

平成 22 年度
卒業研究報告

研究題目

振幅変調方式による半導体レーザー測
距計の製作

指導教員

由井 四海

著者

藤坂 翔太

平成 22 年 3 月 9 日提出

独立行政法人国立高等専門学校機構
富山高等専門学校 電子制御工学科

目次

1. 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 目的	2
2. 概要	2
2.1 強度変調測距法	6
2.2 距離計算	7
2.2.1 波長について	7
2.2.2 LD から PD までの距離 R について	8
2.2.3 ミラーの移動距離 ΔR について	9
2.3 位相検波器の製作	11
2.4 位相検波器の動作チェック	13
2.5 電圧から位相への変換	13
2.6 望遠鏡を用いた測定について	14
3. 測定結果	16
3.1 半導体レーザーの特性	16
3.2 半導体レーザーの波長について	17
3.3 図 1 での測定結果	18
3.4 図 2 での測定結果	20
3.4.1 変調周波数 1MHz での測定結果	22
3.4.2 ミラーの移動距離の実測値と理論値の比較	26
3.4.3 位相検波器の入力波形	28
3.4.4 その他の変調周波数の測定結果	30
3.5 図 3 での測定結果	31
4. まとめ	32
5. 謝辞	33
6. 参考文献	34

1. 序論

1.1 はじめに

レーザーは、トランジスタとならび、今世紀最大の発明の1つとして考えられている。レーザーは人類が築き上げてきた科学技術によって発明された光源であり、太陽、フラッシュランプ、電灯などのような白色光、熱放射光の光源とは全く異なる特性を示し、理想に近い光の発振器（正帰還を施した光の増幅器）といえる。すなわち、発生する波長は非常に短い、トランジスタや集積回路により構成される通常の電子回路の発振器と同等の、正弦状に振動する電磁波の発生源である。そのため、レーザー光は従来からある光源からの光に比べて本質的に優れた特性を備えている。さらに、重要なことは、これらの特性を外部からの信号により人工的に制御することができる点である。現在までに実現しているレーザー装置のうち、連続発振可能なレーザーには、気体レーザー、色素レーザー、固体レーザー、半導体レーザーなどがある。本研究では、半導体レーザーを用いた。

現代の科学技術の進歩に占める半導体レーザーの役割の大きさは、計り知れないものがある。とくに情報エレクトロニクス分野では、半導体レーザー無くしては今日の光通信や光ディスク、コンパクトディスクはありえなかったと考えられる。半導体レーザーは、このように最先端の製品に直接貢献するだけでなく、これを支える基盤技術や各種計測技術にも幅広く使われ始めている。小型高効率で取り扱いやすいこと、高出力で可干渉性の高い事、直接変調可能で機能的活用ができること、将来の集積化に向いていることなどの特徴からみて、いずれ大半のレーザー光源が半導体レーザーに置き換えられるといっても過言ではない。

1.2 目的

半導体レーザーを用いて、強度変調測距法により距離を求め振幅変調方式による距離測定システムの構築を行う。近年、距離を求める方法には、レーザーや超音波など、測定方法はさまざまである。本研究で、なぜ半導体レーザーを選んだのかというと自分が半導体レーザーというものに興味があったからである。今まで全く扱ったことがなかったレーザーについて少しでも知識を深めたいと思い、レーザーを用いる研究を選んだ。つまり、本研究の目的には、距離を求め振幅変調方式による距離測定システムの構築を行う事の他に、半導体レーザーについて学習したいという事から自分自身が半導体レーザーの事に関して強度変調法や位相測定の知識を深めるという事も目的の1つとして挙げている。

2. 概要

本研究では、大きく分けて3種類の測定を行った。まず、最初に行った実験装置の概要を図1に示す。実験装置は、主に、半導体レーザー(LD)(三洋 DL7140-201S)、フォトダイオード(PD)(Thorlabs PDA100A)、ロックインアンプ(LIA)(SRS SR830)、ファンクションジェネレーター(FG)(KENWOOD FG-273)、半導体レーザー電源コントローラー(Thorlabs LDC201CU)を使用する。

次に、使用する機器や測定方法を少し変更し再び測定を行った。その実験装置の概要を図2に示す。実験装置は、半導体レーザー(LD)(三洋 DL7140-201S)、フォトダイオード(PD)(Thorlabs PDA100A)、ファンクションジェネレーター(FG)(KENWOOD FG-273)、半導体レーザー電源コントローラー(Thorlabs LDC201CU)、位相検波器(NF CD-552R4)、オシロスコープ(Tektronix TDS-2022)、テスター(sanwa TL-21)を使用する。

最後に望遠鏡を用いた実験を試みた。その実験装置の概要を図3に示す。

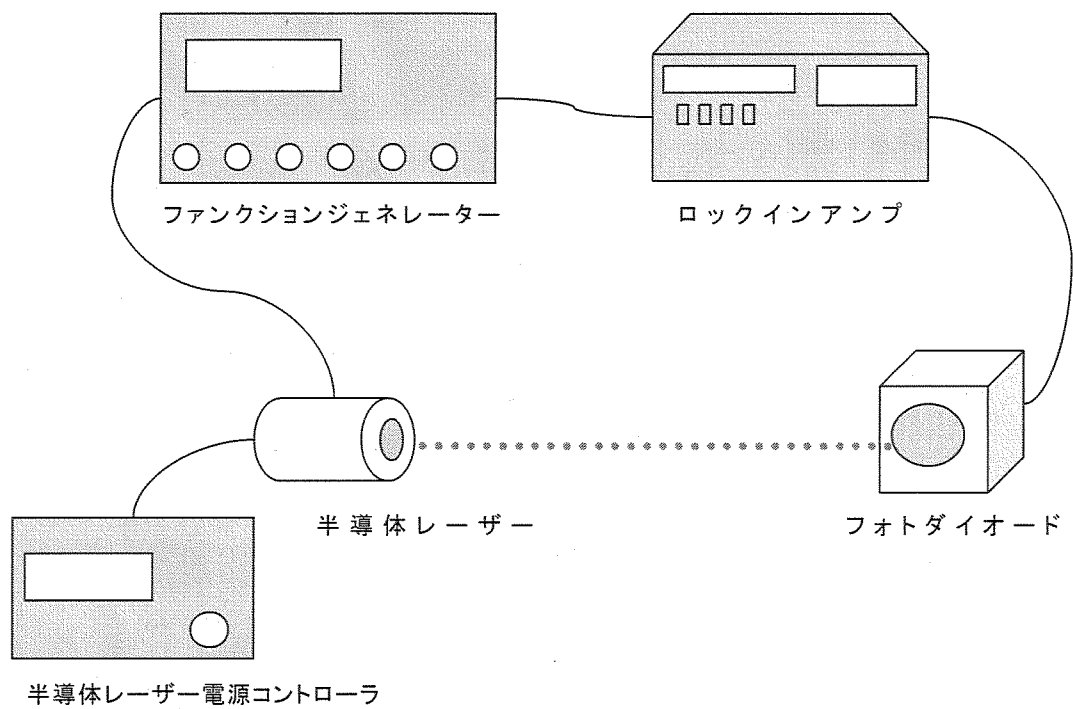


図1 実験装置の概要

ファンクションジェネレータによりレーザーに変調を加え、レーザー光をPDに当てる。その時、ファンクションジェネレータからの信号とPDからの信号を比較し、ロックインアンプによって2つの波形の位相を検出する。そして、LDからPDの距離を離していき、位相差からPDの移動した距離を求める。

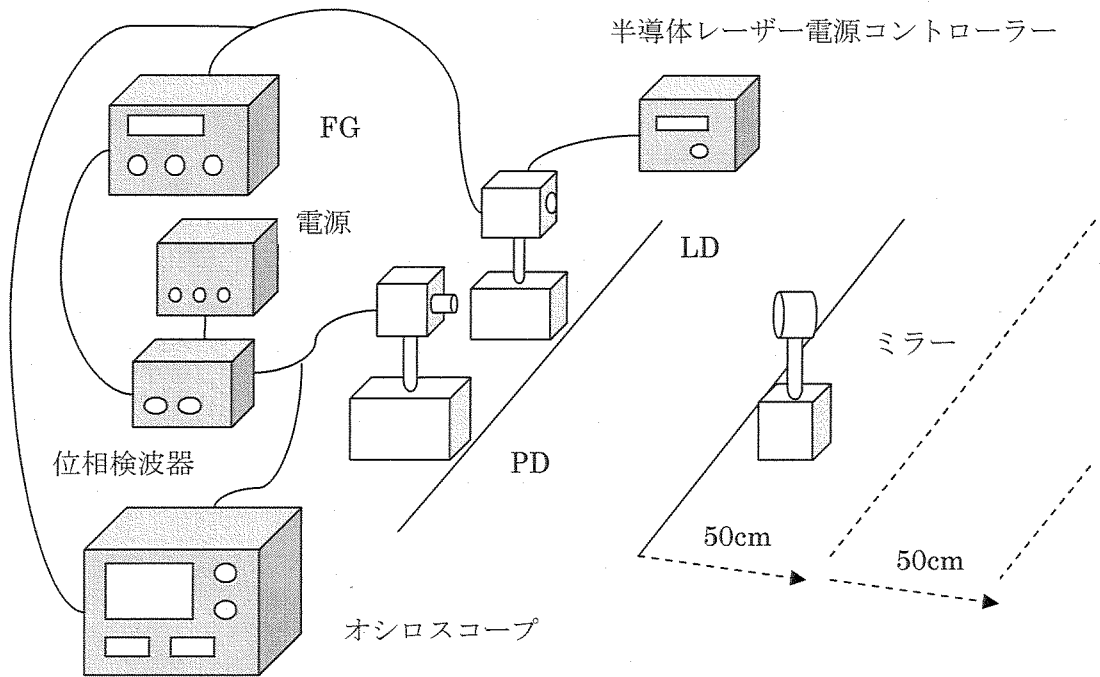


図2 実験装置の概要

図1と違うところは、レーザー光をミラーに当て、その光を反射させPDに当てている。その時のファンクションジェネレータからの信号とPDからの信号から位相検波器によって位相を測定する。ミラーの位置を50cmずつ移動させ、位相差からミラーの移動距離を求める。

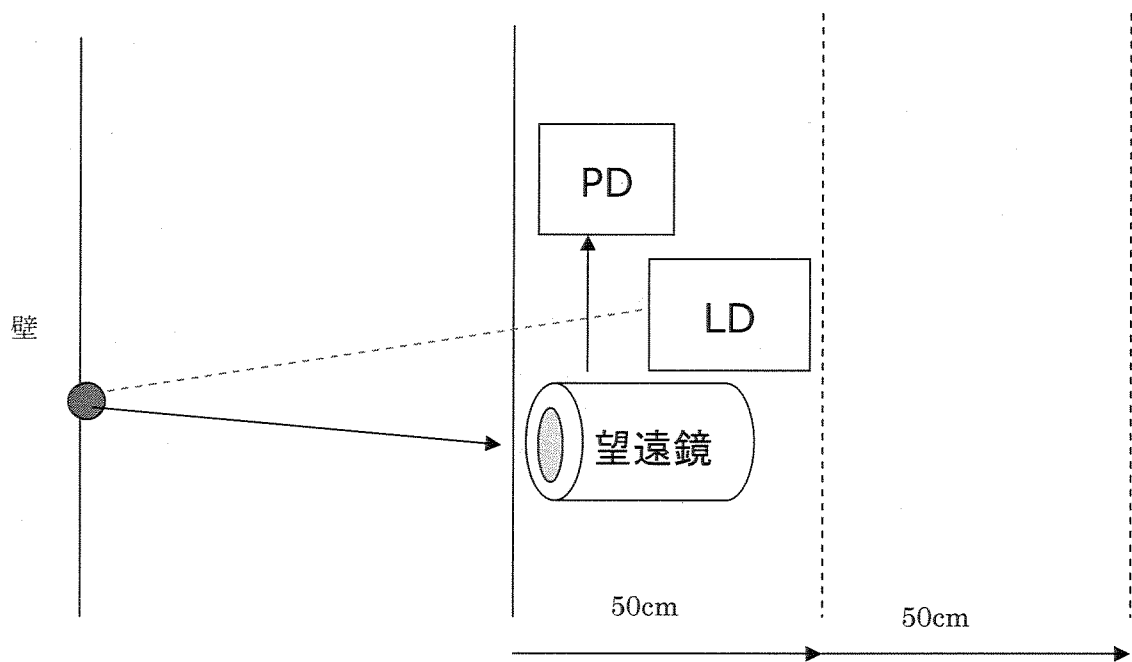


図3 実験装置の概要

レーザー光を壁に当て、壁にうつる光を望遠鏡によって集める。望遠鏡によって集められた光を PD に当て図 2 の実験同様に位相検波器で位相を測定していく。

2.1 強度変調測距法

強度変調測距法とは、パルス光源のかわりに、レーザーのような連続動作の光出力に強度変調を加え、反射光との位相差 ϕ を測定し、その位相差から距離を求める方法である。強度変調測距法の原理を図4に示す。

本研究の、図1では、レーザー(LD)とフォトダイオード(PD)間の距離を変え、図2では、ミラーの位置を50cmずつ変える事によってレーザー(LD)とフォトダイオード(PD)間の距離を変え、位相差からPDまたはミラーの移動した距離を求め、理論値と実測の距離を比較する。

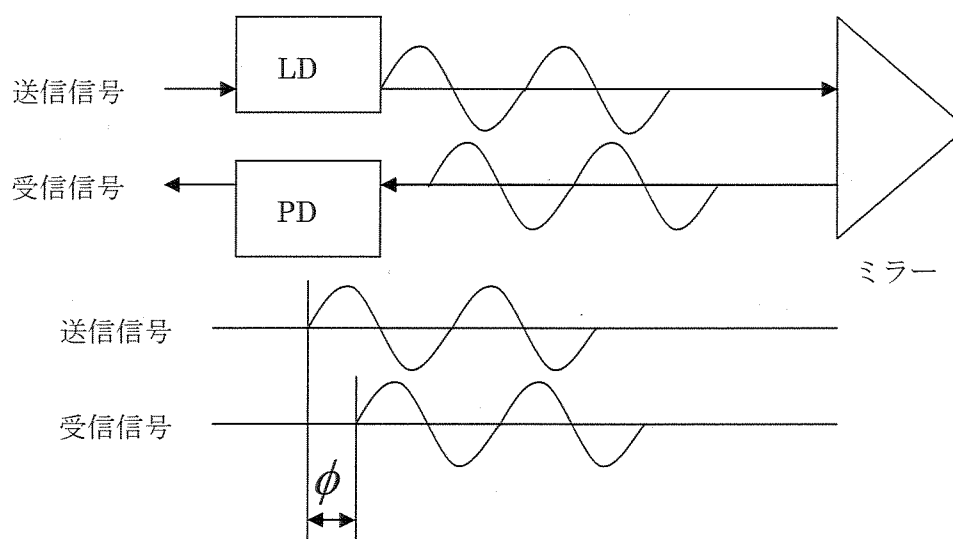


図4 強度変調測距法の原理

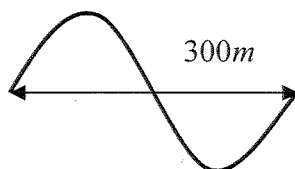
2.2 距離計算

2.2.1 波長について

図 1 の研究では、ファンクションジェネレータ(FG)の強度変調周波数 f_m を 100kHz とし、図 2 の研究からは、ファンクションジェネレータ(FG)の強度変調周波数 f_m を 50kHz 、 100kHz 、 200kHz 、 500kHz 、 1MHz 、 2MHz の 6 パターンとした。大気中の光速を $c(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ とすると、変調波の波長 λ は、 1MHz の時を例にとると

$$\lambda = \frac{c}{f_m} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1\text{MHz}} = 300\text{m} \quad (1)$$

となる。図 1 では、波長は、 3000m となる。図 2 のその他の各強度変調周波数での波長は、 50kHz では 6000m 、 200kHz では 1500m 、 500kHz では 600m 、 2MHz では 150m となる。ここからは、図 2 の 1MHz での値を例にとり説明を進める。波長と位相の関係を図 5 に示す。



$$1\text{周期} = 360^\circ = 300\text{m}$$

図 5 波長と位相の関係

図 5 より、位相 360° の変化は、波長の距離に相当する。

2.2.2 LD から PD までの距離 R について

次に、LD から PD までの距離 R を求める式を導く。距離 R を導くための原理を図 6 に示す。

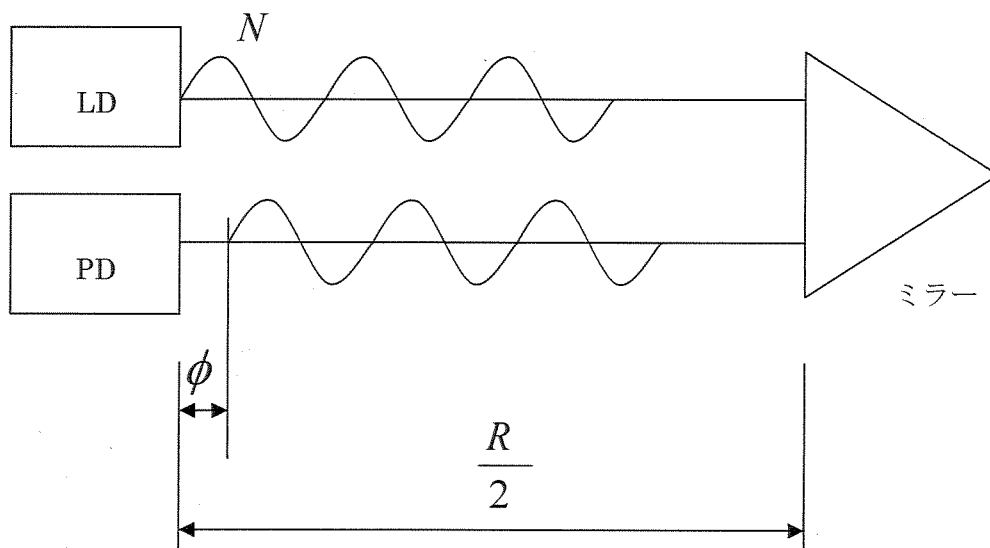


図 6 距離 R を導くための原理

図 6 より N は、変調波の数である。これらの N 、 λ 、 ϕ より距離 R は、次式のように求める事が出来る。

$$R = (N + \phi) \times \lambda \quad (2)$$

この式について説明すると、まず、 $N + \phi$ によって LD からミラーとミラーから PD までの変調波の数が分かる。図 3 より 1 つの変調波の波長は $300m$ だという事が分かっているので、 $(N + \phi)$ に波長 λ をかけてやる事によって、LD からミラーとミラーから PD までの往復の距離 R が求まる。ミラーの位置を $50cm$ ずつ変えれば、往復なのでその 2 倍の距離を移動しているという事になる。図 1 での場合でも同じように考えればよいが、図 1 の場合は、 R は、往復の距離ではないので、移動した距離は 2 倍と考えなくてもよい。

2.2.3 ミラーの移動距離 ΔR について

本研究で測定したいのは、 R ではなく、ミラーの移動した距離（図 1 の場合は、PD の移動した距離） ΔR である。移動距離が変調波の波長よりも小さい時、 ΔR は、ミラー（図 1 では PD）の移動前の距離 R_1 とミラーの移動後の距離 R_2 から求める。距離 ΔR を導くための原理を図 7 に示す。

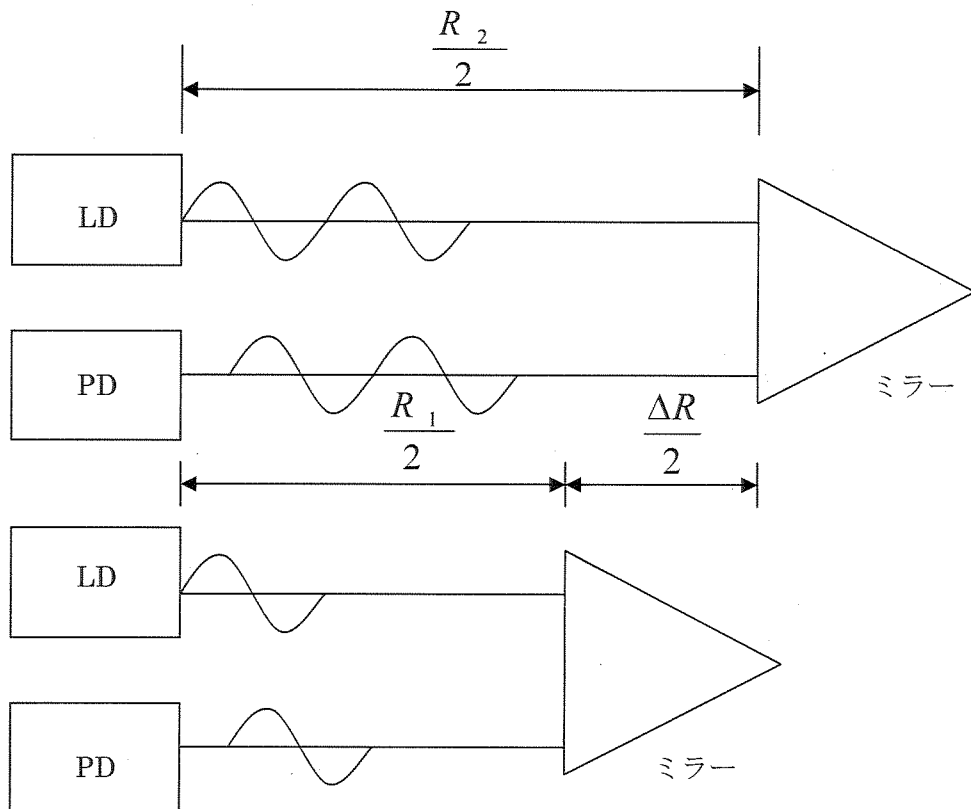


図 7 距離 ΔR を導くための原理

図 5 より、 ΔR は、 R_2 から R_1 を引いてやることによって求める事ができる。したがって、 ΔR は次式で求められることが分かる。

$$\begin{aligned}
 R_2 &= (N + \phi_2) \times \lambda \\
 -R_1 &= (N + \phi_1) \times \lambda \\
 \hline
 \Delta R &= (\phi_2 - \phi_1) \times \lambda
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

この式での ϕ_2 は、移動した後の距離 R_2 の時の位相、 ϕ_1 は、移動する前の距離 R_1 の時の位相を表す。1MHzの場合、 ΔR は、最長で300mである。つまり、位相が最大 360° のずれの時に300mの移動距離にならなくてはならないので $(\phi_2 - \phi_1)$ は、最大 360° の時1とならなければならない。したがって、式(3)の ϕ_1 と ϕ_2 には、測定した位相を360で割った値を代入し、 ΔR の理論値を求める。

そして、(3)式から求めたミラー (図1ではPD) の移動距離 (理論値) と実際移動している距離 (実測値) を比較してみる。

2.3 位相検波器の製作

図 2 の実験では位相検波器を使用している。位相検波器 CD-552R4 は、周波数範囲 10kHz ~ 2MHz のオンボード位相検波器である。信号系は入力増幅器、位相検波器 (PSD Phase Sensitive Detector)、ローパスフィルタ (LPF)、出力増幅器から構成されている。出力ローパスフィルタの遮断周波数は外付抵抗 1 本の追加により低域拡張可能。利得は 1~10 倍の範囲で設定できる。参照信号系は 0° / 90° 位相器とデューティ比 50%回路から構成されており、 $A\sin\theta$ または $A\cos\theta$ の位相検波が可能。また、指定ピン接続により、 $2f$ モードにすると、2 倍の周波数による位相検波ができます。外形は厳重に静電シールドされた 20 ピンのシングルインラインパッケージである。位相検波器 CD-552R4 の外形を図 8 に示す。

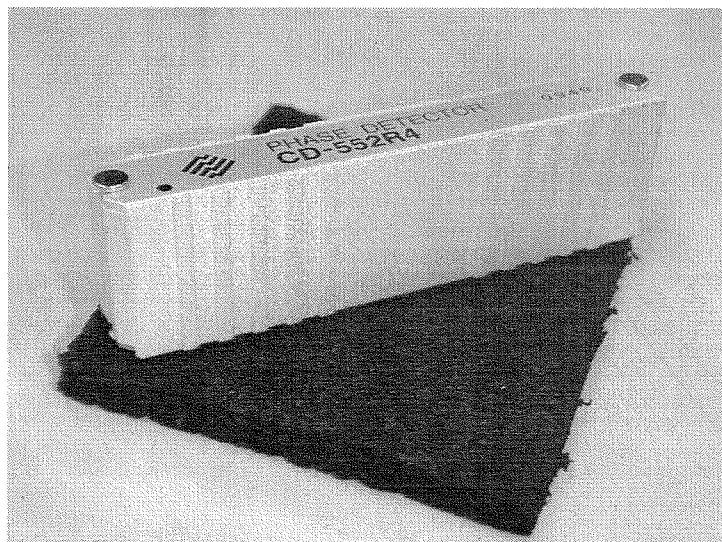


図 8 CD-552R4 の外形

CD-552R4 を以下のように接続し、回路を作製した。CD-552R4 の基本接続図を図 9 に示す。

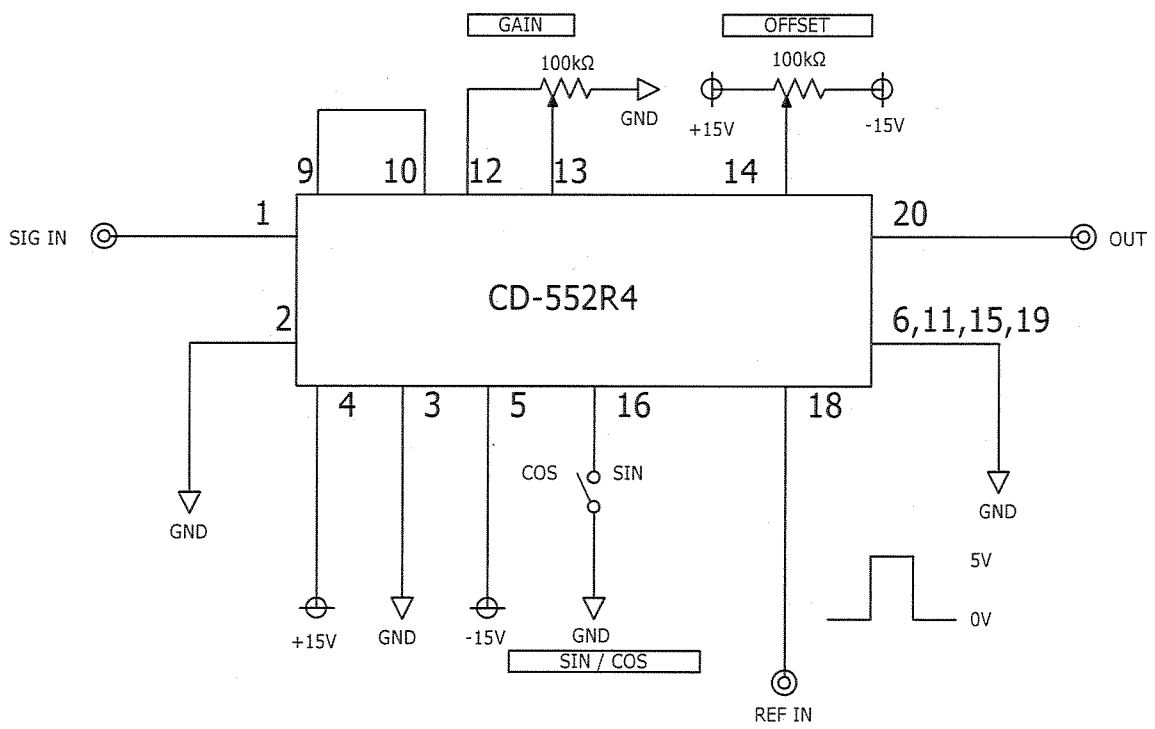


図 9 CD-552R4 の基本接続図

2.4 位相検波器の動作チェック

作製した回路が正しく動作しているのかをチェックするために、ファンクションジェネレーター(Tektronix AFG3102)を使用し、位相を $360^\circ \sim -360^\circ$ に 10° ずつ変化させていき、その時の $A\cos\theta$ と $A\sin\theta$ の電圧を位相検波器から測定した。その結果を図 10 に示す。

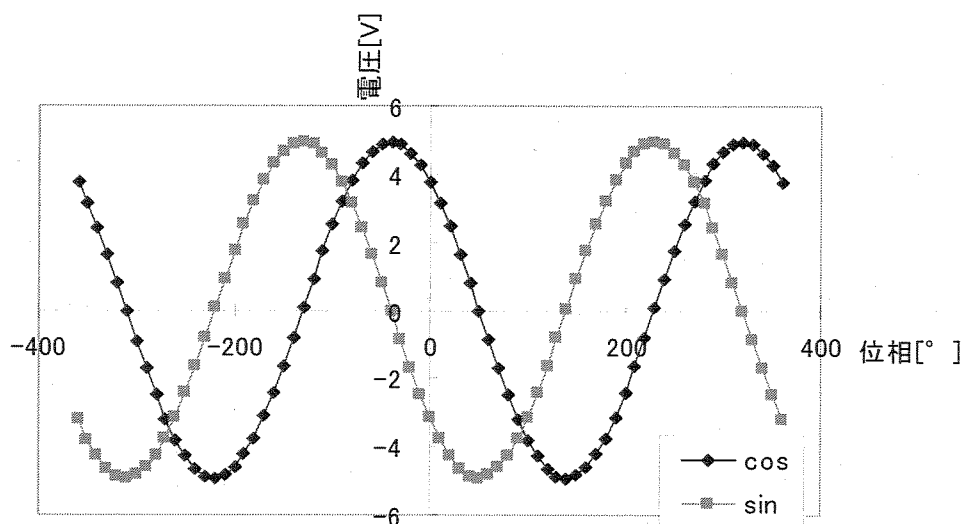


図 17 位相と出力の関係

図 10 のような結果が得られた。測定した $A\cos\theta$ と $A\sin\theta$ の 2 つの波形が 90° ずれている事が確認できる。この結果から位相検波器が正しく動作している事が確認できる

2.5 電圧から位相への変換

図 9 より、SIG IN は、入力信号で PD と接続する。REF IN は、参照信号なのでファンクションジェネレーター(FG)と接続する。OUT は、検波出力であり、ここにはテスターを接続する。また、スイッチが 1 つ取り付けられているが、このスイッチによって $A\cos\theta$ と $A\sin\theta$ に切り替える事ができる。距離を 50cm ずつ移動するにしたがって、その各距離での $A\cos\theta$ と $A\sin\theta$ の 2 通りの電圧を測定していく。そして、測定した電圧から位相に変換する。変換のために用いる式を以下に示す。

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\text{sinの電圧}}{\text{cosの電圧}}\right) / \pi \times 180 \quad (4)$$

$\tan^{-1}\left(\frac{\text{sinの電圧}}{\text{cosの電圧}}\right)$ によって、電圧が、*rad*の値に変換され、その値を $\pi \times 180$ で割ってやる事によって、*rad*から位相[°]に変換される。変換した値を 360° で割り、式(3)に代入することによって理論値が求められる。

2.6 望遠鏡を用いた測定について

図3の測定について少し説明する。図3では、まず、半導体レーザーを壁に当てる。壁に映った赤い光を望遠鏡によって集め、集められた光が、望遠鏡の横にある小さな穴からでてくる。でてきた光をPDにあて測定する。ここからの測定の仕方は図2と同じである。実際の望遠鏡や小さな穴などがどのようなになっているのかを図11に示す。

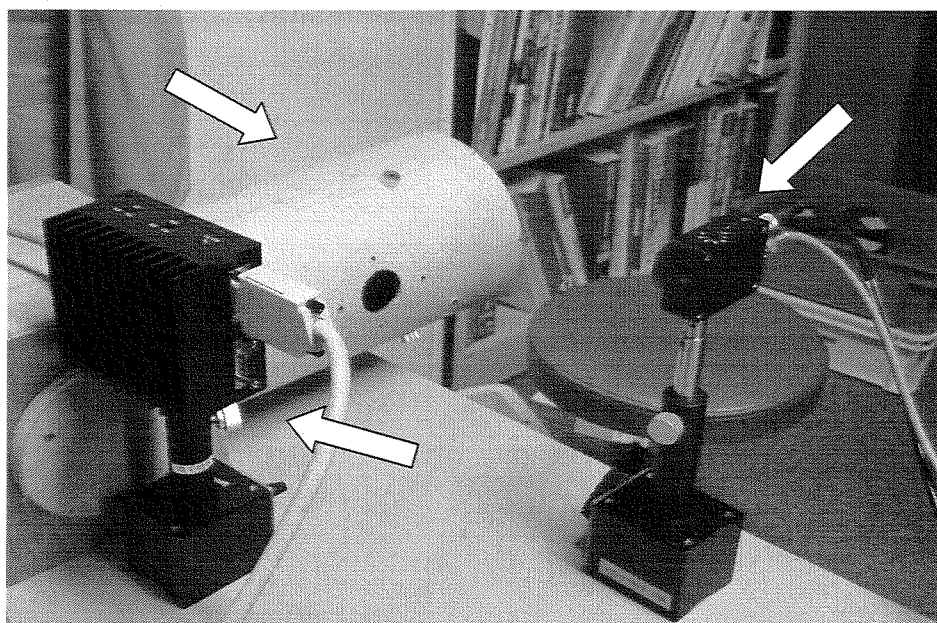


図11 実際の実験装置

図11より、左の奥の方に見える、筒状の細長い物が望遠鏡である。望遠鏡の横にある四角い物が、半導体レーザー(LD)、右下の方に立っている物がフォトダイオード(PD)である。この写真の真ん中より少し左の方に、望遠鏡に小さな穴が開いているのが見られるが、

それが、壁に映った光を集めて、でてくる穴である。そこからでる光を PD にあてて測定を行う。では、なぜ、小さな穴から光がでてくるのか。その原理を図 12 に示す。

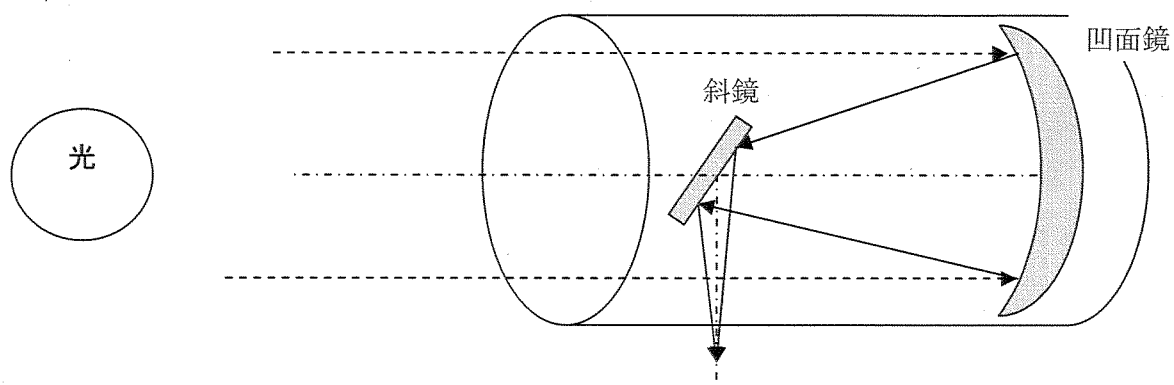


図 12 望遠鏡の原理

図 12 について説明すると、望遠鏡の中には、凹面鏡と斜鏡という 2 つの鏡がある。望遠鏡の先に見える光からの反射光が望遠鏡内の凹面鏡に当たる。凹面鏡に当たって反射する光は斜め 45° の斜鏡に当たる。そして、斜鏡に当たった反射光が 1 点に集まるようにして小さな穴から出てくるとい原理になっている。

3.測定結果

3.1 半導体レーザーの特性

今回使用するレーザーは、半導体レーザー電源コントローラー(LDC201CU)から、どれくらいの電流を流した時に電圧が立ち上がってくるのかを調べた。その結果を図 13 に示す。

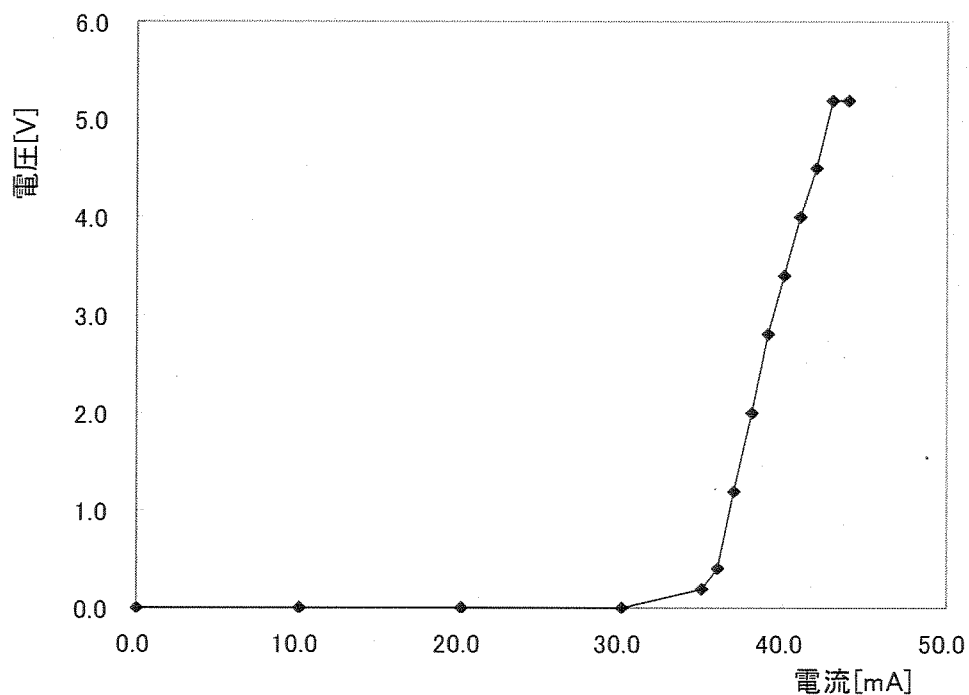


図 13 レーザーの特性

図 13 より、半導体レーザー(DL7140-201S)は、電流値が 30.0[mA]くらいをすぎた所から電圧が発生するという事が分かった。検出器の制限によって、図 12 では、42[mA]くらいで電圧が上がらなくなっているが、実際の MAX は 50[mA]くらいまで電圧が上がると考えられる。

3.2 半導体レーザーの波長について

今回使用する半導体レーザー(DL7140-201S)の波長を測定した。図 14 に半導体レーザーのスペクトル波形を示す。

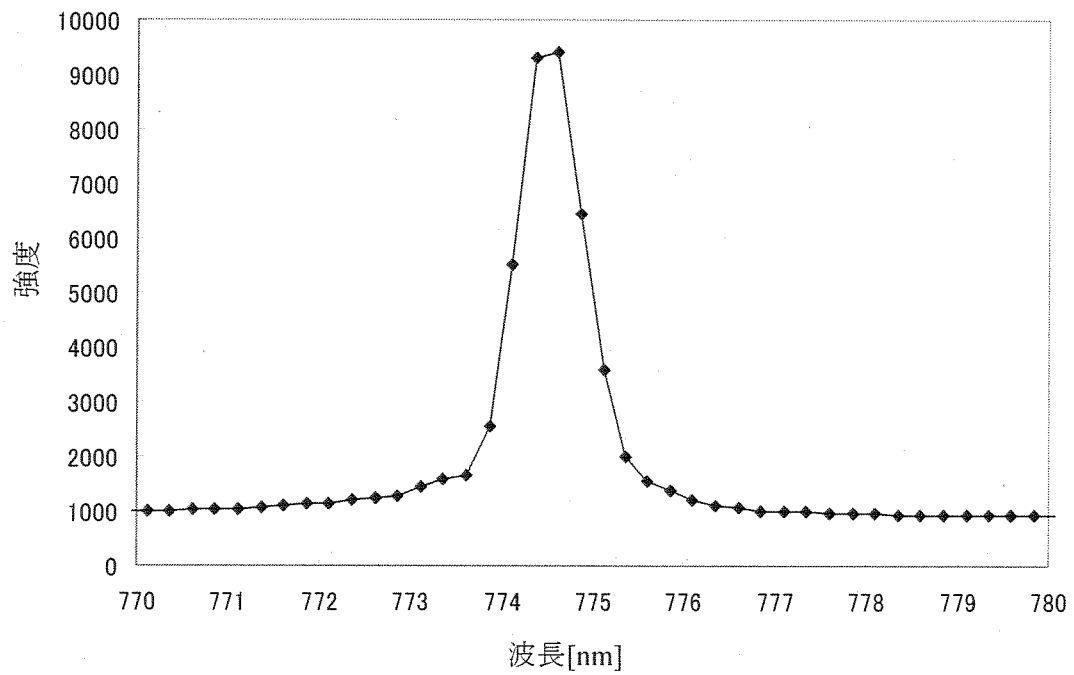


図 14 半導体レーザーのスペクトル波形

図 14 より、半導体レーザー(DL7140-201S)の波長は、約 774.5[nm]だということが分かった。

3.3 図1での測定結果

図1の測定では、LDからPDを徐々に離していくように距離を移動していった。そして同じ実験を10回繰り返して行い、位相と距離の関係を調べる他に、この測定結果には再現性があるかどうかという事も確認した。この測定をするにあたって理論曲線を図15に示し、実際の測定結果を図16に示す。

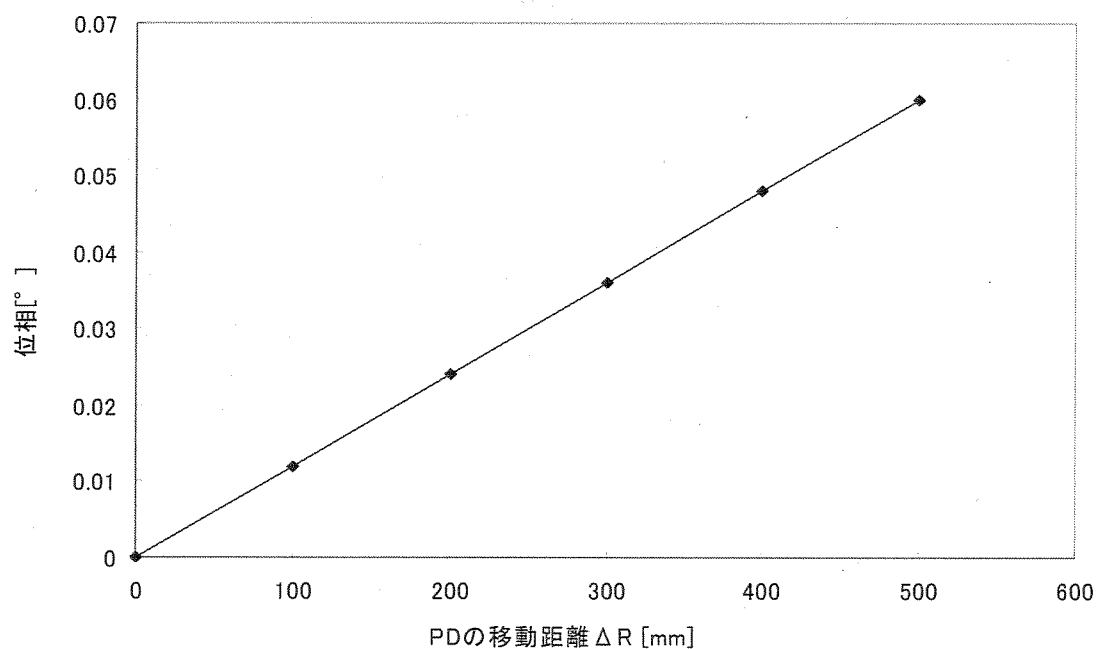


図15 理論曲線

図15より、位相とPDの移動距離 ΔR は比例関係にあり、3000m移動した時には、位相は、 360° ずれているはずである。多少の誤差は考えられても、このようなグラフに近い結果が得られれば、距離と位相の関係を証明できたと考えられる。

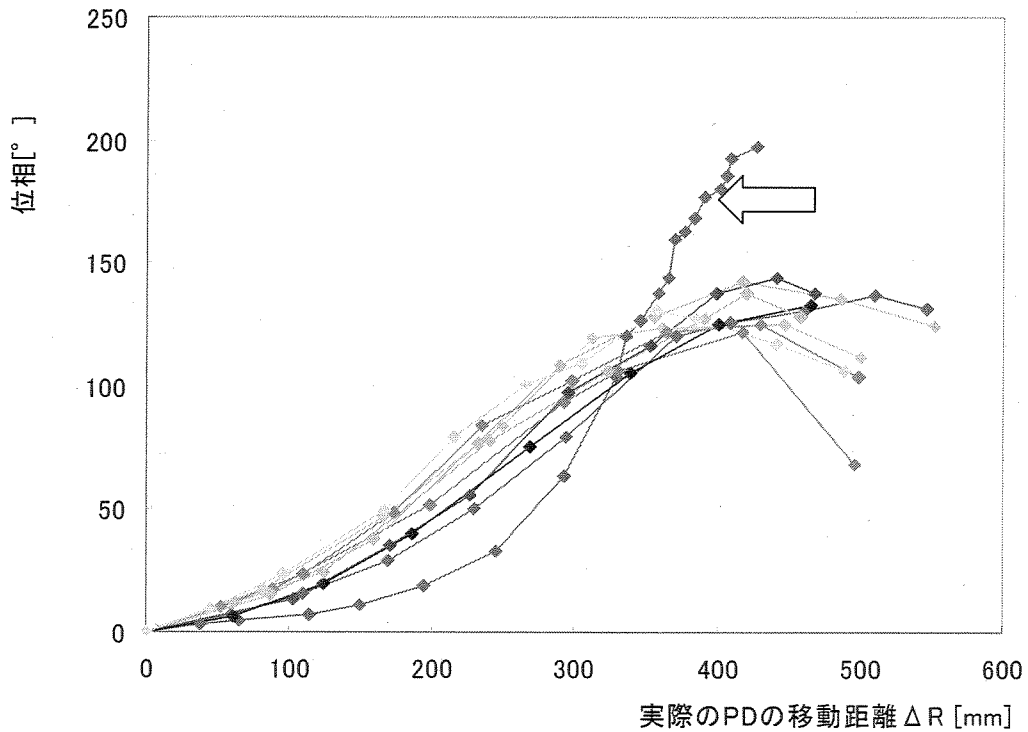


図 16 図 1 での測定結果

図 16 より、実際の測定結果では、理論曲線とは全く重ならず、比例関係にはならなかった。また、どのグラフにでも言える事だが途中までは曲線で途中からは直線のグラフになっている。しかし、なぜこのようになったかは原因がよく分かっていない。再現性に関しては、ない事が分かる。移動距離が増えれば、位相も大きくなるという事は確認できたが、移動距離に対して検出する位相の値がはるかに小さい事が分かる。また、横軸が 400m ぐらいを過ぎると位相が下がっている事も予想外で原因不明の 1 つである。では、実際に得られた図 16 の測定結果では、 360° 位相が変わったとしたら、どれくらいの距離を移動した事になるのかを計算してみた。一番きれいなデータだと考えられる図 16 中の矢印のデータを例にとり、計算を行う。この矢印のデータは、約 427mm 移動した時に、位相が 197° ずれていることが分かる。計算方法を以下に示す。

$$\begin{aligned}
197^\circ : 427\text{mm} &= 360^\circ : X\text{mm} \\
197X &= 427 \times 360 = 153720 \\
X &= \frac{153720}{197} = 780.3045685\text{mm}
\end{aligned}$$

以上の計算結果より、矢印のデータでは、 360° 位相が変わった時、移動距離は、約 780m mであるという事が分かった。

今回の場合、変調波長が 3000m という事で、もし正確な値が測定できれば 10cm の移動距離で 0.012° の位相が検出される。今回使用したロックインアンプは 0.01° まで位相を見る事ができるため、十分正しい結果が測定できると思っていたが、実際の結果では駄目だった。

3.4 図 2 での測定結果

図 1 の測定を少し改善し、図 2 の測定を行った。まず、強度変調周波数を 100kHz ではなく、強度変調周波数 f_m を 50kHz 、 100kHz 、 200kHz 、 500kHz 、 1MHz 、 2MHz の 6 パターンの強度変調周波数で測定した。図 16 の結果に対し、なぜ正しい測定結果が得られなかったのか、自分なりに考えた理由の 1 つとして、波長が 3000m の時は、PD の移動距離が小さいと位相変化も小さく実験が困難であった。そのため、ロックインアンプでは、ノイズなどの影響もあり、正確な位相の値が測定できなかったのではないかと考えられる。では、なぜ、図 1 の実験で強度変調周波数を 100kHz 以上に設定して波長をもっと短くしなかったのかというと、今回使用したロックインアンプ(LIA)(SRS SR830)の最大周波数が 100kHz であったからである。つまり、 100kHz 以上にしたい時には、ロックインアンプ(LIA)(SRS SR830)は使用できない。そこで、図 1 から図 2 で変更した点として、ロックインアンプを使うのではなく位相検波器(NF CD-552R4)を使用した。この位相検波器では、周波数範囲 $10\text{kHz} \sim 2\text{MHz}$ の測定が可能である。ロックインアンプのように直接位相が出

てくるのではなく、位相検波器からテスターによって $A\cos\theta$ 、 $A\sin\theta$ の 2 通りの電圧を測定し、それを変換して位相を求める。他には、レーザー光を PD に直接当てるのではなく、ミラーを使い反射させた光を PD に当てるようにした。また、図 2 では、図 1 と違い、移動距離を 50cm と決めて移動させた。ここで、もう一度確認しておく、図 6 より R は LD からミラーまでの距離ではなく、LD から PD までの距離なので、実際にミラーを 50cm 移動させれば往復で 100cm 移動した事になる。図 1 から図 2 の実験で変更した事はこれくらいである。1MHz の時の測定を 2 回、その他の強度変調周波数の測定をそれぞれ 1 回ずつ行った。

3.4.1 変調周波数1MHzでの測定結果

これから以下に示していく測定結果は、強度変調周波数1MHzでの測定結果であり、それを例にし、得られた値について検討していく。1MHzの時、波長が300mであり、360°の位相の変化の時に300mの移動距離になるという関係から、1mの移動距離で1.2°の位相がずれるという事が分かる。これを元に、位相と移動距離の関係を示す理論曲線を図17に示す。

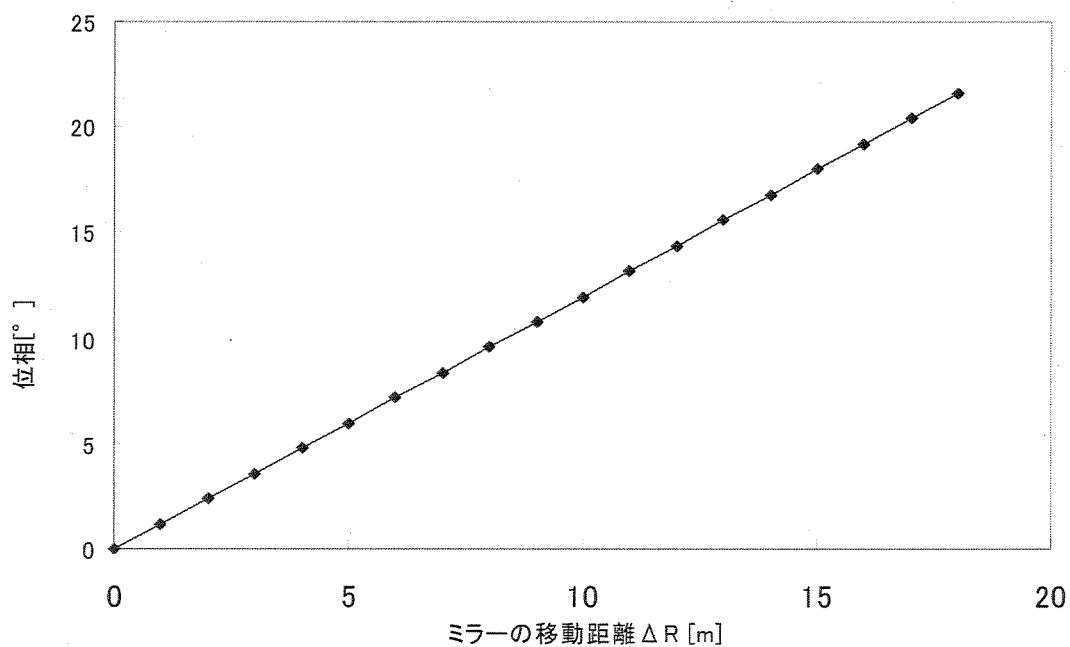


図17 理論曲線

この波形と同様な結果が得られれば正しい結果が得られたと言える。

図 2 より、50cm 間隔に距離を離していき、各距離ごとで $\text{Acos } \theta$ と $\text{Asin } \theta$ の電圧を測定した。その測定結果を図 18 に示す。

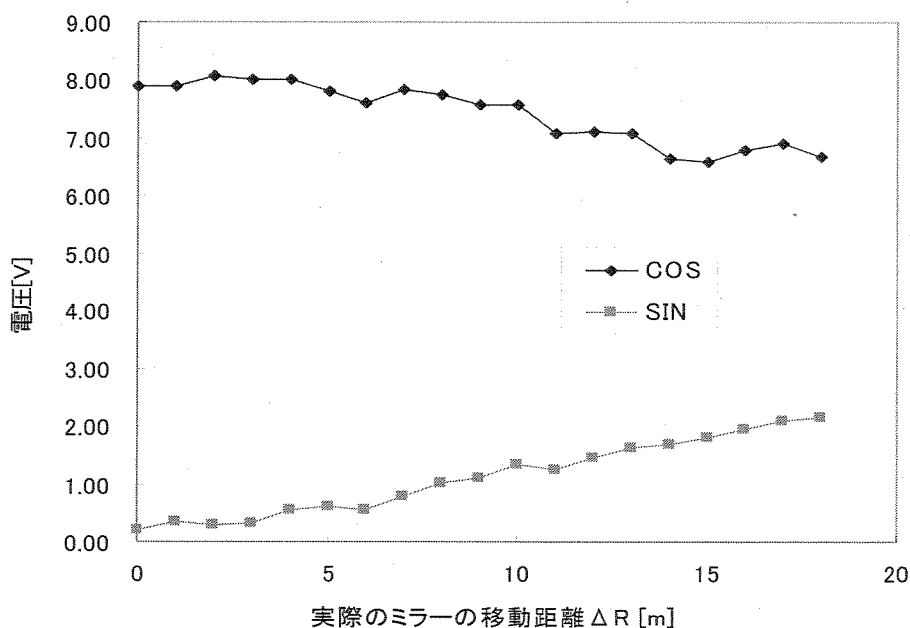


図 18 距離を移動させた時の $\text{Acos } \theta$ と $\text{Asin } \theta$ の電圧

図 18 より、 $\text{Acos } \theta$ の電圧は約 8V 付近から徐々に減少している事が分かる。それに比べて $\text{Asin } \theta$ の電圧は、約 0V から徐々に増加している事が分かる。

図 18 の結果をもとに(4)式によって、電圧を位相に変換した。本研究では、ミラーを移動させる前の最初の位置の時を位相 0° と考え、そこからミラーを動かすにつれて位相がどれだけ変化していくかを調べる。位相と実際のミラーの移動距離 ΔR の関係をグラフに表した。それを図 19 に示す。

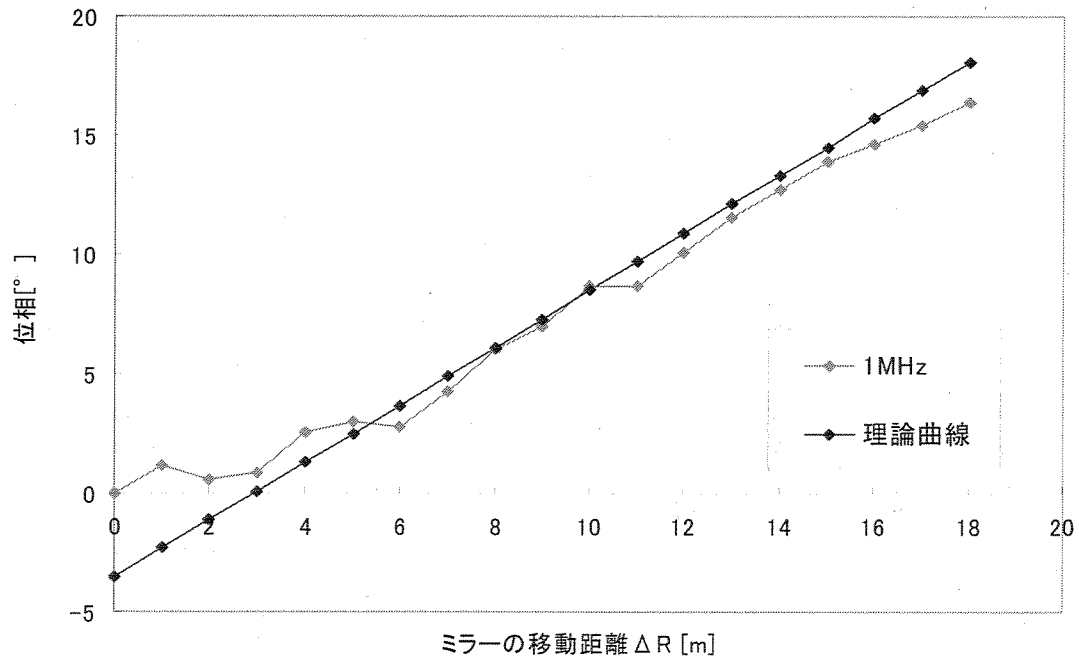


図 19 ミラーの移動距離と位相の関係

図 19 より、少し誤差は見られるが、図 1 の最初の実験から得られた測定結果の図 16 に比べれば、はるかに図 17 の理論曲線に近づいたと言える。図 19 中に引かれている線は理論曲線である。この理論曲線をできるだけ測定結果のグラフと重なるようにし、重なった点から、 360° 位相がずれた時、300m 移動するののかという事を、図 1 の測定結果からも行ったように式から確認した。

$$2.65^\circ : 2m = 360^\circ : Xm$$

$$2.65X = 2 \times 360 = 720$$

$$X = \frac{720}{2.65} = 271.6981132m$$

以上の計算結果より、 360° 位相が変わった時、移動距離は、約 271m であるという事が分かった。300m であるはずの値が 271m になり、29m も誤差があるというふうにも考えられる。しかし、1m の移動距離で 1.2° 位相がずれば 360° で 300m になるのだが、もし

これが、1m の移動距離で 1.3° 位相がずれたという測定結果が得られたとすると、 360° で約 277m の移動距離になってしまう。理想の値から 0.1° ずれただけで上の計算方法では、移動距離が 23m も誤差がでてしまう。これらの事や、各機器のノイズ、また温度などの事を考えると、本研究では 100%精密にやる事は不可能であり、これぐらいの誤差は仕方がないのではないかと考えられる。また、図 18 では、移動距離が 18m くらいまでしかデータがとれていないので、これがもし、もっと広範囲にあたって測定値をとったならば、結果が 271m という値よりも、もっと 300m に近い値を得ることも十分に考えられる。したがって、図 17 の結果より、 360° 位相がずれば移動した距離は 300m だという事は、十分に証明され、確認できたというふうに考えられる。

図 19 の位相の値を 360° で割った値に変換する。変換した値を表 1 に示す。

表 1 位相の変換

位相[°]	
変換前	変換後
0.00000	0.00000
1.15757	0.00322
0.61117	0.00170
0.90891	0.00252
2.55690	0.00710
3.02271	0.00840
2.82716	0.00785
4.29847	0.01194
6.05858	0.01683
6.96592	0.01935
8.70948	0.02419
8.65048	0.02403
10.05769	0.02794
11.51219	0.03198
12.72105	0.03534
13.87913	0.03855
14.62503	0.04063
15.47549	0.04299
16.38735	0.04552

3.4.2 ミラーの移動距離の実測値と理論値の比較

表 1 の変換後の値を式(3)に代入し、ミラーの移動距離 ΔR の理論値を求める。求めた理論値と実測値を比較し、どれほど誤差が出るのかを確認した。その結果を表 2 に示す。実測値は、今回の実験では 50cm ずつ距離を離していったので、往復で 100cm、つまり 1m ずつ移動させた事になる。

表 2 理論値と実測値の比較

ミラーの移動距離 ΔR [m]	
実測値	理論値
1.00	0.96
2.00	0.51
3.00	0.76
4.00	2.13
5.00	2.52
6.00	2.36
7.00	3.58
8.00	5.05
9.00	5.80
10.00	7.26
11.00	7.21
12.00	8.38
13.00	9.59
14.00	10.60
15.00	11.57
16.00	12.19
17.00	12.90
18.00	13.66

表 2 より、実測値と理論値の値がほぼ一致していたのは、最初の 1 点だけであった。2 点目からは、何らかの影響で誤差がでてしまっているのが分かる。図 19 の結果において、いくら良い結果が得られたと言っても少しの変動は見られ、比例した一直線のきれいなグラフではないので、理論値と実測値の比較で誤差が出るのは仕方が無い事である。この研究をすすめていく上で、どれだけ誤差を出さずに測定結果を得るかという事が最も重要な事になってくると考えられる。

3.4.3 位相検波器の入力波形

実際に位相検波器に入っている FG からの信号と PD からの信号の 2 つの波形が、ミラーの距離を離していくにつれてどのように変化しているのかを確認するために、ミラーの移動距離が、100cm、400cm、1000cm、の時のオシロスコープの波形を図 20～図 22 に示した。以下の波形は、強度変調周波数が 1 MHz に設定してある時の波形である。

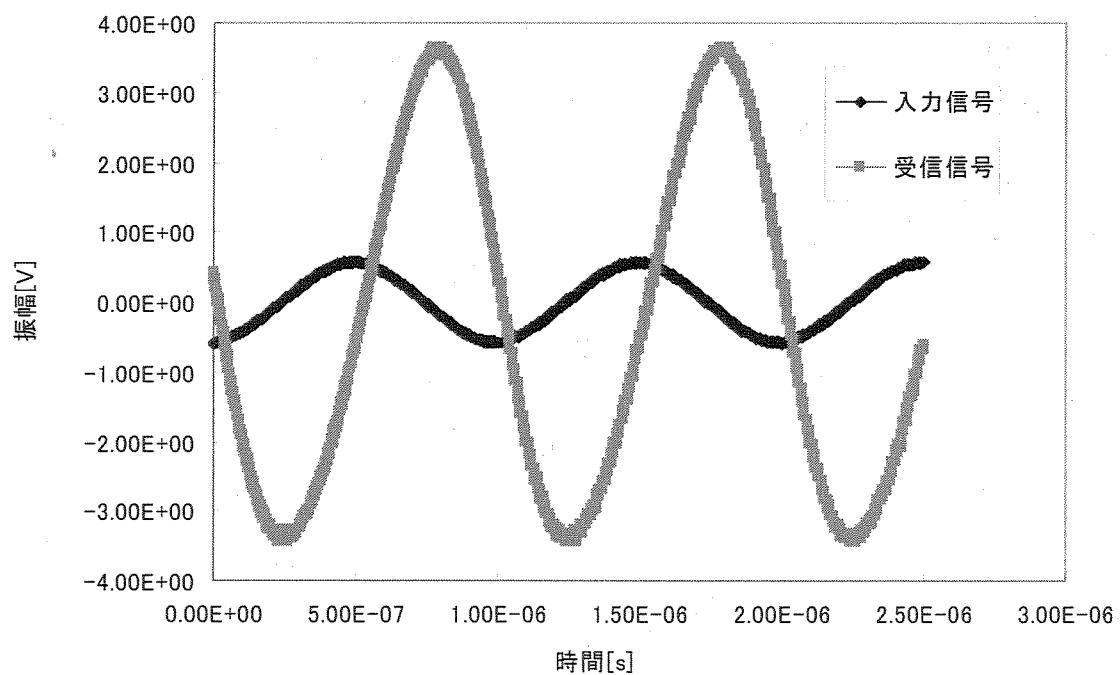


図 20 ミラーの移動距離が 100cm の時のオシロスコープの波形

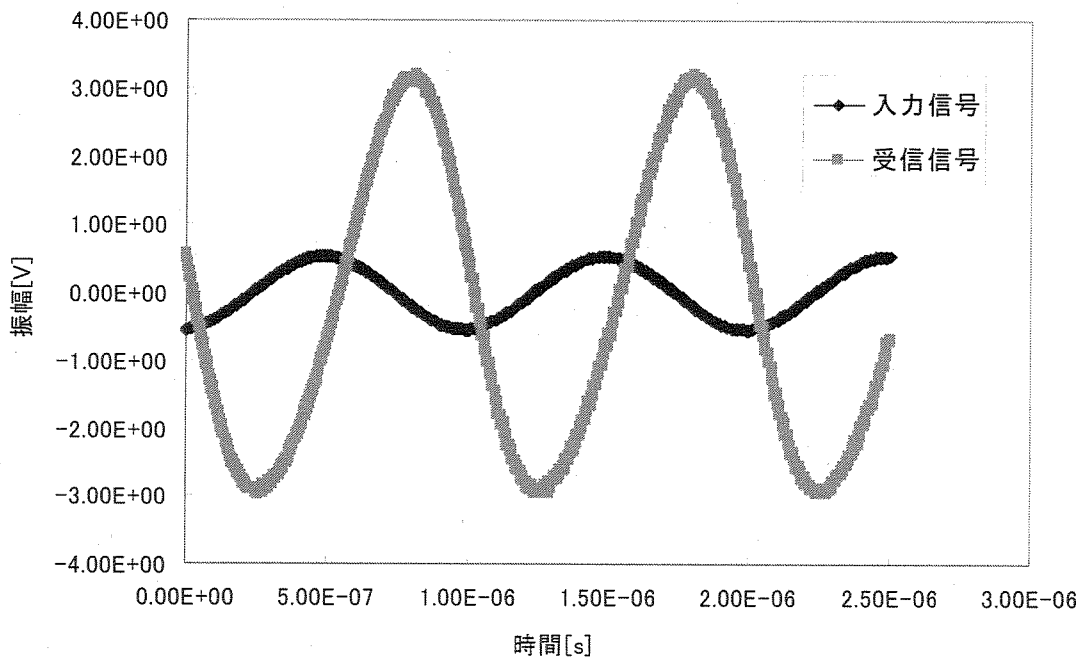


図 21 ミラーの移動距離が 400cm の時のオシロスコープの波形

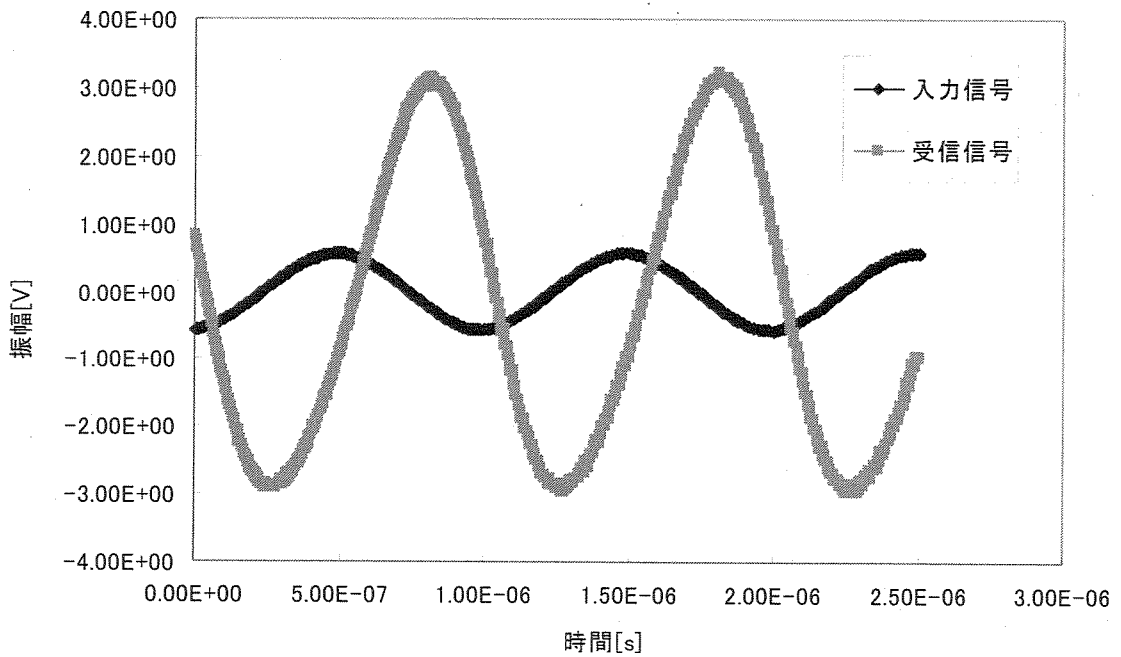


図 22 ミラーの移動距離が 1000cm の時のオシロスコープの波形

図中の振幅の大きい波形が、PD からの信号であり、振幅の小さな波形がファンクションジェネレーターからの信号である。

図 20 から図 22 より、距離を離していくにつれて PD からの信号の振幅が減少していく事が分かる。図 20 と図 22 を比較した時、実際には位相が 7° くらいずれているのだが、 7° という値が小さすぎるために図からは、ずれている事がはっきりと確認できない。

3.4.4 その他の変調周波数の測定結果の比較

複数の変調周波数で同じように測定したその結果を図 23 に示す。

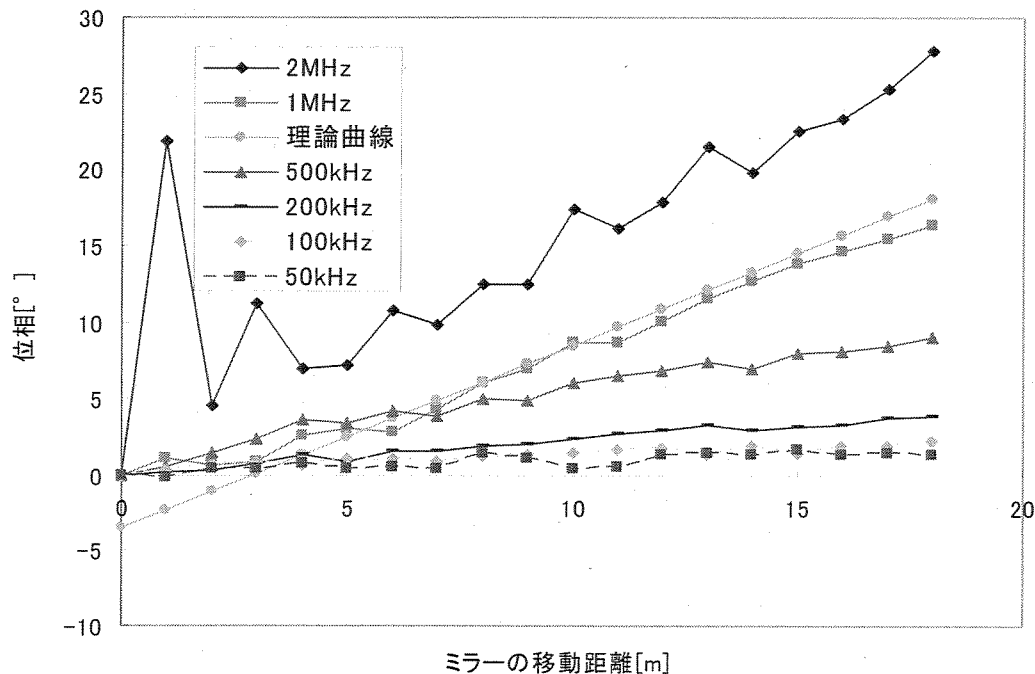


図 23 ミラーの移動距離と位相の関係

図 23 より、1MHz の時のみ理論曲線をとった。その他の変調周波数の結果でも位相とミラーの移動距離は比例関係にある事が確認され、低い変調周波数ほど波長が長いので、傾きの小さなグラフになる事が確認できる。しかし、2MHz の時のみ他のグラフと比較して変動が見られた。

これらの測定結果は何度も同じ測定を行い、きれいな測定値が得られたものを選び、載せ

ている。つまり、同じ測定を行っても、毎回正確な値はとれなかった。

3.5 図3での測定結果

図1、図2の実験の応用として、図3のような実験を試みた。

しかし、ここで新たな問題が発生した。壁に映った光を、望遠鏡を用いて、望遠鏡に空いている小さな穴から出てくるように調整したかったのだが、(図11参照)本研究で使用するレーザーの光が弱すぎるために、小さな穴から光が出ているのか、出ていないのかがはっきりと確認できなかった。目で確認できなくても、もし光が出ているのなら、PDに当てれば波形を検出できるのだが、本研究のPDでは、微小な光を感知する事ができず、波形を検出する事はできなかった。これらの対策として、使用する半導体レーザーをかえるか、もっと高感度のPDを使用するかに変更しなくてはならない。しかし、本研究室には、現在使用している半導体レーザーの他に、もっと光が強く、変調可能なレーザーや、更に高感度のPDもなく、この実験は中止となり、測定結果は得る事ができなかった。

4. まとめ

位相検波器を作製し、その動作の確認を行った。図 1 の実験では、原因ははっきりとは不明だが、正しい測定結果が得られなかった。図 2 の実験では、図 1 の結果よりもはるかに良い測定結果が得られたが、まだ多少の誤差は見られた。これは、本研究全てに言える事だが、温度変化等の原因による半導体レーザーの波長の変化や、空気の屈折率を変化させる気圧や温度の変化があると誤差が出て正しい測定がとれないという事が分かった。しかし、位相と移動距離 ΔR の関係が比例関係で、 360° 位相がずれた時には、波長 λ [m] 分の距離を移動しているという事が大体確認された。これらの得られた測定結果をもとに、応用として図 3 のような実験を試みた。実際に測定結果を得る事はできなかったが、図 3 の実験がうまくいったならば、例えば、望遠鏡で天体観測をした時に、検出波形から電圧や位相が測定できれば、自分のいる場所から天体までの距離なども測れたりするのではないかと考えた。これは、ただ単に、自分が図 1 から図 3 までの実験をし、そこから勝手に思った事である。これが、現時点で可能な事かあるいは不可能な事なのかという事は分からない。もし、不可能ならば、それを可能にする事がこの研究の今後の課題といえるだろう。また、どれだけ常に誤差を出さずに測定結果を導き出せるかを考える事も今後の課題の 1 つだと考えられる。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、

本校電子制御工学科教員 由井 四海教官

より終始ご丁寧なご指導、御助勢を下さったことに対して深く感謝いたしております。

由井教官には、研究を進める上での貴重な文献を多数貸して頂いたり、研究で参考にする資料を頂いたり、卒研室での研究を進める上で、重要で参考にもなった基礎勉強や実験方法に関してご指導頂いたりなど、大変なご協力を頂きました。

さらに、本校電子制御工学科の教員の方々、又

早川 幸弘技官

のご協力にも合わせて深く感謝いたします。

この場を借りて御礼申し上げます。

6. 参考文献

半導体レーザーと光計測

山口 一郎・角田義人 編

学会出版センター

入門レーザー

大津 元一 著

裳華房