

油入パイプ形ケーブルの絶縁油移動現象
Oil Drainage Problem of High Pressure Oil Pipe Type Cable

比 企 野 恭 二* 綱 野 弘*
Kyoji Hikino Hiroshi Amino
千 葉 佐 武 郎* 池 上 久 也*
Saburô Chiba Kyuya Ikegami

要 旨

油入パイプ形ケーブルを長距離輸送あるいは長期間保管する場合には絶縁油の移動現象にじゅうぶん注目する必要がある。本報告は230 kV 油入パイプ形ケーブルに対するこの現象の具体例を示したものであり、絶縁層の油枯れと電気的特性の関係、油枯れ防止対策および油枯れケーブルの再含浸の可能性についても言及した。

1. 緒 言

油入パイプ形ケーブルはマスインプレグネーションにより完全含浸されたケーブル絶縁の上に、不透湿性材料のラッピングによる防湿層とスキッドワイヤを設け、あらかじめ布設された管路内に引き入れ、接続後、管路システム内部を排気して加圧媒体油（パイプ油）を充填（てん）して用いられる。防湿層はラッピングになっているため完全ではなく、引き入れまでの防湿を完全にするために、仮鉛被を設けるかあるいは密閉ドラムを用いて乾燥窒素（N₂）を充填する方法が採られている。

超高圧用油入パイプ形ケーブルはアメリカで広く用いられているが、ケーブルの製造を引き入れ工程に合わせ、製造後の放置時間をできるだけ短くしており、またこの種のケーブルの長距離海上輸送の例は非常に少なかった。

1964年筆者らが230 kV 油入パイプ形ケーブル（以下P-O Fと略称する。）を日本からロスアンゼルスに輸送したとき、絶縁油の流下現象が超高圧ケーブルとしては無視できないものであることを経験

し、この種のケーブルでは絶縁油の流下を極力制限することがきわめて重要な課題の一つであることが判明した。

2. 輸送（放置）期間と油入パイプ形ケーブルの絶縁油流下現象

2.1 長期間放置ケーブルの絶縁油流下

表1に示す構造の230 kV 500 mm² P-O F ケーブルを製造後、下記の条件で工場内に放置した場合の油枯れ解体観察結果は表2に、誘電正接の経日変化は図1に示すとおりである。

試料 No. I 230 kV 500 mm² P-O F 仮鉛被付 1.83 m 胴径ドラムに620 m 巻付け。排気3回。仮鉛被1964年5月22日、6月29日。放置6月29日～9月11日同一位置。

試料 No. II 排気なし、仮鉛被1964年8月8日。放置8月8日～9月8日。180度回転、9月8日～9月11日。

この結果より夏期をはさんで74日放置したものはドラムの頂部では95枚以上の絶縁紙が油枯れを発生しており、31日放置したものでも30枚以上が油枯れを発生している。なお油浸率（注）の測定結果

表1 230 kV 油入パイプ形O F ケーブルの構造 (単位 mm)

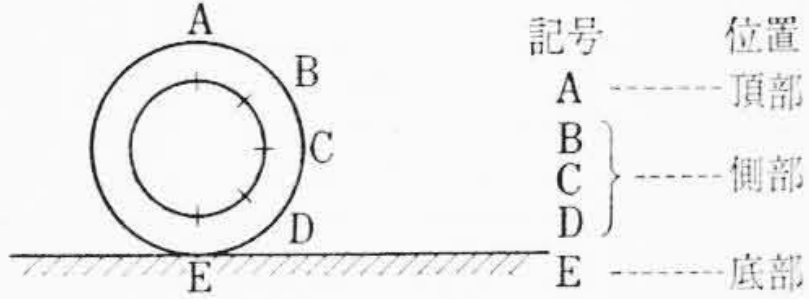
ケーブル			230 kV 500 mm ² P-O F	230 kV 1,250 mm ² P-O F
項 目				
導 体	半硬銅 圧縮円形 (61本より) 外径 27.4		半 硬 銅 4分割圧縮 (244本より) 3セグメント絶縁 外径 45.1	
導 体 バインダテープ	な し		ステンレステープ (絶縁紙と共巻) 2層	
導 体 し ゃ へ い	カーボン紙 0.15×2枚 外径 28.0		カーボン紙 0.15×2枚 外径 46.3	
絶 縁 層	クラフト紙 (密度 0.85) (0.125×94枚) 絶縁厚 24.0 (0.150×95枚)		クラフト紙 (低損失紙, 密度 0.85~1.0) (0.15×22枚) 絶縁厚 21.7 (0.17×24枚) (0.20×84枚)	
絶 縁 遮 蔽	カーボン紙 0.15×1枚 軟銅テープ 0.10×1枚 共巻 (0.15×1枚)		金属化成紙 0.15×2枚 共巻 (金属面上向)	
防 湿 層	メタライズドマイラテープ 0.065×2枚共巻 銅 テ ー プ 0.125×1枚 共巻 (0.05×1枚)		メタライズドマイラテープ 0.065×2枚 (右) 共巻 メタライズドマイラテープ 0.065×2枚 (左) 共巻 銅 テ ー プ 0.125×1枚 共巻 (0.05×1枚)	
D 形 スキットワイヤ	コマーシャルブロンズ 2.5高×5.0幅×2本持		コマーシャルブロンズ 2.5高×5.0幅×2本持	
仕 上 り 外 径 重 量	外 径 82.0 重 量 11 kg/m		外 径 95.2 重 量 19.1/m	
絶 縁 油	材 質 重 比	重 質 鉱 油 (サンXXヘビーオイル) 0.922~0.934	合成油ポリブデン (AMOCO 15H) 0.85~0.89	
	セーボルト粘度 (S. U. S)	37.8℃ 2,000~2,600 98.9℃ 95~105	3,450~3,850 155~175	

* 日立電線株式会社日高工場

表 2 長期放置ドラムの油枯れ解体観察結果 (例-1)

試料 位置 位置(1)		No. I (74 日 間 放 置)						No. II (2) (31 日 間 放 置)																					
		第 1 巻					第 3 巻	第 1 巻					第 2 巻		第 3 巻		第 4 巻	第 5 巻											
		A	B	C	D	E	A	A	B	C	D	E	A	E	A	E	A	A											
項 目		鉛 被 下 の 油						油なし										油なし		油0.2 l									
油 枯 れ 状 況	パットスペースの 油 枯 れ 枚 数	全 層	全 層	外 層 60 枚	外 層 20 枚	外 層 20 枚	外 層 95 枚	外 層 30 枚	外 層 30 枚	外 層 10 枚	外 層 10 枚	外 層 10 枚	外 層 80 枚	外 層 8 枚	外 層 12 枚	外 層 3 枚	外 層 36 枚	外 層 30 枚											
	紙 間 の 油 枯 れ 枚 数	全 層	外 層	外 層	外 層	外 層	外 層	外 層	外 層	外 層 10 枚 (わずか)	外 層 10 枚 (わずか)	外 層 10 枚 (わずか)	外 層 17 枚 29~80間 51 枚	外 層 10 枚	外 層 12 枚	外 層 3 枚	外 層 30 枚	外 層 25 枚											

注：(1) 位置



(2) 試料 No. II は放置中長時間置かれた位置を基準にした。

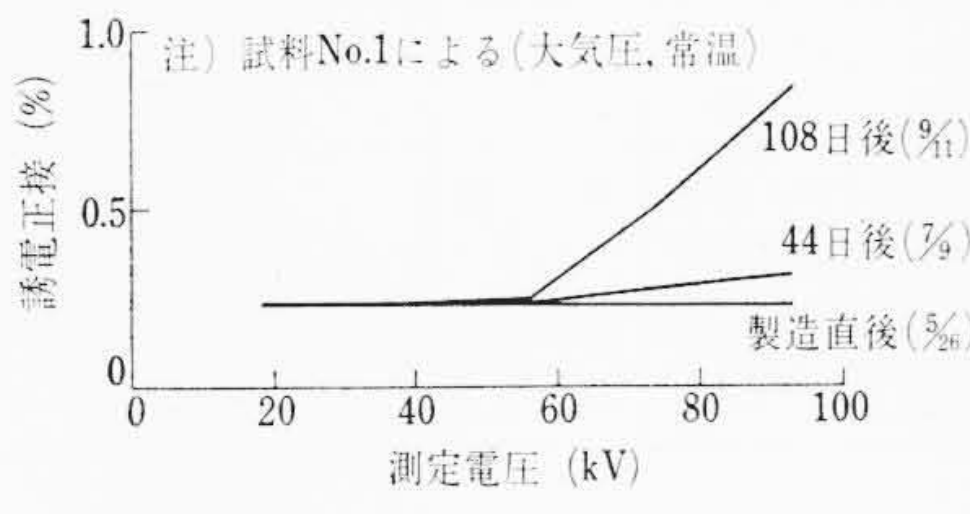


図 1 長期放置ドラムの誘電正接の変化

表 3 引き入れ後の圧力上昇試験結果

スパン	ケーブル No.	製造完成日	引 入 れ 日	排気時間 (h)	真空度 (μHg)	圧力上昇時間 (h)	圧力上昇度 (μHg)
1	VI	1964年 5 月 27 日	1964年 8 月 25 日	12	120	30	1,000
	VII	1964年 6 月 19 日	1964年 8 月 24 日	86	40	24	400
				22	60	28	450
				20	30	24.5	300
2	VIII	1964年 7 月 10 日	1964年 8 月 24 日	(0.7 kg/cm ² N ₂ 封入 15 日間)			
				23	110	25	1,000
	IX	1964年 6 月 19 日	1964年 8 月 25 日	84	140	24	2,000
	X	1964年 6 月 19 日	1964年 8 月 25 日	(0.7 kg/cm ² N ₂ 封入)			
				21	100	21.5	400
				18	90	22.5	400

注：排気 ポンプ 40 ft³/min 片端より排気
パイプ 20.5 mm ID. ケーブルパイプ長 620 m

では絶縁層油枯れの無い部分は 32~33% に対し、油枯れした部分は 28~29% であり、肉眼判定結果とよく対比することが確認された。

(注) 油浸率 = $\frac{\text{油の重量}}{(\text{紙+油})\text{の重量}} \times 100 (\%)$

2.2 絶縁油流下ケーブルの排気特性および圧力上昇特性

パイプ形ケーブルの油枯れおよび吸湿の程度を確認するためにパイプ内に引き入れられたのちの排気特性、排気後の圧力上昇特性 (排気ポンプを止め、ケーブルのはいったパイプを密閉してその内部の圧力上昇特性をみる) が用いられた。表 2 に示したものと同様のケーブルを 205 mm (8 1/8") 内径、620 m の鋼管に 3 条引き入れて行なった排気特性、圧力上昇特性の測定結果は表 3 に示すとおりである。

このケーブルの放置履歴は表 3 のとおりであり、項 2-1、試料 No. I に相当する油枯れが推定されるが、圧力上昇特性も異常に高い値を示している。

3. ケーブル構造と油枯れ

前項に示したようにパイプ形ケーブルにおいては、製造後布設までの期間が長くなる場合には油枯れ現象を考慮する必要がある。

油枯れを防止するために考えられる構造上の改善点は

- (1) 絶縁層を油の移動しがたい構成にする。
- (2) 絶縁油の粘度を高くする。
- (3) 絶縁遮蔽 (しゃへい) を防湿層になじみのよい構成にする。
- (4) 防湿層を油の移動しがたい構成にする。

これらの要因の油枯れにおよぼす影響を調べるため、表 4 に示す 7

種類の 230 kV ケーブルを試作して、長期放置試験を実施した。表 4 に示す以外の部分の構造は表 1 と同じである。この試験においては超高圧 P-OF の特性をそこなわずに改善できることを前提として、次の点に調査の主眼をおいた。

- (1) P-OF に実用できる重質鉱油と合成油の比較 (表 1 参照)
- (2) 絶縁遮蔽に金属テープを用いた場合および金属化成紙を用いた場合の比較。
- (3) 防湿層のメタライズドマイラーテープを 1 層 (2 枚) にしたもの 2 層 (4 枚) にしたものの比較。
- (4) 防湿層の巻き張力の大小の比較。
- (5) 仮鉛被の有無の比較。

実験は各試料 9 m をそれぞれ直径 2 m のドラムに巻き、その下部に滴下する油を受ける皿 (さら) を置いて、滴下油を測定する方法を採った。仮鉛被には皿の部分に穴をあけて油の出口とし、すべての試料端末は油の流出を防ぐためエポキシ樹脂でシールした。また長期放置後 (126~182 日) ケーブルの誘電正接の測定と解体観察によって油枯れ程度を調査した。試験結果は図 2~4 および表 4 (解体結果) に示すとおりである。

これらの結果から

- (1) 防湿層を 2 層にしたものは従来の 1 層のものに比べ、滴下量を約半量に押えることができる。(図 2 の試料 No. 3, No. 4 の比較)
- (2) 絶縁油は粘度の高いポリブデンが従来の重質鉱油より滴下防止効果があり、粘度にほぼ比例するものと考えられる。(図 4 参照)
- (3) 絶縁油遮蔽層に防湿層とのなじみのよい金属化成紙を用い

表4 試料パイプ形ケーブルの構造、作業条件および滴下試験結果

試料 No.			1	2	3	4	5	6	7							
試 料 構 造	ケーブルサイズ		230 kW 500 mm ²					230 kV	1,250 mm ²							
	絶 縁 遮 蔽		銅 テ ー プ 0.10×1 枚 カーボン紙 0.15×1 枚		共 巻	金 属 化 成 紙 0.15×2 枚 共 巻 (金 属 面 上 向 き)		金属化成紙 0.15×2 枚 共 巻 (金属面上向き)								
	防 湿 層	メド タライ イズ	構 成		0.065×2 枚 共 巻		0.065×2枚 共巻(右) 0.065×2枚 共巻(左)	0.065×2 枚 共 巻 (右) 0.065×2 枚 共 巻 (左)								
		卷 張 力		小		大		小								
	銅テープなど	構 成		銅 テ ー プ 0.125×1 枚 マ イ ラ テ ー プ 0.05 ×1 枚		共 巻		銅 テ ー プ 0.125×1 枚 マイラテープ 0.05 ×1 枚								
		銅テープ 卷張力		D形スキッドワイヤ 2.5 高×5 幅×2 本				2.5高× 5幅×2本								
	絶 縁 油		重 質 鉱 油 (サ ン X X ヘ ビ ー オ イ ル)					合成油ポリブデン (AMOCO15H)								
仮 鉛 被		あ り		な し												
試 験 期 間			182 日 (1966. 3～9) 図 2 参 照							126日(1967. 4～8) 図 4 参照						
滴 下 油 量 (g/m)			108.5		50.6		34.5		12.7		40.9		8.1		2.5	
解 体 結 果	位 置		頂 部	底 部	頂 部	底 部	頂 部	底 部	頂 部	底 部	頂 部	底 部	頂 部	底 部	頂 部	底 部
	油 枯 れ 状 況 (枚数)	a	外 層 166	外 層 6	外 層 86	外 層 10	外 層 38	外 層 9	外 層 22	外 層 10	外 層 61	外 層 8	外 層 13	外 層 9	外層7 中間層7	外 層 6
		b	外 層 152	—	外 層 70	—	外 層 30	—	外 層 18	—	外 層 24	—	—	—	—	—
		c	外 層 94	—	外 層 58	外 層 6	外 層 24	外 層 6	外 層 8	外 層 6	外 層8 中間層1	外 層 6	—	—	—	—
		d	外 層 24 中間層1	外 層 2	外 層 12	外 層 2	外 層 6	外 層 2	外 層 3	外 層 2	外 層 3	外 層 2	—	—	—	—

注：油枯れ状況
a：パットスペースに油枯れ点在
b：パットスペースに一面油枯れ
c：紙層間にもドライスポット点在
d：紙層間にもドライスポット多く白くなっている

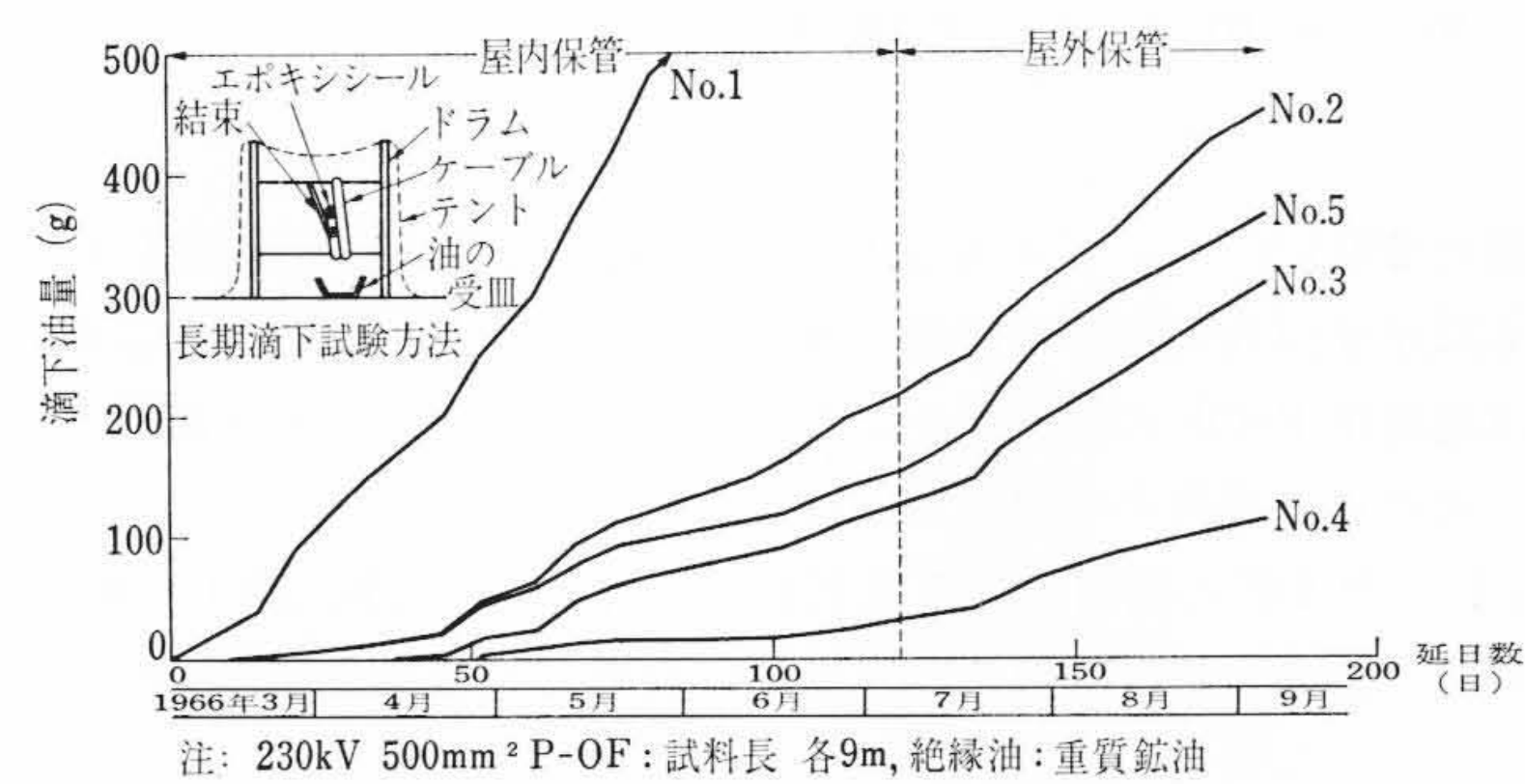


図2 長期滴下試験結果

ることは滴下抑制に効果がある。

(4) 防湿層、補強層の巻き張力も滴下特性に影響があり、緊密に巻くことが滴下抑制に効果がある。

4. ロスアンゼルスへの輸送実験

前項で明らかになったケーブル構造と油枯れの関係性を、輸送においても保証されるかどうかを確認するため、実際の荷姿でロスアンゼルスに輸送してその油枯れ状態を調べた。

4.1 第1回輸送実験

表4の試料No.3、No.4と同じものを用い、それぞれ一重防湿層と二重防湿層を有する構造の230 kV 500 mm² P-OF 各25 mに仮鉛被を施し、内部にN₂ガスを満たしたものを胴径1.9 mのドラムに巻いて、各端末を油が流出しないようにエポキシ樹脂でシールし、ドラムの上下方向が変わらないようストッパーを付けて輸送実験を行なった。輸送スケジュールは次のとおりである。

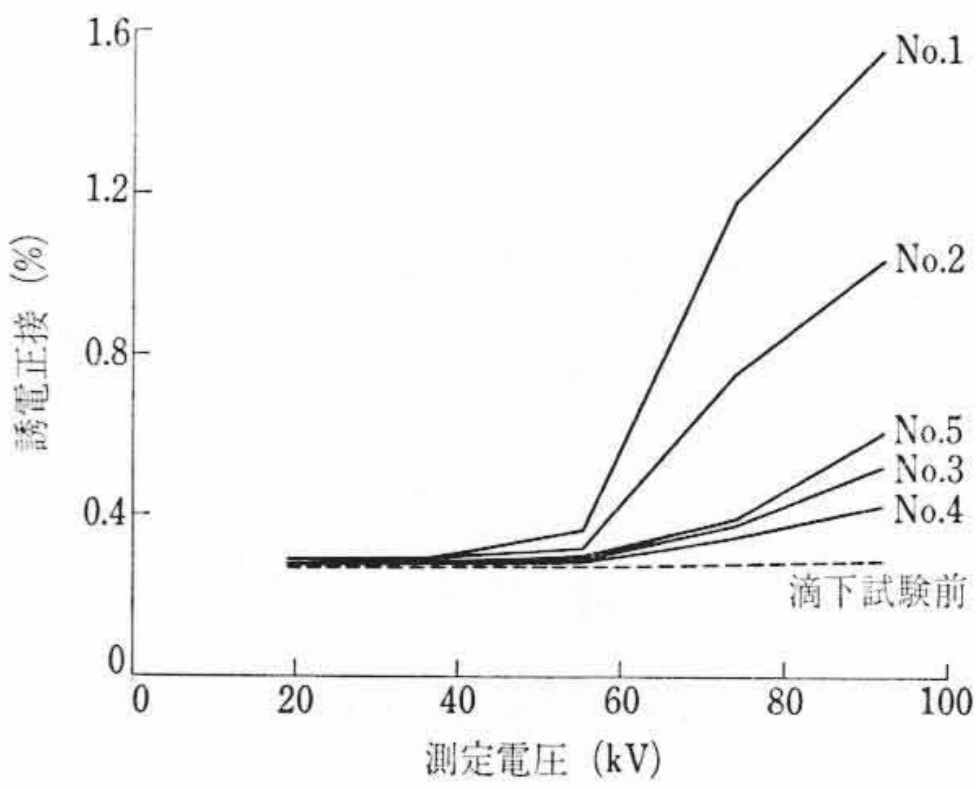


図3 滴下試験後の誘電正接電圧特性

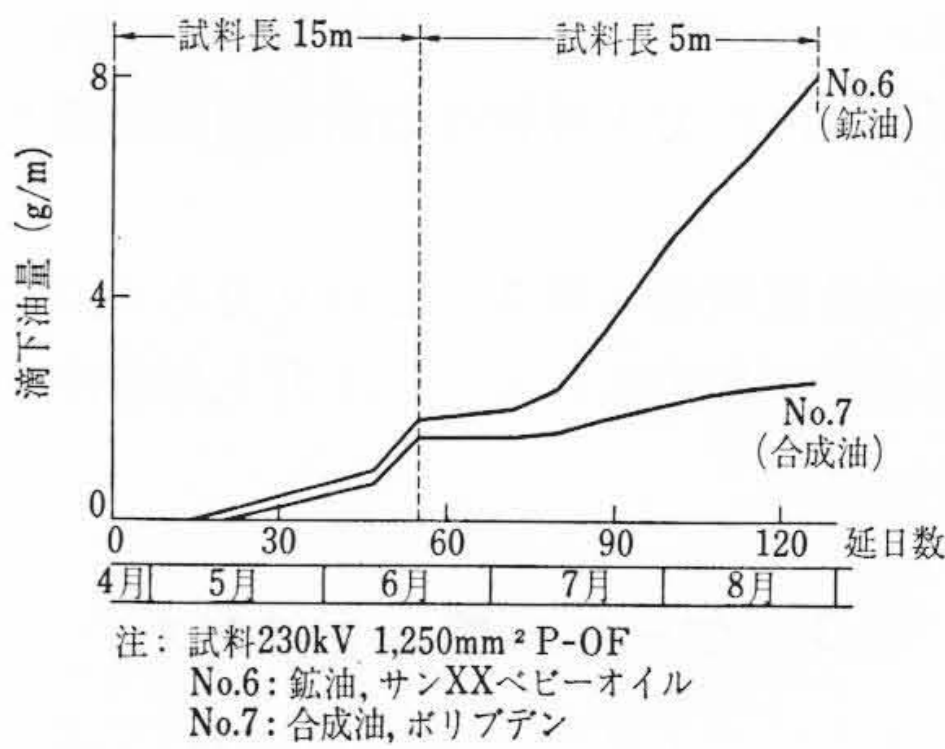


図4 絶縁油の異なるP-OFケーブルの滴下試験結果

ケーブル製造完成(仮鉛被作業) 1966年11月15日
日本発送(横浜港発) 1966年11月23日
ロスアンゼルス到着後

表 5 第 1 回輸送実験解体結果 (230 kV, 500 mm² P-OF)

製造完了日より 64 日後 (ロスアンゼルスにて)

試 料		No. 3'					No. 4'				
位 置 (上口よりの ft)		頂 部 (2)	側 部 (7)	底 部 (12)	側 部 (17)	頂 部 (23)	頂 部 (2)	側 部 (7)	底 部 (12)	側 部 (17)	頂 部 (23)
油 枯 れ 状 況 (枚)	バ ッ ト ス ペ ー ス 油 枯 れ 点 在	外 層 18	—	—	—	17	—	—	9	12	—
	バ ッ ト ス ペ ー ス 油 枯 れ	—	外 層 7	12	10	14	10	9	7	9	12
	紙 層 間 油 枯 れ 点 在	外 層 10	5	6	6	12	4	4	6	7	10

製造完了日より 105 日後 (ロスアンゼルスにて)

試 料		No. 3'						No. 4'							
位 置 (上口よりの ft)		頂部 (22)	側部 (20)	側部 (18)	側部 (16)	底部 (11)	側部 (5)	側部 (23)	側部 (23)	頂部 (19)	側部 (18)	側部 (16)	側部 (14)	底部 (9)	側部 (4)
油 枯 れ 状 況 (枚)	バ ッ ト ス ペ ー ス 油 枯 れ 点 在	外 層 34	24	—	—	—	—	6	11	—	16	13	10	—	10
	バ ッ ト ス ペ ー ス 油 枯 れ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—
	紙 層 間 油 枯 れ 点 在	外 層 30	20	9	8	11	10	3	5	14	10	10	6	1	8

製造完了日より 205 日後 (工場返送後)

試 料		No. 3'			No. 4'		
位 置		頂 部	側 部	底 部	頂 部	側 部	底 部
油 枯 れ 状 況 (枚)	バ ッ ト ス ペ ー ス 油 枯 れ 点 在	外 層 34	—	—	*	—	—
	バ ッ ト ス ペ ー ス 油 枯 れ	—	—	—	*	—	—
	紙 層 間 油 枯 れ 点 在	外 層 30	9	6	*	5	5

注：No. 3' (一重防湿層)
No. 4' (二重防湿層)

注：No. 3' (一重防湿層)
No. 4' (二重防湿層)

* 印は端末シール不備のため測定できず

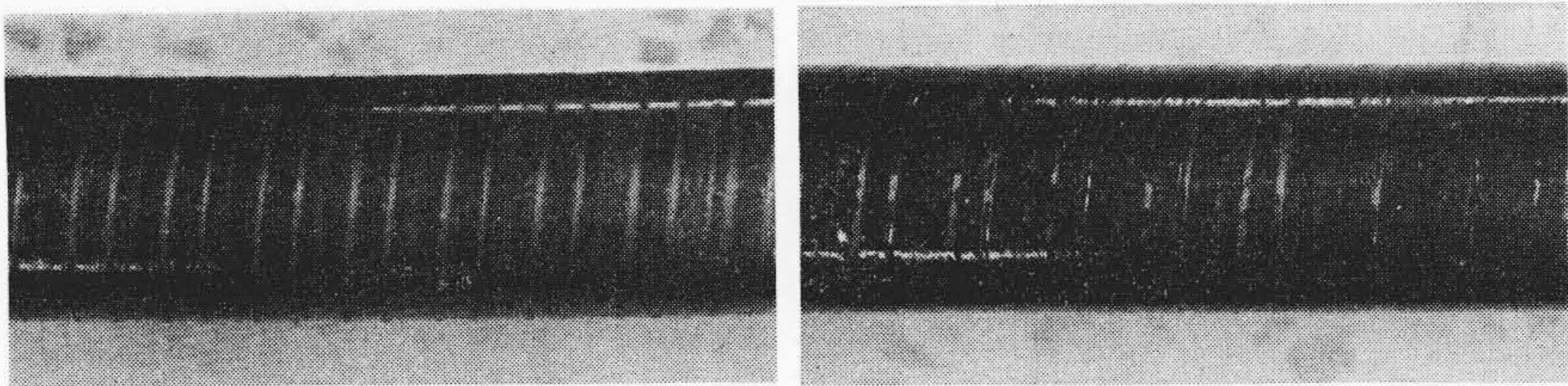


図 5 防湿層の差による油枯れ状況の比較

試 料： 230 kV 500 mm² P-OF
絶 縁 層： 外側より 6 枚目
剥いた状態： ドラムの頂部
日本に返送後 (製造後 205 日目) に解体

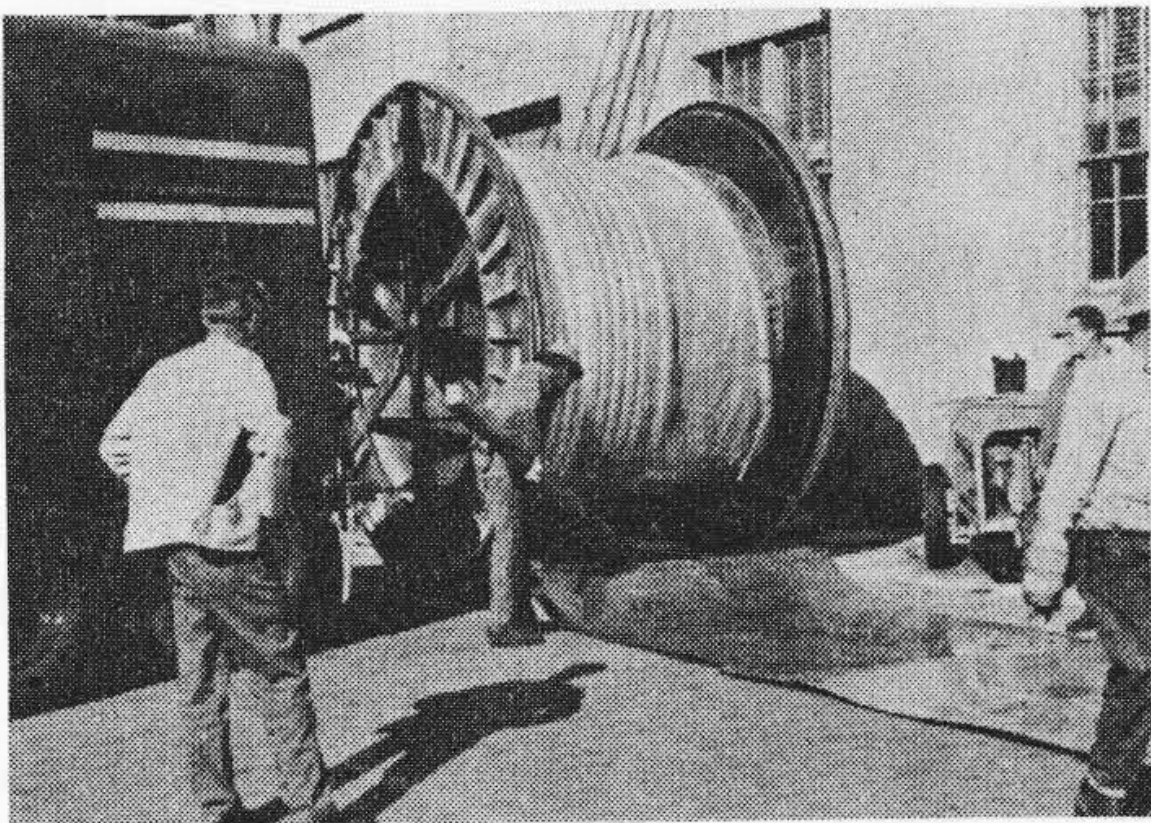


図 6 第 2 回輸送実験用ケーブル荷解き状況

第 1 回解体 (製造後 64 日目) 1967 年 1 月 18 日
第 2 回解体 (製造後 105 日目) 1967 年 2 月 28 日
残り分の日本返送品解体 (製造後 205 日目) 1967 年 6 月 8 日
油枯れの調査はドラム各部よりおのおの 1 m のケーブル試料を切断したものを解体してみた結果によるもので、表 5 に示されている。ドラム頂部にやや油枯れが認められたが表 2 の場合に比較してきわめて少なく、構造上の改善効果が確められた。また二重防湿層のものは一重防湿層のものより油枯れが少ない。(図 5)
また同じケーブルのおのおのについて 7.7 m を両端シールしてドラムに巻き、工場内に放置して滴下試験を行なった結果でも、126 日間の放置後、防湿層一層が 300 g、二層のものが 70 g と、防湿層二層のものの効果が確められた。

4.2 第 2 回輸送実験

二重防湿層を有する表 1 に示す構造の 230 kV 1,250 mm² P-OF 80 m を胴径 1.9 m のドラムに巻き、両端にプーリングボルトを付けて油止めし、密閉ドラム内部に N₂ ガスを満たしてドラム上下方向が変わらないようにストッパーを付けた荷姿のもので輸送実験

表 6 第 2 回輸送実験解体結果 (230 kV 1,250 mm² P-OF)

位 置	頂 部	側 部	底 部	頂 部 (下口より 3.5 m)
バットスペース	外 層 7 および	3 枚	1 枚	* 外 層 22 枚
油 枯 れ 枚 数	11~14 枚			導 体 側 13 枚

* 印は端末シール不完全のため流出したもの
注：試料は製造完了後 44 日後にロスアンゼルスにて解体した

を行なった(図 6)。輸送スケジュールは次のとおりである。

ケーブル製造完了 1967 年 10 月 17 日
誘電正接測定 1967 年 10 月 19 日
工場出荷 1967 年 10 月 23 日
ロスアンゼルスにおける試験 (製造後 44 日目)
1967 年 11 月 30 日
日本返送後の試験 (製造後 116 日目)
1968 年 2 月 12 日

油枯れの調査は前項と同じ方法で行なわれた。表 6 はその結果を

示すものであるが、頂部にわずかな油枯れが認められるだけであった。さらに残りを工場に返送し製造後約4か月後に誘電正接を測定したが、イオン化率(16.7 kV と 83.5 kV の誘電正接の差)は0.042%と小さい値であった。

5. P-OF の輸送方法

P-OF を輸送する場合は、ケーブルの吸湿と油枯れを防止するためには、そのドラムの構造と梱包(こんぼう)方式に特別な考慮が必要である。考えられる方法を次に示す。

5.1 防湿布による密閉ドラム

ドラムは気密構造の鉄ドラムとし不透気性のシートを取り付け、ドラムの内部を乾燥状態に保ち N₂ ガスを封入する。そして N₂ ガスタンクをドラムに抱かせて、常にガスを補給することができるようにする。

5.2 溶接による完全密閉ドラム (N₂ ガス封入)

ドラムは必要な内圧に耐える気密構造の鉄ドラムとし、鉄板を溶接した完全密閉構造で内部に乾燥 N₂ ガスを封入する。鉄板は布設直前に現地で取り除かれるが、その際、メカニカルカッターを用いるのがよいので、1.6 mm 厚み程度のものが有利である。

5.3 溶接による完全密閉ドラム (油封入)

5.2 と同一の方法であるが、油枯れを完全に防止するために、ドラム内部に脱湿絶縁油(含浸油またはこれに準ずるもの)を封入する方式である。この場合は温度の変化による油の容積変化を吸収するため、ドラム上部に N₂ ガス室を設置する必要がある。また油圧に耐えるため、3.2 mm 程度の鉄板を用いる必要があり、布設直前に鉄板と内部の油を取り除くのにガス溶断などの方法が用いられる。

5.4 仮鉛被方式

ケーブルに仮鉛被を施したのち、内部に乾燥 N₂ ガスを封入し、ドラムは通常の構造とする。N₂ ガスの代わりに脱湿絶縁油を封入して油枯れを防ぐこともできるが、この場合は温度変化を吸収するレザーパを取り付ける必要がある。また仮鉛被の代わりにプラスチック材料を用いることもできる。

5.1 の方式は最も手軽でかつ防湿効果があるので、従来の P-OF ではほとんどこの方法が用いられている(特にアメリカ国内において)。しかし、防湿効果が長期間有効でないので P-OF の輸出では不完全である。

5.2 の方式は完全防湿なので、長時間の海上輸送の場合にも適用できる。ロスアンゼルスへの輸送にはこの方法を適用して有効性を確認した。

5.3 の方法は油枯れが特に懸念される場合に有効であるが、現地における布設直前のカバーと油の取り除き作業がめんどうである。ロスアンゼルスへの輸送にはこの方法も一部に適用して有効性を確

認した。

5.4 の方法は 5.2 および 5.3 と同じ方法とも考えられるが、布設時に鉛被を取り除くのにめんどうである。ただしケーブルを切り分けながら使ってゆき、残り分を保管するような貯蔵ケーブルには有効な方法である。

6. 絶縁層の油枯れと電気特性の関係

絶縁層の油枯れと各種の電気特性の関係では、イオン化率に最も相関があると考えられる。図7は筆者らが経験した絶縁層の油移動ケーブルのイオン化率と油枯れ程度を示したものである。油枯れの枚数は絶縁層を解体して調べた結果のものである。この図を用いればイオン化率の測定で油枯れの程度が推定できる。

図7について、イオン化率 X (%) と油枯れ枚数 Y (枚) の単回帰分析を行なった結果

Y=125 X+8

の回帰式が得られた。

AEIC 規格の P-OF わく長試験ではイオン化率(20 V/mil と 100 V/mil の誘電正接差)が0.1%以下と規定されている。この0.1%のイオン化率を示す油枯れ枚数は上式によって20枚ということになるので、布設時まで、このイオン化率を保証するためには20枚以下の油枯れに押える必要があることを示している。なお、この程度の油枯れであれば布設後にパイプ油で容易に再含浸され、また油圧のため絶縁層を変形させるおそれもないことが確認された。

一方、油枯れが発生したケーブルの試料試験の結果、絶縁層外側の油枯れは比較的容易に再含浸されるので、電気的特性には影響しないが、絶縁層内層の油枯れは再含浸が困難なために電気的特性を大きく低下させる。このため内層の油枯れは絶対に防止しなければならず、ケーブル端末のシールは非常に重要である。

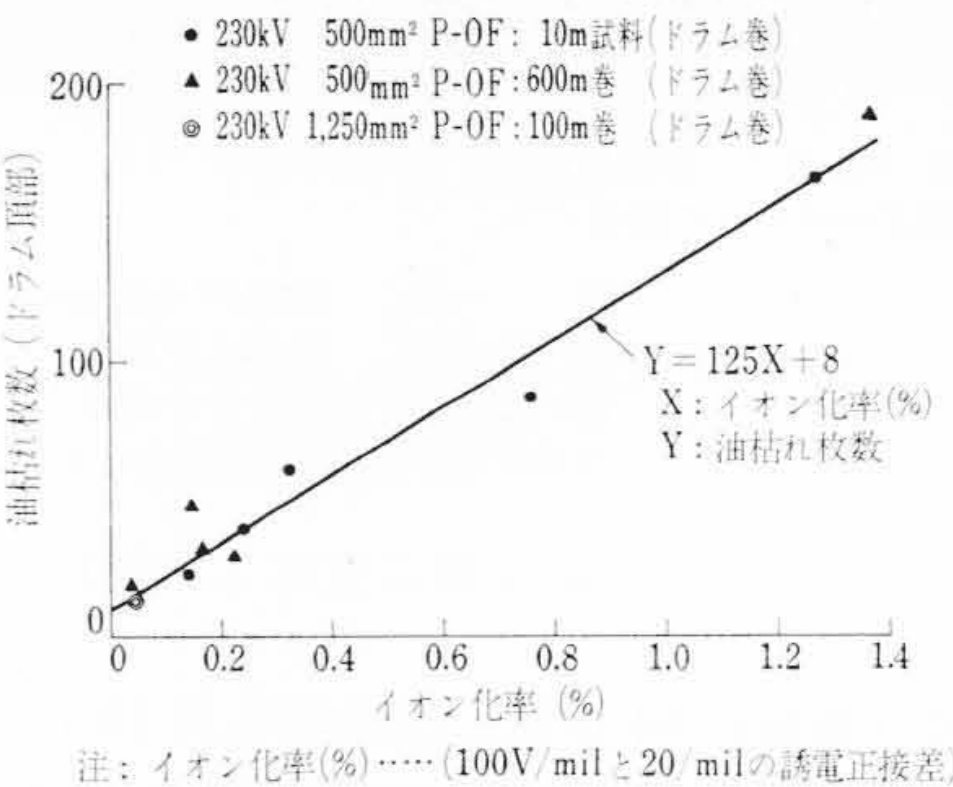


図7 絶縁層油枯れとイオン化率の関係

表7 再含浸試験結果 (230 kV, 500 mm² P-OF)

実験番号	試料番号	試料長 (m)	油枯れ状況		排気条件			再含浸条件		再含浸後の状況		含浸判定
			(1)イオン化率 (%)	油枯れ枚数	温度 (°C)	排気時間 (h)	圧力上昇試験 (μHg) (2)	温度 (°C)	油圧時間	イオン化率 (%)	油枯れ枚数 (パットスペース部分のみ)	
1	A	5	—	0	室温	3日後 8 μ	112 μ/24 h	—	—	—	—	—
	B	5	—	外層 160	室温	5日後 10 μ	400 μ/24 h	室温	5, 15 kg/cm² 計3日	—	外層 30~50 枚 (21 枚)	不じゅうぶん
		25			室温	3日後 20 μ	130 μ/24 h	室温	15 kg/cm² 1日	0.03	外層 37~55 枚 (18 枚)	不じゅうぶん
2	C	4	0.75	外層 86枚	室温	5日後 5 μ	235 μ/24 h	室温	4, 15 kg/cm² 計10日間	—	中間層 12 枚	不じゅうぶん
	(3)D	4	0.13	外層 22枚	室温	5日後 3 μ	147 μ/24 h	室温	4, 15 kg/cm² 計10日間	—	なし	良
3	E	600	—	不明	80	7日後 15 μ	330 μ/30 min	80	0.7~1.5 kg/cm² 6日間	0.16	中間層 30 枚	不じゅうぶん
	F	600	—	不明						0.22	中間層 17 枚 導体側 11 枚 計 28 枚	不じゅうぶん

注: (1) イオン化率 20 V/mil (18.5 kV) と 100 V/mil (92.5 kV) における誘電正接の差 (室温, 大気圧)
(2) 圧力上昇試験結果は 8" パイプに3条を引き入れたときの値に換算
(3) 二重防湿層

7. 油枯れケーブルの再含浸の可能性

油枯れのケーブルが布設後、パイプ油で再含浸できるかどうか、また工場において再含浸処理が可能かどうかを検討するための実験を行なった。ケーブルには表 1 に示す 230 kV 500 mm² P-OF を用いた。油枯れ程度や排気後の圧力上昇試験結果、含浸条件とその結果の詳細は表 7 に示すとおりである。

7.1 実 験 -1

製造直後のもの（試料 A）と 2 个月放置したもの（試料 B）おのこの 5 m の試料について、両端をエポキシ樹脂で密封したのち、6'' パイプに入れて排気およびパイプ油（Sun No. 6）の含浸を行なった。油圧 5 kg/cm²、15 kg/cm² を室温で 3 日間加圧したが、試料 B は絶縁層の中間のバットスペースに若干の油不足が認められた。また試料 B 25 m について同様の試験を行ない、油圧 15 kg/cm² を室温で 1 日加圧した。イオン化率は 0.03% であったが、絶縁層中間部には油枯れが点在していた。

7.2 実 験 -2

油枯れ 86 枚（試料 C、一重防湿層）と 22 枚（試料 D、二重防湿層）の試料を各 4 m とり前述と同じ方法で排気後、5~15 kg/cm² を室温で 10 日間加圧した。前者は絶縁層中間に油枯れが残ったが後者はじゅうぶん再含浸された。

7.3 実 験 -3

工場内における再含浸処理の可能性を調べるため、600 m の長尺油枯れ試料 2 条をドラム巻きにして含浸タンクに入れ、（防湿層を付けたまま）排気後に 1.5 kg/cm²、6 日間の X X ヘビーオイル加圧（80℃において）を行なったが、いずれも絶縁層中間に油枯れが残留し、再含浸の効果は不じゅうぶんであった。

以上の実験によって油枯れケーブルの再含浸は予想以上にむずかしく、これらは油枯れ部分が油で密閉されて排気通路が閉ざされる

ことによるものと思われる。外層 20 枚程度の油枯れであれば、排気後 10 日間程度の加圧でほぼ再含浸されるが、それ以上の油枯れまたは中間部の複雑に密閉された油枯れケーブルに対しては、後処理による再含浸はかなり困難である。

8. 結 言

230 kV 油入パイプ形ケーブルの絶縁油移動現象の例を述べたが、この経験とその後の追認試験により次のことが明らかになった。

- (1) 夏期をはさんで長期に放置した P-OF においては、絶縁油の移動に注意する必要がある。
- (2) ケーブルの構造を改善することにより、油枯れ現象は大幅に改善される。特に遮蔽層、防湿層および絶縁油粘度の改善が効果的である。
- (3) 長距離輸送にも油枯れの心配がないケーブルを製作できることが実証された。
- (4) 長距離輸送の場合には N₂ ガス封入密閉鉄ドラムとしメカニカルカッターで荷解きする方法が実用的であるが、保管期間がさらに長期になる場合には油封入密閉鉄ドラムで溶接機によって荷解きする方法も実用可能である。
- (5) 絶縁層の油枯れとイオン化率は相関性があり、イオン化率の測定によってケーブルの油枯れ程度を推定することができる。
- (6) 絶縁体外層 20 枚程度の油枯れであれば、後（あと）処理による絶縁油の再含浸が可能であるが、それ以上の油枯れ、特に中間層に介在する油枯れに対する再含浸はかなり困難なものとなる。

終わりに本研究に対し、終始ご指導をいただいた日立電線株式会社幹部ならびにご尽力をいただいた関係各位に厚くお礼申し上げます。

第 33 巻		目 次	第 9 号
・グ	ラ	フ / 東 洋 一 の ボ ー リ ン グ 場	・解 説 / エレクトロニクスの散歩道<第 9 回>
・ル	ポ	/ 山 口 県 大 気 汚 染 装 置	/ オ ー ト メ ー シ ョ ン 入 門
		/ 大形レジャー時代<モーターボート>	・家電コーナー / 照 明 の 話
		/ 魚市場の元祖「堺大魚夜市」	・イ ン タ ビ ュ ー
			・ホ ー ム サ イ エ ン ス
発行所		日 立 評 論 社	東京都千代田区丸の内一丁目 5 番 1 号
取次店		株式会社 オ ー ム 社 書 店	郵便番号 100
			東京都千代田区神田錦町 3 丁目 1 番地
			郵便番号 101
			振 替 口 座 東 京 2 0 0 1 8 番