-264	R-45M
Polymerization Method	Anionic	Anionic	Anionic	Anionic	Anionic	Free Radical
Hydroxyl Group	Primary	Primary	Primary	Secondary	Tertiary	Primary
Average Mole. Wt. ¹⁾	1970	3160	4690	2780	2800	3000
Functionality ²⁾	1.91	1.94	2.02	1.97	2.06	2.2~2.5
Viscosity ³⁾ (at 25°C) poise	24.2	55.0	89.3	59.8	58.4	61.0
(at 60°C) poise	3.6	8.0	14.3	8.3	8.3	—
Micro Structure ⁴⁾ , Cis %	20	21	20	17	17	19
" Trans %	30	31	34	28	28	58
" Vinyl %	50	48	46	55	55	23

1) Vapor Pressure Osmometer による数平均分子量 ($\bar{M}_n$)

2) ポリマー末端水酸基をトリメチルシリル化して、¹H-NMR で水酸基数量を求め、これと $\bar{M}_n$ より算出

3) BM 型粘度計で測定

4) IR 法で測定

に示す。本法では、反応触媒にリチウム触媒を用い、水酸基化の反応に用いる水酸基化剤の種類で水酸基の級数をコントロールした。

即ち第1図は、水酸基化剤にエチレンオキシドを用いた1級の水酸基 HTPB の合成フローチャートであるが、エチレンオキシドのかわりにプロピレンオキシドやベンツアルデヒドで処理すれば2級に、アセトンで処理すれば3級の水酸基をもった HTPB となる。

本研究では、分子量の異なる3種類の1級 HTPB の他に、上記の方法で2級及び3級の HTPB も合成し、それぞれ評価した。

第1表は、分子量、級数を変化させ合成した5種類のイオン重合型 HTPB と ARCO 社のラジカル重合型 HTPB である R-45M の特性を示したものである。

R-45M に比べイオン重合型 HTPB は、官能度が2に近いこととマイクロ構造において、ビニル型2重結合が多い点が特徴的である。(以下、イオン重合型 HTPB を JSR-HTPB と総称する)

第2図は、LP-R-3 と R-45M の分子量分布を GPC

で比較した結果である。平均分子量のピークの位置が両者で多少異なるが、LP-R-3 の方が R-45M より分

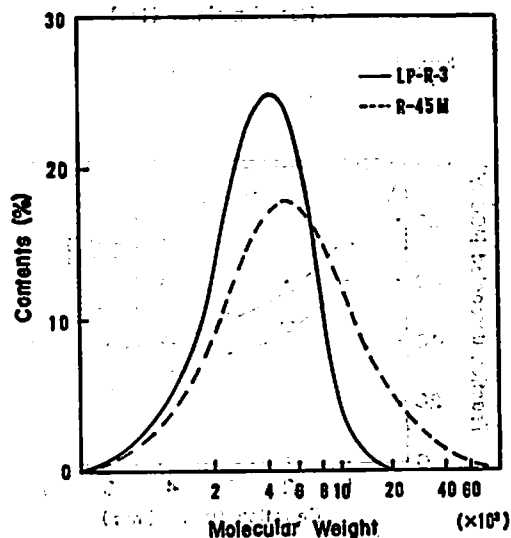


Fig. 2 Molecular Weight Distributions Determined by GPC.

布はシャープである。一方マイクロ構造に関し JSR-HTPB はビニル型2重結合が多いにも拘らず全体的に粘度が低いのはこの分布の差と考えられる。

一方今回の5種類の JSR-HTPB の合成結果からみて、ポリマーの分子量や、水酸基の級数を自由にコントロールできることが確認されると同時に、官能基数の値からみて、水酸基がブタジエンの両末端に付加されたことも確認できた。

2.2 JSR-HTPB の反応性

HTPB を固体推進薬用 バインダーとして用いる場合、硬化剤として通常2官能性のイソシアネート類を用いることから、代表的なジイソシアネートであるトリレンジイソシアネート (TDI) およびイソフロンジイソシアネート (IPDI) とポリマーの反応性を測定した。

3種類の1級 HTPB のうち分子量のもっとも大きな LP-R-6 は、ポリマーの粘度が高く予備試験でバインダー量11%の推進薬にした時、スラリー粘度が高くなったことから LP-R-3 と4のみを試験した。

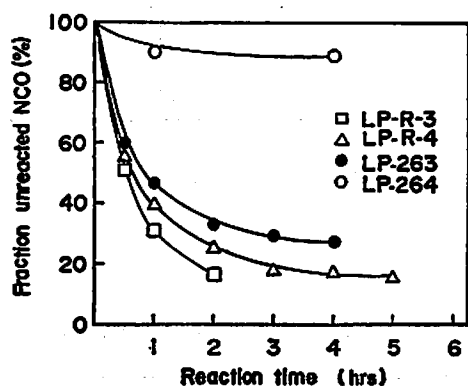


Fig. 3 Reaction profile of JSR-HTPB with TDI at 60°C.

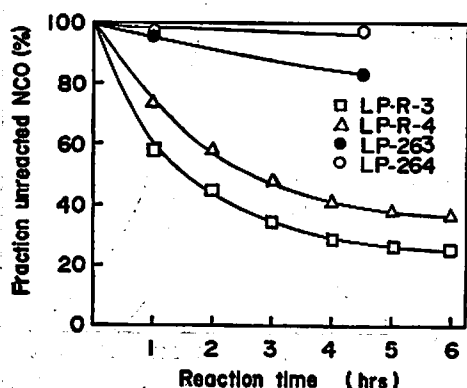


Fig. 4 Reaction profile of JSR-HTPB with IPDI at 60°C.

第3図は、TDI とポリマーの、第4図は、IPDI とポリマーの当量混合物の60°Cにおける反応性を未反応のイソシアネート (-NCO) 基量を分析することにより求めたものである。

TDI の方が IPDI より、HTPB との反応性が高く、バインダーに用いた場合推進薬のポットライフが短くなることが予想される。

2級の HTPB である LP-263 のジイソシアネートとの反応性は、TDI とでは1級の LP-R-3 や LP-R-4 と比較的近いが IPDI とでは、大きく異なっており、殆んど反応していない。

3級の LP-264 は、反応性の高い TDI と組み合わせても反応速度が遅く何らかの触媒の添加を必要とする。

一方、LP-R-3 と LP-R-4 の反応性を比較した場合、反応性はよく似ているが分子量の差だけ LP-R-4 が低くなっていると言える。

推進薬のポットライフを考慮した場合、反応性の低い LP-R-4 の方が有利になると判断される。

2.3 ポリマーの量産化

前項でのポリマーとジイソシアネートとの反応性およびポリマー単体及び推進薬スラリーの粘度の評価結果から5種類の HTPB の中から LP-R-4 を選定し、これの量産化を進めた。

重合反応において、ポリマーのマイクロ構造、分子量及び官能度が合成のロットにより変化する可能性があるため、量産化に際し、これらのパラメーターを変化させたポリマーを第2表に示す10種類合成し、それぞれのパラメーターの許容度を推進薬の硬化特性で検討した。

この結果、官能度が1.63である LP-265-3 以外は実用上問題でなく、官能度数さえ確保すればマイクロ構造や分子量が多少変化しても、LP-R-4 と同等の特性を有していることが判った。

またこれらのポリマーを用いた推進薬の物性を比較した結果 LP-265-2 を用いたものが、LP-R-4 を用いた推進薬より良い値を示したので、量産品は LP-265-2 相当のものとし、LP-R-4 より分子量の小さいものを標準にした。

第3表は、実際の生産プラントを使用して製造した HTPB の特性値を標準の LP-265-2 と比較したものである。3ロットとも各特性値は、LP-265-2 と殆んど同等であり、プラントでも再現性よくポリマーが合成できることが確認された。

また、本ポリマーの老化特性を評価するため、100°C でポリマーを加熱、粘度、水酸基当量および分子量の変化を測定した。

Table 2 Physical and Chemical properties of various HTPB used for allowance tests

Item	Sample NO.	Molecular Weight	Functionality	Micro Structure		
				Cis %	Trans %	Vinyl %
Reference	L P-R-4	3160	1.94	21	31	48
1,2 Vinyl Contents	L P-255	3080	1.94	16	26	58
	L P-256	3080	2.04	18	28	54
	L P-260	3100	1.94	17	30	53
Molecular Weight	L P-257	2720	1.91	17	28	55
	L P-258	2310	1.87	16	27	57
	L P-259	2120	1.94	15	21	64
Functionality	L P-265-1	2810	2.13	18	27	55
	L P-265-2	2810	1.94	18	27	55
	L P-265-3	2810	1.63	18	27	55
	L P-262-1	2760	1.77	19	30	51

Table 3 Reproducibility of HTPB in plant

Item	L P-265-2	JSR-HTPB K-31		
		Lot. P-1	Lot. P-2	Lot. P-3
Functionality	1.94	1.92	1.89	1.93
Hydroxyl, Eq/100g	0.0691	0.0695	0.0691	0.0687
Molecular Weight	2810	2750	2730	2810
Micro Structure, Cis (%)	18	18	17	18
" Trans (%)	27	27	28	27
" Vinyl (%)	55	55	55	55
Viscosity (at 25°C), poise	70	65	58	—
" (at 60°C), poise	—	7.5	7.2	7.7
Specific Gravity, 25°C/25°C	—	0.907	0.900	—
Moisture Content, %	—	0.033	0.020	0.008
Glass Transition Temp., °C	—	-74	—	—
Insoluble in CCl ₄ , %	—	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Index of Refraction (25°C)	—	1.512	1.511	1.512
Antioxidant, %	1.0	0.9	0.8	0.8

その結果を第5図に示す。水酸基当量の測定値で、測定の誤差からくると判断されるデータのばらつきが見られるが、液状のゴムの老化条件として100°C 1日は、常温での1年に相当することからみて、本ポリマーの老化特性は優れていると判断された。

3. 推進薬への応用

3.1 架橋剤と硬化剤の選定

JSR-HTPB の官能度数が2であるところから、バインダーとしての3次元網目構造体にするには、適当な3官能性の架橋剤と2官能性の硬化剤と組み合わせるか、あるいは3官能性の硬化剤と組み合わせなければならない。

前述の如く HTPB の硬化剤としては、イソシアネ

ート類が用いられるが、3官能性のイソシアネートの有用なものがないことから、JSR-HTPB/3官能性架橋剤/ジイソシアネートを組み合わせ、バインダーを構成することになる。これらの組み合わせにおける最適点を求めるため、第4表に示す分子量134~3000のトリオールと5種類のジイソシアネートを用い、L P-R-4~ジイソシアネートとトリオール~ジイソシアネートの反応性を調べ、以下に記す定性的な判断で最適な組み合わせを求めた。

① 充分な伸びと、適当な強度を有する3次元ゴム弾性体は、適当な架橋点間分子量 (M_c) でなければならない。

② この状態になるには、バインダーの硬化反応を構

	P-1	P-2	P-3
$\bar{M}_n$	○	△	□
Vcs	⊙	△	□
OHEq	●	▲	■

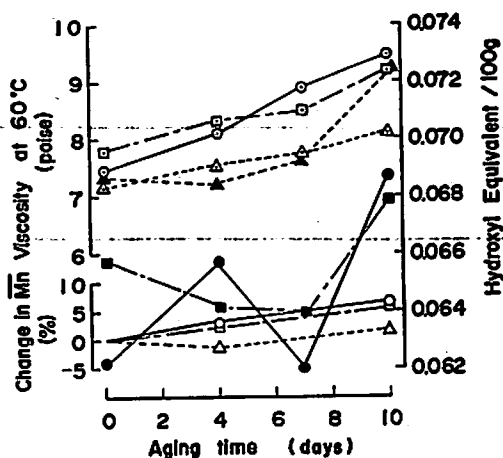


Fig. 5 Aging properties of JSR-HTPB K-31 at 100°C

$\bar{M}_n$: number average molecular weight
Vcs: Viscosity

成する鎖長延長反応と、架橋反応の速度条件として、鎖長延長反応速度が架橋反応速度より早いことが必要である。ただしこの差が大き過ぎると別の問題が発生する。

- ③ 従って、LP-R-4 とジソシアネートとの反応速度が、トリオールとジソシアネートとの反応速度より多少早くなるような、ジソシアネートとトリオールを選定する。

第6図は、LP-R-4 とジソシアネートを60°Cで反応させ、反応時間と残存 NCO 量から両者の反応性を調べた結果である。

IPDI との反応速度がもっとも遅く、TDI と HDI は殆ど同じである。XDI, H₂XDI はともに反応速度が早く、ポットライフの面で実用化は困難であると判断された。また HDI は反応速度が早い他、蒸気圧が高く作業環境上の問題があることから、これも除外し、TDI と IPDI の2種のジソシアネートとトリオー

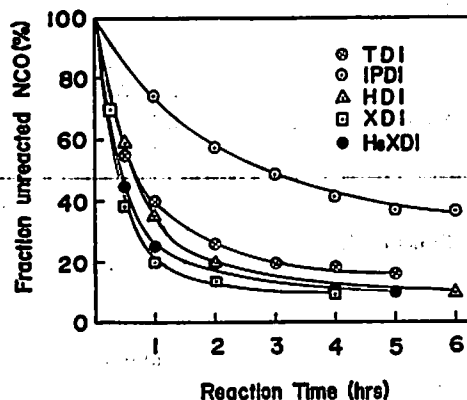


Fig. 6 Reaction profile of tri-diisocyanates with LPR-4 at 60°C.

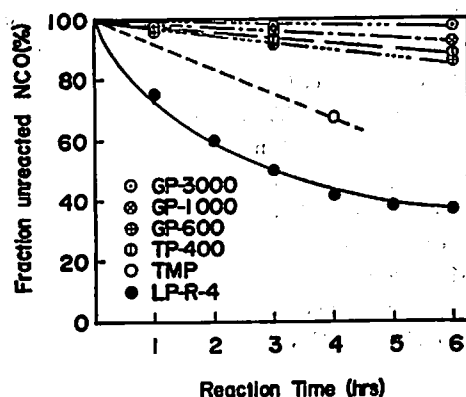


Fig. 7 Reaction profile of trihydric alcohols with IPDI at 60°C.

Table 4 Trihydric alcohols and Diisocyanates

Trihydric alcohols			Diisocyanates	
Coad name	Type	$\bar{M}_n$	Type	M. wt.
TMP	Trimethylol propane	134	Toluylenediisocyanate (TDI) ¹⁾	174
TP-400	TMP based PPG ²⁾	400	Isophorone diisocyanate (IPDI)	222
GP-600	Glycerine based PPG	600	Hexamethylene diisocyanate (HDI)	168
GP-1000	"	1000	Xylylenediisocyanate (XDI)	188
GP-3000	"	3000	Hydrogenation XDI (H ₂ XDI)	194
HF-319	Glycerine based PEG ³⁾	3000		

1) 2,4-TDI/2,6-TDI=80/20

2) Polypropylene Glycol

3) Polyethylene Glycol

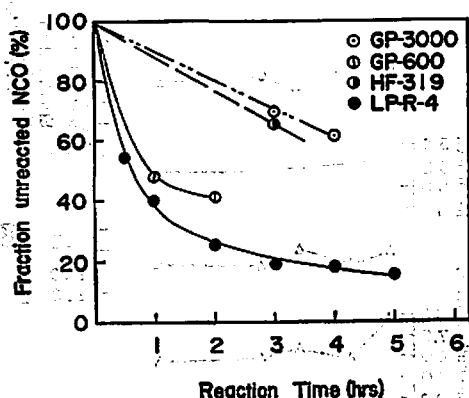


Fig. 8 Reaction profile of trihydric alcohols with TDI at 60°C.

ルとの反応性を調査した。

第7図は IPDI とトリオール、第8図は TDI とトリオールの反応性を図示したものである。

IPDI とトリオールとの反応性は低く、L P-R-4 と IPDI との反応速度より遅いことから、前述の評価基準を一応満たしている。ただし G P-3000 は反応速度が遅すぎることから、バインダーの硬化に長時間を要することが推定される。また TMP の反応性が高すぎるが、常温で固体であるので実用的でない。従って硬化剤に IPDI を用いる場合は、分子量400~1000 のトリオールを架橋剤にすることになる。本研究では以後の試験は G P-600 で行った。

TDI の場合も G P-600 を除き、反応速度の比からみて、G P-3000 や HF-319 との組合わせが可能と推定される。しかし全体的に反応速度が早く、また IPDI に比べて特に利点もないので、硬化剤として最終的に IPDI を選定、反応速度のコントロールは触媒で行なうこととした。

3.2 バインダー配合の設定

JSR・HTPBとして L P-265-2 を用い、これと G P-600、IPDI を組合わせ最適バインダー配合を調査した。

予備試験の結果；

- (1) 鎖長延長剤としてジアミンを添加した方が伸びが大きくなる。
- (2) 強度が強過ぎ、可塑剤等で希釈する必要がある。
- (3) 触媒の添加が必要であり、触媒としては液状の有機金属塩が有効である。

等の知見を得たので、バインダーの構成は下記とし架橋密度とバインダー物性の相関を求め、最適配合を設定することにした。

なお、この場合 R-45M では不可欠な ボンディング剤を添加していないのが特徴である。

主 剤	架橋剤	鎖長延長剤	硬化剤	触媒	その他
HTPB	G P-600	ジアミン	IPDI	有機金属塩	希釈剤・老化防止剤等

第9図は HTPB とジアミンの比率を一定にしておき、G P-600 の添加量を変化させ、理論的に架橋点間の有効鎖平均分子量 ($\bar{M}_c$) を算出、この $\bar{M}_c$ と 60°C で 150 時間加温硬化後、JIS ダンベル 3 号試験片で求めたバインダーの物性の相関を図示したものである。

これで得られたバインダーの物性値を現用の CTPB における値と比較し、HTPB における最適 $\bar{M}_c$ は 8000 前後であると判断した。

次に $\bar{M}_c=7000 \sim 8500$ のバインダー配合で、下記の配合の推進薬を混和し、 $\bar{M}_c$ と推進薬物性の相関を求めた。

- バインダー 11%
- 過塩素酸アンモニウム (400/15 μ の 2 成分系) 73%
- アルミニウム粉 (粒径 7 μ の球状 Al 粉) 16%

推進薬の硬化は 60°C で 150 時間とし、物性は物こん型試験片で測定した。

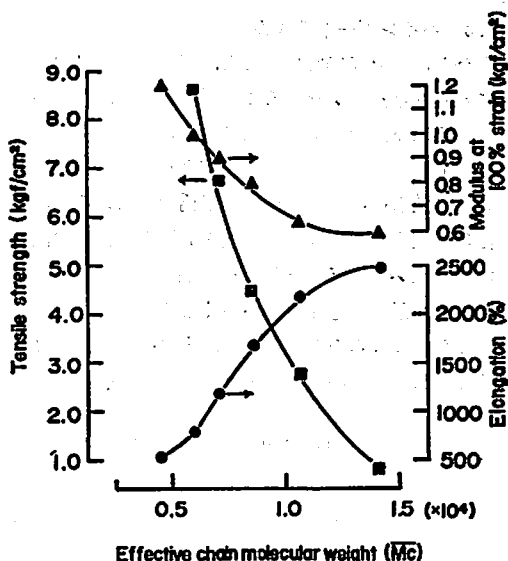


Fig. 9 Correlation of $\bar{M}_c$ to physical properties of JSR-HTPB based binder.

第10図にその結果を示す。

この結果、JSR・HTPB はボンディング剤なしで良好な物性が得られること、 $\bar{M}_c$ としては 8000 前後が最適であることを確認できた。

第11図は、 $\bar{M}_c=7700$ のバインダーを 60°C で 150 時間加温した後、70°C で老化した時の物性の変化を示し

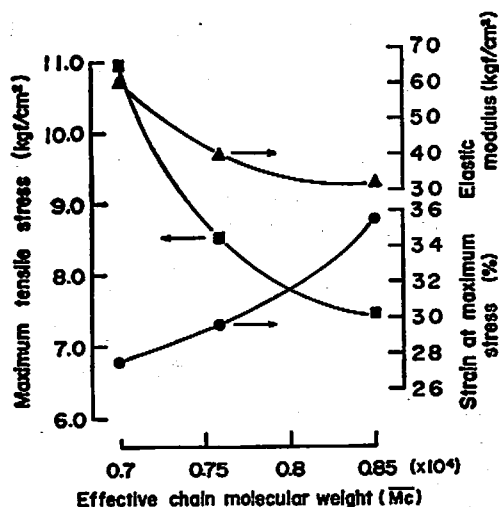


Fig. 10 Correlation of $\bar{M}_c$ to physical properties of JSR-HTPB based propellant.

たものである。

破断応力が初期に多少変化しているが、他の特性値は殆ど変化しておらず、老化性も問題のないことを確認できた。

3.3 バインダー系の改良

架橋剤に G P-600を用いても、バインダー量11%で物性も良好な推進薬を得ることができたが、このバインダー系は下記の3項目の改良の余地がある。

- (1) G P-600を始め、エーテル結合をした末端水酸基をもつ親水性のトリオールを架橋剤に用いると、酸化剤過塩素酸アンモニウム (A P) との極性の関係が原因とみられる推進薬の流動性の低下現象が起り、推進薬の製造作業性が悪くなる。
- (2) また、これらのトリオールはその構造式内に2重結合がないことからエネルギーレベルが低い。同様

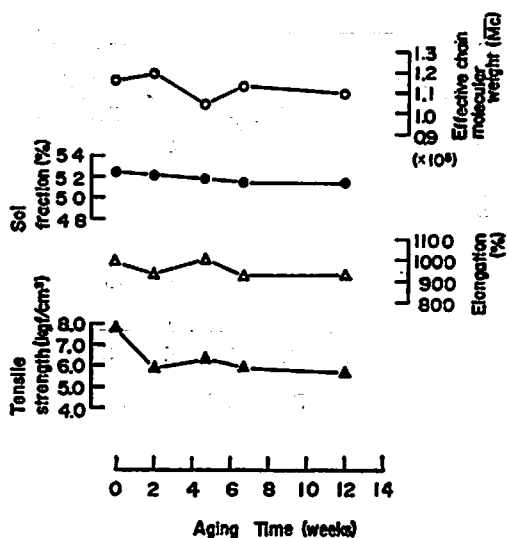


Fig. 11 Aging properties of JSR-HTPB based binder at 70°C.

にジアミンもエネルギー的にはマイナス要因である。

- (3) 希釈剤の1種としての DOA や IDP も同様に、エネルギーロスがある。

以上の問題を解決するため、第5表に示す末端水酸基のポリブタジエン系トリオール (以下 TF・HTPB と略) を開発し、G P-600におきかえ、(1)、(2)の改良を図り、(3)項については無官能性のポリジエンポリマー (以下 NFPB と略) を可塑剤ないし、希釈剤として用いた。

また2種類のうち低粘度型 NFPB のガラス転移点は、第5表に示したように HTPB ポリマーより低いことから、これを添加した推進薬の低温物性が改良できる可能性もある。

Table 5 Physical and Chemical Properties of TF-HTPB and NFPB

Item	TF-HTPB	NFPB	
		High Viscosity Type	Low Viscosity Type
Molecular Weight	4200	2700	1330
Functionality	2.7	0	0
Hydroxyl Value (KOH mg/g)	37	0	0
Glass Transition Temp., °C	—	—	-87
Viscosity (at 25°C), poise	150	35	6.4
" (at 60°C), poise	—	5.5	—
Micro Structure, Cis %	20	18	16
" , Trans %	60	27	25
" , Vinyl %	20	55	59

1) 14パッチの平均値 2) 3パッチの平均値

このTF-HTPBと高粘度型NFPBを用いた推進薬系では、前述のGP-600を架橋剤とした組成物に比べスラリーの流動性が飛躍的に改良されるものの、R-45Mと同じようにボンディング剤を添加する必要があることが判った。

そこで下記のバインダー構成で、TF-HTPBの添加量を変化させ、推進薬の物性の変化を求めた。

推進薬の組成は、前述同様、バインダー/AP/Al=11/73/16としたが、APは新しく日本カーリット㈱と共同で開発した球状のAPを用い、大粒/中粒/細粒=45/30/25の比の成分系とした。

主 剤	架橋剤	硬化剤	希釈剤	ボンディング剤	触媒
Lot. P-2	TF-HTPB	IPDI	NFPB+可塑剤	MAPO	有機金属塩

また NCO/OH の比を 1~1.1 まで変化させた。

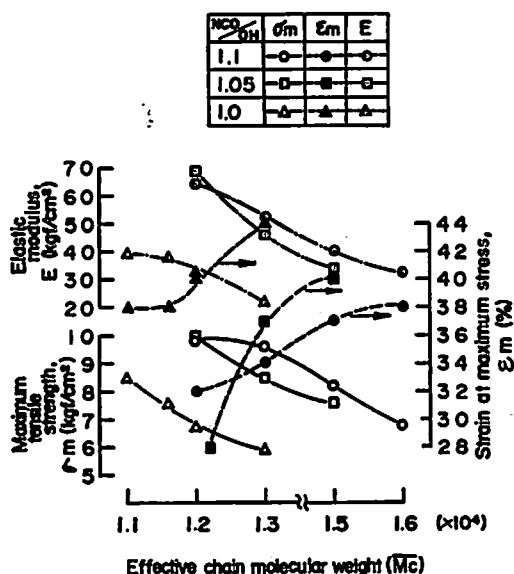


Fig. 12 Correlation of $\bar{M}_c$ to physical properties of JSR-HTPB based propellant.

第12図は $\bar{M}_c$ と推進薬の物性の関係を、第13図は $\bar{M}_c=12800$, NCO/OH=1.05 の組成の推進薬を60℃で老化させた時の物性変化である。

また第14図は、 $\bar{M}_c=11700$, NCO/OH=1.05 の組成の推進薬の物性の温度依存性を調べた結果である。

常温の物性や老化物性、さらにはポットライフ的には問題ない優れた組成物であるが、低温での伸び率が-20℃以下で急激に低下するため、低温物性の改良が必要になった。

このため、前記の配合において、希釈剤を高粘度型NFPB から低粘度型にかえ、更にボンディング剤の

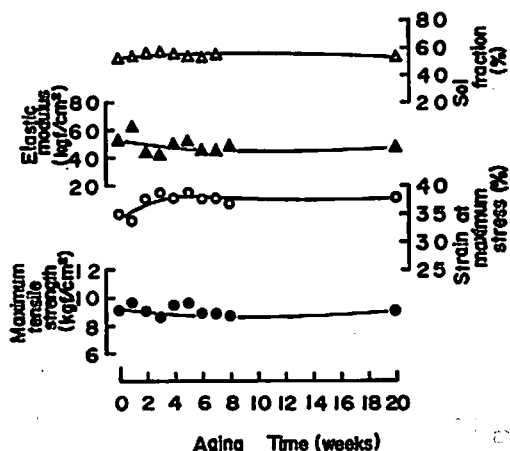


Fig. 13 Aging properties of JSR-HTPB based propellant at 60℃

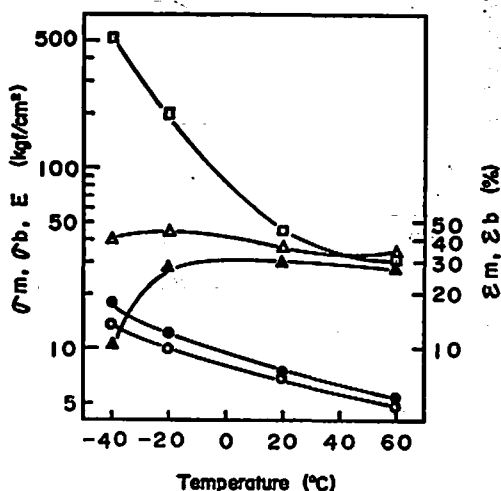


Fig. 14 Temperature dependence of physical properties of JSR-HTPB based propellant.

- σ_m : Maximum tensile strength
- σ_b : Stress at break
- ▲ ϵ_m : Strain at maximum stress
- △ ϵ_b : Strain at break
- E : Elastic modulus

量を増量することにより、低温物性の改良を図った。第13図に示した $\bar{M}_c=11700$ の組成物を改良した結果、第6表の特性を得、低温物性が改良でき、スラリー粘度及びポットライフも問題ないことを確認した。

4. HTPB 系推進薬の燃焼性

酸化剤の粒度比を変えた3種類の、バインダー/AP/Al=11/73/16組成のHTPB推進薬を小型モータで燃焼させ、燃焼の安定性を調べた。

その結果を第15図に示す。

Table 6 Processibility and Physical properties of JSR-HTPB based propellant

Viscosity of propellant slurry at EOM ¹⁾ (poise at 60°C)	Potlife ²⁾ (hrs)	Physical properties of propellant			
		Temperature (°C)	Maximum tensile strength (kgf/cm ²)	Strain at maximum stress (%)	Elastic modulus (kgf/cm ²)
3600	10min	20	8.8	24	54
		-30	21.5	28	367

1) EOM=end of mix

2) Time when viscosity of propellant slurry reaches to 40000 poise

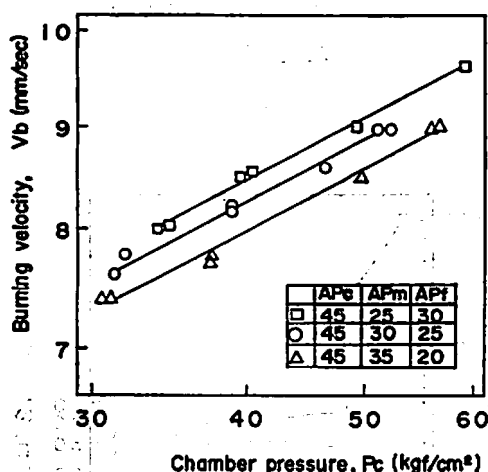


Fig. 15 Burning stability of JSR-HTPB based propellant at small scale-motor tests.
APc: coarse AP, APm: medium AP, APf: fine AP

いずれの配合においても、正常な燃焼を示し、HTPB系推進薬を実際のロケットモータに適用できることを確認した。

5. 結 論

イオン重合法により、HTPBポリマーを開発し、ロケット推進薬用バインダーとしての利用技術開発研究を行なった。

ポリマーの特性、反応性、バインダーとしての物性等を調べてきた結果、以下に記す結論を得た。

- (1) イオン重合法により、HTPBを合成できる。
- (2) この方法で合成した HTPB は、ラジカル重合で

合成した HTPB と比較し、分子量分布がシャープであり、粘度も低い。

- (3) 推進薬用バインダーとして用いる場合、ポリマーの分子量は2500~3500程度が望ましい。
- (4) トリオールを架橋剤として用いることができるが、反応性や製造作業性からみて、3官能の HTPB と組合わせた方がよい。
- (5) HTPB を用いることにより、従来 CTPB では製造不可能であった低バインダー量推進薬が製造でき、物性も優れている。
- (6) HTPB 系推進薬の燃焼は安定しており、硬化反応がウレタン反応であることから、心配される気泡の発生は問題ないと判断される。

文 献

- 1) 横山 章, 木滑清一, 工火協誌, 39, № 5, 238 (1978)
- 2) L. H. Layton, AFRPL-TR-75-13 (AD-A010731)
Chemical Structural Aging Studies on an HTPB Propellant
- 3) W. D. Allan, AFRPL-TR-72-89 (AD-750551)
HTPB Polymer Improvement
- 4) SPACE FLIGHT 20, № 4, 152 (1978)
- 5) D. Fukume et al., Proceedings of 9th ISTS, THE NINTH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPACE TECHNOLOGY AND SCIENCE 107 (1971)

Development of HTPB Propellant

by Daizo FUKUMA*, Shigeru SUZUKI*, Kensho SHIROTA*
Kunihiro HARADA** and Haruaki SHIMIZU***

A hydroxyl terminated polybutadiene prepolymer (HTPB) has been studied lately as an excellent binder matrix of a composite solid propellant in the world.

A new HTPB (JSR-HTPB K-31) was polymerized by anionic living polymerization method and its characteristics were experimentally studied especially in relation to the molecular structure and binder performance.

It was found that the polymer had the following features compared to the other HTPBs.

- (1) Higher content of 1,2 polybutadiene.
- (2) Narrower distribution of molecular weight.
- (3) Lower viscosity and good processability.
- (4) Good reproducibility in functional group content.

This polymer satisfied the specifications in high energy solid propellant technology.

(*Aeronautical and space Division, Nissan Motor Co., Ltd. Matoba Kawagoe-citama, Japan

**Tokyo Research Laboratory, Japan Synthetic Rubber Co., Ltd. Ikuta-ku Kawasaki-city Kanagawa, Japan

***Research section No. 3, Nippon Oils and Fats Co., Ltd. Taketoyo-machi Chita-gun Aichi, Japan)

ニュース

事故情報—清掃作業中のアジ化鉛の爆発事故

オーストリア、ウィーン市ジナミット・ノーベル・ウィーン社ラムブレヒト工場にて、1978年8月17日午前6時20分、作業終了後、爆発事故発生、当日の気象、気温11度C、気圧687mmHg、湿度88%、海拔1,000m。

ステンレス製桶の周囲アスファルト面にクラックが入っていて、この中のアジ化鉛を除くため、溶液を大量使用して洗浄後、アスファルトをハンマーとノミで取り除いた。事故は翌日桶に附着した破片を取り除き作業中、乾いた桶の表面と破片に附着していたアジ化鉛の摩擦により、約5グラムのアジ化鉛

が爆発した。

被害：作業員1名軽傷、桶は破損した。爆発による飛散物はコンクリート及びアスファルトの破片で約2m近く飛散した。

処置：修理作業前に分解溶液で処理し、作業中も水で洗浄する要あり、また作業員は防護用ゴーグルを着用していたため眼に負傷はなかったが、ひざから上までの長靴と作業用革手袋及び革製エプロン着用の要あり。

出典：国際火薬類事故情報交換会報告No.340-1(本事故は1978年の事故で事務局到着がおくれたので、340-1とされた。) (田中俊二)