

パイプ形ガスコンプレッションケーブルの 温度急変時の絶縁特性

Insulation Characteristics of Pipe Type Gas Compression Cable under
the Rapidly Changing Temperature Condition

加 子 泰 彦*
Yasuhiko Kako

内 容 梗 概

コンプレッションケーブルは、欧米においてはすでに OF ケーブルに匹敵するほどの使用実績があつて、その絶縁特性のすぐれていることは一般に知られている。しかし、このケーブルでは特殊な使用条件として寒冷時全負荷電流が遮断されるといふような急冷が起こった場合には、絶縁性能の低下が考えられるので、この点について一連の実験を行ないその特性を解明した。すなわち、急冷時には導体部の油圧がかなり低下し、コロナ開始電圧の低下も起こり得るが、実用上は使用中にボイド放電の起きることは避けることができ、また過渡的に若干のコロナが起こってもただちに寿命に影響を与えるような劣化の原因とならないことも明らかとなった。同時にまた、過渡的に油圧がかなり低下してもインパルス強度の低下は起こらないことも確かめられた。このほか垂直布設でもすぐれた性能が得られ、わが国の通常の布設条件では 8 kV/mm 前後の使用電圧下で十分安全に使用できることが明らかとなった。

1. 緒 言

パイプ形ガスコンプレッションケーブルはそのすぐれた経済性、絶縁に対する高い信頼度および取り扱いの容易さなどのためわが国でも次第に使用実績が増加している現状である。

このケーブルがすぐれた絶縁性能を有することはすでに種々の報告および使用実績などより明らかであるが⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾、その特性は当然ほかのケーブルと異なっているので、従来のケーブルとは別な面から性能を検討する必要がある。すなわち、高電圧の絶縁において最も重要な問題はボイドであつて、OF ケーブルでは低粘度油を用い、長さ方向に油の補給路をもうけてケーブルの温度変化による油の膨張および収縮を補償している。

これに対し、コンプレッションケーブルではダイヤフラムシースを有するだ円形のケーブルを鋼管内に引き入れ、15 気圧のガス圧により常時圧縮し、負荷変動による温度変動の際には、ケーブルの変形あるいは半径方向の油流を強制的に起こすことによりボイドの発生を防止しているが、このケーブルの含浸油にはソリッドケーブルとほぼ同様な高粘度のものを使用しているため、ケーブルの温度変動が急激な場合、たとえば周囲温度が低いときに全負荷電流の遮断が起こった場合などには導体部の油圧が過渡的に低下し、場合によってはボイドを発生することも考えられる。したがって、コンプレッションケーブルでは急冷時の過渡状態の絶縁特性が重要な問題であり、ケーブルを実用するにあたってはこの特性を明らかにしておく必要がある。筆者らはケーブル急冷時の過渡油圧特性、誘電正接特性、コロナ特性、破壊電圧特性などを実験によって検討し、これらに影響を与える諸要因の関係を解明し、ケーブルの製造上あるいは使用上考慮すべき諸問題について一応の結論を得ることができたので、ここにその検討結果について述べる。

2. 過渡油圧特性

2.1 実 験 法

実験装置は有効長 5m の鋼管部を有し、ケーブル一相を入れて実験を行なうものである。鋼管は二重壁となつていて、間に定温油を流し、ケーブルの温度調節および温度急変を行なうことができる。ケーブル内部の油圧測定は、ケーブル末端の導体スリーブに穴をあ

* 日立製作所日立研究所 工博

第 1 表 過渡油圧特性測定用試料ケーブルの仕様

No.	導 体		絶 縁		シ ー ス	
	断面積(mm ²)	形 状	厚 (mm)	紙厚 (μ)	厚 (mm)	材 質
1	60	円	5	125	3	P.V.C.
2	60	だ 円	5	125	2.3	P.E.
3	60	だ 円	5	125	3	P.V.C.
4	60	だ 円	5	70	2.8	P.E.
5	60	だ 円	5	70	3	P.V.C.
6	150	だ 円	7	125	2.6	P.E.

注： P.V.C. シースケーブルとはケーブルのシースをはがし、代わりに軟質の P.V.C. 管をきせケーブルコアとシース間に 5~6 mm の間げきをもうけて内部をケーブルコンパウンドで満たしたケーブルであり、シースの圧力損失を無視できる。

け、外部にブルドン管形圧力計をつなぎ、ゲージならびに接続管内には完全に油を充満させて測定を行なった。

ケーブルの冷却法としては周囲温度すなわち鋼管を急冷する方法と、負荷電流を遮断する方法とがあり、両者について検討を行なったが、ここには系統的に実験を行なった前者の方法による結果を示すこととした。両方法により、圧力変動の経過は若干異なるが、ケーブルの温度変動に着目すれば油圧変動の絶対値にはほとんど差が認められない。

実験に使用したケーブルの仕様は第 1 表に示すとおりである。

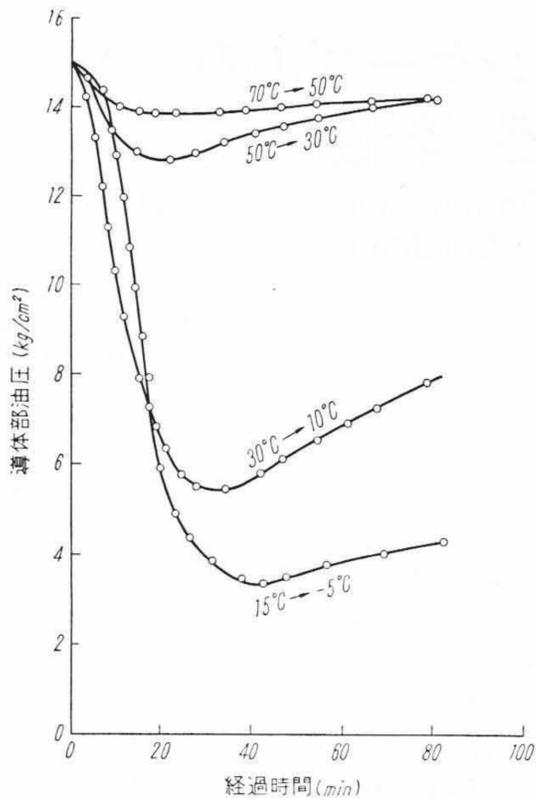
2.2 実験結果および考察

第 1 図にはケーブル試料 No. 1 について周囲温度を 20°C だけ急冷した場合の導体部の油圧と経過時間との関係を示し、第 2 図には同様な温度変動方法により温度変動幅を種々変えた場合の初期温度と導体部油圧降下最大値との関係を示した。また第 3 図には各種ケーブルを任意の初期温度から 10°C まで急冷した場合の導体部油圧降下最大値を示した。

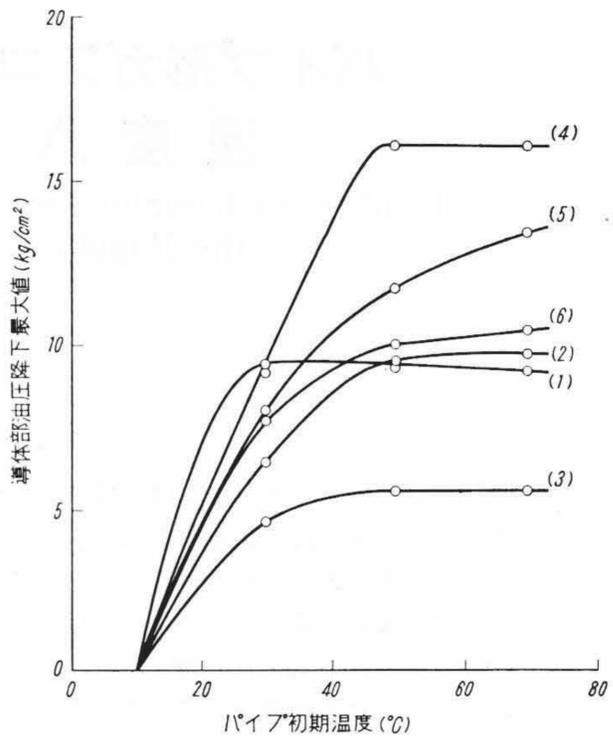
以上の実験より過渡油圧特性に及ぼす諸要因の検討結果を取りまとめると次のようになる。

2.2.1 シースの圧力損

第 3 図において No. 2 と No. 3、および No. 4 と No. 5 との圧力差で示されるように、だ円導体の場合にもシースの圧力損はかなり大きくなる。ただし、シースの厚さはケーブル寸法が大きくなると相対的には減少するので、図に示す値より緩和されることが考えられる。現在ダイヤフラムシースとしては低密度ポリエチレンが一般に使用されているが、現状では適当な材質と考えられ

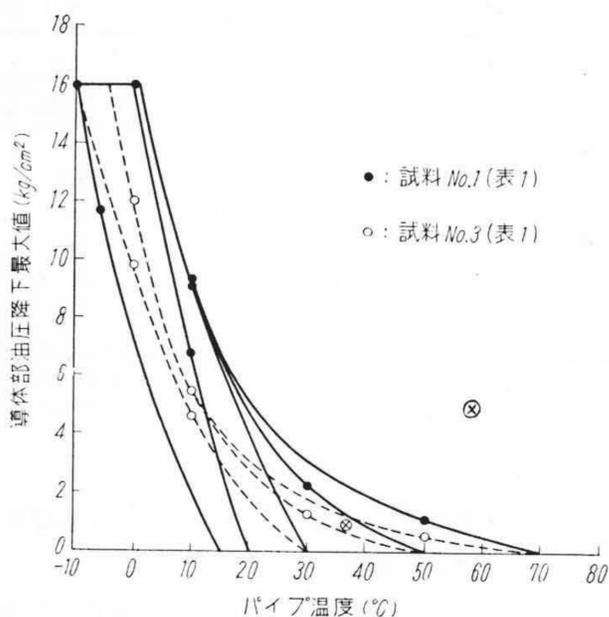


第 1 図 パイプ温度を 20°C 急冷したときの導体部油圧の変動
(試料ケーブル: No.1)



第 3 図 パイプ温度を 10°C まで急冷した場合の導体部油圧降下最大値

注: 図中の No. は試料 No. (第 1 表) を示す。



⊗: 試料 No. 3, パイプ温度 36°C, 電流 300A 遮断時の特性
(初期導体温度は 66°C)

図の表示法 たとえば試料 No. 1 で 70°C → 50°C 急冷では導体部油圧降下は 1.2 kg/cm² となり, 同様に 70°C → 10°C では 9 kg/cm², 70°C → 0°C では 16 kg/cm² (真空状態) となる。

第 2 図 パイプ温度急冷時の導体部油圧降下最大値

る。これに対し高密度ポリエチレンではシースの圧力損が非常に大きくなり, ダイアフラムシースの目的からは適当でない。

2.2.2 導体形状

第 2, 3 図より明らかなように導体形状をだ円形とすることにより, 過度油圧変動を緩和することができる。このほかすでに知られているように⁽³⁾, 円形ケーブルでは圧縮による絶縁体の局部的変形の起こることも認められ, この点からもだ円形等絶縁体の一様な変形が期待しうる形状とすることが必要である。

2.2.3 油の粘度

温度変動の幅が小さい場合には, ケーブルの変形によって圧力変動を吸収することができるが, 温度変動の幅が大きい場合には半径方向に油が流れることになり, ケーブル内の油圧変動は油流抵抗にほぼ比例したものになる。したがって油圧変動には含浸油の粘度の影響が大きく, 第 1, 2 図に示すように, 特殊な絶縁構成のものを除けば周囲温度が 10°C 以上では実用的に過渡的油圧低下は問題ではなくなる。このため, 特に寒冷地に布設するケーブ

ルについては含浸油の粘度を下げることも考慮する必要がある。

2.2.4 紙 厚

半径方向の油の流れは紙の間をぬって流れるものの割合が多いため⁽⁴⁾, 紙厚が薄くなれば油流抵抗は大きくなり, したがってまた油圧変動も大きくなる。なお紙厚, 油の粘度の選択については他の諸要因についても考慮することが必要であり, それについては後に述べる。

2.2.5 ケーブル寸法

ケーブルの温度変動が全く同じように起こるとすれば, 一般に導体寸法の大きいケーブルの方が大きな過渡油圧変動を示すことになる。しかし, 一方寸法の大きいケーブルでは熱容量が大きいため, 冷却速度はかなり緩和され, 結局特殊な場合を除いては油圧変動はケーブル寸法にほとんど関係しない特性となる。なおこのような過渡油圧変動を求める理論式はすでに C. T. W. Sutton 氏⁽⁵⁾により厳密に求められているが, 実用的にはケーブルの変形を無視して近似式を求めることができ, 第 1~3 図に示すデータを基準として実験式の係数を求めておけば, 寸法が変わった場合の油圧変動を推定することができる。

3. 誘電正接特性

コンプレッションケーブルの誘電正接特性はきわめてすぐれたものであり, 使用電圧 (Gmax を 8 kV/mm 前後として) の 3 倍程度までは電圧を上げて平坦な特性である。また急冷時にも, ボイド放電による誘電正接の変動は小さく, 検出困難の程度であり, その場合の性能の判定は次節に示すコロナ測定によって行なうことが適当である。このことはまた急冷時コロナ開始電圧が低下したとしても, コロナ放電量自体はわずかであることを示すものである。

ガス圧が何らかの原因で低下した場合の誘電正接特性は高ガス圧に保持された時間の影響をうける。すなわち, 長時間高ガス圧で圧縮され, ケーブル内にわずか残存したガスが完全に溶解しボイドが全然なくなっていたものでは, 圧力が急に低下してもボイドの発生は起こらないが, 高圧での保持時間が数時間程度でガス圧を 0 気圧まで下げるとボイドの発生が起こり, 誘電正接電圧特性に大きな立ち上がりが生ずる。

4. コロナ特性

4.1 実験法

ケーブル実験装置は前述のものと同じである。コロナ放電の測定法はブリッジ回路により外部放電の影響を除去する方法⁽⁶⁾を採用した。この方法ではコロナ放電電荷の絶対量を求めることは困難であるが、外部高圧回路での放電の影響および長さ方向の特性を求めるために電極を分割した場合、隣接する部分での放電の影響を除去することができる。なおコロナは振動波形となるので、増幅器には同調式のものをを用い、有効長5mのケーブルに出るコロナ電圧を約200倍に増幅し、ブラウン管オシロスコープで観察しつつ波高値形真空管電圧計でコロナ電圧の測定を行なった。

ケーブルに温度変動を与える方法としては、実際的な性能を知る上に便利なように、電流遮断を行なった場合を主として検討した。

試料ケーブルとしては第2表に示すように、紙厚、油の粘度をそれぞれ変えたものを用いた。これらはいずれも導体寸法60mm²のだ円形のもので、絶縁厚5mm、ポリエチレンシースのケーブルである。

なお、垂直に布設した場合の特性を測定するために、第4図に示すように約12mのケーブルをJ字形に布設し、シース下の遮へい用銅テープを3分割して電極とし高さ方向の特性分布を測定した。この場合には装置の都合上パイプの調温は水で行なったので、温度を特に下げることはできなかった。

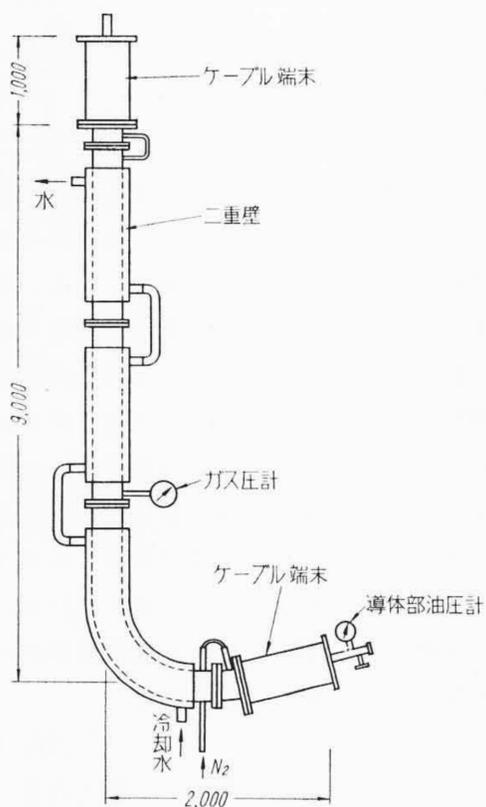
4.2 実験結果および考察

水平布設の場合のコロナ測定結果の一例を第5~7図に示し、垂直布設の場合の実験結果の代表例を第8, 9図に示した。図において、コロナ電圧は増幅後の値を示し、また特性曲線の出発点はコロナ開始電圧を示している。また、ガス圧を15気圧より下げているのはボイドの発生しやすいように実験条件を過酷にするためである。これらの結果より次のような特性が明らかとなった。

第2表 コロナ特性測定用試料ケーブルの仕様

No.	含浸油	紙厚 (μ)
1	A	125
2	A	70
3	B	125
4	B	70

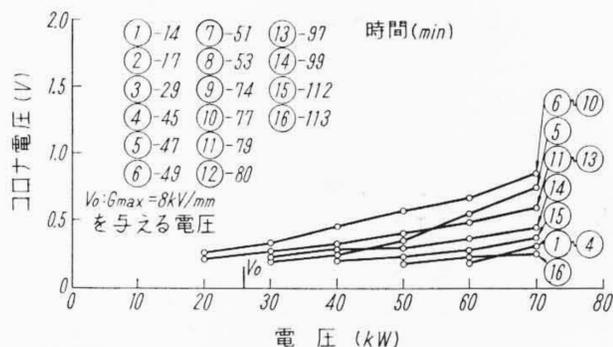
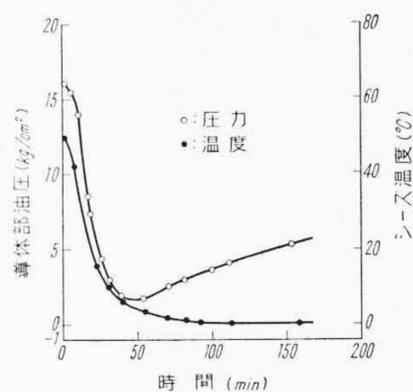
注：(1) ケーブル構造
 導体：60mm²だ円
 絶縁：5mm厚
 シース：P.E. 2.8mm厚
 (2) A：ソリッドケーブル用コンパウンド (10²cst/100℃)
 B：重質絶縁油



第4図 垂直布設実験装置

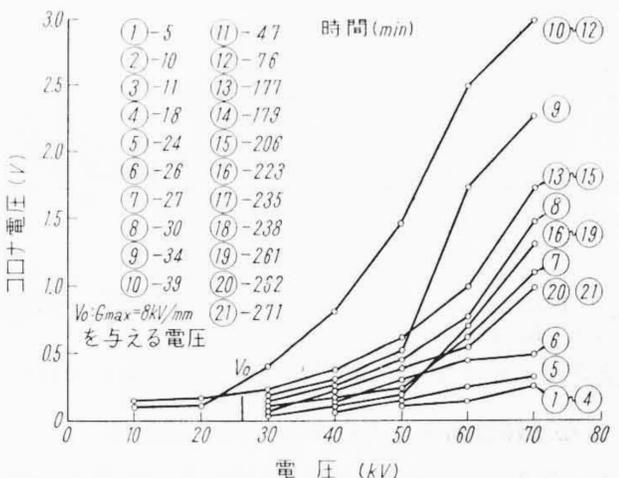
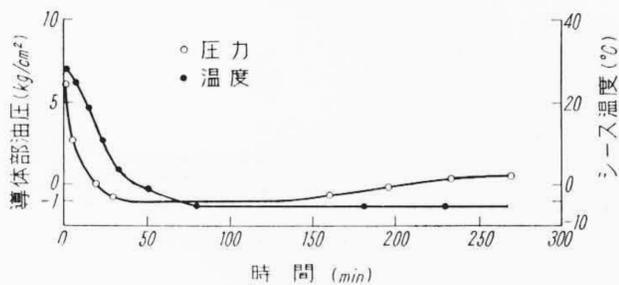
4.2.1 過渡油圧特性との関係

当然予想される結果であるが、コロナ特性と油圧特性とは密接な関係がある。すなわち、導体部油圧が低下し、ある値から急にコロナ開始電圧の低下が起きるが、第5~7図よりもわかるように、負荷電流を遮断したときには導体部の油圧が負圧になったとき、また周囲温度を急冷したときには2~3気圧に達したときボイドの発生が起こっている。両実験法のこの圧力の差は本質的なものでなく、周囲温度を下げる実験では端末部の温度変動がほとんど起こらないために、見かけ上圧力変動が緩和されたもので、この場合でもケーブル中央部近くでは負圧に達する部分も生じ、そこでボイド放電が起こったものと考えられる。このようにコロナ開始電圧は油圧特性に密接な関係があるので、高電圧のケーブルでコロナ開始電圧の測定が技術的に非常に困難な場合には、過渡油圧特性を求めることによって電氣的性能を知ることができる。



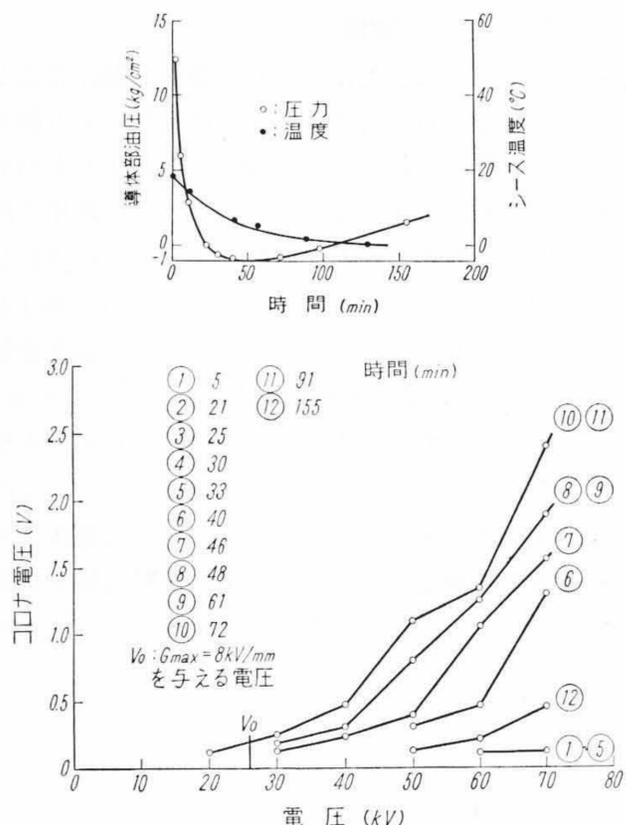
試料 No.2 (第2表) 冷却条件 パイプ50℃→0℃
 ガス圧 15kg/cm²

第5図 急冷時のコロナ特性

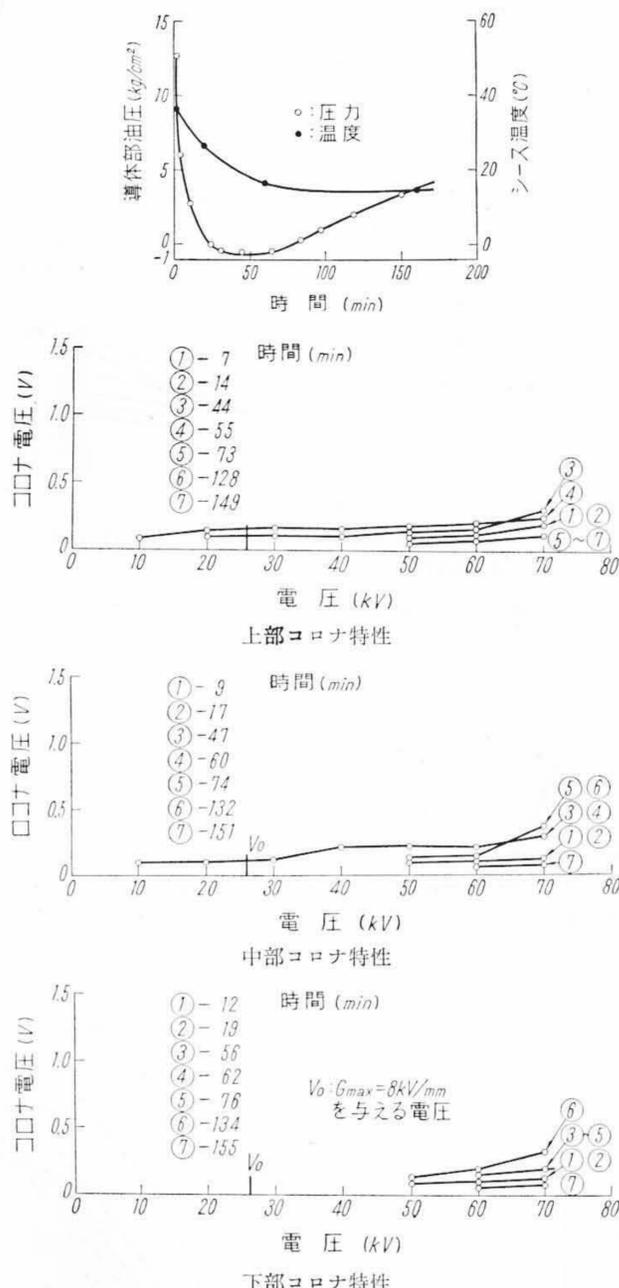


試料 No.3(第2表) 冷却条件 パイプ温度-5℃, 350A遮断
 ガス圧 5kg/cm²

第6図 急冷時のコロナ特性



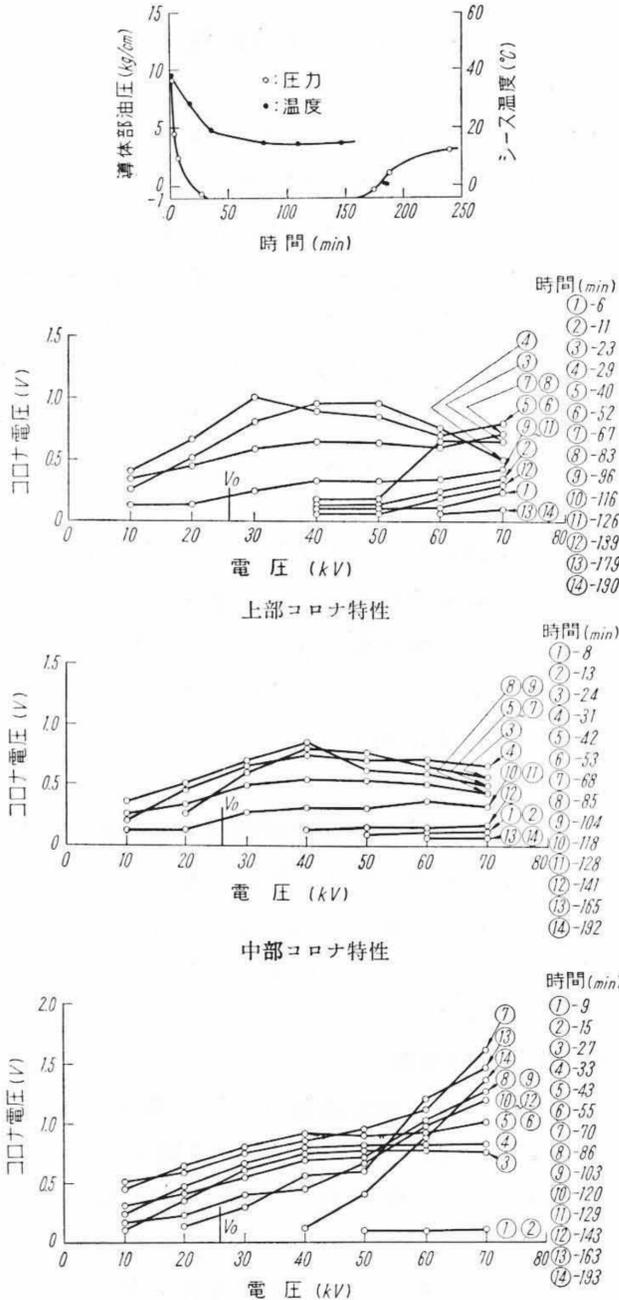
第7図 急冷時のコロナ特性



第8図 垂直布設ケーブルの急冷時のコロナ特性

4.2.2 コロナ特性からみたケーブルの許容電流

ケーブルの許容電流は通常温度上昇によって決められる。しかしコンプレッションケーブルでは低温時のコロナ特性の面からも電流容量の制限がある。ただし、これは負荷電流が急に遮断される



第9図 垂直布設ケーブルの急冷時のコロナ特性

第3表 負荷遮断時コロナ特性を考慮した許容電流

No.	ガス圧 15 kg/cm ² , パイプ温度 0°C 時の許容遮断電流 (A)	パイプ温度 0°C 時ボイド放電を抑制するために必要なガス圧 (kg/cm ²)	
		300A 遮断時	250A 遮断時
1	350	12.5	10
2	300	15	11.5
3	温度上昇さえ問題なければ実用上制限なし	3~4	3~4
4		9	7.5

という条件がある場合であって、このような温度変動が起こらなければ電流の制限は当然最高許容温度からきめられ、その場合には周囲温度が低いことは電流容量が大きくなることを意味する。

第3表には各種ケーブルにつき、電流遮断時コロナ開始電圧が使用電圧まで低下しないという条件で求めた許容電流の値を示した。表より 60 mm² のケーブルに対しては十分大きい許容電流であることがわかる。またパイプ温度が常時 0°C に保たれるという条件は、実際には鋼管を裸のまま流水中に入れたような場合に起こることであり、わが国では実用上このようなことを布設条件とすることはほとんどないものと考えられる。またもしケーブル布設ルートのごく一部にそのような箇所があったとしても、それには当然保温対策を施すべきである。

油圧特性にも示したように、ケーブルの周囲温度が高くなれば負荷遮断時のコロナ開始電圧は実用上問題となることはなく、試料中もっとも油流抵抗の大きい、No.2 (第2表) ケーブルでも周

周囲温度が15°C程度となれば電流容量がコロナ特性から制限されることはなくなる。しかし、表より明らかのように、No.2はコンプレッションケーブルとして不適當であるし、また特別寒冷地に布設するケーブルにはNo.3, No.4のように油の粘度を下げることも必要である。また経済的な観点より中ガス圧のコンプレッションケーブルも考えられるが、この場合にはNo.3程度の絶縁構成のものが必要となる。

4.2.3 ケーブル内油量の影響

第3表の結果は、ケーブルの作られた標準状態に対応するものであるが、なんらかの理由でケーブル内の油が減少すれば当然コロナ特性は悪くなる。たとえば第2表に示したようなケーブルでは絶縁体総量の0.5%の油が失なわれれば、コロナ特性の低下を防止するためには約5気圧のガス圧の上昇が必要となる。後述するようにコンプレッションケーブルでは油の流下は起こりにくいものであるが、大サイズケーブルなどの特殊な場合には油を保持する層を作ることも有効である。またすでに述べたように、油の粘度を下げることは急冷時のコロナ特性を改善する上には有効であるが、必要以上に粘度を下げることはケーブル中で油量の偏在をまねきやすい点より逆効果となる。

4.2.4 保温の効果

ケーブルのルート中に特に冷える場所があるときには温度変動を緩和させるために保温を施すことが考えられる⁽⁶⁾。この場合保温をあまりに完全にすることは、温度上昇の面から好ましくないのは当然である。

保温がケーブル性能に及ぼす影響としては二つのものが考えられる。一つは低温の範囲で温度変動速度が緩和され油圧低下が緩和されることであり、次には温度の変動量が大きくなるため過酷な条件となることである。一般には第3図の油圧特性よりも明らかなように、ケーブルが冷却され到達する温度すなわち周囲温度が重要であって、初期温度すなわち通電時の温度の影響は少ないので、前者の効果が強調され、寒冷地布設の場合には保温を施すことが有効であるが、No.2(第2表)のように、薄紙に高粘度油を使用したケーブルではかなり高温の範囲まで油流抵抗が大きく、これに対しては温度変動量が大きく影響を与えるので、保温を行ってもコロナ特性を改善することはできない。ただし実際にはこの種のケーブルがコンプレッションケーブルとして使用されることはないので、一般的には、ケーブルルート中で特に冷却される場所がある場合には、ほかの部分と同程度の熱放散抵抗となるような保温を施すことは、ケーブルの保守上好ましいことである。しかし、わが国の布設条件下では、周囲温度が低いことは温度上昇から決まる許容電流を大きくする効果が大きく、経済的にみて好条件となる場合が多い。

4.2.5 垂直布設時の許容高低差

コンプレッションケーブルは常時ダイヤフラムシースを介して15気圧のガス圧で圧縮されているため、布設高低差が約150m以上とならなければ、最上部においても定常状態で絶縁体中にボイドが生ずることは起こり得ない。しかしケーブル導体部まで圧力を伝達するに必要な最小油量以上の余剰油の流下を阻止する力はシースの弾性強度のみであるため、シースに特別な補強を施さない限り、上端に近い部分程油は少なくなり、急冷時にはボイドを発生しやすくなることが考えられる。したがって垂直布設を行なう場合にはこの面からもシースの機械的補強が必要である。

10mの高低差を有する実験装置でシースに補強を施さない状態で求めたコロナ特性は第8, 9図のようである。ただし、ここではパイプ温度を低温に保つことができなかったため、ガス圧を適当に下げた実験を行なった。温度変動により上部のコロナ開始電

第4表 垂直布設時の許容高低差 (m)

(ガス圧15 kg/cm², パイプ温度0°C)

No.	遮断電流(A)		
	300	250	150
1	28	56	128
2	0	39	110
3	122	122	140
4	67	83	133

圧の低下が起こる臨界状態では、第8図に示すように上下で大きな特性上の差が生ずるが、第9図に示すようにさらに条件が過酷となれば上下の差異はほとんど消失するに至る。このほか各種ケーブルについて同様な実験を行なった結果によれば、垂直布設の場合の上部のコロナ特性は高低差に対応する油の自重分だけガス圧を下げた場合の下部の特性と等しくなることが明らかとなった。またこのような関係はヒートサイクルを約300回以上繰り返しても変化のないことが確かめられており、さらにケーブル中の上下の油の分布もシースと絶縁体との間に存在する余剰油は別として、絶縁体内の油浸率は上下ほとんど差のないことも確認されている。

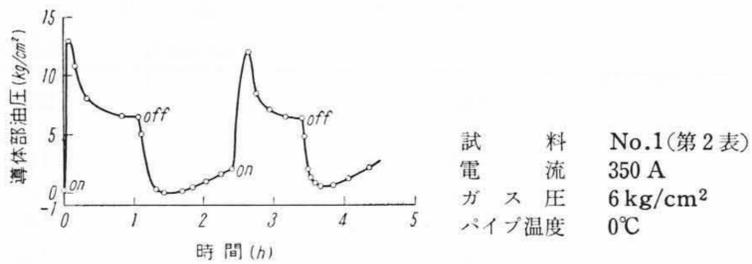
以上の特性より第3表に示した実験結果をもとにして各ケーブルの垂直布設時の許容高低差を求めると第4表のようになる。ここで通常60 mm²のケーブルでは温度上昇を考慮した許容電流が150A程度となる場合が多く、その意味では250A, 300A遮断という条件は実用的でないため150A遮断の場合の許容高低差を示した。ただし、電流遮断時のコロナ特性を問題にする場合には150Aはあまりにも軽負荷であり、実験はガス圧をかなり低下させて行なうことが必要となるので、ここでは電流遮断時の油圧特性よりコロナ特性を推定し、それより許容高低差を求めた。したがって第4表の中で150A遮断時の値は多少精度は低くなっている。しかし、実用的な面からみればコンプレッションケーブルの許容高低差は十分大きいものであることがわかる。なお第4表の結果を実際の場合に適用するときの一般的な条件としては、シースはある程度機械的な補強が施され(通常布設時の機械的な保護の目的で金属テープおよびスキッドワイヤなどが施される)、余剰油の分布が上下で著しく異なることが必要である。

5. 過渡的に導体部の油が低下した場合の絶縁耐力

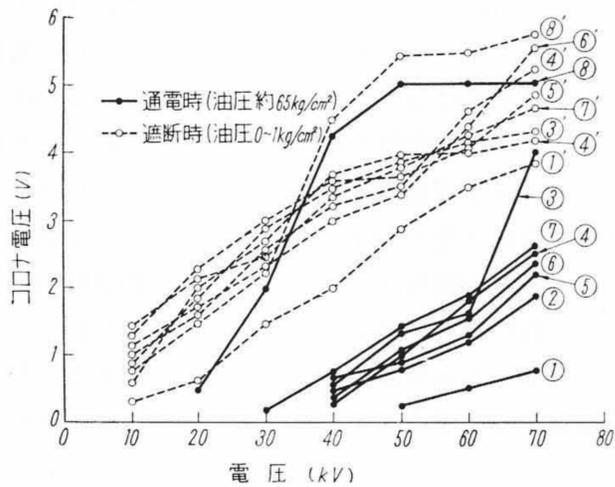
高電圧絶縁においてボイド放電が好ましくないことは自明の理であり、これを極力防止することは絶縁設計上の基本的条件である。しかし、実際問題として使用中あらゆる場合にボイド放電が起こらないようにすることは経済的に必ずしも得策ではない。すなわち、たとえば低ガス圧ケーブルにおいては、ボイド放電が起こってもそれが原因となって自己回復作用が起こりコロナ開始電圧は上昇してゆくの、初期のわずかのボイド放電は実用上差しつかえないものである⁽⁷⁾⁽⁸⁾。コンプレッションケーブルの場合には低ガス圧ケーブルに比して使用電界強度も大きく、自己回復作用を大幅に期待することは困難ではあるが、一方使用中過渡的にボイド放電が起こってもただちに絶縁破壊あるいは致命的な絶縁劣化が起こるとは考えられず、ケーブル設計上コロナ開始電圧の低下と寿命との関係を明らかにしておくことが必要である。

5.1 交流電圧印加による劣化

ガス圧を6気圧とし、周囲温度を0°Cとして、過電圧を連続印加した状態で第10図に示すようなヒートサイクルを与えた場合のコロナ特性の変動の一例を第11図に示した。ここでガス圧を低くした理由であるが本実験は一種の長時間の劣化試験となるので端末部



第 10 図 断続通電時の導体部油圧の変動



40 kV 印加時	時間 (h)	ヒートサイクル回数		
①	11.4	6		
②	20.7	10		
③	24.5	16		
④	39.2	20		
⑤	51.2	26		
⑥	62.0	31		
⑦	91.0	45		
50 kV 印加時	⑧	13.7	6	(50 kV 印加, 23 時間後に破壊)

試料 No.1(第 2 表) ヒートサイクル (第 10 図)

第 11 図 過電圧連続印加, 断続通電時のコロナ特性の推移。

での絶縁破壊を防止するため、前章のコロナ特性測定時のようにケーブル端末部へ気密シースを施すことができず、端末充てん油がケーブルと接続された状態となり、導体部の過渡的的油圧低下が緩和されるので、油圧の最低値が 0 気圧前後になるようにガス圧を調節したからである。したがって、本実験は単に導体部の最低油圧から考えられるよりも過酷な条件となっている。第 11 図において、40kV 印加中の特性②～⑦は①に比して悪い特性となっているが、これは連続的なヒートサイクルにより、特性が完全に回復しないうちに測定したためであり、40 kV 印加中にはコロナ特性の変化すなわち劣化はほとんど認められない。これに対し印加電圧を 50 kV まで昇圧すると劣化が認められる。

油圧変化が大體同じ経過となり、かつコンプレッションケーブルとして実用される可能性のある No. 1, No. 4 両ケーブルについて、種々の印加電圧に対するヒートサイクルと寿命との関係は第 5 表に示すようであり、ヒートサイクルによってボイドが発生すれば明らかに寿命は短くなるが、印加電圧が低くなれば、過渡的なボイド放電が寿命に及ぼす影響は著しく小さくなる。特に紙厚の薄い No. 4 のケーブルでは、実際問題としてわが国で冬期全負荷電流遮断がしばしば起こるような条件下で使用しても寿命の短縮は起こらないといえる。

なおコンプレッションケーブルの定常状態における交流破壊電圧のすぐれていることは周知の事実であり、筆者らの実験でも交流長時間耐圧試験の破壊強度は G_{max} として 55~60 kV/mm, またガス圧を 0 気圧まで下げても、ボイドの生じない状態では 35~40 kV/mm であることを確かめている。

5.2 インパルス強度

交流耐圧試験において、使用電圧よりはるかに高い電圧下の劣化

第 5 表 ヒートサイクルを加えた場合の長時間耐圧実験結果

No.	ケーブル種別	印加電圧 (kV)	最大電位傾度 (kV/mm)	破壊時間 (h)
1	1	80	24.6	9.7
2	1	80	24.6	8.5
3	1	60	18.5	16.0
4	1	60	18.5	21.3
5	1	(40) 50	(12.3) 15.4	(91.0) 23.0
6	1	{ (80) (90) (100) 80	{ (24.6) (27.7) (30.8) 24.6	{ (37.6) (6.5) (0.3) 3.8
7	4	80	24.6	33.5
8	4	80	24.6	40.5
9	4	(60) 70	(18.5) 21.6	(113.0) 122.0

注: (1) 実験条件: ガス圧 6 kg/cm², パイプ温度 0°C, 350A 断続通電 (第 10 図)
(2) () は破壊させず昇圧したものを示す。
(3) * ヒートサイクルを行わずパイプ温度を 30°C に保つ。

第 6 表 ヒートサイクルを加えた場合のインパルス耐圧実験結果

No.	ケーブル種別	印加電圧 (kV)	最大電位傾度 (kV/mm)	破壊までの印加回数
1	1	(260) (293) (325) (357) 390	(80) (90) (100) (110) 120	(100) (100) (100) (100) 1
2	4	(260) (293) (325) 357	(80) (90) (100) 110	(350) (100) (200) 10*
3	4	(325) (357) 390	(100) (110) 120	(100) (100) 24

注: (1) ヒートサイクル第 5 表と同じ(第 10 図)
(2) () は破壊させず昇圧したものを示す。
(3) * インパルス試験後, 交流電圧 80 kV を印加し, ヒートサイクルを行なった状態で 15.5 時間後に破壊。

第 7 表 定常状態のインパルス耐圧実験結果

No.	ケーブル種別	温度 (°C)	印加電圧 (kV)	最大電位傾度 (kV/mm)	破壊までの印加回数
1	1	30	(309) (342) (374) 406	(95) (105) (115) 125	(50) (50) (50) 8
2	1	30	406	125	20
3	4	30	406	125	26
4	4	30	406	125	40
5	1	80	342	105	4
6	1	80	342	105	20
7	4	80	374	115	30
8	4	80	374	115	45

注: (1) ガス圧は 15 kg/cm²。
(2) No.2 以下の印加開始電圧, 印加回数は No.1 と同じ。
(3) () は破壊させず昇圧したものを示す。

特性は実用上重要な意味をもつものでないが、油圧低下時に大きなインパルス電圧が印加されることは実際上起こり得ることなので、この点についても検討を行なった。

実験は交流の場合と同じく、ヒートサイクルを加え、導体部油圧が 0~1 気圧近くの最低値に保たれている間に負極性インパルスを加え、1 回のヒートサイクルの間に印加する最大回数を 50 回とし、100 回印加の後に 10 kV/mm ずつ昇圧する方法をとった。

実験結果の一例は第6表に示すとおりであり、第7表に示す油圧の定常状態におけるインパルス強度に比べて、低下は認められず、インパルスに関する限り、導体部油圧の過渡的低下によるものよりも、温度上昇による低下の方が大きいといえる。またインパルス連続印加による劣化については、試験中コロナ特性を適当間隔でとって検討したが、たまたま破壊の直前に測定した場合以外には変化は認められず、また当然ではあるが破壊後の試料を解体しても破壊点以外に劣化は認められなかった。このように通常の使用条件下ではコロナ開始電圧の低下は起こらず、また起こったとしてもケーブルの劣化が起こるほどにはならないことが確かめられたが、特に条件がきびしい場合の対策としては、No.4ケーブルのように油の粘度を下げ、そのことによる破壊強度の低下を紙厚を薄くすることによって補う方法はあらゆる性能からみてすぐれた方法である。

5.3 ガスの溶解時の特性

以上の実験のほかに、コンプレッションケーブルの使用で、長年月にはダイヤフラムシースを通して窒素ガスが溶けこみ、窒素の飽和溶解状態になることも考えられるので、油浸紙について実験し、油面に15気圧のガスを長時間接触させた後の交流の破壊電圧を求めたが、特に強度の低下は認められず、またその状態で急にガス圧を下げたときの破壊電圧も最初からガス圧を低く保ったときの破壊電圧と等しく、コンプレッションケーブルでは、油中にガスが溶解しても実質的な性能低下は起こらないものと考えられる。

またコンプレッションケーブルの端末充てん油に圧力をかけるには二つの方式があり、一つはパイプ中のガス圧をコンペンセータを介して端末油に伝えるのもう一つは、端末の上部に油に接してガス室をもうけ、パイプからのガスを、端末内の油中をガラス管などを通してガス室に導き圧力を伝える方式である。前者ではガスが直接油に接触しないので理論的にすぐれていることは当然であるが、通常は経済的理由で後者の方式が採用される場合が多い。このときには端末油は窒素ガスで飽和され、ガス圧が事故などで急に低下したときには、溶解ガスは過飽和となって発泡が生じ、さらにそれを伝わっての端末部の沿面せん絡などが起こる可能性が考えられる。この点を検討するためには、透明樹脂筒を用いて、ケーブル端末を作り、常温から60°Cの範囲でガス圧の急変を行ない、ボイドの発生、端末部の接地電極端のコロナの発生状況などを観察したが、ガス圧5気圧以上では心配される性能の低下は認められなかった。ただし0気圧まで下げると、電極端のコロナ開始電圧は低下し、また放電のはびやすく、同時に放電によるガスの発生も著しくなる。しかし、この場合にもコロナ開始電圧は通常の方法で設計された端末

では使用電圧の2倍以上であった。

6. 結 言

以上の実験結果に示されるように、コンプレッションケーブルにおいては、全負荷電流が遮断されるような場合には導体部油圧がかなり低下し、コロナ開始電圧の低下も起こり得るが、それは寒冷地に限られる現象である。またそのような特殊条件に対しては、油の粘度、紙厚を加減することによって、他の性能の低下をきたすことなく性能を改善することができる。またたとえ過渡的にボイド放電が起こる状態になっても、実用的にはほとんど寿命に関係はなく、同時にインパルス強度の低下は全然起こらないものである。このことはボイド放電が起こってもその量のごくわずかであることから推定できる特性である。さらに垂直布設の場合にも、特殊な場所には油コンプレッション、あるいはガス入形などが有効であることはもちろんであるが、通常の布設で生ずる高低差、すなわち、数十メートル以内では問題なく使用することができる。このほかガス系統の事故によりガス圧が低下しても、5気圧以上のガス圧に保たれれば連続して通電することが可能であり、また特にヒートサイクルがなければ0気圧まで低下してもすぐれた性能を維持し、連続通電が可能である。

これを要するに、適切な製作、使用方法により、ガスコンプレッションケーブルはすぐれた性能を示すことが明らかとなり、従来低圧OFケーブルが使用された系統(60~140kV)には性能的には問題なく使用でき、郊外地の新設ルートなどでは経済的にも有利となるので今後の発展が期待される。

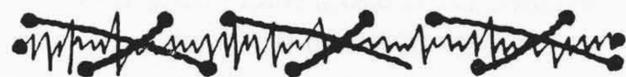
終わりに本研究を進めるにあたり種々ご指導を賜った武蔵工業大学鳥山教授、日立電線株式会社水上部長はじめ関係者各位、日立製作所日立研究所、橋本部長、井上主任研究員らの方々に厚くお礼申し上げるとともに実験にご協力された日立電線株式会社松本啓氏に感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- (1) C. T. W. Sutton: CIGRE., No. 202 (1952)
- (2) L. Domenach: CIGRE., No. 217 (1954)
- (3) K. S. Wyatt: Wire & Wire Product., 25 (11) 971 (1950)
- (4) J. C. de Vos, J. Vermeer: CIGRE., No. 208 (1958)
- (5) C. T. W. Sutton, A. M. Morgan: CIGRE., No. 204 (1956)
- (6) J. B. Whitehead, M. B. Shaw: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs., 60, 267 (1941)
- (7) G. B. Shanklin: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs., 63, 549 (1944)
- (8) 加子: 日立評論 別冊-28, 33 (昭33)



特 許 の 紹 介



特許第282476号(特公昭36-3387)

川松俊治・三浦正敏

ポ リ エ チ レ ン の 処 理 法

ポリエチレンは一般に融点が比較的低くかつ親水性基を欠くために染色困難などの欠点をもっている。

従来ポリエチレンに遊離基の存在で重合する単量体を接枝重合させて染色性、接着性を改善するため、イオン化放射線を用いることはすでに知られている。

この発明はイオン化放射線を用いることなく、ポリエチレンを酸素の存在下に加熱酸化させて、これを遊離基の存在において重合する単量体と共存させ、加熱その他の処理によりこれら単量体をポリ

エチレン上に接枝重合させるものであり、安価かつ容易に価値ある重合物を製造することができる。その特徴はポリエチレンを酸化させる際その酸素吸収量を調節することにより、または酸化の温度および時間を適宜調節することにより、遊離基の存在において重合する単量体のポリエチレンへの接枝重合体の分枝の数を調節することができ、容易に所望の性質をもった重合体が得られる点にある。

(岩田)