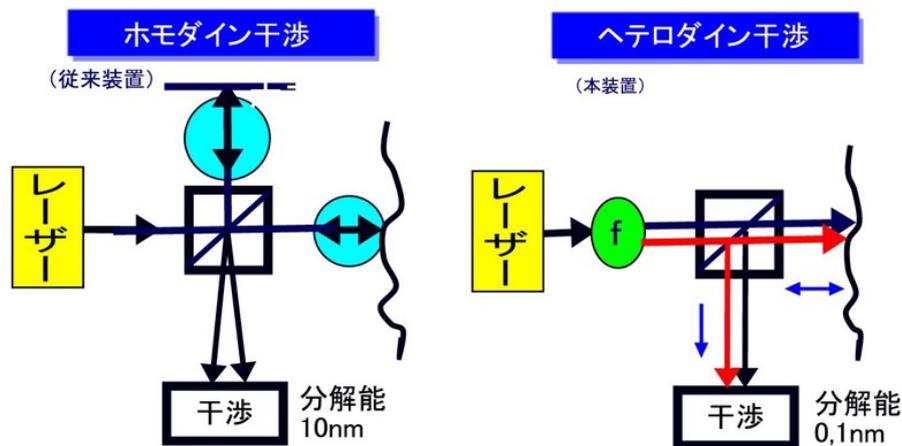
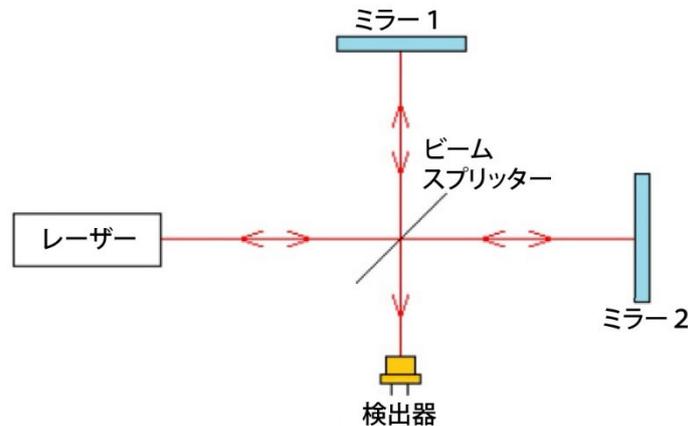


## ② 単一周波数レーザーを用いた干渉計

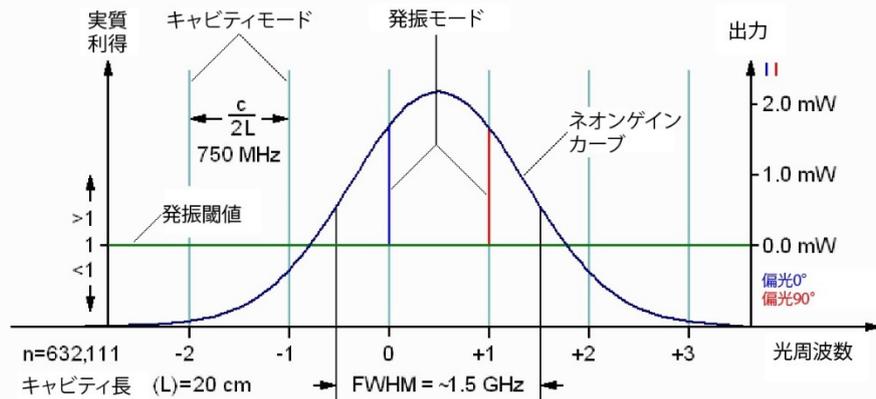
最も単純な形式のホモダイン手法では、参照ビーム（固定反射鏡から返される）と測定ビーム（位置が測定されるターゲットから返される）の位相を直接比較して、変位（位置の変化）を計算します。これらすべてのシステムは通常、マイケルソン干渉計のバリエーションに基づいていますが、特定のニーズに応じて他のタイプも使用できます。光源は、ほとんどの場合、安定化された単一周波数（単一縦モードまたは SLM と呼ばれる）HeNe レーザーです。これは 50 年以上前に開発された技術であり、手頃な価格ではまだ匹敵するものではありません。単一周波数レーザーは、参照ビームと測定ビーム間の光路長差（PLD）が大きく変化してもコヒーレンスが維持されることを保証します。原理的には、これは数十メートル、場合によっては数百メートル以上になる可能性があります。実際には通常ははるかに短くなります。PLD の変化が小さい（通常は数 cm）アプリケーションの場合は、安価な非安定化マルチ縦モード（MLM）HeNe レーザーを使用できます。



ホモダイン手法とヘテロダイン手法の比較



マイケルソン干渉計の概念図



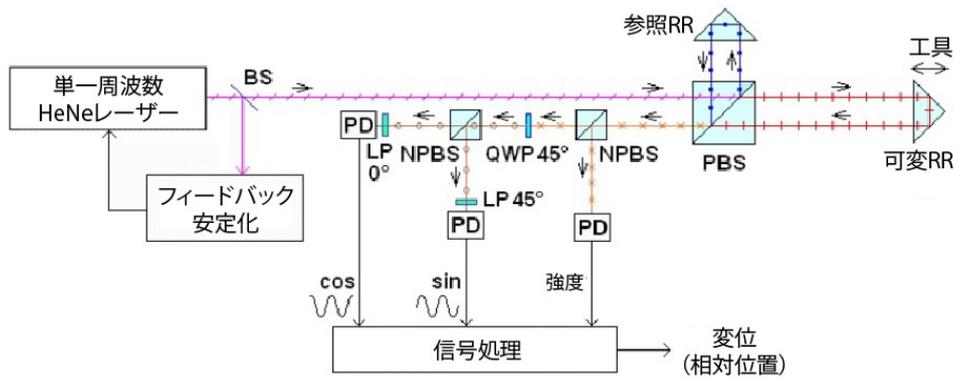
典型的なランダム偏光3mW HeNeレーザーの縦モード

### 3mW 出力ランダム変更 HeNe レーザーの縦モードの概念図

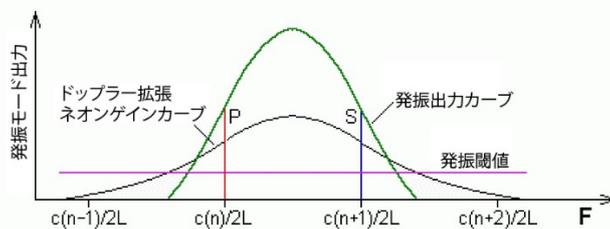
典型的な構成は、単一周波数 HeNe レーザーを使用した干渉計に示されています。レーザーは、「商用安定化 HeNe レーザー」の章で説明されている(単一周波数安定化 HeNe レーザーのいずれでも使用できます。 [Sam's Laser FAQ - Commercial Stabilized HeNe Lasers \(repairfaq.org\)](#) 直線偏光ビームは、偏光ビームスプリッター(PBS)に対して 45 度の角度で配向する必要があります。次に、その半分は PBS によって水平(図の面内)に偏光され、「固定アーム」の再帰反射器から参照ビーム(REF)として戻されます。一方、残りの半分は PBS を通過して垂直に偏光され、「テストアーム」の再帰反射板から測定ビーム(MEAS)として戻されます。それらは、PBS 内で 2 つの成分を含む 1 つのビームとして再結合され、その相対位相は 2 つの再帰反射器の相対位置に依存し、これはテストアームが移動するにつれて変化します。一対の正弦波楕が相互に動くことを想像してください。結合されたビームの一部は、ビームパワーに比例した出力を生成する「強度」フォトダイオードに送られます。これは、実際の信号レベルを追跡するために必要です。残りは 2 つの部分に分割され、別々のフォトダイオード(PD)に送られます。そのうちの 1 つは位相が 90 度シフトされ、直交位相の sin 信号と cos 信号を生成します(互いに 90 度オフセット)。これらは、一般的なアップダウンカウンターよりもわずかに複雑なだけのデジタルハードウェアを使用して、変位(距離の変化と方向の両方で構成される)を決定するのに十分です。これは、平行線または回折格子に基づく光学エンコーダーで使用されるのと同じタイプのハードウェアですが、光自体の波長を使用する干渉計アプローチが使用されます。Teletrac 社製レーザーと平面ミラー干渉計を使用した干渉計のセットアップでは、 $\mu\text{MD1}$  読み出しによるホモダイン干渉計の使用をテストするために私が組み立てたリグのコンポーネントを示します。これは、光受信機を内蔵した Teletrac 社製 150 レーザー、精密マイクロメーターリニアステージ上の Teletrac 社製平面ミラー干渉計、および Atmega 328 Nano 3.0 インターフェイスで構成されています。ああ、申し訳ありませんが、写真ではレーザーが間違った方向を向いています(レーザーは正しい方向に出力されるはずですが)、ノブに届くようにするためです。😊具体的な情報は、「Teletrac Model 150 Stabilized HeNe Laser 4」、「Sam's Laser FAQ - Commercial Stabilized HeNe Lasers (repairfaq.org)」、およびその前の光受信機に関する節にあります。 [Sam's Laser FAQ - Commercial Stabilized HeNe Lasers \(repairfaq.org\)](#)

- 光学素子の凡例
- BS:ビームサンプラー
  - LP:直線偏光子
  - PBS:変更ビームスプリッター
  - NPBS:非偏光ビームスプリッター
  - PD:フォトディテクター
  - QWP:1/4波長板
  - RR:再帰反射板

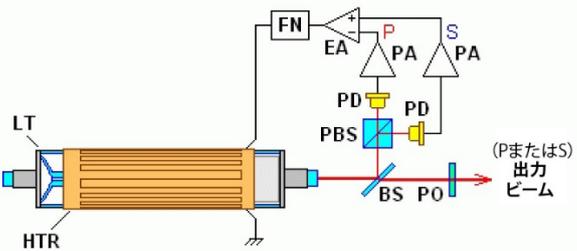
- 偏光状態の凡例
- 水平:  $\rightarrow$
  - 垂直:  $\uparrow$
  - 混在:  $\rightarrow\uparrow$
  - 円偏光L+R:  $\rightarrow\uparrow$
  - 45°:  $\rightarrow\uparrow$



単一周波数レーザーを使用する干渉計の構成図



- 略語凡例
- BS ビームサンプラー
  - EA エラー増幅器
  - FN フィードバックネットワーク
  - HTR ヒーター
  - LT レーザーチューブ
  - PA プリアンプ
  - PBS 偏光ビームスプリッター
  - PD フォトダイオード
  - P0 偏光子

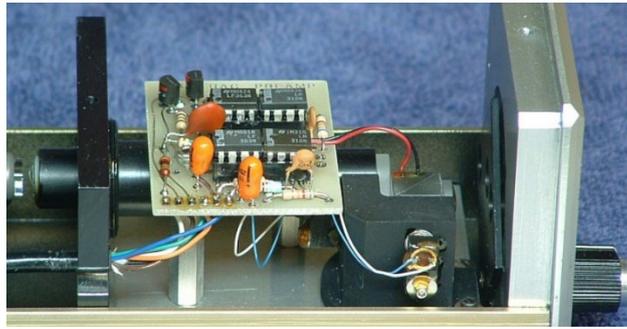


2モード安定化単一周波数HeNeレーザー

2モード安定化単一周波数 HeNe レーザーの機構図(2本のモードの片方をブロックして単一化)

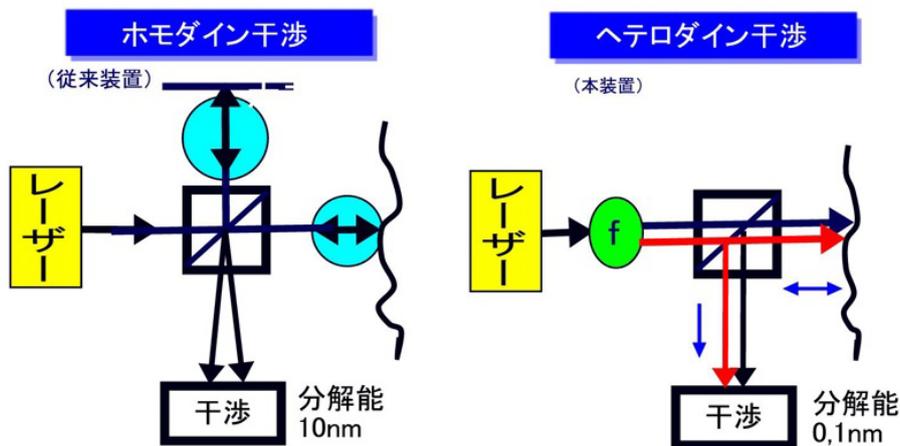


Teletrack 社製 150 安定化 HeNe レーザーの内部写真



Teletrack 社製 150 安定化 HeNe レーザー内の Atmega 328 Nano 3.0 インターフェースの写真

ホモダイン手法の利点の1つは、シンプルさと低コストです（これらのシステムはいずれもまったく安価ではないため、少なくとも相対的な意味では!）。レーザーは非常に安価に構築できます（おそらくエンドユーザーにかかる費用にもかかわらず）。また、一部のアプリケーションでは、パフォーマンスが十分以上です。見落とされがちなもの1つの利点は、ホモダイン干渉計のネイティブ分解能(派手な補完なし)がヘテロダインの場合よりも4倍優れている(つまり、増分の1/4)ことです。平面鏡干渉計(PMI)の場合、約158nmに対して約40nmです。また、スループットは、ヘテロダインの場合のようにレーザーによってではなく、電子機器/データ処理によって制限されます。基本的な測定処理は、コンピューターのマウスの位置を追跡するものにすぎません。ホモダインシステムを提供する企業は、より高い分解能を達成するために補間を実行する機能など、自社のアプローチの利点を宣伝しています。ほぼすべての企業が、実効分解能を1nm未満に高めるために使用しています。『Motion X MX Interferometer Manual』には、優れた紹介文が記載されています。 [MX Laser Interferometer Manual \(motionxcorp.com\)](http://www.motionxcorp.com)



ホモダイン手法とヘテロダイン手法の比較

上の例の「線形干渉計」に加えて、多くのタイプの干渉計光学系をホモダインシステムで使用できます。実際、それらは以下で説明するヘテロダイン干渉計のものと同じです。したがって、「2周波数レーザーを使用した干渉計の光学系」の節を参照してください。 [Sam's Laser FAQ - Laser Instruments and Applications \(repairfaq.org\)](http://www.repairfaq.org)

ただし、これらのシステムをより高度なアプリケーションにとって望ましくないものにする(または、少なくとも信頼性の高い実装がはるかに困難にする)いくつかの欠陥があります。REF(参照)ビームとMEAS(計測)ビームの位相を直接比較しているため、いつでも結果は相対位相だけでなくDCレベルに依存します。だけでなく、レーザーの実際の出力パワーやシステム内の他の場所での光損失、電子機器のドリフト、さらには光学アライメントのごくわずかな変化にも影響します。

---

しかし、信号処理は単純になる傾向があり、2周波数システムとは異なり、速度の唯一の上限は、レーザーの「分割」周波数の値ではなく、光検出と処理速度の1つです。(これについては以下で詳しく説明します。)