

最近の機器用耐熱マグネット ワイヤと口出線

Recent Developments in High-Temperature Magnet Wire and Insulating Wire for Use with Electric Equipments

マグネット ワイヤ及び口出線は、電気機器用材料として重要な役割を占めている。本稿は、最近の耐熱マグネット ワイヤと口出線の实用動向及び製品特性の指向すべき諸問題について述べた。特に、口出線については実用化するに当たって考慮すべき特性評価法を具体的試験例を示して紹介した。

鈴木 勇* Suzuki Isamu
石下 力** Ishioroshi Tsutomu

1 緒言

マグネット ワイヤは、電気エネルギーと電磁エネルギーを互に変換するために用いる電気機器のコイル用電線である。また、口出線は、電気機器の電源引込み、又は引出しに使われる電線である。これら両電線は電気機器の中でも特に重要な役割を分担しており、電気機器の発展にはこれら電線の進歩が不可欠の要素である。

本稿は、このような耐熱マグネット ワイヤと口出線を取り上げ、それらの最近における实用動向及び今後の実用化に当たって考慮すべき特性を中心に紹介した。

2 耐熱マグネット ワイヤ

2.1 耐熱マグネット ワイヤの発達

図1は主なマグネット ワイヤの開発年次と、それらの耐熱区分との関係を示したものである。

1938年、アメリカ、G.E社により発明されたホルマール線は、今日でも耐熱区分がA種(105°Cクラス)の万能エナメル線として広く実用されている^{1),2)}。G.E社はホルマール線に次いで1954年耐熱区分がB種(130°Cクラス)のポリエステルエナメル線を発明した^{3),4)}。このポリエステルエナメル線は、耐熱性高分子絶縁材料系耐熱マグネット ワイヤの先駆となり、1954~1970年の間に次々と優れた耐熱マグネット ワイヤが開発された。

現在、このような耐熱マグネット ワイヤは電気機器の小形軽量化、大容量化、高信頼化、安全化などに大きく貢献している。ここでは耐熱区分がB種以上の耐熱マグネット ワイヤをエナメル線類と横巻線とに分けて述べる。

2.2 最近の耐熱マグネット ワイヤの実用化

(1) 耐熱エナメル線

表1に耐熱区分がB種以上の耐熱エナメル線の諸特性を示す。

ポリエステルエナメル線は、我が国で最も大量に実用されている耐熱エナメル線である。この理由は、その開発時期が我が国の汎用電気機器のE種化移行時期と一致したうえ、その耐熱グレードアップ化が価格上昇を招くことなく可能であったためと考えられる。E種~B種の汎用電気機器は、比較的高い生産比率を持っていることから、ポリエステル エナメル線の需要は今後とも大きいものと考えられる。

ポリエステルをイミド変性した形のポリエステルイミド エナメル線は、ドイツやアメリカで大量に実用されているが、我が国では余り用いられていない⁵⁾。これは我が国の需要家が耐熱性のアップより、イミド変性により生じた価格上昇、化学はく離性の低下、耐ウエット クレージング性の悪化などを

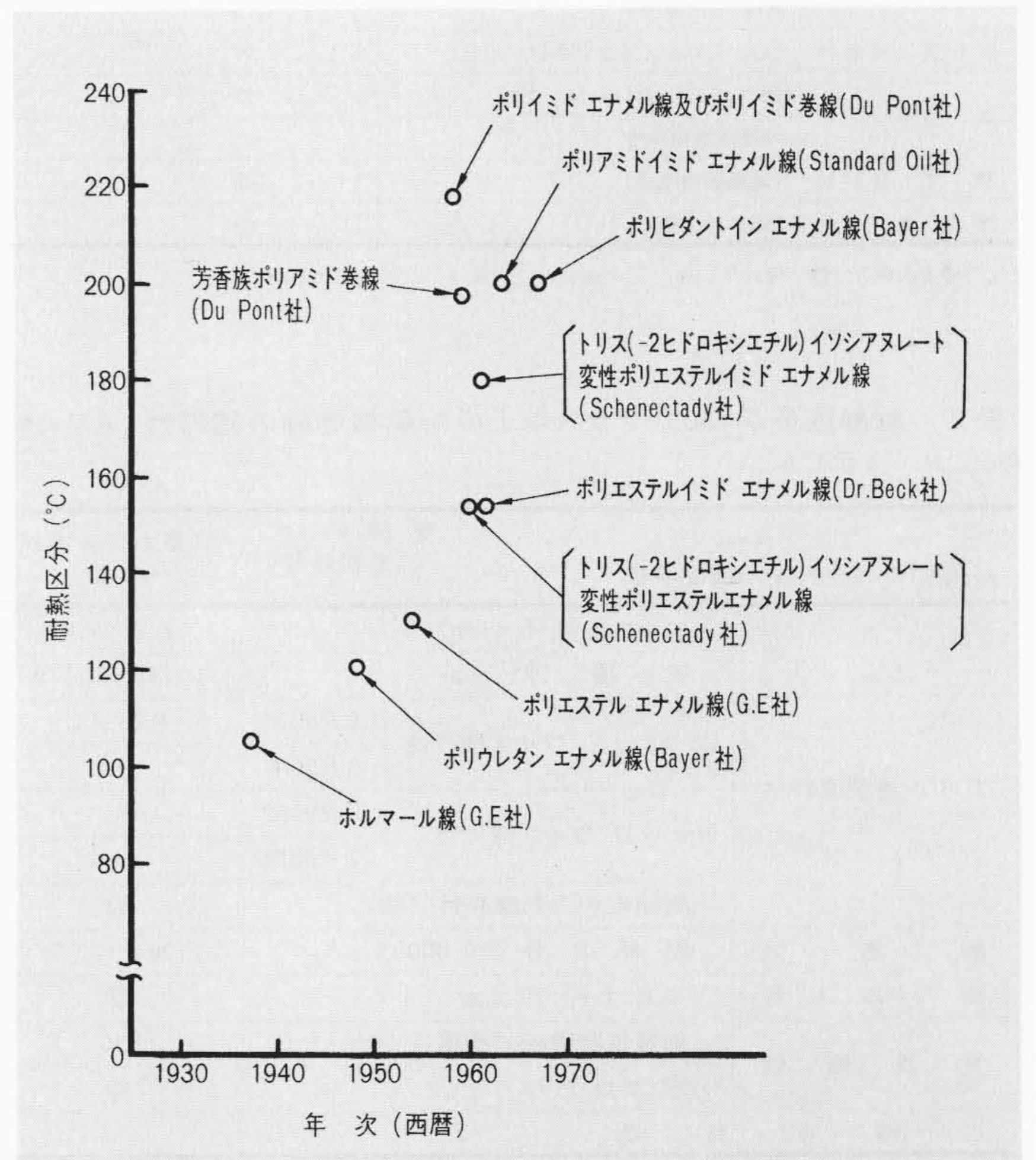


図1 耐熱マグネット ワイヤの開発年次と耐熱区分 1950~1970年にかけて優れた耐熱マグネット ワイヤが次々と開発された。

懸念しているためと考えられる。しかし、汎用電気の耐熱化、あるいは安全化は我が国でも徐々に進行していくものと考えられることから、ポリエステルイミド エナメル線は、今後比較的安価なF種~H種(155~180°Cクラス)エナメル線として見直されていくものとみられる。

H種エナメル線は、ポリアミドイミド エナメル線とポリヒダントイン エナメル線の2種が代表的なものである。ポリアミドイミド エナメル線は、表1から分かるように諸特性が優れており、155~200°Cクラスの万能耐熱エナメル線として広く実用されている。これに対しポリヒダントイン エナメル線は、ポリアミドイミド エナメル線並みの特性を持っているが、その需要は意外に伸びていない。これは開発時期が耐熱エナメル線の中で最も遅く、しかもポリアミドイミド エナメル線

* 日立電線株式会社電線工場 ** 日立電線株式会社日高工場

表1 耐熱区分が130°Cクラス以上の耐熱エナメル線の諸特性 汎用の耐熱エナメル線の諸特性をポリエステル エナメル線と対比して示した。

特性区分		エナメル線名 (エナメル線略号)	ポリエステル エナメル線 (PEW)	ポリエステルイミド エナメル線 (AMW)	ポリヒダントイン エナメル線 (HDW)	ポリアミドイミド エナメル線 (AIW)	ポリイミド エナメル線 (IMW)
寸 法	導 体 径 (mm)		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	皮 膜 厚 (mm)		0.043	0.043	0.043	0.042	0.042
コイル巻関連特性	伸 長 性	20 %	良 好	良 好	良 好	良 好	良 好
	巻 付 性	1 倍径	良 好	良 好	良 好	良 好	良 好
	ねん回はく離数 (回)		87	75	78	68	77
	耐 摩 耗 性 (往復式, 回)		32	44	192	262	21
端 末 はく 離 性	(メチレンクロライド-メタノール系)		はく離可能	はく離できず	はく離できず	はく離できず	はく離できず
耐 熱 性	耐 熱 軟 化 性 (6h)		200°C, OK	220°C, OK	250°C, OK	250°C, OK	300°C, OK
	耐 熱 区 分 (20,000h)		130°C	155~180°C	180°C	180~200°C	220°C
	耐ヒートショック性 (1h)		150°C 3倍径, OK	180°C 1倍径, OK	250°C 1倍径, OK	250°C 1倍径, OK	300°C 1倍径, OK
耐 ワ ニ ス 性	イソフタル酸アルキッドワニス		◎	◎	◎	◎	◎
耐 冷 媒 性	R-12~冷凍機油		◎	◎	◎	◎	◎
	R-22~冷凍機油		○	○	○	◎	◎
耐トランス油性	(120°Cトランス油中密封, 30日)		×	×	◎	◎	○
耐 水 性	耐ウエット クレージング性		◎	×	◎	◎	◎
	耐浸水課電特性		△	△	◎	◎	◎
電 気 特 性	(絶縁破壊電圧)		◎	◎	◎	◎	◎
経 済 性	(価 格)		◎	○	△	△	×

注：優劣の表示 ◎=優れている ○=良好 △=劣る ×=極めて劣る

表2 耐熱区分が130°Cクラス以上の耐熱横巻線の諸特性 汎用の耐熱巻線の諸特性を、二重ガラス巻線と対比して示した。

特性区分		巻 線 名 (巻線略称)	二重ガラス巻線 (DGC)	一重ガラス マイカ巻線 (SGMC)	一重芳香族ポリアミド巻線 (SNPC)	一重ポリイミド巻線 (SIC)
寸 法	公 称 導 体 径 (mm)		2.0×5.0	2.2×4.5	2.0×5.0	2.0×5.0
	被 覆 厚 (mm)		0.143×0.179	0.269×0.232	0.116×0.102	0.095×0.092
コイル巻関連特性	耐フラット ワイズ曲げ性	2 R90度	き裂なし	き裂なし	き裂なし	き裂なし
		3 R90度	"	"	"	"
	耐エッジ ワイズ曲げ性	5 R90度	"	"	"	"
		7 R90度	"	"	"	"
	耐回転かご形摩耗性 (回)		83	6	500<	500<
耐 熱 性	耐 熱 区 分 (20,000h)		130~180°C	155~180°C	155~180°C	180~220°C
耐 ワ ニ ス 性	シリコーンワニス		◎	◎	◎	◎
電 気 特 性	絶縁破壊電圧 (金属はく法, V)		790	3,600	1,020	9,000
	耐 コロナ 性		◎	◎	△	○
占 積 率 特 性			△	○	◎	◎

注：優劣の表示 ◎=優れている ○=良好 △=劣る ×=極めて劣る

とすべての面で競合するためとみられる。

220°Cクラスのエナメル線は、ポリイミド エナメル線が唯一のものである。ポリイミド エナメル線は、高分子絶縁材料系エナメル線の中で最も優れた耐熱性を持っており、特に耐熱性と小形軽量化が要求される電気機器のマグネット ワイヤとして高い信頼を得ている。今後ともこのポリイミド エナメル線の地位はゆるぎそうにない。

220°Cクラス以上の耐熱エナメル線は、導体がニッケルめっき銅線、ステンレス クラット銅線、銀線、白金線、絶縁材料がセラミックなどを用いなければならない⁶⁾。このため、この種の超耐熱エナメル線は、高速コイル巻線性や経済性の点で難点があり、その需要は極めて限られている。

(2) 耐熱横巻線

表2に実用されている耐熱横巻線の諸特性を示す。

ガラス巻線は、最も古くから実用されている耐熱横巻線である。このように長い間ガラス巻線が高い信頼を得ているのは、耐熱性に優れたガラス繊維を横巻した上に電氣的に優れた絶縁塗料を塗装焼付けしているためと考えられる。このた

めガラス巻線は、中・大容量電気機器のマグネット ワイヤとして今後とも実用されていくものとみられる。

ガラス マイカ巻線はガラス クロスとマイカ シートとの張り合わせテープを横巻した巻線である。この横巻線は、表2から分かるように絶縁破壊電圧特性、耐コロナ性などが優れており、高電圧の中・大容量電気機器のマグネット ワイヤとして今後の発展が期待されている。

芳香族ポリアミド巻線は、芳香族ポリアミドの不織布テープを横巻した巻線であり、また芳香族ポリイミド巻線は、芳香族ポリイミドのテープを横巻した巻線である。これら2種の耐熱高分子テープ巻線は、ガラス巻線に比較して占積率特性が優れており、耐熱性、小形軽量化及び信頼性が要求される電気機器のマグネット ワイヤとして用いられている。

2.3 耐熱マグネット ワイヤの指向すべき諸特性

電気機器が進歩するとともに、マグネット ワイヤに対する要求性能は年々厳しく、かつ多様化している。耐熱マグネット ワイヤでも耐熱性だけが優れていればよいという時代は過ぎ去り、次のような諸特性を同時に保持することが要求され

ている。

(1) 耐熱性

耐熱軟化性、耐熱衝撃性、短時間耐過負荷特性及び長時間耐熱寿命特性

(2) コイル巻線性

耐伸長性、耐巻付性、耐ねん回性、耐摩耗性、滑り性、均一性及び適度な軟らかさ

(3) 端末加工性

化学はく離性、ろう着性及びヒュージング性

(4) 耐ワニス性

耐溶剤性、耐ソルベント クレージング性及びワニスとの相性

(5) 耐冷媒性及び耐変圧器油性

耐冷媒性、耐油性及び耐密閉湿熱分解性

(6) 耐水性

低吸水性、耐ウェット クレージング性及び耐浸水課電性

(7) 難燃性

耐熱分解性及び自己消炎性

(8) 経済性

最近、これらの諸要求にこたえる一方法として、2種以上のエナメル塗料を塗布焼付けしたダブルコート エナメル線やトリプルコート エナメル線、あるいはエナメル線と横巻線の長所を生かした組合せ巻線が多用されている。

今後の耐熱マグネット ワイヤは、このように多様化した諸要求にこたえらるとともに、使いやすくかつ高い信頼性を持っている製品が望まれよう。

3 口出線の動向

3.1 口出線の種類

電動機、発電機、変圧器及びその他の電気機器(以下、機器と略す)のリード線として使用される口出線は、機器内配線用にも数多く使用され、その用途は広範囲に及び各種の絶縁電線が用いられている。現在、我が国で実用されている口出線の種類及びその主な特性を表3に示す。外国の例⁷⁾をみても、絶縁材料の種類はほぼ我が国と同じであり、合成ゴム、クロロスルホン化ポリエチレン、クロロブレン、架橋ポリエチ

レン、シリコン ゴムなどが主である。

3.2 口出線の实用評価

口出線を実用化するに当たっては、規格などに明示された一般的項目のほかに、耐熱寿命試験をはじめ機器の電工作業性を考慮した総合的な特性評価が要求される。本稿は、難燃性ポリフレックス[®]口出線(以下、MLFCと略す)を実用化するに当たり実施した特性試験を例に、結果の一部を紹介しながら实用評価試験について述べる。

(1) 耐熱寿命試験

耐熱寿命は、材料の伸び、引張り強さ、又は絶縁破壊の残率、巻付け加熱あるいは加熱後曲げによるクラックの発生を温度-時間の関係で求め、アレニウス プロットを描かせて評価する方法が採られている⁸⁾。加熱後曲げによる試験例を図2に示すが、本曲線より实用時間を勘案して实用耐熱度が評価される。

(2) 可とう性

実用的評価は困難であるが、片持はりによるたわみ量で評価する方法があり、その優劣を表3に示した。

(3) 耐摩耗性

JIS C3004に規定された試験が簡易であり、同じく表3に評価を示した。

(4) 耐コロナ特性

無しゃへい構造の口出線では特に重要な特性である。实用状態を模擬した試験例として、図3に破壊電圧試験結果を示す。

(5) コロナ発生電圧

無しゃへい構造の口出線では、鋭利な接地金属に近接又は接触したり、異相電線を接触して電氣的ストレスが一部に集中するような配線方法をすると、条件によって使用電圧でもコロナが発生して二次的に発生するオゾンの化学作用と相まって絶縁破壊に至ることがある。したがって、配線作業を想定した状態でのコロナ開始電圧を確認し、適切な配線作業基準を求めねばならない。各種接地金属に対する実験例を図4に示す。

(6) 耐トラッキング特性

漏れ電流による表面の炭化から表面絶縁破壊が汚損ふんい気中で経験される。評価試験として各種トラッキング試験が

表3 口出線の種類と特性 実用されている口出線の種類とそれらの特徴を示した。

種類	名 称	略 称	構 造		特 性									
			絶 縁 体	外部被覆	最 高 使 用 温 度(°C)	表面 漏れ 抵抗	耐燃性	耐油性	耐水性	耐候性	耐薬 品性	耐熱 変形	可とう 性	耐摩 耗性
ビニル絶縁口出線		LV	ビニル	絶縁体 共通	60	優	優	優	極良	優	良	不可	良	良
クロロブレン絶縁口出線		LN	クロロブレン	"	75	"	"	良	可	"	"	極良	優	優
ブチルゴム絶縁 口出線		LBN	ブチルゴム	クロロブレン	80	"	"	"	"	"	"	"	"	"
架橋ポリエチレン 絶縁口出線		LC	架橋ポリエチレン	絶縁体 共通	90	"	不可	極良	優	"	"	"	不可	"
けい素ゴム絶縁口出線		LKGB	けい素ゴム	ガラス組 編	180	良	優	不可	可	"	極良	優	可	不可
強力シリコン ゴム絶縁 口出線		LK	難燃性 強力シリコン	絶縁体 共通	180	"	"	"	"	"	"	"	良	"
難燃性ポリフレックス [®] 口出線		MLFC	難燃性 ポリフレックス	"	120 *	優	"	極良	優	"	良	極良	優	優
耐熱ポリフレックス [®] 口出線		F-LFC	耐熱 ポリフレックス	"	140 *	"	不可	"	"	"	"	"	"	"
ハイパロン絶縁 (クロロスルホン化PE)口出線		LHH	ハイパロン	"	90	"	優	良	可	"	"	"	"	"

注：*は本耐熱度は実用特性から20,000時間寿命評価法により推定したものである。

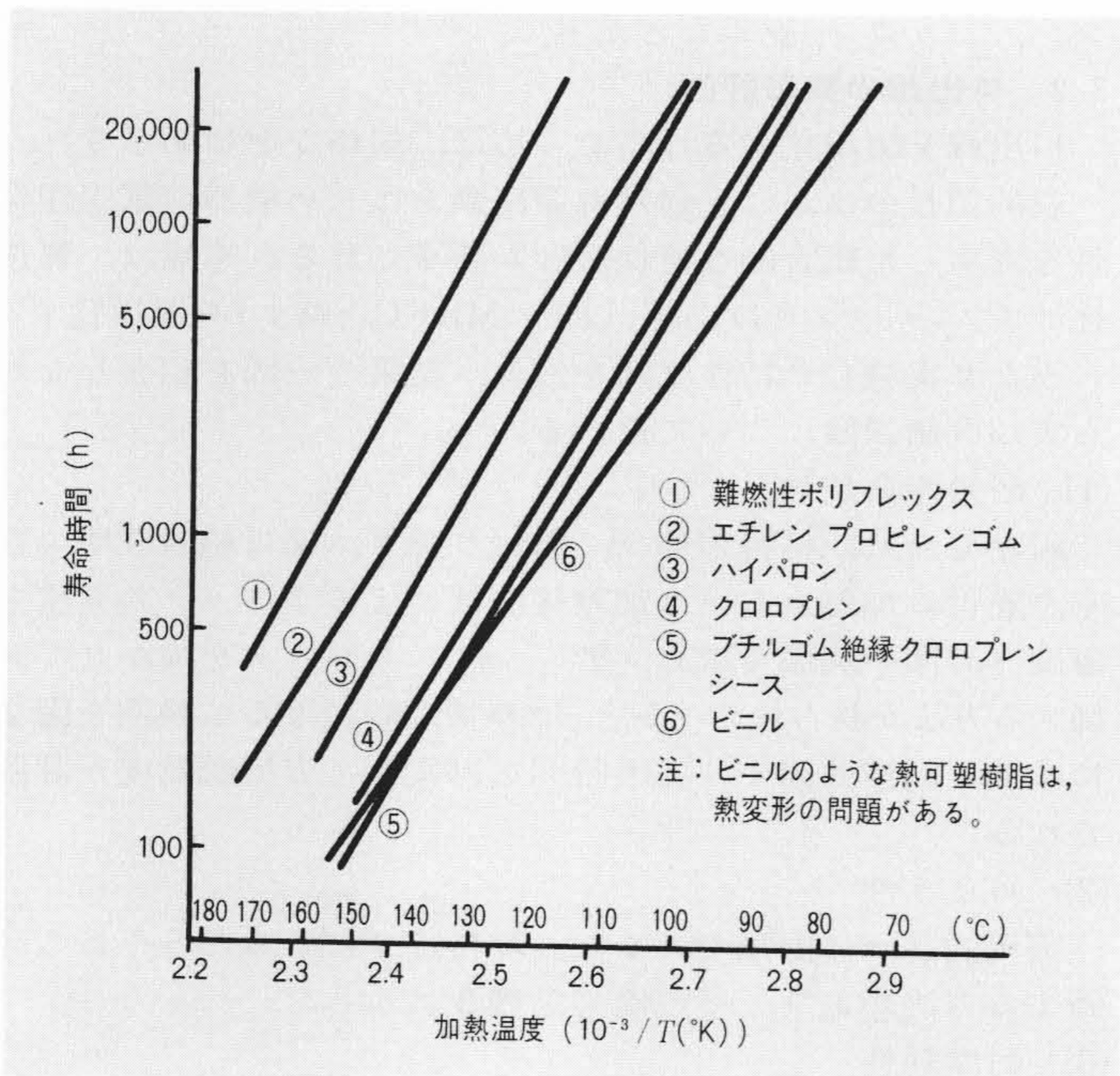


図2 耐熱寿命特性 難燃性ポリフレックス口出線が、120°C 20,000時間の耐熱寿命を持っていることを示している。

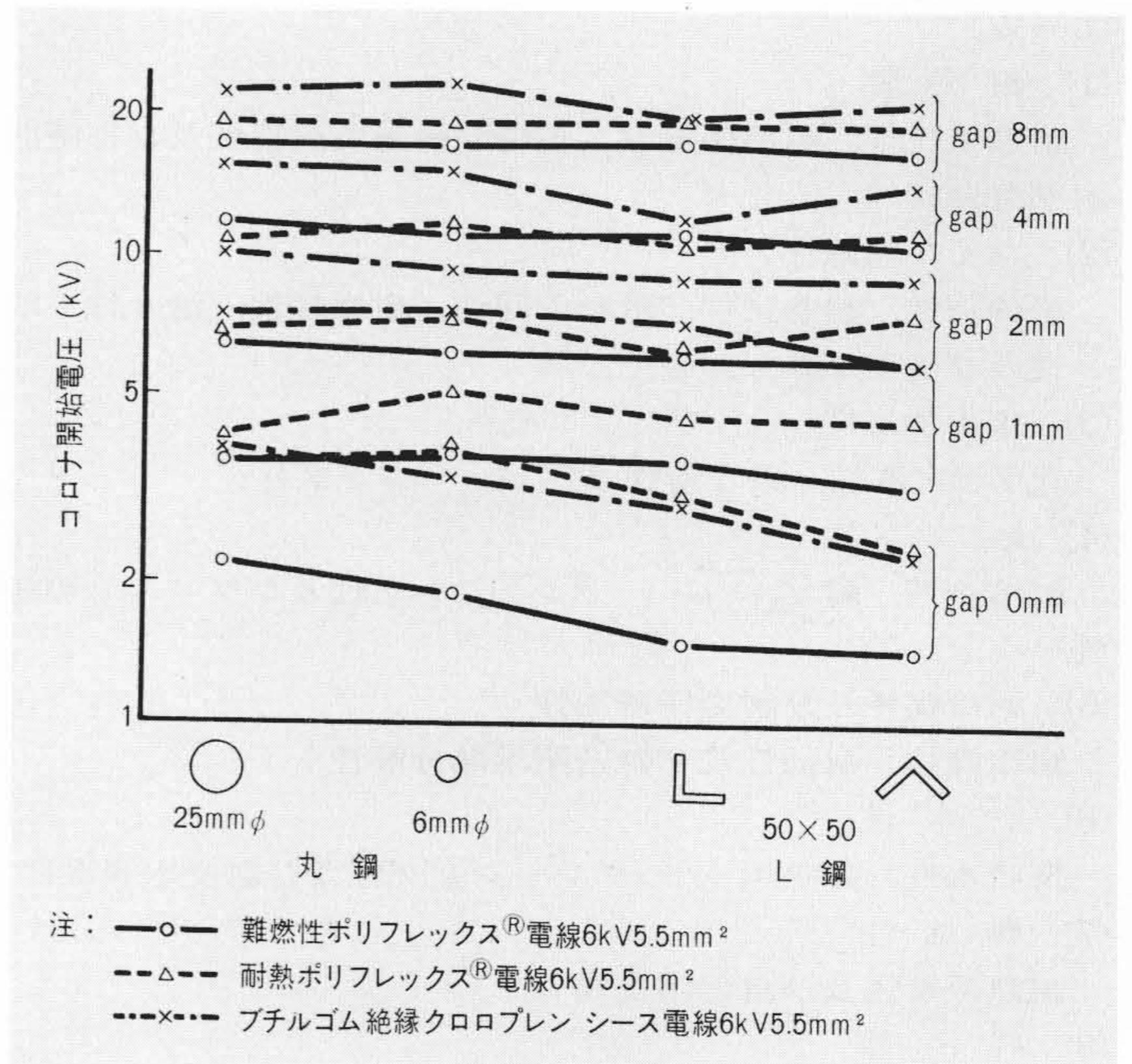


図4 コロナ開始電圧 接地金属の形状効果及び離隔距離の効果が著しい。

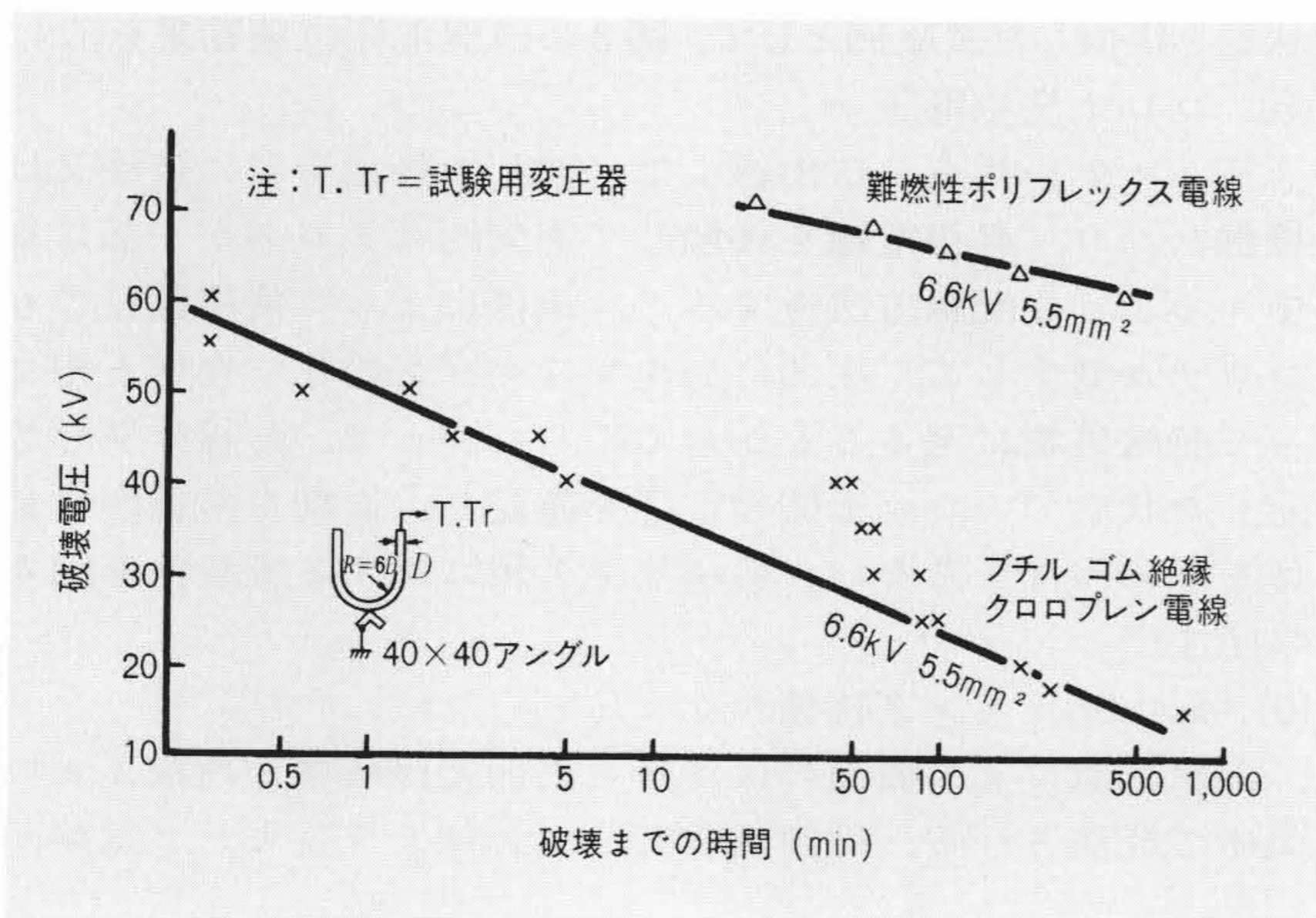


図3 破壊電圧と時間特性 コロナ劣化による破壊特性を模擬した試験であり、無しゃへい電線では特に重要な特性である。

あるが、形状効果も評価される塩水噴霧法が有効である。

(7) 耐ワニス性

電工作業を模擬してワニス処理を行ない、絶縁体の劣化状況、ワニスとの共割れ現象の有無を検討しなければならない。ワニスの種類とともに、その溶剤も種類が多く、耐熱度の向上に伴って処理温度が高くなる傾向であるので、特に慎重に検討しなければならない。

(8) 加熱変形特性

電工作業及び実用時を考慮した評価試験として、電線に引張り荷重を与えて半径1mmのエッジに押し付け、加熱変形させて破壊電圧特性を確認した。MLFCの例では、絶縁体の変形率73%の状態では25kVの絶縁破壊値を示している。

3.3 今後の動向

表3に示したように、現在実用化されている絶縁材料ではA種以上の材料が皆無に近い。電線、ケーブル絶縁材料の主流は、ビニル、ポリエチレン、架橋ポリエチレン及びエチレ

ンプロピレン ゴムが占めている現況から、著しい耐熱度の向上は困難と思われるが、E種級までは架橋ポリエチレン、エチレンプロピレン ゴムの改良により実現されるであろう。

H種用材料としては、フッ素樹脂系材料及びシリコンゴムがある。可とう性の面から口出線用材料としては、シリコンゴムが一般的であり、また唯一のものである。ガラスマイカ巻電線が紹介されている例をみるが⁹⁾、無機絶縁材料の応用は一方向性を示すものとして注目される。

口出線は、前述のように各種の機能特性が要求されるが、更に難燃性、耐放射線性が要求されよう。特に難燃性は不可欠な項目になると考えられる。

4 結 言

耐熱マグネット ワイヤは1950～1970年にかけて飛躍的に発展し、電気機器の小形軽量化などに大きく貢献している。マグネット ワイヤ及び口出線に対する要求性能は年々厳しいものとなってきているが、これに対応するために更に製品の改良、開発及び信頼性試験による品質の安定化に努め、電気機器の発展に寄与したいと考える。

参考文献

- 1) W. Patnode, E.J. Flynn, J.A. Weh : Ind. Eng. Chem., 31(9), 1063～1071(1939)
- 2) G.E社 : アメリカ特許2,307,588号(1938年)
- 3) W.F.Gilliam, F.M.Boldebeck, J.R.Elliot : AIEE Transaction., Part 1, 74, 557～560(Sep. 1955)
- 4) G.E社 : アメリカ特許2,936,296号(1954年)
- 5) 電線工業会技術部編 : 電線時報28(10), 11～19(1975)
- 6) W.W.Pendleton : Electro Technology p.95～102(Oct.1963)
- 7) CSA C22.2 No. 116-1972 : Coil-lead Wires
- 8) 機器用絶縁電線専門委員会 : 「口出線の耐熱寿命」, 電気学会技術報告(1部)第83号(昭42-11)
- 9) Samicaflex SI Cable Wire Industry 技術資料(May.1976)