

# バルーン形通信ケーブルの諸特性

## Characteristics of Balloon Type Communication Cable

岡本 邦彦\*      鈴木 敏雄\*      八木 隆\*  
 Kunihiko Okamoto      Toshio Suzuki      Takashi Yagi

### 要 旨

日立電線株式会社におけるバルーン形ケーブルの開発の経過を述べ、主として C. C. I. T. T. (国際電信電話諮問委員会: Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique) 規格のバルーン形 4.4 mm 細心同軸ケーブルについて、その電気的および機械的特性の検討結果を説明する。すなわち伝播 2 次定数およびその温度係数について、計算値と実測値を比較し、また漏話減衰量および均等性についてデータをあげる。次に機械的巻付試験、水密性試験、接続法などについて検討結果を述べ、その特長を明らかにする。最後に、このバルーン形絶縁を応用した他の製品の一例として、2.6/10 mm バルーン形同軸ケーブルについて説明する。

### 1. 緒 言

小形化されたトランジスタ中継器が開発され、広帯域伝送方式が発展するに伴い、細径でしかも使いやすい同軸ケーブルに対する需要が増大する傾向にある。日立電線株式会社においては、早くからこの方面の研究に着手し、発泡ポリエチレン絶縁の各種細心同軸ケーブルについて、すでにその検討結果を本誌その他に報告している<sup>(1)~(3)</sup>。その後引き続きこの方面の調査、研究を進めた結果<sup>(4)</sup>、1962 年春のジュネーブにおける C. C. I. T. T.<sup>(5)</sup> で諮問された、1.2/4.4 mm 寸法の細心同軸ケーブルが世界各国で受け入れられる情勢となってきた<sup>(6)</sup>ので、この技術を開発したフランス SAT 社との間に技術交換協定を結び、バルーン形ケーブルをわが国において製造する態勢を整えた。

本報告は、この技術交換により試作検討された各種バルーン形ケーブルのうち、特に 4.4 mm 細心同軸を中心としてその検討結果を述べたものである。バルーン形ケーブルは、電気的および機械的特性が良好なものとして、4.4 mm 細心同軸ケーブルの国際規格化の原形となったもので、また、その他の各種の通信ケーブルに適用できる経済的な絶縁方式として応用用途が広いものである。今後わが国の状況に合わせ、特長を生かしたすぐれた製品を開発していきたいと考えている。

### 2. 1.2/4.4 mm バルーン形細心同軸ケーブル

#### 2.1 同軸ケーブルの変遷<sup>(7)</sup>

同軸ケーブルの絶縁方式としては、古くから多くのものが考えられており、すでに使用されなくなったものも多いが、著名なものをあげると表 1 のようになる。

この表にみられるように、同軸ケーブルの技術は、中継器の安定化、小形化に伴って、中継距離の短縮化と同軸ケーブルの細径化が行なわれ、これに適した絶縁構造が開発されてきたものである。現段階では、4.4 mm 細心同軸が最も経済的なものとして推奨されることになった。

1.2/4.4 mm 形としては、バルーン形絶縁以外にその後各種のものが考案されているが<sup>(8)</sup>、C. C. I. T. T. 規格のわくに入る 4.4 mm 細心同軸ケーブルとして、互に互換性を持つものと考えてよい。

#### 2.2 バルーン形 4.4 mm 細心同軸ケーブルの構造と性能

バルーン形同軸ケーブルは、中心導体上にゆるくポリエチレンチューブを押し出し、これを規則的な間隔を置いて圧縮することにより中心導体を絶縁体の中央に保持している。

この絶縁方式は、小さなふくらんだ風船が互につながったもの

\* 日立電線株式会社日高工場

表 1 同軸ケーブル絶縁方式

絶縁形式	寸法	中継距離	発明者	布設区間	年代
スチロフレックス絶縁	5/18 mm	20~10 km	Felten	ベルリン—ハンブルグ	1938
ステアタイト円板絶縁	同上類似		藤倉電線	東京—島田	1941
吊糸形絶縁	同上類似				
PE 円板挿入形絶縁	2.6/9.5 mm	9~4.5 km	STC	ロンドン—シエフィールド	1950
PE 円板挿入形絶縁	2.6/9.5 mm		Western		
モールドディスク形絶縁	2.6/9.5 mm		Lyon		
発泡ポリエチレン絶縁	1.2/5.6 mm	6~3 km		水戸—土浦	1960
バルーン形絶縁	1.2/4.4 mm	6~2 km	SAT	マルセイユ—ツェロン	1960
ディスクチューブ絶縁	1.2/4.4 mm				
バンブー形絶縁	1.2/4.4 mm		STC		
テープ成形形絶縁	1.2/4.4 mm		電電公社		

と同じことから、バルーン(英語ではバルーン)形絶縁と称している。

このバルーン形細心同軸ケーブルは、C. C. I. T. T. で決定された 1.2/4.4 mm 形細心同軸ケーブルの規格に適合するもので、表 2 および表 3 に示すような構造と特性を有している。

1.2/4.4 mm バルーン形絶縁細心同軸ケーブルは、従来の 1.2/5.6 mm 発泡ポリエチレン絶縁細心同軸ケーブルに比較して、外径が 2 割程度細くなっており、また、つぎのような特長がある。

- (1) 誘電率が小さく、同一外径で減衰量が少なくなる。
- (2) ケーブル特性の長さ方向の均一性、特にインピーダンスの均等性がきわめて良い。
- (3) 鉄テープ 2 枚を反対方向に横巻きした構造で漏話特性が安定かつ良好である。
- (4) 従来の PE 円板、PE コルデルなどの空げき形絶縁に対し、水密性がすぐれている。
- (5) アルペス、あるいはスタルペスシープを用いることにより、ケーブルは軽量、柔軟で布設時の取扱いが容易である。
- (6) 製造速度が速く、使用材料が少ないのでケーブルが低廉である。

#### 2.3 4.4 mm 細心同軸ケーブルの電気特性

##### 2.3.1 伝播 2 次定数

同軸ケーブルの 1 次、2 次定数の理論値を電子計算機によって精密計算を行なった。すなわち 1 次定数は、60 kc 以上において次式により正確に求められる。

$$R = \sqrt{\frac{f\mu_0}{\pi g_0}} \left( \frac{1}{d} \sqrt{\frac{1}{g_1}} + \frac{H_R}{D} \sqrt{\frac{1}{g_2}} \right) \times 10^3 + \frac{10^3}{\pi g_0} \left( \frac{1}{d^2 g_1} - \frac{1}{D^2 g_2} \right) \quad (\Omega/\text{km}) \dots\dots\dots (1)$$

$$L = 0.2 \times 10^{-3} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\frac{f\mu_0}{\pi g_0}} \left( \frac{1}{d} \sqrt{\frac{1}{g_1}} + \frac{H_L}{D} \right)$$

表2 バロン形4.4mm細心同軸の構造

項目 ケーブル	中心導体外径 (mm)	絶縁体構造	外部導体 mm			遮へい体構造	抑え巻構造	外径
			内径	厚さ	構造			
バロン形 4.4mm 細心同軸	1.18 軟銅線	バロン形 PEチューブ	4.44 mm	0.18 または (0.15)	軟銅テープ1枚縦 ぞえ突合せ	厚さ0.1mm錫メッキ 軟鉄テープ2枚反対方向巻 内層:間隙巻 外層:重ね巻	絶縁紙2枚 または ビニルテープ1枚 重ね巻	約 5.7 mm

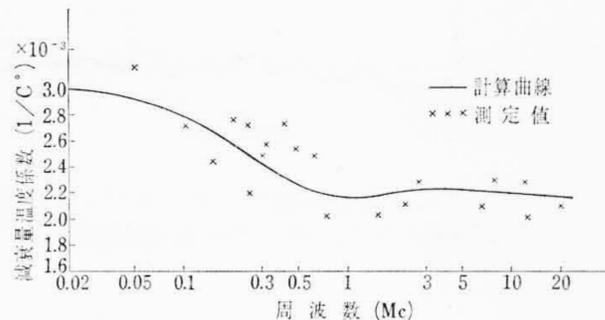


図3 1.2/4.4細心同軸ケーブルの減衰量温度係数

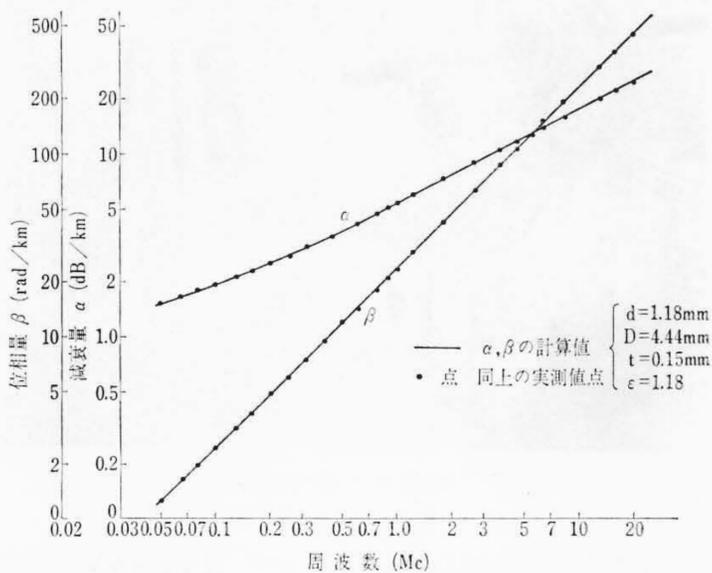


図1 1.2/4.4細心同軸ケーブルの減衰量および位相量周波数特性

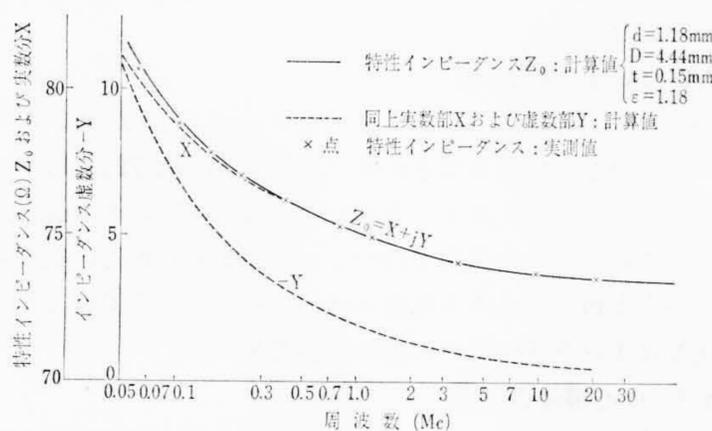


図2 1.2/4.4細心同軸ケーブルの特性インピーダンス周波数特性

$$\sqrt{\frac{1}{g_2}} \times 10^3 \text{ (H/km)} \dots\dots\dots (2)$$

$$C = \frac{\epsilon \times 10^{-6}}{18 \ln \frac{D}{d}} \text{ (Farad/km)} \dots\dots\dots (3)$$

$$G = 2\pi f c \cdot \tan \delta \text{ (U/km)} \dots\dots\dots (4)$$

また、2次定数は、この1次定数を次式に入れて計算できる。

$$Z_0 = x + jy = \sqrt{R + j\omega L} / \sqrt{G + j\omega C} \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{R + j\omega L} \cdot \sqrt{G + j\omega C}$$

(Nep/km および rad/km)

ここに

$$f: \text{周波数 (c/s)} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$$

$$g_0: 20^\circ\text{Cにおける銅の標準導電率} = 58 \times 10^6 \text{ (U/m)}$$

$g_1$  および  $g_2$ : 内部および外部導体比導電率

$d$ : 中心導体外径 (m)

$D$ : 外部導体内径 (m)

$\epsilon$ : 絶縁体実効誘電率

$t$ : 外部導体の厚さ (m)

$\tan \delta$ : 絶縁体誘電正接

$$H_R = \frac{\sinh u + \sin u}{\cosh u - \cos u} \quad H_L = \frac{\sinh u - \sin u}{\cosh u - \cos u}$$

$$u = t \sqrt{2\omega\mu_0 g} \quad (g=g_0 \text{ のとき } u = 30.3 t \sqrt{f})$$

ここで

$$d = 1.18 \times 10^{-3} \text{ m}, \quad D = 4.44 \times 10^{-3} \text{ m}, \quad t = 0.15 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\epsilon = 1.18, \quad g_1 = 1.007, \quad g_2 = 1.000$$

として、電子計算機により厳密計算した  $Z_0, \alpha, \beta$  の理論曲線を、図1および図2に示した。ケーブルの実測値と比較すると、両者がよく一致していることがわかる。

なお、通常用いられる次の簡略式で計算した場合には特に低周波部で誤差を生ずる。

$$Z_0 = \frac{138.2}{\sqrt{\epsilon}} \log_{10} \frac{D}{d} + \frac{1.98}{\sqrt{f} \sqrt{\epsilon}} \left( \frac{1}{d \sqrt{g_1}} + \frac{1}{D \sqrt{g_2}} \right) (1-j) \\ = 73.20 + \frac{1.96 \times 10^3}{\sqrt{f}} (1-j) \text{ (}\Omega\text{)} \dots\dots\dots (5)$$

$$\alpha = \frac{2.612 \sqrt{\epsilon} \sqrt{f}}{\log_{10} \frac{D}{d}} \left( \frac{1}{d \sqrt{g_1}} + \frac{1}{D \sqrt{g_2}} \right) \times 10^{-6} \\ = 5.29 \sqrt{f} \times 10^{-3} \text{ (dB/km)} \dots\dots\dots (6)$$

$$\beta = 20.94 f \sqrt{\epsilon} \times 10^{-6} + \frac{0.31 \sqrt{\epsilon} \sqrt{f}}{\log_{10} \frac{D}{d}} \left( \frac{1}{d \sqrt{g_1}} + \frac{1}{D \sqrt{g_2}} \right) \times 10^{-6} \\ = 2.275 f \times 10^{-5} + 0.608 \sqrt{f} \times 10^{-3} \left( \frac{\text{rad}}{\text{km}} \right) \dots\dots\dots (7)$$

2.3.2 減衰量の温度係数

減衰量の温度係数は、前記の計算において、寸法、誘電率および導電率の温度変化を入れることによって得られる。10°C上昇の際に導電率が  $g_1=0.9655, g_2=0.9588$  に変化するとして求めた計算値を実測値と比較して図3に示した。減衰量の温度係数は1Mcにおいて約  $2.1 \times 10^{-3}$  である。

2.3.3 パルス反射波形

図4は、インピーダンス内部不均等による  $0.05 \mu\text{s}$  幅パルスの反射波形を示したものである。60 dB 以上の良好な結果を得ている。

表3 バロン形4.4mm細心同軸の特性

項目 ケーブル	特性インピーダンス (1 Mcにて)	減衰量 (10°C 1 Mcにて)	減衰量 温度係数 (1 Mcにて)	端(平均)イン ピーダンス偏差	インピーダ ンス不均等 (0.05μsパルス)	絶縁耐力	絶縁抵抗	遠端漏話 減衰量 (60 kc以上)
バロン形 4.4mm 細心同軸	75.0 Ω	5.3±0.2 db/km	0.002/°C	75±0.5 Ω	54 db 以上	中心-外部導体間 DC 2,000V/1分間	中心-外部導体間 10,000 MΩ-km 以上	125 db/ 250 m 以上

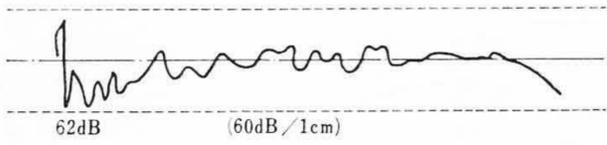


図4 1.2/4.4細心同軸ケーブルのパルス反射波形の一例 (0.05  $\mu$ s パルス, ケーブル長 405 m)

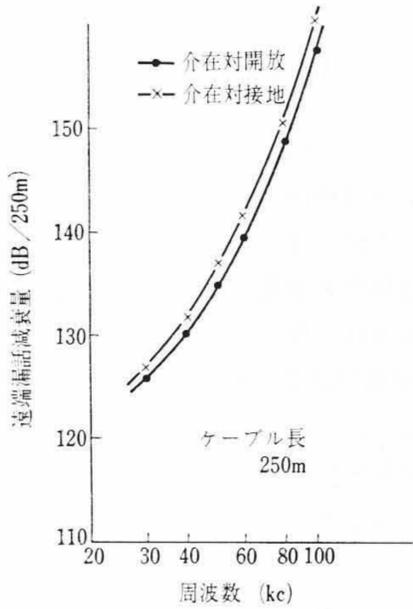


図5 遠端漏話減衰量の周波数特性 (4.4 mm 細心同軸2心複合ケーブル)

2.3.4 漏話減衰量

遠端漏話減衰量の測定結果を図5に示す。鉄テープ2枚を互いに逆巻きにしているため従来の発泡ポリエチレン絶縁細心同軸より良好な値となっており、また屈曲、布設作業による変動が少ない。

2.3.5 製造長統計データ

製造中不均一が生ずる原因としては、中心導体径  $d$ 、外部導体内径  $D$  および誘電率  $\epsilon$  の変動が考えられる<sup>(9)</sup>。 $D$  および  $\epsilon$  は直接測定できないが(3)式および(5)式を用い静電容量  $C$ 、特性インピーダンス  $Z_0$  の測定値より計算によって求めることができる。図6は製造中の変動要因としての  $D$  と  $\epsilon$  および測定値  $Z_0$ 、 $C$  の変化の製造長統計データの一例を示したもので、製造中のバラツキが非常に少ないことがわかる。

2.4 機械特性および接続

2.4.1 巻付試験

図7は、同軸コアの巻付試験を示したもので、コアの一端を固定し、直径30 cm マンドレルに1回巻付け、他端に20 kgのおもりを取り付けている。マンドレルを長さ約4 mにわたって1分間に1 mの速度で3回往復する。この試験後同軸コアは、機械的に安定で肉眼で観察した範囲ではほとんど変化を生じなかった。ま

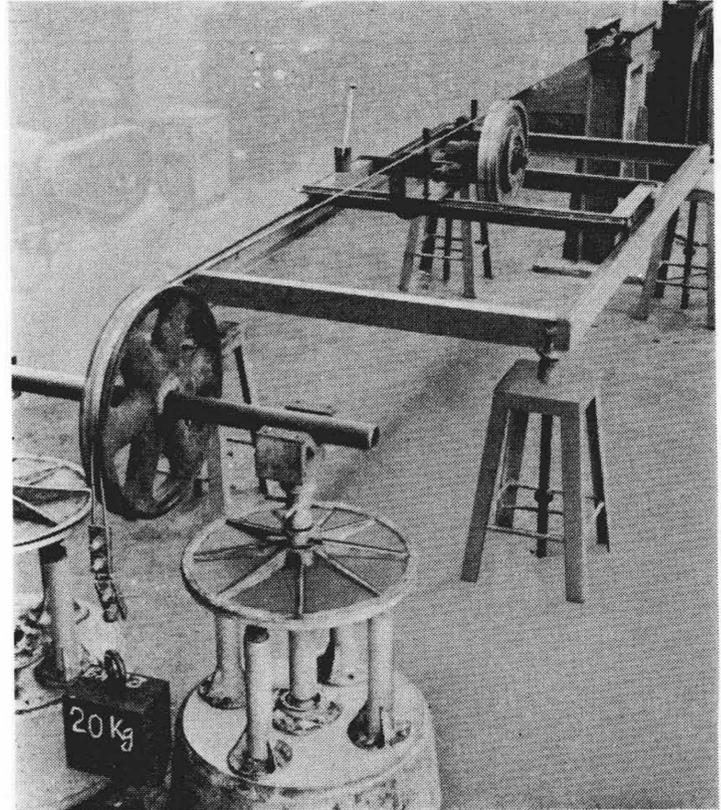


図7 同軸コア巻付試験装置

た内外導体間の絶縁耐圧の低下が生ぜず AC 2,000V (実効値) 1分間の印加に耐えた。

次に、2心複合ケーブルについて直径40 cm、往復3回の屈曲試験を行なったが、その後においてパルス反射の劣化はほとんど認められなかった。

2.4.2 水密性試験

バロン形絶縁には、ポリエチレンチューブを用いているのでピンホールなどを生ずることがまったくなく、横方向からの水の浸入は考えられない。次に、事故の際には、同軸コアの縦方向の水の伝播に対し大きな抵抗を持つことが必要とされている。コアの一端から1 mの高さの水圧をかけ水を浸入させる実験において浸水速度は1昼夜5 m以内の良好な値であった。

2.4.3 中心導体保持力

長さ1 mの同軸コアの外部導体を押え、中心導体の引き抜き実験を行なったが保持力は10 kg以上であった。

2.4.4 接 続

同軸コアの接続としては、作業が簡単でかつこれによってケーブルの電気的および機械特性が劣化しないことが必要である。

バロン形コアの接続法として、SAT社で行なっている半割スリーブ方式のものと、国内で用いられているカシメ方式のものを用い試験を行なった結果、両方とも良好な作業ができ、パルス反射特性および機械的特性とも優秀であることが確認できた。図8は接続後のパルス反射波形の一例を示したものである。接続部のパルス反射は60 dB以上で、機械屈曲試験によりほとんど変化を生

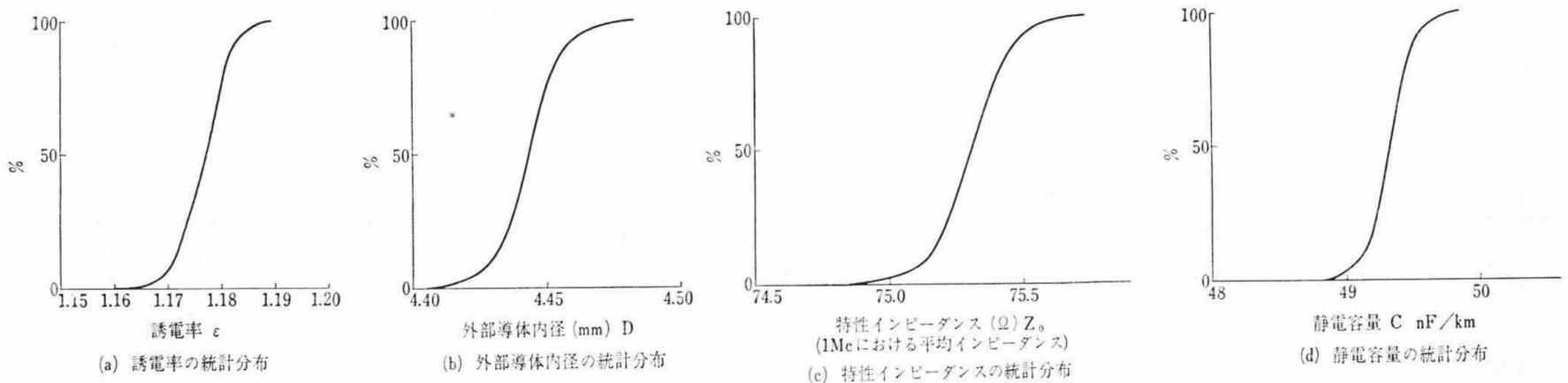
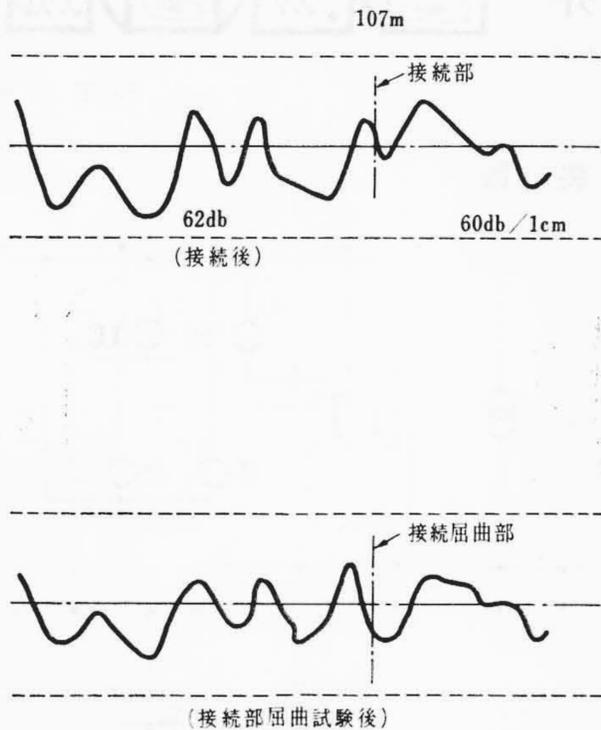


図6 1.2/4.4細心同軸ケーブルの製造長の特徴統計の一例



(パルス幅0.05  $\mu$ s ケーブル長107 mに接続部端インピーダンス 73.6  $\Omega$ +SAT方式接続部+端インピーダンス 73.68  $\Omega$ を接続したものの屈曲試験は30 cmマンドレルに5回巻付けて行なった。

図8 1.2/4.4 細心同軸ケーブル接続部のパルス反射波形

じていない。また、絶縁抵抗値 10kM $\Omega$ -km, 耐圧値 DC 2,000V / 1分間を達成している。

2.5 各種試作ケーブルの構造

一例として、下記の構成を持つケーブルを図9に示した。

1.2/4.4 mm バロン形細心同軸8心 } 複合スタルペス  
0.9 mm 40対市外星外層対 } シースケーブル

この 4.4 mm 細心同軸ケーブルについては、他社の報告も発表されており<sup>(10)(11)</sup>、今後、広帯域長距離伝送のほか、ITV, およびマイクロ引込み用, その他に広く使用されて行くことが期待されている。

3. 2.6/10 mm バロン形同軸ケーブル

バロン形絶縁は上記のように、まず、細心同軸ケーブルの絶縁体として考案されたものであるが、誘電率が小さく、かつ製造速度の速い経済的な絶縁体製造方式なので、他の通信ケーブルへの応用が考えられる<sup>(12)</sup>。

日立電線株式会社においては、現在この目的のため同軸ケーブルおよび対カッドケーブルにバロン形絶縁を適用した各種応用製品を開発中であるが、ここでは、その一例として、2.6/10 mm 2重絶縁同軸ケーブルについて述べる。

現在まで世界で最も一般的に用いられてきた同軸ケーブルは、PEディスク差込形の375形標準同軸ケーブルで、わが国でも広く使用されている。バロン形絶縁でこの寸法の同軸を生産することも可能であるが、特に機械的強度を増加し絶縁耐圧を高くしたのが、この2.6/10 mm バロン形2重絶縁同軸である。

すなわち、くびれ部をもつバロン形絶縁上にさらに一層ポリエチレンチューブを押し出した構造で、外部導体は、銅テープ縦沿え、また銅編組とし、架空の場合はヒヨウタン形としている。減衰特性は図10に示すとおりで、375形標準同軸ケーブルとほとんど等しくまた、ほぼ同一の外径の10C-2V同軸と比較すると半分程度になっている。このケーブルの特長は機械的特性が強固であることと、耐電圧が高いことがあげられる。約10倍径、すなわち、直径200 $\phi$ の

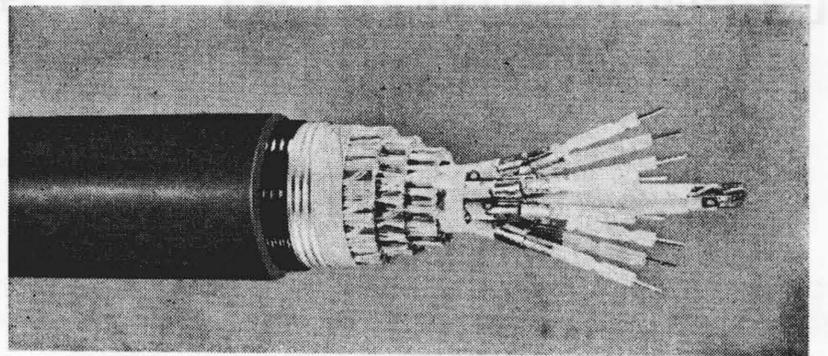


図9 1.2/4.4 mm バロン形細心同軸8心複合スタルペスシースケーブル

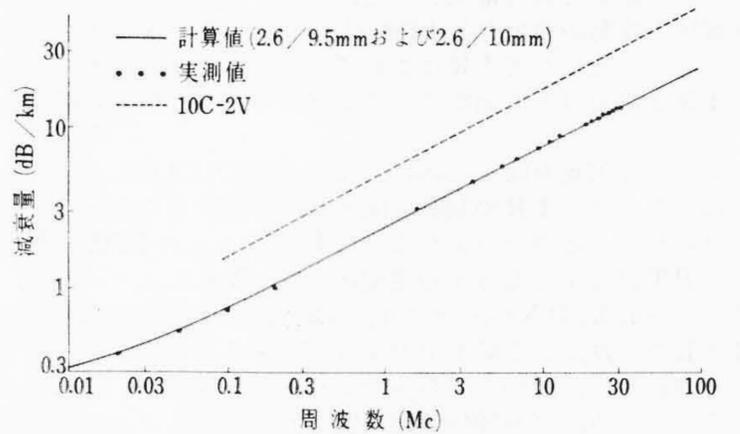


図10 2.6/10 mm バロン形同軸ケーブルの減衰量周波数特性

ドラムに対し6回往復の屈曲試験および6回巻付けを行なったのち入力インピーダンスの最初の値からの偏倚は、平均 0.3  $\Omega$  以下で機械試験による変化のないことがわかった。絶縁耐圧は AC 10,000V 以上を示している。

上記のとおり機械的強度が強く、耐電圧が高いので、広帯域伝送線路としての信頼度が大きく、電力線搬送用、その他の各種用途に広く使用できるものである。

4. 結 言

以上、4.4 mm 細心同軸ケーブルについて測定した電気的特性および機械的特性と、バロン形絶縁を適用した各種通信ケーブルの一例として2.6/10 mm 同軸ケーブルの特長について述べた。

今後これらの製品についてさらに検討し、改善をはかるとともに、さらに各種の応用製品を開発し利用面を拡大したいと考えている。

最後にこれらのケーブルについて、種々ご検討いただきご指導賜わった各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 堀口, ほか: 日立評論 39, 461 (昭 32-4)
- (2) 日立電線株式会社: 0.9 mm 架空細心同軸ケーブル方式の研究経過報告
- (3) 古寺, ほか: 日立評論 46, 1704 (昭 39-10)
- (4) 岡本: 日仏工業技術 10, 6 (昭 39)
- (5) CCITT: SG 15, clay's working party (Apr. 25-May 2, 1962)
- (6) 岡本: 電線時報 1965, 1月号
- (7) 宮川: 同軸ケーブルの研究, その他
- (8) 通研実用化報告: 13, 6 (1964)
- (9) Bélus: C & T 14, 4 (1960)
- (10) 永野, ほか: 古河電工時報, 6月号 (1965)
- (11) 名古, ほか: 藤倉電線技報, 7月号 (1965)
- (12) Fuchs: C & T 14, 2 (1960)



特許の紹介



特許第451215号 (特公昭39-29001)

池田正一郎

電圧電流調整装置

この発明はたとえば負荷時電圧調整器で受電電圧を一定電圧にして母線に給電し、この母線からたとえば誘導電圧調整器を介して負荷に給電するようにした電源設備における電圧、電流の調整を合理的に行なうようくふうされたものである。

図のように母線Fは受電線ACにLRAを介して接続され、直流負荷LはIRを介してFから給電され、Fは定電圧に、Lは定電流になるように制御されているものとすれば、母線電圧が変動するとIRはこれに応じて負荷電流が一定になるように制御される。同時に母線電圧の変動が検出されLRAが制御され、母線電圧は予定値に回復する。したがってIRはこれに応じて再度制御されることになり、IRは必要以上に制御されることになり、機構部の構造上好ましくない。

このような欠点を除くために、この発明ではLRAが制御される状態にあるときはIRの制御を阻止し、いたずらに不要な制御動作が行なわれることのないようにしたものである。LRAはFに接続されたPT出力を入力とする定電圧リレーVLにより、上げ、下げ補助リレーLX、BXが制御され、電圧の上げ、下げ制御をされる。IRはLの回路にあるCT出力を入力とする定電流リレーCLにより制御されるが、図から明らかなように、BXあるいはLXが動作中はそのb接点により操作回路が開かれ不動作にロックされる。すなわち、IRはLRAが動作していないときのみ制御可能にされるわけである。(福島)

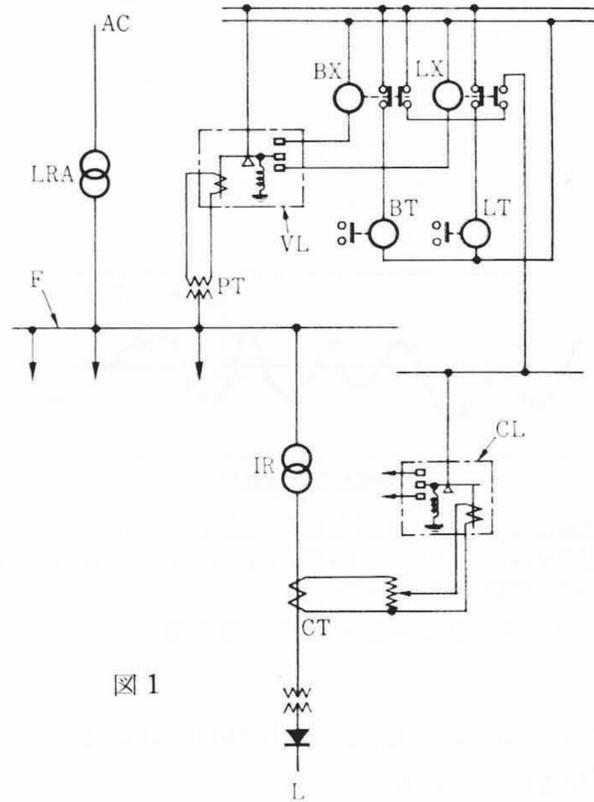


図1



新案の紹介



登録実用新案第773748号 (実公昭39-36863)

池田正一郎

三相電動機の単相運転防止装置

三相電動機は運転中にヒューズ溶断などで単相運転となることがある。このときは電動機は引きつづき運転はできるが過電流のため焼損する可能性がある。しかし一方では欠相しても電動機が回転している限りにおいては、電動機が三相電圧を発生するため、回路にはそれほど大きな不平衡電圧はあらわれないのが普通である。実験によれば電動機の種類、負荷によっても異なるが、欠相によって(電動機回転のまま)生ずる不平衡は20~40%、場合によっては5~10%程度であった。したがって一般に使われている誘導形または電磁形リレーではすべてを検出することは不可能に近い。

この考案はこのような欠相による単相運転を防止するために三相電圧の不平衡を確実に検出するもっとも簡単で経済的な装置を提出するものである。

図を参照すれば明らかなように、それぞれの線間電圧は電圧変成器PTを介して導出され整流装置Reで整流されたのちコンデンサC、抵抗Rで平滑される。したがってヒューズFが健全であり、電動機Mが三相で運転されているときは抵抗Rにあらわれる電圧はそれぞれ等しい。しかしFのいずれかが溶断しMが単相運転となったときは等しくなくなり、これがダイオードSeで構成されたブリッジによって導出され、リレーRyにより検出される。すなわちこの考案によればどの相に生じた欠相もすべて一つのリレーRyで検出でき、構成簡易で動作は確実である。(福島)

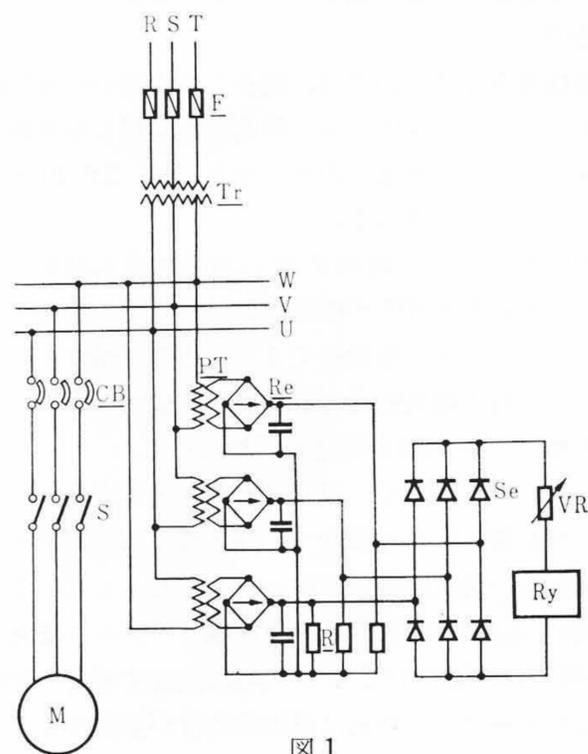


図1