

# プロジェクト名： 出力変動補償機構を加えたレーザー発振周波数安定化技術の開発

代表者： 大向 隆三 (教育学部・准教授)

## 1 はじめに

レーザー光を用いた原子の精密分光計測は、量子標準や物理定数の高精度化、新しい物質相の生成とその物理的性質の解明など、幅広く学術貢献がなされつつある。そのような研究を遂行する上で、光源となるレーザーの発振周波数を所望の値に長時間安定化して維持する技術の確立が強く望まれている。従来の当該内容に関する技術では、共振器や原子の吸収信号を測定して得られる参照信号から一定の電圧値を引き算した電気信号を使ってレーザーの発振周波数を安定化させるためのロッキングポイントを設定する方法が一般的であった。我々の研究室でもサイド・オブ・フリンジの方法を用いて 780nm 外部共振器型半導体レーザーを周波数変動 1 MHz 以下に安定化することに成功している。しかしこのような現在の方法では、制御中にレーザーの出力強度が変化したときにロッキングポイントが移動してしまい、結果として制御後の発振周波数が不安定になるという欠点が残されている。本研究では、サイド・オブ・フリンジによる一般的なレーザー発振周波数技術に対して我々独自の強度変動補償機構を追加した安定化方法を試み、レーザーの出力変動とかわからず高安定な発振周波数を維持するレーザー光源の実現を目指すこととした。

## 2 実験方法

研究目標を達成するために我々が考案した制御スキームを図1に示す。レーザーからの出力光を一部取り出し、それを2本のビームに分割する。1本目の光ビームは直接光検出器に入射させ、光強度に応じた電気信号を発生させる。  
( $V_1$ ) もう1本の光ビームは参照共振器に入射し、透過光強度を光検出器でモニターする。

( $V_2$ ) この参照共振器はレーザーの発振周波数を安定化させるための基準となる信号を得るための装置である。これら2つの出力信号を除算回路に入力し、( $V_2/V_1$ )の電気信号を得る。従来は参照共振器の透過信号だけをサーボ回路に入力していたので、光強度モニターの信号と割り算回路を加えた制御を試みる点が新しい取り組みである。今回の我々の方法では、レーザーの出力光強度 ( $V_1$ ) が変化して参照共振器の透過光強度 ( $V_2$ ) が変化しても、それらを割り算した結果 ( $V_2/V_1$ ) は変化しないはずである。その結果、ロッキングポイントはレーザー光の出力にかかわらず一定になる。サーボ回路は、オフセット回路、増幅回路、積分回路、加算回路からなり、所望の発振周波数へレーザーをロックするための制御信号を発生させる。

前述のとおり、光学系とサーボ回路および制御性能の評価方法についてはすでに研究を完了しているので、ここでは除算回路の製作とその動作性能評価を実施した。割り算を行う回路としてフォトカプラを用いた回路、対数・逆対数回路の組み合わせた回路などが知られているが、本研究では AD532JDZ というアナログ

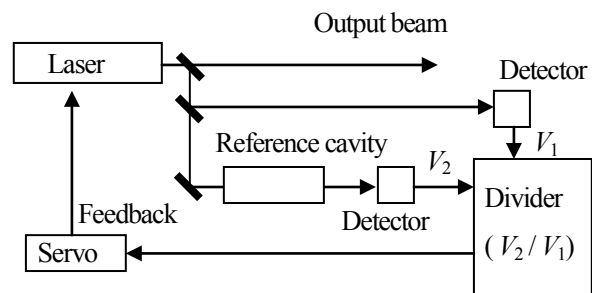


Fig. 1 Experimental scheme

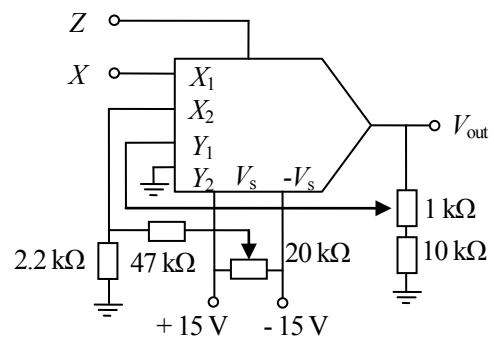


Fig. 2 Experimental setup

チップを用いて回路を設計した。これには外付けのトリミング抵抗や出力オペアンプが不要であり、モノリシック構造であるため回路全体を小型化することができる、信頼性の向上も同時に達成されるなど、技術的メリットが多い。我々が設計した除算回路図を図2に示す。この回路で出力 ( $V_{out}$ ) は2つの入力 ( $X$ ,  $Z$ ) に対して、 $Z/X$  に比例した電圧値が出力される。

### 3 実験結果

図2の回路を作製し、その動作性能を確認した実験結果を図3と図4に示す。図3は  $X$  の値を一定に保ち  $Z$  の入力値を変化させながら出力電圧をモニターした結果、図4は  $Z$  の値を一定に保ち  $X$  の入力値を変化させながら出力電圧をモニターした結果である。ただし図4では横軸を  $1/X$  としてプロットしている。所望の動作を我々の回路が行っていれば、両方のグラフで右上がりの直線にのるデータが得られるはずで、実際にそのような出力電圧が観測されたことを確認できた。グラフには示していないが、 $Z$  を変化させたときには  $X=0.1 \sim 5.0V$  の範囲において比例動作を確認できている。また、 $X$  を変化させたときには  $Z=0.1 \sim 3.0V$  の範囲において反比例動作を確認した。続いて、 $X$  と  $Z$  に同じDC電圧を入力し、出力が一定に保たれるかどうかを試したところ、 $X=Z=2.0 \sim 8.0V$  の範囲で出力電圧の変動は  $\pm 2.0\%$  以内に保たれた。それ以下では、最大で5%の変化が観測された。

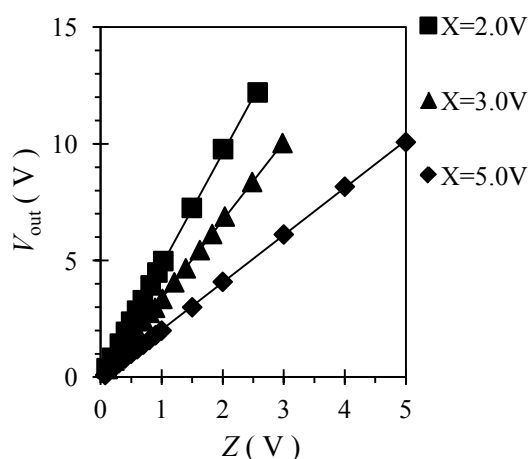


Fig. 3 Experimental results ( $Z - V_{out}$ )

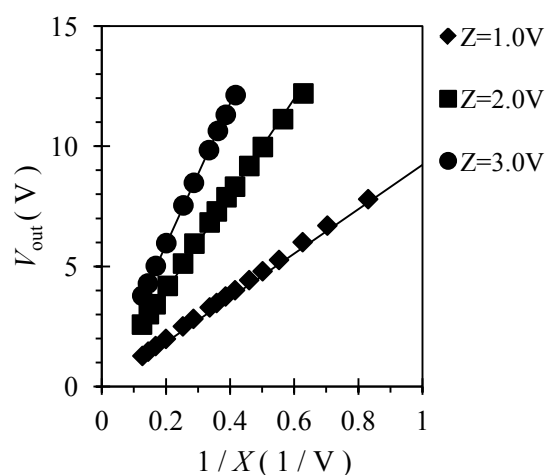


Fig. 4 Experimental results

### 4 まとめ

レーザーの出力光強度に応じて変化する参照信号強度を一定に保つための除算回路を設計・製作し、その動作を確認した。2つの入力とも3V以上の入力電圧に対して、広い電圧範囲で所望の割り算がなされていることを確認した。実際の光学実験では光強度をフォトダイオードで受光して増幅した電気信号を使用するので、この入力電圧に関する制限はあらかじめ信号の増幅率を調節することで克服することが可能である。今後はこの製作した回路を用いて半導体レーザーの注入電流へフィードバックさせて発振周波数を安定化し、意図的に光強度を変化させたときのロッキング性能を確認する実験を進める予定である。