



## ロック装置

本研究では、図 3 のような光位相同期回路を用いてロック対象の 2 台のレーザーの位相差が小さくなるようにするフィードバック系を作成した。

制御対象の **master laser** と周波数安定化された **Reference laser** がビームスプリッターで重なり、高速光検出器によりビート周波数を検出する。このビート信号は数 GHz と高いため、分周器によって数十 MHz まで分周する。その信号と **Local Oscillator** からの出力信号の位相の差に比例した電圧が位相比較器からエラー信号が出力される。その後ループフィルタに入り、誤差信号に対してノイズの周波数特性に合わせるように操作を行う。ループフィルタから出力された制御信号は、ローカルオシレーターの周波数とビート周波数の差が小さくなるように働く。**master laser** には電流量と PZT の電圧に制御を行う。電流量制御は制御帯域が広いが熱膨張による共振器長のドリフトのような非常に低い周波数帯域でのノイズに対応できない。対して PZT 制御はそれに対応できるが、機械共振があるため制御帯域が狭い。そのため 2 つの制御となった。

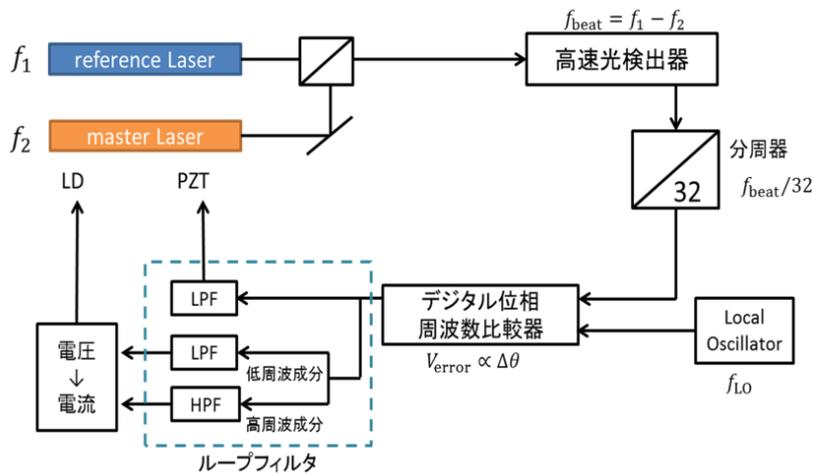


図 3 光位相同期回路の概略図

<デジタル位相周波数比較器>

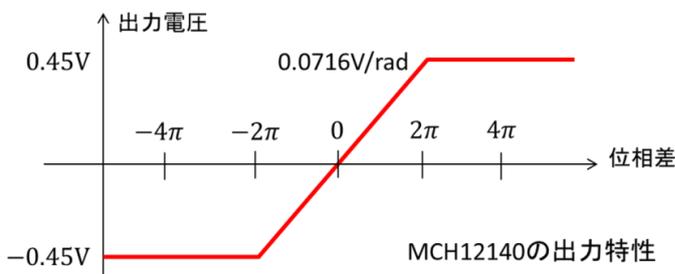


図 4 デジタル周波数位相比較器の出力特性

デジタル位相周波数比較器は 2 つの入力信号を比較、両者の差に比例した電圧(誤差信号) を出力する。位相差が  $-2\pi$  から  $2\pi$  の範囲では位相誤差に比例した電圧を出力する。それ以外の範囲では位相比較ができる範囲まで一定の電圧を出力する。

<ループフィルタ>

半導体レーザーの周波数ノイズは一般的に低い周波数ほど大きくなるような特性をもつ。それを十分取り除けるように誤差信号に周波数特性を持たせる役割を持っている。主に低周波帯域の利得を大きくするアクティブローパスフィルタとなっている。

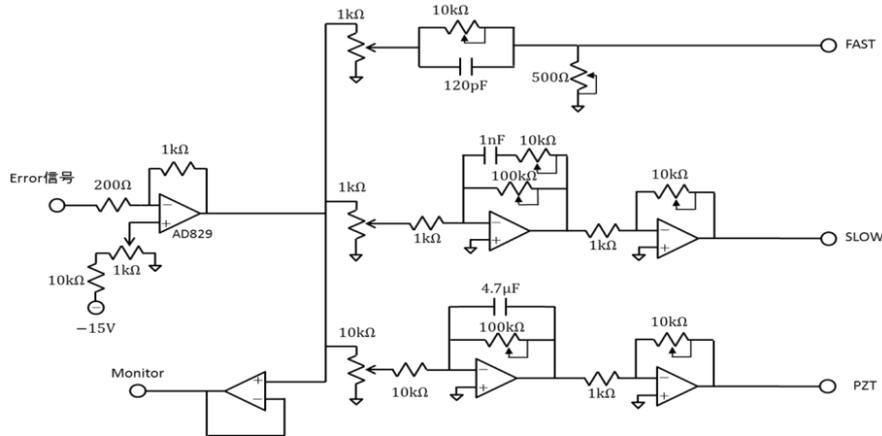


図5 ループフィルタの回路図

実験1 オフセット 50MHz でロック

今回の実験では、reference laser と master laser 間のビート信号の観測が時間的問題で出来なかつたため、現在観測可能なmaster laser と slave laser 間のビート信号を用いて今回設計製作を行った回路の性能評価を行った。

2台のレーザーのオフセットを 50MHz に設定して分周器を使わずにロックを行い位同期回路としての性能をどれだけ持つかを評価した。図6 がロック後のmaster laser と slave laser 間のビート信号である。50MHz にシャープなビート信号が観測できた。制御帯域は約 2MHz となっている。図7 は誤差信号から導いたビート信号と参照信号の間の位相揺らぎである。図7 から位相揺らぎは約 40mrad となった。これらの結果から今回作成した回路が位同期回路として動作していることが確認できた。

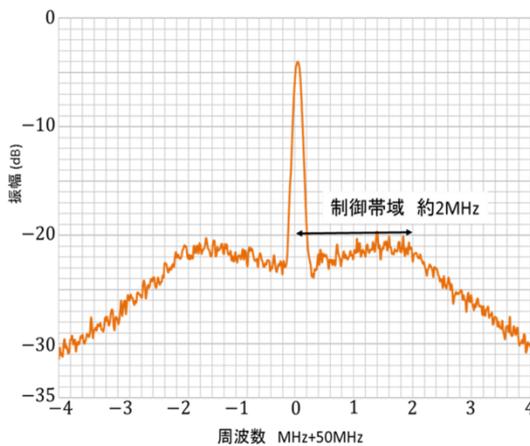


図6 ビート信号(オフセット 50MHz)

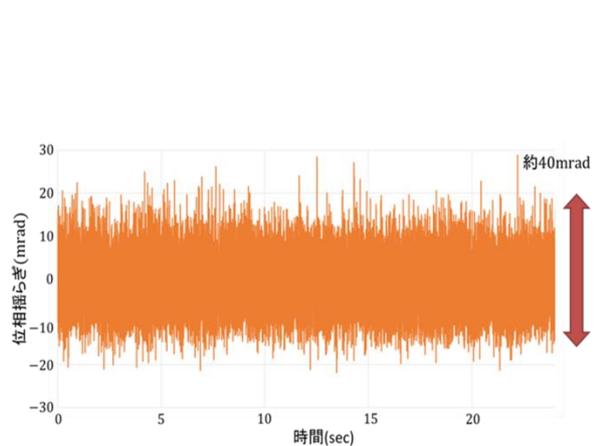


図7 位相揺らぎ(オフセット 50MHz)

## 実験 2 オフセット 800MHz でロック

2 台のレーザーのオフセットを 800MHz に設定して分周器を入れて 800MHz を 25MHz に下げてロックを行った。この実験で分周器を入れたことによる影響を確認し、ビート信号の線幅から相対周波数揺らぎの評価を行った。図 8 はロック後の master laser と slave laser 間のビート信号である。800MHz にシャープなビート信号が観測できた。分周器を入れたことにより制御帯域が 2MHz から 800kHz まで低下してしまっていた。ビート信号の線幅からこの回路でオフセットロックを行った時に生じる 2 台のレーザー間の相対周波数揺らぎは約 20kHz であることがわかった。

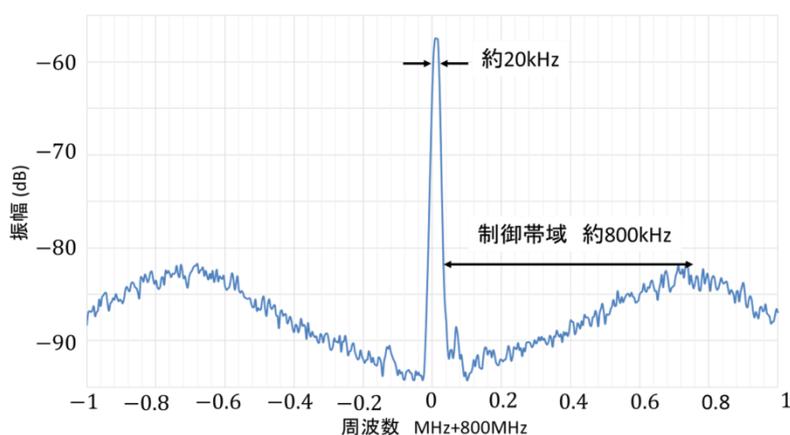


図 8 ビート信号(オフセット 800MHz)

### まとめと今後の予定

今回の実験では、reference laser と master laser 間のビート信号の観測が時間的問題で出来なかつたため、現在観測可能な master laser と slave laser 間のビート信号を用いて実験を行った。master laser と slave laser 間で周波数ロックを行った結果、相対周波数揺らぎは約 20kHz に抑えることができた。そのため、reference laser と master laser 間でロックを行った場合も master laser は reference laser に対して 20kHz 程度の揺らぎをもつての reference laser に追従すると予想できる。この値は目標となる絶対周波数揺らぎ 380kHz 以下という目標に対して小さな値となった。

今後の予定としては、master laser の絶対周波数揺らぎはロック時の相対周波数揺らぎと reference laser の絶対周波数揺らぎに依存するので、光周波数コムを用いて reference laser の周波数基準としての安定度を測定して、master laser の絶対周波数揺らぎの最終的な値を見積もりたいと考えている。

### 参考文献

- [1] Malte Schmidt, A mobile high-precision gravimeter based on atom interferometry, 2011
- [2] 遠坂俊昭 PLL 回路の設計と応用 CQ 出版社 2003
- [3] 堀越宗一 「光位相同期による原子干渉計用光源の開発とその評価」電気通信大学 2001