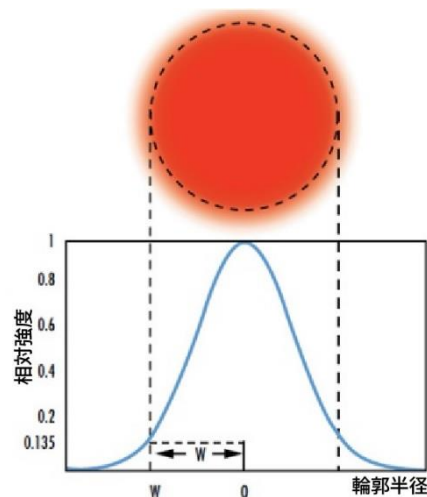


④ 安定化 HeNe レーザーにおける縦モードとその重要性

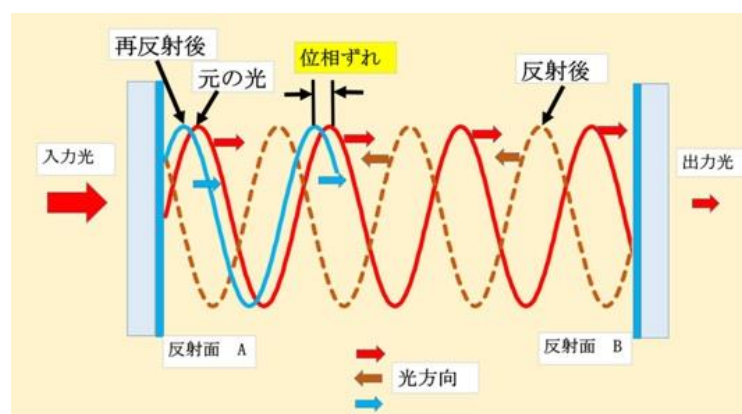
一般的なレーザーモードの原理を理解していることを前提としています。HeNe レーザーと縦モードの概要については、動作理論、モード、コヒーレンス長、オンラインコースを参照してください。 [Sam's Laser FAQ - Helium-Neon Lasers \(repairfaq.org\)](http://www.repairfaq.org/Sam's%20Laser%20FAQ%20-%20Helium-Neon%20Lasers)

以下のすべてにおいて、HeNe レーザーの空間モード構造は純粋な TEM00 に近く、その結果ガウスビームプロファイルに近いものになると仮定します。私たちは、マルチ空間モード管を使用した安定化 HeNe レーザーの経験はありません。



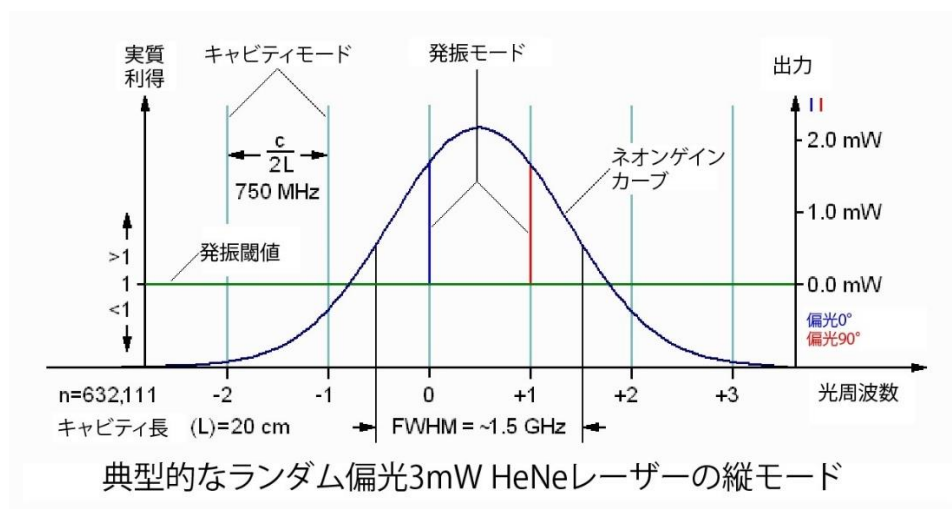
HeNe レーザーの空間モード

レーザー発振は、レーザーの光周波数または波長における往復利得、およびレーザーキャビティ内の共振によって決まります。この章のすべてにおいて、線形の「ファブリーペロー」キャビティ、つまり古典的な「ミラー間の利得媒質」レーザー、および事実上すべての HeNe レーザー、さらにはすべての安定化 HeNe レーザーに近いもので使用されているものを想定します。ただし、リングやその他のジオメトリにも同様の制約があります。



ファブリーペローキャビティ内の振幅の概念図

他の共振構造と同様に、応答できる基本周波数 ($n=1$) と、無限の範囲の高調波 ($n=2, 3, 4, \dots$ 無限) が存在します。オルガンパイプやバイオリン弦の共鳴は、その基本波といくつかの高調波で発生します。ただし、光の波長が短く、キャビティ長が比較的長い場合、HeNe レーザーには基本波がなく、高調波の n 値は数十万以上になります。

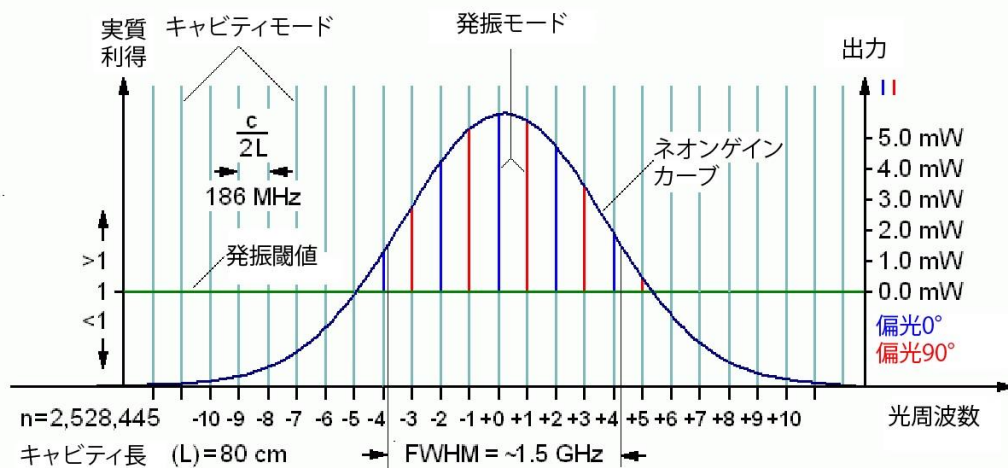


レーザー発振を維持するには、 $n \cdot c/2L$ で定義される空洞共振に近い光周波数での往復利得が光子の損失を超えなければなりません。 L はミラー間の距離、 c は光の速度、 n は整数であり、この式は、レーザー発振媒体のゲインとキャビティの幾何学的形状の正味ゲインが 1 より大きい光周波数に等しくなります。

赤色(633nm) HeNe レーザーの場合、ネオン利得曲線(NGC)の幅は 1.5~1.6GHz FWHM で、中心は約 474THz です。(後でもっと正確な値が得られます。) たとえば、共振器長が 200mm の場合、 $c/2L$ は約 725MHz です。したがって、NGC 内の正確な位置に応じて、1 本から 3 本のモードが同時に発振する可能性があります、それ以上は発振しません。この場合の n の一般的な値は、987,500 付近の連続する整数になります。(実際の光周波数をわずかにオフセットするモードプリング(周波数引き寄せ)やモードプッシングなどのより微妙な効果は他にもありますが、今のところ、正確な空洞共振は十分に正確です。)

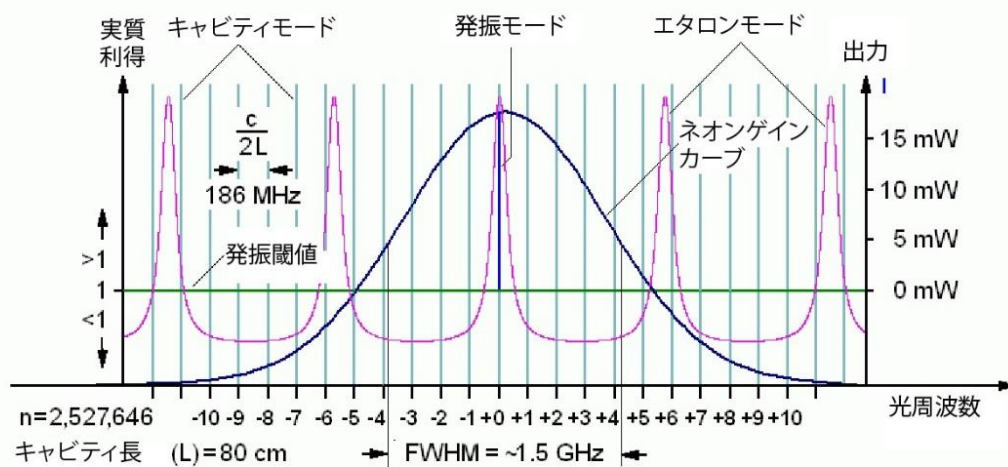
参考 URL: [⑭ 縦モードプリング（周波数引き寄せ） | プネウム株式会社 \(pneum.co.jp\)](#)

高出力の長いチューブは 3 本以上のモードを維持します。また、NGC の形状により、最も強いモードでの出力はチューブの長さに応じて準直線的に増加します。したがって、たとえ単一周波数レーザー(3 本を超えるのは実際には実用的ではありません)用に分離できたとしても、その出力はそれほど高くはなく、35mW を出力するチューブの場合はおそらく 6mW です。さらに、モード競合(モード間での発振エネルギーの奪い合い)により、長いチューブの各モードの出力はモード間でランダムに変動する傾向があり、安定化は役に立ちません。これは、3 モード安定化で使用されるチューブでも問題になる可能性があります。



典型的なランダム偏光30mW HeNeレーザーの縦モード

HeNe レーザーに電力が供給されると、「キャビティモード」とも呼ばれるキャビティ共鳴が NGC 内に発生し、十分な往復利得を持つものが発振します。これらはレーザーの縦モードまたは軸モードです。これらの「レーザー発振線」(＝モード)のそれぞれは、HeNe レーザーのほぼ純粋な光周波数であり、その帯域幅は 1kHz 未満、場合によっては数 Hz 以下です。したがって、これらのモードの 1 つが安定化レーザーの出力である場合、「単一周波数」という用語が適切です (ほとんどの頑固な純粋主義者を除く)。



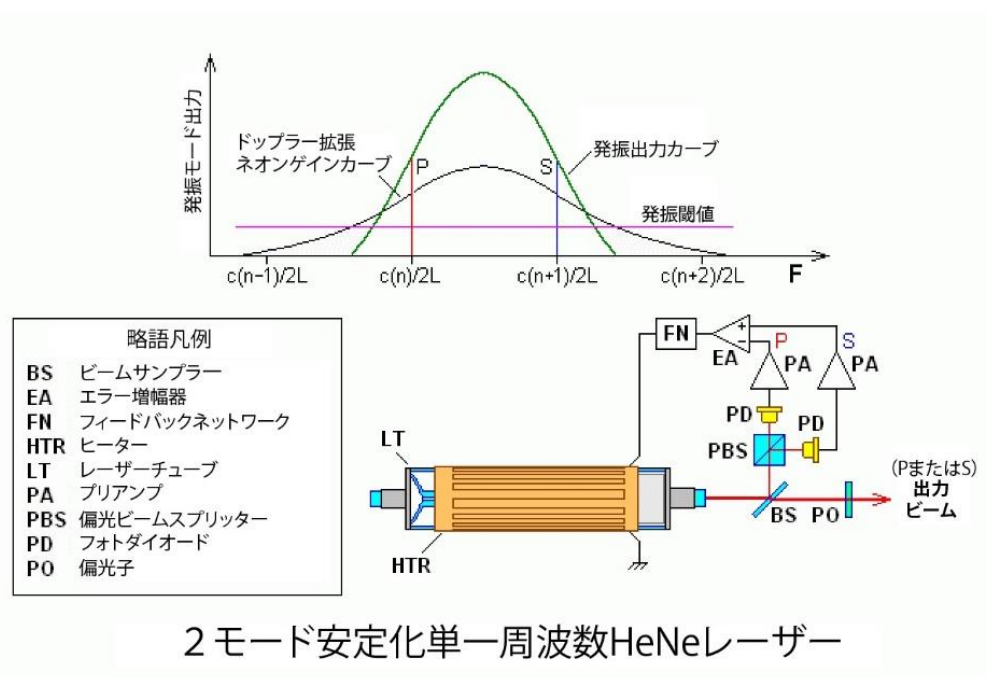
シングルモードHeNeレーザーでの発振線選択用のキャビティ内エタロン

エタロンによるシングルモード1本だけの発振の概念図

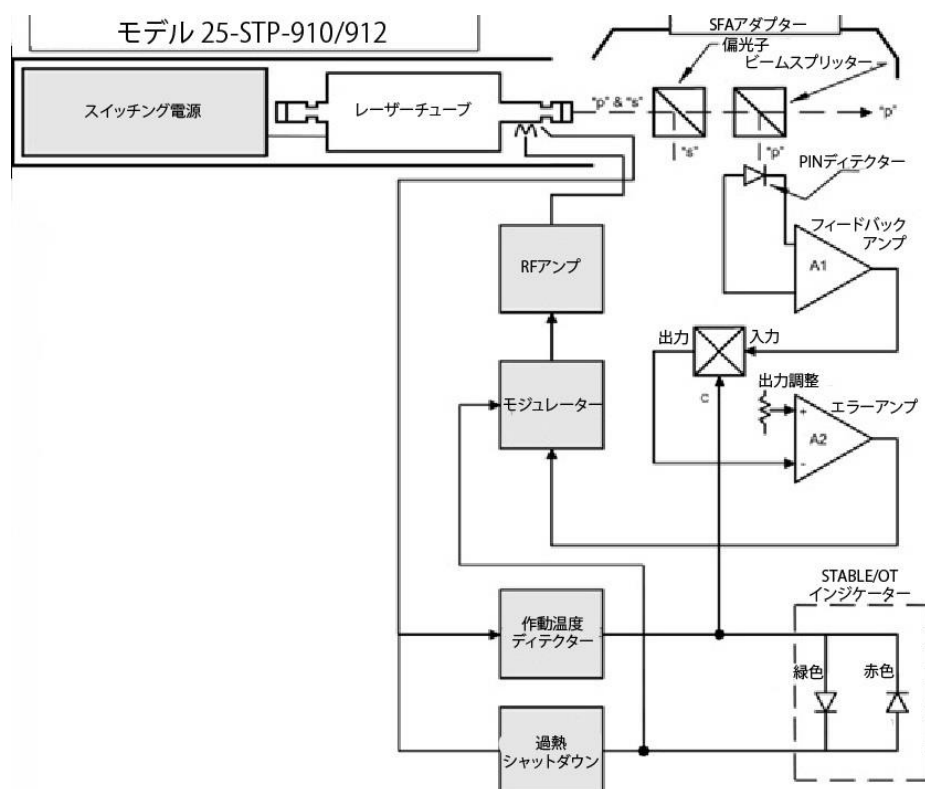
ミラー間の距離が変化すると、モードの位置が NGC 内でドリフトします。大型フレームの実験用 HeNe レーザーの場合、共振器構造は熱膨張係数が非常に小さくなるように設計されています。ただし、ほとんどの安定化 HeNe レーザーで使用するタイプの一般的な HeNe レーザーチューブでは、プラズマ放電の加熱効果によってミラー間の距離が変化します。これが発生すると、縦モードが NGC 内をドリフトします。高周波数側の端のモードは最終的に消滅し、低周波数側の端に現れる新しいモードに置き換えられます。これが「モードスイープ」です。多くの安定化 HeNe で使用されているもの

と同様の管のモード動作のアニメーションは、「HeNe Laser Mode Soup: 200 mm (~8 in) Cavity Length」にあります。もちろん動きは連続しますが、スライドを無限に作成するのは疲れます。😞 [henema8.gif \(720×400\)](http://henema8.gif) (repairfaq.org)

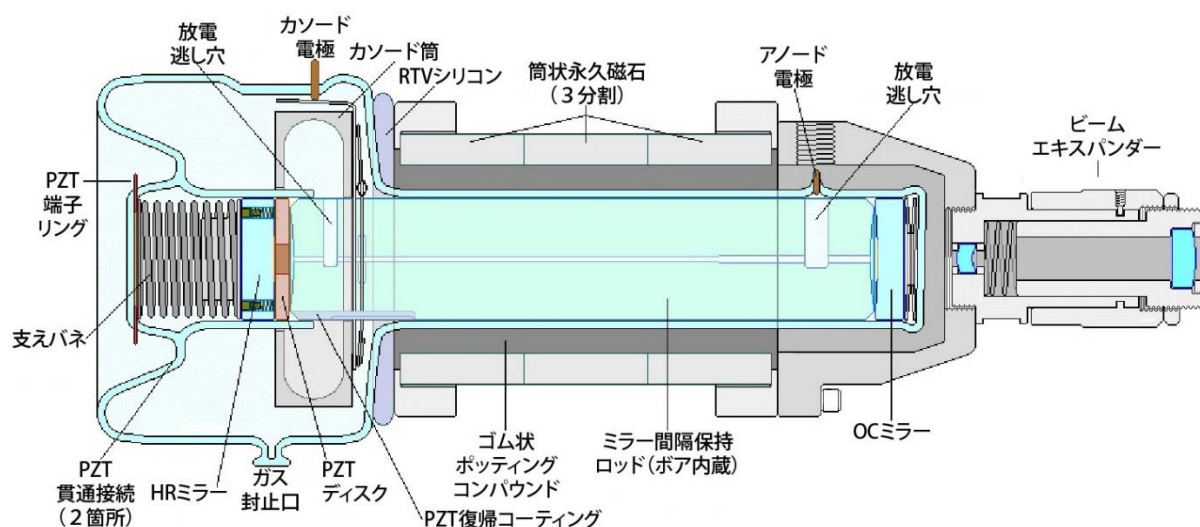
このようなチューブを安定させるには、フィードバックループでキャビティ長を制御する必要があります。キャビティ長に影響を与えるために、さまざまな手段を使用できます。チューブの周りにヒーターを巻き付けるのが最も一般的ですが、その他には、ボアの周りに巻き付ける内部ヒーター、ミラーマウントシステムの1つに誘導ヒーター(IH 機構)、またはミラーの1つの背後で Piezo トランスデューサー(PZT)を使用する方法もあります。磁気アクチュエータを使用してミラーマウントの1つを押すことも可能です。安定化により、縦モードを NGC 上に正確に「固定」することができます。アニメーション内でこれを行うには、左右の矢印キーを注意深く使用して1本のモードを中央に維持します。幸いなことに、アナログまたはデジタル電子機器ははるかに効率的で、簡単には疲れません。😊



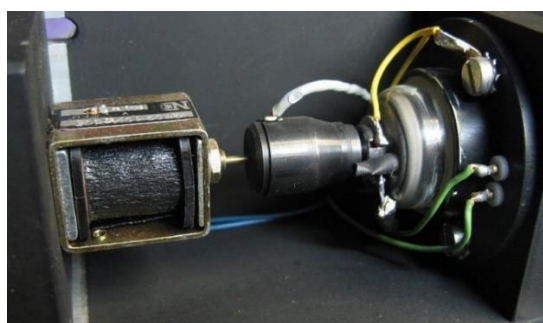
薄膜ヒーターの加熱による安定化 HeNe レーザーの概念図



出射側ミラーマウントシステムをIHで加熱する安定化 HeNe レーザーの機構図



ミラー間隔をピエゾトランスデューサーで調整する安定化 HeNe レーザーの機構図 (Hewlett Packard 社製 5500A/B)



ソレノイドでチューブ本体を押し引きする安定化 HeNe レーザーの内部写真