

1 実験の目的

マイクロ波の回折などの現象や光ファイバコードにおける損失などの伝搬特性を測定し、理論または文献と比較する。

2 実験の作業順序

2.1 同軸ケーブルの実験

2.1.1 パルス波入力による伝搬速度と減衰定数の測定

1. 同軸ケーブルにファンクションジェネレータとオシロスコープを接続。終端を短絡と開放の両方で測定。
2. パルス波が終端で反射されて戻る時間がパルス幅の $1/2 \sim 1/5$ になるように、ファンクションジェネレータを調整。
3. オシロスコープの波形をスケッチし、パルス波の往復時間と入射波・反射波の電圧比を導出。
4. 観測波形から電磁波の伝搬速度を計算し、理論結果と比較。
5. 波形から同軸ケーブルの減衰定数を計算し、 $[\text{dB/km}]$ と $[\text{Np/km}]$ で表現 (終端での反射係数を 1.0 と仮定)。

2.1.2 パルス波入力による反射係数の測定

1. 終端抵抗を変え、入射波と反射波の電圧比から反射係数を導出 (ケーブルの損失を考慮)。
2. 終端抵抗が 10, 25, 50, 75, 100, 250 Ω のときの反射係数を測定し、理論結果と比較。

2.1.3 定在波の電圧分布と電圧定在波比 (VSWR) の測定

1. 同軸ケーブルに標準信号発生器とオシロスコープを接続。
2. 標準信号発生器を周波数 9.9 MHz、変調度 AM 0%、出力 80 dB に設定。
3. 終端抵抗が 0, 50, 100 Ω 、およびその他の抵抗値のときの定在波の電圧分布を測定・プロットし、その結果から VSWR を算出、理論結果と比較。

2.2 光ファイバの実験

2.2.1 カットバック法による伝送損失の測定

1. **注意:** 光ファイバコードを大きな曲率半径 (30cm 以上) にして測定すること。
2. **手順:**
 - (a) 2m の光ファイバコードに安定化光源とパワーメータを接続する。波長 $0.66\mu\text{m}$ と

0.85 μm では安定化光源が異なる。

- (b) 2m と 2km(プラスチックは 20m) の光ファイバコードを接続したときのパワーメータの読み取りから、伝送損失を dB/km 単位で導出する。
- (c) ガラスとプラスチック光ファイバの両方について、波長 0.66 μm と 0.85 μm でそれぞれ測定する。

2.2.2 光ファイバ接続損失の測定

1. 図 2 のように、2m の光ファイバコード 2 本をコネクタで接続し、安定化光源とパワーメータを接続して光出力を測定する。
2. 図 1 のように接続したときの光出力を基準として、コネクタによる光損失を算出する。
3. ガラスとプラスチック光ファイバの両方について、波長 0.66 μm と 0.85 μm でそれぞれ測定する。

2.2.3 光ファイバの曲げによる損失の測定

1. 図 3 のように、2m のガラス光ファイバコードに安定化光源とパワーメータを接続し、直径 D の 1 回巻きのループを作る。
2. 直径 D が 60mm のときと、光ファイバコードをまっすぐに伸ばしたときの出力から、曲げによる損失を算出する。
3. 波長 0.66 μm と 0.85 μm でそれぞれ測定し、結果を比較する。

3 実験の結果

3.1 同軸ケーブルの実験

3.1.1 パルス波入力による伝搬速度と減衰定数の測定

実験では、パルス波入力による伝搬速度と減衰定数の測定を行いました。以下に実験結果を示す。

- パルス幅: 2 μs
- 往復時間: 1 μs
- 入力電圧: 6.37 V
- 反射電圧: 5.98 V

この情報から伝搬速度は $1.928 \times 10^8 \text{ m/s}$ と算出された。また、減衰定数も求められ、 $a = 0.33 \text{ Np/km} = 2.87 \text{ dB/km}$ となった。

3.1.2 パルス波入力による反射係数の測定

この実験では、異なる負荷抵抗 R_L に対してパルス波を入力し、反射係数を測定した。このデータから、負荷抵抗 R_L の値によって反射係数 P が変化することがわかります。特に、 $R_L = 50$ のとき反射係数が最も小さくなり、他の値では比較的高い値を示してる。

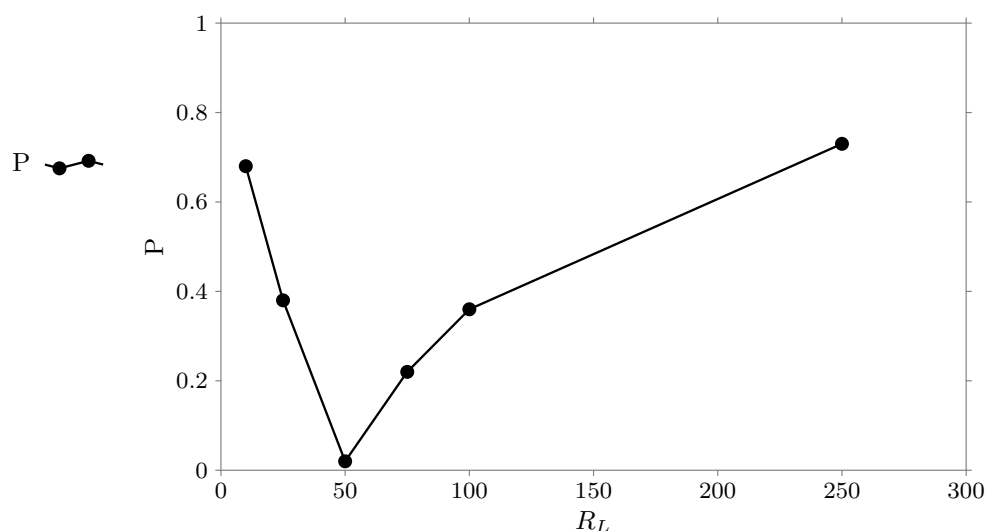


図1 パルス波入力による反射係数

表1 パルス波入力による反射係数

R_L	V_1 (高)	V_2 (低)	P
10	10.5	2.86	0.68
25	8.15	4.54	0.38
50	6.58	6.32	0.02
75	7.80	5.32	0.22
100	8.50	4.54	0.36
250	10.5	2.56	0.73

3.1.3 定在波の電圧分布と電圧定在波比 (VSWR) の測定

実験では、異なる負荷抵抗 (R_L) に対する定在波の電圧分布と電圧定在波比 (VSWR) を測定した。短絡状態 ($R_L=0$) では、位置 $L=0$ で電圧が最高値 10.95 を記録し、 $L=8$ で再び最高値 12.75 に達するという電圧の変動が見られた。一方、 50Ω 負荷 ($R_L=50$) では、電圧がほぼ一定で 6.85 7.10 の範囲で安定しており、VSWR がほぼ 1 であることが示唆される。開放状態 ($R_L=\infty$) では、

L=2 で最大 12.35、L=3 で 13.10 を記録し、その後 L=8 で最小値 0.42 となり、大きな電圧変動が観察された。100Ω 負荷 (RL-100) では、電圧の変動は比較的少なく、L=0 で 8.75、L=8 で最小値 4.75、L=3 で最高値 9.05 を記録した。これらの結果から、負荷抵抗の種類により定在波の電圧分布が大きく異なることがわかる。特に、短絡状態および開放状態では大きな電圧変動が見られ、50Ω 負荷では電圧が安定していることが確認された。

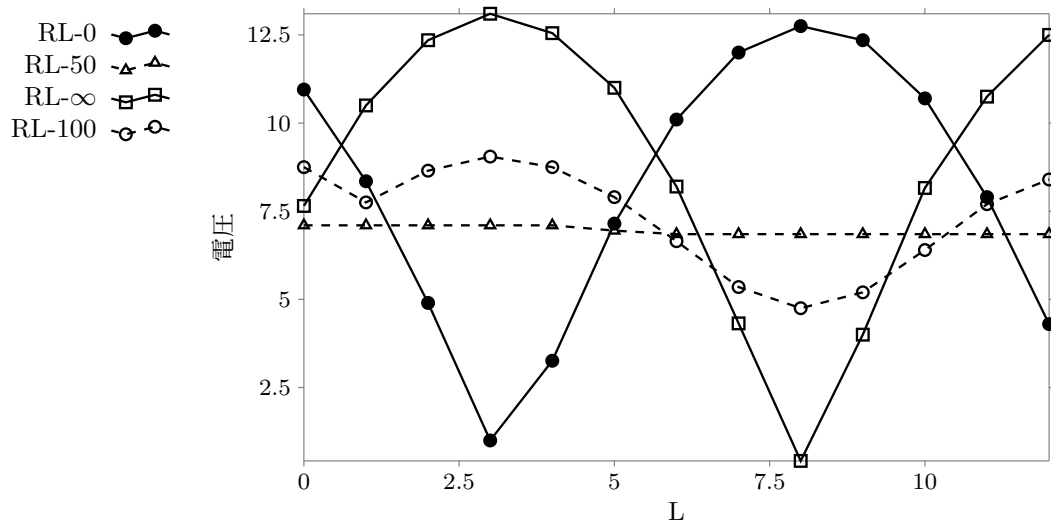


図2 RL の各インデックスのグラフ

表2 定在波の電圧分布と電圧定在波比

L	RL-0	RL-50	RL-∞	RL-100
0	10.95	7.10	7.65	8.75
1	8.35	7.10	10.50	7.75
2	4.90	7.10	12.35	8.65
3	1.00	7.10	13.10	9.05
4	3.26	7.10	12.55	8.75
5	7.15	6.95	11.00	7.90
6	10.10	6.85	8.20	6.65
7	12.00	6.85	4.32	5.35
8	12.75	6.85	0.42	4.75
9	12.35	6.85	4.00	5.20
10	10.70	6.85	8.16	6.40
11	7.90	6.85	10.75	7.70
12	4.30	6.85	12.50	8.40

3.2 光ファイバの実験

3.2.1 カットバック法による伝送損失の測定

d の値は l_1 と l_2 を伝送距離、 P_1, P_2 を減衰として

$$d = \frac{P_1 - P_2}{l_2 - l_1} \text{ dBm/km}$$

という式から求めた。

プラスチックファイバの減衰定数は高く、特に 0.85μm 波長では 1688.9 dB/km と極めて大きな値を示している。一方、ガラスファイバの減衰定数は非常に低く、0.66μm 波長で 6.56 dB/km、0.85μm 波長ではさらに低い 1.96 dB/km となっている。

表3 プラスチックファイバの減衰定数

波長 (μm)	2m (dbm)	20m (dbm)	d (db/km)
0.66	-16.16	-20.41	236.1
0.85	-11.81	-42.21	1688.9

表4 ガラスファイバの減衰定数

波長 (μm)	2m (dbm)	2km (dbm)	d (db/km)
0.66	-48.33	-61.43	6.56
0.85	-16.76	-20.68	1.96

3.2.2 光ファイバ接続損失の測定

ガラスファイバはプラスチックファイバに比べて減衰率が低く、特に 0.85μm 波長で優れた光伝送性能を示している。

表5 プラスチックファイバの減衰定数

	2m	4m	L[dB]	a[dB/km]
0.66μm	-30.81	-32.98	1.7	236.1
0.85μm	-11.90	-18.19	2.9	1688.9

表6 ガラスファイバの減衰定数

	2m	4m	L[dB]	a[dB/km]
0.66 μ m	-30.89	-31.03	0.13	6.56
0.85 μ m	-16.28	-6.35	0.07	1.96

3.2.3 光ファイバの曲げによる損失の測定

波長 0.66 μ m では、まっすぐな状態での損失が-32.68dbm で、曲げ長さが 6cm から 15cm に増加するにつれて損失は若干増加し、最大で-32.93dbm になった。波長 0.85 μ m では、まっすぐな状態での損失が-16.15dbm で、曲げ長さが増加しても損失の変化は非常に小さく、最大で-16.27dbm になった。この結果から、波長が長い光ほど、曲げによる損失の影響が少ないことがわかる。

表7 光ファイバの曲げによる損失 (単位は dbm)

波長 (um)	まっすぐ	6cm	8cm	10cm	12cm	15cm
0.66	-32.68	-32.77	-32.75	-32.73	-32.73	-32.93
0.85	-16.15	-16.27	-16.26	-16.25	-16.24	-16.22

4 実験の考察およびまとめ

4.1 同軸ケーブルの考察

1. 同軸ケーブルの 1m あたりの自己インダクタンスと静電容量の計算と比較

• 計算方法

- 自己インダクタンス L は、同軸ケーブルの構造と材質に依存し、次の式で求められる：

$$L = \frac{\mu}{2\pi} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

ここで、 μ は透磁率、 a は内導体の半径、 b は外導体の内半径。

- 静電容量 C は次の式で求められる：

$$C = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \left(\frac{b}{a} \right)}$$

ここで、 ϵ は誘電率。

- L と C から波長 λ と位相速度 v を導出し、事前課題で計算した結果と比較する。

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

2. プロブとして用いた同軸ケーブルの長さを 9.8m とした理由

- 電圧分布を正確に測定するためには、定在波の波長に対して適切な長さのプロブが必要である。
- 9.8m は、実験で使用する周波数帯域において適切な波長の整数倍または半波長になるように選定された。

3. 同軸ケーブルの損失の周波数依存性と減衰定数を小さくする工夫

- 同軸ケーブルの損失は、主に導体損失と誘電体損失による。これらは周波数が高くなると増加する。
- 衛星放送用の同軸ケーブルでは、損失を最小限に抑えるために、以下の工夫がなされている：
 - 高品質の導体（例えば銀メッキ銅線）を使用。
 - 低損失の誘電体（例えば発泡ポリエチレン）を使用。
 - シールド層を増やして電磁干渉を減少させる。

4.2 ガラス光ファイバの考察

1. 光ファイバの曲げ損失の理由

- 光ファイバを曲げると、光がコアからクラッドへ漏れるため、損失が大きくなる。
- 曲率半径が小さいほど、漏れ光の割合が増えるため、損失が増加する。

2. ガラス光ファイバの主な損失要因

- 吸収損失：材料内部での光エネルギーの吸収。
- 散乱損失：材料の不均一性による光の散乱。
- 曲げ損失：ファイバの曲げによる漏れ光。

3. GI 型、SI 型、SM 型光ファイバの比較

- **GI 型（グレーデッドインデックス）**
 - コアの屈折率が中心から外側に向かって徐々に変化する。
 - モード分散が少なく、高速伝送が可能。
- **SI 型（ステップインデックス）**
 - コアとクラッドの屈折率が急激に変わる。
 - 簡単に製造できるが、モード分散が大きい。
- **SM 型（シングルモード）**
 - 非常に細いコアを持ち、単一のモードだけを伝送する。
 - 長距離伝送での損失が少なく、高速伝送に適している。