

# ==== 報 告 ====

## ゴム射出成形機における昇温検討

木村洋治\*<sup>1</sup> , 福田政仁\*<sup>2</sup>

A study raising rubber temperature in injection  
machine

Youji Kimura\*<sup>1</sup> , Masahito Fukuta\*<sup>2</sup>

### 要 旨

ゴム射出成形における型加硫では、型からの伝熱によりゴムを昇温し加硫させる。射出材料温度を高温化できれば、材料昇温に要する時間が短縮でき、加硫時間短縮につなげることができる。しかし、高温化に伴い成形機内での早期加硫(材料ヤケ)という不具合が懸念される。

そこで、射出材料温度の高温化に対して、射出成形機各部の役割を区別し、各部における材料温度の限界値を明確にすることで材料ヤケを起こさず射出材料温度を高温化することができると考えた。

それに基づき、材料温度と加硫開始時間との関係および射出成形機内での停滞時間について検討し、射出ポット部における材料温度の限界値について把握できた。

さらに、ノズルでの材料昇温については仕事量と熱の関係より作成した理論式が実験値と良い相関を示した。この理論式に基づき射出材料温度を制御することが可能となった。

### Abstract

Generally speaking, thermal conduction from mold raises rubber temperature and makes it vulcanize through injection molding process. If an injection material temperature can rise higher, the time raising rubber temperature will decrease, finally a curing time reduction must be achieved. But material scorch due to higher injection temperature in the equipment must be considered.

Studying high temperature material injection, the functions of each section of injection machine were identified. The clarification of acceptable maximum temperature at each section must be useful to raise an injection material temperature without material scorch.

This report describes a series of study investigating an available time to start vulcanizing at several temperature and a material remaining period within an injection machine. Considering with these results made an acceptable maximum temperature at material pot of injection machine clear.

As for raising material temperature at a nozzle of injector, theoretical formula based on a correlation between workload and heat energy corresponds well with an experience result. Applying this theoretical formula enabled to control an injection material temperature

\*1 開発部 生技開発室

\*2 WTG Material Development

### 1.はじめに

近年，国際競争の激化に伴い，より一層のコスト低減や品質の向上が叫ばれている．ゴム厚肉製品の成形においては加硫時間が成形サイクルの大半を占めており，この加硫時間を短縮することが生産性向上の決め手になると考え検討を進めてきた．

現状のゴム射出成形における型加硫では，型からの伝熱によりゴムを加熱し加硫させる．ゴムは熱伝導率が低い(表 - 1)ため，昇温に時間がかかり，その結果として長い加硫時間が必要となる．

金型内充填材料温度と製品中心部の加硫時間の関係(図 - 1)より，高温の材料を金型内に充填することができれば，材料昇温に要する時間が短縮できることとなる．しかし，射出材料温度を高温化することにより，射出成形機内で材料が早期加硫する(以降，材料ヤケと示す)という不具合が懸念される．

そこで，射出材料温度の高温化に対して，射出成形機各部の役割を区別し，各部における材料温度の限界値を明確にすることで材料ヤケを起こさず射出材料温度を高温化することができると考えた．

本報では，射出成形機中の射出ポット部における材料設定温度とノズルでの発熱に対する関係式の把握より射出材料温度の高温化が実現できたので報告する．

### 2.実験

#### 2 - 1.ゴム材料と使用設備

##### 2 - 1 - 1.材料配合

本実験で用いた材料は，一般的な天然ゴム配合物を使用した．天然ゴムの標準的な配合(表 - 2)に従い，75Lバンバリーミキサーにて混練した後にロールにて加硫剤を投入し，テープ状に分出しして，

表 - 2 天然ゴム配合表

天然ゴム	100
カーボンブラック	23
酸化亜鉛	5
加工助剤等	4.5
老化防止剤等	5
硫黄	1
加硫促進剤等	3
<hr/>	
	141.5

表 - 1 各材料の熱伝導率

材質	熱伝導率 (W/(m・K))
鉄	44.22
ゴム	0.352

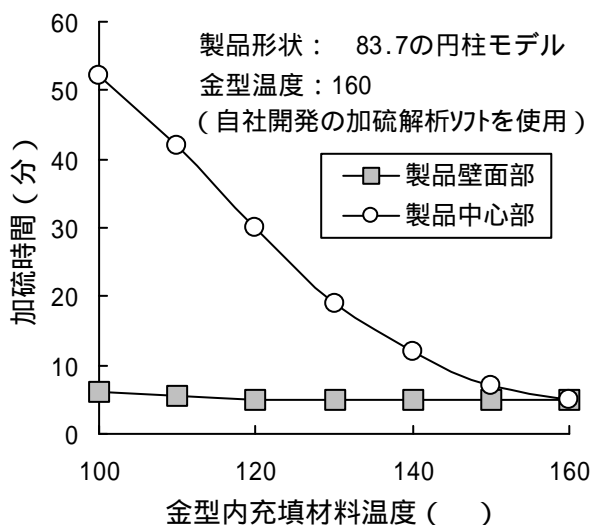


図 - 1 厚肉製品中心部の加硫時間 (シミュレーション計算による)

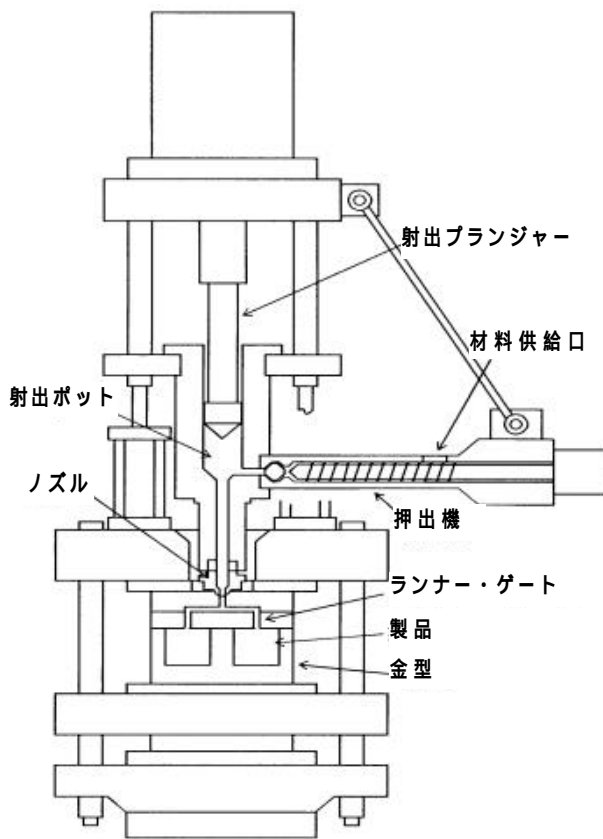


図 - 2 ゴム射出成形機の概要

未加硫コンパウンドを作成した。

2 - 1 - 2 . 使用設備

縦型ゴム射出成形機(内製)を使用した(図 - 2)。  
成形機の性能：型締め力75トン，射出圧力200MPa，最大射出量550cc

2 - 2 . 射出ポット部の材料設定温度

2 - 2 - 1 . 射出成形機での色替え検討

押出条件を温調90，スクリュー回転数50rpmとして，天然ゴム配合物の黒色の未加硫コンパウンドを射出成形機の射出ポットに360ccチャージし，ノズルを外した状態で射出を繰り返す。

同等の粘度を示す白ゴム材料に変更し，チャージと射出を繰り返す。白ゴムに変更してからの射出材料を1ショット目とし，射出材料の先端から5cmの位置における断面の色替わり状態を観察した。画像処理にて白ゴム存在割合として数値化し色替え率とした。

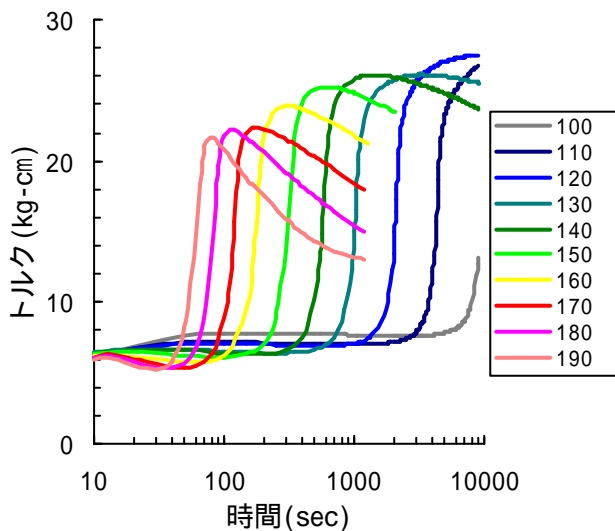


図 - 3 加硫温度と加硫曲線の関係

$$\text{加硫度 (\%)} = \frac{I_{tT2} - I_{OT2}}{I_{T1} - I_{OT1}} \times 100 \quad (\text{式 1})$$

- $I_{tT2}$  ; 採取時のトルク値
- $I_{OT2}$  ; 最小トルク値(採取時温度)
- $I_{T1}$  ; 最大トルク値(加硫戻りのない温度)
- $I_{OT1}$  ; 最小トルク値(加硫戻りのない温度)

2 - 2 - 2 . 加硫温度と加硫状態の関係

キュラストメータJSR 型(日本合成ゴム社製)を用いて，加硫温度100 から190 までの10 間隔の10水準に対してトルク曲線を測定した(図 - 3)。

各温度の加硫状態は，前報<sup>1)</sup>で求めた加硫度計算式に測定したトルク値を代入し算出した(式1)。そして，各温度の加硫度5% (加硫開始)到達時間を求めた。

2 - 3 . ノズルでの材料昇温

2 - 3 - 1 . 実験水準

ノズル部での材料昇温について剪断による発熱の影響を系統図にて整理をした(図 - 4)。その結果，発熱に影響が大きい因子としてノズル径，射出流量，材料粘度を取り上げ，表 - 3 に示す水準にて検討を実施した。但し，材料粘度については，初期材料温度を振ることにより粘度を変えることとした。

2 - 3 - 2 . 材料温度・圧力の計測

射出材料温度は射出した材料を団子状に固め，

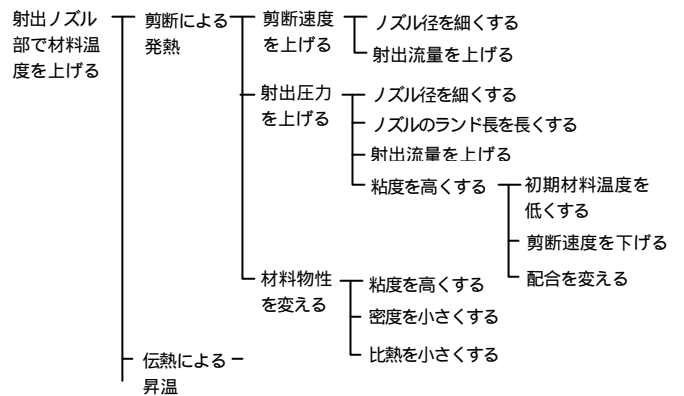


図 - 4 ノズル部での昇温についての系統図

表 - 3 実験水準

ノズル径	a, b, c
射出流量 (cc/sec)	5.4, 7.6, 14.0, 266, 387, 514
(射出時間 (sec))	(42.8) (31.1) (17.0) (9.0) (6.1) (4.7)
初期材料温度( )	107, 119(材料1) 95, 110(材料2)

射出量：190cc  
b = 1.5 a, c = 2.0 a

3 × 100mmのシー ス熱電対にて中心部を測定した。また、初期材料温度はノズルを外した状態で射出した材料を同様のセンサを用いて測定した。

射出圧力はノズル縮小部手前に設置した水晶圧電式圧力センサ(キスラー社製)にて測定した。

2 - 3 - 3 . 材料物性の測定

密度は水中置換法により測定した。

比熱は示差熱温度計(セイコー電子工業社製)にて80 ~ 180 の領域を昇温スピード10 /minで測定した。

ムーニー粘度はムーニービスコメータ(島津製作所社製)で大ロータを用い145 にて測定した。測定結果を下記に示す。

密度 : 1.051 g/cm<sup>3</sup>

比熱 : 0.45 cal/(g · ) 100 のデータを使用

ムーニー粘度 : 51

3 . 実験結果と考察

3 - 1 . 射出ポット部での材料設定温度

材料ヤケを起こさずに高温射出化を狙うためには射出成形機中の材料投入から射出までのプロセスにおいて材料温度を設定する必要がある。昇温方法としては、伝熱、剪断発熱が考えられるが、射出成形機各部の材料温度を均一に昇温させることを目的に、剪断発熱による昇温を選定した。また、設備機能上、押出機・ノズル部では剪断発熱による昇温、射出ポット部では伝熱による保温と各部の役割を区別して考えた。この時の材料通過時間と材料温度変化のイメージを図 - 5 に示す。材料温度と通過時間との関係より射出ポット部での材料ヤケの危険性が高いことが分かった。

そこで、射出ポット部での材料停滞時間と材料温度に対する加硫開始時間の関係より材料ヤケを起こさず、射出ポット部で高温化できる限界について検討した。

3 - 1 - 1 . 射出成形機における材料停滞時間

黒ゴム(検討材料)から白ゴムへの色替え実験結果を図 - 6 に示す。各ショットにおける射出材料の断面写真と白ゴムへの色替り率をカッコ内に示した。

色替え実験の結果、この射出成形機においては3ショットで色替りはほぼ完了し7ショット以降は全く変化のない状態であることが分かった。この結果より色替え完了を7ショットとした。射出成形機における材料停滞時間は、色替え完了ショット数に成形サイクルタイムを乗じることにより求めることができた。

3 - 1 - 2 . 材料ヤケの限界温度

各温度における加硫曲線(図 - 3)より、加硫温度と加硫開始を示す加硫度5%到達時間の関係について図 - 7 に示す。

グラフ上に示された加硫度5%のラインは、材料ヤケの限界値を示し、このライン以上の条件にて加硫が進行することを意味する。つまり、今回検討した材料に対して加硫する限界の条件(温度・時間)をつかむことができた。

また、射出成形機における停滞時間をグラフ上にプロットすることで、射出ポット部での材料設定温度の限界値を把握することができた。

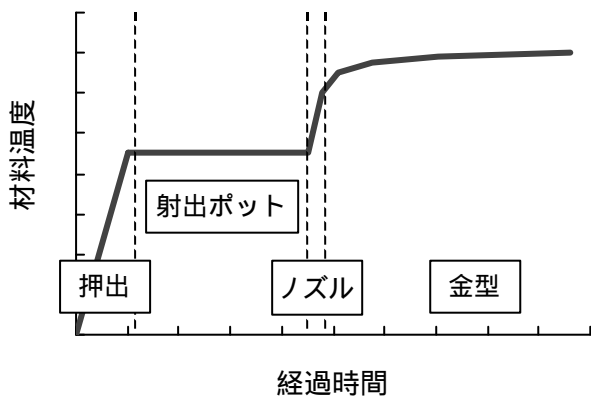


図 - 5 射出成形機における材料温度変化

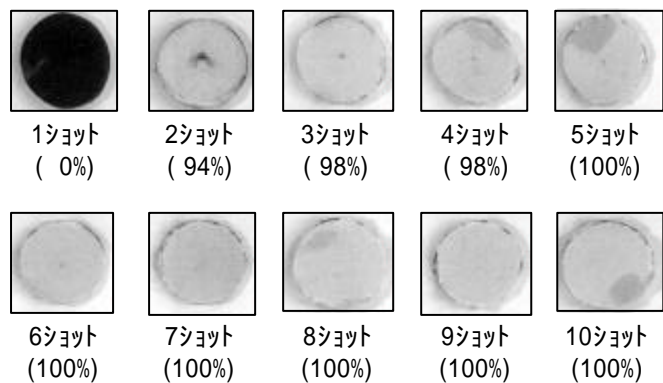


図 - 6 射出材料の色替え状態

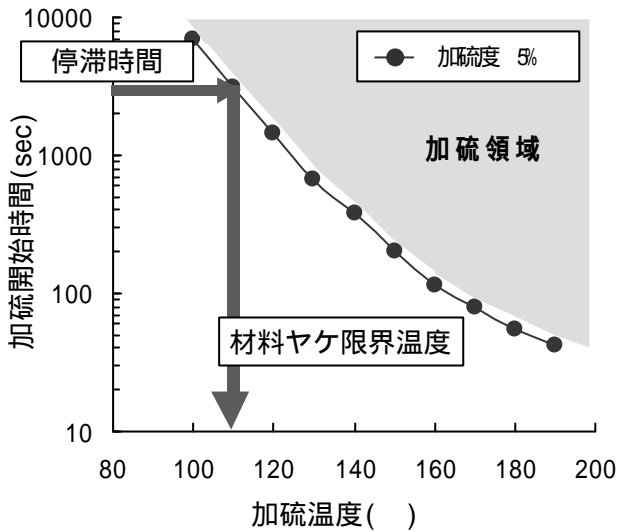


図 - 7 温度と加硫開始時間の関係

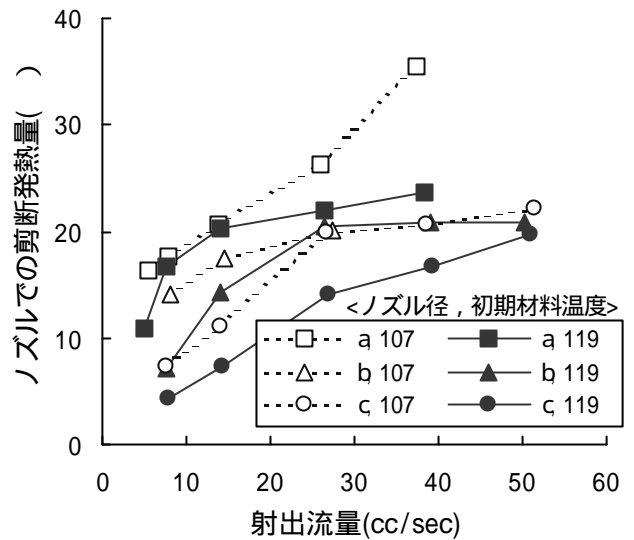


図 - 8 射出流量と剪断発熱量の関係

つまり、材料および設備面を考慮した上で安全にかつ射出ポットにおける材料温度を高温化できる限界値の把握に対する考え方を確立できた。

3 - 2 . ノズルでの発熱

射出直前部分における昇温方法としては、伝熱、剪断発熱の他にジュール熱加熱、UHF加熱が考えられるが、均一に昇温でき制御系が単純であると考えられる剪断発熱による昇温を選定した。

ノズルでの剪断発熱について系統図(図 - 4)より、効果の大きいと思われる因子としてノズル径、射出流量、材料粘度(初期材料温度)を検討項目に取り上げた。これら因子に対するノズルでの発熱量の関係を図 - 8 に示す。ここで示したノズルでの発熱量は射出材料温度から初期材料温度を引いた温度上昇分の値とする。

射出流量を増加、ノズル径を縮小するにつれて発熱量が増加する傾向にある。これは、剪断力を増加させる方向と一致する。

射出に要する仕事量がノズルでの発熱に変換したと考え、理論的にノズルでの発熱に対して整理を試みた。

まず、射出成形機の射出プランジャが射出に要した仕事量を式 2 のように考える。

$$W = P \cdot S \cdot L \quad \text{-(式 2)}$$

W : 仕事量, P : 射出圧力 (圧力損失)  
S, L : プランジャの移動距離, 断面積

仕事量と発熱の関係は式 3 で示される。

$$W = J \cdot m \cdot C_p \cdot T \\ = J \cdot S \cdot L \cdot \rho \cdot C_p \cdot T \quad \text{-(式 3)}$$

W : 仕事量, J : ジュール定数, m : 質量  
C<sub>p</sub> : 比熱, T : 発熱量, ρ : 密度

射出プランジャがした仕事量がすべて熱に変換したと仮定すると、発熱量は式 4 で示すことができる。

(式 2) = (式 3) より

$$T = \frac{P}{J \cdot \rho \cdot C_p} \quad \text{-(式 4)}$$

つまり、剪断による発熱量は材料固有の密度、比熱の逆数を定数とし、仕事に要した圧力に比例することを意味することが分かった。

上記関係式より、各実験水準に対してノズル部における圧力損失と発熱量の関係について図 - 9 に示した。ノズル部での圧力損失はノズルから射出させた材料の圧力をゼロとして、ノズル縮小部手前に設置した圧力センサの値との差より求めた。

ノズルでの発熱量はノズル径、射出流量、材料粘度(初期材料温度)に関係なく圧力損失に非常に良い相関を示すことが分かった。

また、式 4 に密度、比熱、ジュール定数を代入

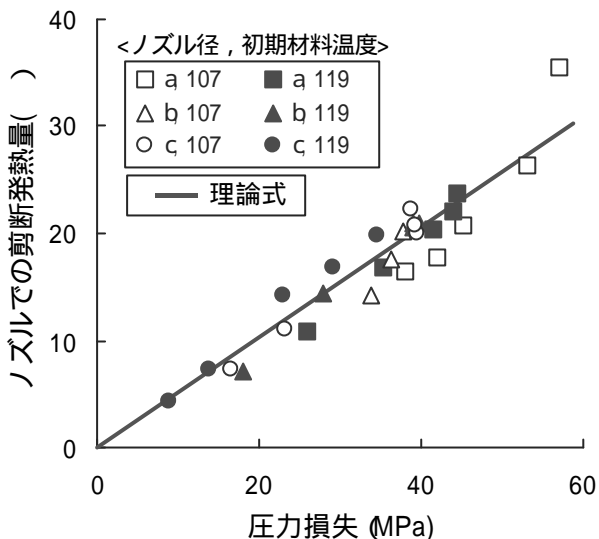


図 - 9 圧力損失と剪断発熱量の関係

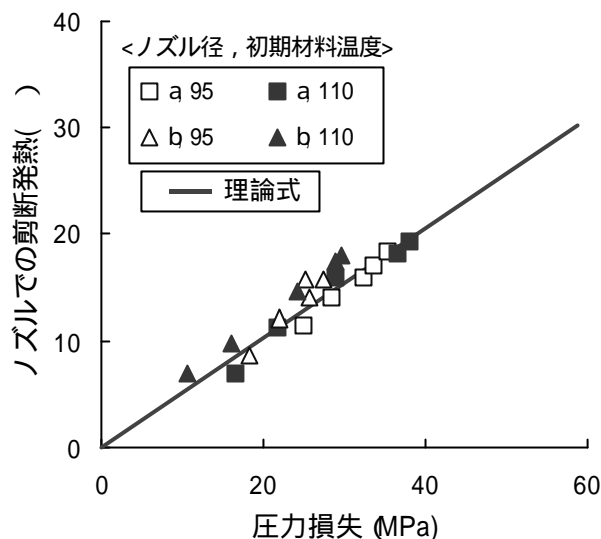


図 - 10 他材料における圧力損失と剪断発熱との関係

し、図 - 9 に理論式として示した。

結果として仕事量が熱に100%変換したと考えた理論式は実験値と非常に良い相関を示した。

また、今回得られた理論式と同様の実験式が他の文献にも記載されており<sup>2),3)</sup>、この考え方が間違っていないと考えられる。

さらに、ムーニー粘度の異なる他の材料(5 1 2 0)においても同様にノズル径、射出流量、材料粘度(初期材料温度)の水準を振り、圧力損失と発熱量の関係を求めた。結果を図 - 1 0 に示す。また、グラフ上に理論式も合わせて記載した。

他材料においても理論式は実験値と非常に良い相関を示すことが分かった。

つまり、ノズルでの圧力損失を計測すれば発熱量が予測可能であり、圧力を制御すれば所定の射出材料温度にコントロールすることが可能であることとなる。

#### 4.まとめ

色替え実験による色替え完了ショット数の把握(図 - 6)と成形サイクルタイムより射出成形機における材料停滞時間を求めることができた。

加硫温度と加硫度5%到達時間の関係より材料ヤケの限界曲線の把握ができた(図 - 7)。

射出成形機における材料停滞時間と材料ヤケ限界曲線より射出ポット部における材料温度の限界値を求めることができた。このような手段により、材料の加硫特性、設備構造を加味した上で安全に

かつ射出ポット部での材料温度を高温化できることが分かった。

また、射出直前部分のノズル部における昇温が射出に要した圧力に比例することが分かった。そこで、射出に要した仕事量が熱に100%変換したと仮定し、理論式を作成した<sup>1),2)</sup>。その結果として理論式(式4)は実験値と非常に良い相関を示した。つまり、ノズルでの圧力損失を制御することにより、射出材料温度をコントロールすることが可能であることを見出した。

以上の結果、射出材料温度の高温化に対して射出成形機各部における役割を区別し、各部における材料温度の限界値を明確にすることにより、材料ヤケを起こさずに射出材料温度を高温化できる手法を確立することができた。

現在、新規量産品の成形条件設定に、この手法の適用を開始し、加硫時間短縮の成果を上げつつある。

#### 5.参考文献

- 1) 木村洋治, 福田政仁, 豊田合成技報, 41, 90 (1999)
- 2) 村田篤則, 名古屋ゴム技報, 17, 89 (1975)
- 3) D. V. Rosato, Rubber Age, 104, 29 (1972)