

# 炭酸ガスレーザー加工機のガス封止化 による改良研究

防衛大学校通信工学科

教授 佐藤 平八

(昭和62年度研究開発助成 AF-87015)

## 1. 研究の背景及び目的

現在、ガス開放循環系の高速軸流型 (FAF) CO<sub>2</sub> レーザは、加工、溶接、医療等の広い分野にわたって実用化されつつある。高速流型のレーザには、ガス流と光伝搬の方向が一致する軸流型と互いに直交する横流型がある。前者は後者に比べて発振出力の面で劣るが、構造的に安定放電がえられ、単一モードがえられやすいというメリットをもっている。しかしながら、これらの高速流型CO<sub>2</sub> レーザに関するこれまでの研究は、殆ど発振出力の向上を目的としており、利得定数、飽和強度、スペクトル線幅等のいわゆるレーザパラメータについてはあまり検討されていないように思われる。そこで、本研究では、発振出力 500W級のFAFCO<sub>2</sub> レーザを増幅器として用い、出力をはじめとするレーザパラメータが放電開始後時間にてどのように振る舞うのか、また、ガス流速や放電電流がこれらのパラメータにどのように振る舞うのか、あるいはそのときの空間分布はどのようなかという基本的な特性をガス開放循環系および封止循環系の双方について調べ、封止系での問題点を追及した。また、これまで高速流型レーザでは見落とされていたレーザー管壁の冷却および触媒による利得の改善についても検討した。

## 2. 成果の概要

### 1) FAFCO<sub>2</sub> レーザ増幅器における利得の過渡特性

ガスの放電長通過時間が極めて短いFAFCO<sub>2</sub> レーザでは、CO<sub>2</sub> 分子の解離

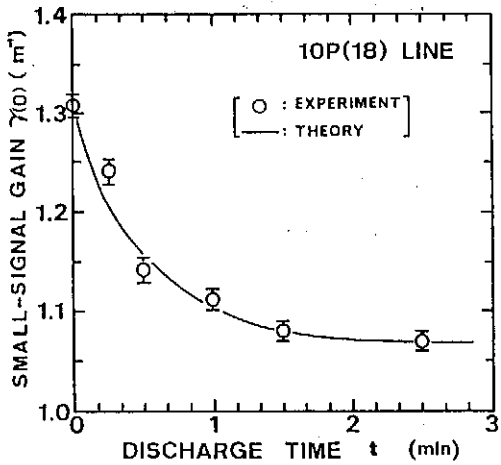


図 1.

に至るまでの過渡時間は約 3 分となった。観測された出力の低下率および過渡時間に及ぼす入力および放電長の依存性は、ガス流速  $v$ 、放電電流  $I_{dis}$  および放電長の関数として表される  $CO_2$  分子の解離、放電長に対する利得の飽和因子および熱伝導に係わるガス温度の効果を考慮するとほぼ説明できる事がわかった。

## 2) 過渡的に変化する利得のガス流速および放電電流依存性

上記 1) で示したように、FAFCO<sub>2</sub> レーザでの増幅出力は、放電開始とともに過渡的に低下し数分後定常状態になり、入力強度  $I_{in}$ 、放電長、ガス流速  $v$  および放電電流  $I_{dis}$  に強く依存する。そこで、ガス温度  $T$ 、解離率  $1-\delta$ 、解離因子  $\xi$ 、ポンピング率  $\eta$  および飽和因子  $\zeta$  に及ぼす  $v$  および  $I_{dis}$  の効果を考慮すると、僅かに飽和した一部均質拡がり媒質での個々の振動回転遷移における放電時間とともに変化する小信号利得  $\gamma_0(t)$  の  $v$  および  $I_{dis}$  依存性

はないと言われてきた。しかしながら、今回、FAFCO<sub>2</sub> レーザ増幅器の入出力特性を調べたところ、定常入力に対し増幅出力は放電開始後数分間にわたり過渡的に低下した。その結果、例えば、図 1 に示すように、ガス全圧 50 Torr、管軸でのガス流速  $v = 180 \text{ m/s}$ 、放電電流  $I_{dis} = 60 \text{ mA}$  の条件下でえられた 10P(18) 線の小信号利得  $\gamma(0)$  は放電開始直後  $1.31 \text{ /m}$ 、定常状態では  $1.07 \text{ /m}$  となり、定常状態

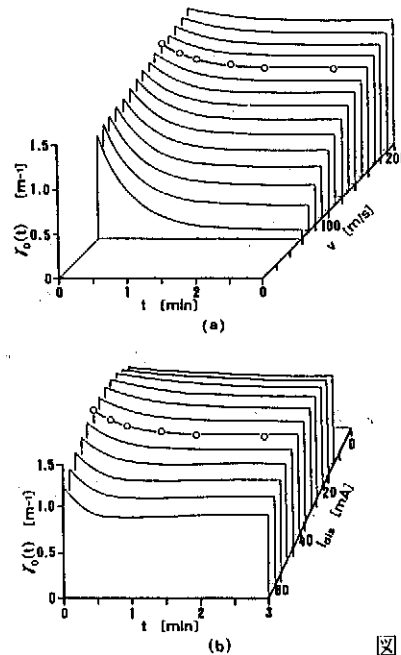


図 2.

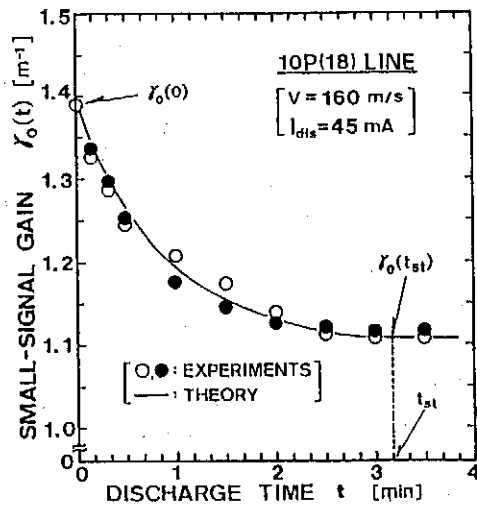


図 3.

タ決定法によりえられる利得は、図 3 で示すようによく一致し、FAFCO<sub>2</sub> レーザでもガス解離は避けられないことを確認した。

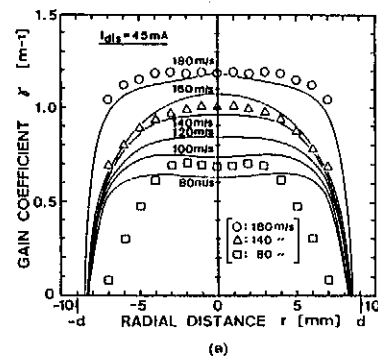
### 3) 利得の空間分布のガス流速および放電電流依存性

ガス流速  $v$ 、放電電流密度  $i_{dis}$ 、ガス温度  $T$  およびポンピング率  $\eta$  の径方向分布を考慮すると、管軸からの距離  $r$  の関数として利得定数  $\gamma$  を表すことができる。各種の  $v$  および  $I_{dis}$  について利得の空間分布を数値計算し、層流と乱流の双方に対して実験結果と比較するとほぼ一致することがわかった (図 4)。特に、注目すべきことは  $v$  の増加につれ高利得の領域が管軸から径方向に広がり、170 m/s 以上の乱流域ではこの傾向が顕著になることもわかった。

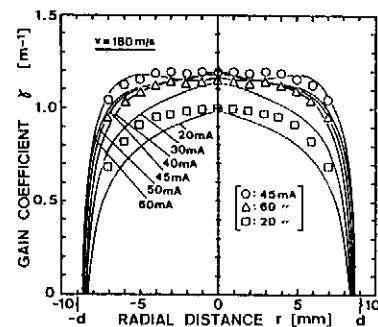
### 4) 管壁冷却による利得およびモード体積の改善

FAFCO<sub>2</sub> レーザの管壁を冷却することにより、管軸での小信号利得およびそ

を理論的に定式化できる。図 2 は、ここで導出した解析式を用いて数値計算した  $\gamma_0(t)$  の  $v$  および  $I_{dis}$  依存性である。利得は、 $v$  の増加につれほぼ直線的に増加し、 $I_{dis}$  に対しては最適値 (ここでは  $I_{dis} = 45$  mA) があることがわかった。この解析的な利得を用いると、出力低下率および過渡時間をも計算できる。また質量分析によりえられた CO<sub>2</sub> 分子の解離から推測される利得とレーザパラメータ



(a)



(b)

図 4.

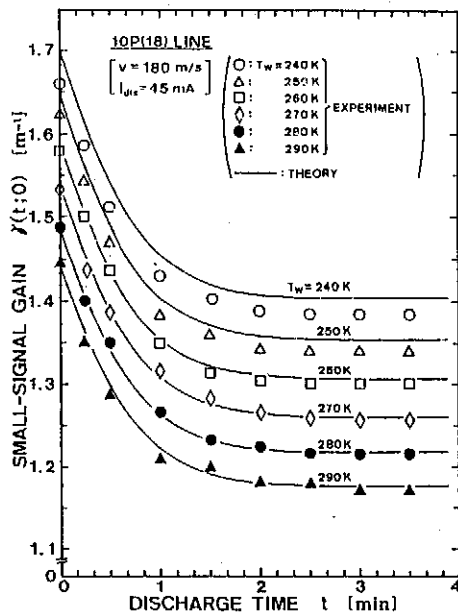


図 5.

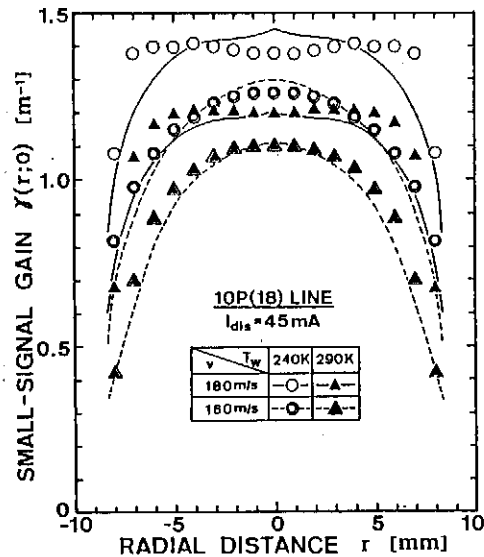


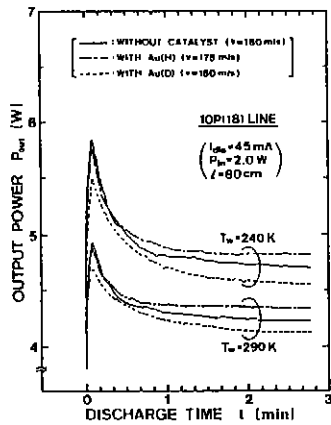
図 6.

その空間分布の双方が改善され、乱流の条件下でこの傾向は顕著になった。利得パラメータ  $G$  および Vogt 関数を用いて表されるスペクトル形状関数の管壁温度  $T_w$ 、 $T_w$  および管軸からの距離  $r$  依存性を考慮すると、実験でえられた管軸および空間分布における  $T_w$  依存の小信号利得  $\gamma_0$  はほぼ説明できる事がわかった。図 5 に示すように、 $T_w$  を常温 (290 K) から  $-30^\circ\text{C}$  (240 K) に冷却すると小信号利得  $\gamma_0$  約 17% 向上した。また、これに伴ってモード体積も改善された。特に、170 m/s 以上の乱流域での利得の空間分布においては、レーザ管の断面にわたってほぼ一様な高利得がえられた (図 6)。

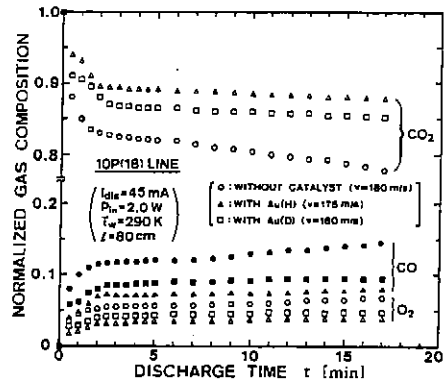
## 5) 触媒による利得の改善

### 5-1 ガス開放循環系

増幅器のガス循環系の一部に粒径 3 mm  $\Phi$  の Au 触媒をヘリカル状に挿入することにより、放電により解離した CO と  $\text{O}_2$  の  $\text{CO}_2$  への再結合が確認され (図 7 (b))、定常状態での増幅出力は約 7% 改善された (図 7 (a))。これらの現象は管壁を冷却した場合にも同様にえられ、管壁冷却と触媒挿入を同時に行うと出力の改善は、最大で 20% を越えた。触媒挿入による  $\text{CO}_2$  への再結合率および熱的影響



(a)



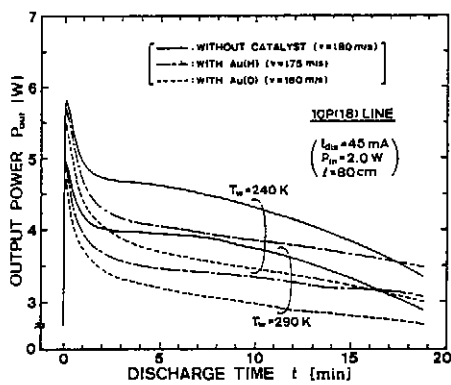
(b)

図 7.

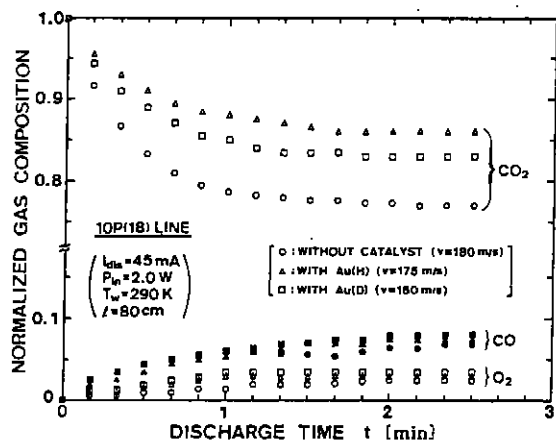
を考慮すると、実験でえられた出力および利得の過渡特性を都合よく説明できる。

## 5-2 ガス封止循環系

ガス封止循環系で上記と同様、管壁冷却および触媒の効果について実験的に検討した。図 8 に示すように、管壁冷却の効果は、開方系での場合と同様顕著に現れ



(a)



(b)

図 8.

た。触媒による出力向上への寄与は小さいが、放電開始後15分間以上経過すると触媒がないときの出力を上回った。しかしながら、いずれの時間においても、封止系での出力は開放系での出力を小さい。このことは、系を閉じることにより放電による熱が内部に蓄積されることに起因することがわかった。また、不完全封止により外部から空気が混入し、ガス組成比を一定にできなかったために、封止系では定常状態がえられなかった。

### 6) 結論

我々は、封止系でも開放系と同様に管壁冷却および触媒による出力もしくは利得の向上を確認した。しかしながら、封止系では内部蓄積熱が大きく、出力は低下する。これを克服するためには、熱交換器を改良する必要があると思われる。また、長時間安定動作させるためには、ガス漏洩防止について綿密に検討しなければならない。これらのことに旨く対処し、管壁冷却および触媒挿入の方法をさらに工夫すれば、高速軸流型CO<sub>2</sub>レーザはガス封止循環系でも十分実用に供しうらと思われる。

### 3. 研究発表

- 1) E. Tsuchida and H. Sato, IEEE J. Q. E. 25, pp. 121-131(1989).
- 2) E. Tsuchida and H. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. 27, pp.1445-1453(1988).
- 3) H. Sato and E. Tsuchida, IEEE J. Q. E. 25, to appear September Issue in 1989.
- 4) E. Tsuchida and H. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. 28, pp. 396-405(1989).
- 5) E. Tsuchida and H. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. 28, to appear September Issue in 1989.
- 6) N. Takahashi, E. Tsuchida and H. Sato, Appl. Opt. to appear Sept. '89