

ミリ波低損失伝送導波管

Circular Waveguides for Low-Loss Transmission of Millimeter Waves

都 木 周 作* 渡 部 満* 島 田 禎 晋*
Shūsaku Toki Mitsuru Watanabe Sadakuni Shimada
福 田 重 穂** 岡 本 邦 彦**
Shigeho Fukuda Kunihiko Okamoto

内 容 梗 概

新しい通信方式として、ミリ波の導波管伝送が内外各地において研究されつつある。本報告はこれに用いる銅管、らせん導波管などの試作を行ない、減衰量周波数特性の測定を行なった結果について述べたものである。試作導波管の減衰量は理想的銅管減衰量の1.4倍ないし2倍であって、良好な値であった。なお測定にはFMパルスのくり返し反射を利用する方法を用いた。

1. 緒 言

現在、超多重電話信号あるいはテレビジョン信号の中継に波長数センチメートルのマイクロ波電波が使用されていることは周知のとおりである。この、いわゆるマイクロ波通信はセンチメートル波電波の広帯域性を利用するものであり、これよりも1けた波長の短いミリメートル波（以下ミリ波と呼ぶ）を用いれば、さらに多数の情報を、より経済的に伝送することができると考えられる。このような見地からミリ波を用いる通信は次の有力な通信の形式と目され各方面でこれを実現するための研究が進められている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

現行のマイクロ波通信では空間を伝はん路とする無線方式が行なわれているのであるが、ミリ波帯では大気中の酸素などによる共鳴吸収、あるいは雨滴による散乱などに基づく減衰が無視し得ぬ大きさとなるので無線方式による通信は近距離の場合に限られ、長距離にわたる通信には導波管を用いて伝送を行なう導波管伝送方式が採用されるものと考えられている。この方式は波長に比して十分大きな円形導波管を用い、かつ特に減衰定数の小さい振動姿態(モード)を利用してミリ波の伝送を行なおうとするものであるが、これを実行するには後に述べるような種々の難点を解決しなければならない。このため上の導波管による低損失伝送の問題はミリ波通信を実現するうえでの最大の課題のひとつとされ早くから研究が行なわれてきた。

日立製作所中央研究所においては日立電線株式会社と協同して昭和35年よりこのミリ波低損失伝送導波管の研究に着手し、日本電信電話公社電気通信研究所の指導のもとに各種形式の導波管の試作とその特性測定を行なってきた。本論文においてはこれら導波管の減衰定数測定の方法とその結果について述べることにする。

2. 低損失伝送導波管の問題点

上に述べたように導波管を通信伝送路として使用する場合の要件は

- (A) 減衰定数が小なること
- (B) 信号伝送時のひずみが小なること

の2点であり、さらに実際的な見地からはその価格が低廉なことも重要である。低損失導波管としては現在内径51mmのものが標準的とされているが、この径の完全円形銅管を用い波長6mm(周波数50GC/S)の電波を低損失モード(TE₀₁モード)で伝送したときの理論減衰定数は1.1dB/kmである。この値は通信を実行するのに十分なものである。次に第2の点であるが、導波管は本質的なひずみ

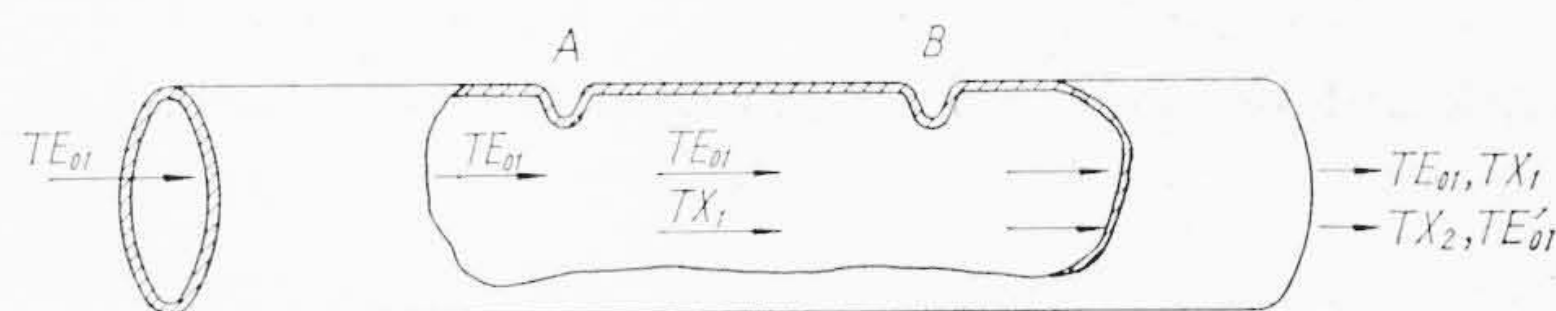
の原因を有している。すなわち、導波管においては、この中を電波が伝はんするときの群速度が周波数によって異なるので、伝送信号によって変調されたミリ波が通過する場合には各側波帯成分の受信点到達時刻に差が生じ、位相ひずみ(遅延ひずみ)が発生する。このひずみは導波管を使用する以上これを避けることができないが、遅延等化回路を付加することによりこれを補償することが可能である。

以上は完全に理想的な導波管について述べたのであるが、現実の低損失導波管では次に述べる不要モードの影響のために上の2要件が必ずしも満たされなくなる。上に述べたように低損失な伝送を行なうためにはTE₀₁なるモードを利用するものであるが、このように径の大きな導波管ではこのほかにきわめて多数のモードが存在し、導波管に機械的な不完全があると、これらモード間に相互変換(モード変換)が発生する。第1図がこれを模型的に示したものである。図の左方から進行して来た低損失TE₀₁波は不完全点Aにおいてその電力の一部がほかのモードTX₁に変換し、2つのモードに別れて右方に進むが、このTX₁モードは減衰定数がTE₀₁モードに比して大きいのでこのような場合全体としての導波管損失は増大する。またさらに第2の不完全点BにおいてはTX₁モードからもとのTE₀₁モードへの再変換が生ずる。このとき、TX₁モードの伝はん速度はTE₀₁モードのそれを相異なるので、再変換の結果生じたTE₀₁波と、もともとTE₀₁モードで進行してきた波の間には位相差があり、これがひずみの原因となる。

このようにモード変換の現象は上に述べた通信線路としての2要件に影響を与えるのであるが、これの原因となる導波管の不完全性としては、直径変化、継ぎ目の食い違いなどのほか導波管の曲がりなどもこれに加わる。このような現象の対策としては次の二つの方法が考えられる。すなわち

- (A) 導波管の寸法精度を厳しくおさえ、またモード変換が発生しにくいようにその構造をくふうする。
- (B) モード変換によるひずみに対して強い、通信方式を採用する。

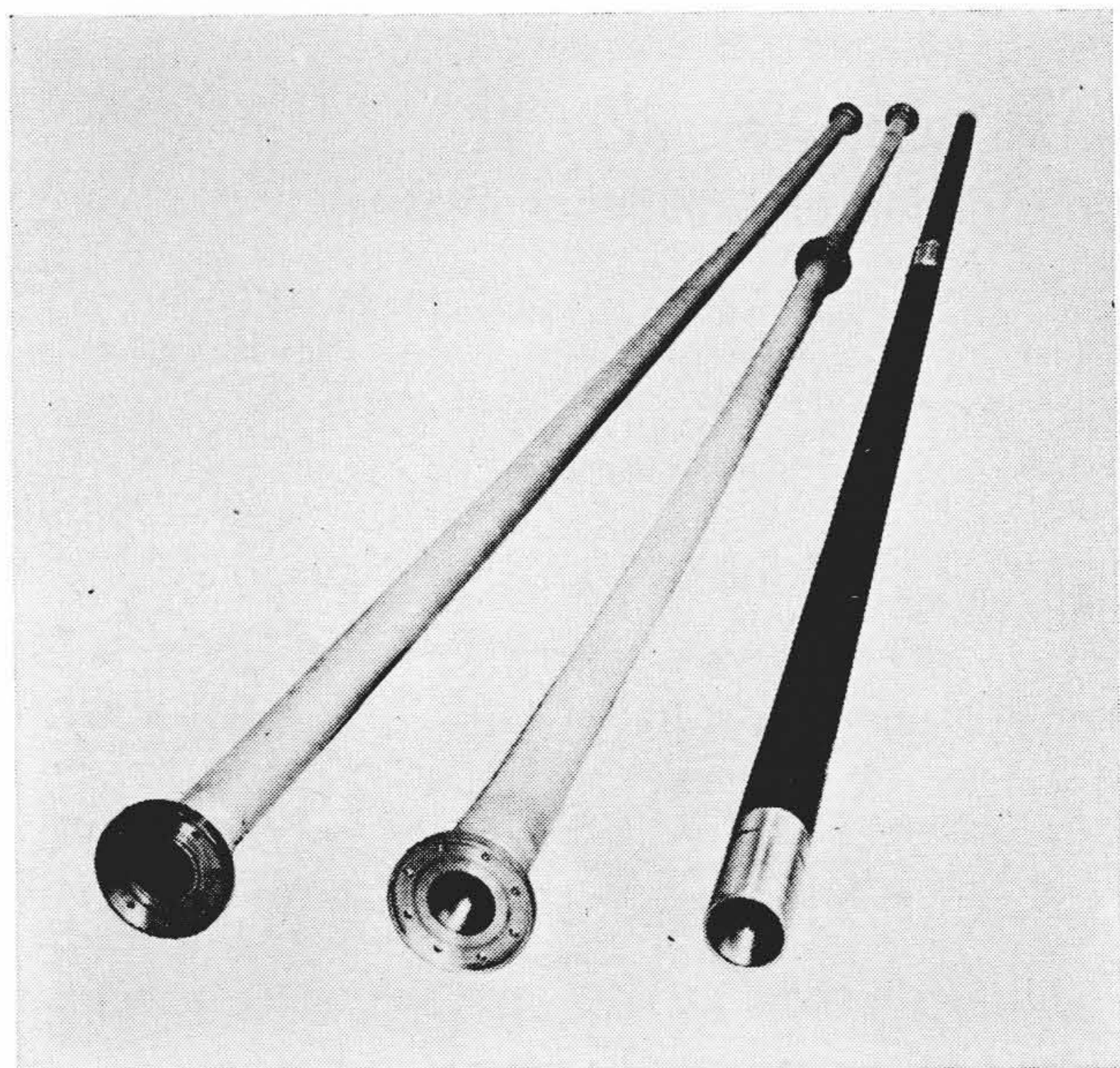
第1の考え方としては、らせん状の構造をもつらせん導波管、特に曲がり部分に用いてモード変換の少ない誘電体内装導波管などが考えられており、第2の考え方としては、ひずみに対して強い符号変



第1図 モード変換—再変換現象説明図

* 日立製作所中央研究所

** 日立電線株式会社電線工場



左 銅管 中央 積層形らせん管 右 銅管外装らせん管

第2図 試作導波管

第1表 試作導波管の構造および寸法

	銅管	積層形らせん管	銅管外装らせん管
単位長 (m)	5	2.5	2.5
内径 (mm)	51	51	51
外径 (mm)	59	62	63.5
銅管肉厚 (mm)	—	—	3.5
らせん線種	—	一種ホルマール銅線	一種ホルマール銅線
らせん線径 (mm)	—	0.23 (外径 0.28)	0.23 (外径 0.28)
損失層	—	導電性絹テープ (2層)	導電性絹テープ (2層)
誘電体層厚 (mm)	—	約 5.5	約 2.4
接続方法	フランジ接続	フランジ接続	スリーブ接続
接続部外径 (mm)	110	110	71.5

調(PCM)方式の採用が有効である。

実際の通信線路においてさきに示した2要件を、数値的にどのように押えるべきかは、方式設計の雑音配分の観点から定まるのであるが、これはたとえば使用する送信管の出力などとも関連し、今日これを決定するには至っていない。本論文においてはこの2要件のうち第一の減衰定数の観点からの実験について述べるのであるがこれらふたつの間に密接な関連があることはさきにも説明したとおりである。

3. 試作導波管の概要

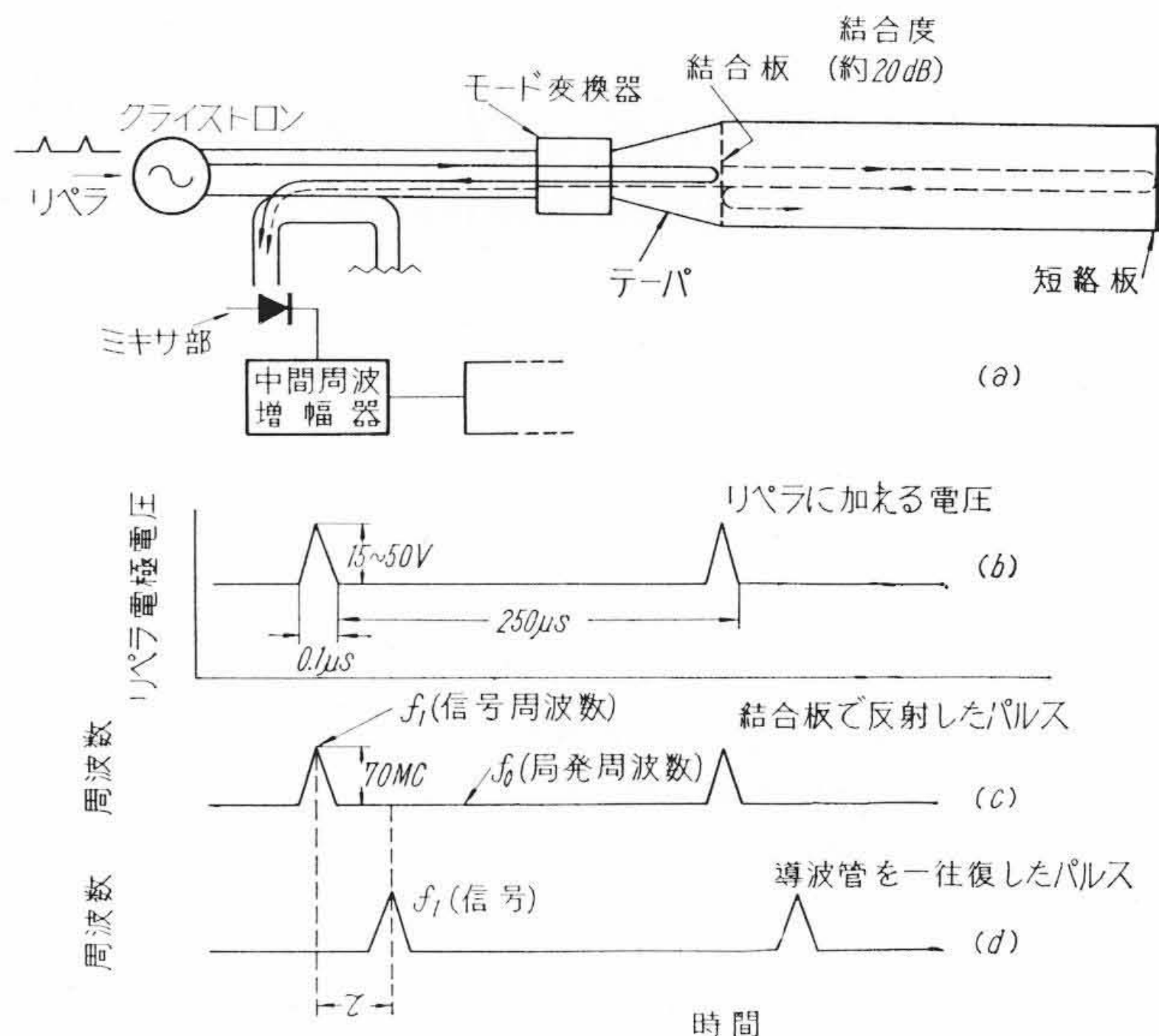
試作を行なった導波管のおもなものは

銅管

積層形らせん導波管

銅管外装らせん導波管

の3種類である。第2図にその外観を、第1表に構造および寸法を示す。また各導波管 50 m について測定した各部寸法精度を第2表に示す。なお銅管はブローチ加工によって製作した。上記導波管中積層形らせん導波管とは高精度に仕上げた心金に絶縁銅線をらせん状に密巻きにし、ガラス繊維テープとエポキシ樹脂によって固化、成形した導波管である。銅管外装らせん管は前記らせん管に機械的強度を付与するために銅管を外装したものである。これららせん導波管は低損失伝送に用いる TE_{01} 波 (一般には TE_{0n} 波) に対して、銅管と同様に低損失であり、その他の波 (不要波) に対して高い減衰を与えるという特長を持っているので、不要波を除去するろ波器 (モードフィルタ) として用いることができるほか、らせん導波管のみによって伝送路を構成することも可能である。



第3図 FMパルス法の解説図

なお銅管外装らせん導波管の接続にはスリーブ接続方式を用いた。

4. 導波管減衰量の測定

4.1 測定法

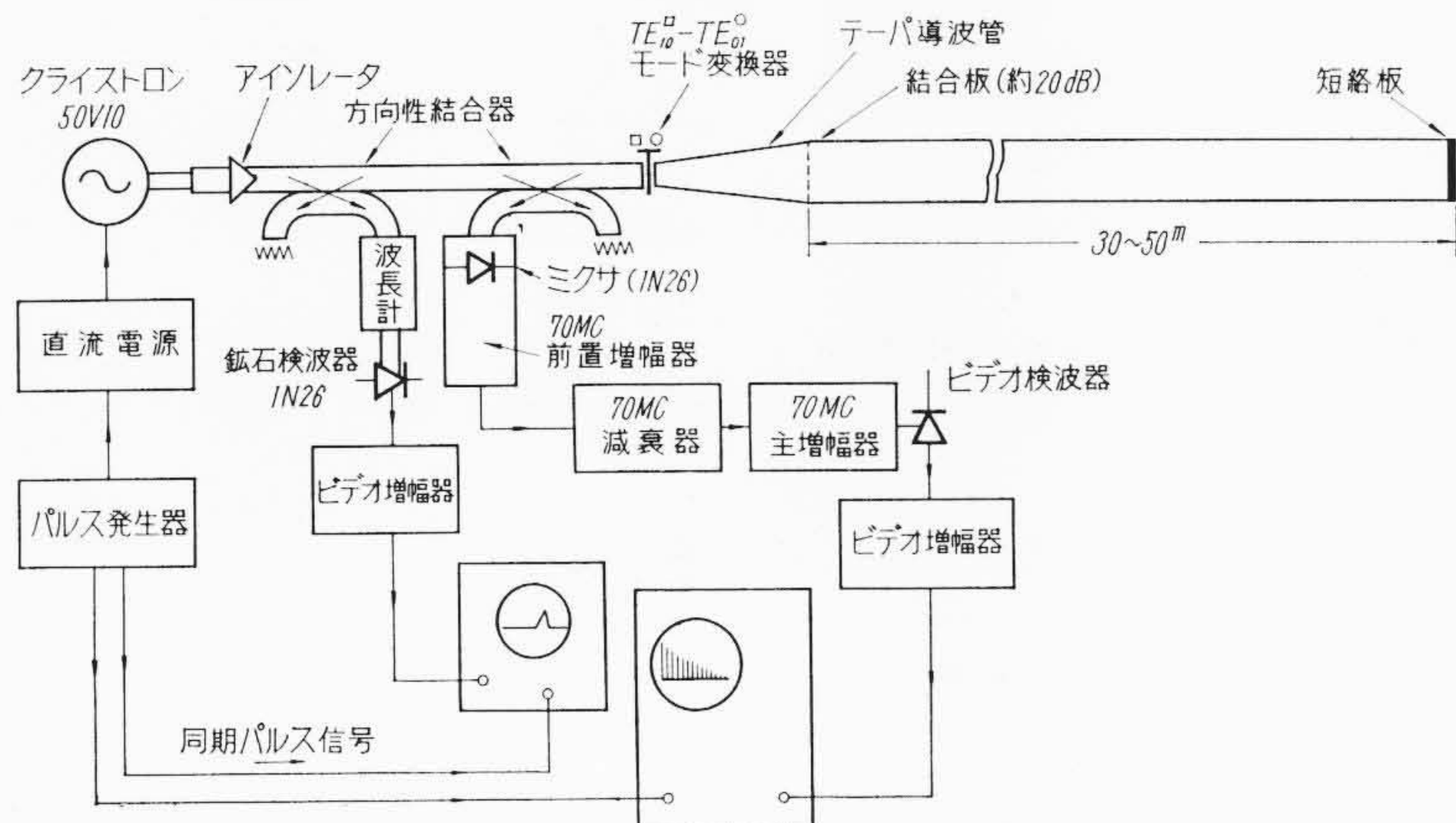
低損失導波管の減衰量測定には一般に用いられているパルス反射法 (Shuttle Pulse 法) を用いた。その原理は次のとおりである。両端を短絡した供試導波管に、疎結合の励振用導波管よりパルス変調されたミリ波を送り込み、導波管内をくり返し反射、往復させると導波管減衰量に応じてパルス高は次第に減少してくる。これをやはり疎に結合した検波器によって検出し、増幅した後オシロスコープに加えると、オシロスコープには次第に高さを減じてゆくパルス列が得られる。このパルス列の各パルスは導波管内を一往復するたびにパルス高の減少する模様を示しているもので、これから導波管の減衰量を求めることができる。これに用いるミリ波の変調形式は振幅変調、周波数変調のいずれを採ってもよいが、日本電信電話公社電気通信研究所のご指導によって周波数変調パルス (FMパルス) を用いることとした。このFMパルスを用いる方法はアメリカBell研究所において開発されたもので⁽⁴⁾、局部発振信号源を用いないで、ヘテロダイン検波を行なう巧妙な方法である。第3図はFMパルス法の原理を示したものである。第3図(a)は回路構成を示す図であって、クライストロンのリペラ電極に第3図(b)のようなパルス電圧を加えるとパルスでFMされたミリ波出力が得られる。リペラ直流電圧、パルス電圧を適当に調整することによって、第3図(c)のようにパルスの頭部の周波数 f_1 とその部分の周波数 f_0 の差 $f_1 - f_0$ が受信機の間周波数 (たとえば 70 Mc) とひとしくするようにする。今 f_1 なる周波数のパルス部分に注目しよう。クライストロンから出たパルスはモード変換器を通り、結合板に至るが、結合板が約 20 dB の結合度になっているので、入射した波はほとんど反射され、約 1% の電力が結合板を通して供試導波管内にはいる。供試導波管内を1回往復して受信機のミキサ部に到達したパルスについてみると、長さ L (m) の導波管線路内を1往復するたびに、結合板前面で反射された波に対して

$$\tau = \frac{2L}{v_g} \doteq \frac{2L(m)}{300} \mu s$$

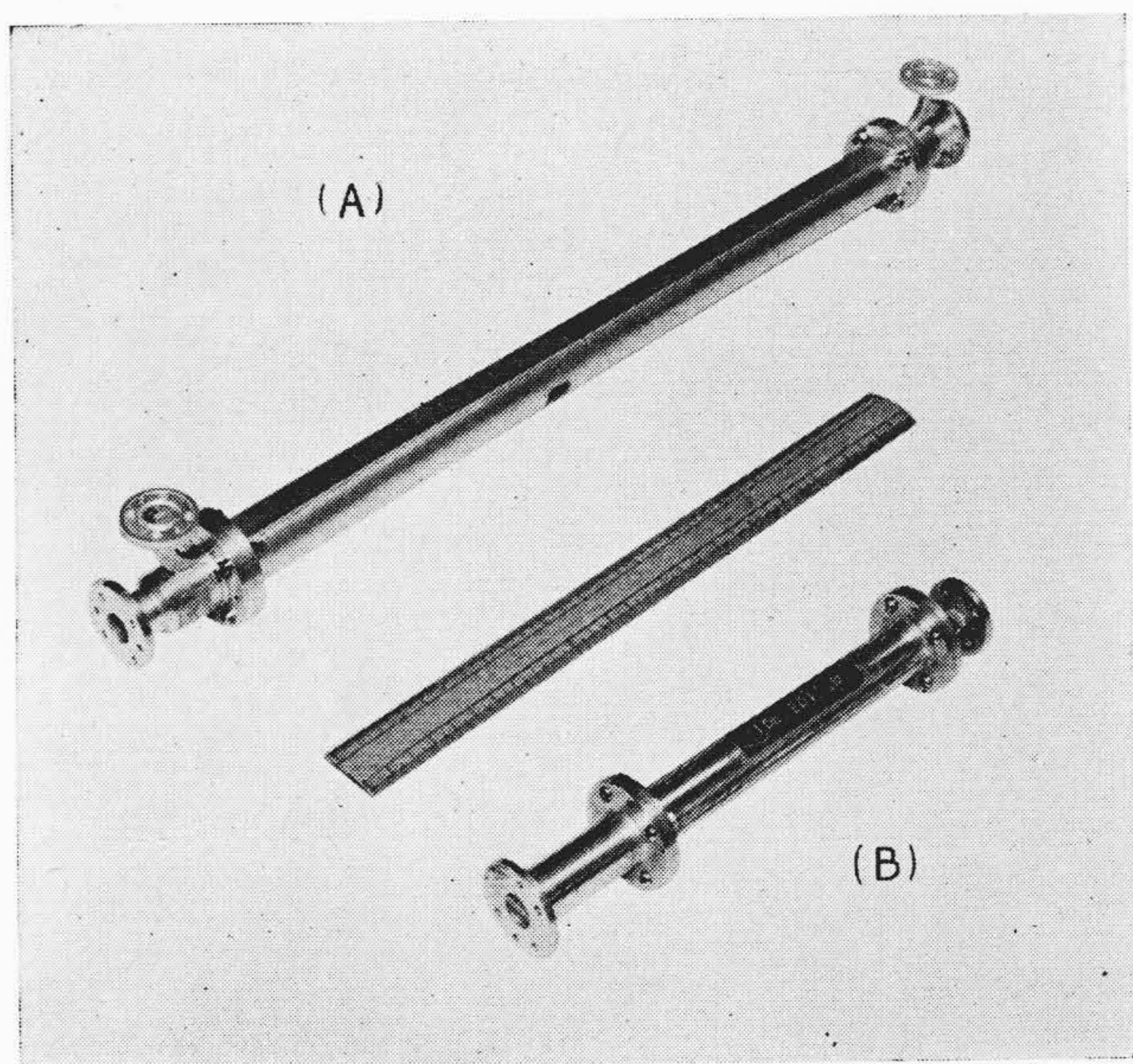
ここに v_g : 導波管内における電波の群速度
なる時間のおくれを生ずる。言い換えれば、結合板で反射されたミリ波は τ だけ進んでいる。したがって第3図(c)(d)から明らかな

ように f_1 なる周波数のパルスがミキサ部に達した時間に、結合板で反射されたミリ波の周波数は f_0 となっているので、周波数 f_0 の波が局部発振電力として作用し、ミキサ部で $f_0 - f_1 = 70 \text{ Mc}$ の中間周波信号が発生する。以上は供試導波管線路内を1往復したパルスについて考えたが、多数回反射、往復をくり返したパルスも同様に受信され、減衰してゆくパルス列が観測される。

第4図に測定装置の構成を示す。図中、結合板というのは導波管断面に一樣分布となるように 1.5ϕ の小孔をあけた薄い銅板である。

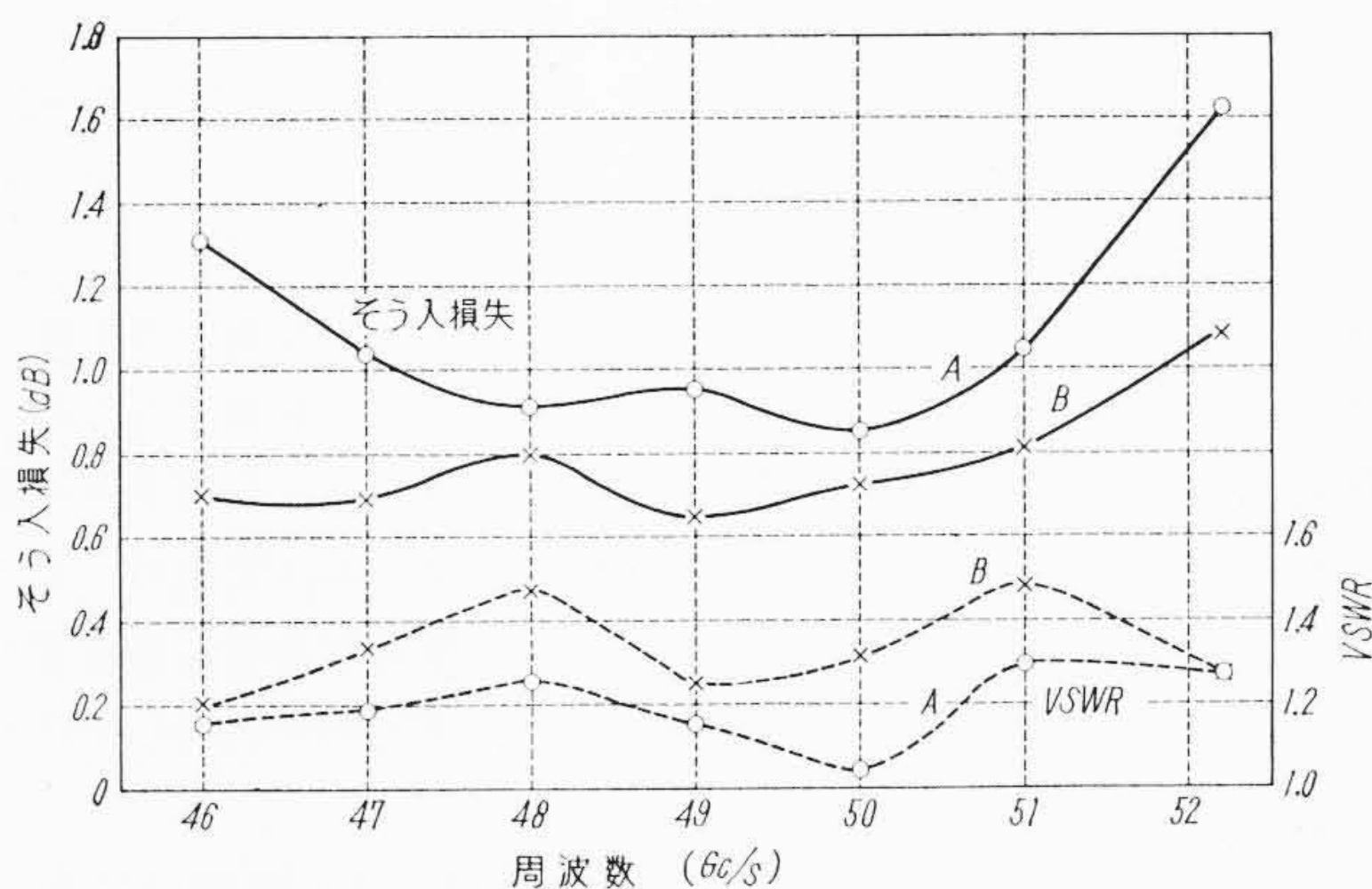


第4図 測定装置の構成



(A) 結合孔が円形導波管の管壁にある形
(B) 結合孔が円形導波管の中心軸にある形(中心励振形)

第5図 試作したモード変換器



(A)(B)は第5図(A)(B)に対応している

第6図 $\text{TE}_{10}^0 - \text{TE}_{01}^0$ モード変換器の特性

る。

4.2 立体回路部品

測定回路の構成に要する立体回路部品のうち、円形導波管に関する部品は新たに設計試作を行なった。これらのうちモード変換器、テーパ導波管についてその概要を述べる。

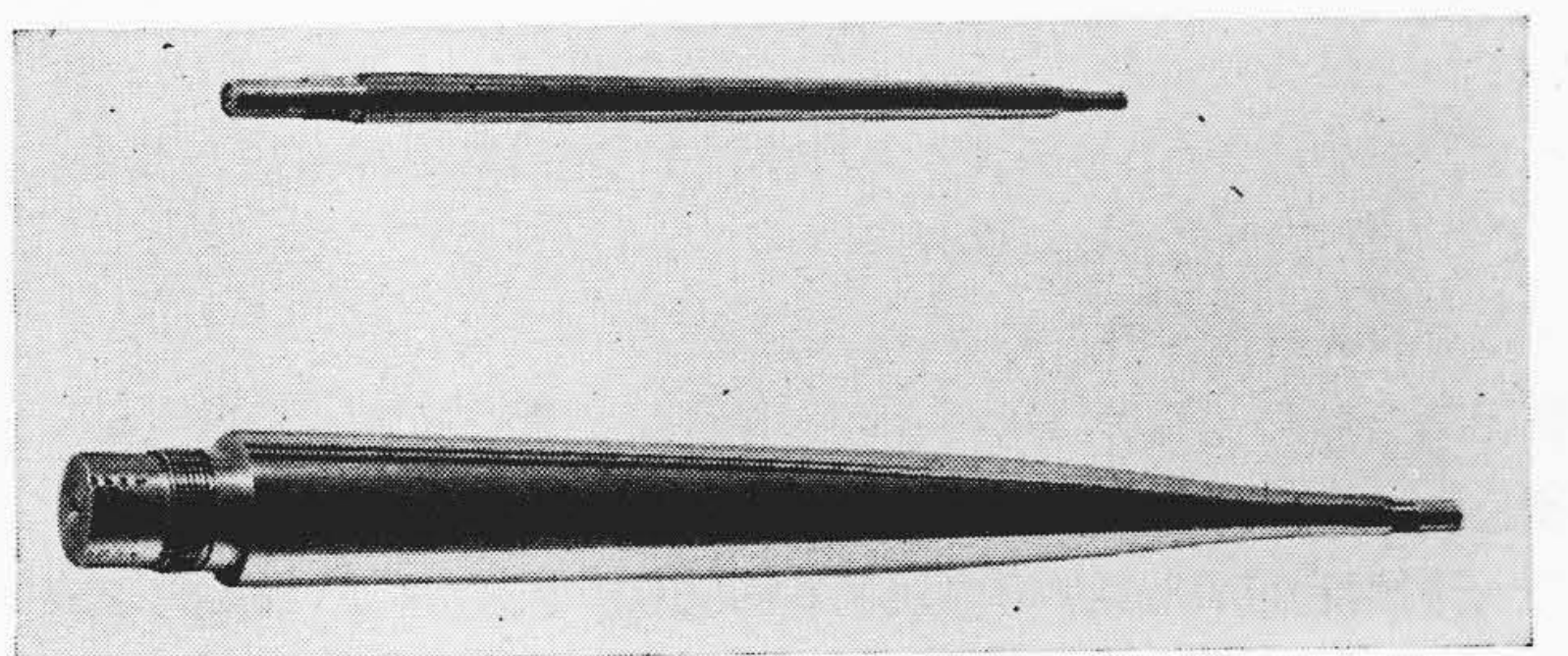
4.2.1 モード変換器

低損失伝送を行なうには円形導波管内にできる限り純粋な TE_{01} 波を励振する必要がある。これに対して発振管、一般測定器などは方形導波管の TE_{10} 波を用いている。したがって方形導波管の TE_{10} 波と円形導波管 TE_{01} 波の間の変換を行なう必要がある。この変換を行なうモード変換器としては、大別してテーパ形⁽⁵⁾、方向性結合器形⁽⁶⁾⁽⁷⁾および共振孔形⁽⁸⁾がある。これらを製作の難易、電気的特性などの点から総合的に検討した結果、方向性結合器形の試作を行なうこととした。その後空洞共振器形モード変換器を考案した⁽¹⁰⁾。この形式のものは広い帯域を要しない場合は有効かつ簡易な方法である。

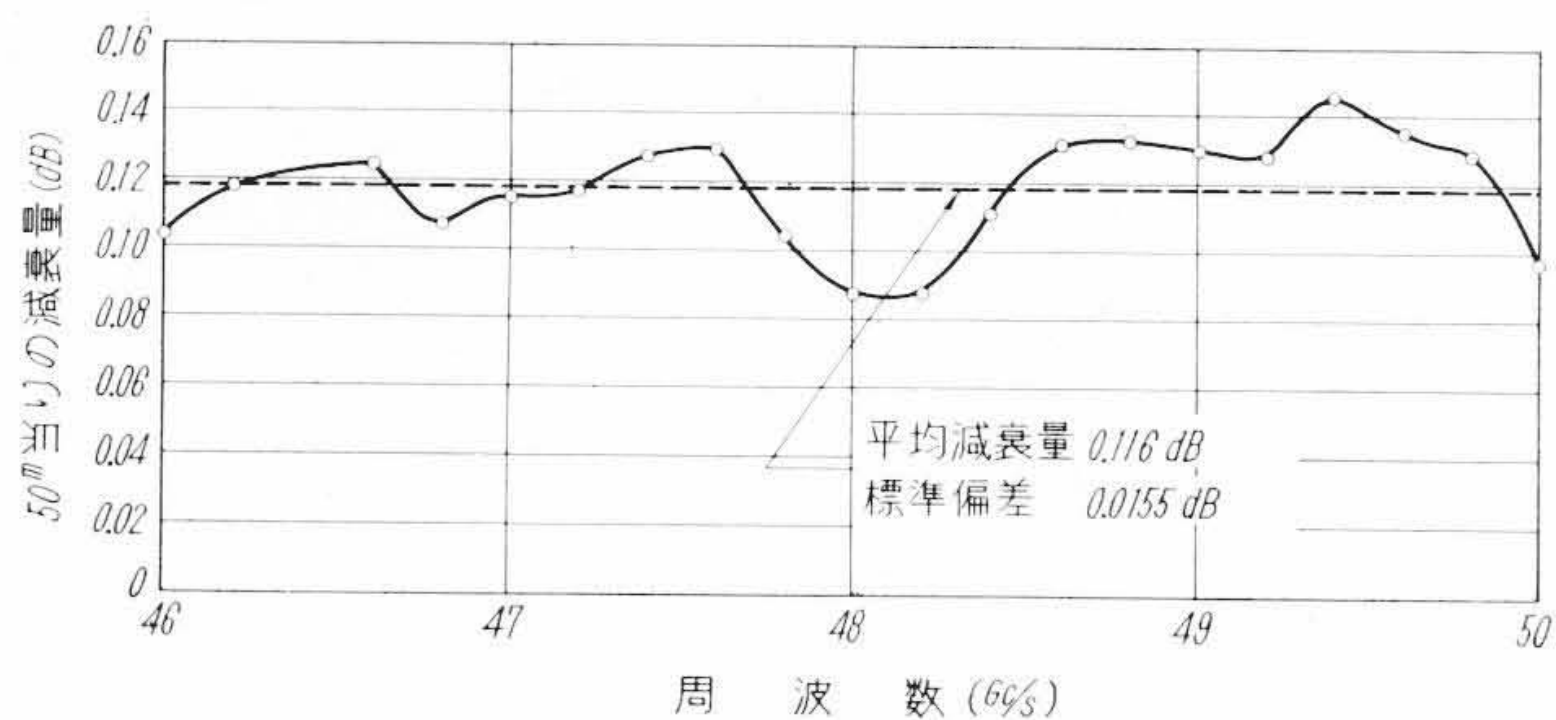
方向性結合器形モード変換器の代表的なものとしては、方形導波管と円形導波管を連絡する結合孔が、円形導波管の管壁に分布した形 (S. E. Miller 氏の発表したもの⁽⁶⁾)。第5図(A)に示す) および結合孔が2分割した円形導波管の中心軸に沿って分布した形 (日本電信電話公社電気通信研究所において開発されたもの⁽⁷⁾)。第5図(B)に示す) があるが、両者を同一の設計基準で設計・試作した⁽⁹⁾。いずれも円形導波管の直径は 12.3ϕ である。試作品の電気的特性測定結果を第6図に示した。図中、そう入損失は測定時に用いたモードフィルタその他の損失を補正した値である。これらの値は周波数 50 Gc における方形導波管 (WRJ-50) の損失が表面状態により、往々にして 2 dB/m (理論値 1 dB/m) となることから見て、複雑な構造を有するモード変換器の損失としてはおおむね良好な値と考える。

4.2.2 テーパ導波管

モード変換器の径は 12.3ϕ であり、主導波管は 51ϕ であるので、両者を接続するためにテーパ導波管を必要とする。テーパ導波管は TE_{01} 波を伝送するとき、高次モード TE_{0n} 波 (特に TE_{02} 波) を発生する。この高次モードは発生量の多いときはモード変換一再変換現象によって、減衰量測定に悪影響を及ぼすのみならず、通信に用いるときには信号をひずませる作用があるので、 TE_{02} 波の発生量を特に少なく押えたテーパ導波管を用いる必要がある。 TE_{02} 波の発生を押える方法としては種々あるが、もっとも全長を短く製作しうるレイズド・コサイン・テーパ⁽¹¹⁾を採用し、 TE_{02} 波発生量を 40 dB にとって製作した。このテーパは曲線断面を有する回転体であるので、テーパ内面と同一形状寸法を有する心金を製作し、らせん導波管の製法と同様の方法によって製作した。第7図に心金の外観を示す。

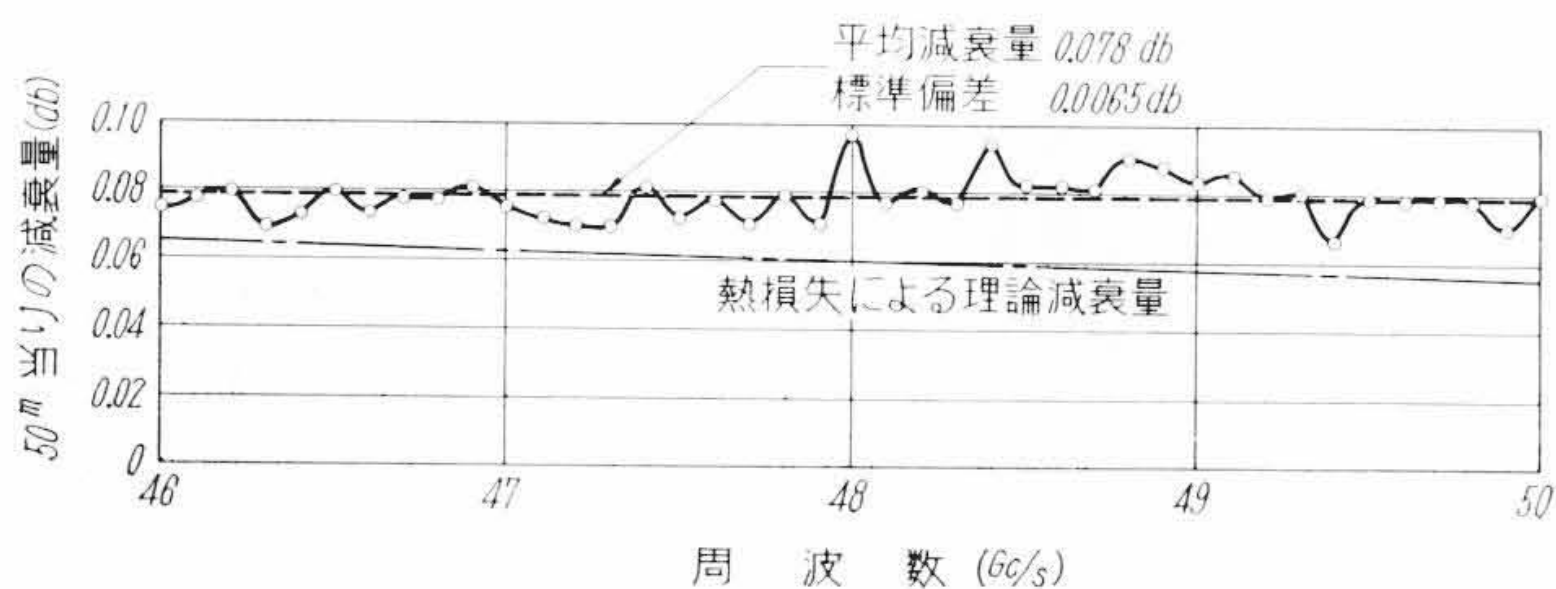


第7図 レイズド・コサイン・テーパの心金



(両端に5m長のらせん導波管を付加した状態にて測定)

第8図 銅管の減衰量周波数特性



第9図 銅管外装らせん導波管の減衰量周波数特性

5. 試作導波管の特性

5.1 銅管

銅管のみによって構成した線路にパルスを多重反射させ、減衰量測定を行なうときは、さきに述べたモード変換—再変換現象によって、 TE_{01} 波以外の波の影響を強く受けるので、得られた減衰量から長距離線路の減衰量を換算によって求めることは不適當である。 TE_{01} 波以外の波の影響を除くには測定対象である銅管線路の一端または両端にモードフィルタを加え、パルスが反射をくり返すたびに、不要波成分を吸収させることが必要である。ここに述べる測定は、線路の両端にモードフィルタとして積層形らせん管各5mを付加した状態にて行なったものである。このような構成の線路において、46~50 Gcの周波数範囲を0.2 Gcごとに1往復減衰量を測定し、回路の固定損失を補正して50 m 線路の減衰量周波数特性を求めた。第8図はその結果である。平均減衰量は0.116 dB、標準偏差0.0155 dBであって、1 km 当たり減衰量に換算すると2.32 dBとなる。この値は51φの理想的な銅管の減衰量1.1 dB/km (50 Gc)の約2倍となっている。なお第8図に示したように、測定は周波数間隔を0.2 Gcにとって実施し、測定点を連結して示したが、銅管の減衰量周波数特性は細部を検討すれば、さらにこまかい変化を示すものと考えられるので、図示した曲線そのものを周波数特性と見ることは適當ではない。

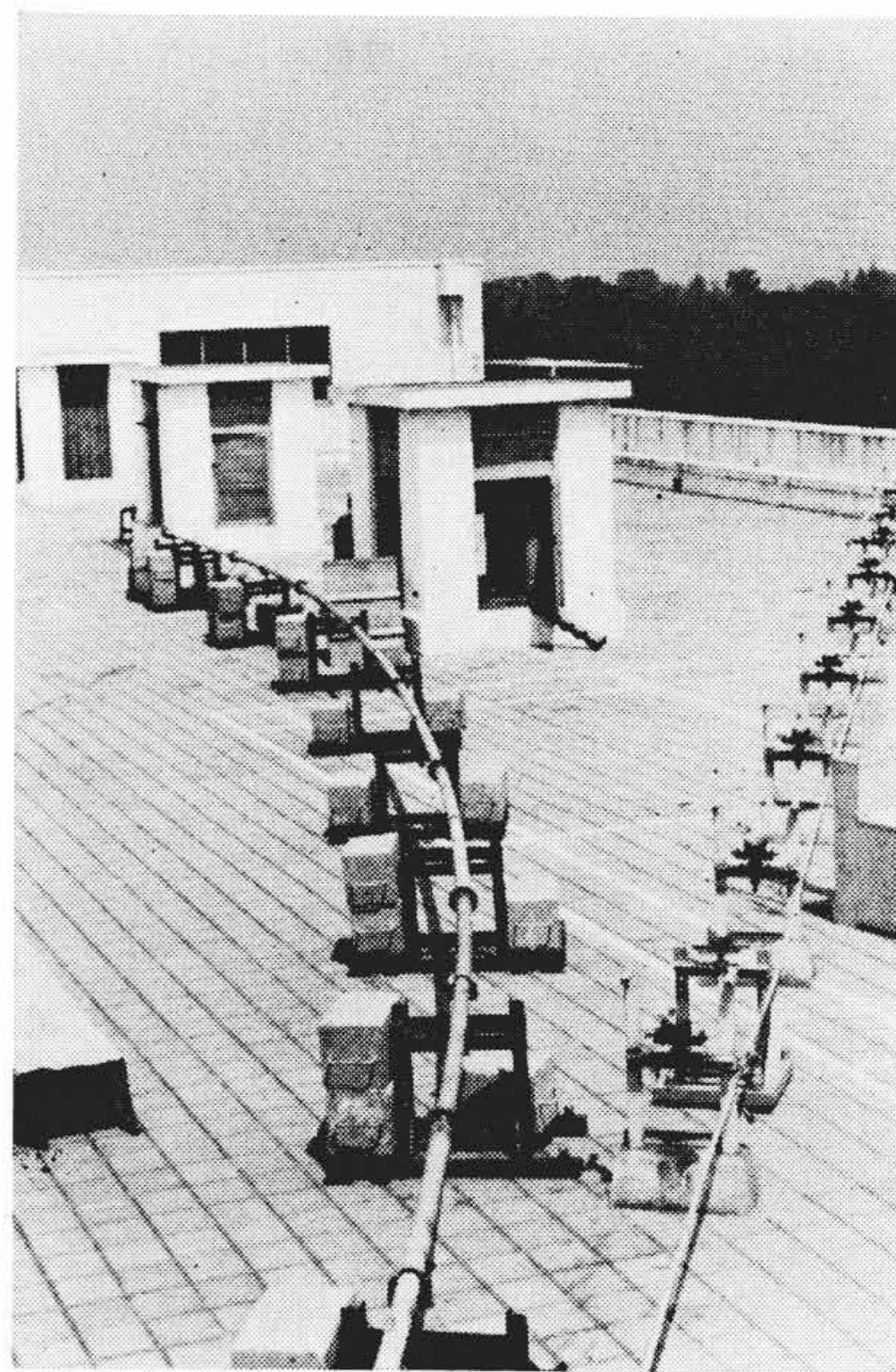
各導波管とも測定にあたっては管内空気を窒素で置換えた。

5.2 積層形らせん導波管

試作導波管50 mの1往復減衰量を47~52 Gcの周波数範囲にわたって0.1 Gcごとに測定し、固定損失を補正して求めた50 m 当たりの平均減衰量は0.083 dB、標準偏差は0.077 dBであった⁽¹²⁾(この測定は日本電信電話公社電気通信研究所のご好意により、同所において行なわれたものである)。この平均減衰量は1.66 dB/kmに相当し、理想的な51φ銅管の減衰量の1.5倍に相当する値である。

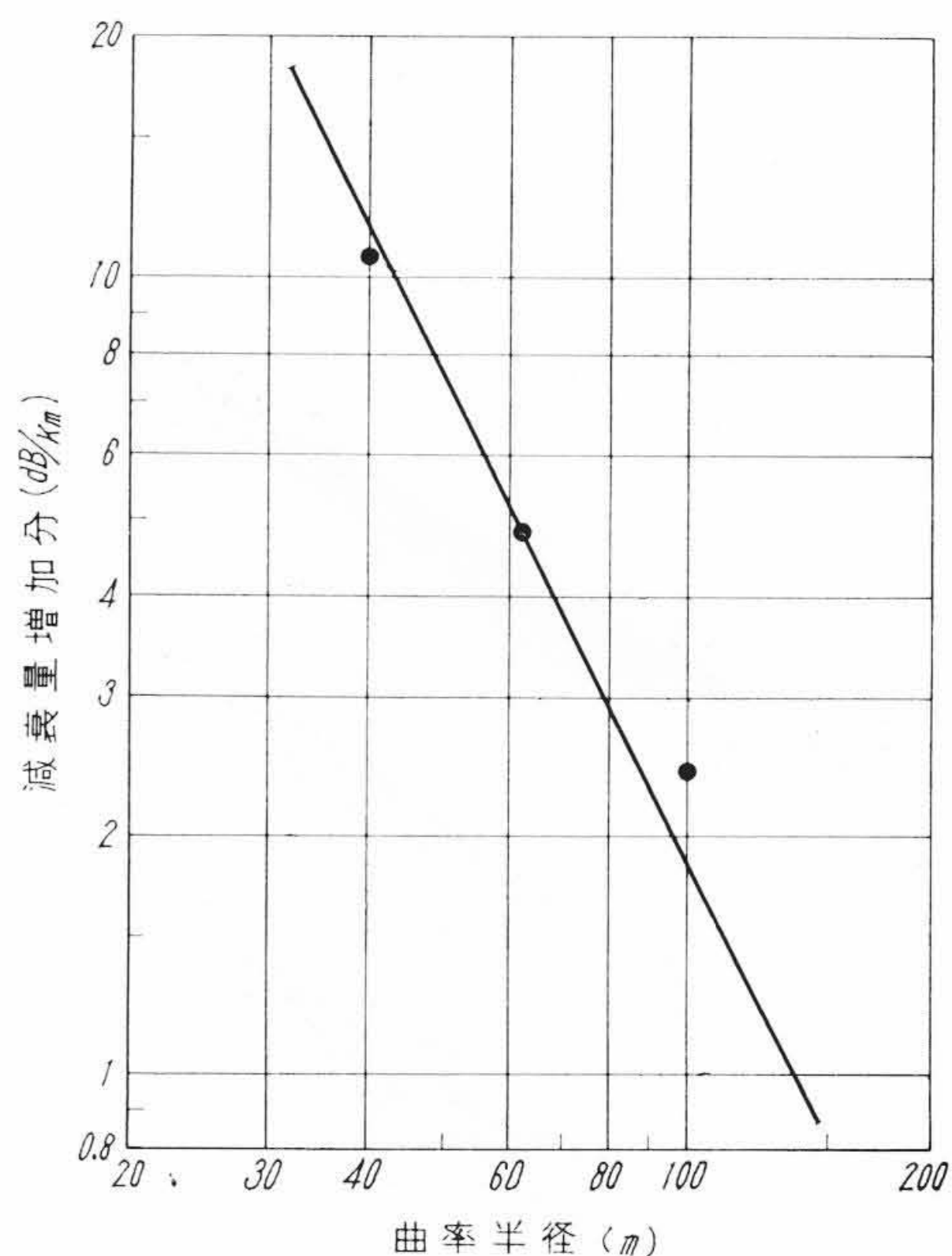
5.3 銅管外装らせん導波管

銅管外装らせん導波管50 mを直線状に布設し、46~50 Gcの周波数範囲にわたって0.1 Gcごとに1往復減衰量を測定し、固定損失を補正して求めた50 m 当たりの減衰量周波数特性を第9図に示す。平均減衰量0.078 dB、標準偏差0.0065 dBであって、1.56 dB/kmの減衰量に相当する。この値は51φの理想的銅管減衰量の1.4倍に当



(曲率半径: 40m)

第10図 一様曲がり線路の減衰量測定



第11図 一様曲がりによる減衰量増加

たる。

5.4 一様曲がりの実験

すでに述べたように低損失伝送に用いる51φの導波管は多くのモードが伝送可能な条件下にあるので、たとえ純粋の TE_{01} 波を伝送していても、導波管を曲げた場合には不要波の発生が不可避である。特に銅管の場合には TE_{01} 波と TM_{11} 波が縮退しているので、導波管管軸が曲がった場合、 TE_{01} - TM_{11} 間のモード変換—再変換効果が著しく、 TE_{01} 波の損失が増大する。この効果を軽減するために銅管については TE_{01} 波と TM_{11} 波の位相速度を異ならせる(=縮退を解く)方法が種々考案されているが、らせん導波管を用いることも損失増加軽減の一方法である。ここには積層形らせん導波管を一様曲がりとしたとき生ずる減衰量増加分の測定結果について述べることにする。

測定は約30 mの直線状らせん導波管に供試らせん管25 mを縦続接続し、直線時ならびに供試部分を曲率半径100 m, 62 m, 40 mの

第2表 試作導波管の寸法精度

種 別	導 波 管 部			接 続 部	
	平均直径 ⁽¹⁾ (μ)	rms 直径偏差 (μ)	rms だ円度 (μ)	食い違い (μ)	折れ曲がり (分)
銅 管	-16.2	8.5	15.2	50*	2.0 ⁽²⁾
積層形らせん管	-12.2	6.4	10.1	50*	1.7 ⁽²⁾
銅管外層らせん管	-4.0	7.7	15.3	42	2.0 ⁽³⁾

(1) 51.00 ϕ よりの偏差を示す。

(2) フランジ直角度。

(3) スリーブの折れ曲がり。

* 推定値。

第3表 減衰量増加分の原因別配分(その1)
(銅管：接続間隔 5m)

	導 波 管 部		接 続 部		表面状態 その他	計
	rms 直径偏差 (μ)	rms だ円度 (μ)	rms 食い違い (mm)	rms 折れ曲がり (分)		
平均減衰量を1dB/km増加させるひずみ量	25	90	0.3	13		
ひ ず み 量	8.5	15.2	0.05*	2.0		
減 衰 増 加 分 dB/km	0.12	0.03	0.03	0.02	1.02	1.22

* 推定値

第4表 減衰量増加分の原因別配分(その2)
(らせん導波管：接続間隔 2.5m)

	導 波 管 部		接 続 部		表面状態	その他	計
	rms 直径偏差 (μ)	rms だ円度 (μ)	rms 食い違い (mm)	rms 折れ曲がり (分)			
平均減衰量を1dB/km増加させるひずみ量	25	90	0.22	9			
積層形	ひ ず み 量	6.4	10.1	0.05*	1.7**	0.2*	0.19
	減 衰 増 加 dB/km	0.07	0.01	0.05	0.04		
銅管外装	ひ ず み 量	7.7	15.3	0.042	2.0	0.2*	0.03
	減 衰 増 加 dB/km	0.10	0.03	0.04	0.05		

* 推定値

** フランジ直角度

曲がりとしたときの減衰量を測定した。第10図は供試部分を曲率半径40mに曲げた状態を示す写真である。測定法は直線状線路の場合と同様であって、46～50Gcの周波数範囲で減衰量周波数特性を測定し、その平均減衰量から測定回路の固定損失、直線部らせん管の損失を補正して、一様曲がりとしたときの減衰量増加分を求めた。第11図はその結果であって、図中の実線は測定によって求めた点に最も近い2乗の直線である。これより減衰量を1dB/km増加させる曲率半径は約140mであって、減衰量増加分はおおむね曲率半径の2乗に反比例していることがわかる。

5.5 測定結果に対する考察

以上各種の測定について述べたが、これらの測定結果の

(A) 測定値と理論的減衰量との差

(B) 周波数特性の持つゆらぎ

について考えることとする。

5.5.1 減衰増加分の検討

低損失伝送に用いる導波管は多重モード導波管であるので、各種の不完全に起因するモード変換によって減衰量増加を招く。この不完全には、導波管部、接続部のひずみ、表面状態、布設状態など種々あるが、このうち導波管部の直径偏差、だ円度、接続部の折れ曲がり、食い違いなどの不完全量と減衰量増加分の関係について、理論的に⁽³⁾⁽¹³⁾、あるいは実験的に⁽¹²⁾明らかにされている。これらの関係と、第2表に示した不完全量とから、文献(12)の手法によって、各導波管の減衰増加分の検討を試みた。第3表は銅管の値、第4表はらせん導波管の値である。銅管の場合、測定値と理想的銅管の減衰量の間に1.22dB/kmの差がある。このうち導波管部、接続部に配分した増加分はわずか0.2dB/kmであり、

表面状態を含むその他の項が約1dB/kmとなり、増加分を十分説明できない。これについては、本導波管は軸のうねり曲がりの測定を行っていないが、加工前より軸のうねりが大きく認められたので、軸の偏差14 μ でもって1dB/kmの減衰増加⁽³⁾をもたらすことから見て、軸のうねり曲がりによる減衰増加が相当大きな部分を占めているものと考えられる。

5.5.2 周波数特性のゆらぎ

各導波管とも周波数特性にゆらぎがあり、その標準偏差はらせん管で平均値の8～9%、銅管で13%となっている。このようなゆらぎを生ずる原因として

(A) 測定誤差によるもの

(B) 導波管自体の特性

(C) 測定法の欠かんによるもの

の3項目が考えられる。このうち(A)項誤差によるものはほかの2項目と独立な原因によるものゆえ分離可能である。誤差による標準偏差を求めるために、銅管外装らせん管を用い、4個の周波数において、各周波数共5回、同一の測定をくり返し、標準偏差として0.0052dBの値を得た。この値は誤差による偏差と考えてよい。(B)項はモード変換—再変換によって生ずるものであり、測定の目的とする量である。また(C)項測定法の欠かん、というのは多重反射を用いる点にある。すなわちパルスを多数回往復、反射させて減衰量を測定する方法をとると、モードフィルタを含まない線路においては、パルスの往復、反射時に発生した不要波が、ある特定の周波数では同相で加わって、極端なTE₀₁波の損失を招き、ほかの周波数では打ち消されるために減衰量は熱損失程度となる。したがって周波数特性には極端に鋭いピークを生ずることとなる⁽¹⁴⁾。らせん導波管線路あるいはモードフィルタとしてらせん管を用いた銅管線路の減衰量測定におけるTE₀₂波の場合を考えると、らせん管はTE₀₂波に対してモードフィルタ効果を示さないので、これらの線路はTE₀₂にとってはモードフィルタを含まない線路と等価であり、上述のように周波数特性をひずませる結果を招くことになる。

以上周波数特性にゆらぎを生ぜしめる原因について述べたが、次に各導波管の値について述べよう。

(1) らせん導波管

積層形ならびに銅管外装らせん管の標準偏差はそれぞれ0.0073dB、0.0065dBであり、誤差による偏差を補正するとそれぞれ0.0057dB、0.0039dBとなる。この偏差の大部分は直径変化によって発生したTE₀₂波によって生じたものと考えられるが定量的に明らかにすることはできない。

(2) 銅 管

銅管の場合は標準偏差が0.0155dBとなり、らせん管と比較して約2倍の大きな値となっている。これは銅管50mの両端に5mのモードフィルタを付加した状態における値であり、この偏差の主要部分は銅管部50mの区間に発生したモード変換、再変換によって生じたものである。したがって銅管とモードフィルタの構成比率(上例は50:10)が変化すれば、変わる値であり、実験によると上記銅管とらせんの比率を35:10としたときの偏差は0.0092dBと減少している。

6. 結 言

以上ミリ波低損失伝送用導波管として試作した銅管、積層形らせん管および銅管外装らせん管の減衰量測定を行なった結果を述べた。試作導波管はいずれも低損失であったが、なかでも銅管外装らせん導波管は機械的強度の点でもすぐれており、将来実用に供せられる見込みの強い導波管といえよう。

今後の問題としては、製造方法を改善して経済性を高めるとともに線路弯曲部の問題、布設の問題など実用上の問題点の解決、信号伝送時のひずみの検討などが考えられる。

終わりに導波管試作、特性測定などに関してご指導いただいた日本電信電話公社電気通信研究所超高周波研究室の小口室長はじめ研究室の各位に深く感謝の意を表わすとともに、社内関係者のご協力に対して衷心よりお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) S. E. Miller: B. S. T. J., 33, No. 6, 1209 (NOV. 1954)
- (2) S. E. Miller: Microwave Res. Inst. Symposia Series, 9, 25, (1960, Polytechnic Press, New York)
- (3) 清水: ミリ波の伝送, 電子・通信工学講座 (昭 36, 共立出版)

- (4) A. P. King: I. R. E. WESCON Conv. Rec., 4, Pt-1, 28 (1960)
- (5) S. Iiguchi: Microwave Res. Inst. Symposia Series, 9, 595 (1960, Polytechnic Press, New York)
- (6) S. E. Miller: B. S. T. J., 33, No. 3, 661 (May. 1954)
- (7) 小口, 山口: 通研実報, 7, 827 (昭 33)
- (8) たとえば野田: 通研実報, 9, 1056 (昭 35)
- (9) 島田: ミリ波の開発に関する総合研究委員会試料 (昭 37-3)
- (10) 島田: 通学連大 (昭 36)
- (11) H. G. Unger: B. S. T. J., 37, 899 (1958)
- (12) 野田, 山口, 鈴木: 通研実報, 11, No. 2, 299 (昭 37)
- (13) S. P. Morgan: J. A. P., 21, No. 4, 329 (1950)
- (14) H. E. Rowe & W. D. Warters: P. I. E. E., 106, Pt. B, Supplement, No. 13, 30 (1959)



特 許 の 紹 介

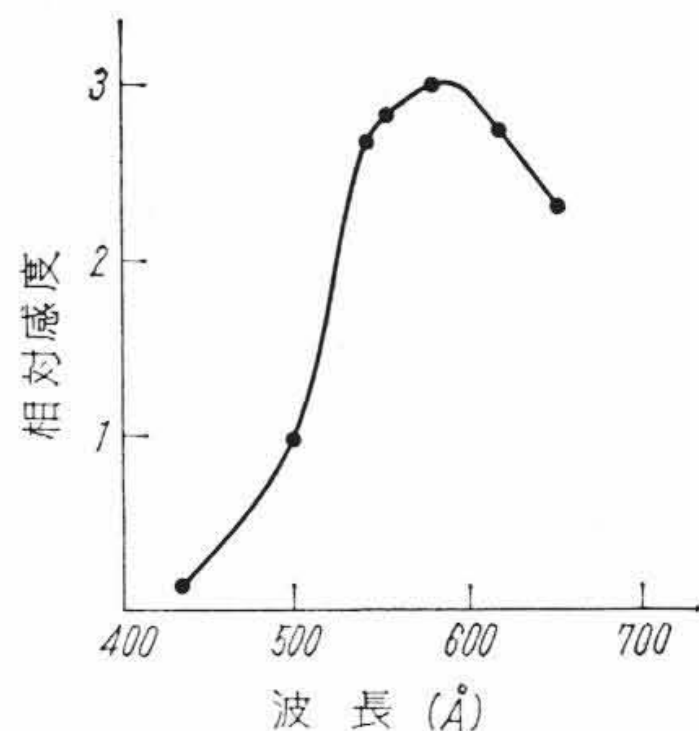


特許第 297224 号 (特公昭 36-21979)

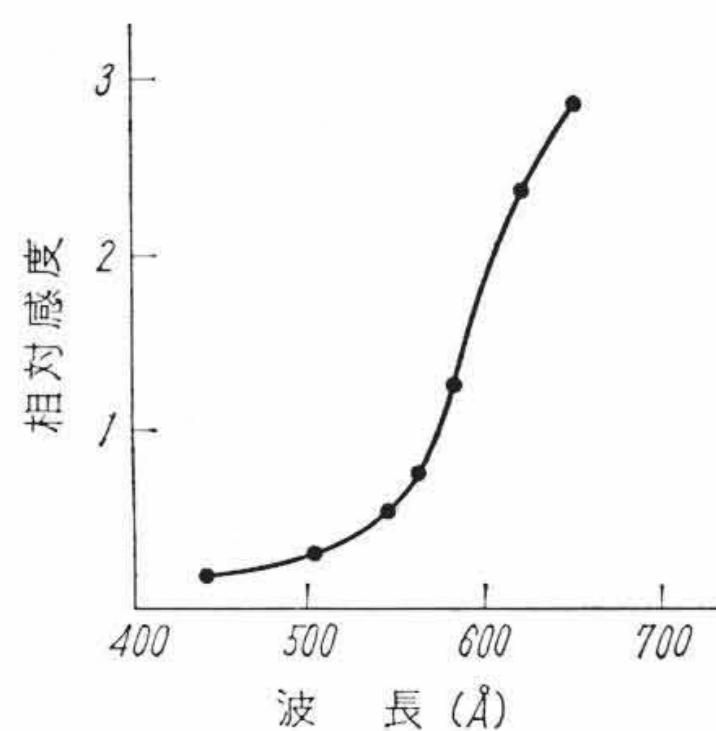
武井 幸夫・及川 充・日比 正男

長波長域に光電感度を有する光導電体

ビデオンなどに使用される光電膜としては、視感度域はもちろん長波長域においても、相当の感度を有するとともに暗抵抗の大きいことが必要であるが従来のものには硫化鉛、テルル化鉛など一般に長波長域での暗抵抗が低く、したがって暗電流の大きいものしかなかった。これに対して本発明は、上述の用途に最適の光導電体を得たもので、第 1 図に示すような視感度域において、かなり高い光電感度特性と高い暗抵抗特性を備えた三硫化アンチモンに、適宜量のテルルを添加あるいは三硫化アンチモン中の硫黄をテルルで置換させることにより、第 2 図に示すように、三硫化アンチモンの分光感度を赤外領域方向に移動させ、赤外領域においても比較的暗抵抗が高く、光電感度も高くしたものである。なお、テルルの添加量を適当にすれば、本発明光導電体の感度を三硫化アンチモン固有の高感度領域から、連続して赤外領域方向へ任意に移動させることができる。(水 本)



第 1 図



第 2 図

特許第 287869 号 (特公昭 36-11160)

三 卷 達 夫

近 似 非 線 形 最 適 制 御 方 式

本発明は、非線形最適制御方式における操作量切換点を示す曲線を直線に置き換え、該切換後において保持すべき操作量を、その際の偏差あるいはその微分値に比例して縮小された値として、訂正動作を行なわせるようにした近似非線形最適制御方式に関するものである。

周知のとおりいかなる自動制御装置でも、その訂正動作に利用する最大の操作量にはおのずから限度がある。上記制御方式は、この操作量を有効に利用することによって、従来の線形制御方式 (いわゆる PID 制御) よりもさらに良好な制御応答を発揮させようとするもので、非線形最適制御の切換曲線 $f(e, \dot{e})=0$ を直線 $e+k\dot{e}=0$ に置き換えているので、位相面を簡単な直線で区切れば希望の制御を行なうことができ、関数発生器のような複雑な装置を省くことが可能で装置の構成を簡単にしうる効果がある。(永 田)

