

高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムの 高電圧ケーブルへの適用

Application of High Ethylene Type Ethylene-Propylene Rubber to High Voltage Cables

ゴム系高電圧ケーブルの性能向上と高信頼性が要望されていることにかんがみ、新しく開発された高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムの絶縁体への適用を検討した。

この新タイプ ゴムを用いた混和物は、高電圧用として優秀な絶縁破壊特性及び誘電特性をもつことを確認した。更に、浸水課電劣化寿命も架橋ポリエチレンに比べはるかに長いことが見いだされた。

本材料は、耐コロナ性などゴム特有の長所をも備えていることから、架橋ポリエチレン ケーブル以上の長期安定性をもつ高電圧ケーブルを実現できる可能性があると考ええる。

柳生秀樹* Yagyû Hideki
山本康彰* Yamamoto Yasuaki
北島賢一** Kitajima Kenichi
登坂璋典** Tosaka Akisuke
花野芳幸** Hanano Yoshiyuki

1 緒 言

エチレンプロピレン ゴムは、電気特性とともに耐熱性や加工性に優れていることから、ゴム系の電線ケーブル用絶縁材料としてしだいに確固たる地位を築きつつある^{1),2)}。しかし、この材料は高電圧ケーブル用絶縁材料として必ずしも満足できるものではない。耐コロナ性、雷インパルスに対する繰返し課電特性など優れた特長をもつ反面、絶縁破壊特性及び誘電正接が不十分^{3),4)}で、更に浸水課電劣化が懸念される。したがって、これらの特性を向上できれば高電圧ケーブル用として申し分のない材料といえるわけである。これまで配合組成の面を主体に多くの検討がなされてきたが、このままでは限界にきていると考えられる。

我々は視点を变えてベース ゴムに着眼し、新タイプのエチレンプロピレン ゴムの適用を検討した。本稿は、この新タイプ ゴムの概要とその混和物、及び試作ケーブルの諸性能について述べる。

2 高電圧ケーブル絶縁用エチレンプロピレン ゴムの探索

ケーブル絶縁用エチレンプロピレン ゴムは、押出作業性や機械強度をもたせるため、多量の充てん剤を加えた混和物の形で実用されている(以下、エチレンプロピレン ゴムとエチレンプロピレン ゴム混和物を区別して表現する)。これまでの配合組成に関する研究をもとに⁵⁾着目している電気特性を向上させるため、まずベース ゴムが具備すべき性質を考察した。その結果、絶縁破壊特性についてはベース ゴム自体の性能を高くすることが必須条件であると判断した。一方、誘電正接及び浸水課電劣化特性はベース ゴムによる影響はほとんど受けず、その改善には配合剤、特に充てん剤を大幅に減量することが必要不可欠と思われる。このことから、低充てんでも十分実用できる優れた押出作業性と機械強度をもつベース ゴムを探索する必要があると判断した。このような考え方をもとに、これら必要特性とエチレンプロピレン ゴムの化学組成の相関性を系統的に検討し⁶⁾、ほぼ要望を満足する新規なエチレンプロピレン ゴムを見いだすことがで

きた。

図1は、この新タイプ ゴムの赤外線吸収スペクトルを従来タイプ ゴムと比較して示したものである。 $1,460\text{cm}^{-1}$ のメチレン基と $1,370\text{cm}^{-1}$ のプロピル基の吸光度の相違、及び4個以上連続したメチレン基の存在を示す 720cm^{-1} の吸光度からも分かるように、新タイプ ゴムのエチレン含有量はかなり多い。そこで、このゴムを高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムと呼ぶことにした。

3 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムの特徴

ここでは、高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムの絶縁破壊特性、機械特性及び押出作業性について従来タイプ ゴムと比較して説明する。

図2に加硫剤だけを加えて加硫したゴムの各種絶縁破壊の強さと引張特性を示す。絶縁破壊の強さは、図3の試験片及び電極を用いて測定した。高エチレンタイプ ゴムの交流及び雷インパルス破壊電圧は従来タイプ ゴムに比べ格段に高く、約1.5倍である。これは、この高エチレンタイプ ゴムが機械的強じん性に優れていることと関連すると思われる。すなわち、このゴムはエチレン含有量が多いため、エチレン鎖による微結晶が形成され、これが物理的な架橋点として作用するからである。ただし、直流破壊の強さは高エチレンタイプ ゴムのほうがやや高い程度にすぎず、交流、雷インパルスほどの差はみられない。また、高エチレンタイプ ゴムの引張り強さは 1kg/mm^2 をはるかに上回り、非充てんでも従来の混和物より大きいことは注目に値する。これも多量のエチレン鎖に起因するもので、延伸時にエチレン鎖の配向結晶化が生ずるためと思われる。

図4は押出作業性の評価法の一つとして、押出機を用いてひも状に押し出したゴムの外観を示したものである。従来タイプ ゴムが激しくはだ荒れを起こすのに対し、高エチレンタイプ ゴムは極めて平滑な外観をもつことが分かる。この優れた加工性は、エチレン含有量が多いというだけでなく、

* 日立電線株式会社研究所 ** 日立電線株式会社日高工場

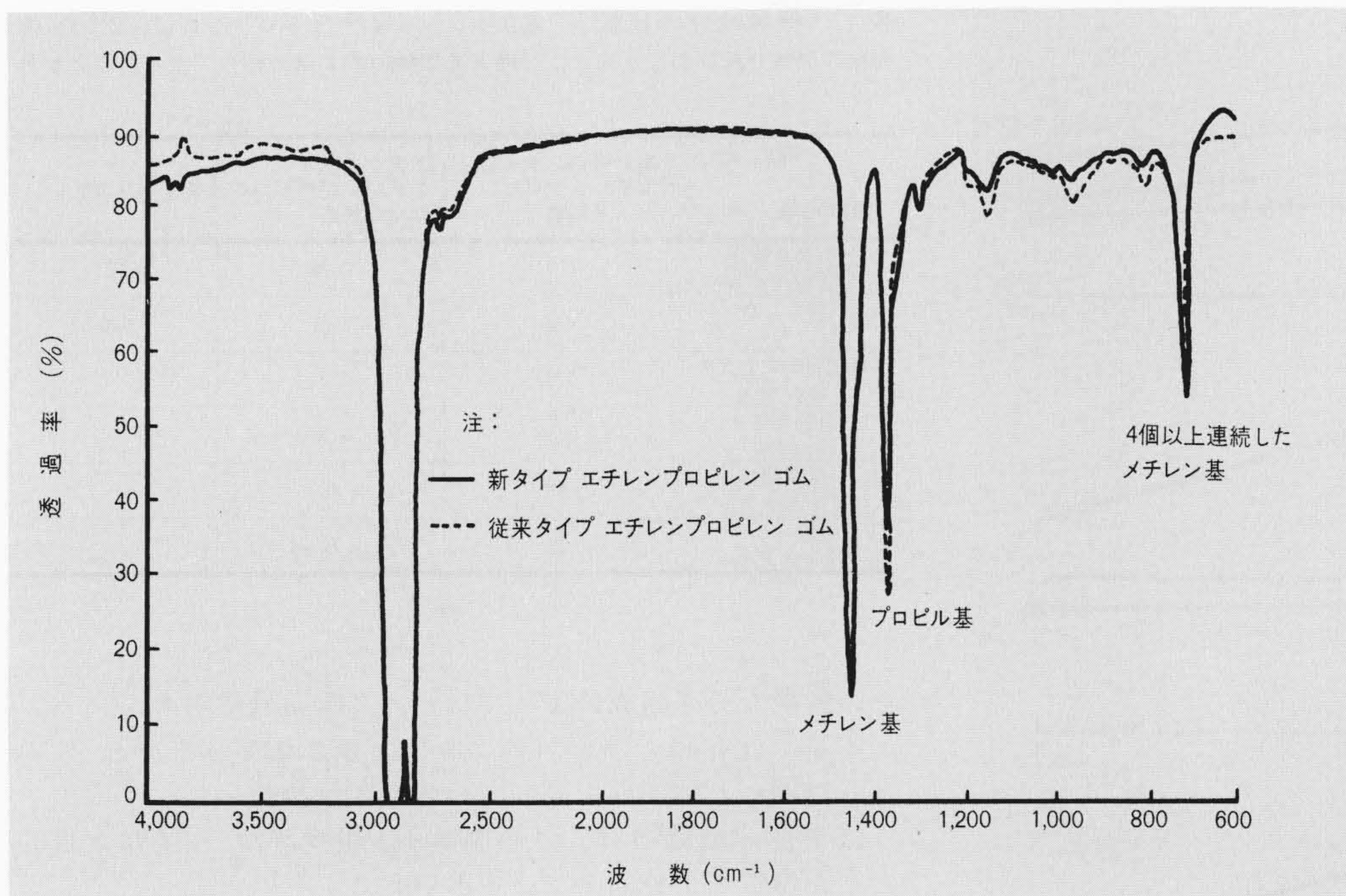


図1 新タイプ エチレンプロピレン ゴムと従来タイプ ゴムの赤外線吸収スペクトル 新タイプ ゴムは、従来タイプ ゴムに比べメチレン基とプロピル基の吸光度比、4個以上連続したメチレン基の吸光度が大きいことから、エチレン含有量が多いことが分かる。

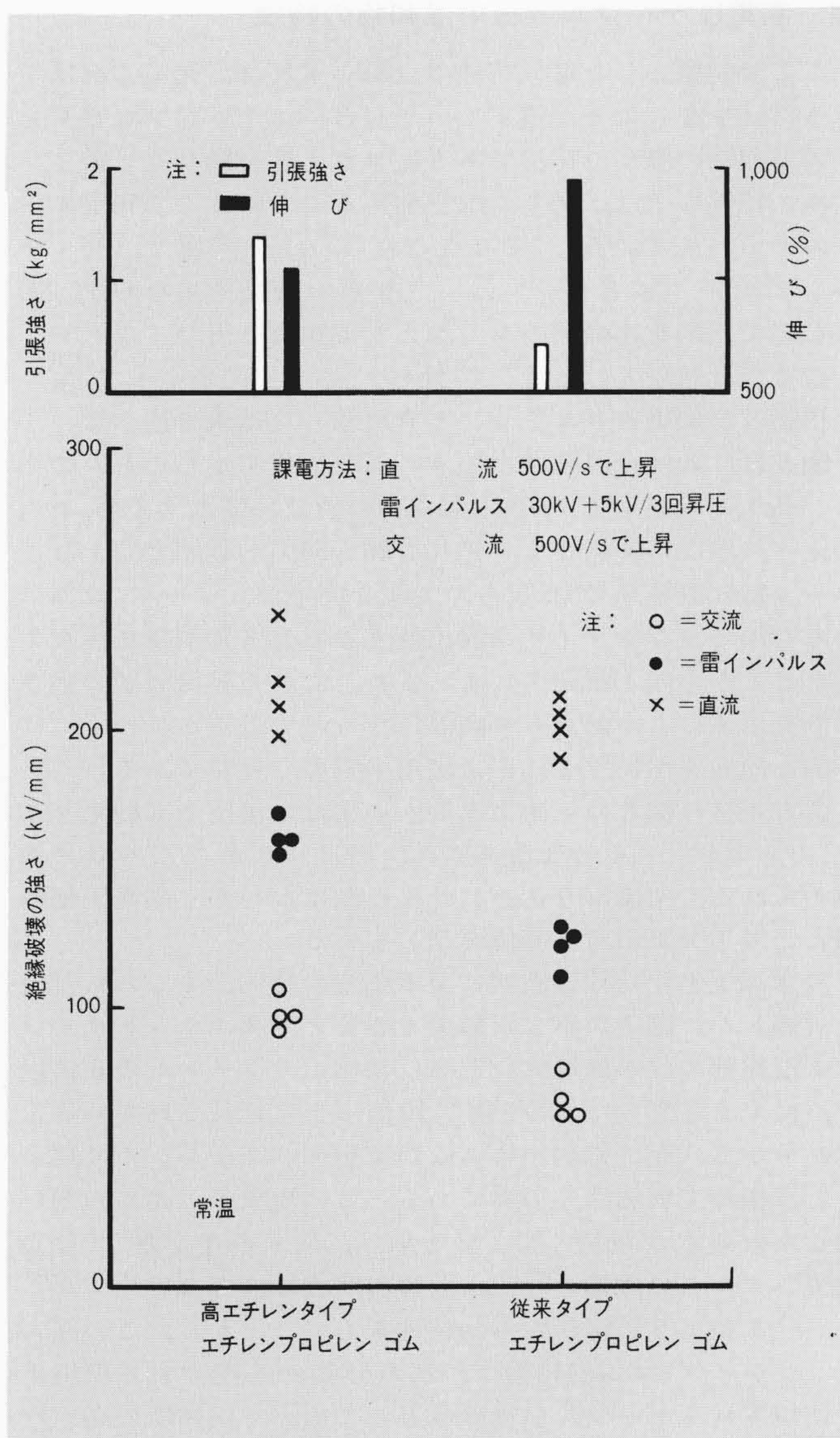


図2 加硫剤だけを加えたゴムの絶縁破壊の強さと引張特性 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムは、従来タイプ ゴムに比べ、インパルス及び直流破壊の強さは約1.5倍、引張強さ約4倍と非常に大きいことが分かる。

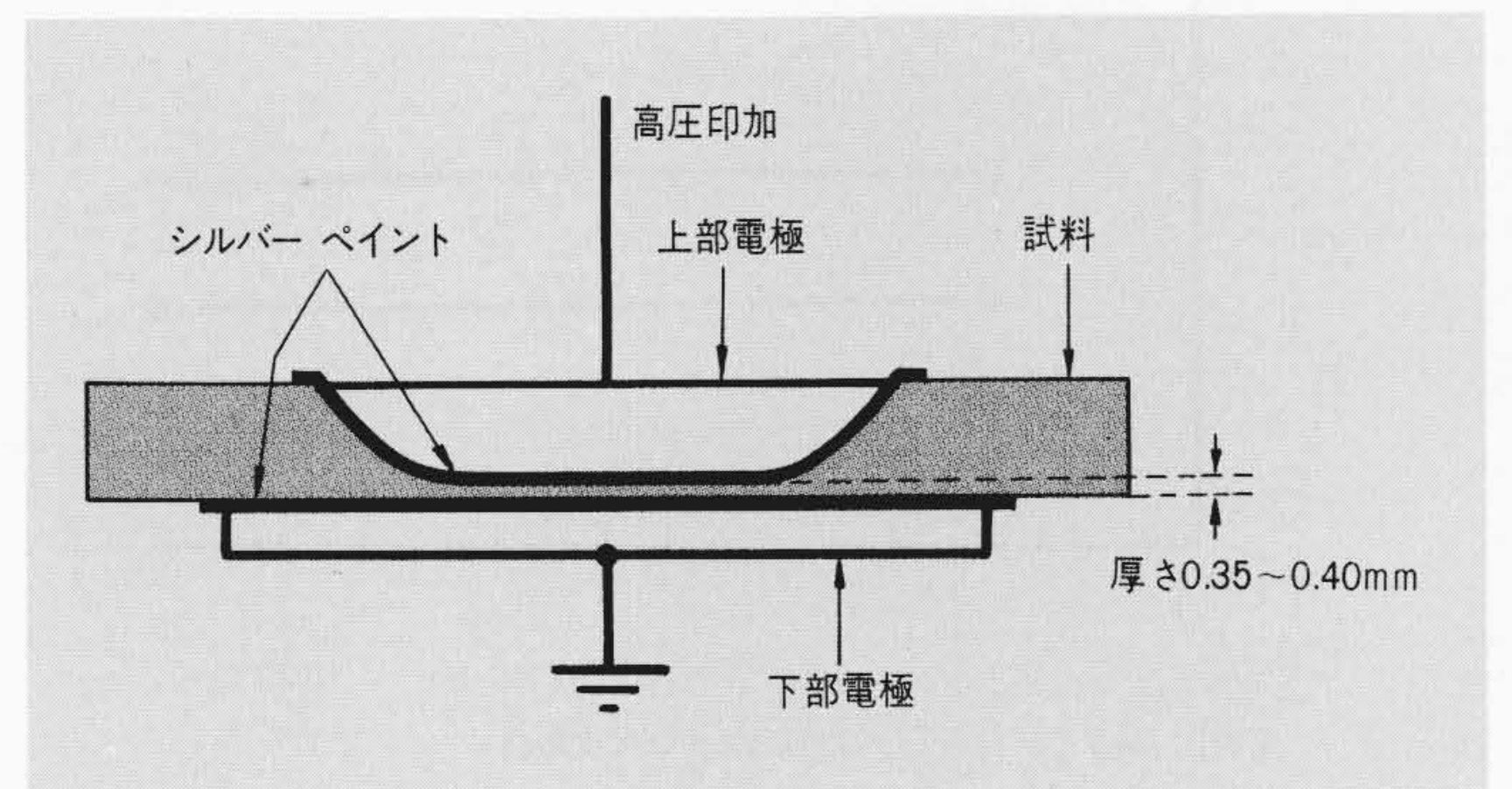
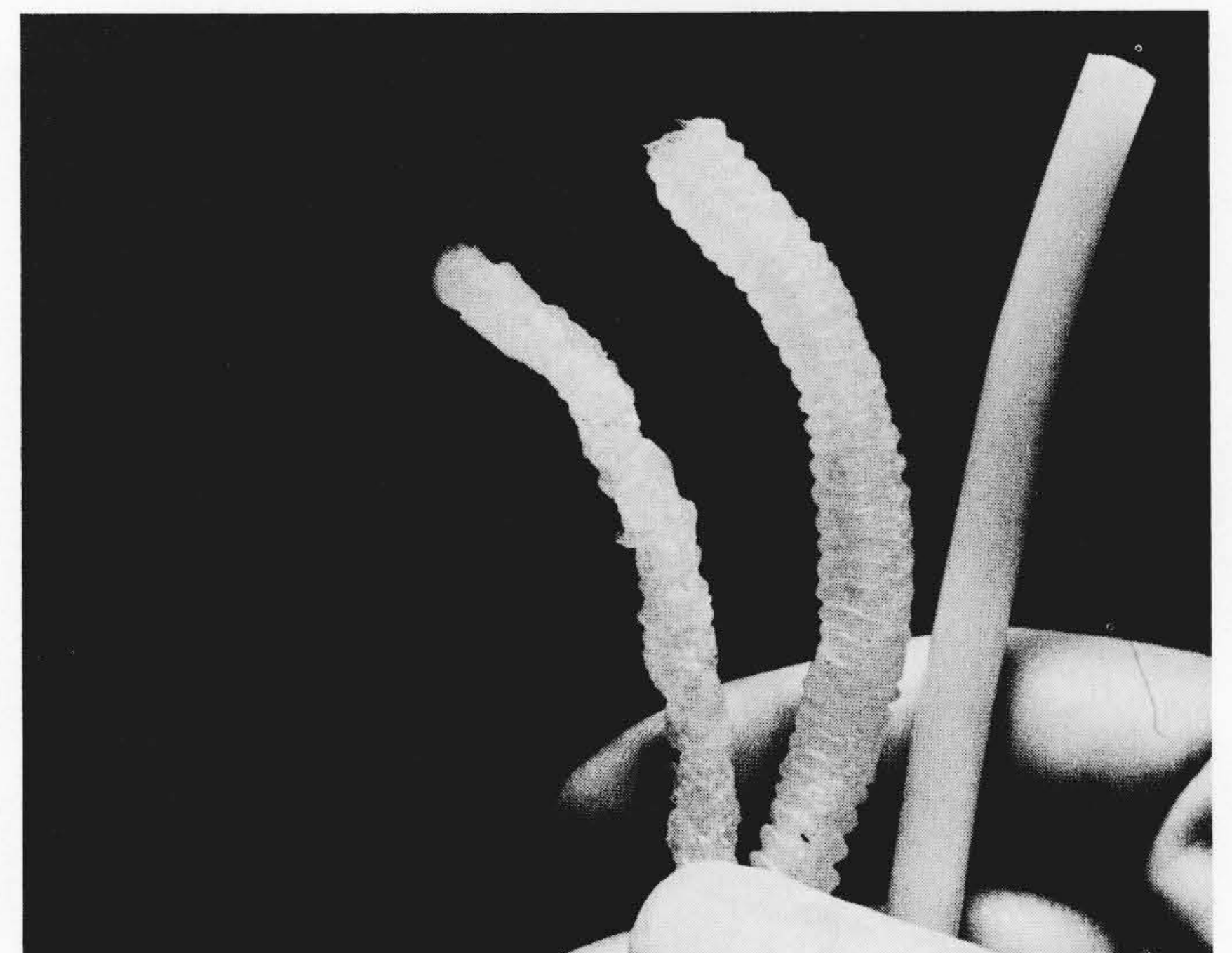


図3 絶縁破壊用試験片及び電極構成 試料に均一電界がかかるように配慮してある。



注：右 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム
中 従来タイプ エチレンプロピレン ゴムA
左 従来タイプ エチレンプロピレン ゴムB
〔50mm押出機(L/D=12, 圧縮比=2), 押出温度100℃〕

図4 純ゴム押出し時の外観 従来タイプ エチレンプロピレン ゴムが激しくはだ荒れを生ずるのに対し、高エチレンタイプ ゴムの外観は平滑であることが分かる。

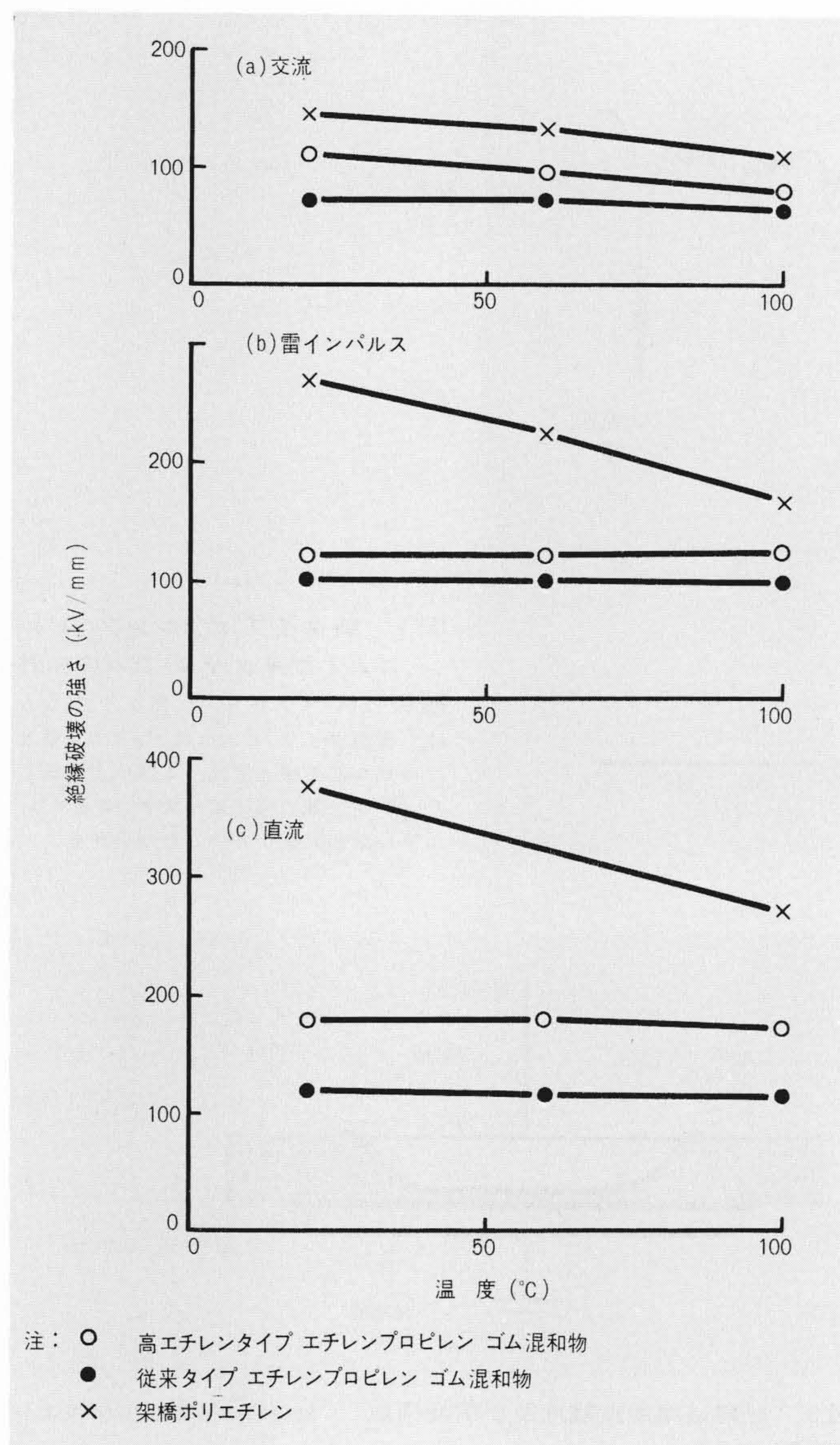


図5 各種絶縁破壊の強さの温度特性 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物の絶縁破壊の強さは、架橋ポリエチレンには及ばないが、従来混和物よりいずれも20~50%高いことが分かる。

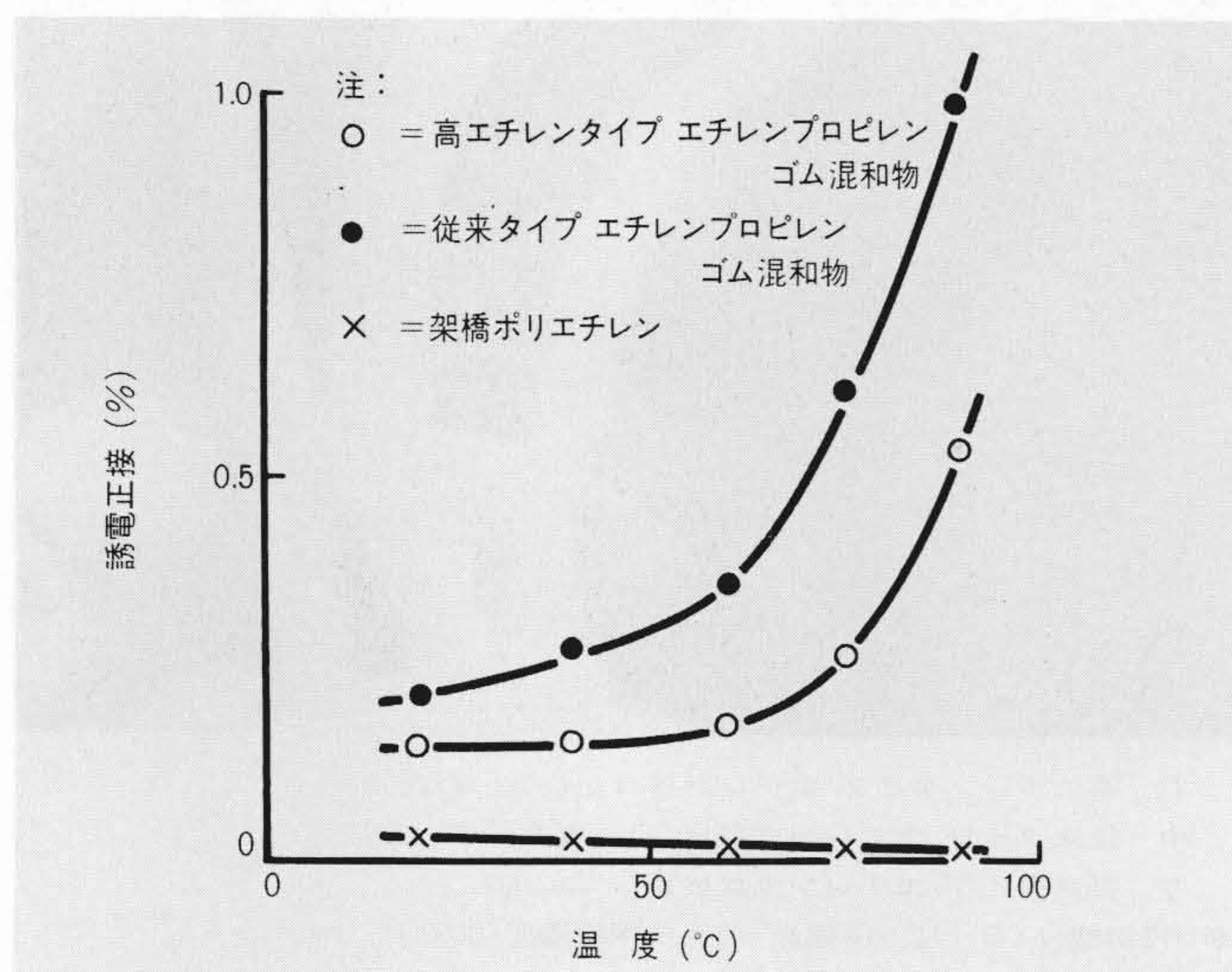


図6 誘電正接の温度変化 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物の誘電正接は、従来混和物の約1/2であることが分かる。

表1 機械特性の比較 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物の引張り及び引裂き強さは、従来混和物の約2倍と極めて大きいことが分かる。

試料 機械特性	高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物	従来タイプ エチレンプロピレン ゴム混和物	架橋ポリエチレン
引張り強さ (kg/mm ²)	1.71	0.84	2.51
伸び (%)	680	690	520
200%モジュラス (kg/mm ²)	0.32	0.32	—
引裂き強さ (kg/mm)	0.98	0.55	—
反発弾性 (ショップ)	49	45	—
硬さ (ショアA)	72	70	—

その特異な分子組成によってはじめて得られるものである。エチレン含有量の多いゴムは既に公表されているが⁷⁾、このような優れた加工性をもっているものは少ない。

以上述べたように、この高エチレンタイプ ゴムは、目的とした性質を十分備えているといえる。

4 高電圧ケーブル絶縁用混和物の特性

ここで問題とした電気特性の点からすれば、充てん剤はできるだけ少ないことが望ましい。一方、エチレンプロピレン ゴム混和物の優れた特長である耐コロナ性や繰り返し雷インパルス特性などは、充てん剤を加えることによって向上するものといわれている⁸⁾。そこでこれらの点を考慮し、高エチレンタイプ ゴムをベースとし、本来の特徴を失わず、適切な充てん剤を比較的少なく加えた混和物を得た。

ここでは対象とした電気特性について、従来タイプ ゴム混和物及び架橋ポリエチレンとを比較した結果を述べる。

図5は、各種絶縁破壊の強さの温度変化を示したものである。高エチレンタイプ ゴム混和物の値は、従来タイプ ゴムに比べ、温度に関係なくいずれも20~50%の範囲で向上している。特に直流破壊の強さの大幅な向上は、ベース ゴムによるものではなく、イオン放出源となる充てん剤量を少なくしたことが主因と推定される。また、これら絶縁破壊の強さは低充てんにもかかわらず高温になっても低下が少なく、ゴムの傾向を保持することは実用上重要な性質である。

誘電正接は図6に示すように、いずれの温度でも従来タイプ ゴム混和物の約1/2と改善され、やはり低充てんの効果が認められる。架橋ポリエチレンには及ばないが、高電圧絶縁用として十分実用できる値を示している。

浸水課電劣化特性は破壊に至るまでの時間、すなわち寿命で評価した。図7に示した結果をみると、高エチレンタイプ ゴム混和物の浸水課電劣化寿命は架橋ポリエチレンの5倍以上、従来タイプ ゴム混和物の10倍以上に延長されていることが分かる。充てん剤を含まない架橋ポリエチレンより良いことは極めて興味深い事実である。この現象は、充てん剤が少ないため水が浸透しにくいという、従来の考え方⁵⁾では説明できず、この機構の解明は今後の研究に待たなければならない。このように優れた寿命特性をもつことから、この高エチレンタイプ ゴム混和物は、水の影響が心配される環境下で使用されるケーブルの絶縁体として極めて信頼度の高い材料と考えられる。

以上述べたように、高エチレンタイプ ゴムをベースとした混和物は絶縁破壊特性、誘電正接及び浸水課電劣化特性が飛

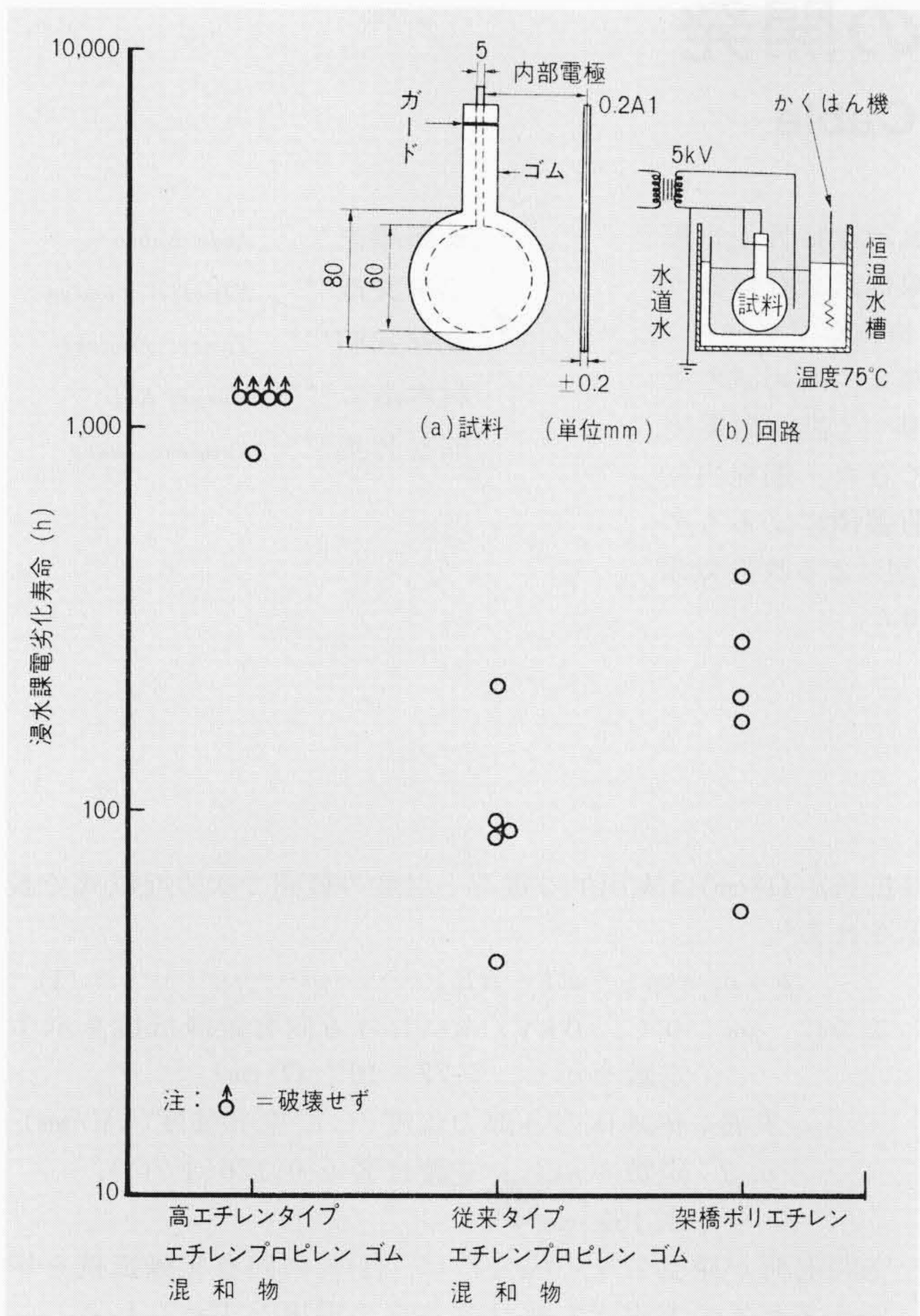


図7 浸水課電劣化寿命の比較 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物の浸水課電劣化寿命は、従来混和物より10倍以上、架橋ポリエチレンより5倍以上長いことが分かる。

躍的に改善されることが確認できた。なお、押出作業性は非常に良く、機械特性も表1に示すようにゴム弾性を保ちつつ極めて優れた強じん性をもつことが分かる。

5 試作ケーブルの電気特性

高エチレンタイプ ゴム混和物の電気特性をケーブルで評価するため、6kV級ケーブル(導体サイズ50mm²、絶縁体厚さ4.0mm)を試作した。80℃で4日間乾燥後の試験結果を従来タイプ ゴム ケーブル及び架橋ポリエチレン ケーブルの値と対比させ表2にまとめて示した。

高エチレンタイプ ゴム絶縁ケーブルの破壊特性は、従来ケーブルに比べ、交流破壊値は約10%、直流破壊値は20%以上高く、いずれも架橋ポリエチレン ケーブルに近いことが認められる。雷インパルス値は10%以上増加し、架橋ポリエチレン ケーブルより10%程度低いだけにすぎない。また誘電正接は、0.21%とかなり小さい。

このように、ケーブルでも高エチレンタイプ ゴム混和物の優れた性能は明らかであり、高電圧ケーブル用絶縁材料として十分実用に耐えると考ええる。特に、直流破壊電圧が極めて高いことは、レントゲン、コットレル ケーブルなど従来の用途での信頼性を増すことになる。更に、浸水課電劣化特性が抜群に良く、耐コロナ性などゴム本来の長所をも兼ね備えていることを考慮すると、架橋ポリエチレンと比較して長期の安定性に優れたケーブルが得られるものと思われる。

表2 試作ケーブルの電気特性 高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物絶縁ケーブルの交流及びインパルス破壊値は、従来のものと架橋ポリエチレン ケーブルのほぼ中間で、直流値は架橋ポリエチレン ケーブルに近いことが分かる。

絶縁材料	高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴム混和物	従来タイプ エチレンプロピレン ゴム混和物	架橋ポリエチレン
電気特性			
交流破壊電圧 (kV)	65~75	60~70	60~90
雷インパルス破壊電圧 (kV)	220~250	190~230	240~270
直流破壊電圧 (kV)	280~310	220~250	290~330
誘電正接 (%)	0.21	0.33	0.01
絶縁抵抗 (MΩ-km)	14,000	7,000	100,000<

注：1. 試作 6 kV ケーブル 導体サイズ50mm²、絶縁体厚さ4.0mm
2. 乾燥条件 80℃×4 日間
3. 試験温度 常温
4. 課電方法 交 流 30kV/10分から 5 kV/10分昇圧
雷インパルス 60kV/ 3 回から 5 kV/ 3 回昇圧
直 流 60kV/10分から 5 kV/10分昇圧

6 結 言

新たに開発された高エチレンタイプ エチレンプロピレン ゴムの特徴を生かし、高電圧ケーブル用絶縁体への適用を検討した。その結果、耐コロナ性などゴム特有の長所を失うことなく、十分な絶縁破壊特性と誘電正接を備え、更に、架橋ポリエチレンよりもはるかに優れた浸水課電劣化特性をもつ絶縁材料を確立することができた。本材料によって、架橋ポリエチレンケーブル以上の信頼性をもつ高電圧ケーブルを実現できる可能性が得られると確信する。しかし、特高圧ケーブルに適用する場合には誘電正接がやや大きく、この改善については今後の課題である。

最後に、卓越した技術をもってこの新タイプ ゴムの開発を推進いただいた日本イーピーラバー株式会社の山本 明氏をはじめ、関係各位及び日本合成ゴム株式会社の各位、並びに本研究の遂行に当たり御助言と御協力をいただいた日立電線株式会社日高工場、研究所の関係各位に対し深く感謝する。

参考文献

- 1) 須貝、橋本ほか：「エチレンプロピレンゴムの電線ケーブルへの応用」、日立評論、47、1721 (昭40-10)
- 2) 西沢：「エチレンプロピレンゴムの電気絶縁製品への応用」日本ゴム協会誌、44 (9)、725 (昭46)
- 3) 大堀、浜田ほか：「高電圧ゴム、プラスチックケーブルの諸問題」、日立評論、51、371 (昭44-4)
- 4) G. Davini, G. Consortini : "Recent Development in EPR Insulated High Voltage Cables", IEEE Paper No. 31, 66-439 (July, 1966)
- 5) 一色、白水：「ゴム、プラスチック絶縁材料の電氣的性質とその安全性」、藤倉電線技報、41、69 (昭46)
- 6) 杉江、川島ほか：「EP ゴムについて」、合成ゴム、16 (2)、21 (昭48)
- 7) F. W. Keeley, D. R. Duh : "New EPDM Development for Electrical Industry Applications", ACS Rubber Division Paper No. 32 (October, 1974)
- 8) 関井、依田：「ポリエチレンケーブルのボイド放電劣化の検討」、日立評論、53、1181 (昭46-12)