

500kV OFケーブルの長期実証試験

Long Term Proof Test of 500kV Self-contained Oil-filled Cable System

送電系統の500kV昇圧・大容量化に合わせて地中送電路を拡充するため、新たに大サイズ500kV OFケーブル及び付属品を開発し、その実用性確認を目的として、3年間にわたり実規模大の長期実証試験を行なった。熱的・機械的にストレスのかかる強制冷却試験、及び電氣的・熱的高ストレス運転の加速劣化試験により、実線路での長期の使用に十分匹敵する負荷を加えたが、 $\tan\delta$ や絶縁油の特性は極めて安定しており、十分実用に供し得ることが実証された。この成果により、500kV OFケーブルは、東京電力株式会社袖ヶ浦発電所において実用化への第一歩を踏み出した。

渡辺達雄*
片上浩三**
岡 皓一***
沼尻文哉****

Tatsuo Watanabe
Kôzô Katakami
Kôichi Oka
Fumiya Numajiri

1 緒 言

最近、臨海大容量火力発電所、あるいは、原子力発電所からの引出しや、架空送電線建設の制約による地中化などにより、地中送電線路も送電容量の増大と超々高圧化の必要性が高まってきた。一方、架空送電線では500kV送電が実現し、これに接続されるケーブルの早期実現への具体的な要請が生じた。このため、東京電力株式会社と電線メーカー5社は共同して500kV OF及びPOFケーブルの開発に取り組みこれらの実用性を確認するため、東京電力株式会社東東京ケーブル試験場で昭和45年より3年間にわたる長期実証試験を行なった⁽¹⁾。

本稿は、このうち日立電線株式会社が担当した500kV OFケーブル及びその付属品についての試験結果を取りまとめたものである。

OFケーブルは通常数十年の長期にわたって使用され、この間、系統の異常電圧や、熱的・機械的なストレスに耐えて所要の電流容量を保つことが要求される。こうした長期間の性能を短い時間で確認するには実際より高いストレスを加えて被試験物の劣化を促進させる、いわゆる加速劣化試験が適当である。本試験では、主に電氣的及び熱的な加速劣化試験における絶縁体の特性変化を調べ、ケーブルの実用性を判定した。

2 試験線路

2.1 供試ケーブル

誘電体損失による電流容量の低下を防ぐため、絶縁体に超低損失クラフト紙を用いて、油含浸の紙ケーブルとしては、0.15%(定格運転時)という極めて低い $\tan\delta$ をもった1×1,200mm²、1×2,000mm²の2種のケーブルを開発し⁽²⁾実証試験に供した。表1にこれらの主な構造を示す。含浸油にはハード形アルキルベンゼン系合成油が用いられた。これらのケーブルの常規電圧に対する最大電位傾度は15~16kV/mmで、従来のOFケーブルの10~12kV/mmに比べかなり高くなっている。

2.2 試験線路の構成

試験線路は三相1回線で、図1に示すように管路や洞道・人孔などを含み、実線路と同様の布設形態をとっており、布設工事から最終電気試験まで、すべて実用線路に直結するよう考慮されている。線路長は約430mである。表2に同時に

試験を行なった各付属品を示す。なお、A相ケーブル及びC相の洞道側ケーブルは、昭和電線電纜株式会社により試料が提供されている。

2.3 課通電の方法

課電は負荷時切換えタップ付試験変圧器より三相のケーブルに同一電圧を加え通電はリングトランスにより三相交流を流した。ケーブルの導体温度は電子計算機によって常時監視

表1 供試ケーブルの構造 導体サイズが1,200~2,000mm²と大きく、絶縁厚も30mmと厚いため、ケーブル外径が140φ以上と太い記録的なケーブルである。

項 目		数 値	
ケーブルの種類		1×1,200mm ² アルミ被OF	1×2,000mm ² 鉛被OF
油 通 路	内 径(mmφ)	18.0	18.0
	公 称 断 面 積(mm ²)	1,200	2,000
	形 状	6分割圧縮	6分割圧縮
導 体	構 成	61×6セグメント	109本×6セグメント
	外 径(mm)	47.9	59.4
絶 縁 体	導体上カーボン紙(mm)	0.3	0.3
	絶 縁 厚 さ(mm)	29.4	28.9
	絶縁体上カーボン紙(mm)	0.3	0.3
しゃへい層厚さ(mm)		0.3	0.3
バインダ厚さ(mm)		0.5	0.5
金属シース厚さ(mm)		2.8(アルミ被)	4.5(鉛被)
概 算 外 径(mm)		142	145
概 算 重 量(kg/km)		30,000	56,000

表2 供試ケーブル付属品 実線路に使用されるすべての付属品が含まれている。

付属品の名称	個 数	相 別	備 考
気中終端箱	2	B、C	8m耐塩害用
SF ₆ ガス終端箱	1	B	エポキシがい管長 1.5m
絶縁接続箱	4	B、C	No. 1人孔 2 No. 2人孔 1 No. 3人孔 //
油止接続箱	1	B	No. 2人孔

* 東京電力株式会社工務部 副部長

** 日立電線株式会社日高工場

*** 日立電線株式会社研究所

**** 日立電線株式会社研究所 工学博士

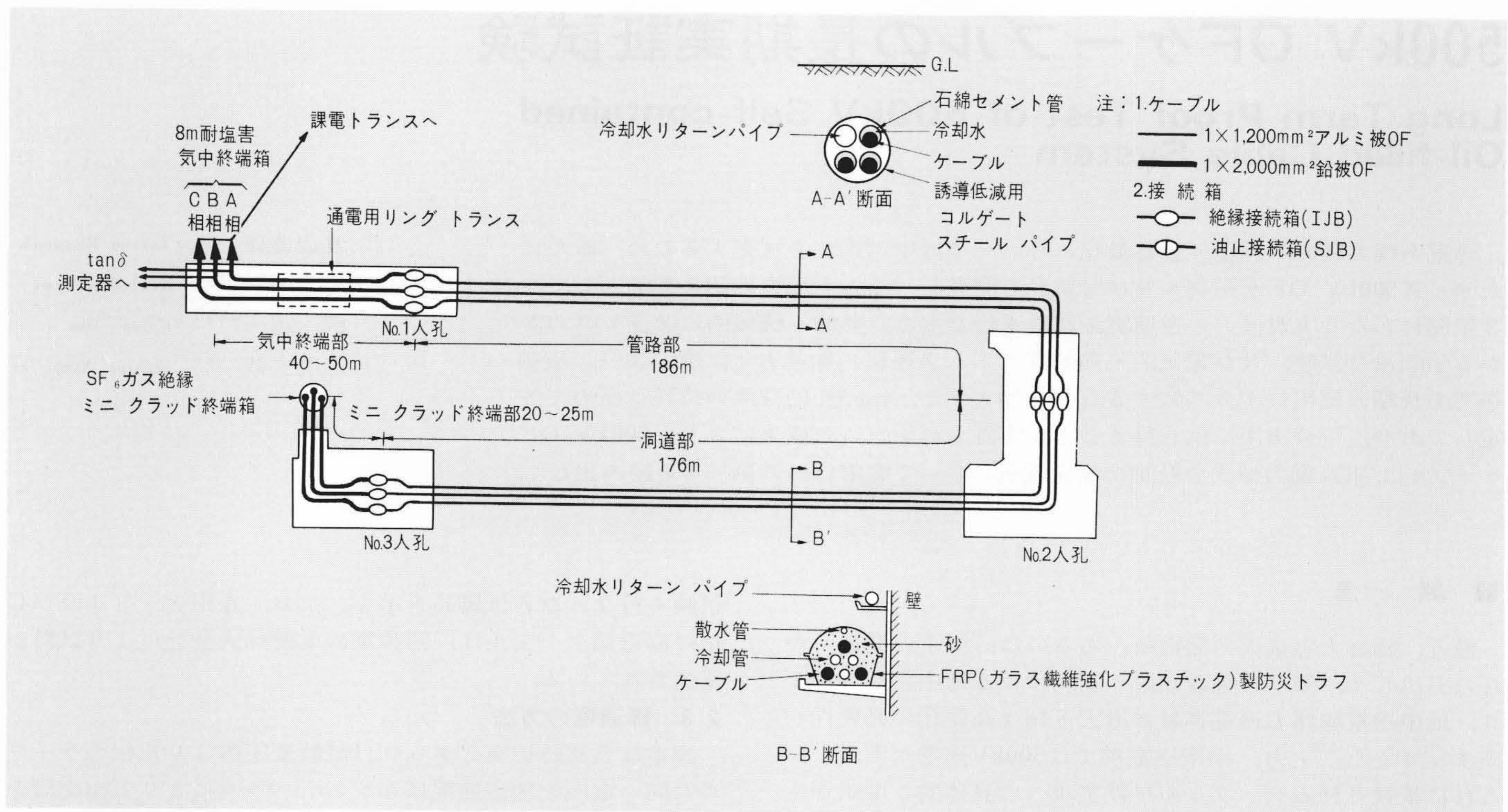


図1 試験線路の構成 管路及び洞道部は、 $1 \times 1,200\text{mm}^2$ 、アルミ被OFケーブルが使用され、強制冷却設備が設けられている。両終端は $1 \times 2,000\text{mm}^2$ 、鉛被OFケーブルが使用され、気中終端箱側から課電されている。

し、温度は通電電流の加減によって制御した(図2)。

3 試験条件と試験スケジュール

500kV ケーブル及び付属品に要求される長期安定性を短期間に検証するため、運転温度及び印加電圧を実際の値より高くした、いわゆる加速劣化試験を行なった。初めの1年間は、強制冷却による大容量送電実験⁽³⁾のため、500kV ケーブルは電圧 $1.05E$ ($E=500/\sqrt{3}\text{ kV}$)、導体温度 80°C の通常の条件で試験された。この過程を基準として、残る2年間の加速劣化期間の電圧及び温度は次のように選ばれた。

まず電圧は、一線地絡時の電圧上昇($550\text{ kV} \times 0.72$)をその最大値とし、基準電圧 $1.05E$ との間に次の3段階を設定した。

$$1.15E (\div 1.05E \times 1.1) = 332\text{ kV}$$

$$1.25E (\div 1.15E \times 1.1) = 361\text{ kV}$$

$$1.38E (\div 1.25E \times 1.1) = 398\text{ kV} = 550\text{ kV} \times 0.72$$

次に温度は、OFケーブルの連続許容温度 80°C をベースに、A E I C (Association of Edison Illuminating Companies) 規格に定められた短時間許容温度 105°C を最高値とし、中間レベルとして 95°C の3段階を設定した。これらをケーブルにとって緩やかな条件から順に組み合わせ、表3に示す試験条件を定めた。まず第1ステップでは、電圧・温度を通常の使用条件 $1.05E$ 、 80°C より1段階ずつ上げて、 $1.15E$ 、 95°C とした。第2ステップでは、更に電圧を上げて $1.25E$ とし、次に温度を 105°C に上げ第3ステップとした。第4ステップ以降は、電圧を最高値の $1.38E$ に上げ、温度を 80°C から順に上げてゆくこととした。

こうした加速劣化試験の評価法についてはまだ定説はないが、ここでは比較的よく使用される。

温度の効果…………… 7°C 半減則

電圧の効果……………5乗則

を用いて検討した⁽⁴⁾。ケーブルが使用される平均導体温度を



図2 500kV OFケーブルの課通電試験状況 ケーブルの導体温度は、電子計算機によって常時監視し、温度は通電電流の加減によって制御した。

60°C と考えると、表3の条件の等価試験年数は、温度の効果が68.8年(80°C に対しては9.3年)、電圧の効果が6.8年となる。これは、約30年といわれる要求寿命に対して、十分な試験期間といえる。

次に、負荷変動による機械的ストレスへの耐久性の検証について述べる。強制冷却期間に導体温度変化幅最大 37°C のヒ

表3 試験条件 長期加速劣化試験では、その等価試験年数がケーブルの実用期間を満たすよう考慮されている。

試験ステップ	試験期間	印加電圧	導体温度(℃)	通電条件
強制冷却試験	12ヶ月	1.05E* (303kV)	~80	{連続 サイクリック
長期加速劣化試験	1	3ヶ月	1.15E (332kV)	95 連続
	2	3ヶ月	1.25E (361kV)	95 連続
	3	3ヶ月(12週)**	1.25E (361kV)	105 連続
	4	3ヶ月(10週)**	1.38E (399kV)	80 連続
	5	3ヶ月(8週)**	1.38E (399kV)	95 連続
	6	3ヶ月(8週)**	1.38E (399kV)	105 連続
	7****	約5ヶ月	1.38E (399kV)	105 連続

(注)： * =E=500/√3 kV
** =計画は3ヶ月であったが、実施は縮小された。
*** =1サイクルを48時間(40時間通電，8時間しゃ断)とし、導体温度変化30℃を目標とする。
**** =試験期間が不足したために追加された補足試験を示す。

ート サイクル試験約40サイクルが実施され、通常のケーブルとしては既に十分な機械的ストレスに耐えていることと、全期間ヒート サイクル試験を行なうと、熱的に十分な加速試験ができないため、第2，第4，第5ステップに導体温度変化幅を30℃と大きく選んだヒート サイクルを集中して、この耐久性試験に代えることとした。

最後に、加速劣化試験終了時に、ケーブル出荷時のわく試験相当電圧1.46E (420kV)を100分間印加し、本試験終了後も出荷時の性能を維持しているか否かの検証を行なうこととした。

4 試験結果及び考察

4.1 試験の経過と実績

前章で決定された各試験は、表4に示すスケジュールに従って実施された。これらのうち、初めの強制冷却試験は予定どおり実施された。これに対し、加速劣化試験は1.38E課電に重点を置く6ステップ、各3ヶ月の計画で出発したが、電源設備の点検や他の試験の影響で、表3に示すように第3～

第6ステップが少しずつ短縮され、温度実績が予定をかなり下まわったため、その補償として第6ステップと同じ条件の第7ステップが追加された。

強制冷却試験は実質1年間実施された。この間、印加電圧は1.05E，導体温度は冷却条件により50～80℃で運転された。

冷却期間を含め、課電は予定どおり行なわれ、表5に示す実績を得た。

次に温度運転実績について触れる。試験線は、実線路と同じ条件での布設・試験に重点を置き、ルート中に管路、洞道、人孔及び気中ピットと種々温度条件の異なる部分を含んでいるため、場所によって温度に差があり、特に気中に出ている両端部は温度の低いときがあった。しかし、接続部には保温などの対策を立て、ケーブル部の温度に近づけるよう努力した。ケーブル及び接続部の最高温度の部署は一定しており、これらの点が寿命を定めるものと考えられるので、これらの点について温度実績のヒストグラムを作ると、例えば図3に示すようになる(第3ステップ)。目標導体温度105℃に対し、ケーブルはかなり近い実績をもっているが、接続部(本試験では油止接続箱が最高温度点となった)は多少温度が低くなっている。これは、熱抵抗の大きい接続部の温度制御が難しく、安全側で運転した結果である。

最後に、ヒート サイクル試験は、全体のスケジュール変更により多少縮小されたが、表6に示すように回数で80%，導体温度変化幅で85%程度目標を達成した。

4.2 等価試験年数

以上の試験実績を評価するため、表4の試験実績から前章で示した方法によって等価試験年数を算出すると、図4に示す結果が得られる。電圧については設定値への調整が容易な

表5 課電実績 対地400kV，線間690kV (1.38E)の最高電圧が約1年間印加された。

試験ステップ 電圧	強制冷却 期間	加速劣化期間(ステップ)						
		1	2	3	4	5	6	7
1.05E*	49	—	—	—	—	—	—	—
1.15E	—	15	—	—	—	—	—	—
1.25E	—	—	13	12	—	—	—	—
1.38E	—	—	—	—	10	7	16	17

注：*E=500/√3 kV
単位=週間

表4 試験実施スケジュール ケーブルの長期寿命の検証は、主に後半の加速劣化試験によって行なわれた。

項 目	年(昭和) 月	45	46												47												48												49																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
試験ステップ		強 制 冷 却 試 験												加 速 劣 化 試 験																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
														1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
印 加 電 圧		1.05E *												1.15E	1.25E						1.38E						1.46E ↑ 100分																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
最高導体温度		80℃												95℃			105℃			80℃	95℃	105℃																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
tanδ 測 定**		⓪	⓪											⓪	⓪						⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	⓪	

注：. * E=500/√3 kV
** ⓪は電圧特性，⓪は温度特性の測定を示す。
*** ○印は検査実施時期を示す。

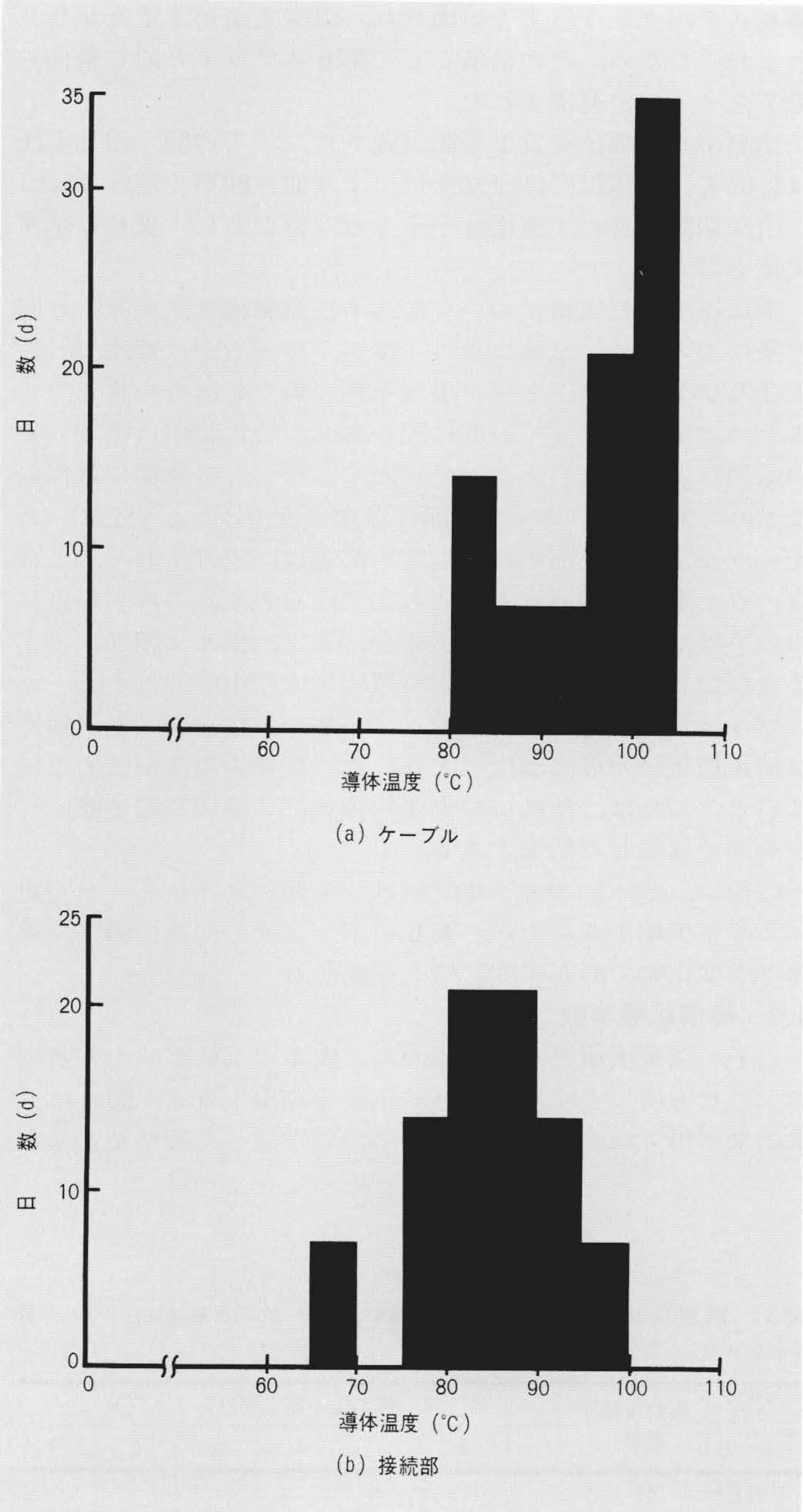


図3 運転温度実績例 第3ステップ(目標導体温度105℃, 課電電圧1.25E) ケーブルはほぼ目標に近い温度で運転されたが, 接続部の温度は多少低くなっている。

表6 ヒート サイクル試験の実績 導体温度変化幅, ヒート サイクル回数とも目標の8割程度を満たしている。

試験ステップ		第2ステップ		第4ステップ		第5ステップ	
最高導体温度(℃)		95		80		95	
印加電圧		1.25E*		1.38E		1.38E	
供試品		ケーブル	接続部	ケーブル	接続部	ケーブル部	接続部
導体温度(℃) 変化幅	管路部	25.8	44.5	8.8	14.0	20.0	46.6
	洞道部	26.7	36.4	10.7	14.3	25.9	27.2
ヒート サイクル回数		{40時間 通電...8回 8時間 シャ断		{12時間 通電...4回 12時間 シャ断 {40時間 通電...11回 8時間 シャ断		{14時間 通電...22回 10時間 シャ断	

注: *E= $\frac{500}{\sqrt{3}}$ kV

ので, 予定どおりの等価年数が得られ, 全体のスケジュールが多少延びたため, 加速劣化期間で6.5年, 強制冷却期間も合わせた合計では7.5年となった。

一方, 温度の効果は図3のヒストグラムから想像されるように, 温度制御の困難さなどにより目標温度を下まわった期間がかなりあり, それだけ等価試験年数も短くなっている。特に, 接続部にこの傾向が著しい。しかし, 図4に示したように, 実線路での使用条件(平均導体温度60℃)に対する本試験の等価年数はケーブルで30年となり, 要求寿命年数を満足している。また, 接続部の等価年数は60℃ベースで20年と, ケーブルより短くなったが, 実線路でも一般に接続部の温度はケーブルより低くなっており, この試験により, ケーブルとはほぼ同等の寿命保証ができたと考えられる。

4.3 誘電正接特性

超高压OFケーブルの長期寿命試験において, 絶縁特性の変化を把握し, 安定性の判断の有力な目安となるものは誘電正接(以下, $\tan\delta$ と呼ぶ)特性である。このため, 半年に1回の割合で $\tan\delta$ の温度及び電圧特性を詳細に測定したほか, 第4~第7ステップの1.38Eの高ストレス課電に当たっては, 安全を期するため, 1ヶ月に1回, 電圧特性を測定した(表4参照)。

$\tan\delta$ は, 各相ごとに両端末を除くケーブル(1,200mm², 2,000mm²), 接続部(油止接続箱一組, 絶縁接続箱二組)を一括して測定した。このため測定結果はこれらの平均値となるが, ケー

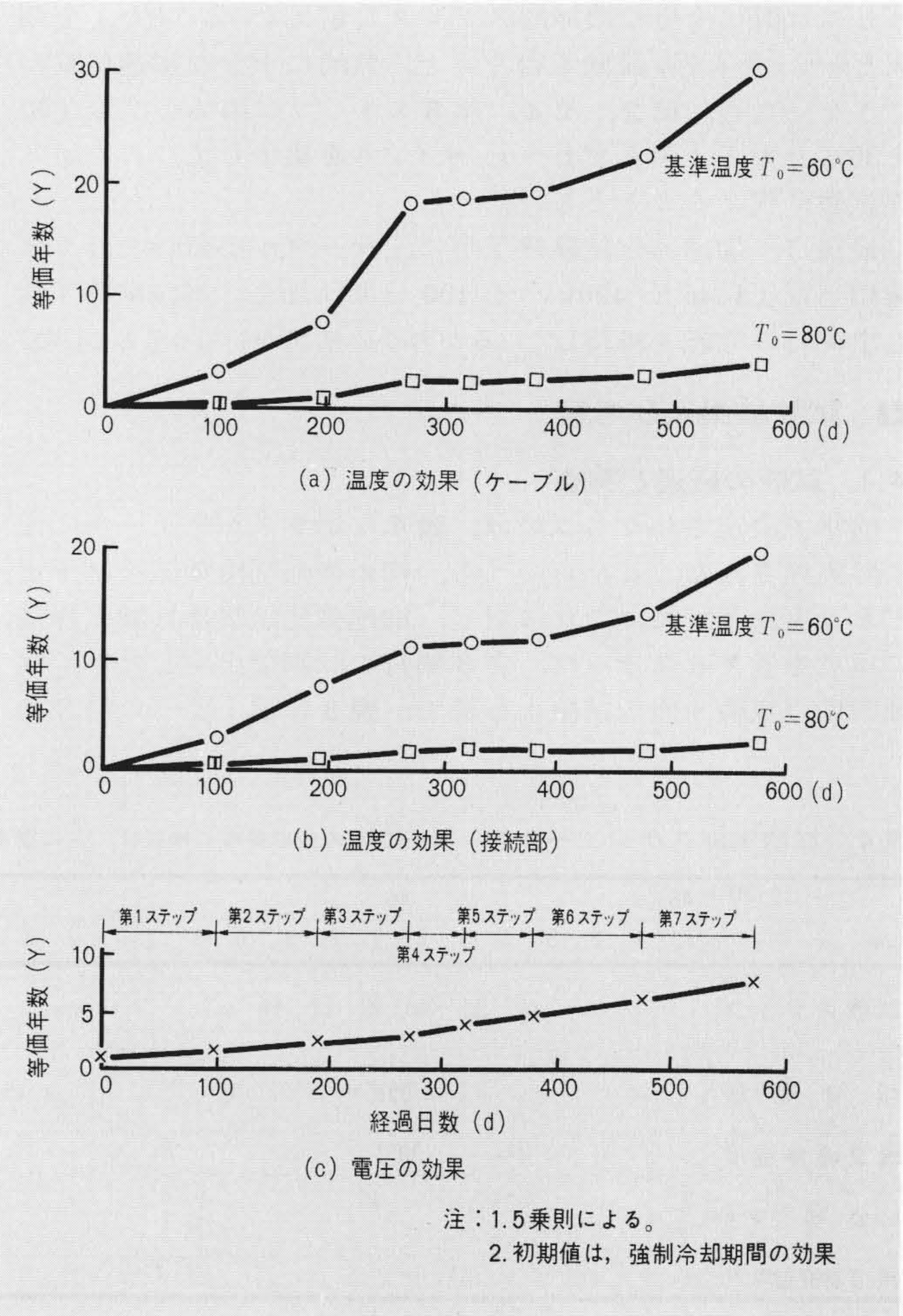


図4 加速劣化試験の等価試験年数 温度の効果はケーブルで約30年で, 所期の要求年数を満たした。

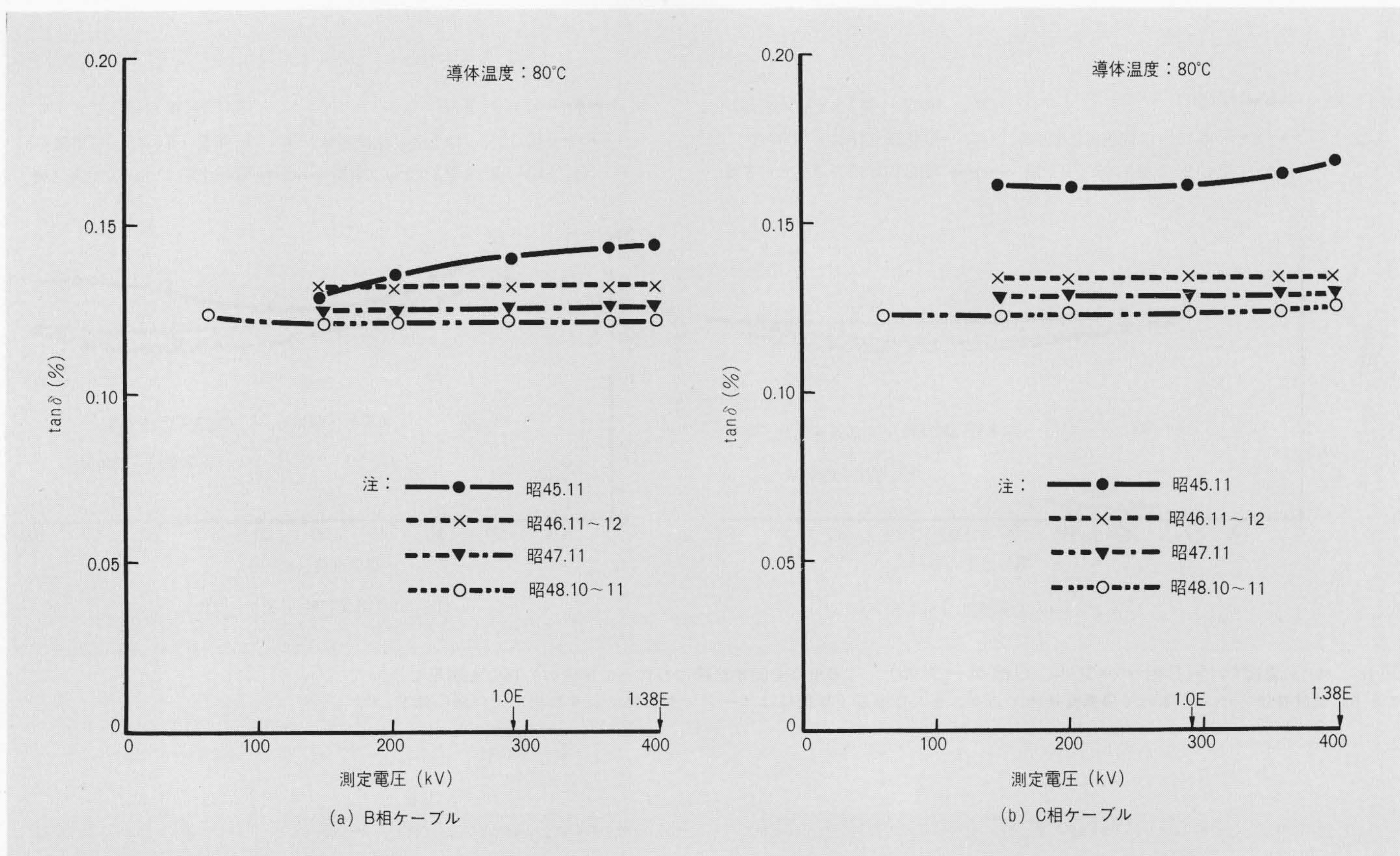


図5 $\tan\delta$ 電圧特性 時間とともにエージング効果によって平坦に、且つ小さな値になっている。

ブルの長さが十分長いのでそのままケーブルの $\tan\delta$ を表わしていると考えてよい。また、ケーブル長が400m余/相と非常に長いため、シースの対地静電容量に基づく測定誤差を除く目的で、いわゆる「コーネル法」によって測定を行なった。

B相、C相について各相別の測定結果を、図5(電圧特性)及び図6(温度特性)に示す。

B相の $\tan\delta$ は、図5(a)及び図6(a)に示されるように、全期間全測定範囲において目標の0.15%(導体温度80°C、電圧1.05E)を満たしており、特にその最低値は0.12%と、紙ケーブルとしては極めて低く、500kVケーブルとして十分な特性をもっていることが実証された。布設初期には多少電圧特性の傾斜をもっていた $\tan\delta$ は、いわゆるエージング効果によって1年後には平坦となり(図5)、また、その絶対値も漸減してきている。図6に示される温度特性は油浸絶縁特有のV字特性を示してはいるが、その変化幅は従来のケーブルに比べて小さく、更に経年効果による $\tan\delta$ 値の変化も小さく、電圧・温度特性、経年安定度のいずれをとっても満足のいく結果が得られた。

これに対し、C相は、初期の $\tan\delta$ 値がやや大きいですが、エージング効果により1年後にはほぼB相に近い値に低下して、その後は安定な特性を示している。なお、C相は半分がA相と同じメーカーのケーブルであり、測定された特性はA相⁽⁵⁾とB相との平均値を示しているように思われる。

いずれのケーブルもエージング効果による $\tan\delta$ の減少は、試験終了時にはほぼ飽和したようである。

4.4 ケーブル絶縁油の特性

ケーブルの絶縁特性の変化を調べるもう一つの手段として、期間中6回にわたってケーブル絶縁油を採取し、その特性を調べた。図7にその主な結果を示す。絶縁破壊電圧及び固有

抵抗は初期より若干低下してきているが、 $\tan\delta$ は逆に改善されて良くなっている。その他、密度、粘度、流動点などの物理量や、油中の水分量についても測定したが、これらにはほとんど変化が認められず、絶縁油の面からみてもケーブルは十分安定していたと判断される。

4.5 1.46E印加試験

本実証試験の最後に、ケーブル出荷時のわく試験電圧1.46E(420kV)を100分間印加した。ケーブルの出荷時にはこの電圧を10分間印加し、製造上の欠陥の検出と、線路に発生する持続性異常電圧に耐える性能の確認とを行なっている。今回の試験は、この耐電圧特性においてケーブルが初期と同等の性能をもち、更に使用できるか否かを検証する目的をもっていた。

試験の結果、ケーブル及び付属品には全く異常が認められず、上記の耐電圧性能を堅持していることが確認された。

5 結 言

2年間の高ストレス、高温運転の加速劣化を含む3年間の長期実証試験により、我が国初の500kV OFケーブルの優れた特性が実証された。すなわち、

- (1) 誘電正接は紙ケーブルとしては非常に低い目標値の0.15%を十分に満足し、且つ極めて安定した値を示していた。
- (2) この試験により、これらのケーブル及び付属品は実線路での長期使用に十分耐え得る性能をもっていると判定された。

上記の研究によって500kV OFケーブルは実線路での信頼性が保証され、第一段階として東京電力株式会社袖ヶ浦発電所に使用された⁽⁶⁾。

最後に、本実証試験の実施に当たり、御指導をいただいた東京電力株式会社取締役・高木利夫技術開発研究所長をはじめ

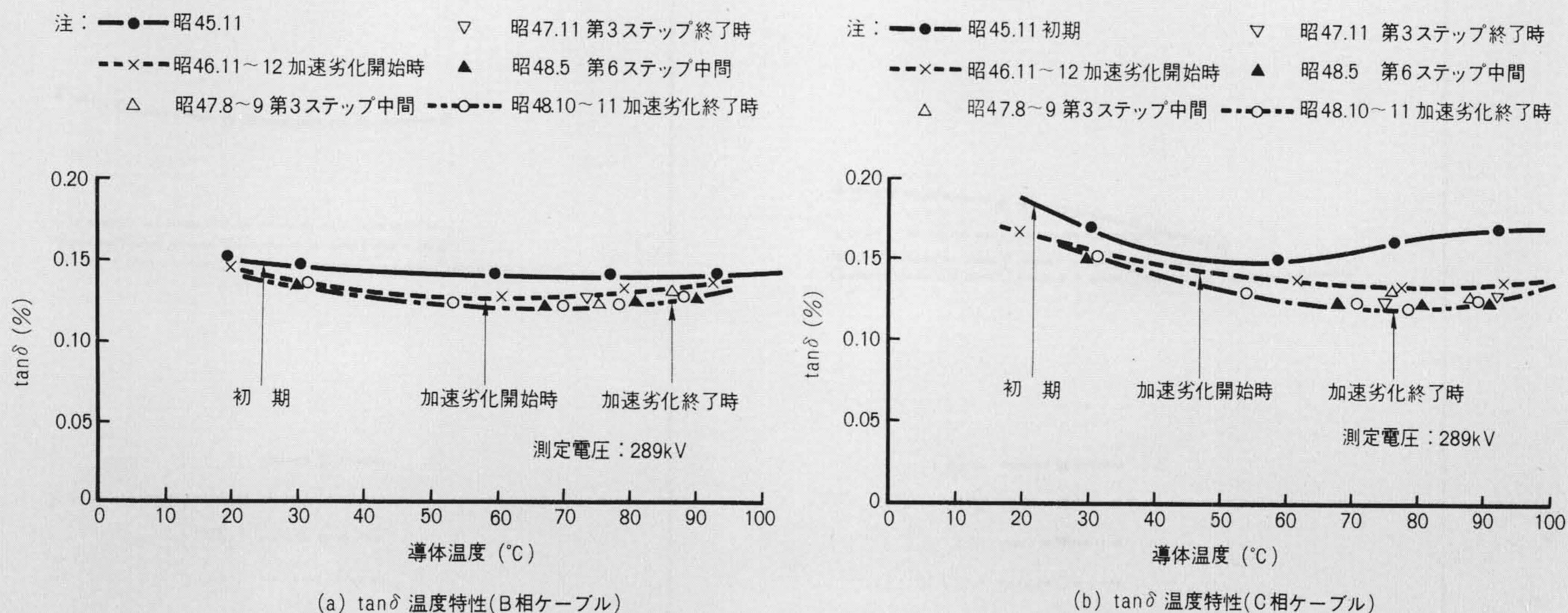


図6 $\tan\delta$ 温度特性(B相ケーブル, C相ケーブル) B相は全測定範囲にわたって目標の0.15%を満足しており, 温度特性も小さく極めて優秀な特性である。またC相も1年後にはエージング効果によりB相に近い値に低下した。

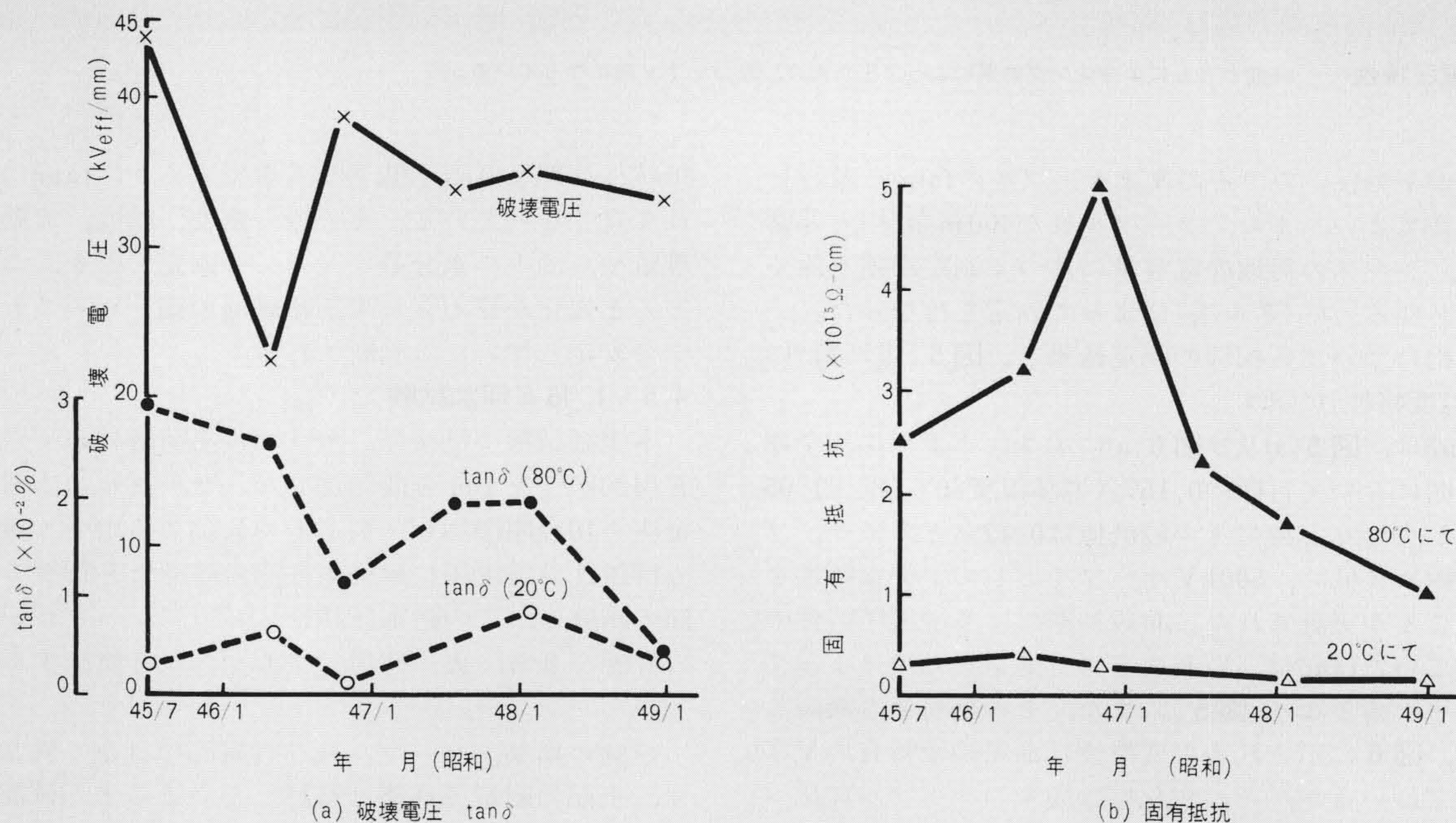


図7 ケーブル絶縁油の特性 破壊電圧・固有抵抗は若干低下し, 一方, $\tan\delta$ は改善され, 全体としては安定した特性を示している。

め, 御協力いただいた関係各位に対し深謝の意を表わす次第である。なお絶縁油の特性については, 日立電線株式会社研究所の遠藤 桓氏の測定によるものであることを付記して感謝の印とする。

参考文献

(1) 渡辺「500kV OF ケーブルの実用化試験」, オーム 60, 3, 73 (昭48-3)

- (2) 渡辺, 林ほか「500kV OF ケーブル及び付属品の開発」, 日立評論 54, 355 (昭47-4)
- (3) 渡辺, 岡ほか「500kV OF ケーブル管路直接水冷実証試験」, 日立評論 55, 1085 (昭48-11)
- (4) 沼尻, 安藤「500kV OF ケーブルの基本試験の考え方」, 昭49 電気四学会連合大会 No. 18
- (5) 渡辺, 林ほか「500kV OF ケーブルの長期課通電試験結果」, 昭和電線電纜レビュー 24, 1, 50 (昭49-6)
- (6) 渡辺, 佐藤ほか「東京電力株式会社袖ヶ浦火力発電所向け 500kV アルミ被OF ケーブル」, 日立評論 54, 1013 (昭49-10)