

内部共振器型He-Neレーザの出力変動

波々 伯部 圭 佑

Fluctuation of Output Power in the Intracavity Helium-Neon Laser

Keisuke HOHKABE

Output power in the intracavity helium-neon laser at 632.8nm (wavelength) usually shows a few percent fluctuation and its beam has random polarization.

In this paper, the fluctuation of output power was studied experimentally by using histogram of output power.

As the results, the magnitude of the output power fluctuation reached within one percent in ten minutes after the start of operation, but that of the polarized beam obtained by beam splitter showed higher value than ten percents.

1 ま え が き

内部共振器型He-Neレーザは小型・軽量で取扱い簡便なレーザ装置として多くの方面に利用されている。現在、広く市販されているこれらの装置では、発振波長632.8nmで、発振出力数mW程度である。

また、この発振出力はランダム偏光である。これはレーザ共振器内に外部共振型レーザのブリュースタ窓のような偏光面を規制するものがないことによる。

これらレーザの出力は通常数%の変動がある。その要因の主なものにはレーザ放電管の熱的影響によって生ずる光共振器長の変化があり、これはレーザ装置の周囲温度を均一にすることによって減少⁽¹⁾できる。この出力変動は、レーザの通信への応用、精密な計測への応用においては好ましくない影響を及ぼすことがある。これを避けるには安定化されたレーザ装置が使用される。

本報告では市販レーザの出力変動を実験的に検討した結果、レーザ出力を直線偏光にして使用する場合、出力変動はかなり大きくなることが認められた。

2 内部共振器型レーザの出力変動の要因

レーザはレーザ媒質と一対のミラーからなる光共振器を備え、レーザ媒質に励起エネルギーを供給してレーザ発振出力を得る。

内部共振器型He-Neレーザでは図-1に示すようにレーザ媒質(He, Neの混合ガス)と光共振器が直接接している構造で、両端のミラーはレーザ放電管に封着されていてレーザ媒質の励起には放電が利用される。この種のレーザはミラーとレーザ媒質とが直接しているため、外部共振器型レーザのようにレーザ放電管内にレーザ媒質を保持し、かつ、光を通過させるような

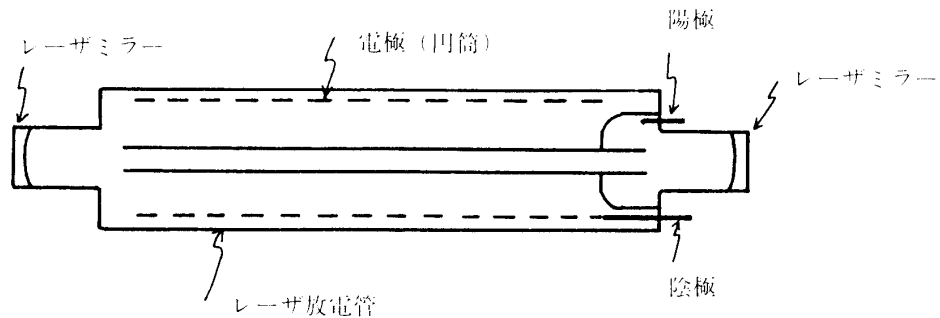


図-1 内部共振器型レーザ

窓が必要でない。このため、窓における光の損失について考慮する必要がなく、レーザ利得の小さいHe-Neレーザの場合には寸法の小さい放電管で発振させるのに都合がよい。ところが発振出力はその偏光面が規制されないので、時間的に変動する誘導放出時の偏りがそのまま発振に至る。

この結果、レーザ出力は左、右両円偏光が組合わされたようなランダム偏光の出力となる。

一方、レーザ出力の変動にはレーザ装置の構成に直接関係する次のような要因に基づくものがある。⁽²⁾これらの要因は次のようなものである。

光共振器長の変化

レーザ発振光の周波数は光共振器長によって決まり、共振器長を L とすると、 $c/2L$ (c : 光速) ことの共振周波数のうち、利得があるスレシホールドレベル以上の周波数で発振する。⁽³⁾

He-Neレーザの利得はドブラ幅の拡がりをもつガウス型曲線で表わされ、共振器長 L が変化すると共振周波数がずれるから各周波数に対する利得が変化することになり、その結果出力の変化となる。

共振器長の変動は、熱的、機械的な原因による変化によって起るが、内部共振器型レーザでは熱的要因によって放電管が伸縮し、その結果、封着されているミラー間隔が変化することになる。しかし、外部からの振動による共振器長の変化はほとんど無視される。

なお、共振器長の変化はレーザ発振周波数の変動の要因ともなり得る。

アラインメントの変化

レーザ出力を得るには、レーザ放電管の細管部を通る軸に対してミラーを正対させることが必要であるが、内部共振器型レーザは製造時に一度アラインメントしてしまえば、使用中に光共振器のアラインメントが大きくずれることはほとんどない。

励起の変化

励起入力の変化はレーザ出力に直接影響を及ぼす。

He-Neレーザでは励起入力⁽¹⁾は放電時の放電電流に比例するから、この放電電流の変化は出力の変化となって現われる。一般にHe-Neレーザの放電はグロー放電であり、一種の定電圧放電である。

しかし、電源の電圧変動は放電電流の変動となり、レーザ出力の変動となることは避けられない。

以上のことから、超安定型レーザでは光共振器の構成には熱的、機械的影響による共振器長の変化を抑え、電圧変動の小さい安定化電源の使用が必要となる。

また、熱的要因に基づく出力変動を小さくするにはレーザ周囲の温度の均一化が必要となる。

3 レーザ出力の時間的変動

上述のように、いくつかの要因によってレーザ出力は時間的に変動する。
この変動をレーザ出力全体について調べた。

(1) 実験方法

本実験には東芝製LG-3221レーザ管(出力 ≥ 2 mW, ランダム偏光)と東芝製LPG-3221電源を使用した。レーザからの出力光は光電子増倍管に導びき、その出力をペンレコーダに入力する。この際光電子増倍管の出力はレーザ出力に比例するように調整する。この測定系統図を図-2に示す。

また、同様の測定を受光素子としてPINフォトダイオードを使用して行った場合の測定系統図を図-3に示す。

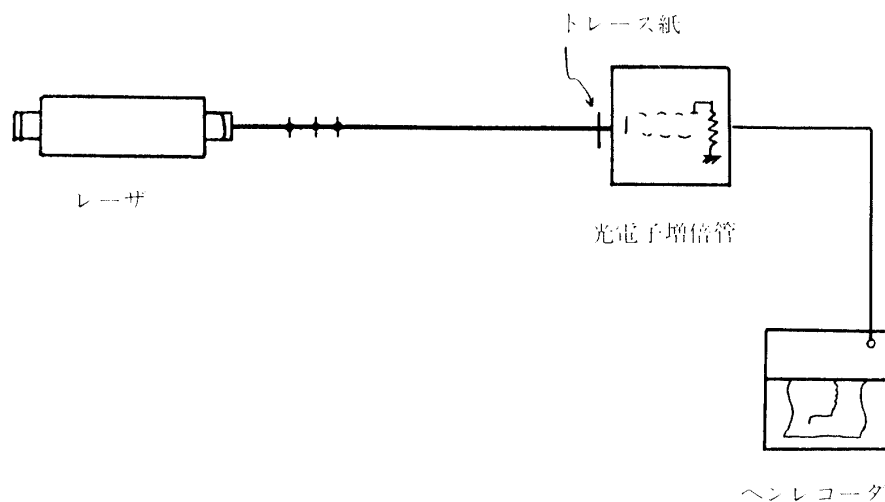


図-2 測定系統図

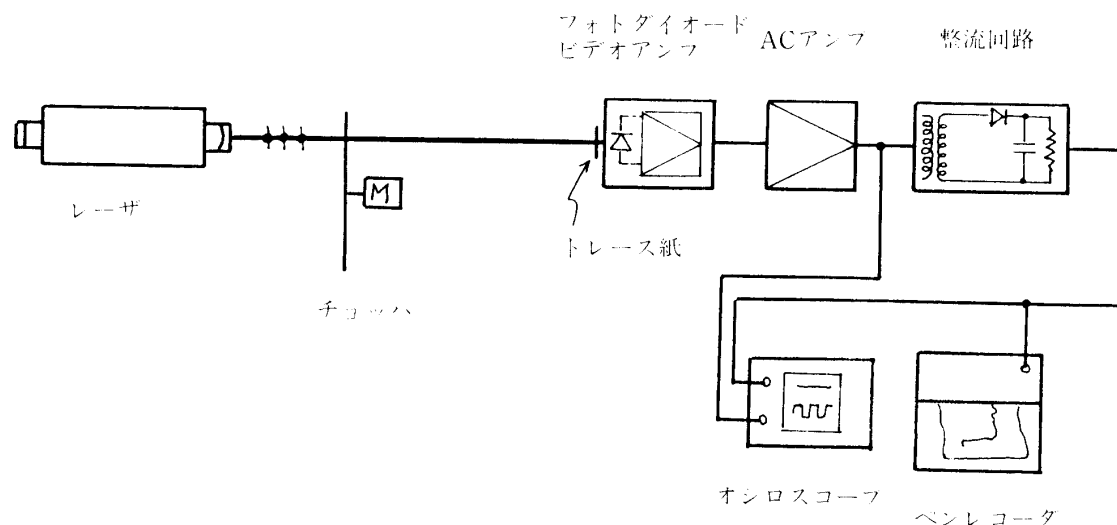


図-3 測定系統図

同図ではレーザ出力を約600Hzのチョッパで断続し、その整流されたレベルを観測する。

(2) 実験結果及び考察

光電子増倍管とPINフォトダイオードを使用した場合の測定結果の一例をそれぞれ図-4、5に示す。

図-4から見られるようにレーザ出力は動作開始後、約7分間は上昇していくがその後はほぼ一定となる。最初の上昇時の変化は動作開始時の出力の約10%であった。

このレーザは約7分経過すると出力全体のレベルは一定となるが、細かく見ると規則的な変動が見られる。この変動の大きさは1%以下であり、その周期は動作開始後時間が経つにつれて長くなることがわかる。経過時間に対する周期の変化の様子を図-6に示す。

この結果、レーザは動作開始後1時間近く経つと変動の周期も長くなり、レーザ出力レベルは数分間にわたって出力変動率が極めて小さい状態を保つことがわかる。

PINフォトダイオードを用いた実験結果においても同じような様子を示した。図-5はこの場合のレーザ出力の時間的变化の一例を示すもので、光電子増倍管を用いて受光した場合に比べて最初の上昇時の変化は約13%と少し大きく、動作中に見られる周期的変動の大きさも約3.4%と大きく現われていた。

これらは本測定はPINフォトダイオードの前にチョッパを使用し、後に増幅回路、整流回路などが接続されており、また、フォトダイオードは光電子増倍管に比べてノイズが現われやすいことなどによると考えられる。

ただし、周期的変動の周期は時間とともに長くなっていき、長時間動作後の出力安定度は小さいことがわかる。

周期的変動の周期の長さとは経過時間の関係は図-6中に示す。同図からフォトダイオードで観測した場合の経過時間に対する周期の長さも光電子増倍管による測定結果とはほぼ同様であった。

内部共振器型He-Neレーザの出力変動

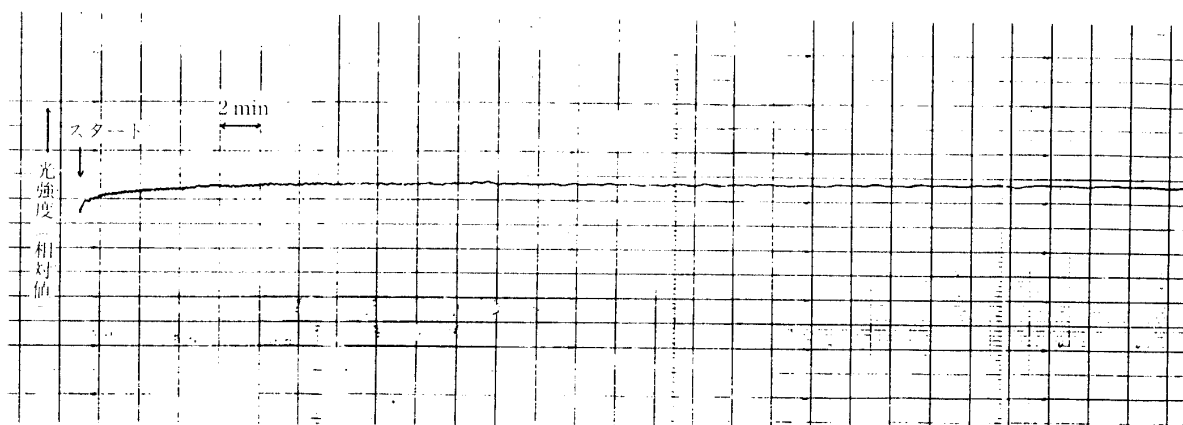


図-4 レーザ出力の時間的変動の一例(光電子増倍管で受光)

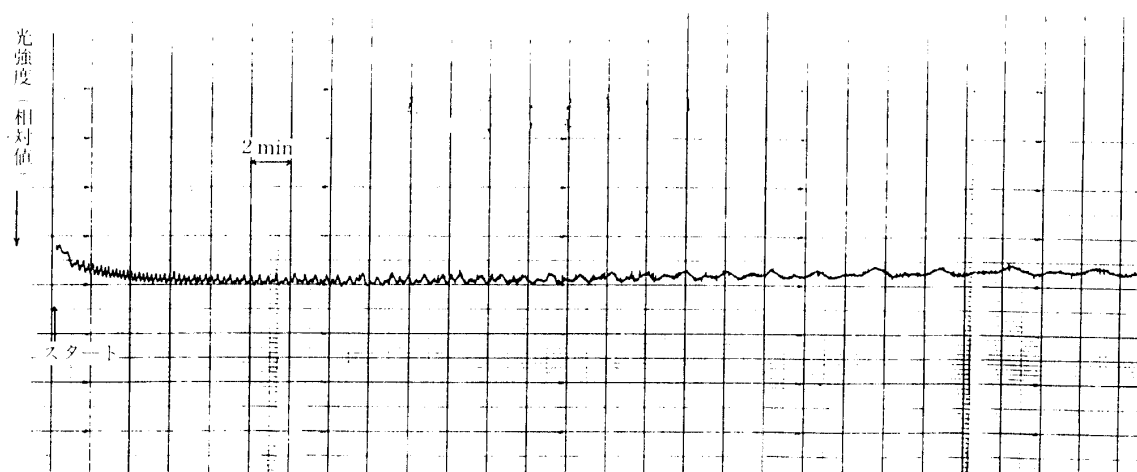


図-5 レーザ出力の時間的変動の一例(PINフォトダイオードで受光)

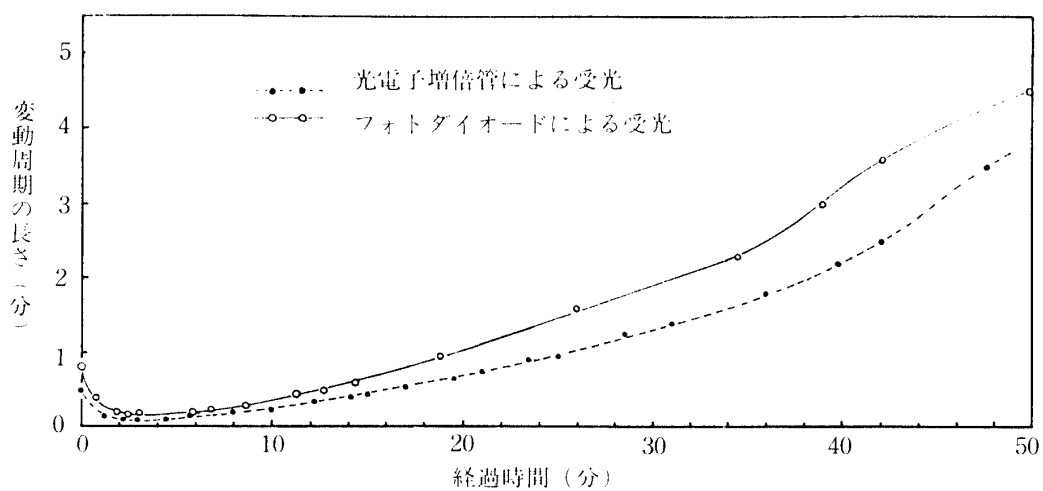


図-6 変動周期の長さの経過時間に対する関係

なお、以上の測定結果のレーザ出力中に見られる周期的変動は放電管の温度が変化し、その結果光共振器を形成するミラーの間隔が変化することによって現われるものと考えられる。

このように内部共振器型He-Neレーザは、出力に小さい変動があるが、動作時間とともにその変動周期は長くなるから、このレーザの使用にあたっては特に周囲温度を制御していないものでも長時間動作後はかなり安定な出力が得られる。

4 レーザ出力の偏光成分の時間的変動

レーザ出力全体の時間的変動に周期的変動が見られたが、レーザ光を偏光ビームスプリッタで分割してそれぞれの偏光成分を使用した実験を行うような場合、一方の偏光が大きくなると他方は小さくなるなどの変化が生じ、その周期は上述の出力変動の周期とよく合っており、これについて調べた。

(1) 実験方法

- a レーザ出力を偏光ビームスプリッタで分割し、一方の偏光成分を光電子増倍管で受光し、その出力をペンレコーダで記録する。この測定系統図を図-7に示す。
- b レーザ出力を回転する偏光板を通してPINフォトダイオードで受光し、その出力は増幅回路、整流回路を通してペンレコーダに入力する。この測定系統図を図-8に示す。
- c レーザ出力をキューブビームスプリッタで分割し、一方は回転する偏光板を通してPINフォトダイオードで受光し、増幅回路、整流回路を通してペンレコーダで記録する。他方は直接光電子増倍管で受光してその出力をペンレコーダで記録する。測定系統図を図-9に示す。

なお、キューブビームスプリッタにより分割された光はほとんど直線偏光に近く偏光されていた。このため、図-9の二つの成分は互いに直交する直線偏光と考えられる。

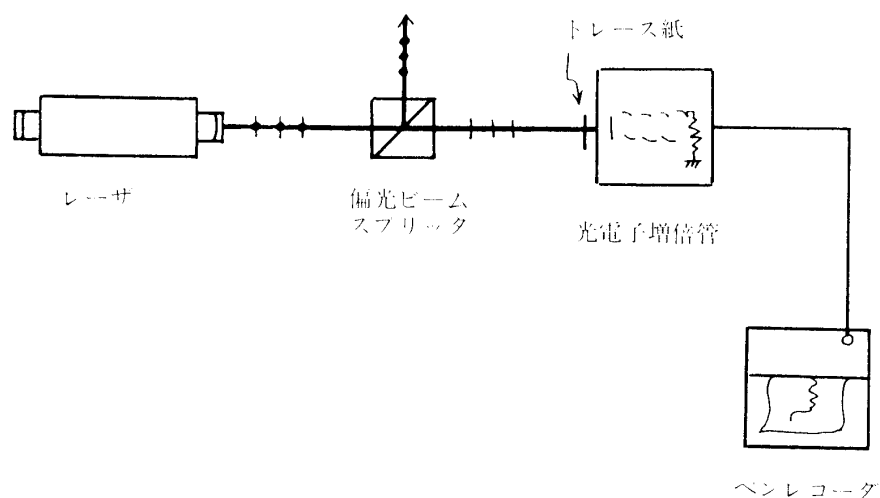


図-7 測定系統図

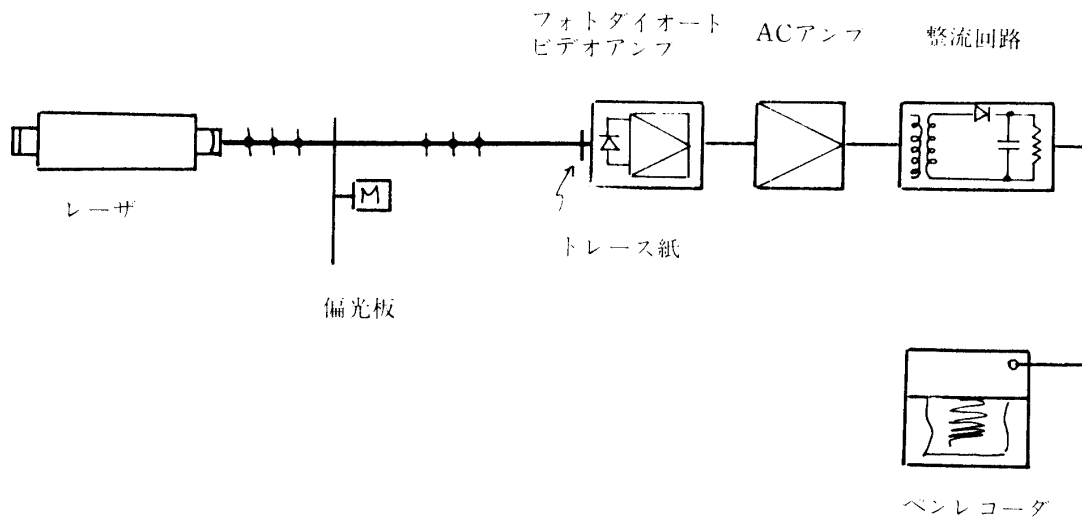


図-8 測定系統図

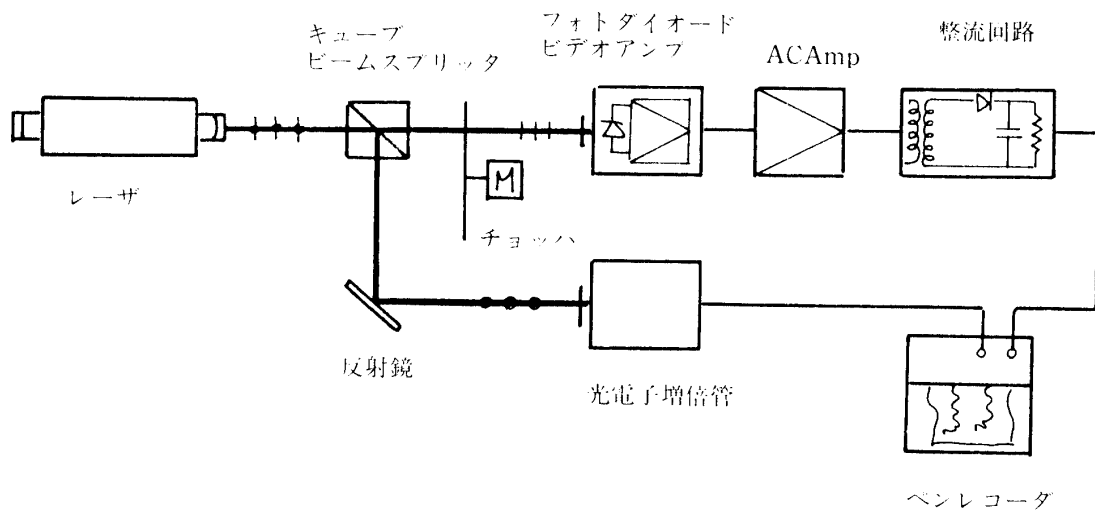


図-9 測定系統図

(2) 実験結果及び考察

実験方法 a, b, c についての測定結果を図-10, 11, 12に示す。

図-10についてみると、ランダム偏光出力の一偏光面内の直線偏光は、出力全体の時間的変動と同様の変動がみられる。この変動の大きさは動作開始後10分以上経過すると約16%である。変動周期の経過時間に対する関係は図-13のようになり、出力全体の中に見られた変動と同じようであった。

図-11は偏光板が回転しているときの変動分のみを観測した結果である。偏光板の回転速度は変動周期よりはるかに速い。もし、ある直線偏光に対して偏光板を回転すると偏光板の回転に応じた光強度の変化が生ずるはずであるが、同図にこのような変化はみられない。

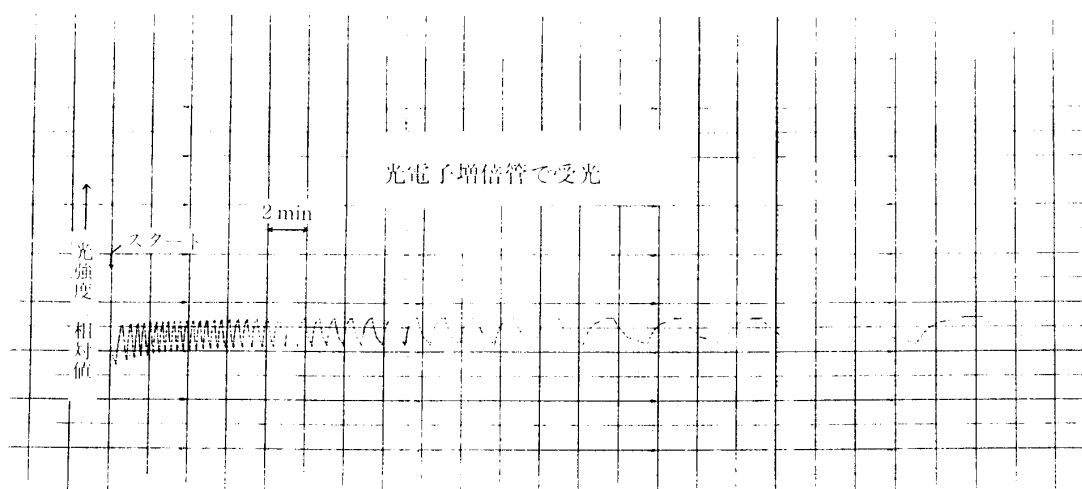


図-10 レーザ出力偏光成分の時間的変動の一例(光電子増倍管受光)

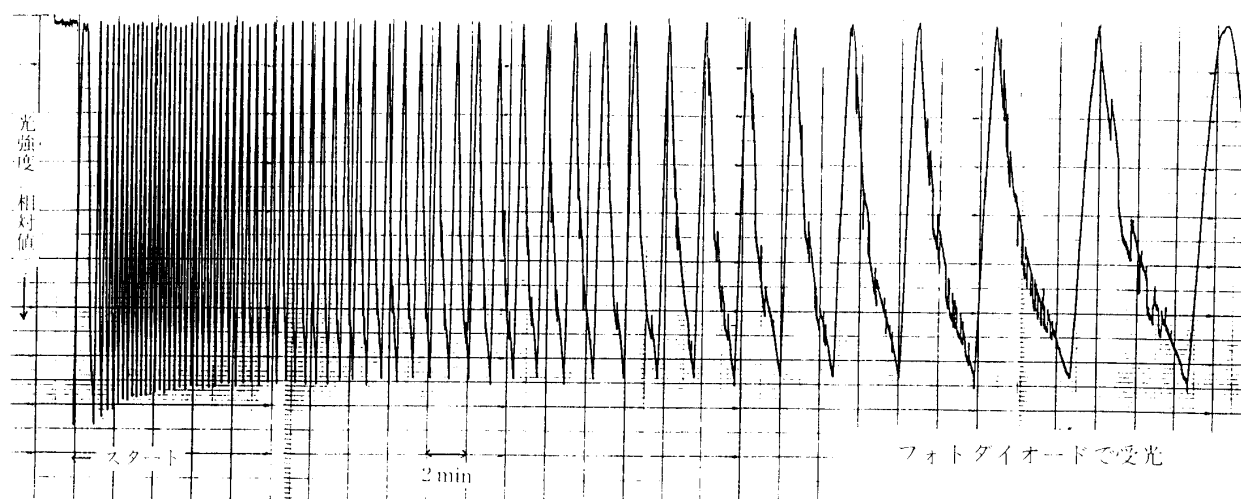


図-11 レーザ出力偏光成分の時間的変動の一例(PINフォトダイオードで受光)

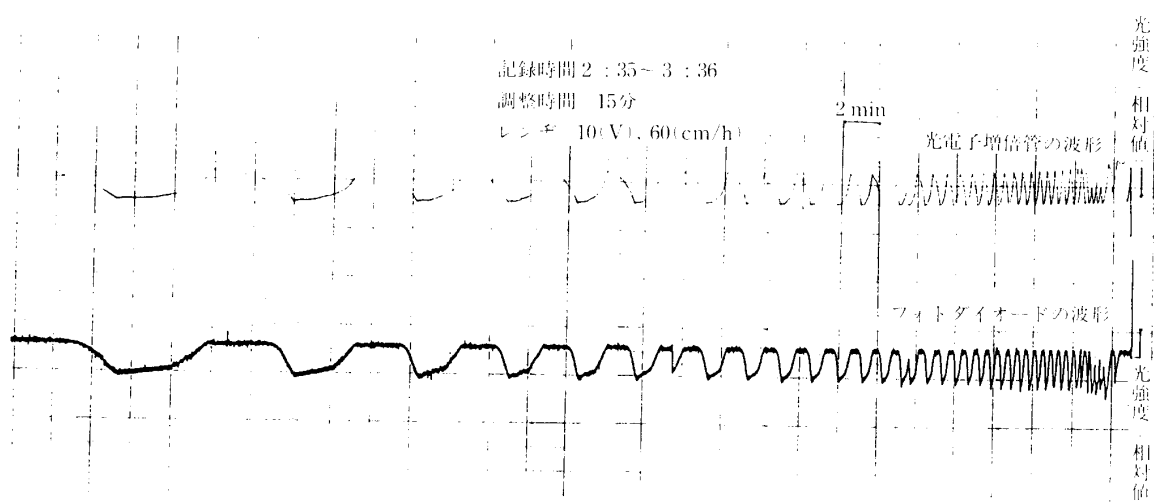


図-12 レーザ出力偏光成分の時間的変動の一例(光電子増倍管およびフォトダイオードで受光)

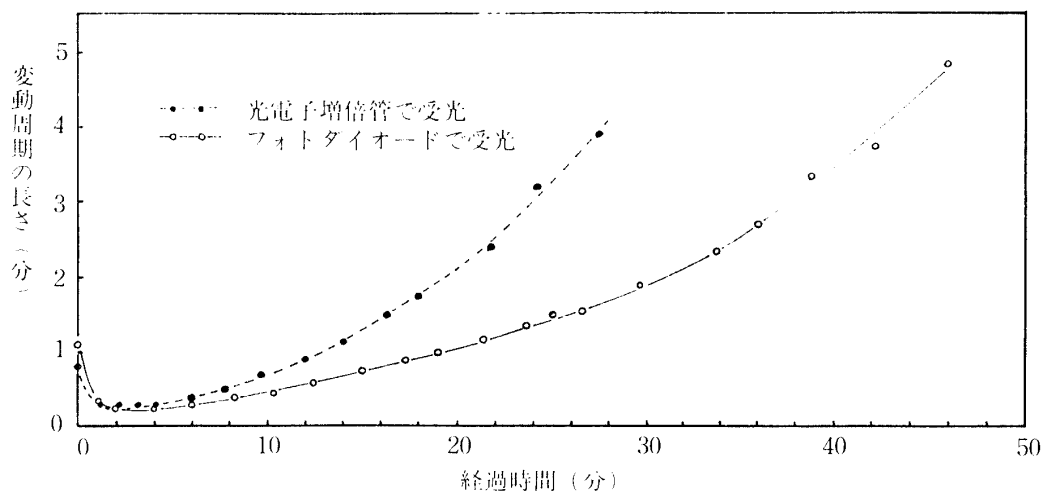


図-13 変動周期の長さの経過時間に対する関係

次にレーザ出力の形態としては円偏光が考えられる。この場合、偏光板を回転して見ると、一定の光強度として観測されると思われる。しかし、円偏光の大きさが変化すれば、偏光板を通った光の強さも変化する。図-11の変動の様子はこれに相当するもので、この結果のみについてみると、レーザ出力は円偏光の大きさが時間的に変化しているように見られる。

図-12については、レーザ出力を直交する直線偏光成分に分割したときの出力変動を示している。それぞれの出力に変動分が大きく現われているのは図-10と同様である。

同図は二つの偏光成分の間で変動の増減の向きが逆になっており、一方の偏光成分が大きくなると、他方は小さくなることの変化を示している。

両偏光成分を加えると元のレーザ出力となり、前述の図-4で見たようなわずかな変動となるとと思われる。

5 結 論

内部共振器型He-Neレーザについて、レーザ出力の時間的変動を実験的に確かめ、実験結果について考察を行った。

レーザ出力全体について見ると小さい変動があるが、出力全体に占める割合は1%位であり、変動周期も時間とともに長くなる。このことから内部共振器型He-Neレーザを光源として使用する場合には長時間動作していると出力はかなり安定になることがうかがえる。

しかるに、このレーザ出力をある直線偏光にして使用する場合には、出力全体に占める変動分が拡大されたような状態を示すため、安定な直線偏光を必要とする実験などに光源として使用することは好ましくないとと思われる。

内部共振器型レーザ出力の変動はレーザ放電管の熱的影響が大きく起因して生ずると考えられるから温度変化ができるだけ速く小さくなるようなレーザ装置の構造が望ましい。

本研究で使用したレーザではミラー間隔が約250mmで、光共振器としての共振周波数は600MHzご

とに存在する。利得のドブラ幅は約1500MHzであるから、実際に発振するスペクトルは2～3本生ずる。これらは互いに独立に発振するため、発振出力の偏光は複雑なランダム偏光になると思われる。

参 考 文 献

- (1) 波々伯部 昭59電気四学会 北陸支部連大予稿集 C-19 昭和59年.
- (2) レーザ学会編 レーザハンドブックP353 1982.
- (3) A.L. Bloom GAS LASERS Robert E. Krieger Publishing Company Huntington New York 1978.
- (4) A. Sasaki, S. Uchimarui and T. Hayashi JJAP Vol.23 No.5 May 1984.