

③ HeNe レーザーの逆付加効率？

(2) 「はあ、何ですか？」とあなたは言うかもしれません。😞 最近まで、HeNe レーザーが極めて非能率的であること以外に、HeNe レーザーの発振プロセスと電気入力とがどのように関連するかということについて考えることすら、私の心に浮かびませんでした。その時、誰かが明白な質問をしました：「レーザーへのエネルギー入力はビームの出力に依存しますか？」。少し考えれば、何らかの関係があることは明白でしょう。しかし他のタイプのレーザーの場合でも、この点はそれほど考慮されるものではありません。スロープ効率はいかなるレーザーでも重要な計測であり、電気(かあるいは他の)入力の関数としてレーザー出力がどのように変化するかを意味します。例えば、レーザーダイオードの場合に必要なことは、入力電力と光出力を発振が起こっている2箇所で計測し、相違の比率を計算します。しかしこれは入力から出力です。HeNe レーザーの場合、このような計測は 0.3mW/W つまり 0.3%という典型値の結果として電源が安定している範囲の一部について実施することができますが、これは HeNe レーザーの絶対的に悪い効率と同じです！

(12) しかし私達がここで必要なのは反対のものであり、入力がどのようにレーザー出力によって影響されるか、それを私は「逆付加効率」つまり RIE と呼びます。言い換えると、通常稼働しているレーザーの入力と、例えばミラーの光軸ズレで抑制されている出力とを比較するのです。HeNe レーザーの場合、これを行った際に入力に探知可能な変化量が見られるでしょうか？ 標準的な定電流 HeNe レーザー電源の場合、結果は管電圧の変化となるはずですが、より良い用語をお望みなら、「逆スロープ効率」を 100%とすれば、1mW のレーザーのビームを「損なう」ことは、チューブが消費する出力の 1mW の削減をもたらすはずですが。

それで私は長時間使用済みの JDS Uniphase 社製 1145P レーザーヘッド(定格 21mW 出力)と、Melles Griot 社製 05-LPL-915 電源を 6.5mA に設定して実験を行いました。OC(出力カプラー)ミラーマウントを押し続けているチューブ型のナイロンミラー調整器によって発振が損なわれており、発振を完全に逆のやり方で抑制しています。レーザーが温まって 12mW を出力した時と、完全に温まって 19mW を出力した時に計測を行いました。結果はどちらかと言うと興味をそそるものでした：



JDS Uniphase 社製 1145P レーザーヘッド



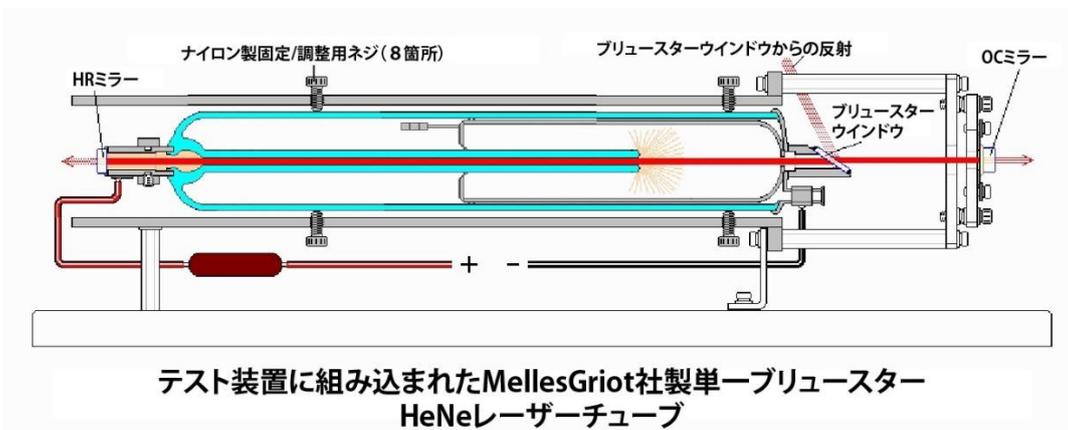
Melles Griot 社製 05-LPL-915-065 電源

ΔP_o	ΔV_t	ΔP_t	RIE (逆付加効率)
12 mW	4.1 V	26.65 mW	45.0%
19 mW	5.2 V	33.80 mW	56.2%

(25) ΔP_o は出力、 ΔV_t は 0mW から ΔP_o までの管電圧の変化量、そして ΔP_t はチューブの電力消費量での対応する変化量です。

最初、私の計測は 4 桁の精度の DMM (デジタルマルチメータ) で行い、まるで RIE が何らかの宇宙の重要性を示しているかのように、正確に 50% であるかのように見えました。😄 しかしそうではありませんでした。Fluke 87 の 5 桁精度で計測すると、RIE は 50% からは外れて、50.00000000% ではありません。残念です。しかしこの数値が伝えていることこそ、一度チューブが標準的な電圧と電流で稼働し、定格出力に近い値を出力している状態で、HeNe レーザーの先端から得られるコヒーレントな光子の付加効率が 50% の規模であり、0.3% などの非常に小さい数値ではないと言う事です！留意すべきは、こうした結果はレーザー発振を抑制しかつフル出力で稼働させることに依存する点です。これが放電電圧に対する機械的ストレスのわかりにくい効果であるとすれば、管電圧の変化量は両方の出力値でも大体同じことになるでしょう。そして発振停止となるまでミラーマウントを押すことは、管電圧に影響を与えません。少なくともチューブが壊れるまでは。😄

(37) これが真に発振効果であることを更に確認するため、私は Melles Griot 社製 05-LHB-570 片側ブリュースターウィンドウ付きレーザーで実験を繰り返し、チューブと OC (出力カプラー) ミラー間のキャビティ内で何かを突き出して発振が単純に抑制されるようにしました：



ΔP_o	ΔV_t	ΔP_t	RIE (逆付加効率)
2.55mW	0.9V	5.85mW	43.6%

(41) これほど低い出力でも、RIE はまだかなり高いですが、ずっと低い出力と対応する管電圧での変化量により不確定的に大きくなっています。

それから、新品に近い 1145P ヘッドが温まる途中で、私は複数のサンプルを取りました：

ΔP_o	ΔV_t	ΔP_t	RIE (逆付加効率)
6mW	4.8V	32.1mW	21.0%
10mW	5.7V	37.1mW	27.0%
14mW	5.8V	37.7mW	37.1%
17mW	6.0V	39.0mW	43.6%
19mW	6.3V	41.0mW	46.3%
21mW	6.3V	41.0mW	51.3%
24mW	6.4V	41.6mw	58.0%

(52) 私がこれがある程度意味をなすと思ったちょうどそのとき、これらのデータが意外にも非常に非線形な関係を示しました。電圧変化のほとんどが 0mW と数 mW の範囲内で起こり、それからほぼ一定化し、それはおそらくゲインの飽和によるのでしょう。絶対管電圧と電圧値差の両方として計測された数値が、長時間に亘って変動するにつれて、依然として明確な不確定性が見られます。

そして最終的に同じヘッドで、妨害の無い安定した 24mW 出力で完全に温められた時、OC(出力カプラー)ミラーで制御された光軸調整ズレを起こすと、2, 3 例の中間的な数値が得られました:

ΔP_o	ΔV_t	ΔP_t	RIE
1 mW	1.3 V	8.5 mW	12.0%
6 mW	4.4 V	26.8 mW	21.0%
9 mW	5.2 V	34.5 mW	26.1%
24 mW	6.3 V	41.0 mW	58.6%
"" mW	6.5 V	42.3 mW	56.8%
"" mW	6.8 V	44.2 mW	54.3%

(64) これらは一般にウォームアップ中の計測に類似しています。最後の2つの完全出力の項目が、レーザーが熱平衡に達しているときでも存在しうる変種を反映します。ただそうだとすると、縦モード位置のわずかな変化と発振線か何かの相対的な効率はあり得ます。😊

この現象への参照が古い NASA レポートの 38 ページに見られます:「HeNe レーザーにおける放電じまの実験的および理論的研究」。(もしこのリンクが通らなくなっていたら、タイトルで搜してください。)もともとずっと多くの綿密な研究が存在することを私は確信していますが、それらを見極めることは学生のために課題として残しておきます。😊 [He-Ne レーザにおける放電じまの実験的および理論的研究 | 文献情報 | J-GLOBAL 科学技術総合リンクセンター \(jst.go.jp\)](#)