U.D.C. 621.315.2.029.54:621.395.44

搬送局内ケーブルの伝送特性

Transmission Characteristics of Switchboard Cable for Carrier Use

萩原英二* 鈴木敏雄*
Eiji Hagiwara Toshio Suzuki

内容梗概

搬送局内ケーブルの電気的性能，特に 360 kc におけるインピーダンス，漏話減衰量の規格は製造の均一性を考えるとかなり厳密なものである。

筆者らは種々検討の結果，規格を満足するようなケーブル構造を決定し，製造条件を確立した。このケーブルは銅テープを横巻したしゃへい層をもっているが，銅テープのしゃへい損失を理論的に計算した結果，漏話減衰量との関係が明らかになった。

さらに新しい試みとして銅テープの代りに銅粉蒸着マイラーテープを用いた新形搬送局内ケーブルを試作し，諸特性を測定した結果実用化の目安を得た。

1. 緒言

搬送局内ケーブルは搬送ケーブル，同軸ケーブルなどの高周波回線の局内成端に使用するものであり，電々公社においてすでに大量に用いられている。従来このケーブルは心線をエナメル絶縁し，絹糸および綿糸を横巻したあと，これを対よりしさらに鉛テープで縦方向に包んだ構造のものであった[1]。

その後熱可塑性物質の使用分野の拡大に伴い，ケーブル構造はコア絶縁をポリエチレンで行い，しゃへい層を銅テープ横巻としたものに変更された[2]。このプラスチック絶縁搬送局内ケーブル（以下搬送局内ケーブルと略す）に要求される電気的性能は製造の均一性を考えると，きわめて厳密なものであるが，日立電線では製造法について鋭意研究を重ねてきた結果，製造条件を確立し，きわめて性能のすぐれたケーブルを生産している。

また当社では搬送局内ケーブルのしゃへい層を形成している銅テープの代りに銅粉蒸着マイラーテープを利用した新しい搬送局内ケーブルについても研究を行っており，ケーブル試作の結果一応の結論を得ている。本試作品は銅テープを省くことにより漏話特性を若干犠牲にして経済性をねらったものである。

本報は搬送局内ケーブルの電気的な諸特性および銅粉蒸着マイラーテープを用いた新形搬送局内ケーブルの特性について取まとめたものである。

2. 搬送局内ケーブルの構造および伝送特性

2.1 搬送局内ケーブルの構造

搬送局内ケーブルはポリエチレン絶縁のコアを介在とともに対よりし，ポリエチレンテープを横巻したあとさらに銅テープを横巻したものが単位になっており，この対をより合わせてケーブル心とする。

第1表はケーブル構造の概略を示している。

第1表 搬送局内ケーブルの構造

項目	構造
心線	0.9 mmφ
絶縁	ポリエチレン 厚さ約 0.3 mm
対より	方向左 PE介在とともによる
押え巻	ポリエチレンテープ 2枚横巻
しゃへい	銅テープ 1枚横巻（0.1 mm 厚）
押え巻	ビニルテープ 1枚横巻
集合	1対～24対 全層右
押え巻	綿テープ 1枚横巻
シース	ビニル 厚さ約 1.5 mm

* 日立電線株式会社電線工場

2.2 搬送局内ケーブルの一次，二次定数

搬送局内ケーブルは局舎内で各種機器と直結して使用されるためこれらの機器とインピーダンスを整合させる必要があり，このため特性インピーダンスも 360 kc において 75Ω±10% と厳密に規定されている[2]。

現在製造している搬送局内ケーブルの一次定数，二次定数測定結果の一例を**第1図**および**第2図**に示す。ただしこの値は一対の搬送局内ケーブルの測定例である。

2.3 考察

（1） 一次，二次定数

対称通信ケーブル（対または星形構成の通信ケーブル）の線路定数はすでに H. Kaden 氏によって厳密に計算されている[3]。

しゃへい層を有する対称ケーブルの高周波における実効抵抗は導体の表皮作用効果を考えた線路の抵抗値に他導体の近接効果による項およびしゃへい層の導電率により変化する項（しゃへい層の導電率が無限に大きいとこの項は零となる）を加えたものである。したがって周波数が高くなってある程度実効抵抗 R が増加するのはやむを得ないが心線間隔をなるべく広くすること，しゃへい外径を大きくしかつしゃへい層に導電率のよい材料を用いることが抵抗増加を最小にするための必要条件である。インダクタンス L も R と同様に表皮効果，近接効果およびしゃへい層の材質の影響を受けて高周波で減少する。

第1図に示した R, L の特性はこれらの効果の加わったものであるが，ケーブルの構造寸法から R および L の各構成成分を計算で求め実測値と比較したところ**第2表**の結果を得た。表の結果によると高周波における R は導体の表皮効果によって大きく支配されることがわかる。

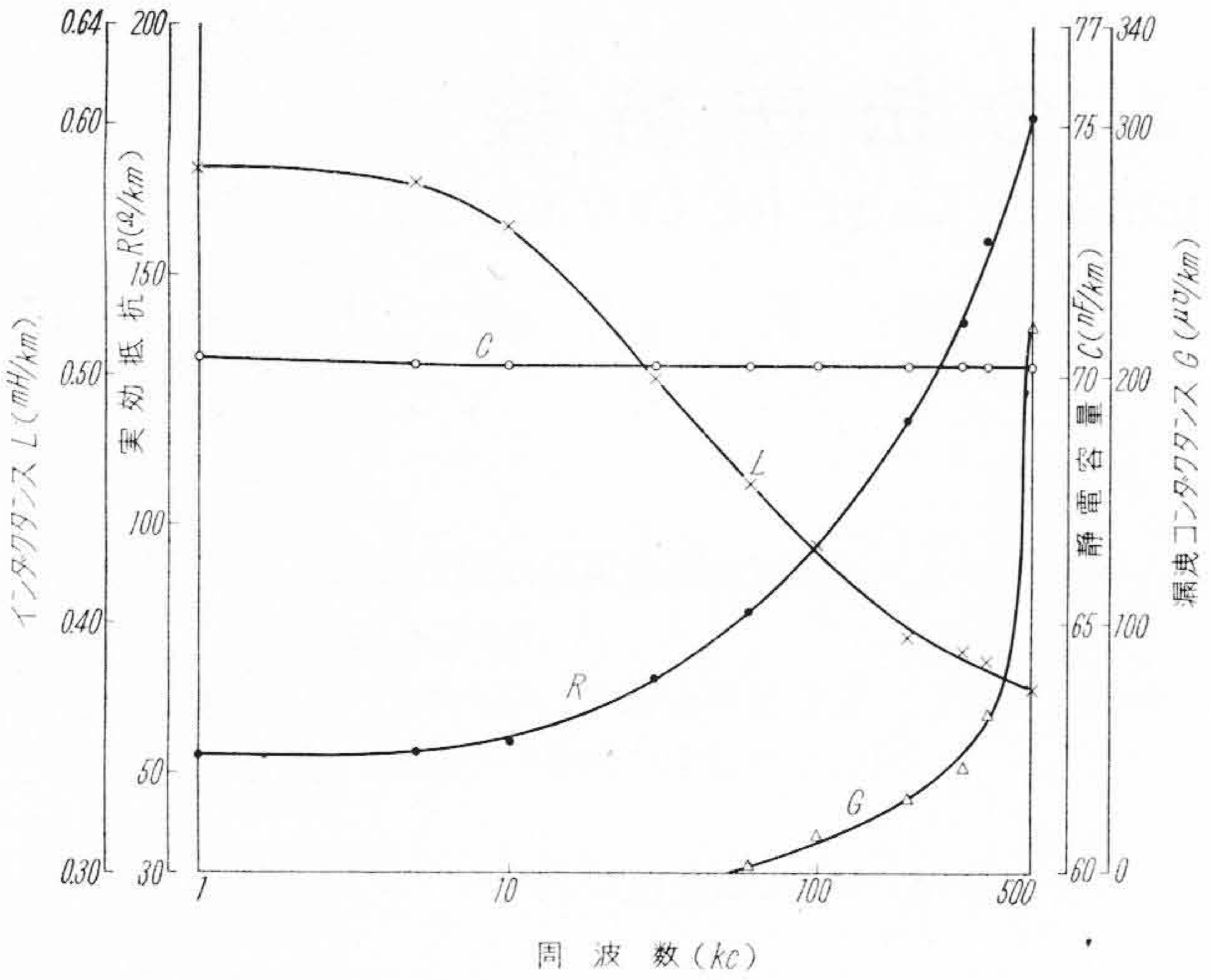
一方 L は高周波において表皮効果よりもしゃへい層の導電率の影響を大きく受けることは明らかである。

また静電容量 C は周波数に関係なくほぼ一定であり，漏えいコンダクタンス G はほぼ周波数に比例して増加する。二次定数は一次定数から計算で求めたものであるが，インピーダンスは 360kc で 74.0 Ω であり，満足すべき結果を得た。

さらに搬送ケーブルの布設条件を考えて各ケーブルを自己径の10倍径で3回巻付試験を行ったが，一次，二次定数の変化は認められなかった。

（2） 等価誘電率

静電容量 C の値が定まると，この値から絶縁体の等価誘電率を求めることができる。H. Meinke 氏によるとしゃへいを有する対導体の静電容量は(1)式で示される[4]。



第1図　搬送局内ケーブルの一次定数

$$C=\frac{12.1\times\varepsilon}{\log\frac{2S}{d}-0.1\left(\frac{d}{S}\right)^2-0.9\left(\frac{S}{D}\right)^2+0.4\left(\frac{d}{D}\right)^2}$$

(pF/m) ……………………………………………(1)

ただし　$d/D\leqq 0.25$　$0.4\leqq\frac{d}{S}\leqq 0.75$　$\frac{S}{D}\leqq 0.6$

d：心線直径　D：しゃへい内径　S：対導体中心間隔

(1)式を用い搬送局内ケーブルの等価誘電率を求めたところ平均で1.92となった。ポリエチレンの誘電率は2.28であるからこの差が空隙の効果となる。なお空間比率は銅線を除いた断面積に対して29.7%である。

第2表　搬送局内ケーブルの実効抵抗インダクタンスの構成成分

周波数 (kc)	実効抵抗 R(Ω/km)					インダクタンス L(mH/km)					
	R_i	R_n	R_h	$R=R_i+R_n+R_h$	実測値	L_i	L_a	L_n	L_h	$L=L_i+L_a-L_n+L_h$	実測値
1	54.3	0	0	54.3	53.5	0.100	0.466	0	0	0.566	0.583
5	54.3	0.1	1.0	55.4	54.6	0.100	0.466	0	−0.009	0.557	0.577
10	54.3	0.3	3.2	57.8	56.7	0.100	0.466	0.001	−0.028	0.538	0.560
30	59.8	2.0	10.1	71.9	68.9	0.100	0.466	0.005	−0.089	0.472	0.500
60	65.3	4.8	12.7	82.8	81.9	0.096	0.466	0.013	−0.111	0.438	0.456
100	76.1	8.5	13.4	98.0	95.9	0.088	0.466	0.020	−0.117	0.417	0.432
200	92.5	13.2	13.7	119.4	120.8	0.068	0.466	0.026	−0.120	0.388	0.395
300	108.6	15.9	13.8	138.3	140.2	0.060	0.466	0.028	−0.121	0.377	0.388
360	130.4	19.6	13.8	163.8	157.6	0.052	0.466	0.031	−0.121	0.366	0.384
500	146.8	22.7	13.8	183.3	181.7	0.040	0.466	0.032	−0.121	0.353	0.374

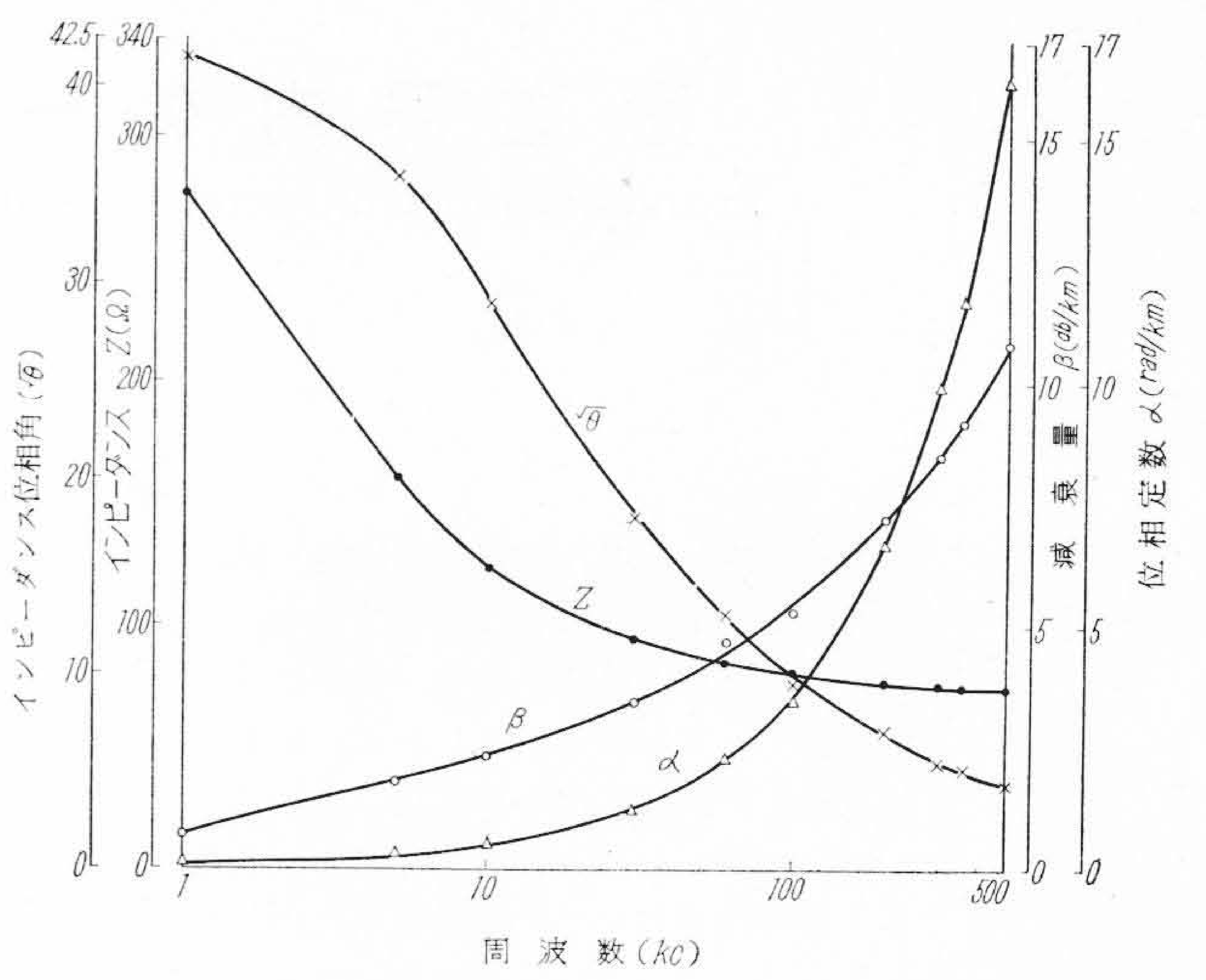
(注)　R_i：表皮作用を考慮に入れた線路の抵抗
R_n：近接効果による抵抗変化
R_h：しゃへい層の導電率が有限であることによる抵抗変化
L_i：電流を導く導体内部の磁束によるインダクタンス
L_a：空間に走る磁束によるインダクタンス
L_n：他導体の近接効果によるインダクタンス変化
L_h：しゃへい層の導電率が有限であることによるインダクタンス変化
R_i, R_n など上記の値はすべてケーブルの構造寸法から計算で求めたものである。

3. 搬送局内ケーブルの漏話特性とその考察

3.1　漏話特性測定結果

搬送局内ケーブルの対間漏話は360kcにおいて200m当り90dB以上と規定されている。このため各対を銅テープによってしゃへいしたケーブル構造が採用されている。次に搬送局内ケーブルの実効漏話減衰量測定結果の一例を**第3表**に示す。

測定結果によると対間漏話は規格に対してまったく問題ない値である。またこの漏話減衰量の周波数に対する変化は比較的少ない。これは周波数の増加による鎖交磁束の増加と銅テープ内部の渦流損失が相殺されるためであろう。



第2図　搬送局内ケーブルの二次定数

第3表　搬送局内ケーブルの漏話減衰量
(db, 360kc, 200m)

品種	最良	最悪	平均	備考
0.9×4対	133.0	114.5	124.5	20わくの平均
0.9×8対	131.1	116.4	122.8	10わくの平均
0.9×10対	134.1	114.8	124.7	10わくの平均

3.2　円筒の電磁しゃへい効果

搬送局内ケーブルの銅テープしゃへい層のしゃへい効果を求めるため円筒のしゃへい理論[5]を適用する。

ケーブルの模型として**第3図**のようなしゃへい円筒を考え，往復電流を円筒中心の磁気双極子とみなす。またしゃへい円筒の厚さ t は内半径 a に対して十分小さいものとする。この場合しゃへい円筒の内側および外側の磁界強度をそれぞれ H_i および H_o とするとしゃへい損失 S_H の一般式は(2)式で示される。

$$S_H=20\log\frac{H_i}{H_o}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

ここでしゃへい円筒の寸法および電気的な諸定数を考慮に入れると S_H は(3)式で表わされる。

$$S_H=20\log\frac{1}{|1-m_H{}^2|}+8.686\,\alpha t$$
$$+20\log\left|1-m_H{}^2e^{-2\gamma t}\right|\ (\text{db})\ \cdots\cdots\cdots(3)$$

ただし

$$m_H=\frac{Z_m-Z_{aH}}{Z_m+Z_{aH}}\ (\text{反射係数})$$

$Z_m=\sqrt{j\omega\mu/g}$ (いゃへい体内ラジアルインピーダンス)

$Z_{aH}=j\omega\mu_0 a$　(しゃへい層内ラジアルインピーダンス)

μ, g：しゃへい体の透磁率および導電率

$\omega=2\pi f$　(角周波数)

$\alpha=\sqrt{\pi\mu f g}$

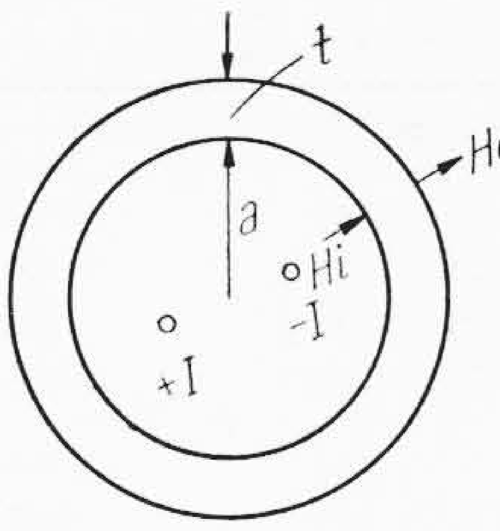
$\gamma=\sqrt{j\omega\mu g}=(1+j)\alpha$

(3)式は3項に分れているが，このうち**第1項**はしゃへい層内面における反射による損失であり，これを反射損と呼ぶ。**第2項**はしゃへい層内部における減衰によるものであり，これを減衰損と呼ぶ。また**第3項**はしゃへい層外面の反射によるものであり，これを反復反射損と称する。

3.3　搬送局内ケーブルのしゃへい損失と漏話

第1表の構造を有する搬送局内ケーブルの対のしゃへい損失を(3)式によって計算したところ**第4表**の結果を得た。

第4表の結果によると周波数が高くなるとしゃへい損失が増加し，したがって対間漏話の少なくなることがわかる。この結果は単



第3図 しゃへい円筒の断面

第4表 搬送局内ケーブルの対のしゃへい損失

しゃへい損失 (db)	周波数 (kc)								
	1	5	10	50	100	200	300	360	500
反射損	−1.21	1.33	3.36	8.53	11.20	13.94	15.55	16.32	17.66
減衰損	0.54	1.21	1.21	3.81	5.39	7.62	9.35	10.22	12.05
反復反射損	0.98	−1.92	−3.45	−2.37	−0.90	0.13	0.39	0.57	0.43
合計	0.31	0.62	1.62	9 97	15.69	21.69	25.29	27.11	30.14

一円筒の磁気しゃへいの計算値であり，ケーブル対間の漏話を論ずるには少なくとも円筒2個を考慮する必要がある。しかし2円筒の間の磁気的結合を考えると磁束は円筒の中心に対して非対称的になり，また対間漏話は磁気的な結合ばかりでなく，静電的な結合にも支配されるので必らずしも**第4表**の数値の2倍をしゃへい層による漏話の減少（漏話減衰量の増加）と考えることはできない。したがって**第4表**の結果は銅テープしゃへい層の効果の目安を示すものであるが，少なくとも表の値だけは銅テープのないものにくらべて漏話は向上しているものと考えられる。

第3表によると 360 kc における搬送局内ケーブルの対間漏話減衰量は約 125 dB/200m であり，また同じ周波数における銅テープのしゃへい損失は**第4表**から 27 dB であるから，銅テープを取除いた場合の漏話減衰量は 100 dB またはそれ以下になると考えられる。

4. 新形搬送局内ケーブルの構造および特性

4.1 新形搬送局内ケーブルの構造

前章までの搬送局内ケーブルは対の周囲に銅テープを横巻することによって，対間漏話を少なくする構造のものであるが，使用材料の減少と原価の低減をねらって銅テープの代りに銅粉蒸着マイラーテープを用いた新形搬送局内ケーブルを試作した。

ケーブルの構造は**第1表**の搬送局内ケーブルの構造表の中で銅テープおよびビニルテープの代りに銅粉蒸着マイラーテープを用いた点を除きほかは同一である。この際銅粉蒸着テープの蒸着面の方向はケーブルの内側とした。これは銅テープ横巻の場合と同一のしゃへい内径を保つためである。

また試作ケーブルの対数は第一段階として最小対数の2対をえらび，試作条長は 100m とした。

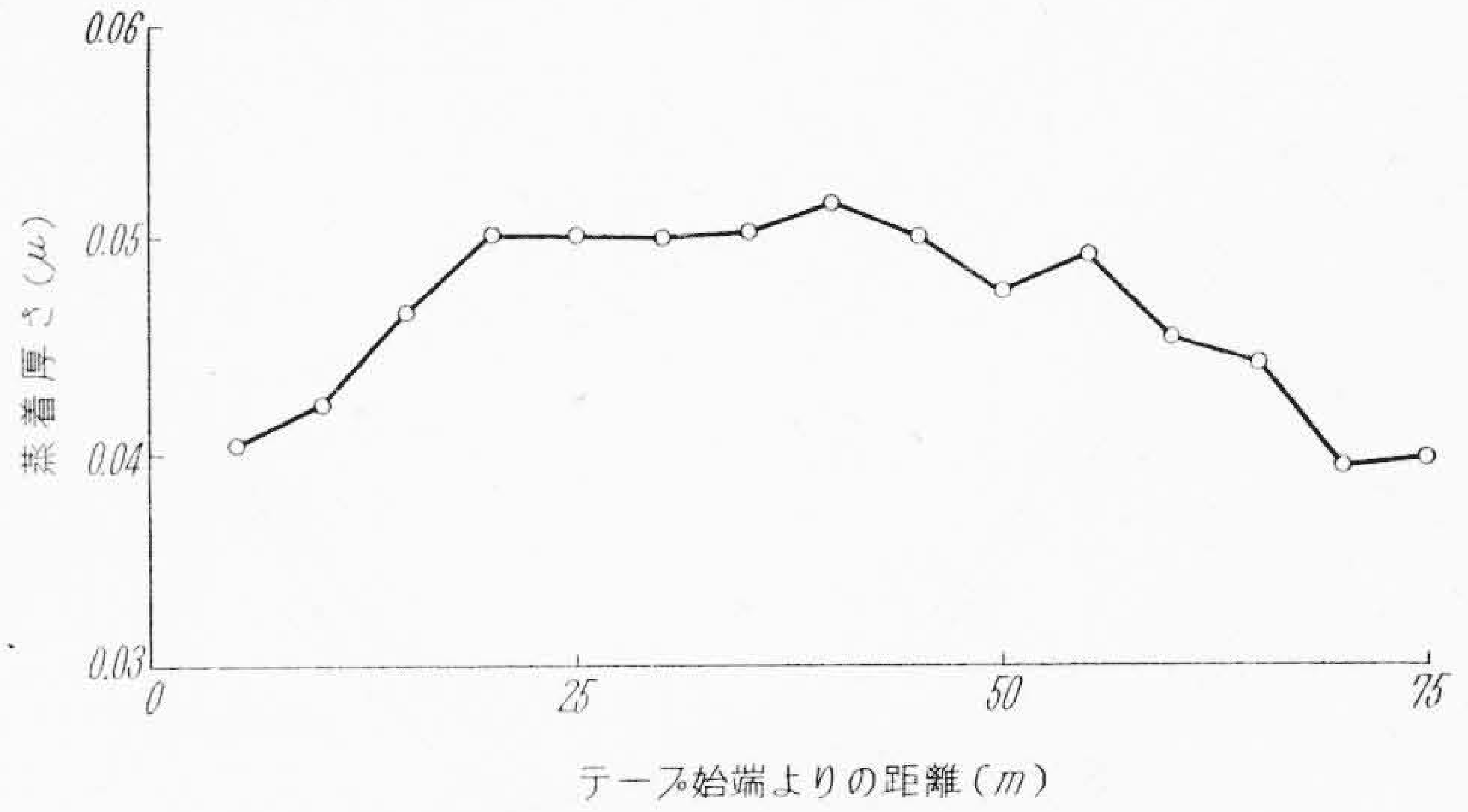
4.2 銅粉蒸着マイラーテープの諸性質

（1） 銅粉蒸着厚み

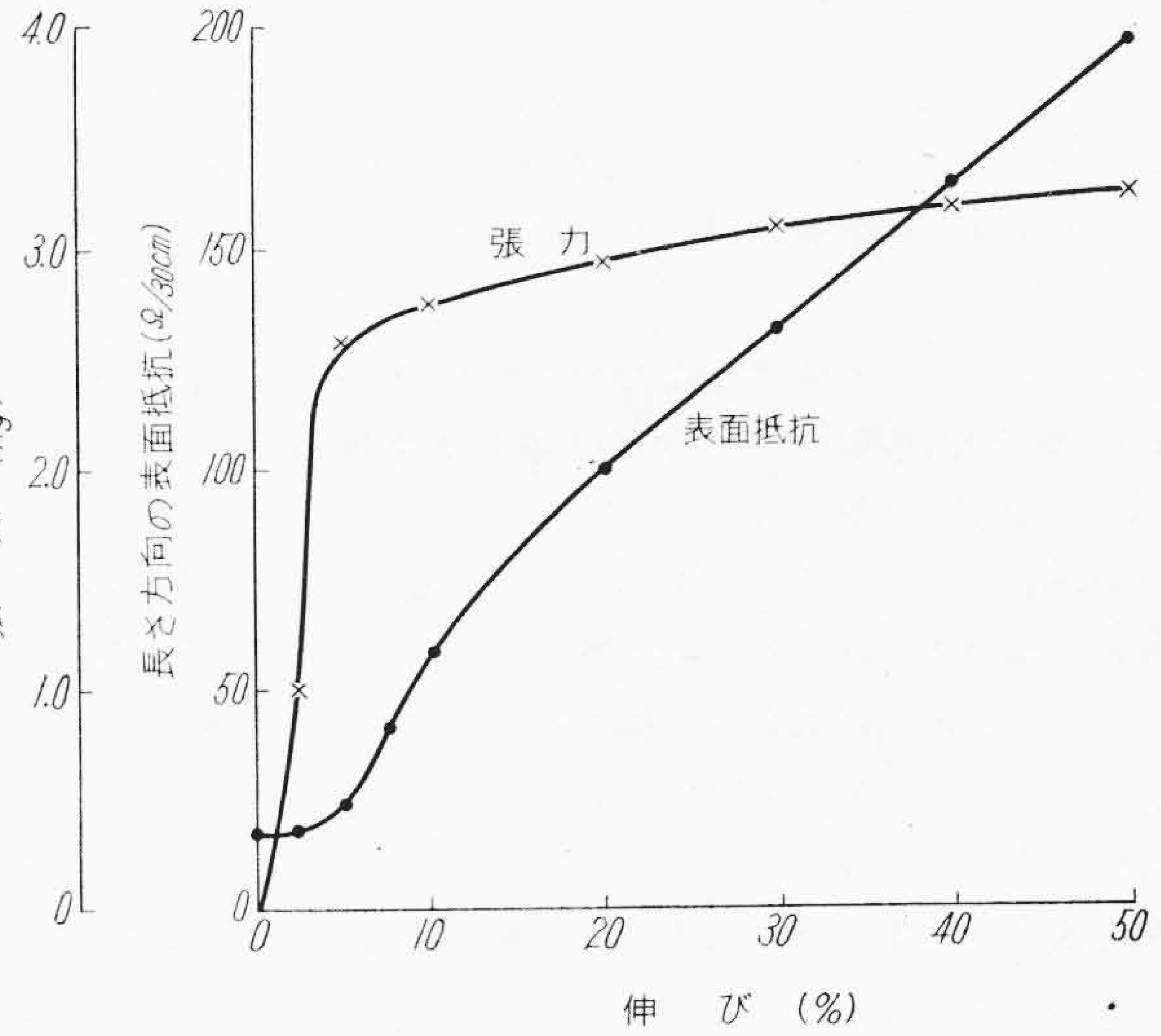
銅粉蒸着マイラーテープはマイラーフィルムの表面に銅粉を真空蒸着させたものである。

今回の新形搬送局内ケーブルの試作に用いたテープは厚さ1ミルのマイラーフィルムに銅粉を蒸着したものであり，テープの長さ方向に測定した電気抵抗から逆算した平均蒸着厚さは約 0.05μ である。銅粉の蒸着厚さの均一性はもっぱら蒸着技術によるわけであるが，上記テープについて 5 m間隔に長さ 30 cm 当りの抵抗値を測定し，この値から蒸着厚さの均一性を求めた。その結果を**第4図**に示す。

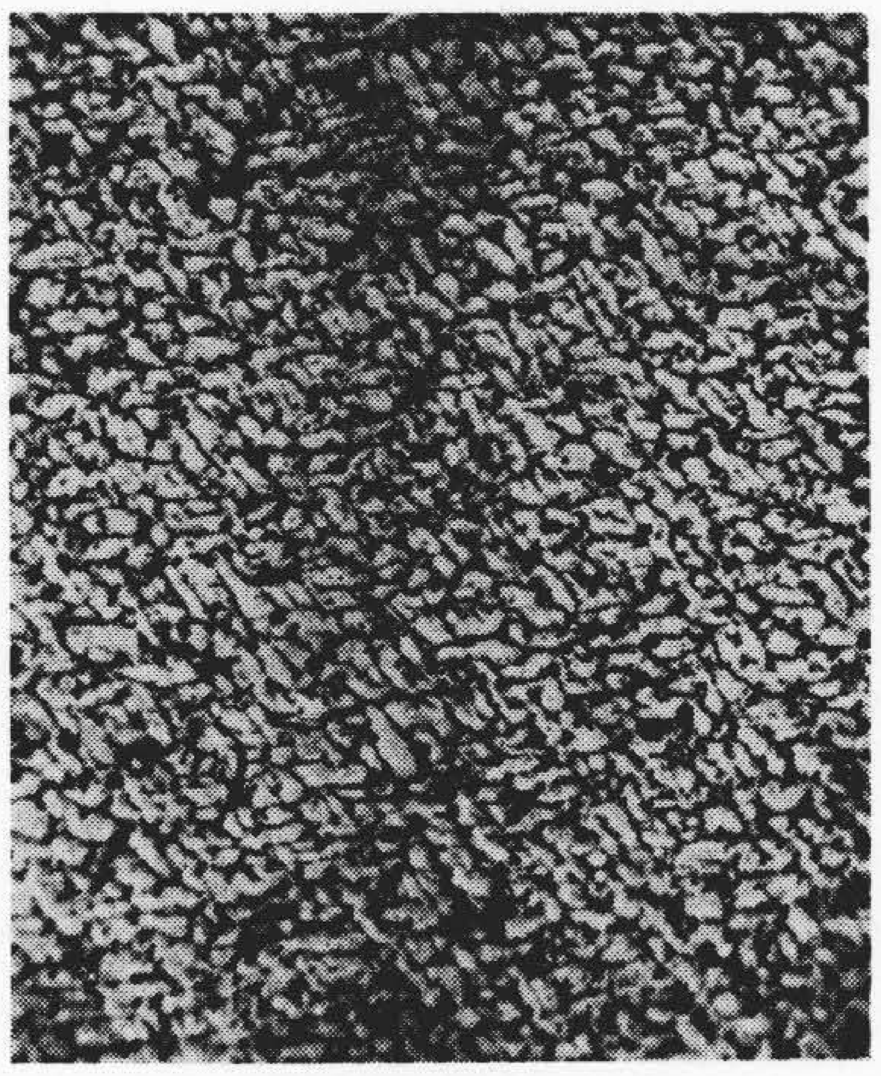
図によると銅粉蒸着厚さにはかなりばらつきが見られ，さらに均一なテープが要望される。またテープ張力によって特性の変ることが考えられるが，これについてはあとで述べる。なおこの結果は電



第4図 銅粉蒸着マイラーテープの蒸着厚さ
（マイラーテープ厚さ1ミル）



第5図 銅粉蒸着マイラーテープの張力—伸び—表面抵抗の関係 （マイラーテープの厚さ1ミル，幅 10 mm）



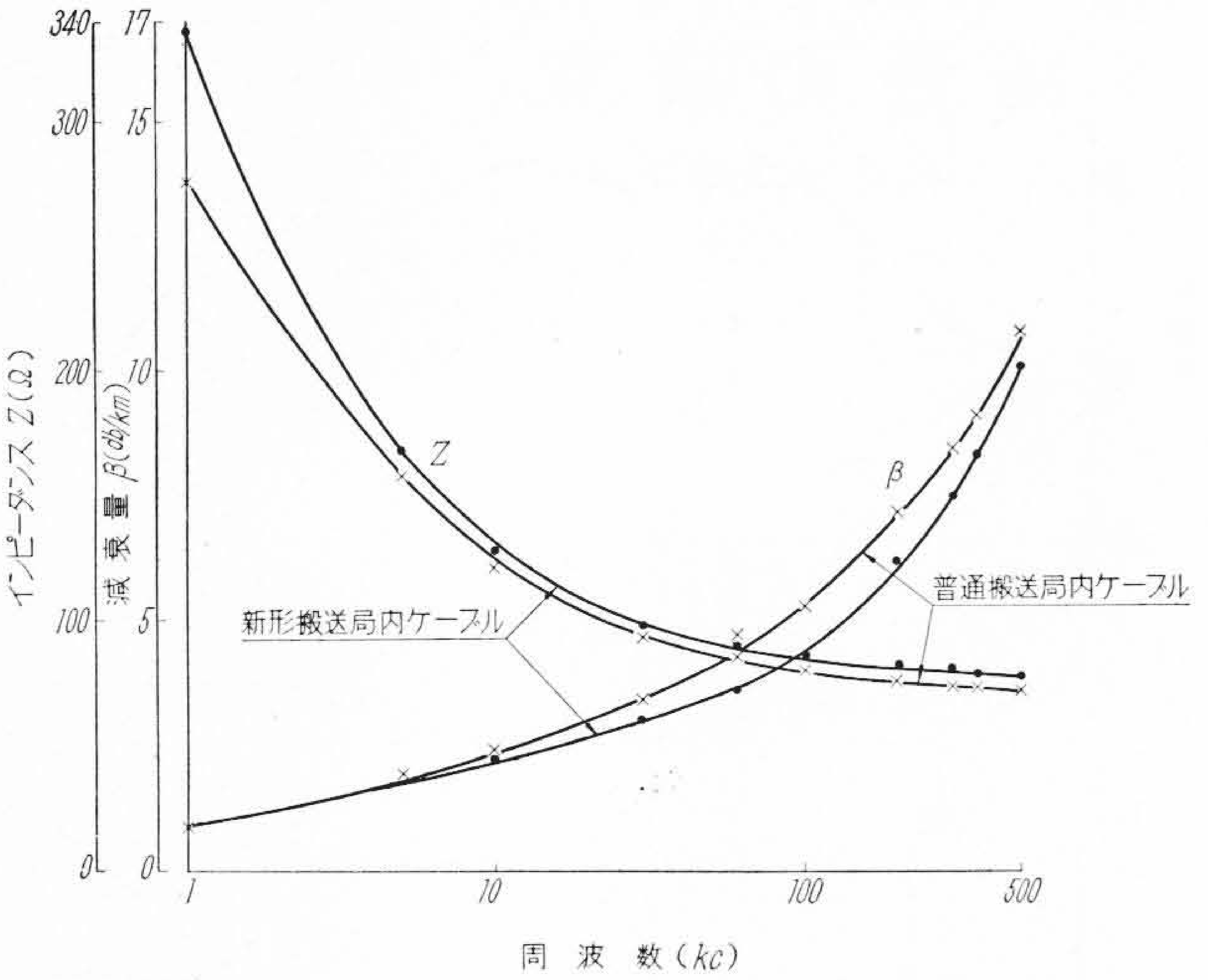
（400倍，伸び 50%）
第6図 銅粉蒸着マイラーテープ引伸し時の外観

気的な平均蒸着厚さであり，幾何学的には図の値以上または以下の厚さの部分のあることも当然考えられる。

（2） 引張り特性

第4図は入荷試料の特性であるが，作業上の特性を見るためテープの引張り試験を行い，テープ張力—伸び—表面抵抗の関係を測定した。その結果を**第5図**に示す。図によると伸びが3～4％以下の場合表面抵抗値はほとんど増加しないが5％をこえると急激に増加することが認められる。

次に銅粉蒸着マイラーテープに伸びを与えた場合の表面の状況を**第6図**に示す。図はテープに 50% の伸びを与えた場合であるが，蒸着した銅粉粒子同志が伸びによって引きちぎられ，あたかもテープ表面の電気的な径路が長くなったような状況を示しており，抵抗



第7図　新形搬送局内ケーブルの二次定数周波数特性

増加の原因をよく説明することができる。

4.3 新形搬送局内ケーブルの一次二次定数

(1) 測定結果

銅粉蒸着マイラーテープを用いた新形搬送局内ケーブル試作品の360kcにおける一次二次定数を**第5表**に示す。また特性インピーダンス，減衰量の周波数特性を**第7図**に示す。なお比較のため普通搬送局内ケーブルの特性も同一の表および図に示した。

(2) 考　　察

第5表および**第7図**によるとまずRは新形ケーブルのほうが小さく，*L*は大きくなっている。これは銅テープしゃへい層の影響であろう。また*C*は新形ケーブルのほうがやや大きくこの原因は明らかでないが，テープのなじみ程度の差などが原因と思われる。一方*G*は新形ケーブルのほうがはるかに大きい値を示している。

一般に平衡回線の周囲のしゃへい層が半導体的性質をもっと回線の*G*は増加するものであり，今回のケーブルにおいても*G*増加の原因は銅粉蒸着マイラーテープが半導体的性質をもったためと推定できる。

新形ケーブルの*R*が小さい結果，**第7図**に示すように減衰量は必然的に普通ケーブルより小さい値になっている。しかしこの結果は500kc程度までであり周波数がさらに高くなると漏えい減衰の影響によって新形ケーブルの減衰量は急激に増加するものと想像できる。したがってこの場合にはケーブル構造を変えることが必要となる。

また新形搬送局内ケーブルの場合にも普通搬送局内ケーブルと同様10倍径で3回巻付試験を行ったが，特性の変化は認められなかった。

4.4 新形搬送局内ケーブルの漏話

(1) 測定結果

銅粉蒸着マイラーテープを用いた2対搬送局内ケーブルおよび普通搬送局内ケーブルの遠端漏話減衰量測定結果を**第6表**に示す。ただし測定器は複素漏話結合測定器を使用した。

(2) 考　　察

第6表によると新形搬送局内ケーブルの漏話特性は普通の搬送局内ケーブルにくらべてかなり悪い値になっているが，これはしゃへい厚さの差を考慮に入れれば当然予想されるところである。

両ケーブルの漏話減衰量の差と**第4表**のしゃへい損失と比較すると大体似た値になっていることが認められるが，これは先に述べたように漏話が磁気的な結合ばかりでなく静電的な結合にも影響を受けているためと思われる。

第5表　新形搬送局内ケーブルの一次，二次定数
(360 kc，100 m)

項	目	新形ケーブル	普通ケーブル
一次定数	実効抵抗 R (Ω/km)	151.2	157.6
	インダクタンスL (mH/km)	0.460	0.384
	静電容量C (nF/km)	73.4	70.2
	漏えいコンダクタンスG (μ℧/km)	128.6	61.4
二次定数	インピーダンスZ (Ω)	79.4	74.0
	インピーダンス位相角 θ (°)	4.07	5.07
	減衰量 β (db/km)	8.32	9.58
	位相角 α (rad/km)	13.13	11.68

第6表　新形搬送局内ケーブルの遠端漏話減衰量周波数特性

周波数 (kc)	新形搬送局内ケーブル	普通搬送局内ケーブル	差
10	130.4	134.5	4.1
30	123.0	129.8	6.8
60	115.1	128.0	12.9
100	111.1	127.3	16.2
200	105.4	126.5	21.1
300	101.5	125.8	24.3
360	101.0	125.3	24.3

注：普通搬送局内ケーブルの値は200mの測定値を100mに換算した値を示す。

表の結果によると新形搬送局内ケーブルの360kcにおける漏話は101.0dB/100mとなっているが，これを200mに換算すると約98dBとなり，規格値90dB[(2)]に対して余裕は8dBである。しかし今回の結果は2対の搬送局内ケーブルに対する値であり，さらに対数の多い場合の考察が必要である。また銅粉蒸着マイラーテープの経年変化についても検討する必要がある。これらの点は今後の研究課題としたい。

5. 結　　言

搬送ケーブルの局内成端に用いる搬送局内ケーブルの諸特性ならびに銅テープの代りに銅粉蒸着マイラーテープを用いた新形搬送局内ケーブルの特性について報告した。

(1) 搬送局内ケーブルのインピーダンスは360kcにて75Ω±10%と規定されているが，種々検討の結果，この規格にはいるケーブル構造を決定し製造条件を確立した。

(2) 搬送局内ケーブルの遠端漏話減衰量は360kcにて200m当り90dB以上と規定されているが，実測値は110dB以上であり十分余裕がある。これは各対をしゃへいしている銅テープのしゃへい損失によるものであるが，これを数値化するため円筒のしゃへい理論を適用し，銅テープの効果を確認した。

(3) 新しい試みとして銅テープの代りに銅粉蒸着マイラーテープを利用した新形搬送局内ケーブルを試作した。銅粉蒸着マイラーテープの等価蒸着厚さは約0.05μである。試作ケーブルの測定結果によると漏話減衰量は一応規格に合格したが，規格に対して裕度が少なく今後の研究によって結果をさらに明らかにしたい。

またインピーダンスそのほかの伝送特性は普通ケーブルと大差ないが，500kcまたはそれ以上の高周波になると漏えい減衰が増加する欠点があるのでこの場合にはケーブル構造の再検討が必要である。

終りに本研究に対し終始ご熱心なご指導を賜った日立電線株式会社電線工場水上副部長および測定そのほかにご協力いただいた三浦，長谷部の両氏ならびに関係者に深く感謝する。

参 考 文 献

(1) 電々公社：仕1929号(昭29-11)
(2) 電々公社：特仕2345号(昭30-12)
(3) H. Kaden：E. F. D **52**，174 (1939. 7)
(4) H. Meinke：E. N. T **17**，2 (1940. 2)
(5) 松本：北大応用電気研究所彙報 **6**，124 (昭30-3)