

通信用伝送ケーブルの伝送特性 レポートチェック (2013.4)

- 各実験ごとに概要, 接続図, 表, グラフをまとめること (図のみ, 表のみ…でまとめないこと)
- 各実験の接続図 (測定系) を描くこと
信号減衰量の測定 (平衡・同軸) 信号波形の観測
- 各実験に関して, 必要なパラメータ (入力レベルや特性インピーダンスの値など) を記すこと
- 信号減衰量の測定結果は, 入 - 出力間における信号の減衰量とする (正の値, 単位は[dB])
注: レベルメータの読みは, 入力レベル 0[dBm]に対し, 出力レベルの値そのものなので, 負の値, 単位は[dBm]である.
「入 - 出力間における減衰量」は両者のデシベル差[dB] (入力対出力比を意味する) となるので, 単位が異なる.
[dB]は比率を表すが, [dBm]は 1[mW]を基準にした電力の単位 (例えば, $10\log_{10}(0.01[\text{mW}]/1[\text{mW}])=-20[\text{dBm}]$) である
- 減衰特性曲線をどのようにして求めたか, 係数 a, b の値はいくつになったかを示すこと
- 減衰特性曲線 (フィット曲線) 自体にはプロットを入れない. 測定値のみプロットすること
- 同軸ケーブルの入/出力端の波形スケッチを上下に並べて描き, 比較 (考察) を行うこと
注: 出力波形が丸くなまるのを単なる「信号の減衰」と片付けないこと. 線路の等価回路や, 周波数特性との関係を考えよ
- 波形を正しい形・大きさに描くこと (オシロスコープ画面を等倍で, できるだけ正確に写す)
- 波形の区別 (入力・出力), レンジ (縦軸・横軸, […/cm]をつける), GND を記入すること
- 吟味として, 実験結果から読み取れること, それらの物理的な意味などを具体的に述べること
- 書式について (ページ番号, 表番号・表題, 図番号・図題, 油性ペン不可 等「書き方」参照)
- その他

通信用ケーブルの伝送特性 補助資料

1. 実験の進め方

次の実験を行う。報告書はこの実験内容ごとに区切ってまとめること。

実験 1. 平衡ケーブルの信号減衰量の測定 (500m ~ 4km)

実験 2. 同軸ケーブルの信号減衰量の測定 (1km)

実験 3. 信号波形の観測 (同軸ケーブル)

ただし、平衡および同軸ケーブルを2つの班で交互に使用するため、実験順序を次のようにする。

(前半) 信号減衰量の測定 1 (平衡ケーブル, 同軸ケーブルともに)

全長 500m の平衡ケーブルを伝送距離 4km に設定する (最初に両班共同で行う)

平衡ケーブル 4km および同軸ケーブル 1km の信号減衰量の測定を、両班が交替で行う。

(後半) 信号減衰量の測定 2 (平衡ケーブルのみ)

平衡ケーブルの伝送距離を 500m, 1km, 2km に設定し、信号減衰量の測定を同様に行う。

※なるべく全員が測定を経験できるように、役割を変えながら測定してよい。

(後半) 信号波形の観測 (同軸ケーブル)

デジタル信号の送・受信器 (誤り率測定器) を同軸ケーブルを用いて接続し、周期パターン符号

(0101...) 伝送時の信号波形をオシロスコープで観測し、スケッチする。

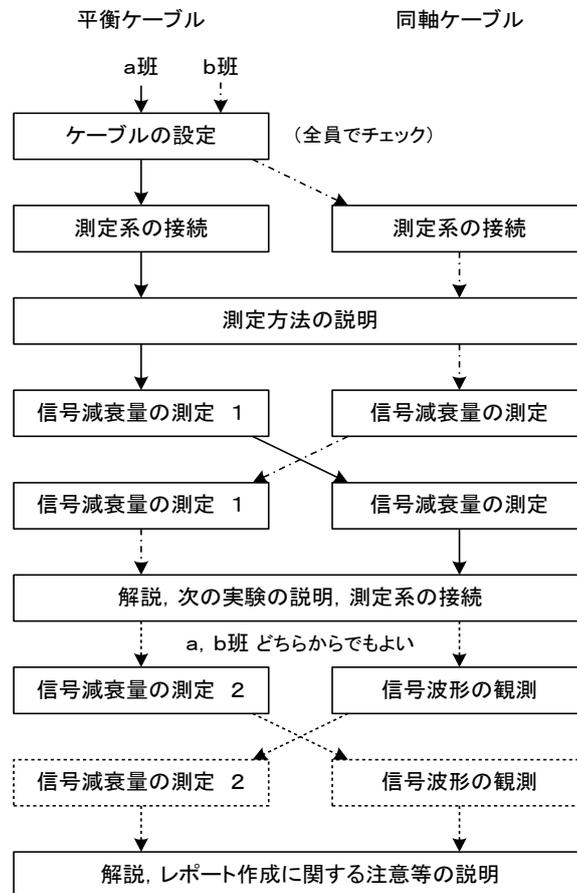


図 1 実験の進め方

2. 信号減衰量（伝送損失）の測定 に関する注意事項

2. 1 平衡ケーブルのユニット接続（最初に行うこと．両班共同で接続状態を確認すること）

平衡ケーブルは全長 500m であるが、多重化されている（100 対の心線で 1 本のケーブルになっている）ので、各ユニットを別々のケーブルと見なして、テキスト p.6 図 7 のようにケーブルの端を接続し、伝送距離が最長 4km となるようにする。ここでは、緑 - 白の心線対（テキスト p.6 図 8 参照）のみ使う。

※ 接続プラグの白シールまたは側面に溝のある方を白の心線（一極または GND）につなぐこととする。

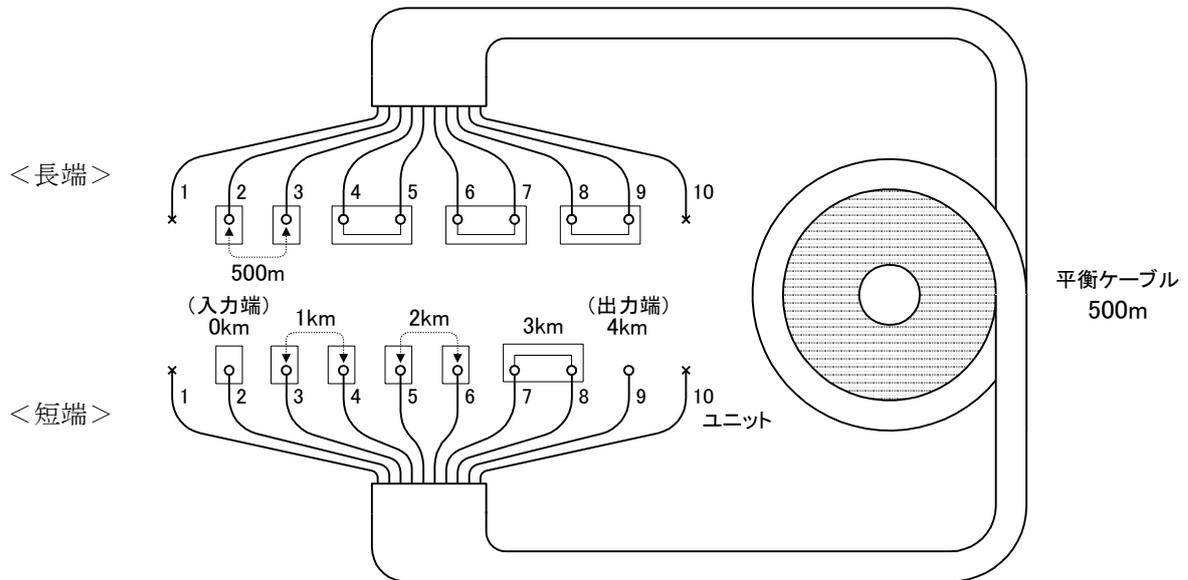


図 2 実験で用いる平衡ケーブル接続盤の状態（テキスト p.6 図 7, 8 参照）

2. 2 測定原理（ケーブルの種類によらず共通）

ケーブルの信号減衰量（入出力間の信号パワー比、通常デシベル表示）を直接測定する方法の一つに、**比較法**がある。テキスト p.10 図 15 のように接続し、スイッチを c, d 側に切り替えると、周波数シンセサイザ（信号発振器）→ 被測定ケーブル → レベルメータ（受信パワー測定器）とつながり、スイッチを e, f 側に切り替えると、ケーブルの代わりに可変抵抗減衰器につながる。レベルメータが同じ値を示すように可変抵抗減衰器の減衰量を調整すれば、その減衰量がケーブルの信号減衰量に等しいと見なせる。

この他の代表的な測定法には、レベルメータを被測定ケーブルの入、出力端に交互に挿入してパワーレベルの差（デシベル表示なのでパワーの比率は対数の差分で表される）を求める、**挿入法**がある。

いずれの場合にも、ケーブルおよび測定系のインピーダンスを等しくしないと、接続部分で反射が起きるため、正しく測定できない（ケーブルの**特性インピーダンス**についてはテキスト p.1～など参照せよ）。

2. 3 測定系の接続

テキスト p.8 図 9～11 を参照し、平衡ケーブルの場合は **BAL(balanced cable)** 端子（専用の接続プラグ）を、同軸ケーブルの場合は **UNBAL(unbalanced cable)** 端子（F 型コネクタ）を用いてテキスト p.10 図 15 のように接続する（スイッチングユニットを中心に、**d 端子はドラム横にある長いヨリ線**でつなぐ）。

周波数シンセサイザの出力レベルダイヤルを 0dBm に設定する（ケーブルの信号入力レベル）。

※ dBm はパワー $P[\text{mW}]$ を、1mW を基準としたデシベル表示 ($10\log_{10}(P[\text{mW}]/1[\text{mW}])$) にしたもので、パワーの単位の一つと言える（例えば、-20dBm は 0.01mW）。0dBm はすなわち 1mW に等しい。

2. 4 インピーダンス整合

前述のように、ケーブルおよび測定系のインピーダンスを等しく整合（マッチング）する必要がある。平衡ケーブルは周波数とともに特性インピーダンス（ケーブル固有のインピーダンス）が大きく変化するため、周波数シンセサイザとレベルメータ、および可変抵抗減衰器（の両端部）の合計4箇所にインピーダンス選択スイッチがある。測定する際には、信号周波数に応じてインピーダンスの設定をすること（BALの600Ωまたは75Ω、テキスト p.10 の③項を参照せよ）。

同軸ケーブルの場合は特性インピーダンスを一定として扱えるので、周波数シンセサイザとレベルメータの2箇所のみを最初に設定するだけでよい（UNBALの75Ω、テキスト p.12 の(2)節を参照せよ）。

※ インピーダンス選択スイッチは BAL, UNBAL 用に分かれているので、特に 75Ω のボタンに注意。

2. 5 信号周波数の設定

- ① 周波数シンセサイザの周波数選択スイッチで周波数帯を選ぶ。例えば、「100k ⇄ 10k」と表示されているボタンを押すと、「10kHz 以上 100kHz 未満」の範囲に設定される。
- ② 周波数選択ダイヤルは3桁の数を表し、ランプの位置が小数点を意味する。①で設定した範囲で有効桁数3桁の周波数が設定される。上記の例で「99.9」にダイヤルを合わせると、「99.9kHz」になる。
- ③ 周波数 10MHz 以上のときは「20M ⇄ 10M」ボタンを押す。「+10M」ランプが点灯し、ダイヤルによる設定値+10MHzが、出力される周波数となる（×10ではないので注意。設定可能な周波数の最高値は19.99MHzということになるが、これを20MHzと見なして差し支えない）。

※ 例えば上記の例で、ダイヤルを「00.5」としても500Hzにはならない（誤った設定例）。

※ 平衡ケーブルの測定ではインピーダンス設定変更も忘れないようにすること。

2. 6 測定手順

- ① 可変抵抗減衰器、レベルメータのダイヤル値（減衰量）を最大にしておく（正負に注意）。
- ② 測定系のインピーダンス、信号周波数を設定する（上記4. および5. 参照）。
- ③ スイッチングユニットのレバーをケーブル（c, d）側に切り替える。
- ④ レベルメータの左側のダイヤルを小さくなるように回し、メータ針が -10[dBm] よりも大きく（右に）なったらすぐ止め、次に右側のダイヤルを同様に回して、メータ針が -1~0[dBm] の範囲で止める。このときのメータ針の指す位置（上記の範囲内ならどこでもよい）をよく確認しておくこと。
※ メータ針が+方向（右端）に振り切れないように注意すること。 過大な入力で破損の恐れがある。
※ ダイヤルとメータの指示値の合計（-x'[dBm]）がケーブル出力信号レベルである。このとき入力レベルが 0dBm であるから、 $0[\text{dBm}] - (-x'[\text{dBm}]) = x'[\text{dB}]$ だけ信号が減衰したと予測することができる。
- ⑤ そのままの状態、スイッチングユニットのレバーを可変抵抗減衰器（e, f）側に切り替える。
- ⑥ 可変抵抗減衰器のダイヤルを左のものから順に小さくなるように回していき、メータ針が④のときと同じ位置にくるまで調整する。調整後のダイヤルの合計値 x[dB]が信号減衰量である。
※ 単位に注意。入 - 出力レベル“差”の場合は実際には比率を意味しているから単位は [dB] である。
※ 次の測定に入るときには ① の手順から繰り返す。減衰量を最大にしておくことを忘れずに。レバー切り替え時の過大な電氣的振動などにより破損の恐れがある。

2. 7 報告事項

テキスト p.13 の検討事項(1) - ①および③, (2) - ①。別紙の注意事項も参照せよ。

3. 信号波形の観察（同軸ケーブル） に関する注意事項

3. 1 測定系の接続

テキスト p.12 図 16 に沿って、図 3 のように接続する（送信器および受信器は、テキスト p.9 図 12, 13 に示される誤り率測定器の送信部および受信部である。図 13 を参照して背面の各端子を接続せよ）

データ信号波形の伝送速度（ビットレート：1 秒間に伝送できるビットの数）は送信器および受信器のクロック周波数に依存し、通常はビットレート[bps] ([bit/s]) = クロック周波数[Hz] となっている。本実験では、周波数シンセサイザをクロック信号源として用い、送信器と受信器を外部クロックで同期させることで、ビットレートを任意に設定できる。また外部クロックはオシロスコープの同期信号として外部トリガ入力端子（EXT, ch.3）にも接続しておく（本実験では ch.1 の信号でトリガをかけて時間波形を表示させるが、トリガモードを外部トリガに切り替えれば、アイパターン（3. 4 参照）が観測できる）データ、クロック別の接続順序は次のようになっている。

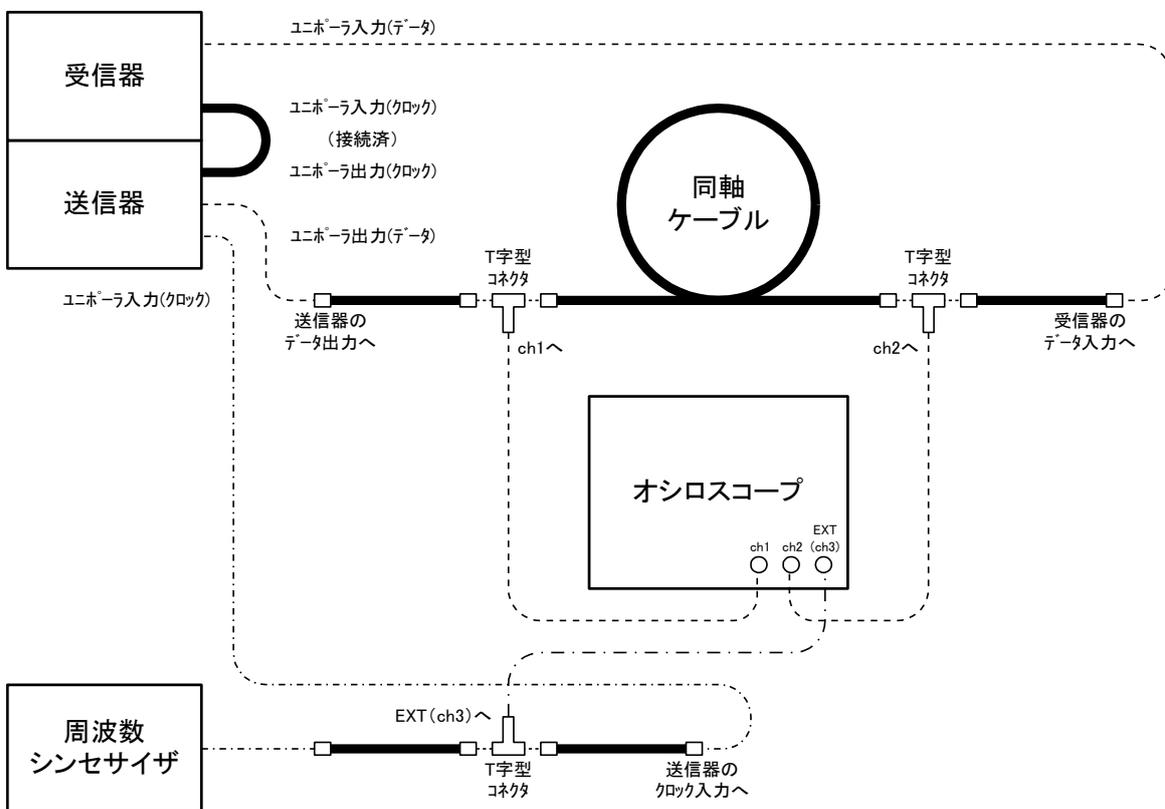
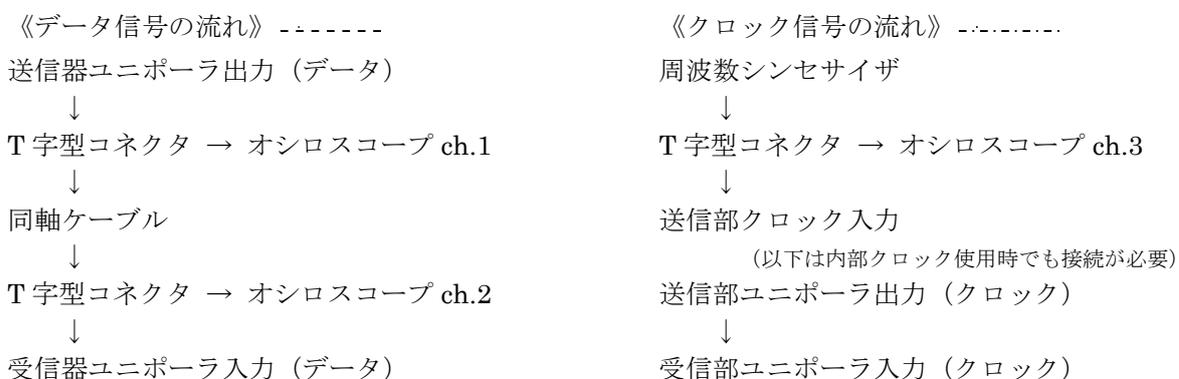


図 3 信号波形の観測 配線図

3. 2 伝送系のパラメータ

信号波形：NRZユニポーラ符号（マーク“1”：-1V，スペース“0”：0V）

クロック周波数：2MHz（=ビットレート（伝送速度）：2Mbps，ビットスロット：0.5 μ s）

符号パターン：2^N-1 疑似ランダム符号列（N=9）

3. 3 観測手順

- ① 周波数シンセサイザの出力レベルを+3dBmに，周波数を2MHzに設定する．このときビットレートは2Mbit/s，ビットスロット（1bit分の時間幅）はその逆数で0.5 μ s（500ns）である．
- ② 送信器の「パターン」ボタンで1/N（N[bit]周期で“1”符号を出力する規則パターン）を選び，その上のボタンを何度か押してN=「2」とする（“0101…”の繰り返しパターンになる）
- ③ ch1の波形が“0”：0V，“1”：-1V，1bit長：500nsであることを確認し，ch1およびch2の波形を4bit分ほどスケッチする（2つの波形を重ねないように上下にGNDをずらして描く．それぞれの波形のGNDおよびレンジも忘れずに記録せよ）（報告事項はこのスケッチまで必須，以降は任意とする）
- ④ 波形スケッチが終わったら，横軸レンジを500ns/divとし，クロック周波数を1MHz，および4MHz，8MHz，16MHzに変化させ，波形がどうなるかを観察せよ
（クロック周波数とビットレート，またはビットスロットとの関係を理解せよ）
- ⑤ クロック周波数を2MHzに戻し，Nを2から3，4，…と順に変えてみよ（このとき波形は1bitの“1”の後に(N-1)bitだけ“0”が続くパターンの繰り返しになることを確認し，さらに受信側の波形の“0”の連続部分では，最初のbitと最後のbitでは電圧レベルが異なることに注意せよ）
- ⑥ 送信器のパターンを2^N-1（2^N-1[bit]の長い周期で“0”または“1”をランダムに発生させる疑似ランダムパターン）に切り替えてN=「9」とする．オシロスコープのトリガつまみを動かしてch2の波形が止まって見えるように調整してみよ（本当にランダムなパターンであれば周期がないため波形の同期はとれないはずであるが，疑似ランダムでは有限の周期があるため，この場合はトリガがなんとか掛かる）
- ⑦ 横軸レンジを変えて波形の時間間隔を短く詰めていく．このとき送信側と受信側の波形の“0”および“1”の電圧レベルを観察し，受信波形の乱れが大きくなっていることに注目せよ（これは雑音の混入ではなく，ケーブルを通すことにより規則的な波形の変形が起きている．なぜそうなるかを考察せよ）

3. 4 （参考）アイパターンの観測

様々な（起こり得る全ての）符号パターンを伝送し，それを同じビットスロット上に重ねてできる波形パターンをアイパターンという（開いた目の形に似ているのでそう呼ぶ）．

図4の中央のビットに注目すると，様々な符号パターンに囲まれた中心部分（網掛け部分）がアイパターンである．

波形に雑音などが加わると，アイの面積が小さくなるので，アイパターンの観測は，ビット誤り率（ビットエラーの発生

確率）と同様に，デジタル伝送システムの性能評価に用いられる．オシロスコープで波形観察する際にトリガを外部クロックでかければアイパターンが，周期波形の信号自身でかければ通常波形が表示される．

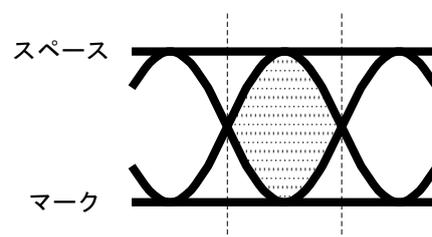


図4 アイパターンの例

3. 5 報告事項

テキスト p.13 の検討事項(2) - ②. 別紙の注意事項も参照せよ．「入・出力波形の比較」を忘れずに．

4. レポート作成に関する注意事項

4. 1 体裁および接続図について

本実験の検討事項は、すべて実験結果をグラフ等にまとめ、比較・考察を行うことを指示したものであるから、検討事項の章を独立に設けなくてよい。各実験ごと（信号減衰量の測定結果はケーブルごと）に、実験方法の概要と接続図、測定結果の表、グラフ（あるいは波形図）、考察をまとめること。

吟味の章では各実験の結論をまとめよ。

信号波形の観察に関する接続図では、送信器、受信器、ケーブルをデータ信号の通過する順に実線で結び、また周波数シンセサイザと送・受信器をクロック信号の流れで結びこれを破線で示すこと。さらにオシロスコープの挿入位置を矢印等で記入すること。

4. 2 グラフについて

信号減衰量の測定結果のグラフは、平衡／同軸ケーブルとも、横軸（周波数）を線形目盛とし、縦軸変数名は「信号減衰量」もしくは「伝送損失」のどちらでもよいが、表の変数名と同じにすること（減る分量、の意味なので、減衰量は正の値で表す）。測定値のみプロットし、フィッティング曲線（計算値）はプロットせずに線のみを引くこと。ただし曲線の各係数は明記すること。

平衡ケーブルについては、すべての伝送距離（線路長）の結果を1枚のグラフにまとめて描くこと。

4. 3 最小2乗法によるカーブフィッティングについて

伝送損失（信号減衰量）は、減衰定数 α [dB/km]と伝送距離 L [km]との積 αL [dB]で求められる。本実験では伝送距離を固定値として損失を測定しているから、損失曲線はテキストの式(5)に比例した形になる。ここではあくまで理論曲線の形として式(5)をそのまま用いる（つまり αL を α とおく）ことにする。

最小2乗法とは、すべての測定データの理論式からの誤差を2乗して総和を求め、これが理論式の各パラメータに関する2次曲線となることから、それぞれのパラメータの極小値を求めることにより、誤差を最小にするという方法である。以下にヒントとしてもう少し具体的な方法を述べる。

① まず n 個の測定データを $(f_i, \alpha_i) (i=1, 2, \dots, n)$ とするとき、 α_i の誤差の2乗和、

$$E(a, b) = \sum_{i=1}^n \left\{ \alpha_i - (a\sqrt{f_i} + bf_i) \right\}^2 \quad \text{を求める（変数 } a, b \text{ の式として展開する）.}$$

② 上の式の、変数 a および b に関する偏微分 $\partial E / \partial a$ および $\partial E / \partial b$ を求める。この2式はどちらも $xa + yb + z$ の形になるが、これらの値が0に等しいとき、 E が極小になるという条件から、 a, b に関する連立1次方程式が得られる（ a, b を変化させて絶対誤差の総和を最小にする意味をもつ）。

③ 行列を利用するなどして、連立方程式をその解が存在する場合について解き、データの数値を代入して a および b の値を求める（値の代入は最後に行うほうがよい）。

4. 4 2点法によるカーブフィッティングについて

測定データの中から任意の2点を選び、それぞれテキスト式(5)に代入して得られる2つの方程式から a および b の値を求める。ただし選んだ2点以外はフィットする保証はないのでグラフを描いて確認する。

最低3回はデータの点を変えて計算し、最適と思われる曲線がどれか、選ぶ過程もすべて説明すること。ただしグラフは最適と判断した曲線のみを記入すること。