

ポリプロピレンの通信ケーブルへの応用

Application of Polypropylene as Insulating and Jacketing Material for Communication Cables

川 和 田 七 郎* 中 川 真 吉*
Shichirô Kawawata Shinkichi Nakagawa

鈴 木 敏 雄* 小 川 順 宏*
Toshio Suzuki Yorihiro Ogawa

内 容 梗 概

ポリプロピレンを通信ケーブルの絶縁あるいはシースに用いるため、その欠点である耐寒性の改善、銅導体に接触しておこる激しい酸化劣化の防止、あるいは発泡法について研究し、さらに二、三の通信ケーブルおよび同軸ケーブルを試作して特性検討を行なった。

その結果実用に耐える耐寒性をもつものを得ることができ、また銅接触酸化劣化の防止方法および発泡法を確立することができた。これを絶縁に用いたケーブルは強じん度、耐摩耗性にとみ、つぶれが少なく、熱軟化温度も高く、温度定格を高くとることのできる電気特性の良好なものであることを確認できた。またシースにポリプロピレンを用いた場合も検討し、やや可とう性には乏しくなるが、いくつかの特長を見いだすことができた。このようなポリプロピレンは同軸ケーブル、通信ケーブルのほかにも多くの有望な用途が考えられることを述べた。

1. 緒 言

ポリプロピレンはほぼポリエチレンと同等の電気特性をもち、しかも表面硬度が高く、耐摩耗性、耐引かき性にすぐれ、適度の屈曲性があり、熱軟化温度が高いといった電線、特に通信ケーブルの絶縁材料として好ましい特性を具備している。このため以前から電線への応用について大きな関心がもたれてきた⁽¹⁾。しかしそれにもかかわらず今までほとんど使用されていなかった。これはポリプロピレン自体の耐寒性が不十分であるとか、銅に接触した場合の酸化劣化(以下銅害と呼ぶ)が激しく長期使用に耐えない⁽²⁾などの致命的欠陥があったためである。

しかし最近ポリプロピレンの改質に長足の進歩がみられ、実用に耐える耐寒性をもつものが作られるようになった。また銅害に対しても有効な防止法が見いだされ⁽³⁾、われわれの研究においても著しく効果のある銅害防止剤を発見している。このような研究により現在ポリプロピレンの欠陥はほとんど実用に支障ない程度に克服され、すでに電線に使用できる段階にいたったといえることができる。

ここではわれわれが行ってきたポリプロピレンに関する研究の概要を紹介するとともに通信ケーブルの絶縁あるいはシースに応用した場合の特性を考察し、また新分野の電線に対する応用の可能性を述べる。

2. ポリプロピレンの耐寒性改善

ポリプロピレンの耐寒性は分子量などによっても若干変わってくるが、C. A. Russell 氏の報告⁽⁴⁾によれば 230°C のメルトフローレートが 1 以下の分子量のかなり大きいものでも脆(ぜい)化温度はほぼ 0°C 近辺である。この程度の耐寒性では電線の絶縁材料として使用できない。したがって積極的にこの改善を行なうために種々のポリマのブレンド、共重合などの方法が検討されてきた^{(4)~(9)}。

その結果、機械的、電気的性質をさほどそこなうことがなく耐寒性に富んだものが得られるようになった。第 1 表はわれわれの検討した二、三の材料の一般特性を示したものであるが、-20°C 程度の脆化温度をもつものでもポリプロピレン本来の有用な性質を失っていない。多くの場合、電線被覆材料としては -20°C 程度の脆化温

* 日立電線株式会社日高工場

第 1 表 各種ポリプロピレンの一般特性

項 目	A ホモポリマ	B ブレンド	C コポリマ	D コポリマ	E コポリマ	F コポリマ
MFR (g/10min)	0.5	2.5	2.7	1.8	0.5	0.6
密 度 (g/cc)	0.900	0.905	0.905	0.900	0.905	0.903
脆化温度 (°C)	11	-2	-2	-21	-14	-20
軟化温度 (ビカ ット)(°C)	148	147	134	134	142	139
引 張 強 さ (kg/mm ²)	4.46	3.70	3.25	3.27	4.10	3.99
伸 び (%)	760	760	780	820	680	690
誘 電 率	2.22	2.29	2.19	2.19	2.17	2.19
誘 電 正 接 体 積 抵 抗 率 (Ω-cm)	2.9×10^{-4}	3.6×10^{-4}	4.9×10^{-4}	4.3×10^{-4}	3.7×10^{-4}	3.7×10^{-4}
	1.8×10^{17}	5.1×10^{16}	—	—	1.8×10^{17}	2.5×10^{17}

特性測定方法

(1) MFR ASTM D1238-62T による。230°C

(2) 密度、浮沈法(アルコール-水混液系)

(3) 脆化温度 ASTM D746-57T に準ずる。

(4) 軟化温度(ビカット) 1kg 負荷

(5) 引張特性 JIS K6723 ダンベル 3 号 20°C 引張速さ 50 mm/min

(6) 誘電特性 25°C 6.5 Mc Q メータ

(7) 体積抵抗率 25°C DC 500 V

度をもてば十分であり、後にも述べるようにコア絶縁のような薄い被覆を行なったときには、試料“B”程度のもので -40°C の自己径巻付で裂のでるようなことがなかった。“F”は脆化温度が低く、また強じんなものであり、特殊用途におけるシースとして使用できるものと考え検討を行なったものである。さらにこれらのものより脆化温度の低いものも検討されており、近い将来耐寒性の問題はまったく解消してしまうものと考ええる。

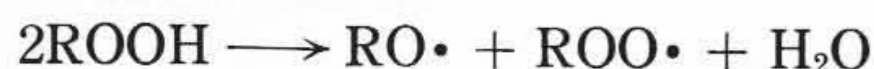
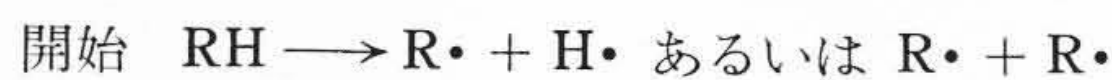
3. 銅 害 の 防 止

3.1 ポリプロピレンにおける銅害

ポリプロピレンは第 3 級水素を多量にもっているために酸化劣化しやすい。したがってこれを安定化するにはポリエチレンの場合などより多量の酸化防止剤が必要である。フェノール系安定剤とチオエーテル形の安定剤を組み合わせると相乗効果によって高度の安定性をもつものが得られる。しかし、このように安定したポリプロピレンでも、銅などの金属と接触して用いると激しい酸化が進み脆化するようになる。この劣化はポリプロピレンを直接銅導

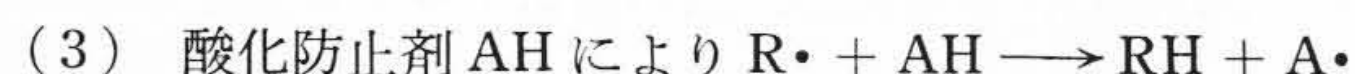
体に被覆する電線においては重大な問題であり、その応用を妨げる大きな要因となっていた。

この劣化過程を考えてみると、ポリプロピレンの酸化は他の有機物と同様に次のように進行するものとする。

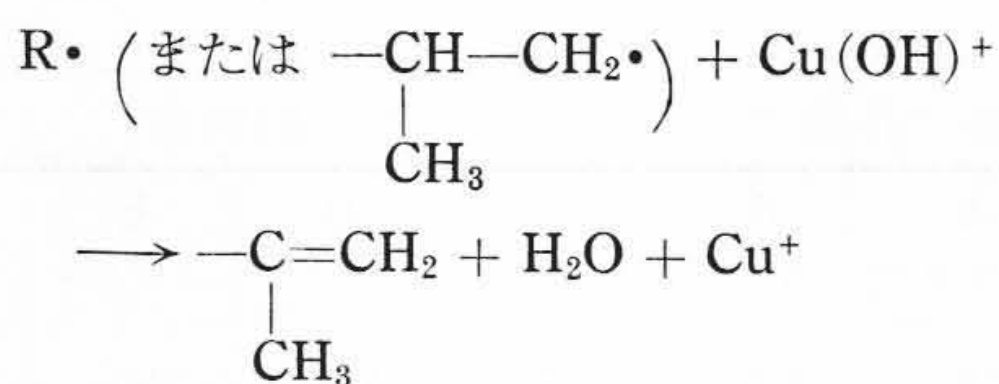
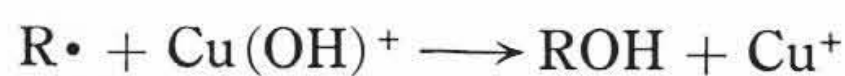
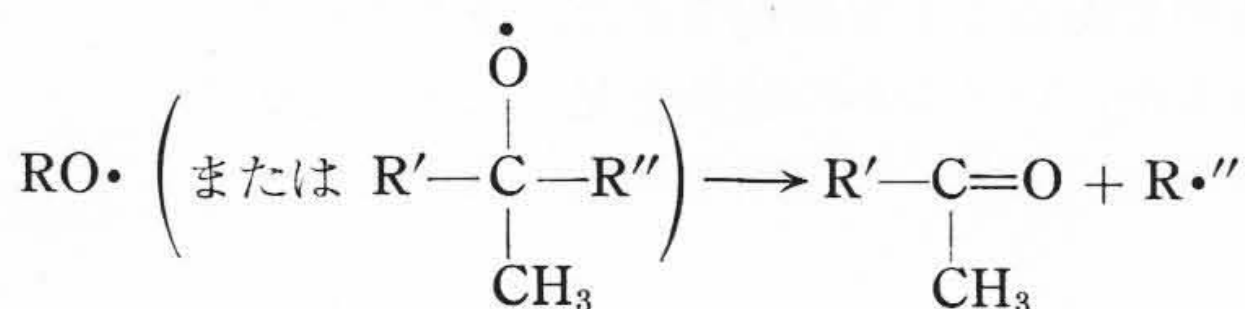


停止 (1) 不均衡化

(2) 結 合



しかし銅の存在する場合には⁽¹⁰⁾



すなわちヒドロパーオキサイドが銅イオンによって容易にラジカル化される。この反応速度は非常に大きい。一般に酸化防止剤はこの反応速度の小さいときには有効であるが、大きくなるとまったく効果がなくなってしまうわけで、銅の存在における劣化に対し酸化防止剤があまり効果のないのもこのような理由による。

3.2 銅 害 の 防 止

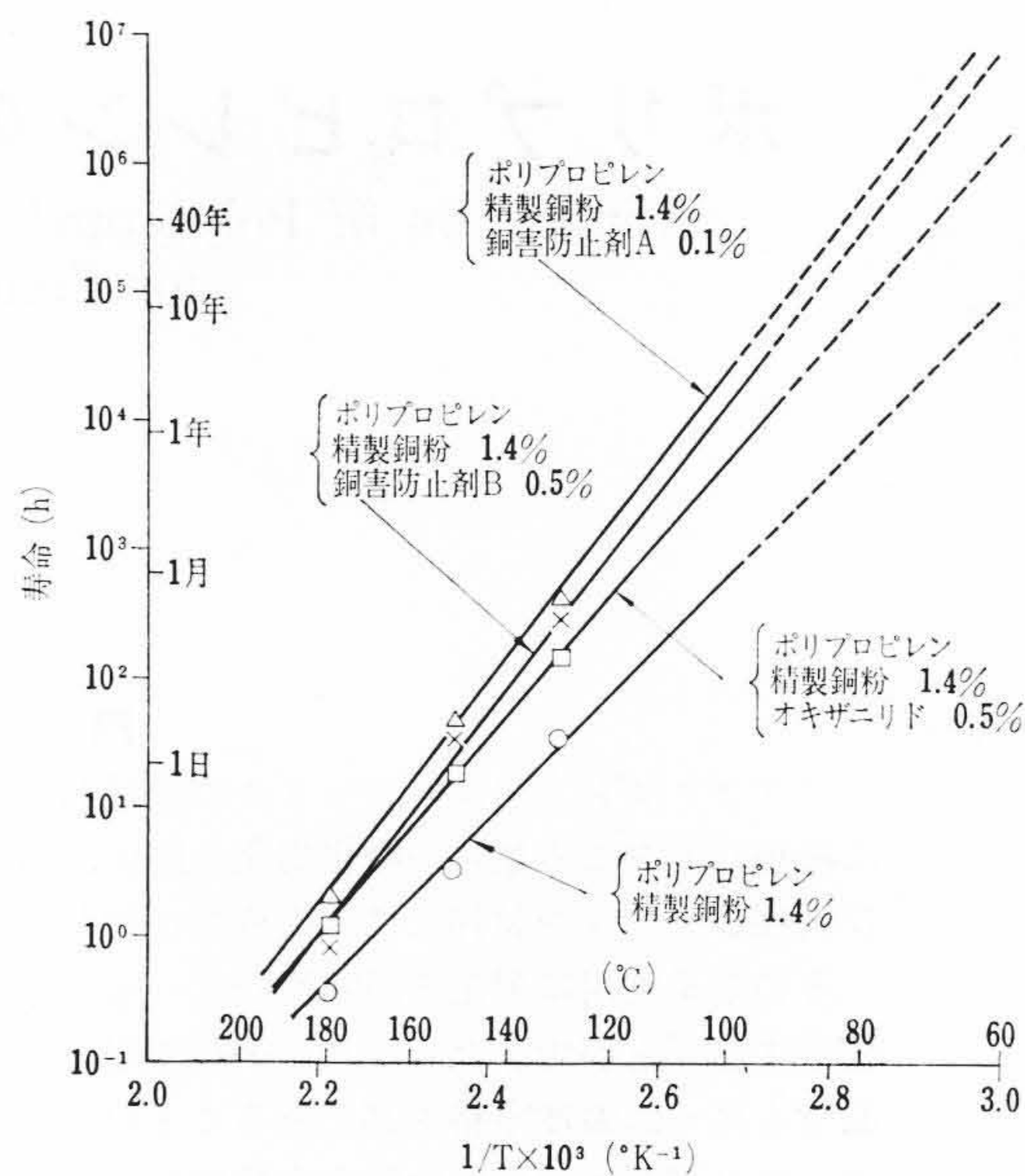
このような銅害を防止するために先駆的研究を行なったのはアメリカのベル研究所の研究グループでその内容は広範にわたり⁽¹⁰⁾、オキサマイド化合物が有効であることを見いだした⁽³⁾。しかしこれらの銅害防止剤は比較的少量に配合する必要があることと、ポリプロピレンの加工処理に250℃を越えるような温度に短時間でもおかれると効力を失うなどの欠点が認められている。このためわれわれも新しい形の銅害防止剤の探索に努めてきたが、その結果いくつかが有望なものを見いだした。

銅害は上述したように銅イオンによるものと考えられるが、これを防止するには銅イオンを安定な状態に変え固定するようなものを添加すればよいように考えられ、われわれの見いだした銅害防止剤も銅イオンと配位結合するものである。

第1図はこれらの銅害防止剤を用いた場合の寿命～温度関係を銅害防止剤を含まないときと比較して示したものである。この場合の寿命は次のようにして求めたものである。

オープン試験による寿命の評価

酸化防止剤を含むポリプロピレンに銅害防止剤を所定量加えてよく混練して分散させてから、精製した電解銅粉を1.4%加えて練る。次にこれを200℃のプレスで約2分間加圧して1mm厚さのシートを成形し100×20mmの大きさの試験片を5個とる。これを一定の温度の空気循環オープン中につるして変色、脆化の徴候をみる。5個のうち3個目の試片が劣化するまでの時間を求めて寿命とした。



第1図 銅害防止剤を添加したポリプロピレンのアレニウスプロット

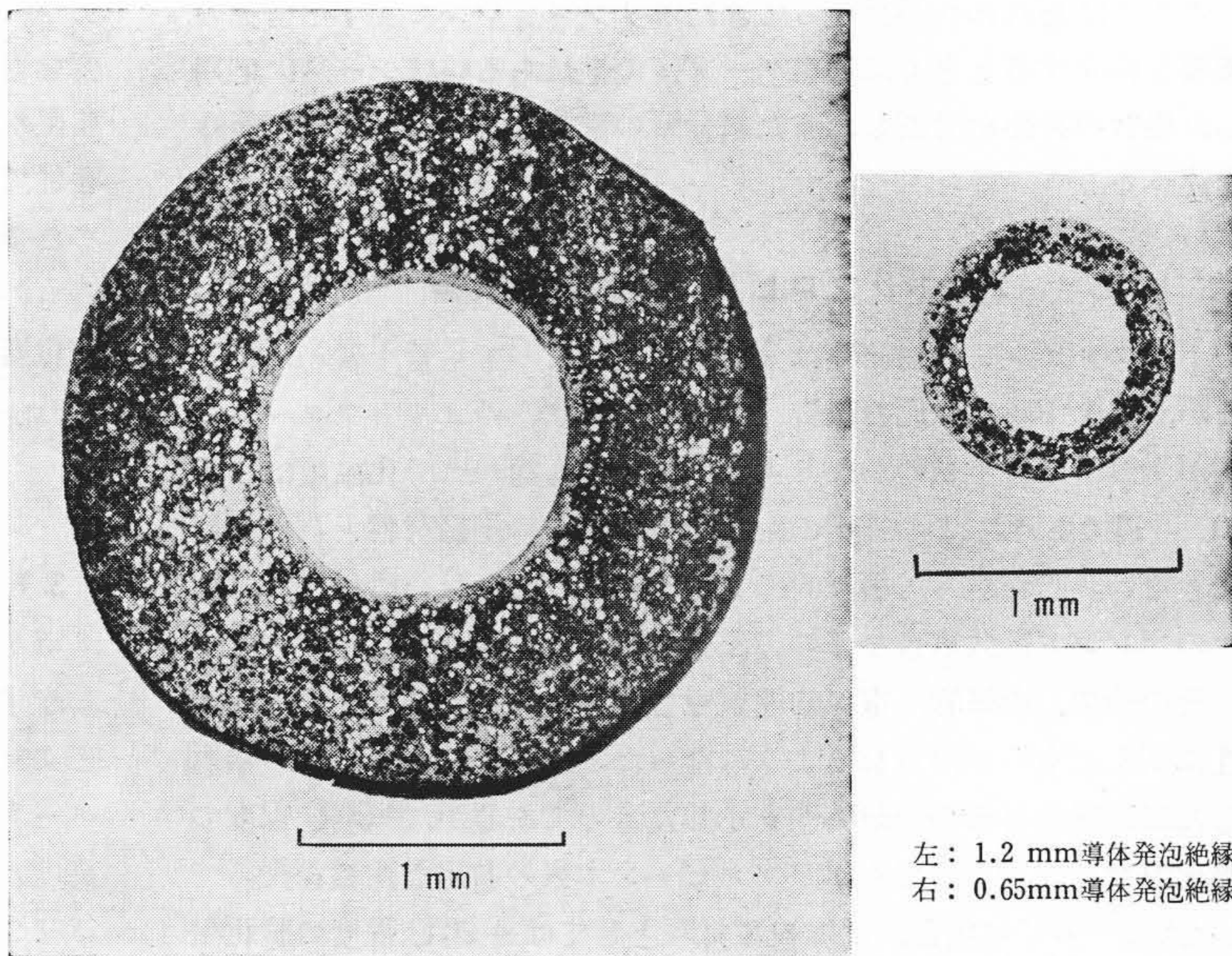
第1図に明らかに認められるように銅害はきわめて激しいもので、たとえば銅を含まない安定化されたポリプロピレンは150℃で200時間以上の寿命をもっているが、銅粉を加えた場合には同じ温度でわずかに8時間しかもたなかった。しかし銅害防止剤を加えると明瞭に劣化が防止され、寿命の延長が認められる。特に新しく開発した銅害防止剤は少量で有効な結果を示している。このような銅害防止剤を適切に使用すれば銅に直接接触していても60℃で40年間以上という十分長期使用に耐えるポリプロピレンを得ることができる。

4. ポリプロピレンの発泡

ポリプロピレンを通信ケーブルに応用する場合には実効誘電率を小さくするために発泡させる必要の多い。この問題はレジン、発泡剤、発泡法を考慮することによって解決できた。第2図は二、三の発泡ポリプロピレン絶縁の断面顕微鏡写真で、ポリエチレン発泡絶縁より微細で均一な気泡構造を示している。

5. 通信ケーブルへの応用

ポリプロピレンはその特性から各種通信ケーブルへの応用が考

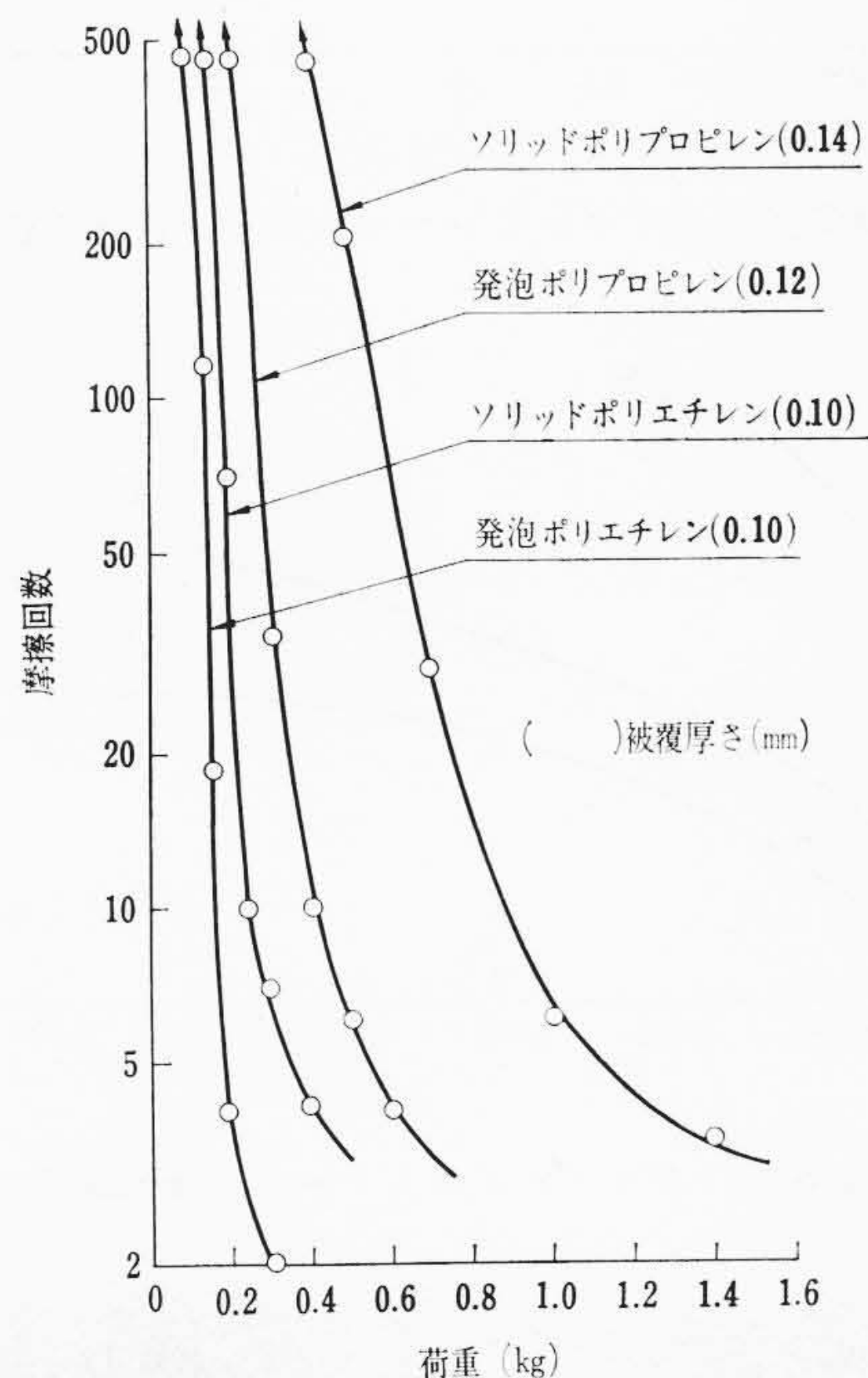


第2図 発泡ポリプロピレン絶縁の発泡状態

第2表 試作ポリプロピレン絶縁コアの一般特性

項 目	絶 縁	ポリプロピレン	ポリエチレン	発泡ポリプロピレン	発泡ポリエチレン
導 体 径 (mm)		0.50	0.50	0.65	0.65
外 径 (mm)		0.84	0.80	0.87	0.85
絶 縁 厚 (mm)		0.17	0.15	0.11	0.10
発 泡 度 (%)		—	—	24	27
等 価 誘 電 率		2.24	2.24	1.78	1.70
破 壊 電 圧 (kV)		12 以上	11	1.5	1.3
引張強さ (kg/mm ²)		5.97	1.80	2.21	0.82
伸 び (%)		780	600	470	310
耐 寒 性*		-42℃ OK -46℃ NG	OK	OK	OK

* 導体を入れたまま脆化試験



第3図 耐摩耗性の比較

られる。われわれはまず通信ケーブルのコア絶縁に用いた場合について検討し、次いでシースまでポリプロピレンを採用したものを含む二、三のケーブルを試作して諸性能をしらべた。

5.1 コア絶縁としての特性

通信ケーブルコア絶縁にはソリッドのままか、あるいは発泡して使用されるのでここでも両者について検討した。なおここではポリプロピレンの強度の高いことに注目し特に薄い絶縁を行なった。試作したコアの構造および一般特性をポリエチレンと比較して第2表に示す。引張強さにおいてはソリッドおよび発泡の場合ともポリプロピレンがポリエチレンより圧倒的に高い値を示し、発泡した場合でもソリッドポリエチレンよりすぐれている。

第3図はNEMA式(下動式)エナメル銅線摩耗試験機を用いて荷重を変えて摩耗回数を求めたものであるが、引張強さの値に対応した変化を示し、ポリプロピレンが格段によい。このようにポリプロピレンの機械的強さは著しく高い。

また耐寒性は特に絶縁厚さの薄い場合ほとんど問題になることがなく、導体を入れたまま行なった脆化試験で-42℃まで異常なかった。自己径巻付においてもソリッドおよび発泡とも-40℃に耐えているので実用上支障ない耐寒性をもつと判断できる。

ポリプロピレンは溶融温度が高く、耐熱軟化性にすぐれていることも特長の一つである。平行板の間に2本の線を交差させておき、上板に600gの荷重をかけ、ほぼ4℃/minの速さで温度を上げたとき、2本の線間で短絡がおこった温度を求めてみると、発泡ポリエチレン:約80℃、ポリエチレン:約105℃に対し発泡ポリプロピ

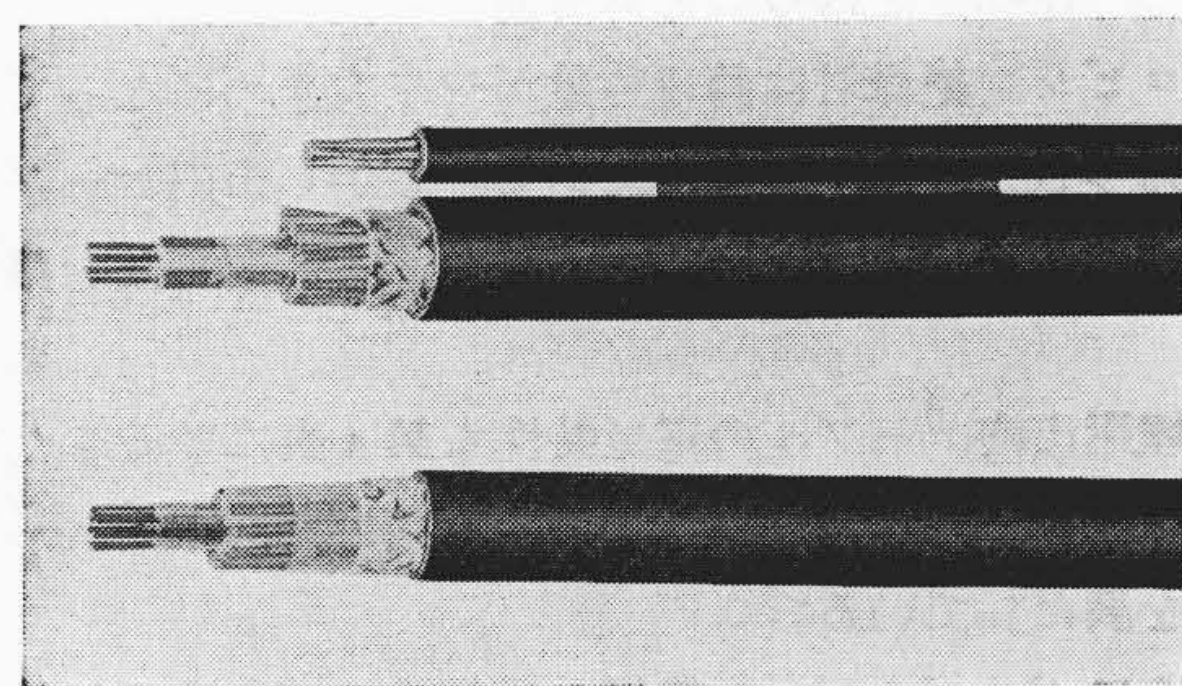
第3表 試作ケーブルの構造

項 目	ケーブル	搬送市内複合スリットヒョウタン形ケーブル	直埋用市内ケーブル
種 別		搬 送 カ ッ ド	市 内 対
導 体 外 径 (mm)		軟 銅 線 1.2	軟 銅 線 0.9
絶 縁 厚 (mm)		発泡ポリプロピレン 0.8	ポリプロピレン 0.25
2.4 個 より		4 個 より	2 個 より
構 成		1 カ ッ ド × 13 対	5 × 11 対
上巻テープ		ビ ニ ル 引 布 テ ー プ	ポリエチレンテープ ビニル引布テープ
シ ー ス 厚 (mm)		スリットヒョウタン形ビニルシース 1.5	ポリプロピレン 1.3
つ り 線		7/1.4 亜鉛メッキ鋼より線 ビニルシース 1.0 mm 厚さ	—
ケーブル外径 (mm)		15	15

第4表 試作ケーブルの電気特性

項 目	ケーブル	搬送市内複合スリットヒョウタン形ケーブル	直埋用市内ケーブル
種 別		1.2 mm カ ッ ド	0.9 mm 対
導 体 抵 抗 (Ω/km, 20℃)	最 大 最 平 均	14.72 14.60	27.20 27.11
絶 縁 抵 抗 (kMΩ/km)	最 小	100	100
静 電 容 量 (mF/km)	最 大 最 小 最 平 均	31.2 30.8 31.0	59.0 56.1 57.5
静 電 結 合 (PF/500m)	Q 内 S-S' 最大	8	—
	Q 内 P-S 最大 平均	7 6	— —
	対間 S-S' 最大 平均	15 6	33 9

注: Q 内 S-S': カッド内実回線相互間
Q 内 P-S: カッド内重畳回線, 実回線間
対間 S-S': 対間実回線相互間



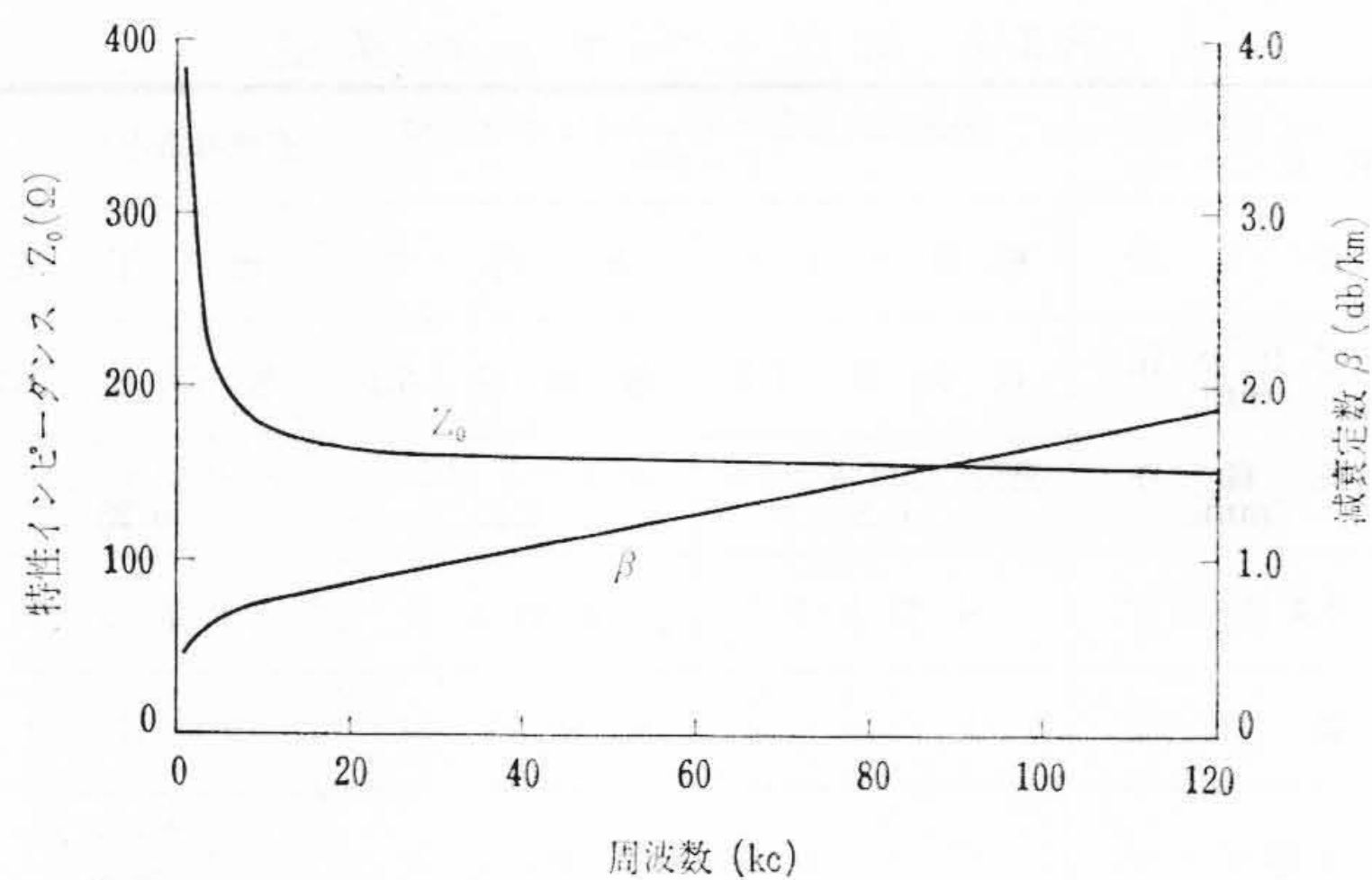
第4図 ポリプロピレン通信ケーブル

レン:約170℃, ポリプロピレン:約185℃で、ポリプロピレンの融点から期待されるよりも高い値が得られた。

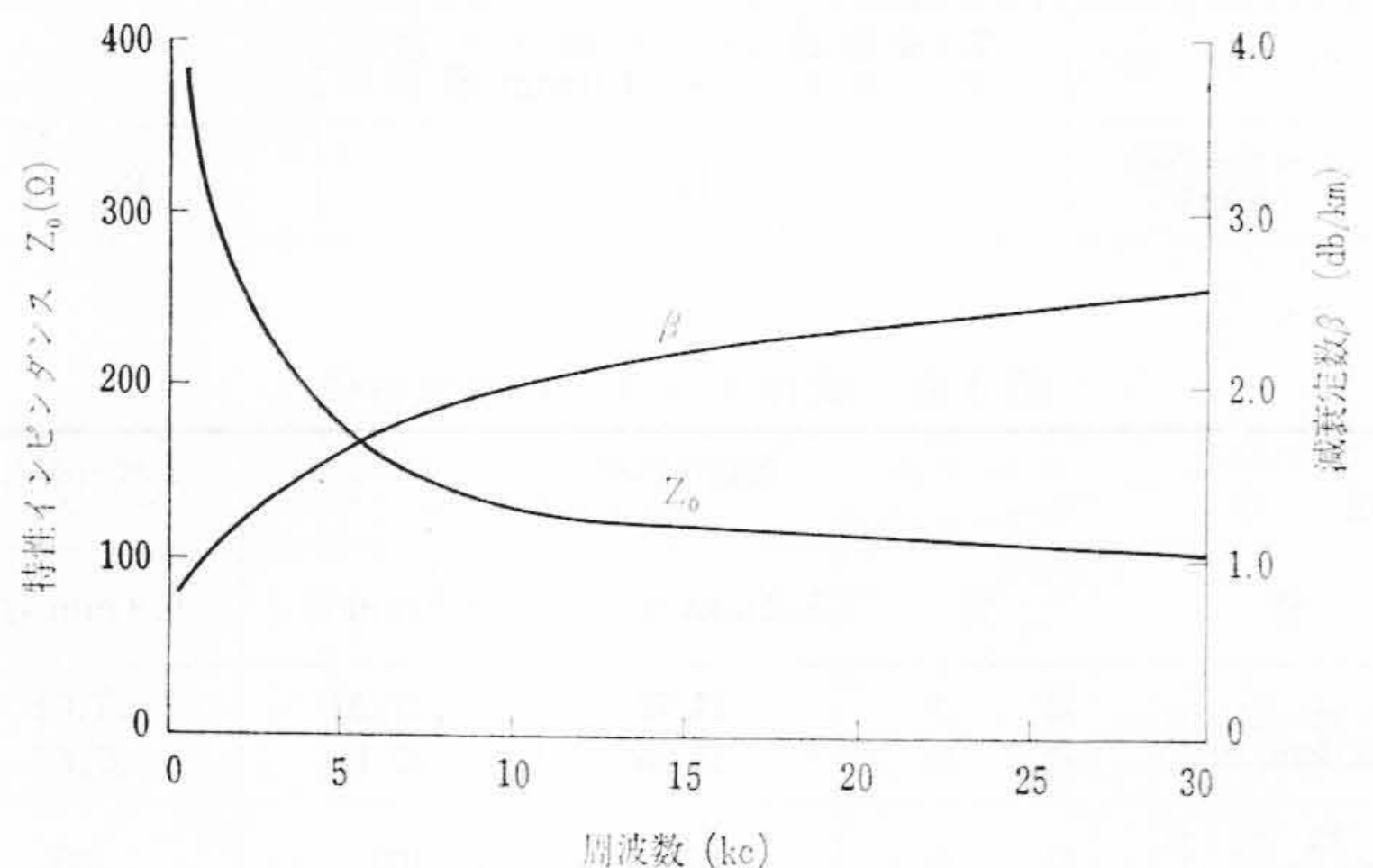
このように通信ケーブルコアとしてソリッドあるいは発泡ポリプロピレンを用いると強度の高い熱的にすぐれ電気特性のよい絶縁の得られることを確認できた。

5.2 試作ケーブルの電気特性

次にポリプロピレン絶縁の搬送, 市内複合ケーブルとシースにもポリプロピレンを用いた直埋用市内ケーブルの2種を試作し, 特性検討を行なった。試作ケーブルの構造および外観を第3表および第4図に示す。またこのケーブルの電気特性を第4表に示した。



第5図 1.2mm 搬送カッドの伝送特性



第6図 0.9mm 市内対の伝送特性

搬送市内複合ケーブルにおける発泡ポリプロピレン絶縁カッドは発泡ポリプロピレンの誘電率が1.8になるよう発泡したものであるが、搬送ケーブルとしての特性を十分満足している。第5図は搬送カッドの1~120 kcの周波数領域における伝送特性であり、予期した通りの良好な結果を示し、高周波にまで使用できることが確認できた。この発泡ポリプロピレンの発泡状態は第2図左のもので、発泡度は約32%である。この程度の発泡度のものは前項にも述べたようにポリエチレン(ソリッド)よりも強度が高く、さらに発泡度を高くして外径縮小を図ることも可能と考える。

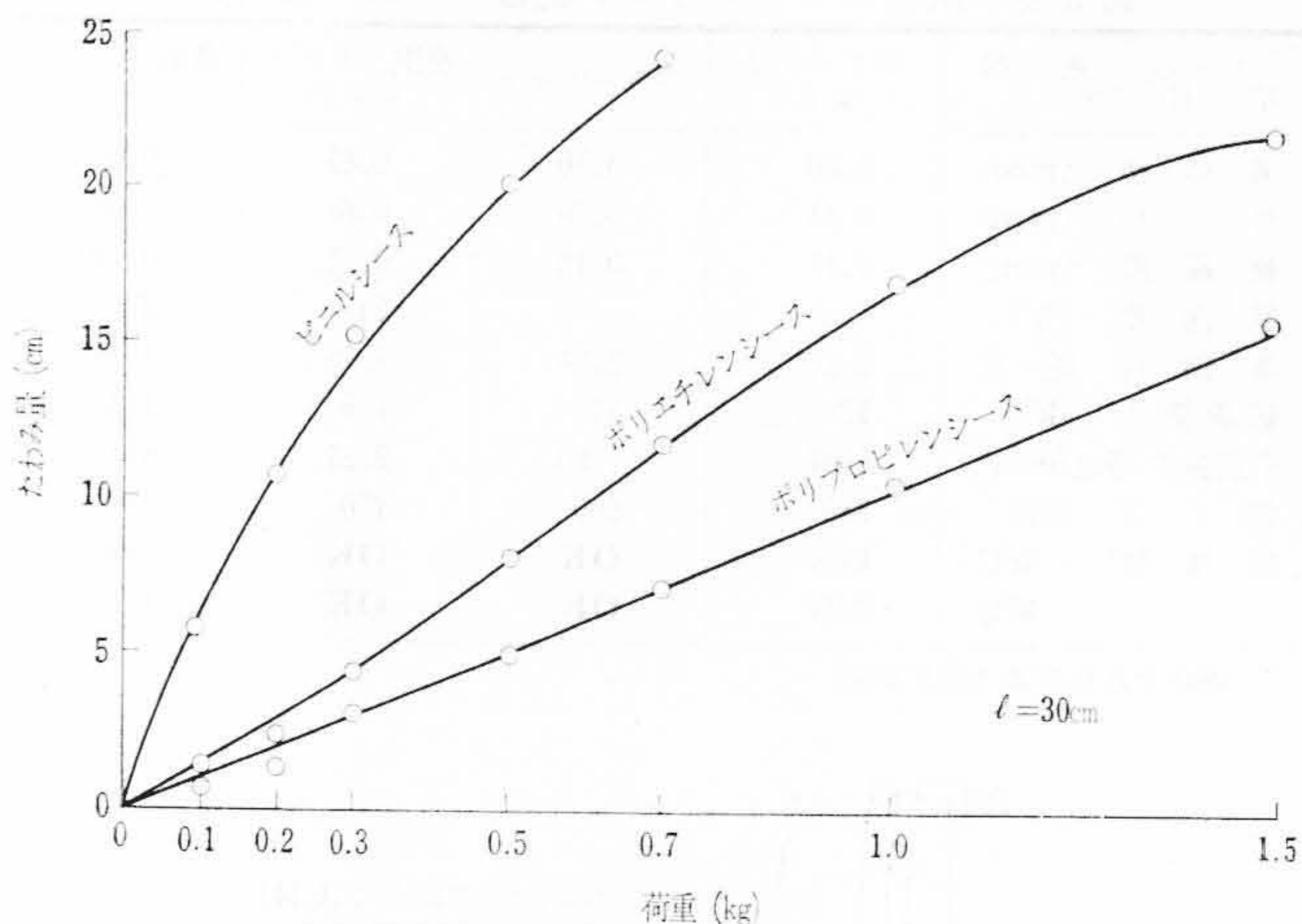
ポリプロピレン絶縁対は静電容量がやや大きめになっているが、これは絶縁厚さを薄くしたためである。しかし市内ケーブルとして問題ない値である。なお1~30 kcにおける伝送特性を第6図に示す。

また直埋用市内ケーブルの電気特性も第4表に並記したが、前述複合ケーブルの市内絶縁対の結果とほぼ同じで、市内ケーブルとしての特性を満たしている。

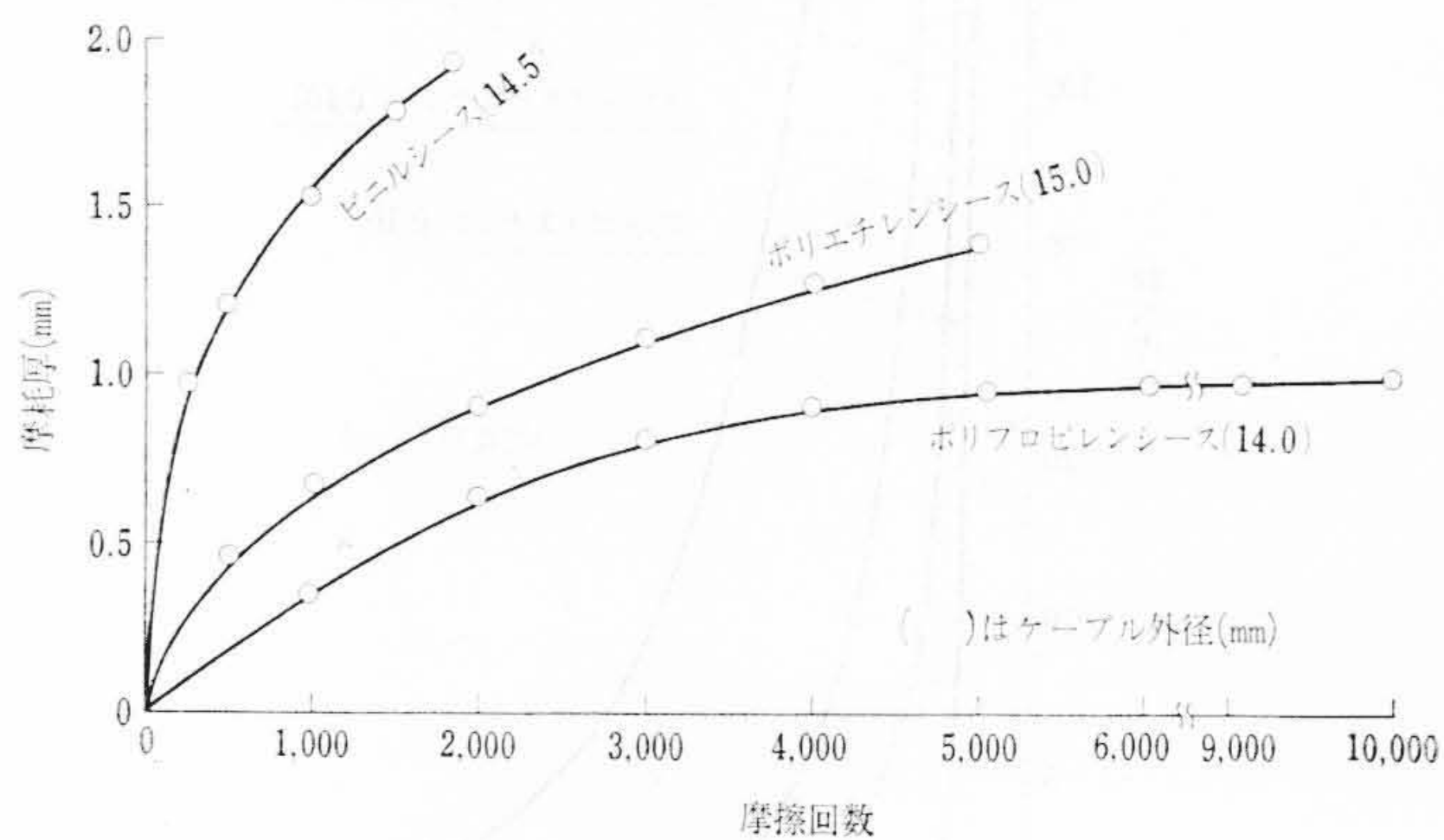
このようにポリプロピレン絶縁の通信ケーブルは電気特性においてポリエチレンの場合と同様な特性を示し、しかも被覆が強じんであるために絶縁厚さを薄くとり、外径減少を図ることができるとか、製造あるいは布設の際の外傷発生をおさえ、信頼性を著しく増すなどの効果がある。

5.3 ケーブルシースとしての応用

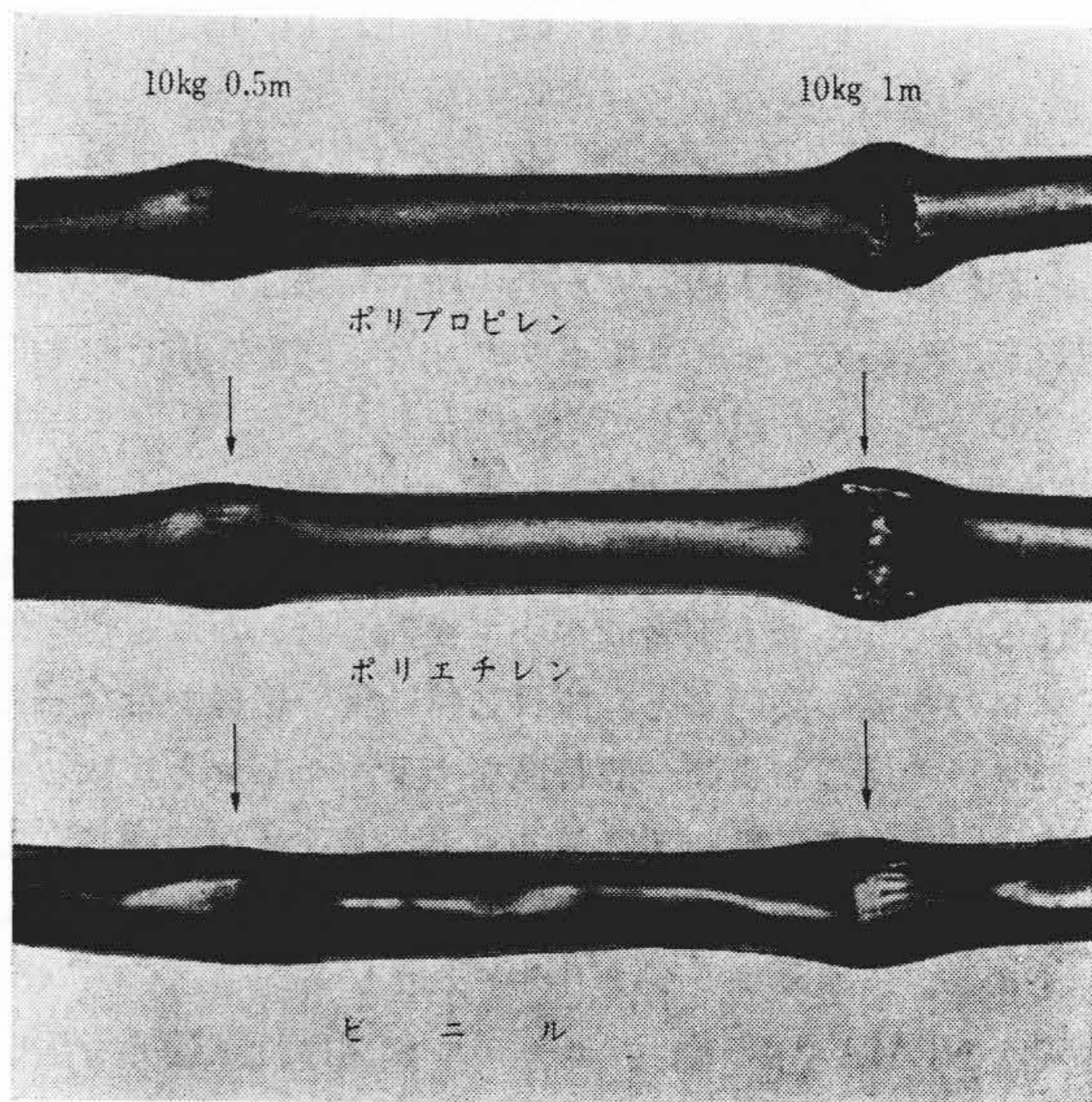
前述直埋用市内ケーブルのシースには耐寒性に富む第1表“F”のポリプロピレンをベースとした耐候性組成のものを用いた。ポリプロピレンは剛性が高く、これをシースに用いるとはなはだしく可とう性を失うのではないかと考えたが、同一コア構成のケーブル試料を用い、一端を水平に固定し、30 cm離れた他方の自由端に荷重をかけ“たわみ”量を測定してみると、第7図のようにビニルシースに比べるとかなり劣るが、ポリエチレンシースよりやや可とう性に乏しい程度であった。



第7図 ポリプロピレンケーブルの可とう性



第8図 ポリプロピレンシースの耐摩耗性



第9図 ポリプロピレンシースの耐衝撃性比較

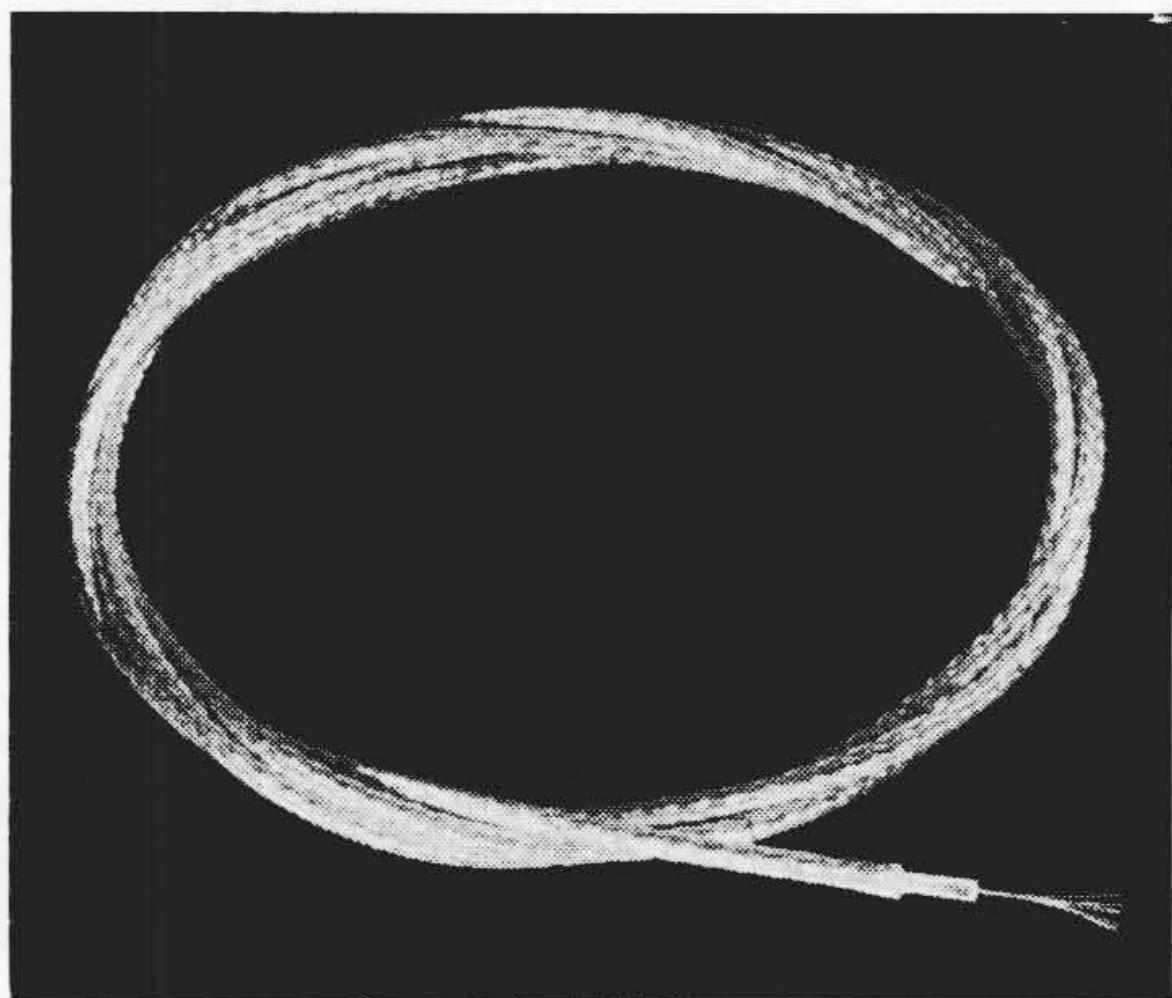
第8図はJIS C-3004-1962の摩耗円板による摩耗試験の結果を示したもので、ポリプロピレンシースの耐摩耗性が格段にすぐれていることがわかる。また同規格の耐衝撃試験法にしたがって衝撃オモリ(衝撃部の角度90度、せん頭部の半径10 mmR、荷重10 kg)を50および100 cmの高さから試料に落下させたとき第9図の変形がみられ、ポリプロピレンシースはかたい材料であるにもかかわらず、ポリエチレンやビニルとほぼ同じか、それ以上の抵抗性を示している。また耐衝撃試験を行なったケーブルの内部心線について絶縁体の損傷を確かめるため、D.C. 500 Vで混線試験を行なったところ、ポリプロピレンケーブルには異常が認められなかったが、ポリエチレン

第5表 試作ミニチュア同軸ケーブルの構造

項 目	構 造
内 部 導 体	7/0.102 銀メッキ銅被銅線
絶 縁 厚 さ (mm)	発泡ポリプロピレン 0.56
外 部 導 体	0.1mm 銀メッキ軟銅線編組
被 覆 厚 さ (mm)	ナイロンシース 0.1
ケーブル外径 (mm)	2.2

第6表 試作ミニチュア同軸ケーブルの電気特性

項 目	特 性 値
絶 縁 抵 抗 (kMΩ/km)	100
絶 縁 耐 力 (AC 1,000 V 1 min.)	合 格
静 電 容 量 (pF/m)	58.4
特 性 イ ン ピ ー ダ ン ス (Ω)	76 (4 Mc)
減 衰 量 (db/100 ft)	18 (400 Mc)

第10図 発泡ポリプロピレン絶縁
ミニチュア同軸ケーブル

ケーブルには混線が認められ、この点からもポリプロピレンケーブルは最近需要の増大している直埋用の有線放送用ケーブルなどに最適であると考えられる。

さらにポリプロピレンシースはまったく応力き裂の心配がない材料であり、耐水、耐薬品性などの点もすぐれており、耐熱性のよいことと相まって特殊用途のシース材料としても有用なものと考ええる。

5.5 同軸ケーブル絶縁への応用

発泡ポリプロピレンは表面硬度が高く、各部導体編組のめり込みが少なく、またつぶれによる電気特性変動が小さいなどの理由から、最も有望な応用の一つと考えられるので、第5表の構造のミニチュア同軸ケーブルを試作して検討した。このケーブルには誘電率1.65の発泡ポリプロピレンを絶縁に用いたが、ソリッドポリエチレンを用いたときに比べ外径を3.5mmから2.2mmに減少できた。この同軸ケーブルの外観を第10図に、電気特性を第6表に示したが、期待した性能を示している。

発泡ポリプロピレン絶縁はすでに述べたように熱軟化温度が高いので、高温まで使用できるとか、端子はんだづけがやりやすい特長があり、配線取付時のクランプによる絶縁体つぶれが少ないなどの利点が認められる。またポリプロピレンはポリエチレンよりかなり熱膨張係数が小さいから温度変化による電気特性変化も少ない。したがってこのような同軸ケーブルは最近のコンピュータなどの電子機器の軽量小形化に大いに貢献できるものと考ええる。

6. ポリプロピレンケーブルの特長と応用分野

ポリプロピレンを絶縁あるいはシースに用いると

- (1) 強じんして表面硬度が高く、耐摩耗性にとみ、つぶれが少ない。
- (2) また熱軟化温度が高く、温度定格を高くとれる。
- (3) 実用に支障ない耐寒性をもっている。
- (4) 電気特性はポリエチレンと同等で良好である。
- (5) 微細均一に発泡させることが容易である。
- (6) 耐応力き裂の心配がなく、耐水、耐薬品性である。

などの多くの特長が認められ、各種通信ケーブル、同軸ケーブルなどに広範に使用できるものであることを確かめた。

通信ケーブルに対する発泡ポリプロピレンの応用において、アメリカウエスタン・エレクトリック社では耐電圧が発泡によって低下するのでサージに対する安全性を確保するためには保護装置設置費がかさむためその使用を断念したが、必要以上の配慮を行なっているという考え⁽¹¹⁾もあり、またわが国においてはすでに発泡ポリエチレンを実用している経験から、発泡ポリプロピレン通信ケーブルも十分実用できるものであると判断する。

同軸ケーブルに対しては発泡ポリプロピレンが特に適するものであり、今後最も期待される応用の一つであろうと考える。

このような通信ケーブル以外にも制御ケーブル、信号ケーブルその他の用途にも適当と考えられ、これは今後の検討にまつことにする。

7. 結 言

ポリプロピレンを電線、特に通信ケーブル被覆として用いる場合の重要な問題である耐寒性の改善、銅害の防止法、あるいは発泡法などを検討し、実用に耐える耐寒性をもち、銅害を防いで長期使用できるものを得た。また発泡法も確立することができた。さらにこのようなポリプロピレンを用いた数種の通信ケーブルおよび同軸ケーブルを試作し、機械的、熱的性質がすぐれ、電気特性のよいものであることを確認し、またシースに用いた場合も多くの特長を見いだすことができた。これらの利用、発展は今後の問題であるが、広範に用いられるものと考えられる。

終わりに本研究を行なうにあたり、日立電線株式会社日高工場杉山、山本両部長、吉川主任研究員、星、堀口両課長、笠井、益子氏その他関係者のご指導ご協力をいただいた。深くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 川和田、梅井、吉川：日立評論別冊 31, 19 (昭 34)
- (2) C. A. Rusell: Chem. Eng. Prog., 59, 4 (1963)
- (3) 特許公告 昭 37-14484
- (4) N. O. Aamodt, R. W. Guterkunst: Paper on 12th Annual Wire and Cable Symp. Asbury Park, N. J. (1963)
- (5) H. J. Hagemeyer, M. B. Edwards: J. Polym. Sci., Part C. Polymer Symposia No. 4, 731 (1964)
- (6) 特許公告 昭 36-10341
- (7) 特許公告 昭 37-6975
- (8) 特許公告 昭 38-18971
- (9) 特許公告 昭 39-334
- (10) R. H. Hansen, et al: Trans. Inst. Rub. Ind., 39 6 (1963)
- (11) Chem. Eng. News, 42 (24) 25 (1964)