

2007年 2月19日

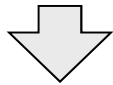
建設情報マネジメント研究室 卒業論文発表会

# ゴムの応力-ひずみ曲線の Mooney-Rivlin式による検討

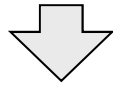
学生氏名	河野 学
指導教員	皆川 勝
	吉田郁政
	飯島正徳

# 研究背景

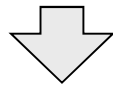
大規模な地震が発生



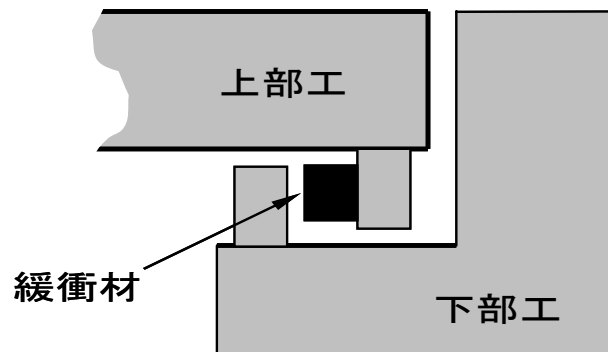
隣接桁間で衝突が生じる



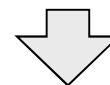
落橋などの被害



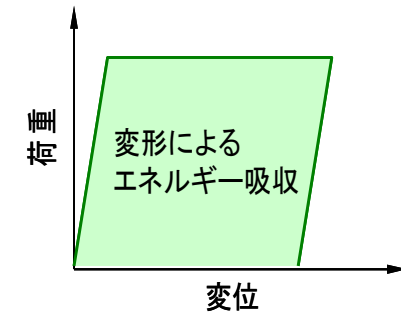
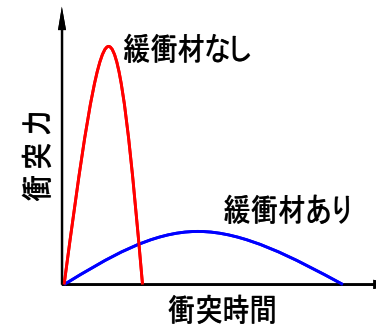
緩衝材が必要になる



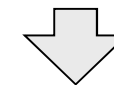
緩衝材に要求される性能



衝突力の低減効果 エネルギー吸収性



衝突力の低減効果 + 繰り返し衝突 + 低コスト

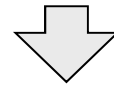


ゴム製緩衝材

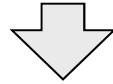
# 研究目的

---

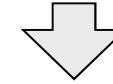
ゴムの変形挙動は複雑



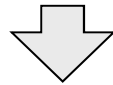
ゴム製品の設計において応力-ひずみ関係が重要



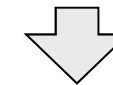
簡便な試験方法の策定



応力-ひずみ関係



形状に関する検討

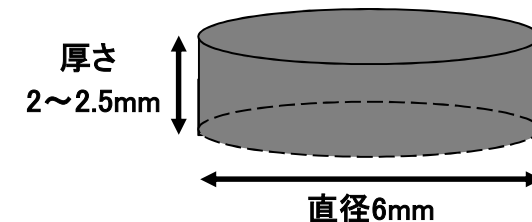
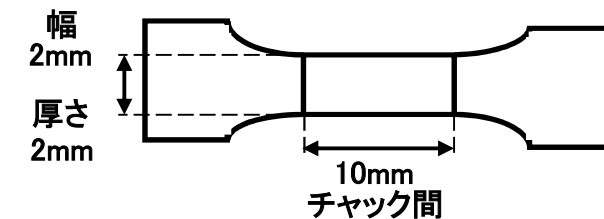
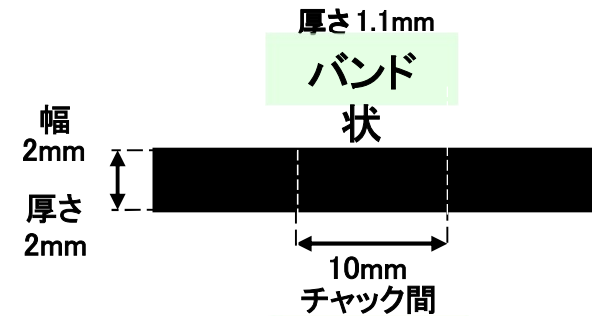
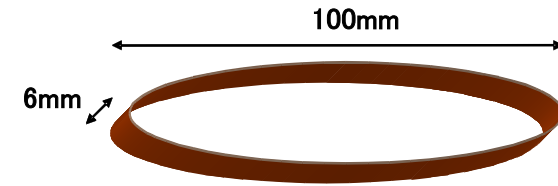


Mooney-Rivlin式による検討

# 試料・試験体

試料	天然ゴム (NR band)		
形状	<b>バンド状</b>	<b>短冊状</b>	<b>円盤状</b>
	幅 6mm 折径 100mm 厚さ 1.1mm	幅 2mm チャック間 10mm 厚さ 2mm	厚さ 2~2.5mm 直径 6mm

試料	スチレンブタジエンゴム (SBR)	
形状	<b>ダンベル状</b>	<b>円盤状</b>
	幅 2mm チャック間 10mm 厚さ 2mm	厚さ 2~2.5mm 直径 6mm



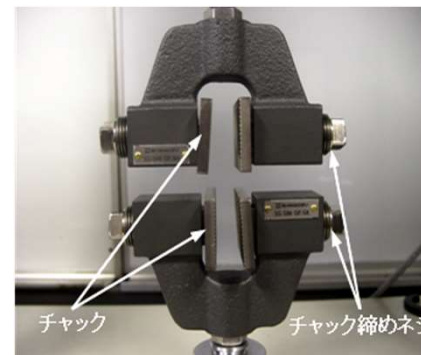
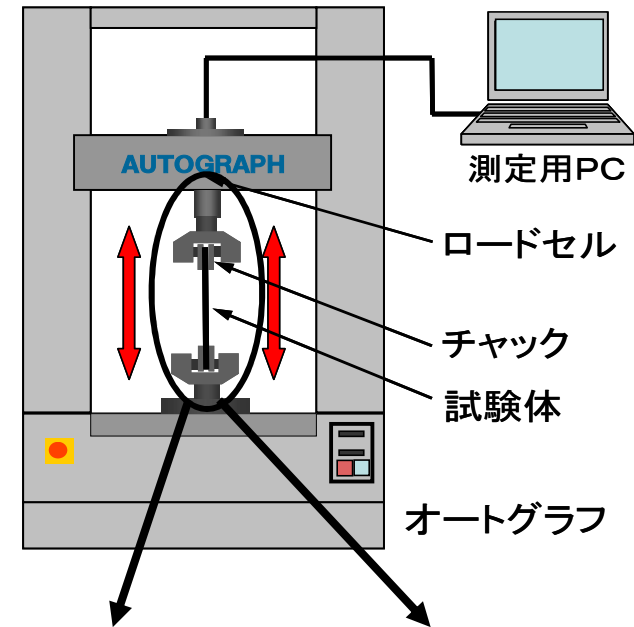
# 実験概要

装置 島津製作所製  
オートグラフAGS-J 1kN

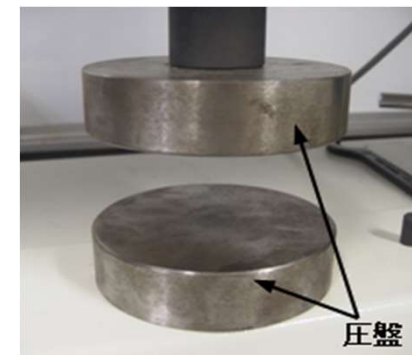
入力条件 **引張試験**  
変位速度 300 (mm/min)  
破断まで

**圧縮試験**  
変位速度 10 (mm/min)  
荷重900Nまで

サンプリング間隔 0.1秒

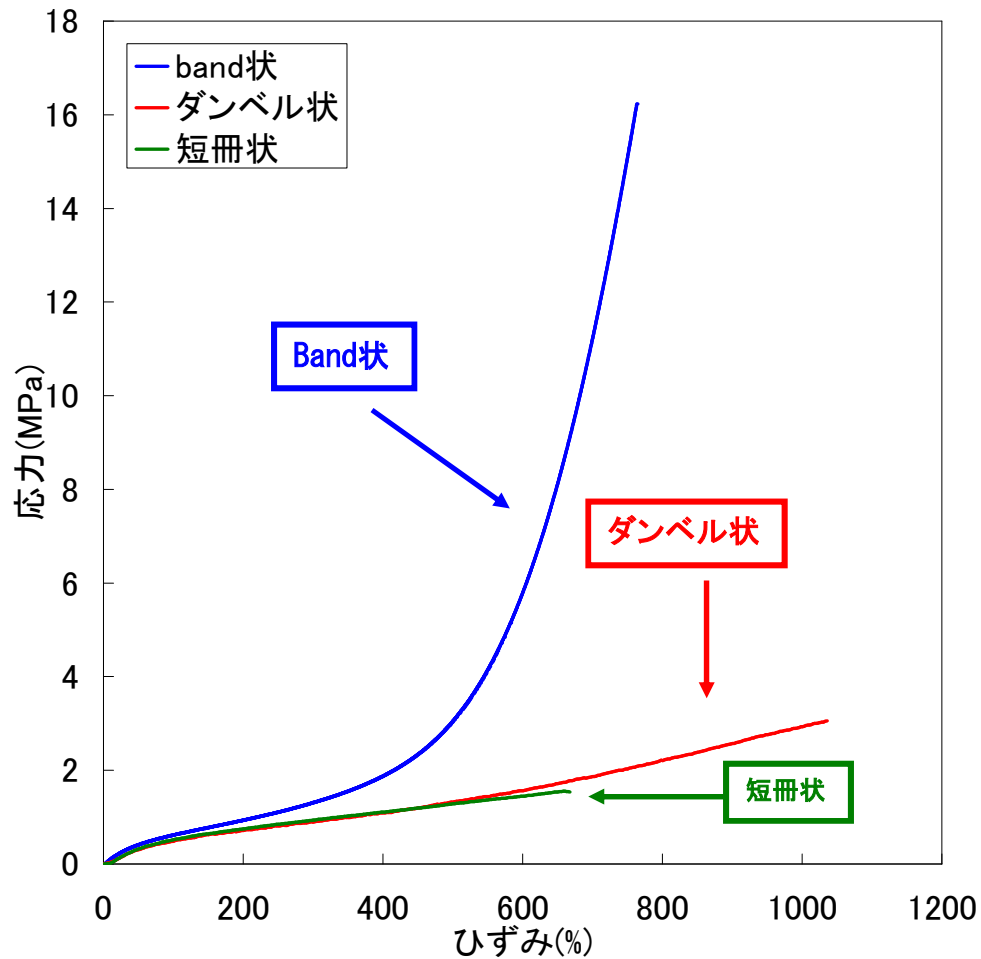


引張試験



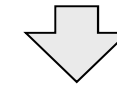
圧縮試験

# 実験結果



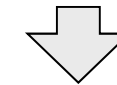
異なる試験体形状の応力-ひずみ関係

バンド状



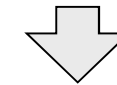
大変形領域までの挙動をみる事ができる

短冊状, ダンベル状



ひずみ100%以上からすべりが生じている

簡便に応力-ひずみ関係を求めるには



バンド状が適している

# Mooney-Rivlin 式

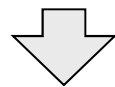
ゴムの応力-ひずみ関係を記述する式としてMooney-Rivlin式がある

$$\sigma = 2 \left( \lambda - \frac{1}{\lambda^2} \right) \left( C_1 + \frac{C_2}{\lambda} \right)$$

$\sigma$ は応力

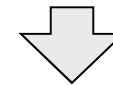
$\lambda$ は伸長率

$C_1$ と $C_2$ は未定定数

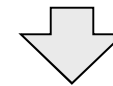


$$\frac{\sigma}{(\lambda - 1/\lambda^2)} = 2C_1 + 2C_2 \frac{1}{\lambda}$$

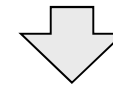
1/ $\lambda$ と $\sigma/(\lambda - \lambda^{-2})$ の関係としてプロット



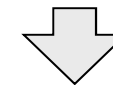
Mooneyプロット



Mooneyプロットが直線となる範囲

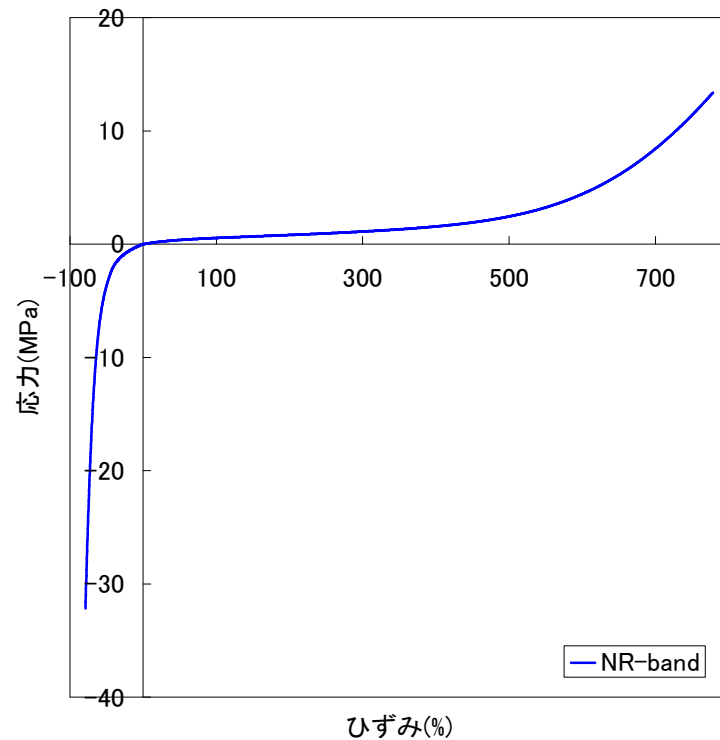


$C_1$ と $C_2$ が決定できる



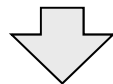
式の適用範囲となる

# 実験結果とMooneyプロット

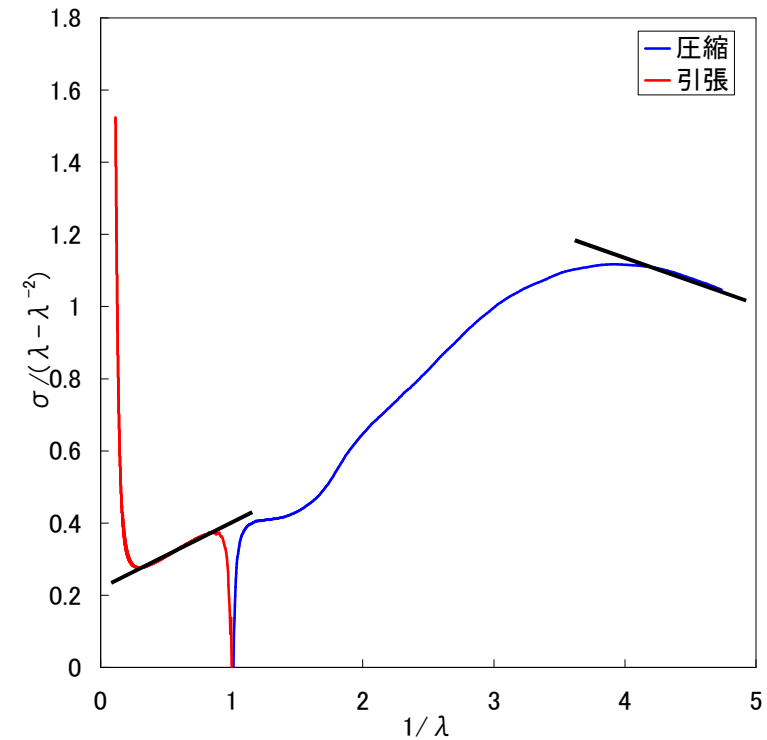


NR-bandの応力-ひずみ関係

ゴムの応力-ひずみ関係

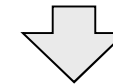


非線形挙動(ひずみ硬化型)



NR-bandのMooneyプロット

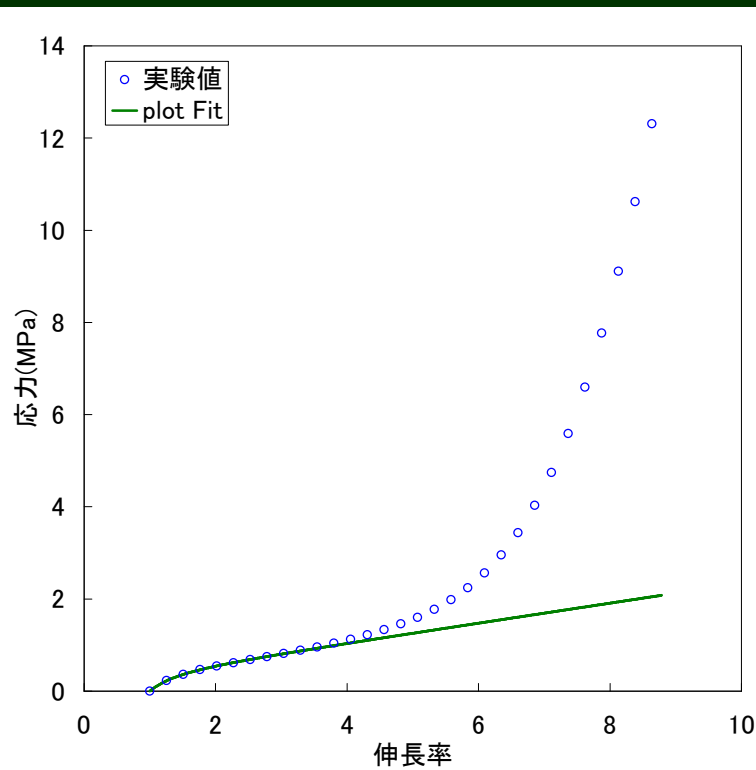
直線的になっている範囲



$C_1$ と $C_2$ を決定することができる

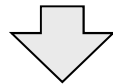


# フィット結果

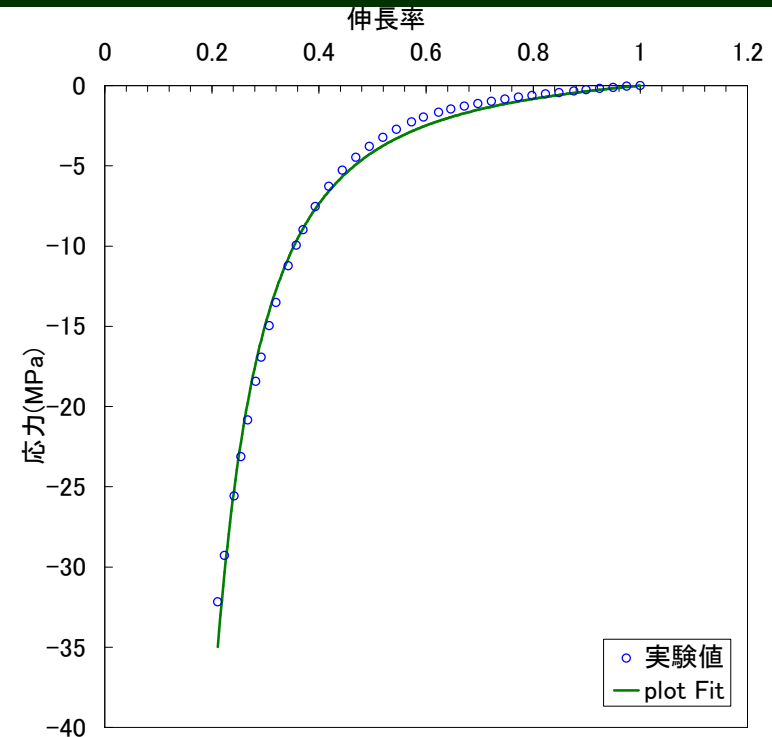


NR-bandの引張フィット結果

引張の場合

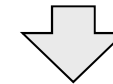


伸長率が約4まで記述可能



NR-bandの圧縮フィット結果

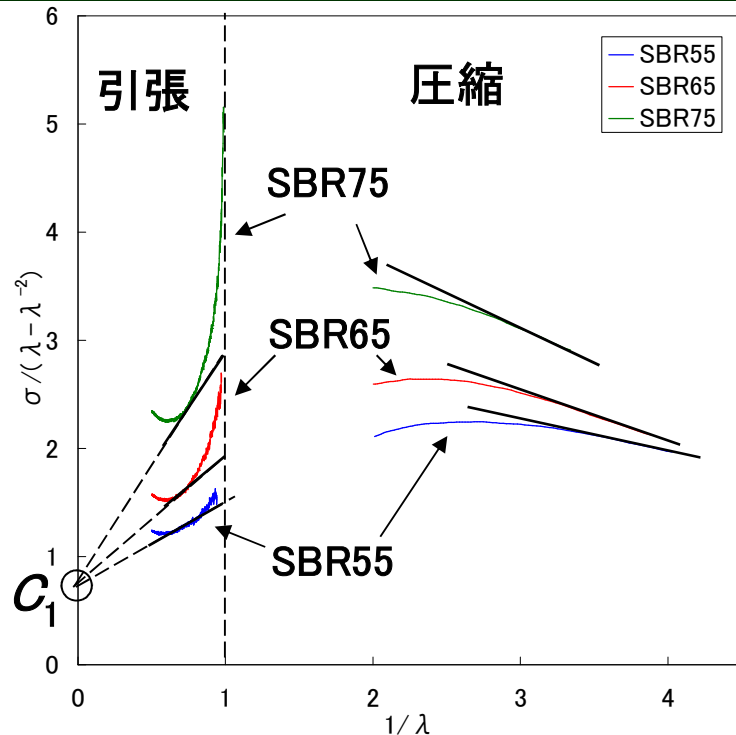
圧縮の場合



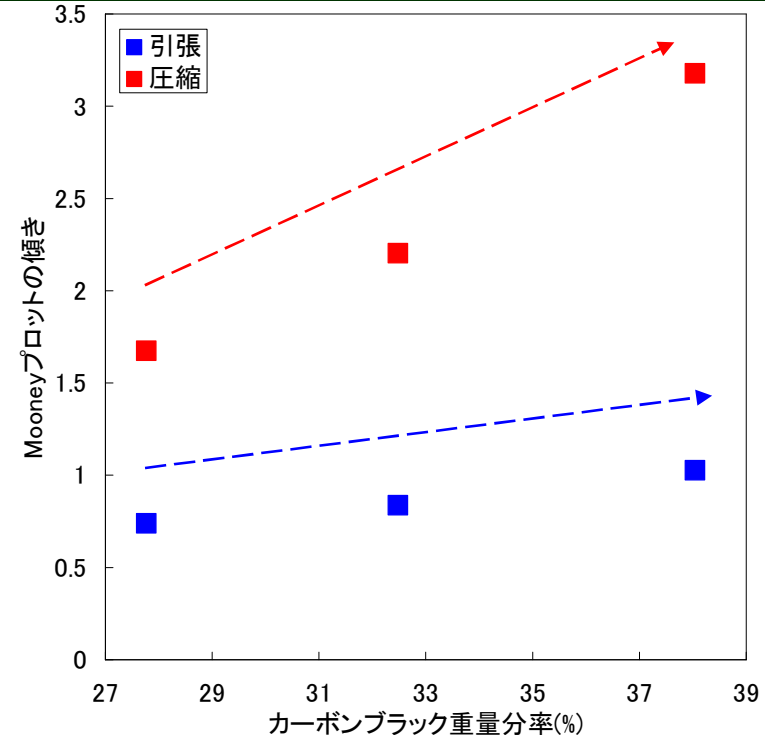
大変形まで記述可能

NR-bandは伸長率が約0.2~4まで記述可能である

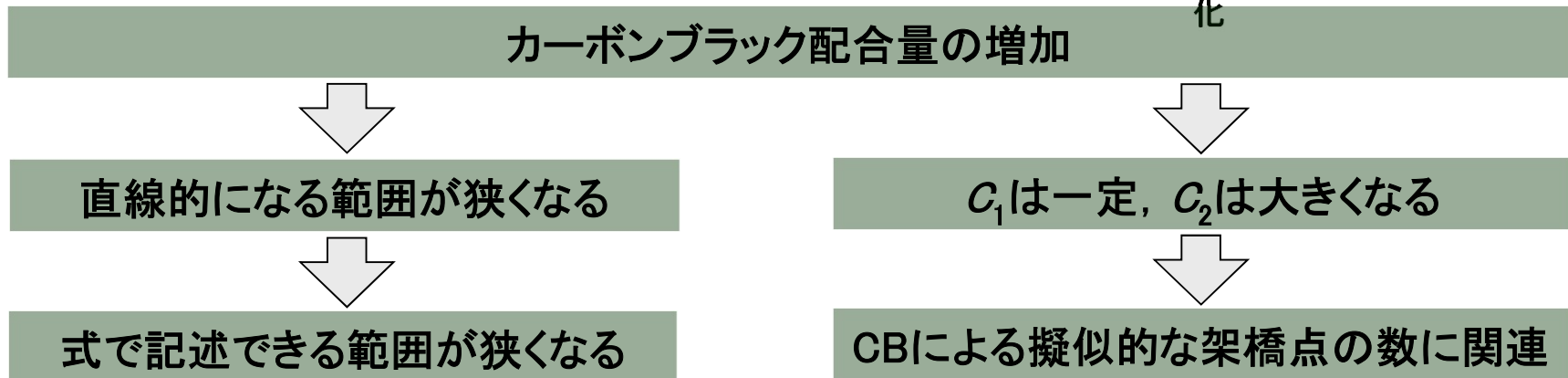
# Mooneyプロットの変化



SBRのMooneyプロット



配合による $C_2$ の変化



# 結論

本研究では簡便な試験方法の策定として形状に関する検討と Mooney-Rivlin式を用いゴムの応力-ひずみ関係について検討した  
そこから示されたことを以下にまとめる

- ① 簡便な応力-ひずみ関係を求めるにはバンド状の試験体が適している
- ② 短冊状・ダンベル状の試験体はひずみ100%までは信頼性がある
- ③ Mooney-Rivlin式は適用範囲が限定されている
- ④ NR-bandでは伸長率が約0.2～4までの範囲のみ適用することができる
- ⑤ Mooney-Rivlin式中の  $C_2$  はカーボンブラックの配合量により変化する
- ⑥  $C_2$  の変化はカーボンブラックによる擬似的な架橋点の数に関連している
- ⑦ カーボンブラックの配合量が増加するとMooney-Rivlin式で記述できる応力-ひずみ曲線の範囲が狭くなっていく

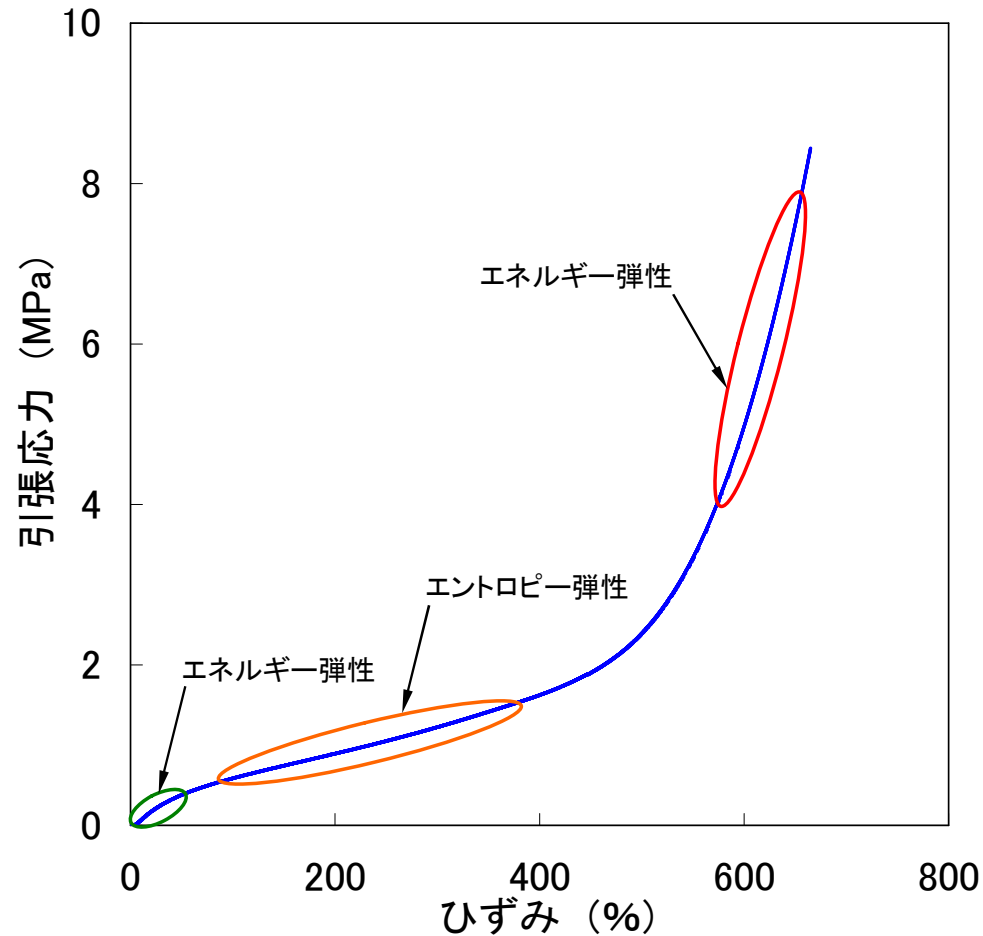
# 参考文献

---

- 1) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 1996.12.
- 2) 村上兼吉:レオロジー基礎論, 産業図書株式会社, 1997.3.
- 3) 日本ゴム協会:ゴム技術の基礎, 日本ゴム協会 1983.4.
- 4) 飯塚博, 山下義裕:ゴム材料の力学特性とFEM解析への利用,  
日本ゴム協会誌, vol77, pp306-311, 2004.9

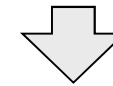


# ゴムの応力-ひずみ曲線

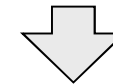


ゴムの応力-ひずみ曲線

ゴムの応力-ひずみ曲線

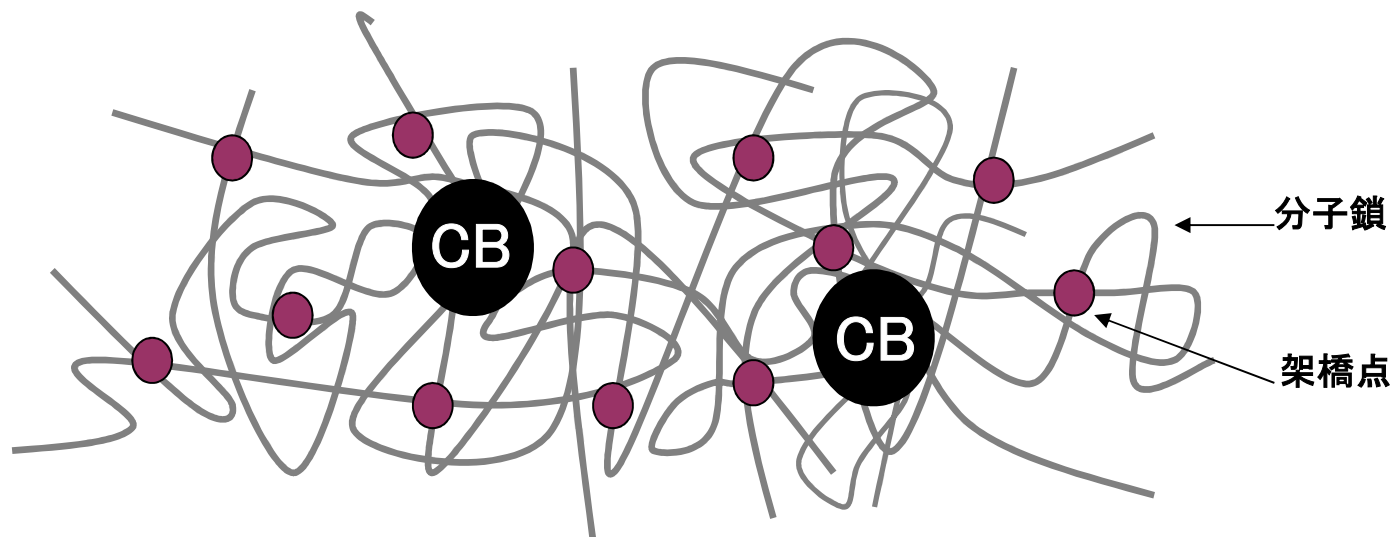


エントロピー弾性が主

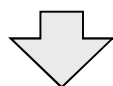


挙動が複雑

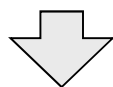
# ゴムの架橋



$C_1$ は1次架橋点

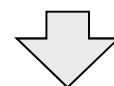


硫黄による架橋

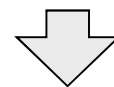


一定の値をもつ

$C_2$ は2次架橋点

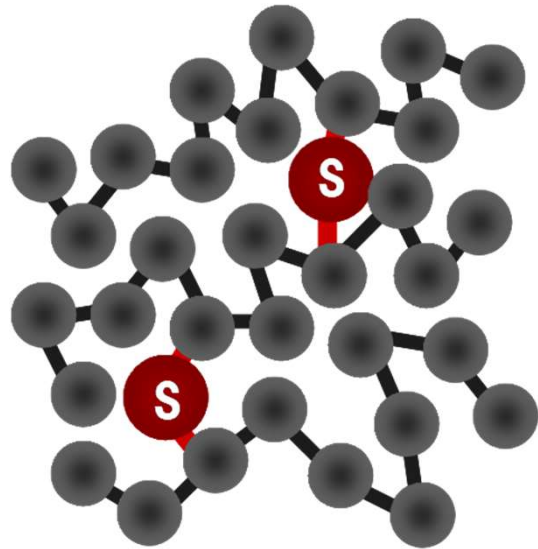


CBによる擬似的な架橋

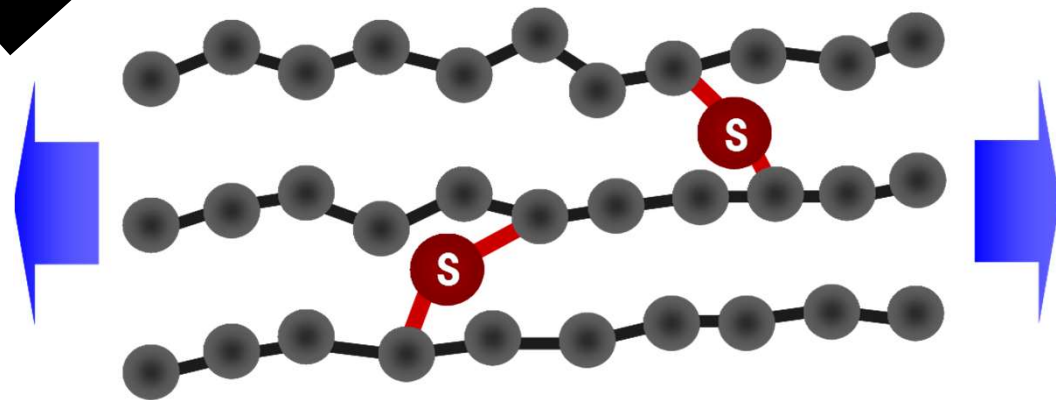
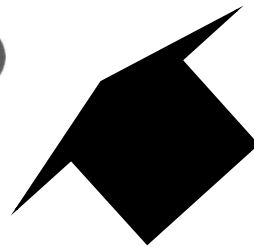


CBの数により変化

# エントロピー弾性

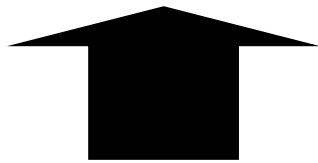
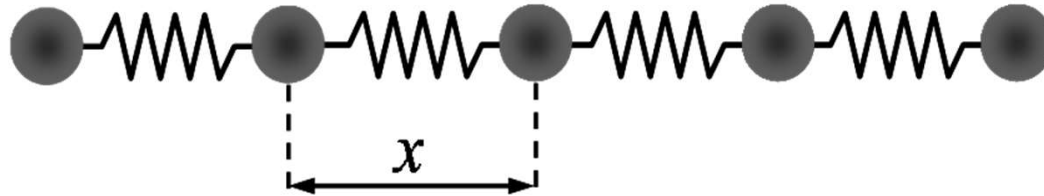


分子鎖が自由に動ける様な状態に  
戻ろうとするときの弾性

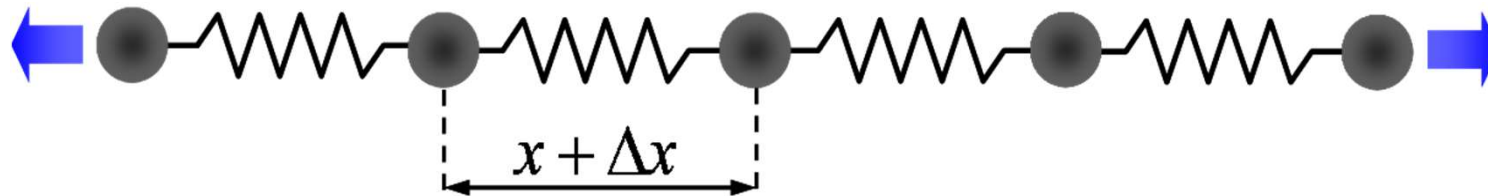




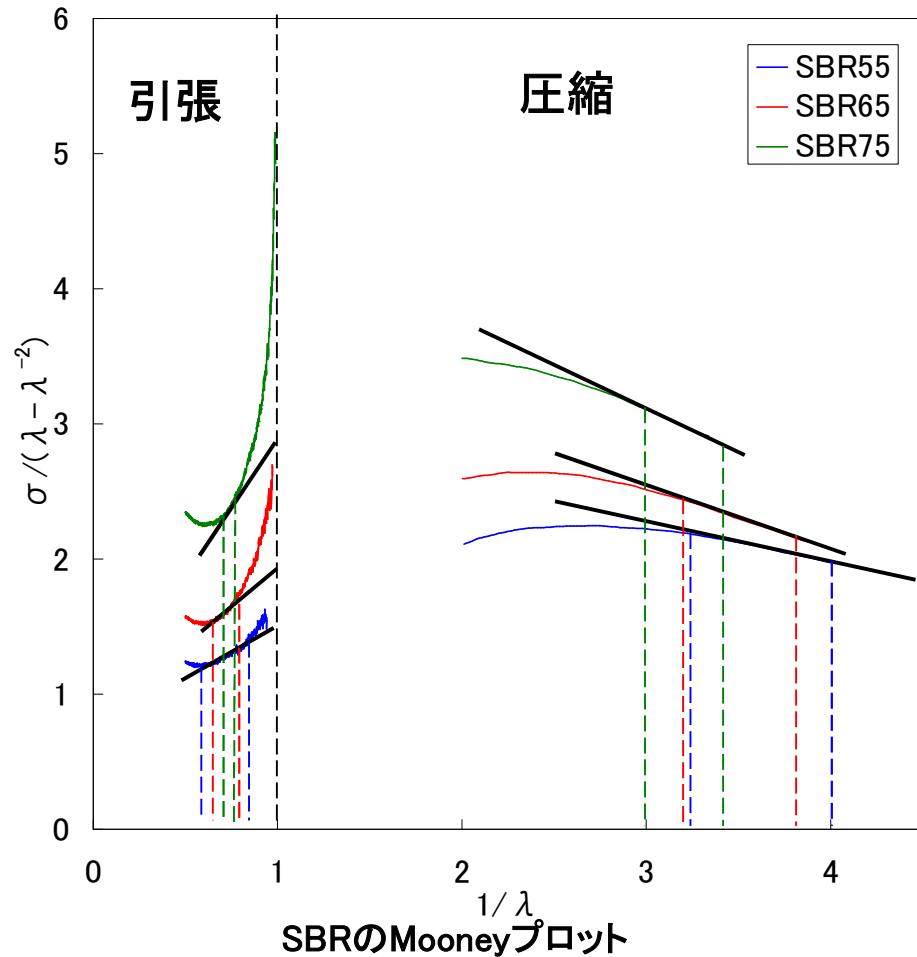
# エネルギー弾性



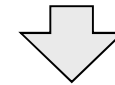
外部からの力により原子間隔が広がり、元の安定な位置に戻ろうとするために生じる



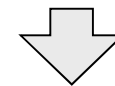
# Mooneyプロットの範囲の変化



カーボンブラック配合量の増加

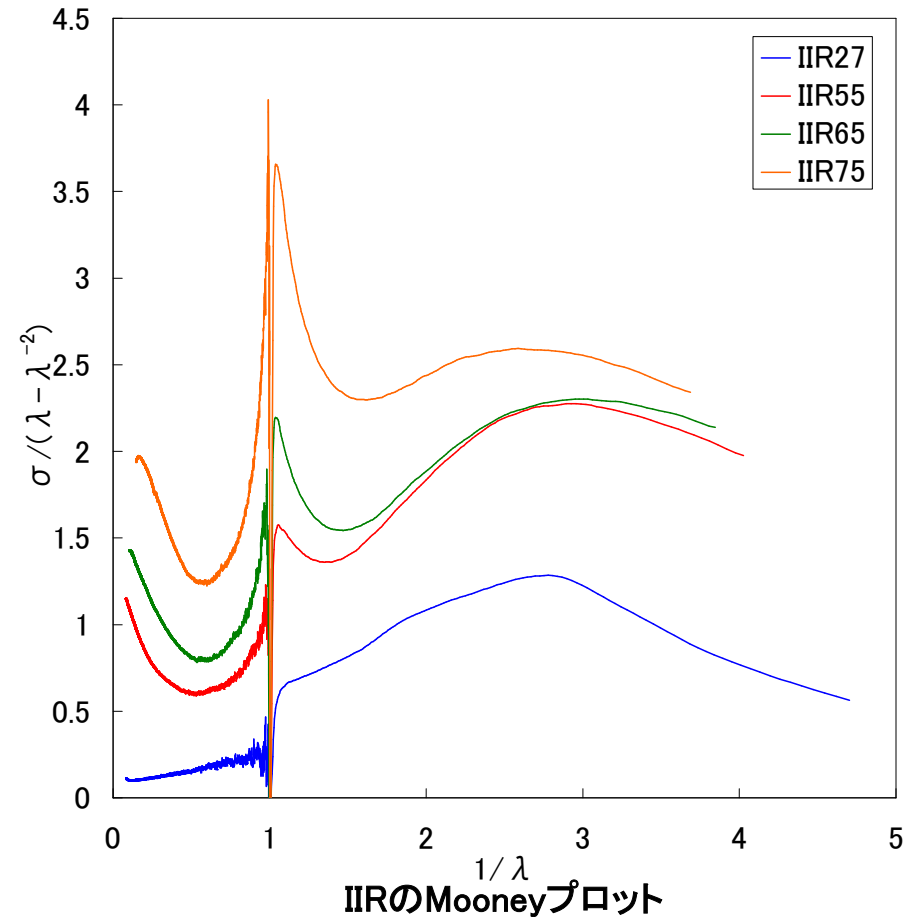
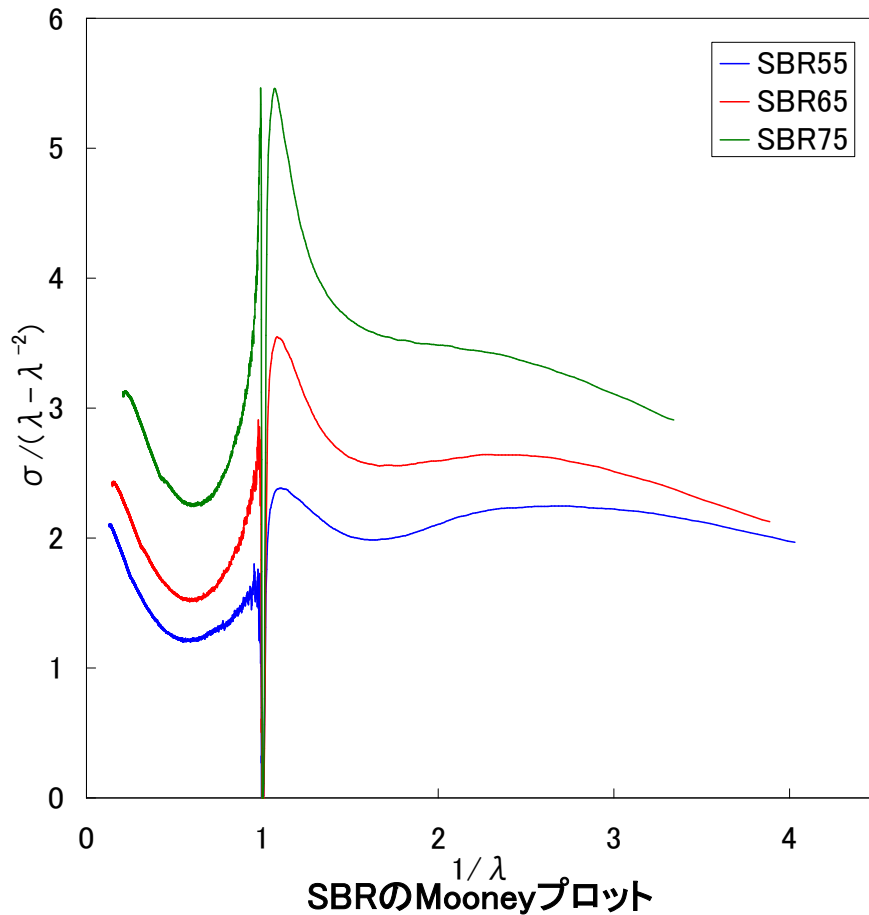


直線的になる範囲が狭くなる



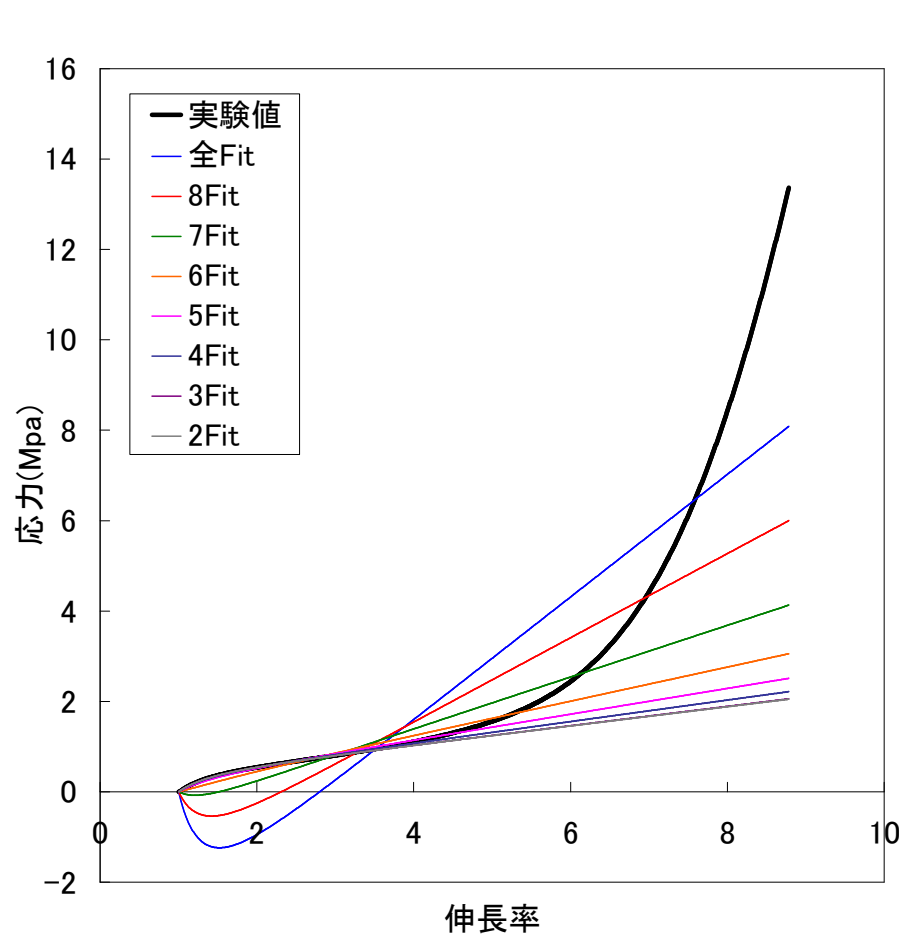
式で記述できる範囲が狭くなる

# SBR,IIRのMooneyプロット



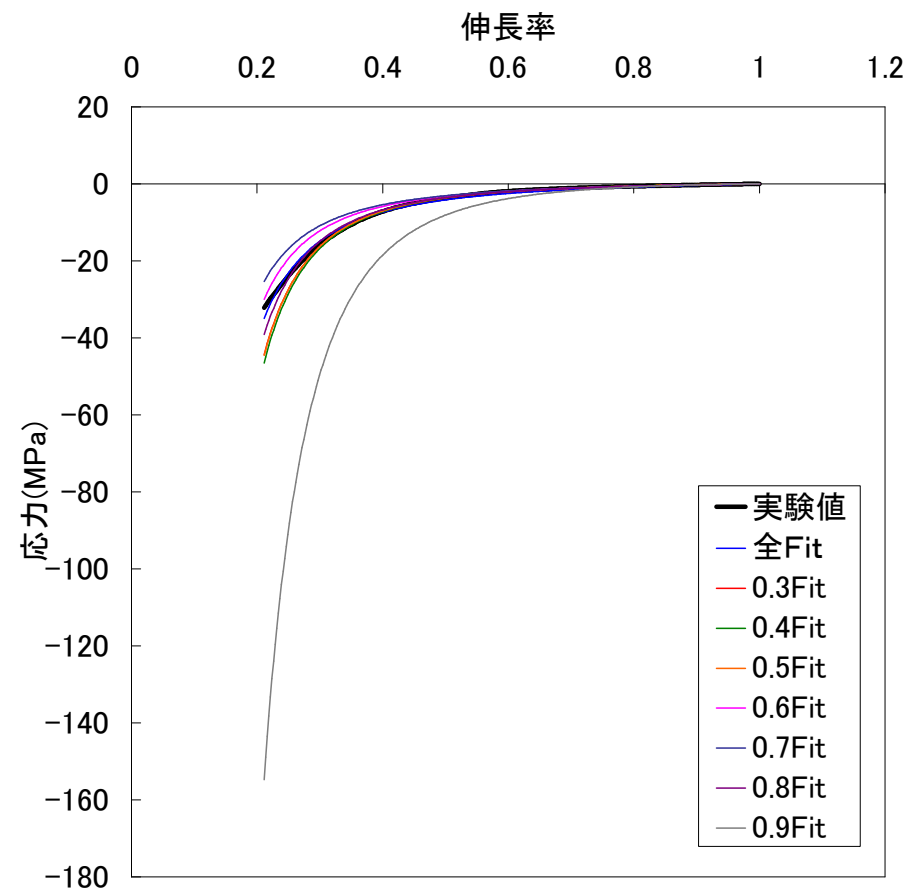
ゴムの種類に関係なく傾きは急になっていく

# SBR, IIRのMooneyプロット



引張 各伸長率ごとのFit結果

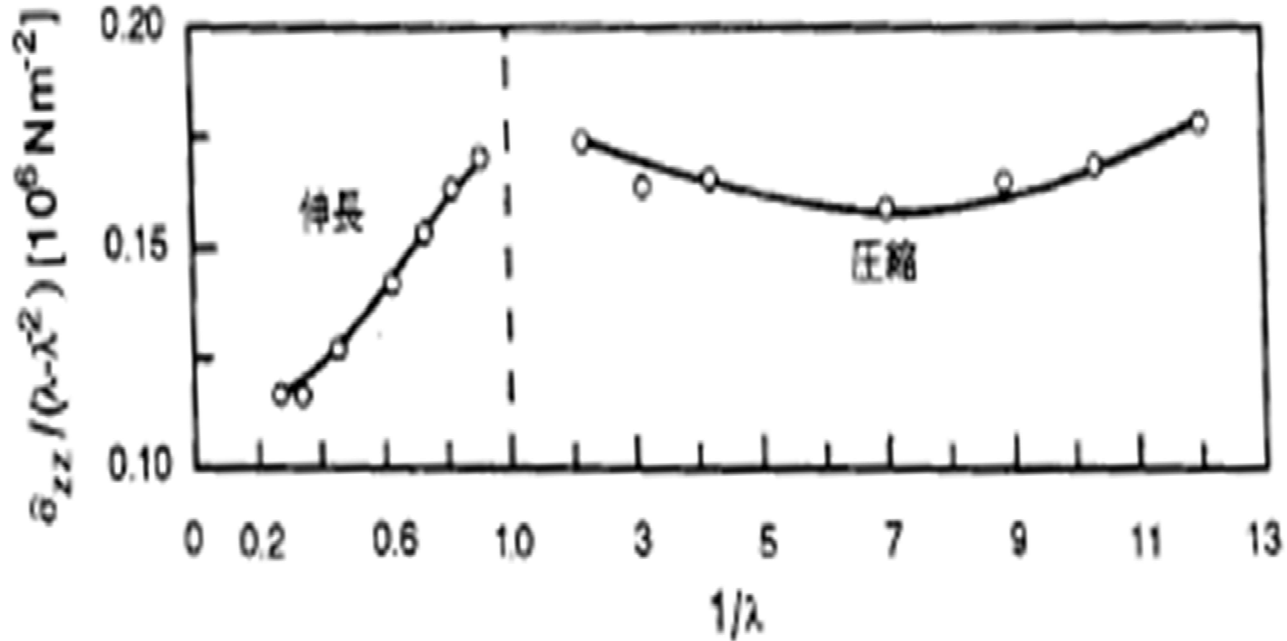
伸長率4までの結果まで記述可能



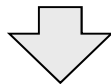
圧縮 各伸長率ごとのFit結果

伸長率0.3までの結果まで記述可能

# Mooneyプロットの直線の範囲

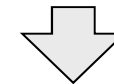


引張の適用範囲



約0.2~0.9までの範囲

圧縮の適用範囲



約2~13までの範囲

# SBR,IIRの材料物性

試料名	高度	カーボンブラック重量分率 (%)
SBR55	55	27.77
SBR65	65	32.48
SBR75	75	38.04
IIR27	27	0.00
IIR55	55	22.73
IIR65	65	29.43
IIR75	75	36.39