

# 低圧重合ポリエチレンの電線への応用

## Applications of Ziegler Polyethylene to Insulated Wires

鎌田 長生\*      宮沢 定雄\*      内藤 達郎\*  
Osao Kamata      Sadao Miyazawa      Tatsuo Naito

### 内 容 梗 概

(1) 発泡ポリエチレン絶縁通信ケーブルは良好な電気的特性, 耐水性, 軽量などの点でポリエチレンあるいは, 紙絶縁通信ケーブルにとつてかわろうという傾向にあるが, ただ熱軟化点が低く機械的強度が劣ることが難点であつた。この欠点を改良するため低圧重合ポリエチレンの検討を行い特殊の発泡剤を用いて発泡させたところ, 微細独立気孔の絶縁体を得, 従来の発泡ポリエチレン型ケーブルの熱的, 機械的特性を大幅に改善することができた。

(2) 最近水中に直接浸漬して使用する井戸ポンプが普及しているが, 常時水と接した状態におかれるためマグネットワイヤの構造に問題がある。そこで機械的強度大きく非透水性でストレス亀裂に強い低圧重合ポリエチレンをその絶縁体とし, この種マグネットワイヤの特性の向上をはかつた一例を示した。

### 1. 緒 言

従来の高圧重合法によるポリエチレン<sup>(1)~(4)</sup>に対して, 最近接触法による低圧重合ポリエチレンが新たに登場し<sup>(5)~(7)</sup>, わが国でも数社がその生産を計画あるいは一部工業生産に移つていることはすでに報告した<sup>(8)</sup>。このポリエチレンは高結晶性線状ポリマであるため機械的, 熱的強度が大でしかも電気的性能もすぐれているため電線の絶縁体あるいはシース材料として従来のポリエチレンの欠陥を改善できるものとして, 種々検討を加えているが, その最も効果的な応用例として発泡ポリエチレンと水中モータ用マグネットワイヤへの応用例について報告する。

発泡ポリエチレン<sup>(9)(10)</sup>はすでに実用化の段階に入つているが, 紙ケーブル, 充実ポリエチレン通信ケーブルと比較してすぐれた点のある反面, 機械的, 熱的性能が劣るため外傷を受けやすく使用温度限界の低い欠点がある。この点の解決がつけば漸次増加しつつある需要に対してよりすぐれた特性のケーブルを提供できることは明らかである。低圧重合ポリエチレンと特殊の発泡剤の組合せによる試作を行い検討した結果上述の欠点を改善する見通しをえた。

さらに最近の家庭用井戸ポンプの普及とともに深井戸用として機械を直接浸水させて使用する型式のポンプが量産化されてきたが<sup>(11)(12)</sup>, その水中モータ用マグネットワイヤは非透水性,

高機械的性能および水中に溶解した各種の化合物に対する耐応力亀裂性<sup>(13)~(15)</sup>を要求されることから従来の高圧重合ポリエチレン絶縁体を低圧重合ポリエチレンで置換することによつて上述の要求を満足させうるものと考えた。

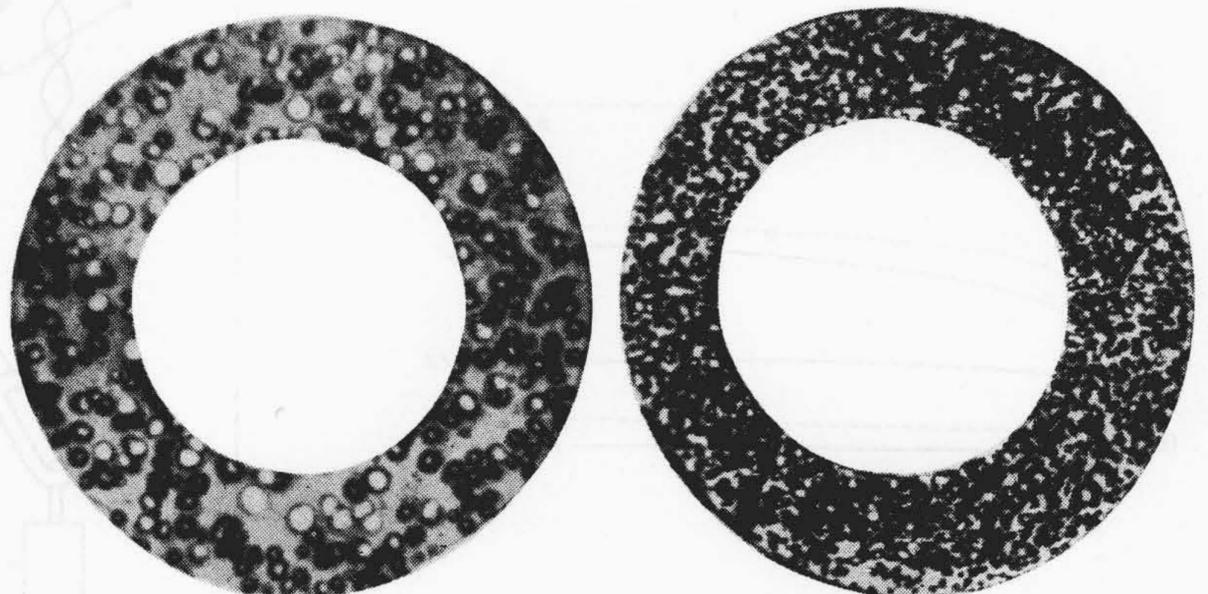
### 2. 発泡ポリエチレンへの応用

#### 2.1 試作ケーブルコアの構造

発泡ポリエチレンに関する筆者らの報告<sup>(16)</sup>あるいはそのほかの研究者の論文<sup>(17)(9)(10)</sup>および現在市場に提供されている発泡ポリエチレン材料<sup>(18)</sup>はすべて高圧重合ポリエチレンを主体とするもの(以下 PEF と略称する)

第1表 試作線の構造

項 目	寸 法 (mm)
導 体 外 径	0.90
絶 縁 体 厚 さ	0.55
仕 上 外 径	2.00



高圧重合発泡ポリエチレン×30

低圧重合発泡ポリエチレン×32

第1図 発泡ポリエチレン断面

\* 日立電線株式会社電線工場

で、高圧重合ポリエチレン(以下PEと略す)自体に基因する熱的、機械的な欠点を避け得られない。そのため各種銘柄の低圧重合ポリエチレン(以下PE-Zと略称する)を用い、これに発泡剤の検討をあわせ加えて新しい性能をもつた低圧重合発泡ポリエチレン(PEF-Zと略称する)の研究を行ってきた。その特性のいくつかについてPEFとの比較結果を述べる。試作ケーブルコアの構造は第1表に示すとおりで、押出条件を変えることによつてそれぞれ異なつた発泡度(以下誘電率の大ききで規定する)をもたせた。実際使用上要求される発泡物の気孔の独立性、微細度、外観は条件によつて多少異なるが、一般にPEF-Zの方が良好である。第1図に両者の断面状態の一例を示した。

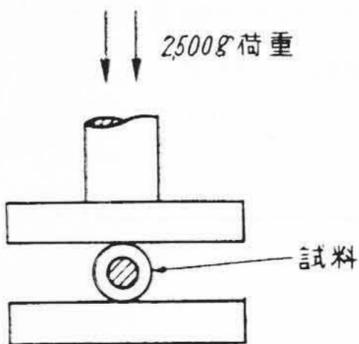
2.2 熱、機械的特性

2.2.1 常温における加圧変形

第2図に示すようなJIS-231に準ずる平行板型プラスチックメータで2.5kgの荷重を加えて常温(15~22°C)における加圧変形率を求め、その結果を第3図に示した。

加圧変形率は(1)式によつて求めた。

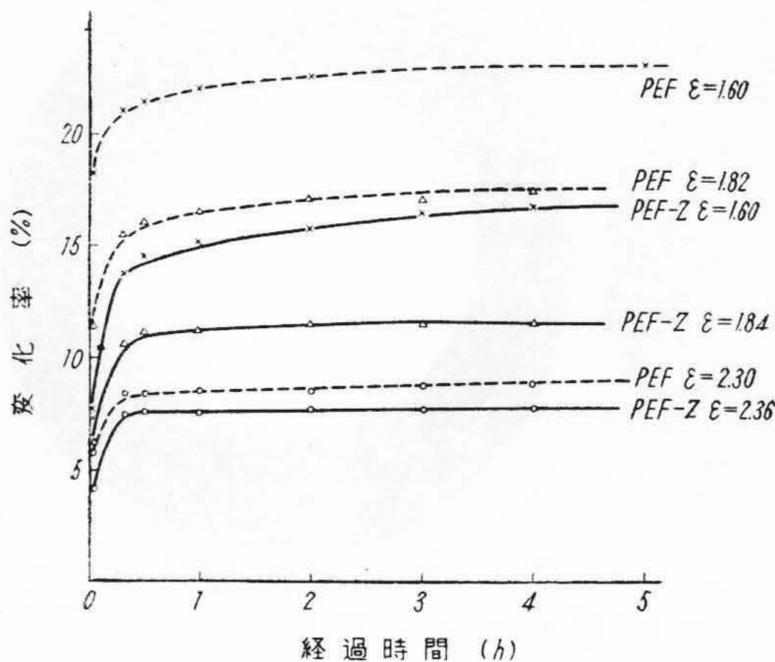
$$\text{加圧変形率(\%)} = \frac{\text{加圧前の厚さ} - \text{加圧後の厚さ}}{\text{加圧前の厚さ}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$



第2図 加圧変形試験装置

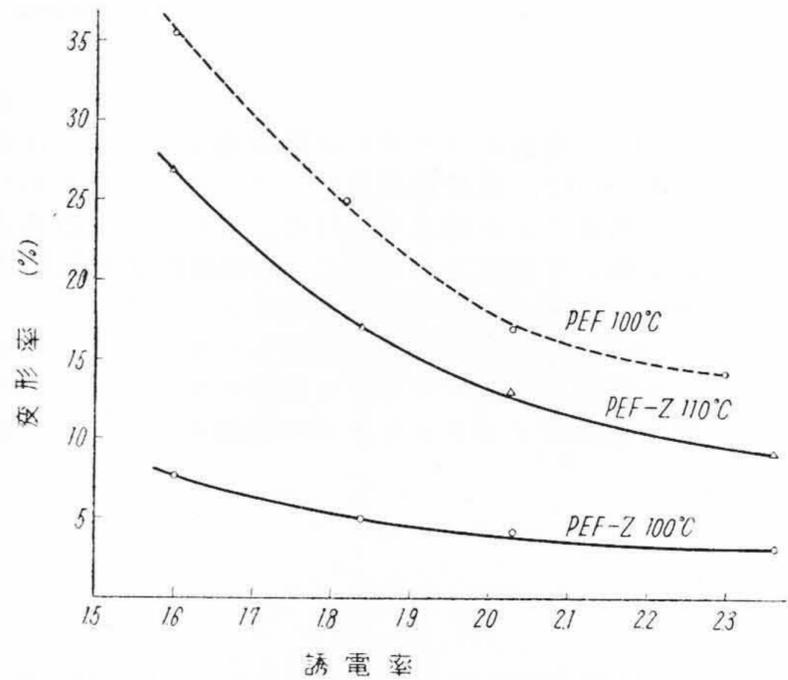
この結果から、未発泡絶縁体では両者の間に大きな差異はないが、発泡体ではPEF-Zの方がはるかに抗圧縮性の大きいことがわかる。

2.2.2 高温における加圧変形  
前項と同一の試験器を

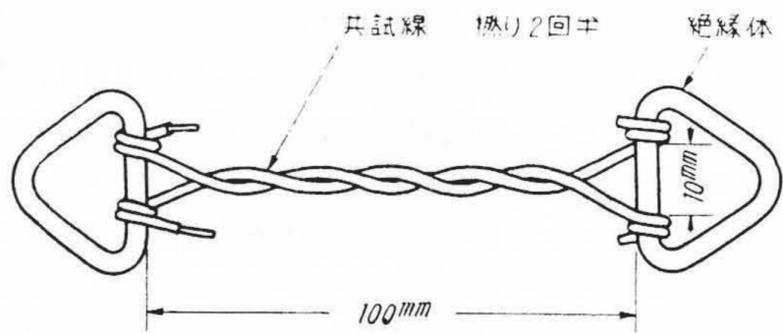


第3図 常温における加圧変形率

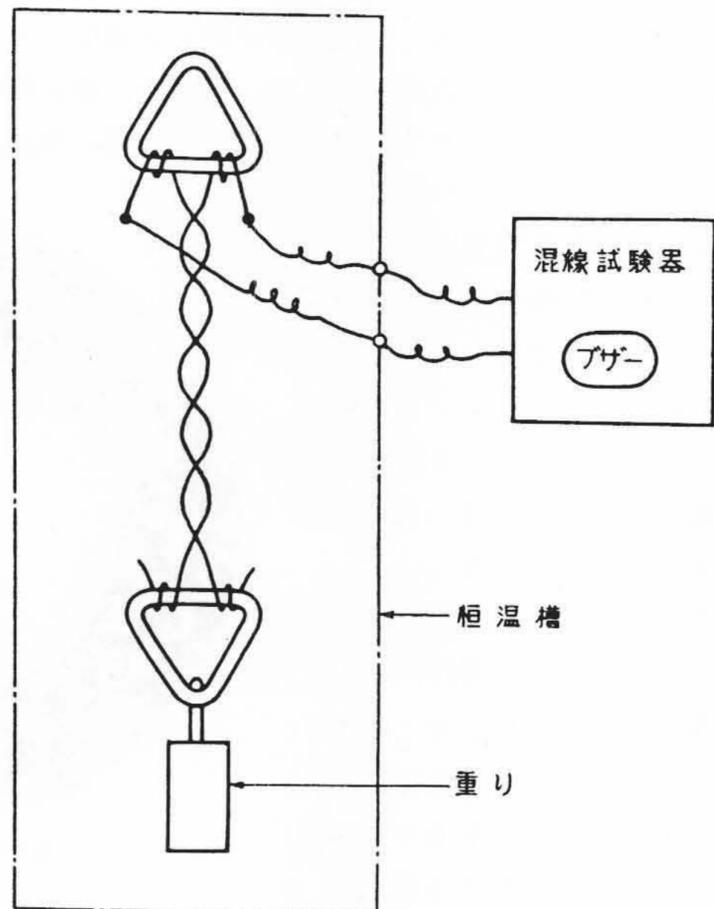
用い温度をそれぞれのポリエチレンの熔融温度付近にあげて荷重500gのもとで加圧変形率を求めた。その結果を第4図に示したが、これからPEF-Zは同一変



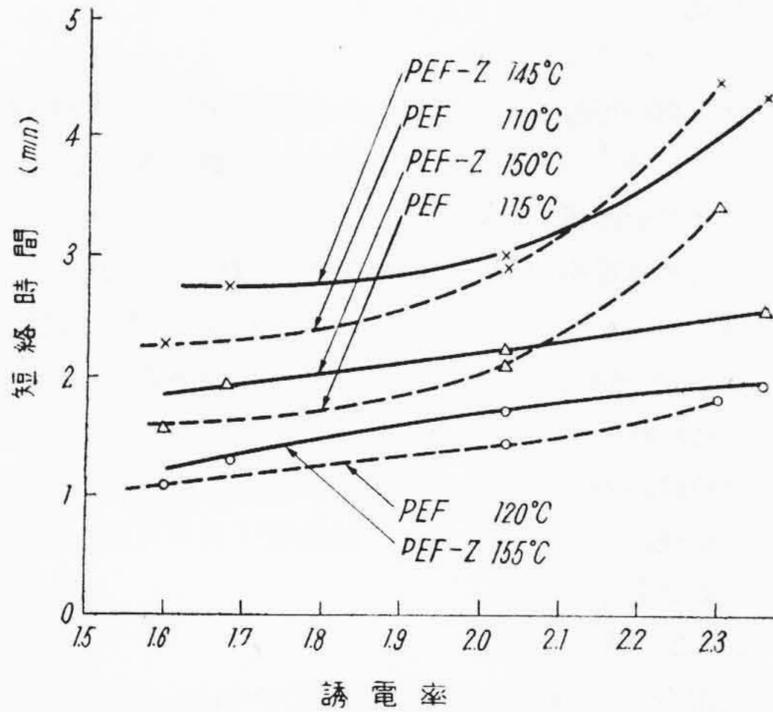
第4図 高温加圧変形



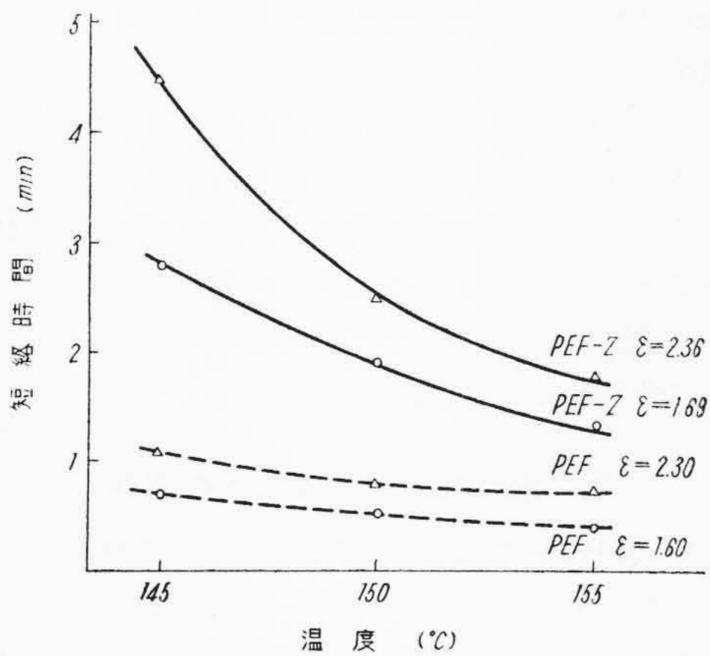
第5図 高温短絡試験試料



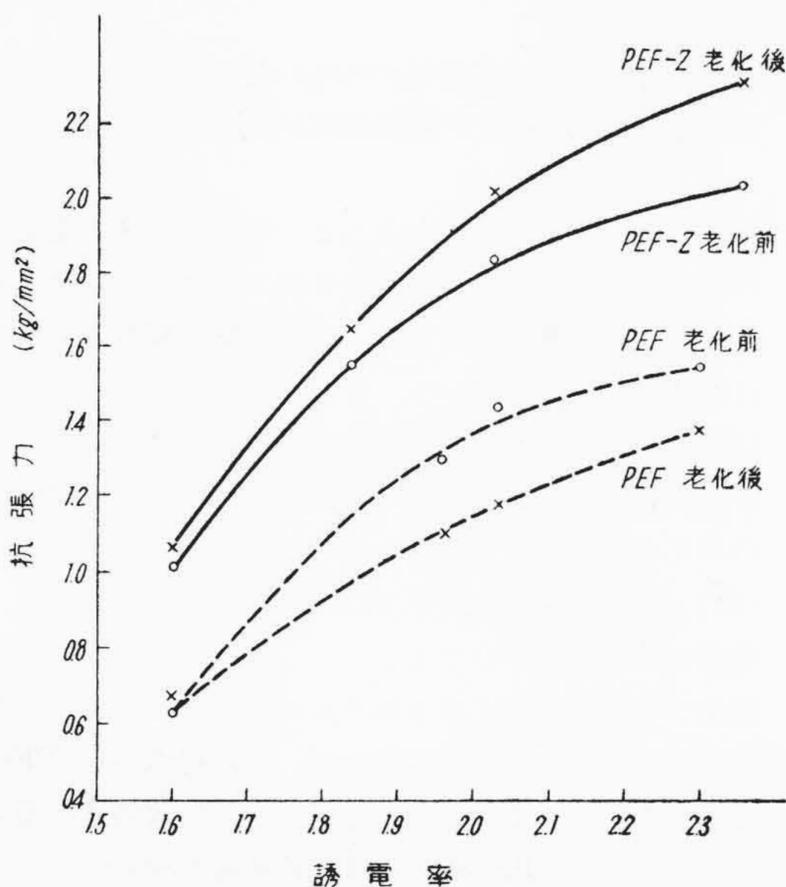
第6図 高温短絡試験方法



第7図 短絡時間と誘電率の関係



第8図 短絡時間と加熱温度の関係



第9図 抗張力と誘電率の関係

形を起すには PEF より約15~20°C高温でなければならぬ、換言すれば耐熱度が約 15~20°C 高いことがわかる。

2.2.3 高温短絡試験

熔融点以上の温度における変形状態をみるために、第5図に示す試料を恒温槽中に垂直につり下げ、第6図のように重錘をつるし、燃合せたコアの導体間に混線試験器を接続して試料を入れてからコアが短絡するまでの時間を測定した。試験器の端子電圧は直流 20V である。

この方法によつて求めた短絡時間と誘電率の関係を第7図に、加熱温度との関係を第8図に示した。この結果から PEF-Z の耐熱度は PEF より約 30~35°C 高いことが明らかとなり、ベースとなるポリエチレンレジン自体の耐熱度<sup>(8)</sup>の良否が発泡体においてもそのまま再現されることがわかつた。

2.2.4 抗張力

老化前後の抗張力と誘電率との関係を第9図に示す。未発泡のポリエチレン自体についていえば PE-Z は高圧重合ポリエチレンの約 1.5 倍以上の抗張力を示す<sup>(5)(8)</sup>ことから PEF-Z においても抗張力の向上が期待されこの結果からも PEF-Z は PEF の約 1.5 倍以上の値を示している。

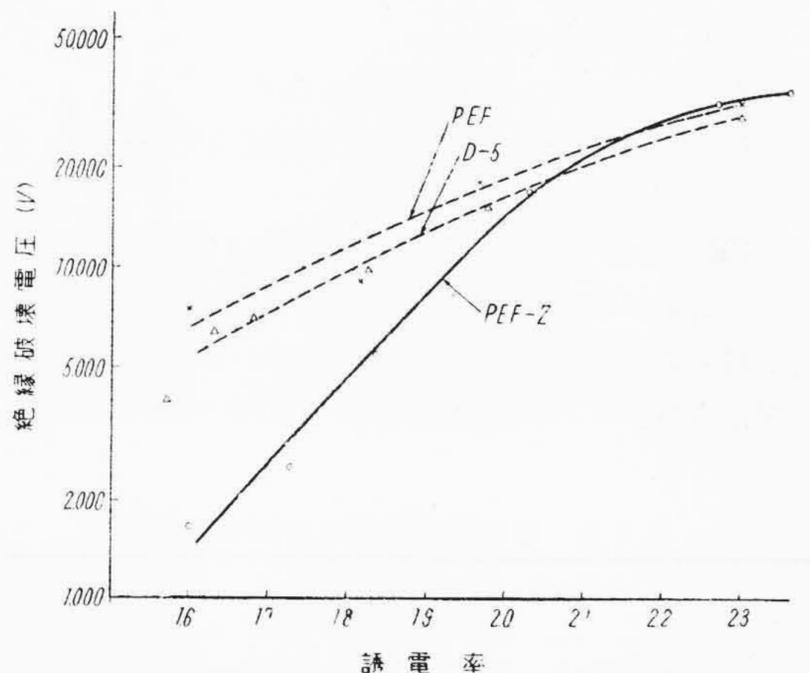
発泡による抗張力減少の割合も、有効断面積の減少割合と同様の傾向をたどり、発泡による実質部分の減少にもとづくことは明らかである。

伸びの測定結果はばらつきが多く一定の傾向をつかめなかつたが、ほかの性能の検討とともにさらに詳細に測定中である。

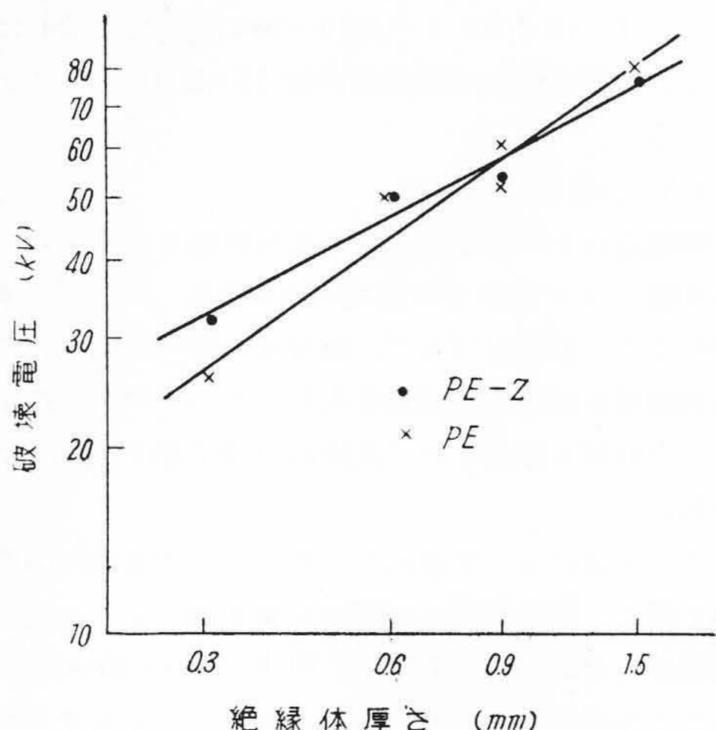
2.3 電気的性能

2.3.1 絶縁破壊電圧

5 mの長さの試料を水中に1時間浸漬後、約 700V/s



第10図 絶縁破壊電圧と誘電率の関係



第11図 破壊電圧と絶縁厚の関係

の昇圧速度で絶縁破壊電圧を測定した。結果を第10図に示す。この測定結果から、未発泡物ではPEF、PEF-Zの両者間には差がみられないが、誘電率の減少(換言すれば発泡度の増加)とともにPEF-Zの方が急激に減少する。

この原因として考えられることは (a)発泡による実質部分の減少を厚さの減少と仮定すれば、厚さによる破壊電圧の減少の割合がPEよりPE-Zの方が大きいためか (b)使用した発泡剤がPEFに使用されたものより悪い影響を及ぼすためではないかと考えられるので以下の実験を行つてみた。

(a) 絶縁厚さと破壊電圧の関係

0.9 mmの導体に0.3, 0.5, 0.9, 1.5 mmの厚さにPEおよびPE-Zをそれぞれ被覆してその破壊電圧を求め、厚さとの関係を第11図に示した。この関係はほぼ(2)式の形で表わされる。

$$E = E_0 t^n \dots \dots \dots (2)$$

- t : 絶縁体の厚さ(mm)
- E : 厚さtにおける破壊電圧(kV)
- E<sub>0</sub> : 厚さ1 mmの場合の破壊電圧(kV/mm)
- n : 直線の傾斜(実験式定数)

PEおよびPE-ZのE<sub>0</sub>, nの値を第2表に示したが、この結果からはPE-Zのnの方がやや小さく厚さによる破壊電圧の変化が少ないことがわかるから、前述の発泡度増加による破壊電圧減少の原因は厚さの実質部

第2表 破壊電圧と厚さの関係定数

定数	材料	PE-Z	PE
E <sub>0</sub>		61.0	64.3
n		0.55	0.74

分の減少によるとは考えにくい。

(b) 発泡剤の影響

発泡剤の影響を調査するため普通のPEにPEF-Zの場合と同一の量の発泡剤を混合して第1表と同一条件のコアを押出して破壊電圧を求めた。この試料の破壊電圧と誘電率の関係は第10図のD-5と傍記した破線で示されているものである。これをPEFと比較すると同一傾向を示し明らかに発泡剤の悪影響はないと考えられる。

そのほかの考えられる破壊電圧低下の原因については現在検討をすすめており、破壊電圧自体の向上についても研究中である。

2.3.2 絶縁抵抗

誘電率ε=1.60のPEF, PEF-Zを11°Cの水中に浸漬して絶縁抵抗を測定した結果は両方とも110kMΩ/km以上の値を示し十分な値であつた。浸水後の絶縁抵抗の経時変化は後報する。

以上の点からPEF-Zは使用温度範囲を拡大し、ケーブル燃合せ、集合時そのほかでの外傷、シース押出、接続工事などの熱熔着を防止でき、実用上普通PEF絶縁ケーブルよりはるかにすぐれることが期待されるが、通信ケーブル用としての特性については紙面の都合で後の機会にゆずる。

3. 水中モータ用巻線への応用

3.1 水中モータ固定子巻線の具備すべき性能

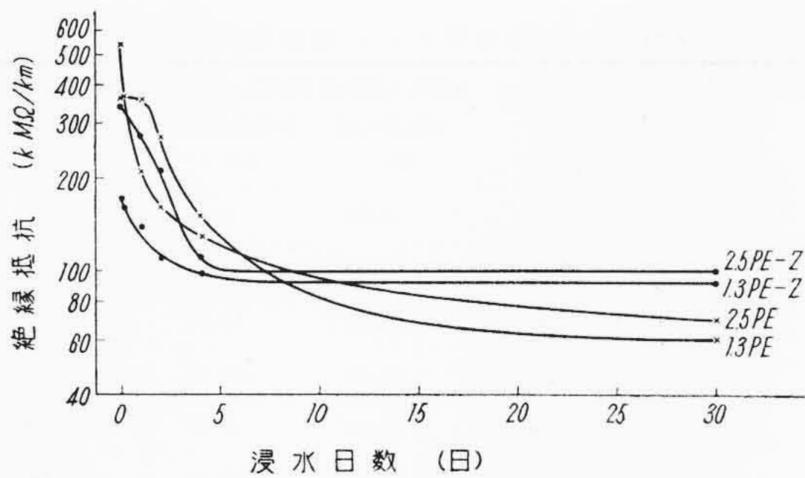
水中モータは文字どおり水中に潜水させて運転するものであるからその固定子巻線は一般のモータ以上に特殊の性能と高度の信頼性が要求される。要求される性能を列記すると

- (A) 浸水によつて電気的特性の低下しないこと、すなわち耐電圧ならびに絶縁抵抗が低下してはならない。
- (B) 機械的に強靱であること。水中モータの固定子の形状が一般のモータと異なるのでスロットにセットするときに損傷されないよう十分強靱な被覆をもたなければならない。
- (C) 水中には種々の化合物が溶け込んでいるから、それらの作用によつて応力亀裂<sup>(13)~(15)</sup>のような被覆の劣化を生じないものであること。
- (D) 被覆の厚さをできるだけ薄くすることができ、電線の外径が小さいこと。

従来この巻線としてポリエチレン絶縁ナイロンシース電線そのほか用いられてきたが、その特性からPE-Zを使用することにより上記の性能がさらに改善されると期待されたので、PE絶縁とPE-Z絶縁の両者について各種の比較試験を行つた一例を示す。

第3表 供試電線の構造

絶縁シース (mm)	導体直径 (mm)	0.50	1.30	2.00	2.50
ポリエチレン厚さ		0.25	0.25	0.30	0.30
ナイロン厚さ		0.15	0.15	0.15	0.15
仕上外径		1.30	2.10	2.90	3.40



第12図 浸水による絶縁抵抗の変化

3.2 供試線の構造

試験に用いた試料線の構造の概要を第3表に示す。

3.3 電気的性能

3.3.1 浸水による絶縁抵抗の変化

試料を常温の水中に30日間浸漬し、絶縁抵抗の変化を測定した。その結果を第12図に示す。図の曲線より初期値はPEとPE-Zではほとんど差はないが、低下率はPE-Zの方が少なく、耐水性のすぐれていることがうかがわれる。

これは従来いわれていた結果と一致する<sup>(20)(21)</sup>。また低下の様子は5日までに急激に低下するが、それ以後はいずれも安定した値となり、十分な絶縁抵抗を保持することは明らかで水中使用に対して不安がない。

3.3.2 破壊電圧

常態における破壊電圧は第11図に示すようにPE、PE-Z両者の間に大差はない。浸水後の変化についてはすでに発表されたデータが参考になる<sup>(12)</sup>が長期浸水後も両者の間に大きな差異はみられなかった。

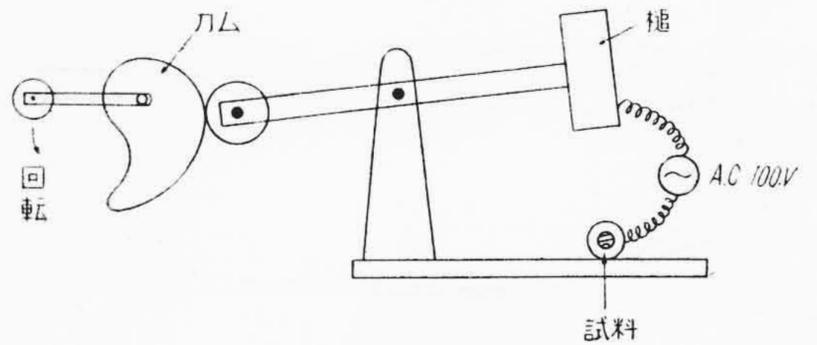
3.4 機械的性能

3.4.1 耐衝撃性

巻線はコイル成型の際に強い外力を加えられることがあるから被覆の耐衝撃性が要求される。したがってPE-Zを用いたときどの程度まで耐衝撃性が改善されるか1.3mmの導体寸法の試料について、ナイロンシースのあるものとPEのみのものについて次の寸法で耐衝撃試験を行った。

(a) 試験方法

試験は第13図に示すような試験機により、試料を30回/minの速度でたたき被覆の破壊によつて導体と金属槌の短絡するまでの衝撃回数を測定した。なお試験



第13図 耐衝撃性試験機

第4表 導体寸法1.3mmの耐衝撃性

試料の種類		耐衝撃性(回)
PE	ナイロン被覆なし	33.0
PE-Z		58.0
PE	ナイロン被覆あり	30.6
PE-Z		52.0

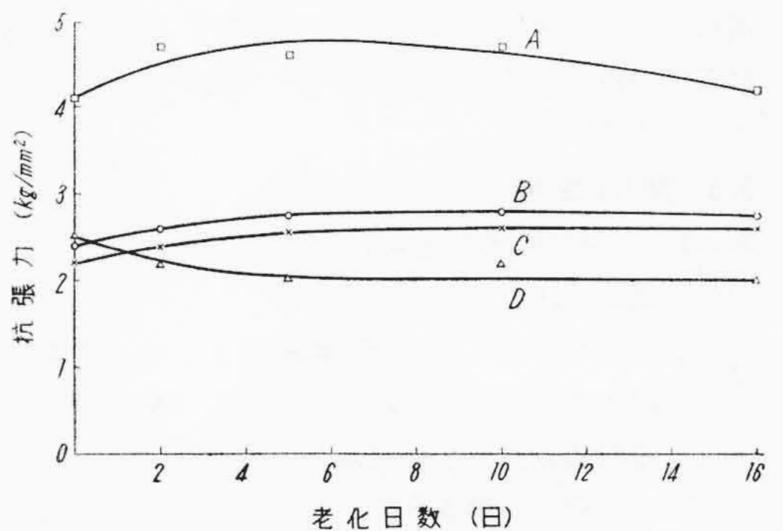
は5個の試料について行いその平均を求めた。

(b) 試験結果

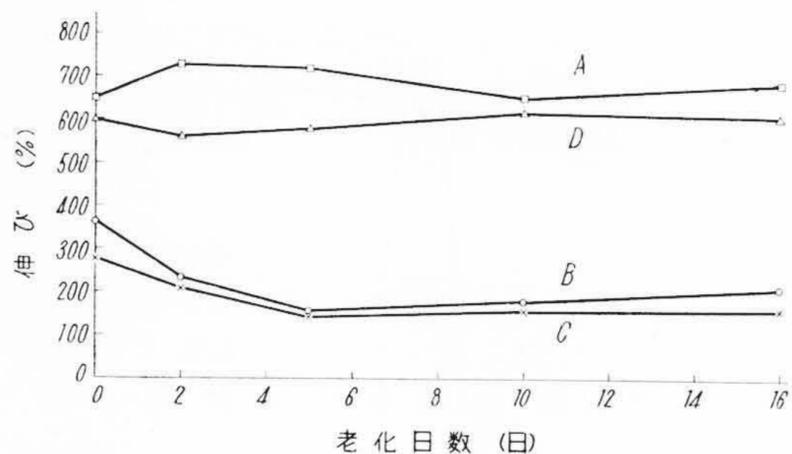
この方法による試験の結果を第4表に示す。ナイロンシースを施していないものは第4表の回数で破壊し短絡したが、ナイロンシースしたものは1,000回以上ハンマリングしても短絡しないので、線の長さ方向に沿つて白い筋が現われ薄い膜ができるときを肉眼判定し、そのときまでの回数を耐衝撃回数とした。この結果PEよりPE-Zの方がすぐれていることがわかり、またナイロンシースの効果もきわめて大きいことが知られる。

3.4.2 加熱老化性能

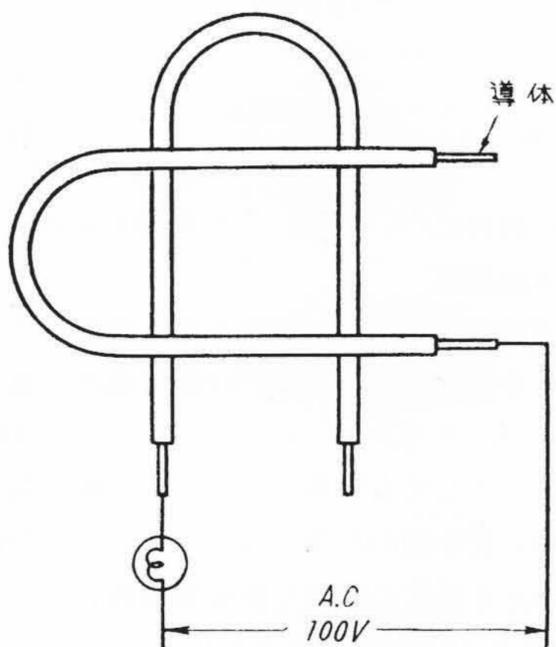
この電線は常時水中にあるので特に高温にさらされることにより絶縁体が劣化をきたすということはほとんどないと考えられるが、材料自体の耐老化性を知っておく必要があるので現在市場に出ている数種のPE-ZとPEについて試作線を押出し、100°Cの空気老化試験機を用いて老化による引張強度の変化を測定した。



第14図 空気老化による各種ポリエチレンの引張強さの変化 (老化温度 100°C)



第15図 空気老化による各種ポリエチレンの伸びの変化(老化温度 100°C)



第16図 高温加圧試験試料

結果を第14, 15図に示す。抗張力の変化はPE-Zにおいてはほとんどいずれも一定で初期値よりやや高くなる程度である。一方PEではいくぶん低下を示す。また伸びの変化はHizex7,500とDFD2,005はほとんど変化を示さないが、Hostalen GKとHifax1,405はかなり低下する。以上の結果は100°Cにおける熱老化であつて、実際の水中モータではこのように高温にさらされることはないと考えられるから、熱による巻線の機械的性能の劣化は起らないと考えてよい。なお、DFD2,005をのぞいてほかはすべて低圧重合ポリエチレンである。

3.5 熱的性能

3.5.1 高温加圧後の電気的性能の変化

(a) 試験方法

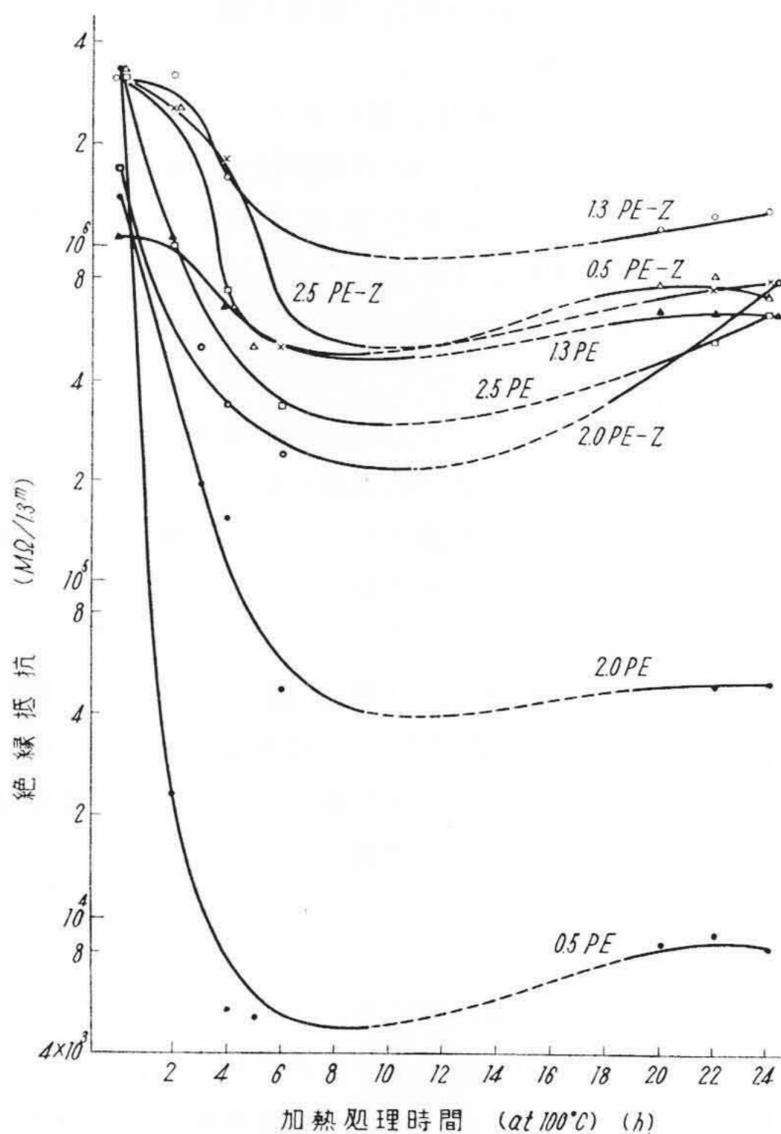
供試線をU字型に曲げ第16図のように4点接触させて高温下で荷重をかけ、二導体間にAC100Vを加えて規定時間放置後水中浸漬して破壊電圧を測定した。加えた荷重を第5表に示した。高温絶縁抵抗はこれと同一の方法で加圧、加熱中の試料について測定を行つたものである。

第5表 供試線に対する試験荷重

導体寸法 (mm)	試験荷重 (kg)
0.5	4.0
1.3	5.6
2.0	6.4
2.5	6.4

第6表 加熱処理による破壊電圧の変化

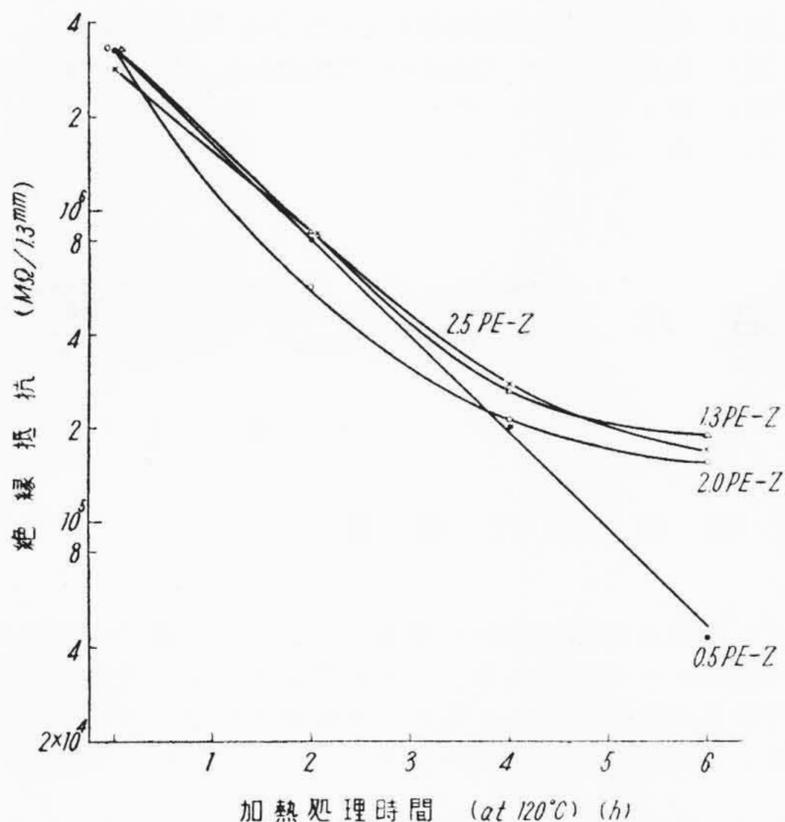
材料	加熱処理条件 導体直径(mm)	100°C×6時間	100°C×24時間	120°C×6時間
		加熱加圧後 (kV)	加熱加圧後 (kV)	加熱加圧後 (kV)
PE	0.5	5.80	2.74	熔融, 測定不能
	1.3	9.54	8.34	
	2.0	≧15.00	10.44	
	2.5	≧15.00	≧15.00	
PE-Z	0.5	≧15.00	13.92	4.50
	1.3	≧15.00	≧15.00	≧15.00
	2.0	≧15.00	≧15.00	≧15.00
	2.5	≧15.00	≧15.00	≧15.00



第17図 高温(100°C) 荷重下におけるPE, PEZの絶縁抵抗の変化

(b) 破壊電圧

以上のようにして測定した試料の破壊電圧は第6表のとおりで、100°CにおいてもPE-Zの方がはるかによい値を示し、120°CにおいてはPEは溶融してしま



第18図 高温荷重下におけるPE-Zの絶縁抵抗の変化

第7表 巻付加熱試験後の破壊電圧の変化

材料	巻付温度 20°C	120°C			
		破壊電圧 (kV)		破壊電圧 (kV)	
		1倍	3倍	1倍	3倍
PE	0.5	11.8	18.2	11.3	10.0
	1.3	15.2	15.7	14.2	16.2
	2.0	15.2	15.0	12.0	14.0
	2.5	17.3	16.8	15.0	17.3
PE-Z	0.5	15.0	21.0	9.8	>40.0
	1.3	17.5	15.7	21.5	>40.0
	2.0	19.0	18.0	22.1	>40.0
	2.5	15.7	21.8	18.0	>40.0

い測定不能となるにかかわらず、PE-Zは十分な性能を保持している。

このことは水中モータ巻線ではさきに述べた理由からことさらとりあげるまでもないかもしれないが、一般使用上の温度範囲の向上という点で重要なことである。

(c) 高温絶縁抵抗

高温下で加圧中の供試線の絶縁抵抗の変化は第17図および第18図にみられるとおりであるがPE-Zの方がはるかにすぐれた値を示し、PEの溶融してしまう120°Cにおいても高い絶縁抵抗を保持している。

3.5.2 巻付耐圧試験

供試線をそれぞれの導体直径の1倍および3倍の径の丸棒に10回巻きつけ、常温および高温下で72時間放置して取り出し、水中に浸漬して破壊電圧を測定した。この結果を第7表に示すが、各試料とも亀裂、ひび割れは見られなかつた。この結果によると常温では

両者の間に差はみられなかつたが、120°CではPE-Zが非常によい傾向を示している。なお40kV以上では測定法の都合で沿面放電をするためそれ以上の値は測定不能であつた。

しかしPE-Zの場合、高温巻付処理後は常温の場合よりかえつて破壊電圧が増加しており原因が不明であるので、今後の調査により究明したいと考えている。

以上検討したようにPEをPE-Zにおきかえることによつて水中モータ用巻線の熱的、機械的、電気的性能を大幅に改善することができた。なお応力亀裂については別途報告する予定であるが、多数の文献<sup>(13)~(15)</sup>からも明らかにPE-Zの方がPEにまさるものようである。

4. 結 言

(1) 低圧重合ポリエチレンを用いた発泡ポリエチレンの試作検討を行つた結果、従来の高圧重合ポリエチレンをベースとする発泡ポリエチレン絶縁に比較し、外観、発泡構造がすぐれ、機械的、熱的強度の高いケーブルコアを押出すことができた。さらに耐電圧強度の改善をまてば従来の発泡ポリエチレン通信ケーブルの欠点を大きく改善したケーブルを提供することが可能である。

(2) 水中モータ用巻線の一例として従来の高圧重合ポリエチレンから低圧重合ポリエチレン絶縁にかえることによつて電気的、機械的、熱的に、より改善された性能をあたえることができる。

終りに本研究に御指導をいただいた日立電線株式会社電線工場、間瀬副部長、杉山課長以下関係者各位に深謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) Brit. pat., 471590 (I. C. I. Ltd)
- (2) E. W. Fawcoll, R. O. Gibson: J. Chem. Soc., 386 (1934)
- (3) F. A. Fleeth: Brit. plastics., 18, 444(1946)
- (4) H. H. Irwin: Ind. Eng. Chem 111, 65(1944)
- (5) J. A. Neuman & F. J. Bockhoff: Mod. plastics., 32, 117 (Dec, 1955)
- (6) K. Ziegler: Kunststoffe., 45, 506 (1955)
- (7) J. A. Campbell: Materials and Methods., 42, 88(1955)
- (8) 川和田, 吉川, 鎌田: 日立評論 別冊21号, 49 (昭32)
- (9) W. T. Higgins: Mod. plastics., 31, 99(July, 1954)
- (10) A. S. Windeler: Bell. Sys. Tech. J'l., 32, 1245 (1953)
- (11) 西: 日立評論 別冊9号, 1~2(昭32)
- (12) 松井, 久郷: 日立評論 別冊22号, 44(昭33)
- (13) J. B. Decoste, F. S. Malm & V. T. Wellder: Ind. Eng. Chem., 43, 117(1951)
- (14) W. C. Ellis & J. P. Cummings: A. S. T. M. Bull., 178 45~50(1951)

(15) F. J. Bockhoff & Neuman, J. A: S.P.E. JI', 10, 17(1954)  
 (16) 八田, 鎌田, 鈴木: 日立評論 37 1663(昭 30)  
 (17) 東野, 川松, 横瀬: 信学誌 37, 800(昭 29)

(18) Kabelitem(Bakelite Corp) No. 70,(1954)  
 (19) R.A. Reed: Plastics Progress., 51(1955 Issue)  
 (20) 原: ラバー, ダイジェスト., 11,16(昭 32)  
 (21) 森: ラバー, ダイジェスト., 11,49(昭 32)



### 新案の紹介



実用新案第468851号

伊藤虎男

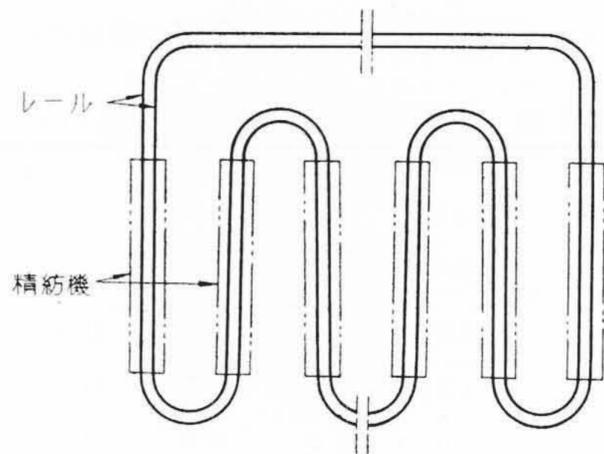
### 精紡機用自動掃除機の走行装置

前後に車輪1, 2をそなえた台車3にプロペラファン4をのせ、後車輪2を電動機により駆動してレール5の上を走りながら精紡機に風を吹付けて綿屑の掃除を行う精紡機用自動掃除機において、従来は車輪にフランジを設けて脱線を防いでいたが、レールの曲線部分を通過する際、車輪のフランジ面がレールとすれ合つて摩擦しやすく、また走行の円滑さを欠いていた。

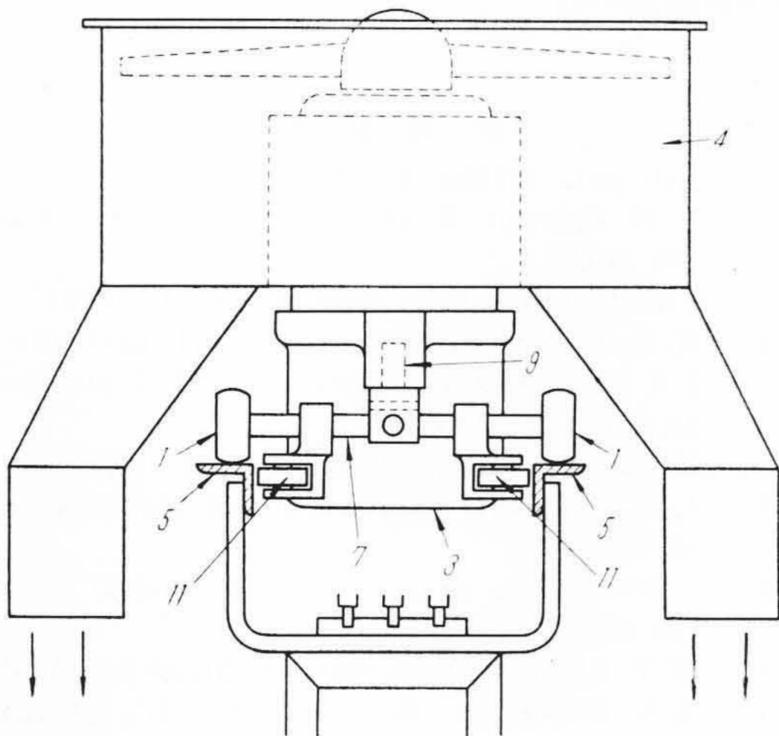
この考案は前後の車輪1, 2をいずれもつば無しのものでし、後車輪軸6を中心として前後ほぼ等距離のところの前車輪軸7と案内軸8をピン9, 10によりボギー式に取り付け、この前車輪軸7と案内軸8にレール5の内側に接する左右2個ずつの案内輪11, 12を取り付けて脱線を防ぐようにしたものである。

この構造によれば、掃除機がレールの曲線部分を通過する際、第3図のように前後車輪軸6, 7と案内軸8がいずれもレールの彎曲中心Oに対して求心方向の位置をとり、車輪1, 2および案内輪11, 12はレールに対し常に切線方向に向つて進行することになるから、車輪とレ

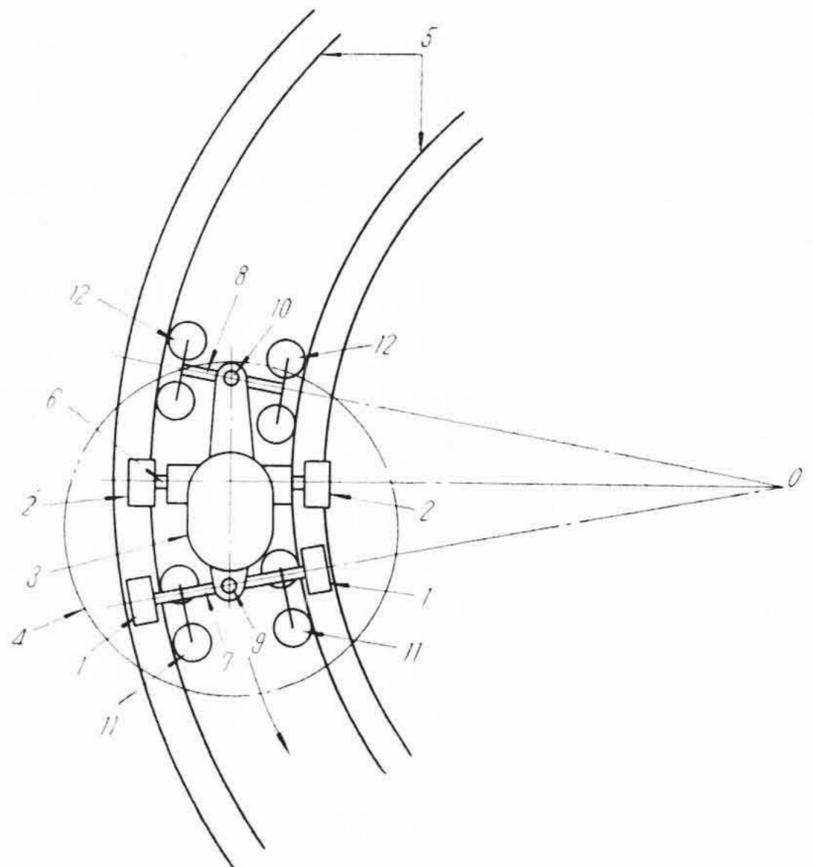
ール間の摩擦は転がり摩擦だけとなり、最小の抵抗で円滑にカーブが切れる。この結果従来のような走行の不円滑さが除かれるとともに、車輪およびレールの摩擦を著しく減少させることができた。(坂本)



第2図



第1図



第3図