

# 合成ゴムの高電圧ゴムケーブルへの応用

渡辺茂隆\* 吉川充雄\*\* 庄司博\*\*\*

## The Application of Synthetic Rubbers for High Voltage Rubber Insulated Cables

By Shigetaka Watanabe, Michio Kikkawa and Hiroshi Syōji  
Hitachi Electric Wire and Cable Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The characteristics of butyl rubbers were tested for high voltage insulators and compared with other insulators. From the results of ozone exposure test, and heat ageing test at 120°C, butyl rubbers showed far superior heat-resistant and ozone-resistant properties as compared to natural rubber or GR-S. Electrical test results proved that the power factor and its variations due to temperature were smaller in butyl rubbers as compared to other insulators. From these tests, it was ascertained that butyl rubber is by far the most superior insulating material for high voltage rubber insulated cables. It was also determined through actual tests that the application of conductive rubber is most effective in preventing corona discharge in cables. Test results on butyl rubber insulated neoprene sheathed 10 kW power cables further indicated that the characteristics of this type cables were most suitable, indicating the possibility of wider application.

### 〔I〕 緒 言

高電圧ゴムケーブルは紙絶縁鉛被ケーブルに比べて、軽量であり、可撓性もすぐれさらに機械的損傷を受け難く、取扱いが便利であるなど非常にすぐれた特性をもちながら、絶縁破壊に対する信頼度が乏しかったため、従来はレントゲンケーブルその他の特殊の用途以外にはほとんど使用できなかつた。しかし天然ゴムに代つて耐オゾン性、耐熱性、耐老化性が格段にすぐれた合成ゴム—ブチルゴムとネオプレン—が実用できるに至つて、最近では発電所の主幹ケーブル用、高圧送配電線用などを始めとして、高圧電気機器の配線用、耐熱口出線その他一般配線に至るまできわめて広い分野に用途が拡張されるに至つた。日立製作所においても 15 kV 級まで製造を行つており好評を博しているが、本報には料材の特性、ケーブル構造上の改良点およびケーブルの特性について現在までにえられた結果の概要を報告する。

### 〔II〕 ブチルゴムの特性

ブチルゴムはイソブチレンに 1.5~3.0% のイソプレン

\* \*\* \*\*\* 日立製作所日立電線工場

を添加して -98°C の低温でイオン重合させた合成ゴムで、米国およびカナダにおいて 1940 年代の初期から工業生産が始められ、現在では米国の GR-I が 8 種とカナダの Polymer Corp. から Polysar Butyl の商品名で 5 種とが市販されており、一般にブチルゴムと総称されている。(第 1 表参照)

ブチルゴムは化学的に安定である飽和炭化水素のポリイソブチレンに微量のイソプレンを含有させて加硫を可能ならしめたものであり、したがつて電気特性、耐オゾン性、耐熱性および耐老化性がすぐれ、またガス、湿気の透過性がきわめて小さい。これらの特性は天然ゴムおよび他の合成ゴムよりはるかにすぐれているが、反面加硫が遅く、冷間流動性を持ち、加硫中に発泡しやすいなど加工上の難点があるため、他の合成ゴムに比較して応用面の開拓が遅れ、従来はインナーチューブ、加硫バッグなどの方面にもつぱら用いられて来たが、最近数年間に加硫剤および充填剤の研究がすみ加工法も改善されて高電圧ゴムケーブルの絶縁材料としても用途が確立されるに至つた。

以下ブチルゴムの機械的性質、耐熱老化性、耐オゾン性について試験結果の概要を報告する。

(1) 機械的性質

ブチルゴムは第1表に示すようにそれぞれの用途に応じて重合度および不飽和度の異なるものが市販されているが、いずれもほかのゴムに比較して加硫速度が遅く、このため種々の加硫促進剤が利用されている<sup>(1)(2)</sup>。

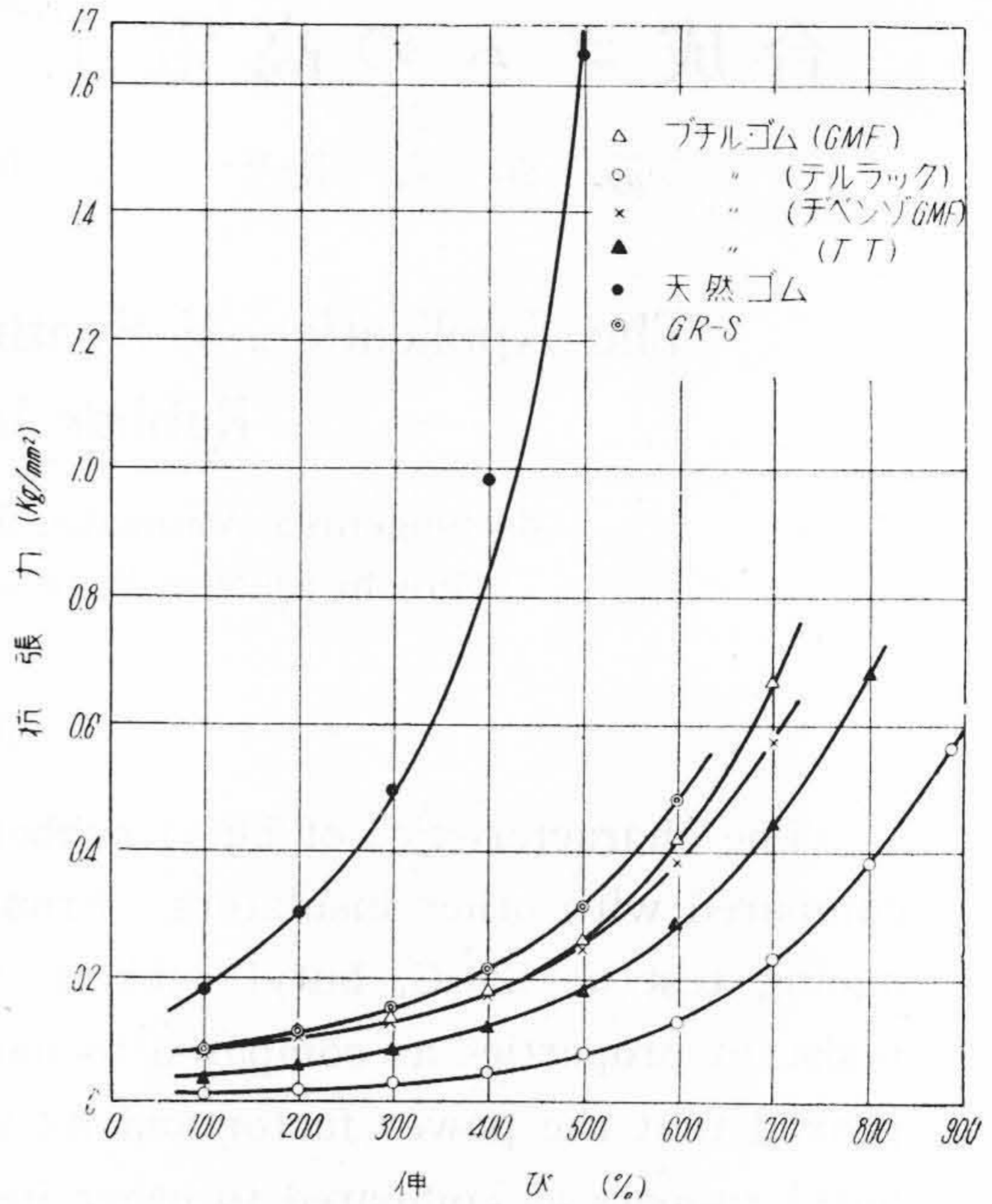
ブチルゴムの加硫促進剤として一般に用いられているものを第2表に示したが、これらはチウラム系、金属 (Te, Se, Zn など) のジチオカルバミン酸塩系およびジオキシム系の3種類に大別することができ、これらを配合した混和物はそれぞれに多少異つた特性を示す。チウラム

第1表 ブチルゴム市販品の種類  
Table 1. Commercial Butyl Rubber

名称	イソプレン含有量 (重量%)	重合体粘度 (ML. 100°C)	備考
GR-I	2.0	41~49	標準品
GR-I15	2.5	41~49	一般品, インナーチューブ用
GR-I16	2.5	50~60	一般品
GR-I17	2.5	61~70	一般品
GR-I18	2.5	最低 71	分子量が大きい
GR-I25	3.0	41~49	加硫が早い, 加硫バツク用
GR-I40	2.0	30~40	一般品
GR-IR21	1.5	38~47	耐オゾン性大, 電線用
Polysar Butyl 100	1.5	41~49	耐オゾン性大, 電線用
" 200	2.0	41~49	一般品, インナーチューブ用
" 300	2.5	41~49	一般品, インナーチューブ用
" 301	2.5	70~80	分子量が大きい
" 400	3.0	41~49	加硫が早い

第2表 ブチルゴム用加硫促進剤  
Table 2. Accelerators for Butyl Rubber

加硫促進剤	商品名(慣用名)	化学構造
Tetramethyl thiuram monosulfide	TS	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{N} - \text{C} - \text{S} - \text{C} - \text{N} \\ \diagdown \quad \parallel \quad \parallel \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{S} \quad \text{S} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
Tetramethyl thiuram disulfide	TT	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{N} - \text{C} - \text{S} - \text{S} - \text{C} - \text{N} \\ \diagdown \quad \parallel \quad \quad \parallel \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{S} \quad \quad \text{S} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
Tellurium diethyl dithiocarbamate	テルラック	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \diagup \\ \text{N} - \text{C} - \text{S} - \text{Te} - \text{S} - \text{C} - \text{N} \\ \diagdown \quad \parallel \quad \quad \parallel \quad \diagdown \\ \text{C}_2\text{H}_5 \quad \text{S} \quad \quad \text{S} \quad \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$
Zinc dimethyl dithiocarbamate	ノクラックPZ	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagup \\ \text{N} - \text{C} - \text{S} - \text{Zn} - \text{S} - \text{C} - \text{N} \\ \diagdown \quad \parallel \quad \quad \parallel \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{S} \quad \quad \text{S} \quad \text{CH}_3 \end{array}$
Selenium diethyl carbamate	セルラック	$\begin{array}{c} \text{C}_2\text{H}_5 \\ \diagup \\ \text{N} - \text{C} - \text{C} - \text{S} - \text{Se} - \text{S} - \text{C} - \text{N} \\ \diagdown \quad \parallel \quad \quad \parallel \quad \diagdown \\ \text{C}_2\text{H}_5 \quad \text{S} \quad \quad \text{S} \quad \text{C}_2\text{H}_5 \end{array}$
Dibenzoyl quinone dioxime	ヂベンゾ GMF	$\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CO} - \text{ON} = \text{C}_6\text{H}_4 = \text{NO} - \text{CO} - \text{C}_6\text{H}_5$
Quinone dioxime	GMF	$\text{HON} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{NOH}$



第1図 各種絶縁ゴムの応力歪曲線  
Fig. 1. Stress-Strain Curves of Rubber Insulators

(T.T), テルラック, チベンゾ GMF および GMF の各混和物(ゴム分 50%, 白色充填剤配合)の機械的性質を第3表および第1図に示す。

第3表および第1図には絶縁ゴムとして一般に用いられている天然ゴムおよび GR-S の絶縁配合混和物の特性を併記したが、これからわかるようにブチルゴムは天然ゴムに較べて抗張力およびモジュラスが低い。しかし後述のように耐熱老化性がよいので長期使用中には天然ゴムよりまさる結果となる。それゆえ従来の天然ゴムのデータにとられる必要はなく、実用上の見地から考え直さなければならぬであろう。耐オゾン性絶縁ゴムは米国の ASTM 規格値 (D-574-52T) も低く、抗張力 0.32 kg/mm<sup>2</sup>, 伸び 250% の値を規定している。

(2) 耐熱性

ブチルゴム, GR-S および天然ゴムの耐熱性を比較するため

第3表 絶縁配合ゴム混和物(ゴム分50%)の機械的性質

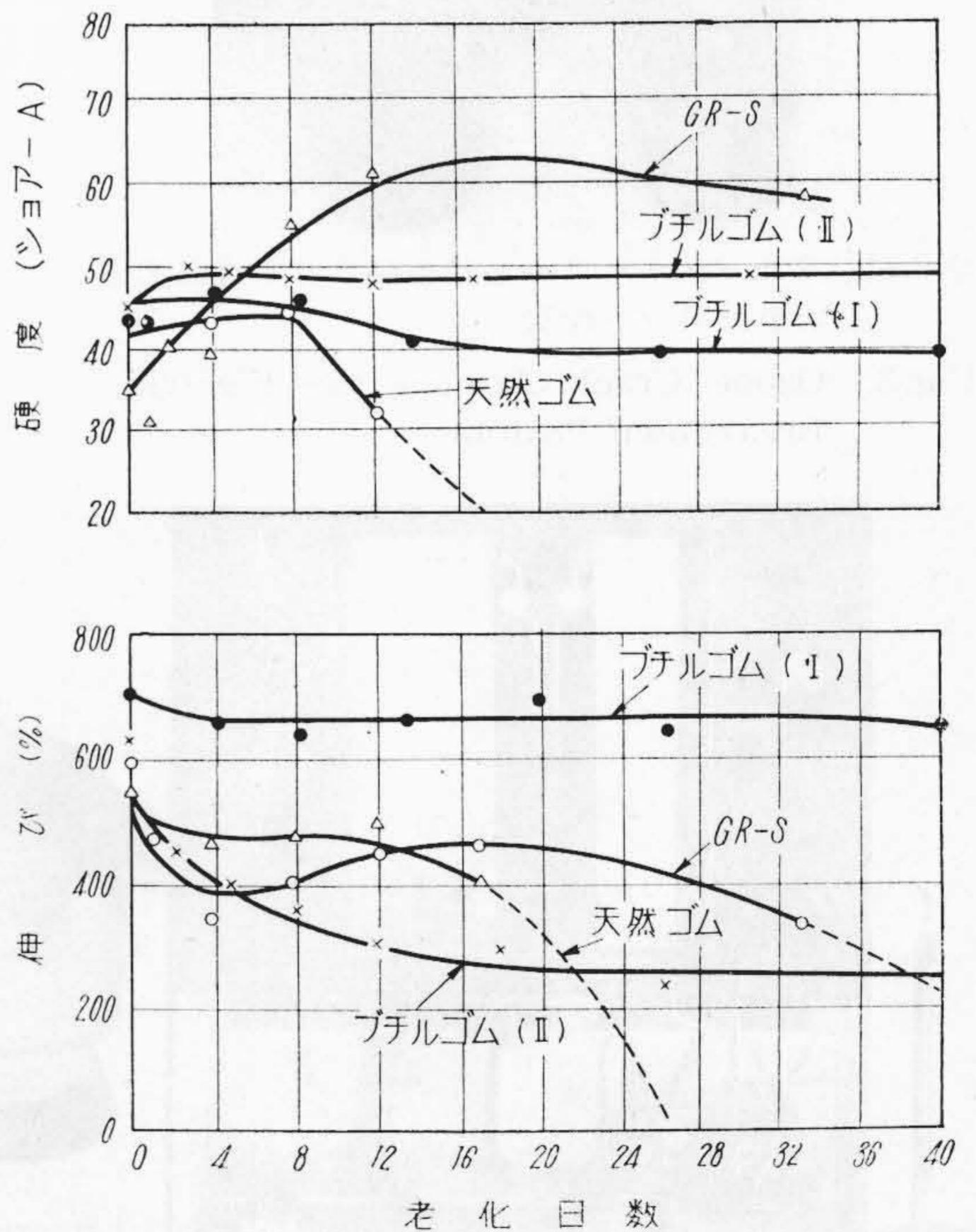
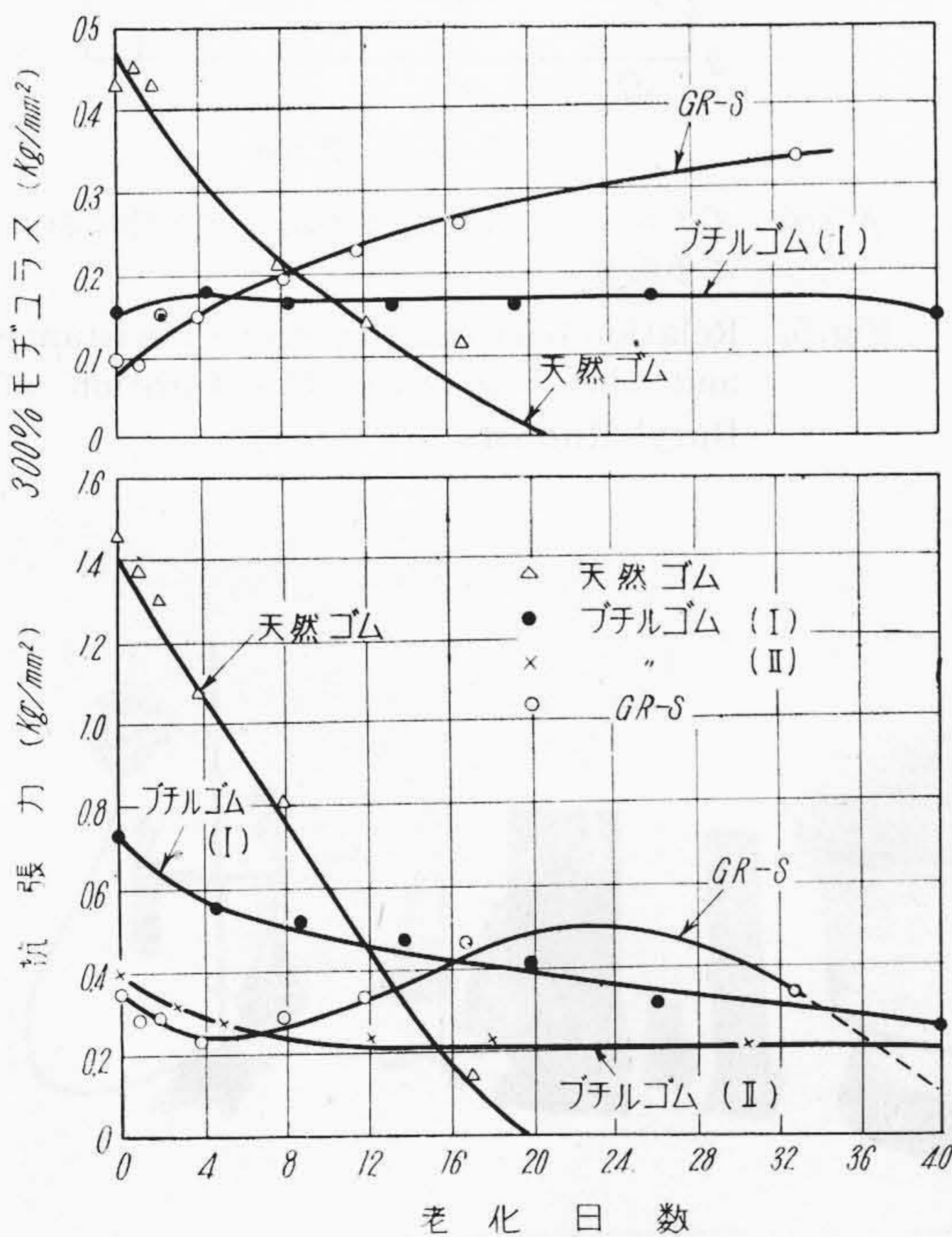
Table 3. Mechanical Properties of Rubber Compounds (Rubber Content 50%)

加硫時間 (mn)	測定項目	ブチルゴム				GR-S	天然ゴム
		GMF	テル ラック	dibenzo GMF	T.T.		
30	Ts	0.76		0.72		0.60	1.75
	E	743		800		670	480
	H	43	(未加硫)	40	(未加硫)	45	40
	300 M	0.13		0.12		0.15	0.67
	500 M	0.23		0.21		0.30	—
60	Ts	0.73	0.65	0.72	0.76	0.47	1.78
	E	720	950	760	840	600	510
	H	44	25	43	33	42	41
	300 M	0.14	0.03	0.13	0.08	0.15	0.49
	500 M	0.26	0.08	0.24	0.17	0.31	1.65
90	Ts	0.83	0.77	0.78	0.94	0.49	1.91
	E	700	730	710	780	600	480
	H	44	33	43	36	43	41
	300 M	0.16	0.09	0.17	0.12	0.16	0.65
	500 M	0.32	0.20	0.32	0.25	0.34	—
120	Ts	0.81	0.98	0.83	0.96	0.35	1.83
	E	710	740	710	750	470	492
	H	44	35	44	37	43	41
	300 M	0.16	0.09	0.17	0.13	0.19	0.62
	500 M	0.44	0.24	0.32	0.28	—	—

(注) Ts: 抗張力(kg/mm<sup>2</sup>) E: 伸び(%) H: 硬度(シヨア)  
 300 M: 300% モデュラス (kg/mm<sup>2</sup>)  
 500 M: 500% モデュラス (kg/mm<sup>2</sup>)

120°C 熱空気老化試験を行い、抗張力、伸び、硬度および300%モデュラスの変化を測定した結果を第2図に示す。測定に使用した試料はすべてゴム分50%の絶縁配合である。なお、ブチルゴムは前述のように生ゴムの種別と加硫剤の組合せによつてかなり異つた性質を示すので第2図には一例として2種類の配合についての結果を併記した。

120°C 老化はゴムにとっては相当苛酷な老化試験であり、天然ゴムは20日たらずの間に硬化してぼろぼろとなる。ブチルゴムは第2図の結果からわかるように、初期の抗張力は低いが熱老化による機械的特性の変化はほとんどない。またこの図には表わされていないが、120°C 老化を100日間行つても配合(I)の試料では抗張力0.1 kg/mm<sup>2</sup>、伸び400%、配合(II)の試料では抗張力0.25 kg/mm<sup>2</sup>、伸び100%の値を示し、未だ伸びの点からみてゴムらしさを失わず使用可能の状態であつた。耐熱空気性がよいといわれるGR-Sは天然ゴムに比較すれば熱老化による特性の変化は少いが、モデュラスが大きくなり硬化する傾向があらわれ、大体50日程度で屈曲により亀裂が生ずるようになり使用不能となる。ブチルゴムは老化によつて硬化する傾向はなく、かえつて解重合のため軟化する傾向がある<sup>(3)</sup>。したがつて亀裂を生ずるようなことはなく、絶縁ゴムとしては好適な性質をもっている。なお第2図の抗張力の変化からもわかるが、ブ

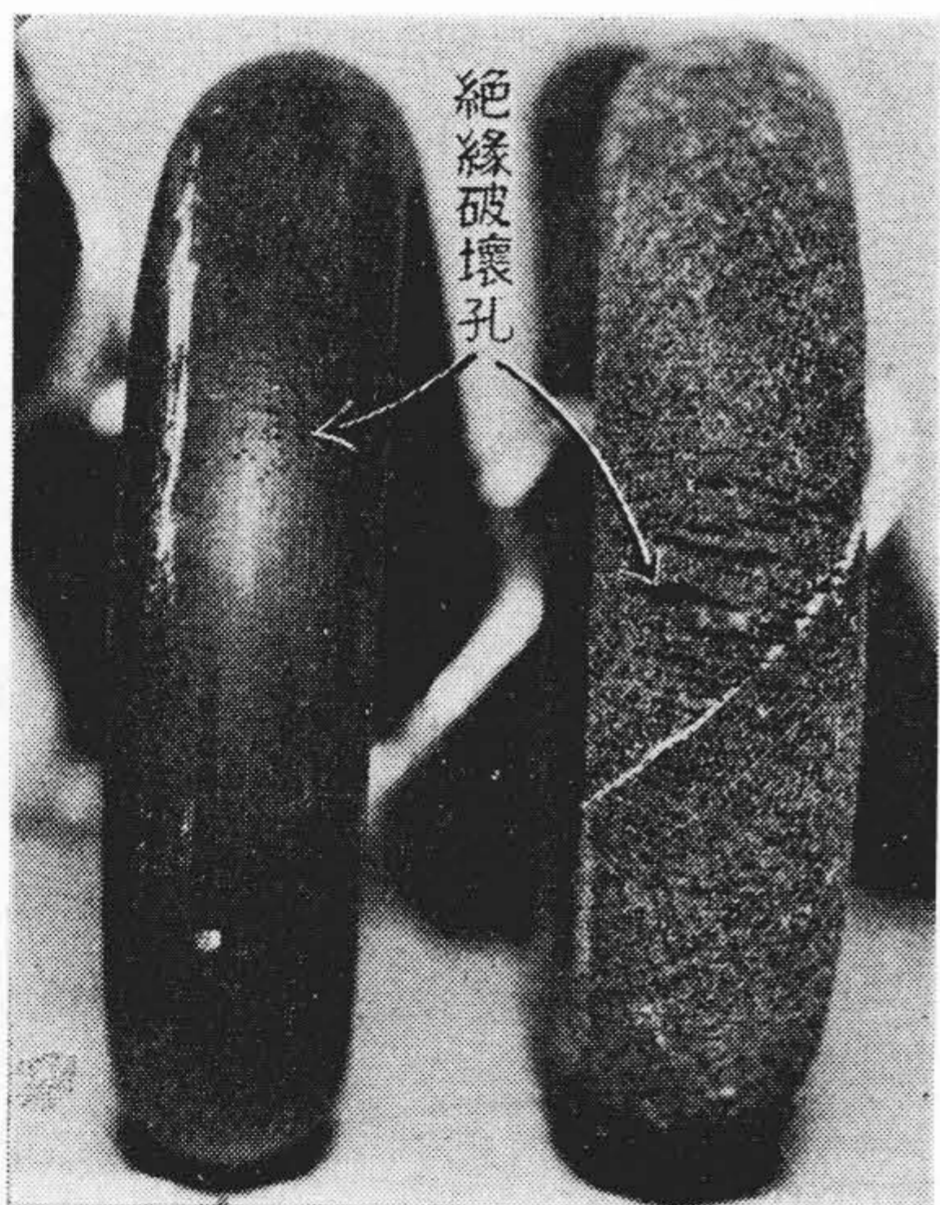


第2図 各種絶縁ゴムの120°C熱空気老化試験結果  
 Fig. 2. Results of Air Oven Test at 120°C

チルゴムの軟化する傾向は GMF 系加硫物よりも T.T. 加硫物の場合がやゝ大きいように見受けられ、GMF 系加硫の試料は 120°C, 100 日間老化を行つても目立つた軟化は見られず、T.T. 加硫物の場合はわずかではあるが粘稠なポリイソブチレン状物質が表面に遊離してくるようである。

(3) 耐オゾン性

高電圧ゴムケーブルの絶縁破壊は高電圧に伴うコロナによつてオゾンが発生し、絶縁ゴムに第3図に示したようなオゾン亀裂が生ずることが最大の要因とされている。このためゴム絶縁体の耐オゾン性の改良は高電圧ゴムケーブルにとつて最も大きな問題の一つである。筆者らは ASTM D-470-52T に準じて第4図に示すようなオゾン曝露試験器を組立てて、各種合成ゴムのオゾン亀

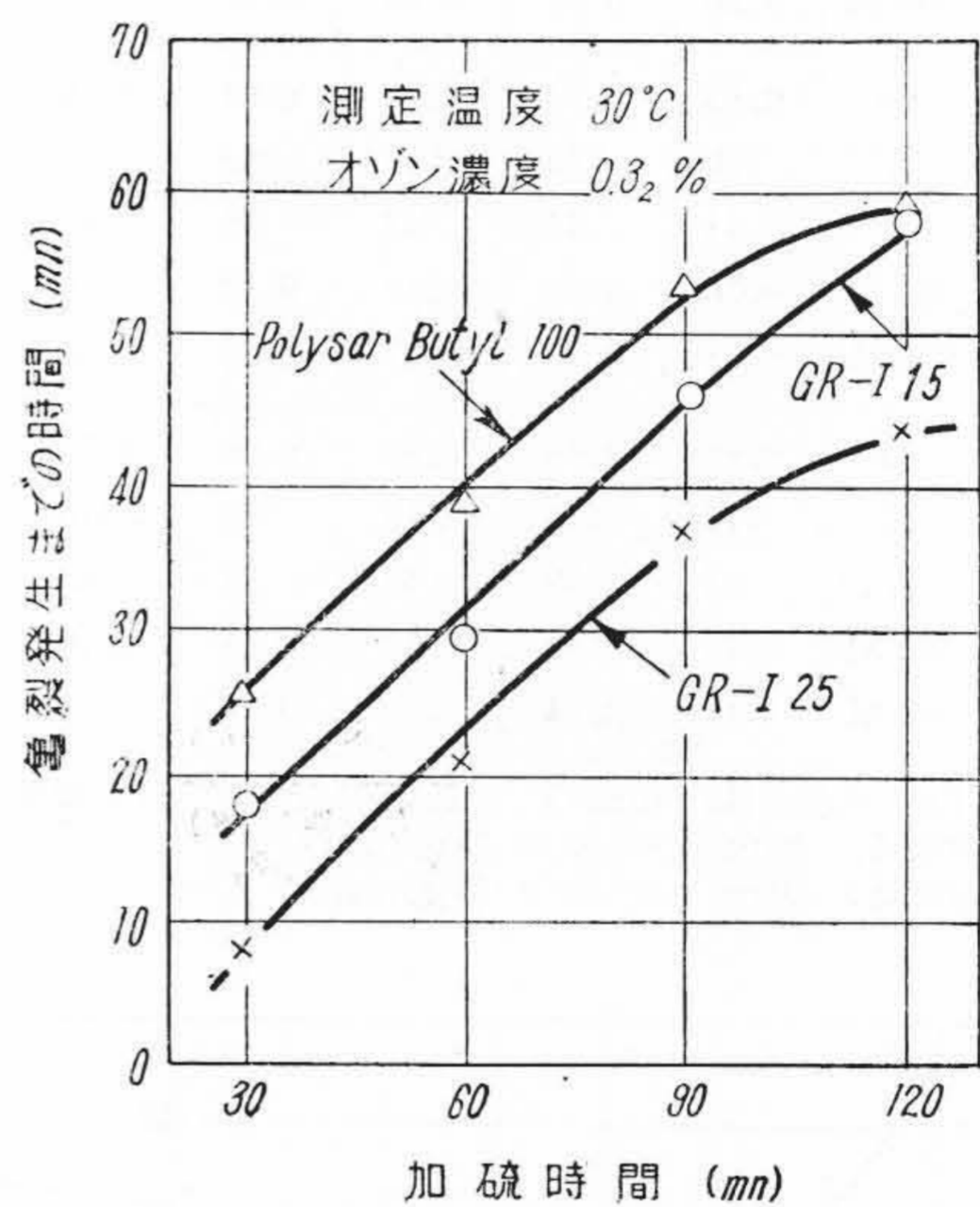


第3図 高圧ゴムケーブルの絶縁破壊孔附近にあらわれたオゾン亀裂

Fig.3. Ozone Crack Around the Electric Breakdown Position

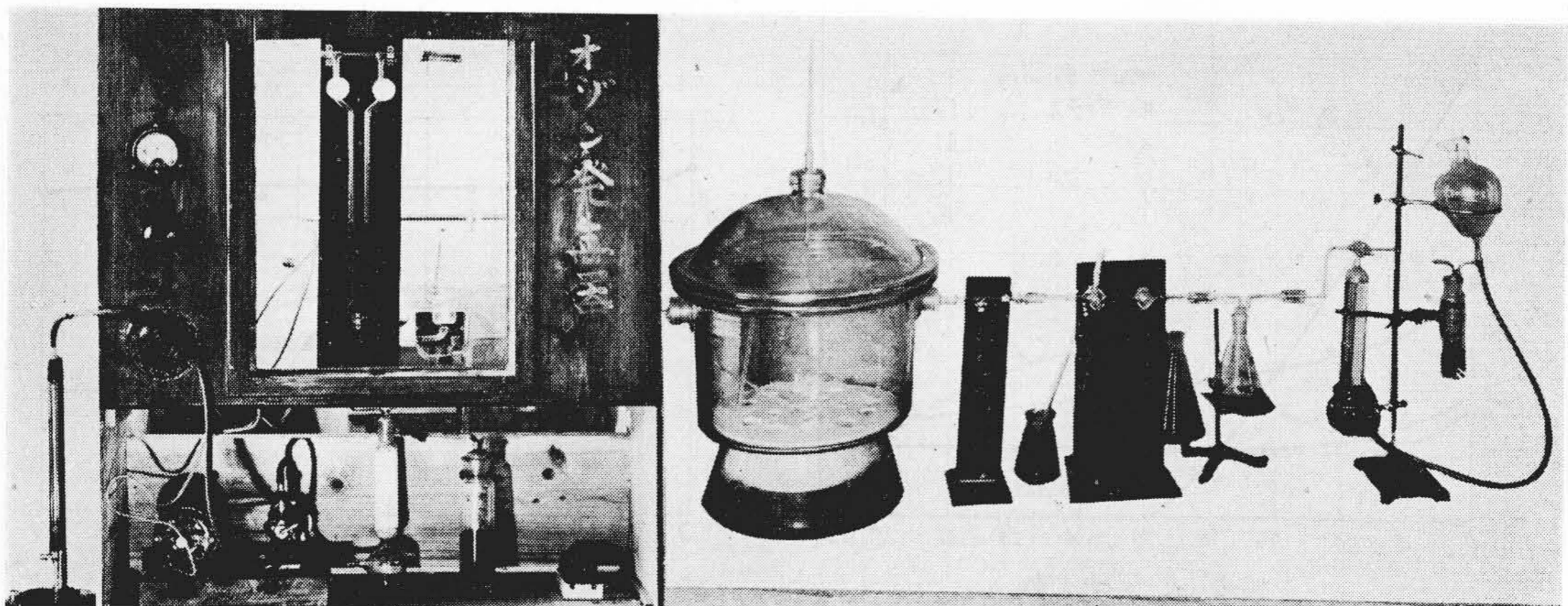
裂について種々の検討を加えている(4)~(7)。この方面に関する研究は、耐オゾン性の強い合成ゴムが市場にあらわれてから急速に活潑となり(8)~(15)、その研究成果もあらわれているが、オゾン亀裂の発生機構はまだ十分に解明されていない。したがつて防止法としてはゴムを歪のない状態におくか、またはゴム分子中の不飽和性を完全になくするかの2つの方法しか考えられないが、いずれも現用の一般絶縁ゴムにとつては不可能である。しかし、不飽和性の少いゴムを使用すること、あるいはある種の老化防止剤(16)を加えることによつて、ゴムの耐オゾン性は著しく改善できる。

まず各種合成ゴムの耐オゾン性を比較するため、充填



第5図 ブチルゴムの不飽和度が耐オゾン性におよぼす影響

Fig.5. Relation between the Ozone Resistance and the Degree of Unsaturation of Butyl Rubbers



オゾン発生器 曝露試験槽 オゾン定量装置  
第4図 オゾン曝露試験器の外観 Fig.4. Ozone Exposure Tester

合成ゴムの高電圧ゴムケーブルへの応用

第 4 表 各種合成ゴムの耐オゾン性比較  
Table 4. Comparison of Ozone Resistance of Synthetic Rubbers

ゴムの種類	ゴムの化学組成	亀裂発生までの時間 (mn)	耐オゾン性
天然ゴム	$[-CH_2-C(CH_3)=CH-CH_2-]_n$ 100%	<1.5	非常に弱い
GR-S 65	$[-CH-(C_6H_5)-CH_2-]_m + [-CH_2-CH=CH-CH_2-]_n$ 23.5% 76.5%	<1.3	非常に弱い
ハイカー OR 15	$[-CH_2-CH(CN)-]_m + [-CH_2-CH=CH-CH_2-]_n$ 35~41% 65~60%	4	弱い
ネオプレン GN-A	$[-CH_2-C(Cl)=CH-CH_2-]_n$ 100%	9	稍強い
ネオプレン Q	$[-CH_2-CH(Cl)-]_m + [-CH_2-C(Cl)=CH-CH_2-]_n$ (30%~50%) (70~50%)	21	強い
GR-I 15	$[-C(CH_3)_2-CH_2-]_m + [-CH_2-C(CH_3)=CH-CH_2-]_n$ 9.5% 2.5%	35	非常に強い
珪素ゴム (SE 460)	$[-Si(CH_3)_2-O-]_n$ 100%	≥300	ほとんど影響をうけぬ
ハイパロン	$\left[ \begin{array}{c} -(CH_2-CH_2-CH_2-CH-CH_2-CH_2-CH_2)- \\   \quad \quad \quad   \\ Cl \quad \quad SO_2Cl \end{array} \right]_{17}^{(17)}$	≥300	ほとんど影響をうけぬ

(注) 試験条件: オゾン濃度 0.017% (容量), 流量 1 l/mn; 測定温度 22°C, 内圧 1.5 cm (水柱); 試料伸び 25%

第 5 表 各種合成ゴム試料の配合表  
Table 5. Recipe of Synthetic Rubber Samples

配合剤	ゴム種別	天然ゴム	ハイカー OR15	GR-S 65	ネオプレン GN-A	ネオプレン Q	GR-I 15	ハイパロン
生ゴム		100.0	1.000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
硫黄		2.0	2.0	2.0	—	—	1.5	—
T.T.		1.0	1.0	1.0	—	—	1.0	—
D.M.		—	—	—	—	—	1.0	2.0
マグネシア		—	—	—	2.0	2.0	—	—
リサージ		—	—	—	—	—	—	40.0
亜鉛華		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	—
ロジン		—	—	—	—	—	—	2.5
ステアリン酸		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	2.0

剤および老化防止剤を含まない基礎配合についてオゾン曝露試験を行つた結果を第 4 表に示した。供試々料は第 5 表配合のものについて 140°C, 30 分加硫を行つた厚さ 1 mm のシートで, 25% の伸びを与えオゾン濃度 0.017% で曝露試験を行い, 亀裂が発生するまでの時間を測定した。第 4 表の結果は合成ゴムの化学構造と耐オゾン性の関係を明瞭に示している。すなわち, 二重結合性の少ないものほど耐オゾン性は強く, 一般有機合成ゴム中ではブチルゴムが最もすぐれている。二重結合を含まない珪素ゴムおよびハイパロンはほとんどオゾンに侵されない。珪素ゴムは価格の点からも特殊用に限られるであろうが, ハイパロン<sup>(17)~(20)</sup>を保護被覆に応用することは検討中である。

つぎにブチルゴムの種別により不飽和度が異つて

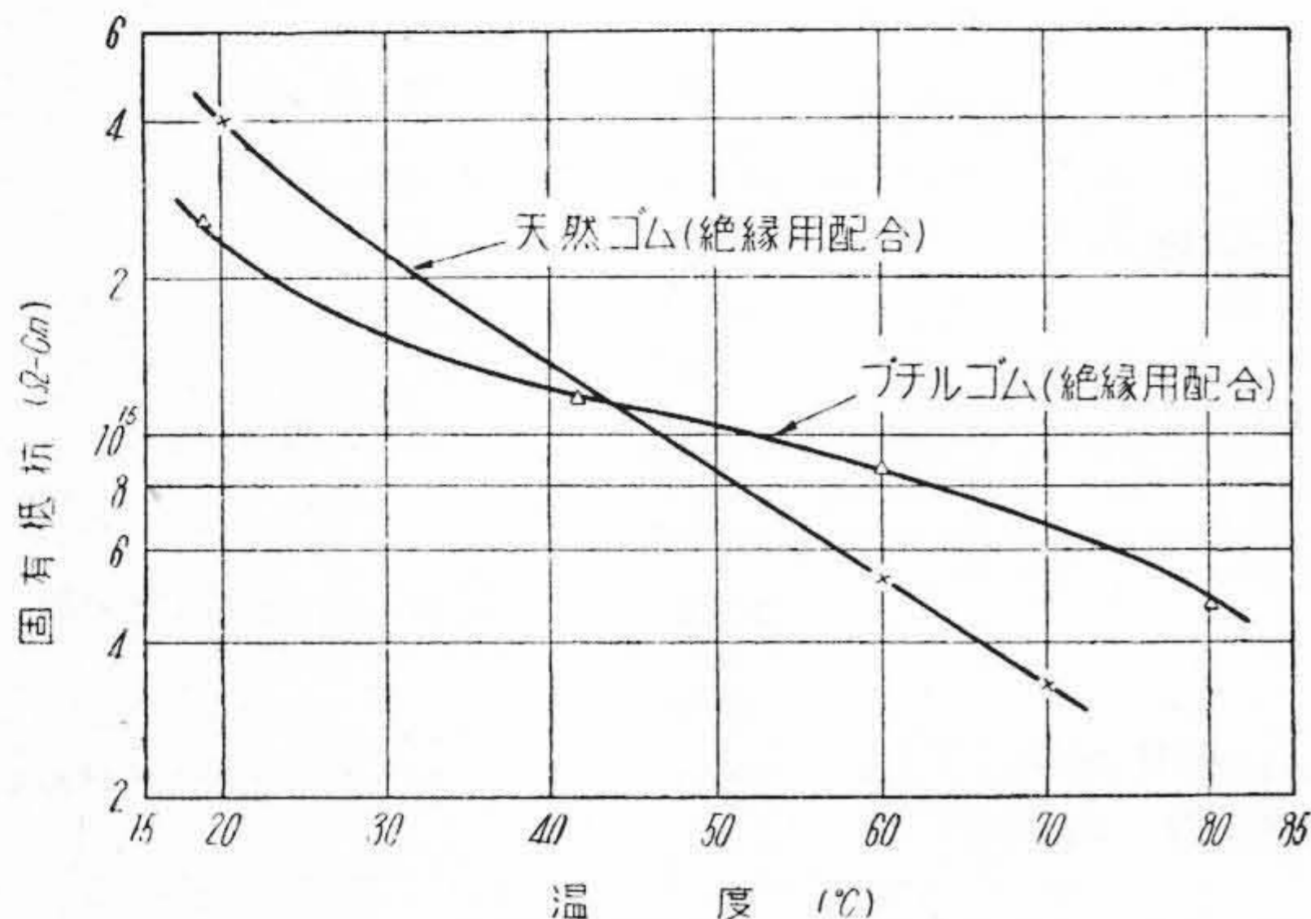
るので(第 1 表参照), この影響を検討した結果を第 5 図に示した。一般に不飽和度の低い, 換言すればイソプレン含有量の少ない品種が耐オゾン性はよいわけであるが, ブチルゴムの耐オゾン性はイソプレン含有量のみによつて決定できず, 加硫度によつて著しい差を生ずる<sup>(4)(21)</sup>。

第 5 図はイソプレン含有量がそれぞれ 3.0, 2.5 および 1.5% の GR-I 25, GR-I 15 およびポリサーブチル 100 について加硫時間を変えた試料に 25% の伸びを与えてオゾン曝露試験を行い, 亀裂発生までの時間を測定した結果である。これらの結果からイソプレン含有量の少ないものはオゾン亀裂が生じ難いが, それよりも加硫度による差がさらに大きいことがわかる。したがつてブチルゴムの十分な耐オゾン性をうるためには加硫を十分に行わなければならない。しかし, ブチルゴムは結合して

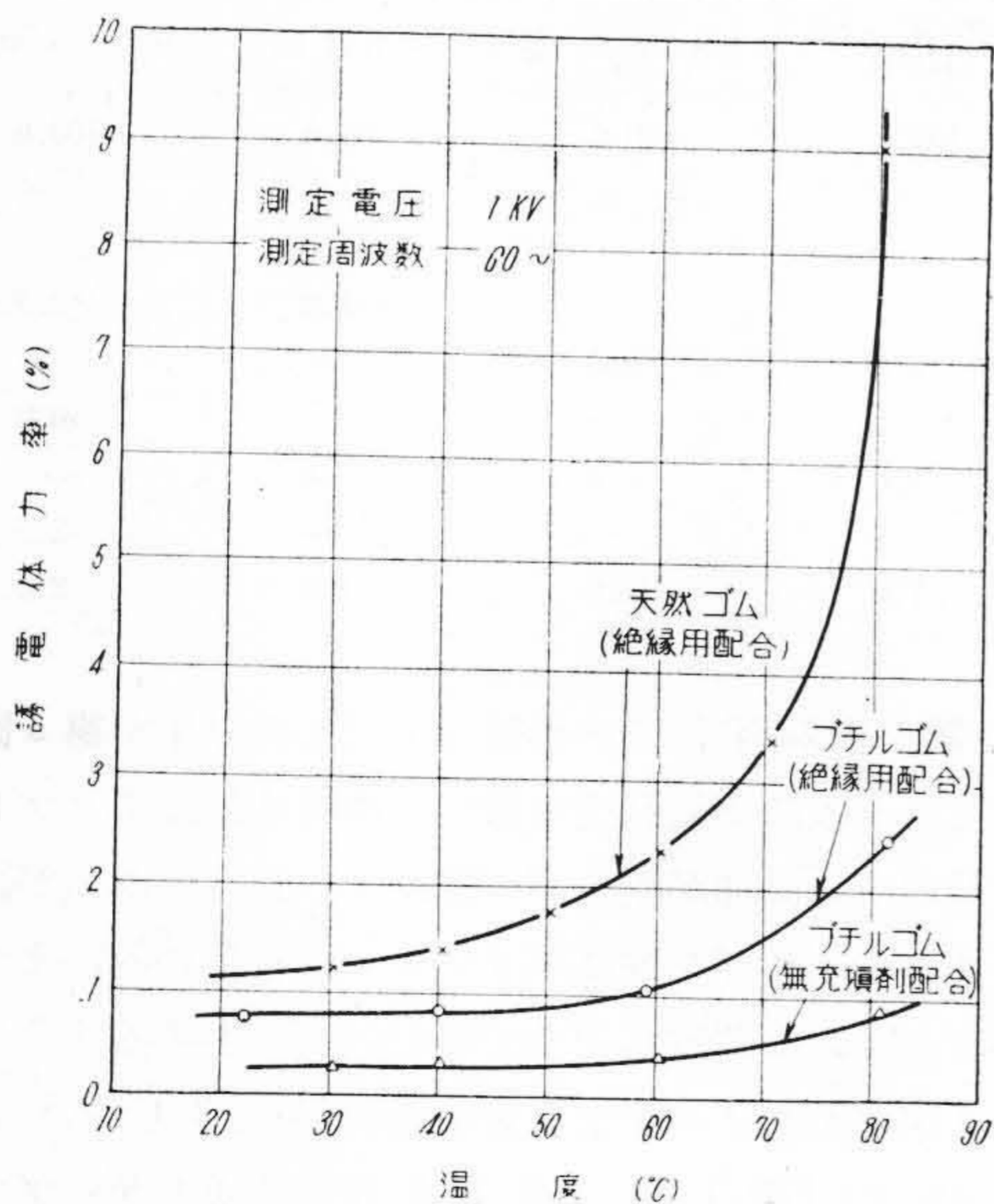
第6表 ブチルゴム混和物(ゴム分50%)の電気特性

Table 6. Electrical Properties of Butyl Rubber Compounds (Rubber Content 50%)

特性	充填剤	タルク	白艶華	HiSiI	クレ-	Celite 270	天然ゴム絶縁配合
固有抵抗 (30°C/Ω-cm)		>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>	>10 <sup>15</sup>
破壊電圧 (kV/mm)		27	23	30	26	28	29



第6図 固有抵抗の温度特性  
Fig.6. Variation of Specific Resistance with Temperature



第7図 絶縁ゴムの誘電体力率の温度特性  
Fig.7. Variation of Power Factor with Temperature

いるイソプレンの約1/3が網状化に役立つにすぎないといわれており<sup>(22)</sup>, 不飽和性を完全になくするまで加硫することは不可能である。したがってブチルゴムを用いる場合でもオゾンの影響を全然無視することはできない。

ブチルゴムの場合もこのように残留微量不飽和性が問題になるので, 今後の合成ゴムの研究は, 完全に飽和性であり, しかも架橋化によつて弾性体となるような合成ゴムの開拓の方へ進んで行くものと考えられる。最近のハイパロンおよびポリエチレンの放射線による架橋化<sup>(23)</sup><sup>(24)</sup><sup>(25)</sup>などの研究は, この方面への成果のあらわれであり, 日立製作所においてもこの実用化を検討している。

(4) 電気的特性

各種白色充填剤を含むブチルゴム混和物(ゴム分50%)の絶縁耐圧および固有抵抗の測定値を第6表に示し, 固有抵抗の温度特性を第6図に示した。同時に測定した天然ゴム絶縁配合混和物の値を併記したが, ブチルゴムはいずれの場合にも天然ゴムと同程度の値を示している。

つぎに誘電体力率を 20~80°C の温度範囲で測定した結果を第7図に示す。比較のため, ブチルゴム絶縁配合の外に天然ゴムおよび充填剤を含まぬブチルゴム加硫物の値を併記したが, ブチルゴムは天然ゴムに比較して誘電体力率が小さく, また特に温度による変化が少い。これは高電圧電力ケーブルの絶縁ゴムとして用いる場合には非常に有利な特性である。

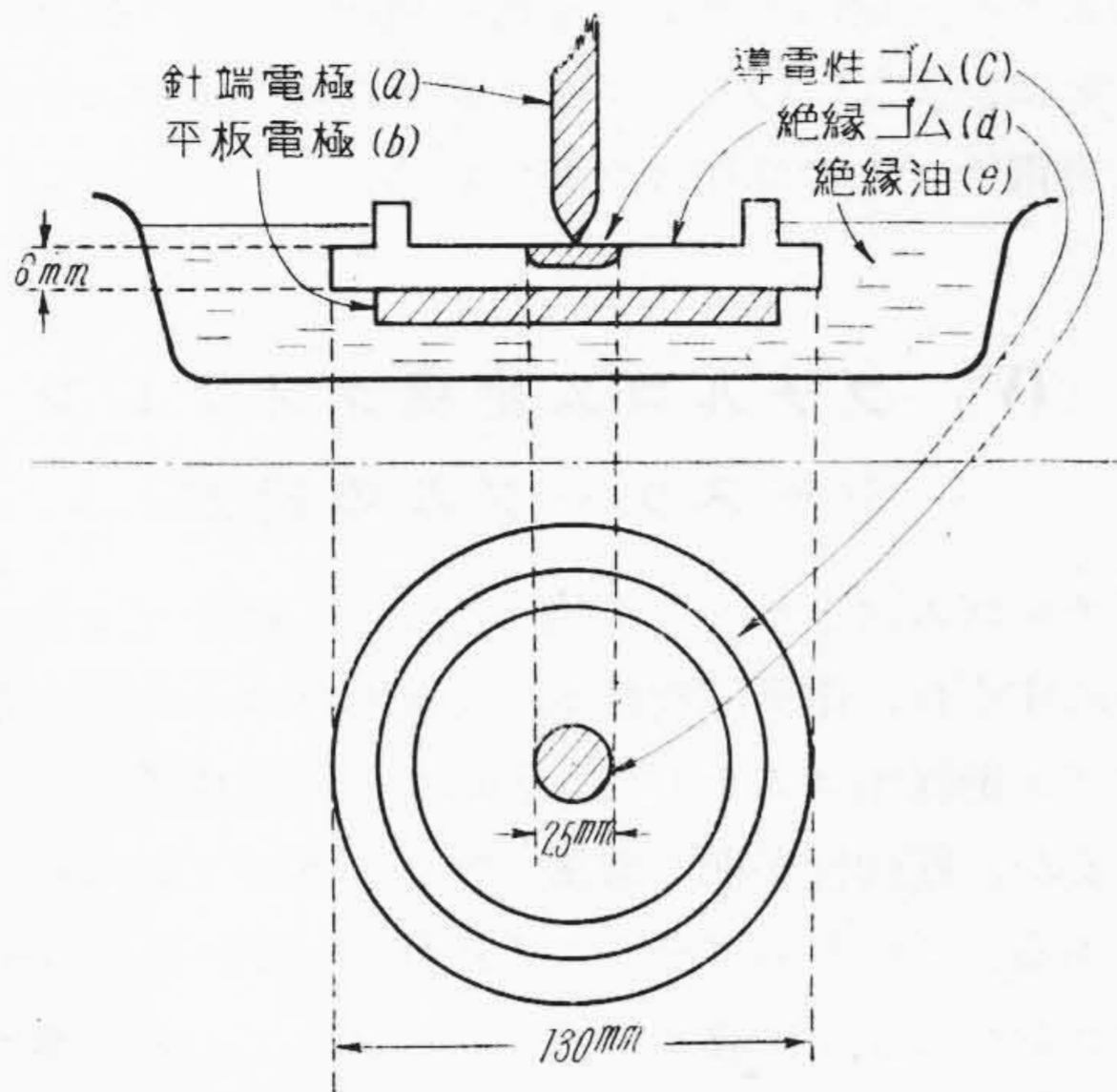
ブチルゴムの誘電体力率の温度による差がこのように小さいことは, ゴム分子鎖中の炭素原子1箇当りの側鎖の平均重量がGR-Sおよび天然ゴムに比較して大きいために熱運動が少くなるためと考えられる。炭素原子1箇当りの平均重量は天然ゴムは 5, GR-S は 10 であるに対して, ブチルゴムは 16 である。

[III] 導電性ゴムの効果

高電圧ゴムケーブルの心線表面に導電性ゴムを被覆してコロナの発生をおさえ, ケーブルの耐電圧特性を改良することは以前より知られている。しかし, いかなる特性を持つ導電性ゴムが, このような効果を十分満足させることができるかは検討の余地がある。最近カーボンブラック工業が進歩し, さらにそれと同時に導電性ゴムに関する研究も活発となり<sup>(26)</sup>~<sup>(29)</sup>, 種々の特性をもつ導電性ゴムが容易にえられるようになった。筆者らは種々の導電性ゴムについて, 検討を重ね, 簡単なモデル実験によつて導電性ゴムの効果を確かめることができたのでつぎに報告する。

(1) コロナ開始電圧の測定

第8図に示すような絶縁ゴム(d)中に導電性ゴム(c)を埋め込んで成型した試料をつくり, これを平板電極(b)と針端電極(a)の間にはさみ両極間に高電圧を印加してコロナ開始電圧を測定する。もし, 導電性ゴムの効果が十分であれば, 針端の電位は完全に導電性ゴムと絶縁ゴムの球状接触面に移行するから, 針端効果は消失してコ

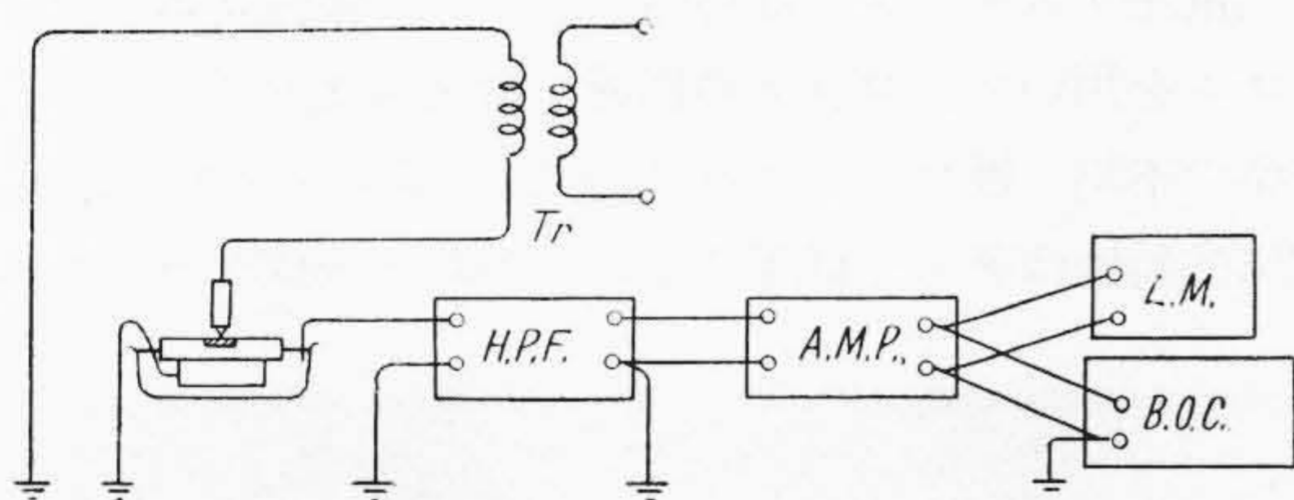


第8図 コロナ開始電圧測定用電極および試料  
Fig. 8. Electrode and Sample for Measurement of Ionization Voltage

第7表 導電性ゴムのカーボン配合量とコロナ開始電圧の関係

Table 7. Relation between Ionization Voltage and Carbon Content of Conductive Rubber

試料番号	1	2	3	4	5
カーボン配合量 (PHR)	0	15	30	50	70
コロナ開始電圧 (kV)	2.0	2.1	4.6	5.0	5.3



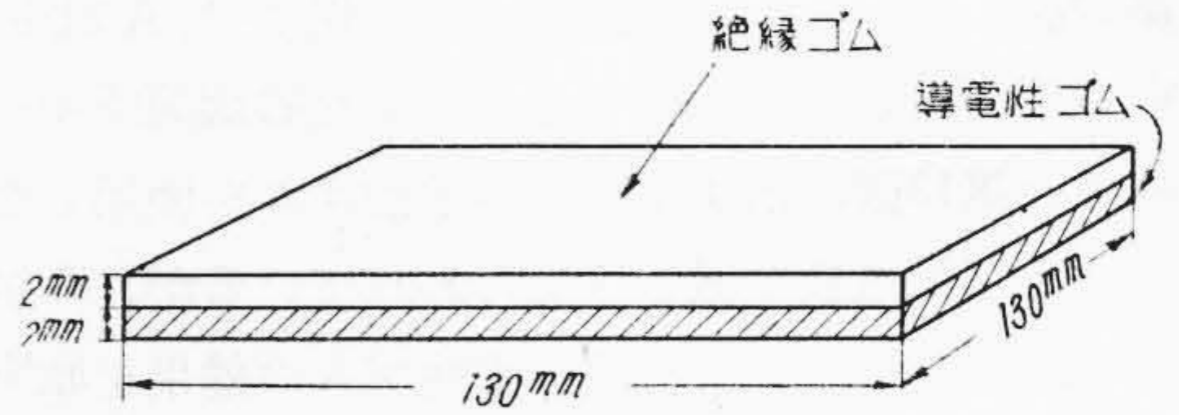
Tr: 試験変圧器      H.P.F.: 高域通過濾過器  
A.P.M.: 増幅器      L.M.: レベルメータ  
B.O.C.: ブラウン管オシロスコープ

第9図 コロナ直視装置  
Fig. 9. Diagram of Corona Detecting Set

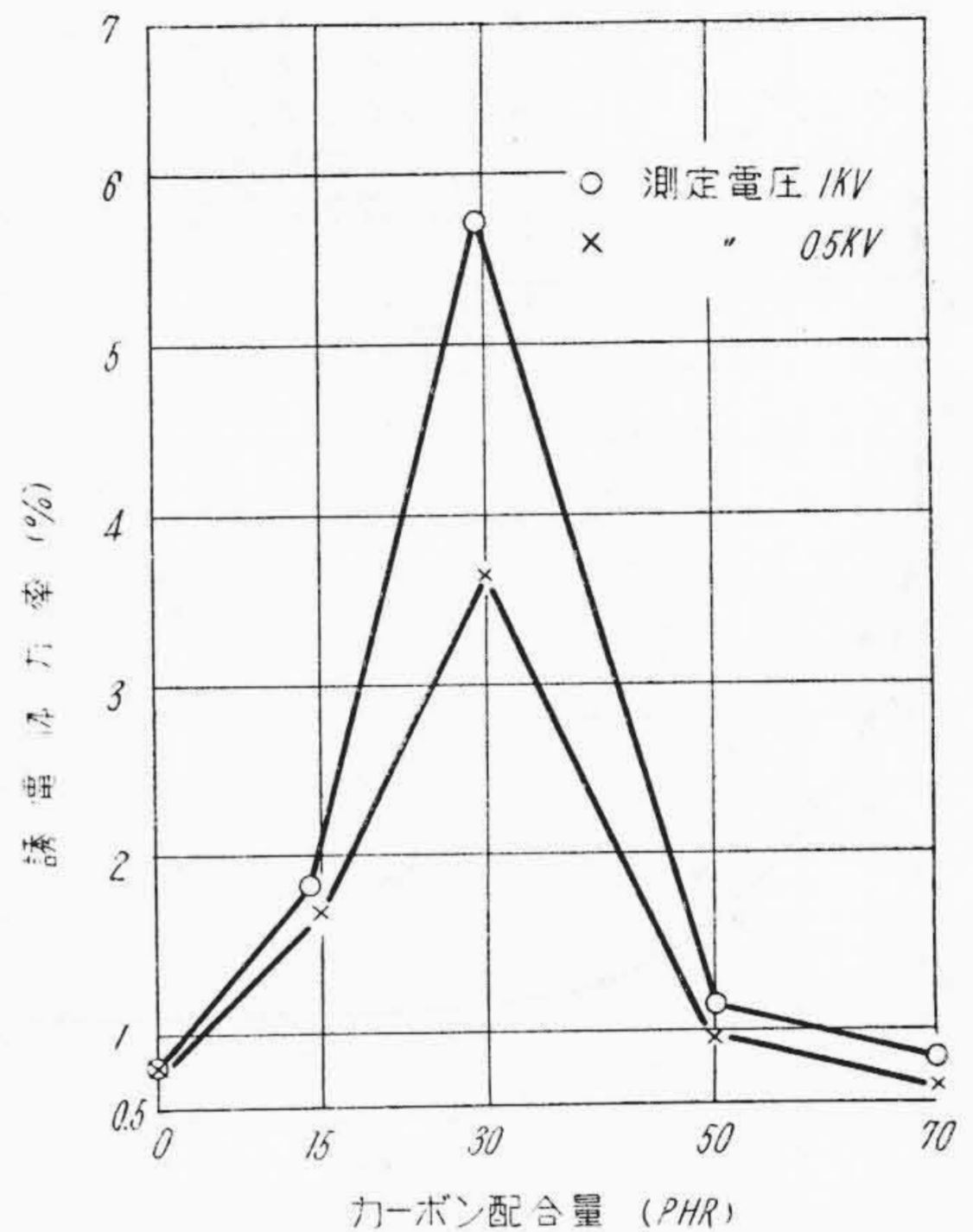
コロナ開始電圧は著しく高くなる筈である。第7表は特殊な導電性ゴム用カーボンブラックをゴムに配合した場合の、カーボンブラック配合量と導電性ゴムとしての効果をこの方法で検討した結果で70 PHR 配合した導電性ゴムを用いればコロナ開始電圧が2倍以上大きくなることわかる。なおコロナ開始電圧は第9図に示したコロナ直視装置を用いて測定した。

(2) 誘電体力率の測定

導電性ゴムと絶縁ゴムを第10図のように張り合せて加



第10図 誘電体力率測定用試料  
Fig. 10. Sample for Measurement of Power factor



第11図 カーボン配合量と誘電体力率の関係  
Fig. 11. Relation between Power Factor and Carbon Black Content

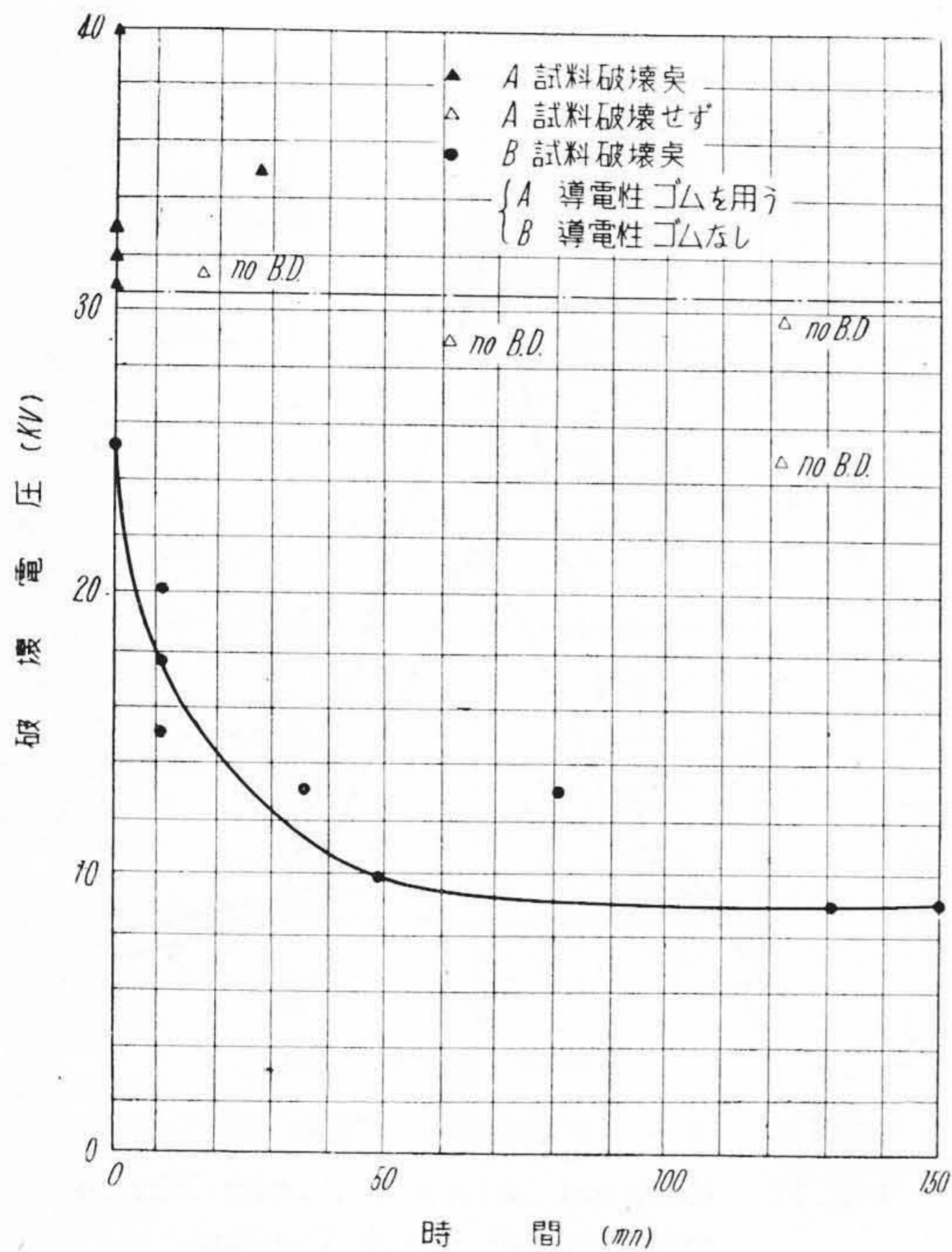
硫した試料を作り、シェーリングブリッジにて誘電体力率を測定した。もし、導電性ゴムの効果が十分であれば導電性ゴム側の電極の電位は接着面まで移行するから、誘電体力率の値は絶縁ゴムの場合と同じとなる筈である。前と同じく特殊カーボンブラックの配合量を変えた試料についてこの実験を行つた結果を第11図に示す。この結果からこの種類のカーボンブラックを70 PHR 配合すれば満足すべき電気特性をもつ導電性ゴムがえられることがわかる。

(3) 試作線による効果の確認

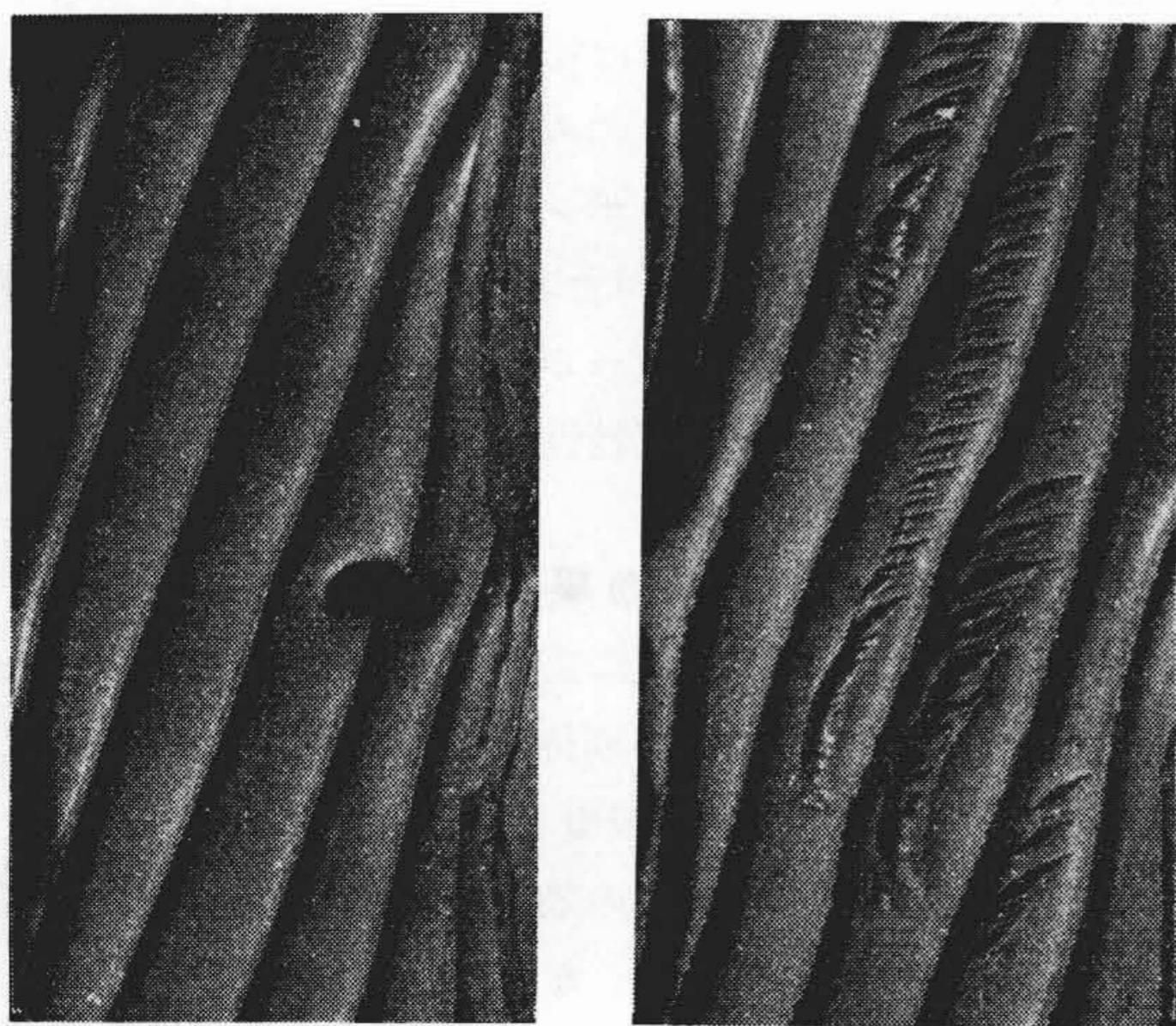
以上のようなモデル実験によつて種々の導電性ゴムの特性を検討し、十分効果が期待できる導電性ゴムがえられたので、これを心線上に被覆した試験用電線をつくり、長時間耐圧試験を行つてこの効果を検討した。この結果を第12図(次頁参照)に示す。なお試験用電線はゴム厚さ3mmのゴム線でオゾン亀裂の発生を促進するため、素材はすべて天然ゴムを用いた。また比較試料として同サイズの導電性ゴムを用いない電線についても同じ実験を

行い第12図に併記した。導電性ゴムを用いたA試料は30kV以下で破壊したものはなく、また破壊箇所を分解してみると第13図に示すように導電性ゴムを使用しないB試料はオゾン亀裂が激しくあらわれているが、A試料にはその跡はない。すなわち導電性ゴムの効果を如実に示している。

ブチルゴムの耐オゾン性は非常にすぐれているが、前



第12図 破壊電圧の時間特性  
Fig. 12. Breakdown Voltage-Time Characteristic



A試料 (導電性ゴム使用)      B試料 (導電性ゴムなし)  
第13図 試作線の絶縁破壊孔  
Fig. 13. Breakdown Position of Test Cable

述のように完全にオゾンの影響を無視するまでに加硫することはできないので、ブチルゴム絶縁ケーブルにおいても導電性ゴムの使用は必要である。

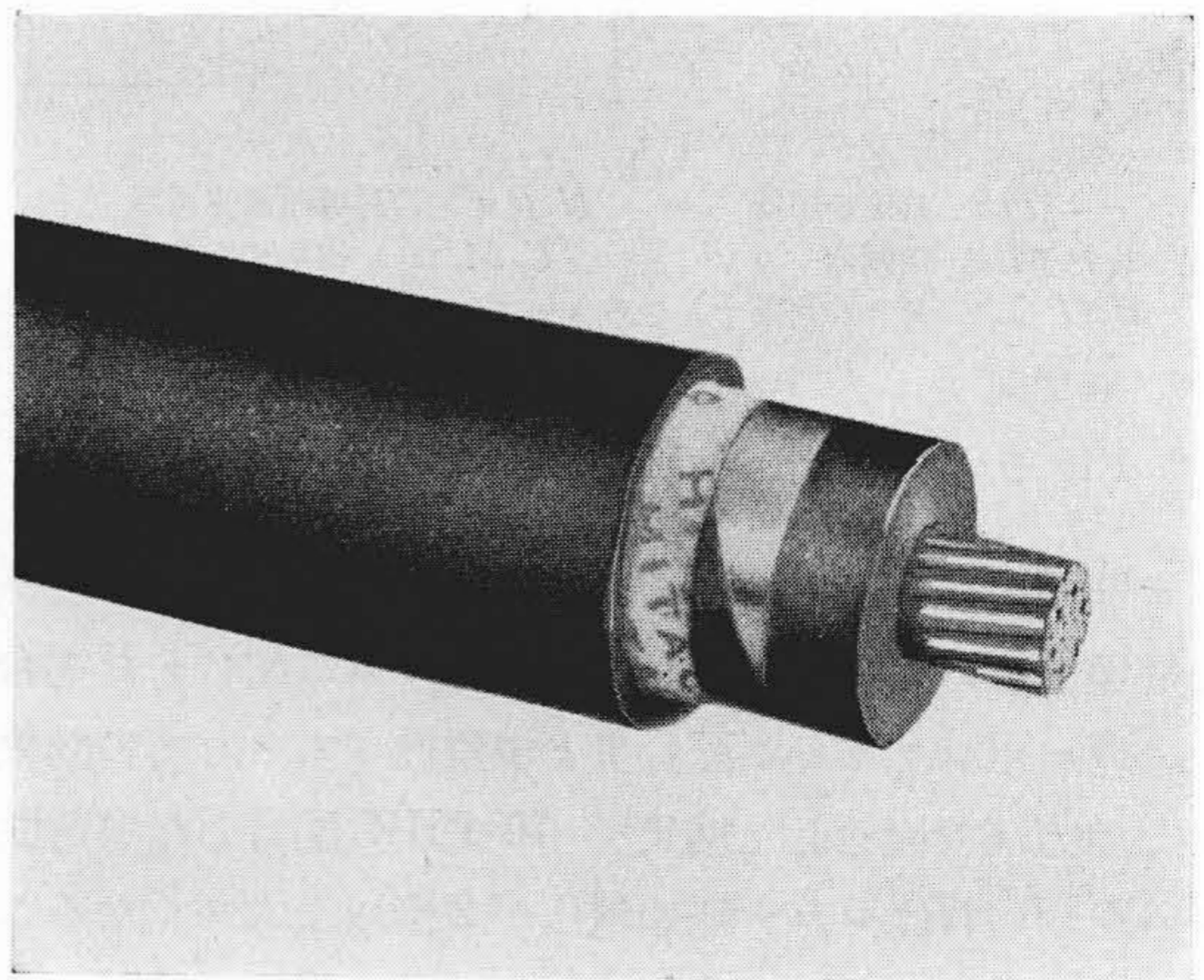
#### 〔IV〕 ブチルゴム絶縁ネオプレンシースケーブルの特性

ブチルゴムはこれまでに述べたように耐オゾン性、耐熱性にすぐれ、電気的特性もよく絶縁用ゴム特に高電圧ケーブル絶縁用ゴムとしてきわめて好適な性質を具備しているが、耐油性が弱く機械的性質が他のゴムに較べてやゝ劣る。このためブチルゴム絶縁ケーブルには一般にネオプレンによる保護シースとが行われている。ネオプレンの特性についてはすでに本誌に報告している<sup>(5)</sup>ので本稿にては省略するが、耐老化性、耐油性、耐摩耗性、耐燃性および機械的特性が特にすぐれており、ケーブルの保護被覆材料としては最も適している合成ゴムである。

ブチルゴムは耐熱性がすぐれているため、ブチルゴム絶縁ケーブルの導体の最高許容温度は80°C(天然ゴムの場合は60°C)まで上昇させることができる。したがって所要電流に対して天然ゴムの場合より小さい導体断面積で十分であり、紙絶縁鉛被ケーブルに劣らない電流容量をとることができる。

ブチルゴム絶縁ネオプレンシースケーブルの二、三の構造例を第8表に示す。また10kV単心ケーブルの製品の写真を第14図に、その特性を第9表に示す。

高電圧ゴムケーブルは前述のように導電性ゴムやブチルゴムを用いて、コロナの影響を極力軽減しているが、作業の不均一性などにより、絶縁層にボイドが生ずれば、電気的特性は著しく低下する。このため完成ケーブルに



第14図 10kV ブチルゴム絶縁ネオプレンシースケーブル  
Fig. 14. 10 kV Butyl Rubber Insulated Neoprene Sheathed Cable



第 8 表 ブチルゴム絶縁ネオプレンシースケーブル構造表一例  
Table 8. Example of Construction of Butyl Rubber Insulated Neoprene Sheathed Cable

線種	導 体			導電性 ゴムの 厚さ (mm)	絶縁ゴム 厚さ (mm)	導電性 ゴムの 引縮 厚さ (mm)	銅テープ 厚さ (mm)	ゴム引 縮テープ (色別) 厚さ (mm)	撚 合 径 (約) (mm)	ゴム引 縮テープ (社名入り) 厚さ (mm)	ネオプレン シース 厚さ (mm)	仕上り 外 径 (mm)
	公 称 断 面 積 (mm <sup>2</sup> )	構 成 素 線 数 / 素 線 径 (mm)	外 径 (mm)									
3,000V 3心	38	7/2.6	7.8	0.5	3.0	0.25	0.1	0.25	34.5	0.25	3.4	41.8
	100	19/2.6	13.0	0.5	3.0	0.25	0.1	0.25	45.7	0.25	3.8	53.8
6,900V 単心	22	7/2.0	6.0	0.5	4.5	0.25	0.1	—	—	0.25	1.7	20.0
	38	7/2.6	7.8	0.5	4.5	0.25	0.1	—	—	0.25	2.1	23.2
10,000V 単心	100	19/2.6	13.0	0.5	7.0	0.35	0.1	—	—	0.25	2.5	34.4

第 9 表 10kV ブチルゴム絶縁ネオプレンシースケーブルの特性

Table 9. Characteristics of 10 kV Butyl Rubber Insulated Neoprene Sheathed Cable

1. 物理試験 (a) ブチルゴム絶縁体

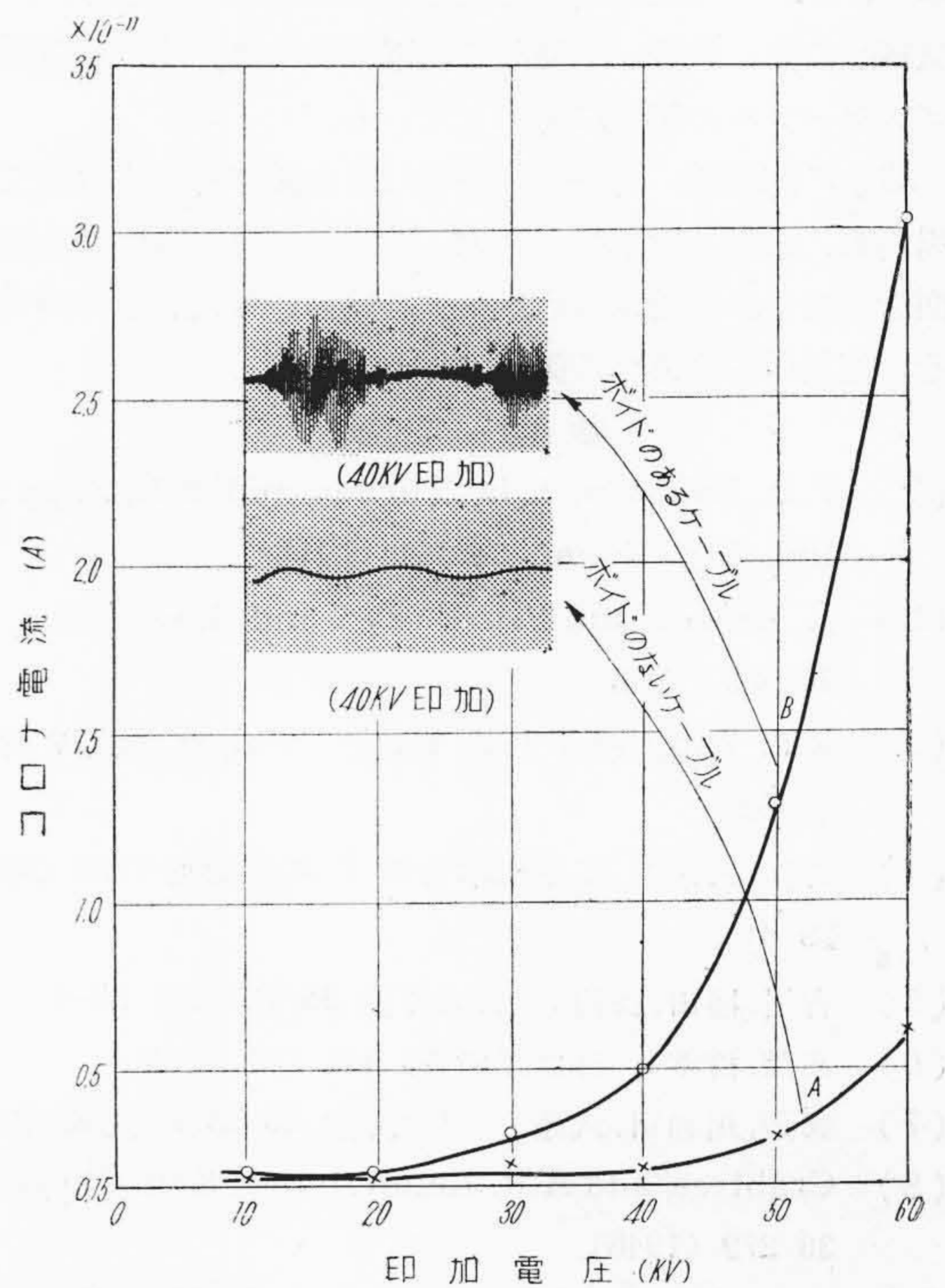
試験項目	規 格 ASTM D-574-52T	測 定 値
老化前		
抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	0.32 以上	0.60
伸 び (%)	250 以上	570
老化後	(70°C 168 時間)	(100°C 48 時間)
抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	0.28 以上	0.53
低 下 率 (%)	—	10.90
伸 び (%)	200 以上	520
低 下 率 (%)	—	8.80
耐オゾン性試験 20°C	オゾン濃度 0.015% 3時間以上	オゾン濃度 0.03% 5時間以上

(b) ネオプレンシース

試験項目	規 格 ASTM D-752-49T	測 定 値
老化前		
抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	1.26 以上	1.65
伸 び (%)	300 以上	650
老化後	(70°C 168 時間)	(100°C 48 時間)
抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	1.12 以上	1.60
低 下 率 (%)	—	3
伸 び (%)	250 以上	607
低 下 率 (%)	—	6.60
耐油試験	ASTM No. 2 油	
抗張力(kg/mm <sup>2</sup> )	—	1.49
低 下 率 (%)	40 以下	9.30
伸 び (%)	—	580
低 下 率 (%)	40 以下	10.7

2. 電気試験

試験項目	規 格	測 定 値
耐 電 圧	25,000V 5分 (JCS 17)	25,000V 5分 OK
絶 縁 抵 抗 20°C (MΩ/km)	500 以上	5,900
誘 電 体 力 率 20°C, 60~ (%)	5 (IPCEA)	0.5



第 15 図 コロナ電流の電圧特性およびコロナ波形  
Fig. 15. Variation of Corona Current with Voltage and Corona Pulse Diagram

ついて、第 9 図と同様なコロナ直視装置を用いコロナ電流を測定して不良ケーブルの検出を行う品質管理を行っている。第 15 図にこの測定法による試験結果の一例を示した。すなわち A ケーブルはコロナ電流が低く優秀な性能をもっているが、B ケーブルはこれに比較してコロナ電流が大きく、コロナ波形も激しくあらわれてケーブルに欠陥のあることを示している。なお第 15 図中の写真は 40 kV 印加時にブラウン管にあらわれたコロナ波形である。

## 〔V〕 結 言

以上、ブチルゴムは耐熱性、耐オゾン性および電気的特性が他の合成ゴムに比べて特によくれていることを実験の結果からあきらかにし、高電圧ケーブルの絶縁ゴムとして最適の材料であることを示した。つぎにブチルゴムの不飽和度と耐オゾン性の関係および導電性ゴムの効果などに検討を加えた結果を述べ、最後にブチルゴム絶縁ネオプレンシース高電圧電力ケーブルの特性を示して、今後高電圧電力ケーブルとしても広い応用分野をもつものであることをあきらかにした。なお現在、ブチルゴム以外の新しい合成ゴム材料についても研究を進めており、ゴムの長を生かしてさらに耐老化性にすぐれ、機械的に強く取扱いが便利で、電気的に高性能の高電圧ゴムケーブルの製造に努力している。

終りに御指導、御鞭撻を賜った日立製作所日立電線工場内藤、山野井両部長、久本、大和両課長、電気試験方面を担当された橋本博治氏実験に協力された清水克美君その他関係者の方々に深謝申し上げる。

## 参 考 文 献

- (1) F.P. Baldwin, L.B. Turner and R.L. Zapp: *Ind. Eng. Chem.* **36** 791 (1944)
- (2) J. Rehner and P.J. Flory: *Ind. Eng. Chem.* **38** 500 (1946)
- (3) R.P. Zapp and F.P. Ford: *Polym. Sci.* **9** 97 (1952)
- (4) 吉川, 渡辺: 日本化学会第7年会講演 7096 (昭29-4)
- (5) 吉川, 福田, 渡辺: 日立評論 **35** 721 (昭28-4)
- (6) 高橋, 橋本: 日立評論 **35** 541 (昭28-3)
- (7) 渡辺, 川和田, 武藤: 日立評論 **36** 1377 (昭29-9)
- (8) Crabtree and A.R. Kemp: *Ind. Eng. Chem.* **38** 279 (1946)
- (9) Crabtree and A.R. Kemp: *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* **18** 769 (1946)
- (10) D.C. Thompson, R.H. Baker and R.W. Braunlaw: *Ind. Eng. Chem.* **44** 850 (1952); *Ind. Rubber World* **124** 332 (1951)
- (11) G.R. Cuthberton and D.P. Dunnen: *Ind. Eng. Chem.* **44** 834 (1952)
- (12) M. Smith and V.E. Gough: *Trans. I.R.I.* **29** 219 (1953)
- (13) J.S. Rugg: *Anal. Chem.* **24** 818 (1952)
- (14) W.G. Mayes: *Ind. Rubber World* **130** 227 (1954)
- (15) 松田, 田中: 日本ゴム協会誌 **24** 332 (昭26), **25** 208, 211 (昭27), **26** 407, 526 (昭28)
- (16) Du'Pont: BL-252 4-30-54 (1954)
- (17) R.E. Brooks, D.E. Strain and A.M. Alevy: *Ind. Rubber World* **127** 791 (1953)
- (18) H.A. Smook, I.D. Rock and W.B. Clark: *Ind. Rubber World* **128** 54 (1953)
- (19) W.F. Busse and H.A. Smook: *Ind. Rubber World* **128** 348 (1953)
- (20) Du'Pont: R.E-20 (Apr., 1954)
- (21) D.C. Edward and Soorey: *Ind. Rubber World* **130** 226 (1954)
- (22) P.J. Flory: *Ind. Eng. Chem.* **38** 417 (1952)
- (23) A. Charlesby and M. Ross: *Proc. Roy. Soc.* **217** 122 (1953)
- (24) A. Charlesby and N.H. Hancock: *Proc. Roy. Soc.* **218** 245 (1953)
- (25) A. Charlesby: *Proc. Roy. Soc.* **208** 60 (1954)
- (26) P.E. Wack, R.L. Anthony and E. Guth: *J. App. Phys.* **18** 456 (1947)
- (27) L.H. Cohan and J.F. Mackley: *Ind. Eng. Chem.* **35** 808 (1943); *Rubb. Chem. Tech.* **16** 918 (1943)
- (28) L.H. Cohan and M. Steinberg: *Ind. Eng. Chem.* **36** 7 (1944)
- (29) L.R. Sperberg, G.E. Popp and C.C. Biard: *Rubber Age* **67** 561 (1950)

