

炭酸ガスレーザの超音波振動子法 RQSWパルス特性解析

研究背景

炭酸ガスレーザ (波長10.6[μm]、赤外線)

- ・高効率・高出力
- ・各種材料の吸収率大
- ・大気の透過率良好

加工・通信用光源

光源に要求される諸条件

- ・良好な指向性、集束性、単色性
- ・室温で動作、小型、軽量、出力安定、長寿命
- ・高いピーク値・**短いパルス幅**
- ・連続or**広範囲な繰返しパルス発振**が可能

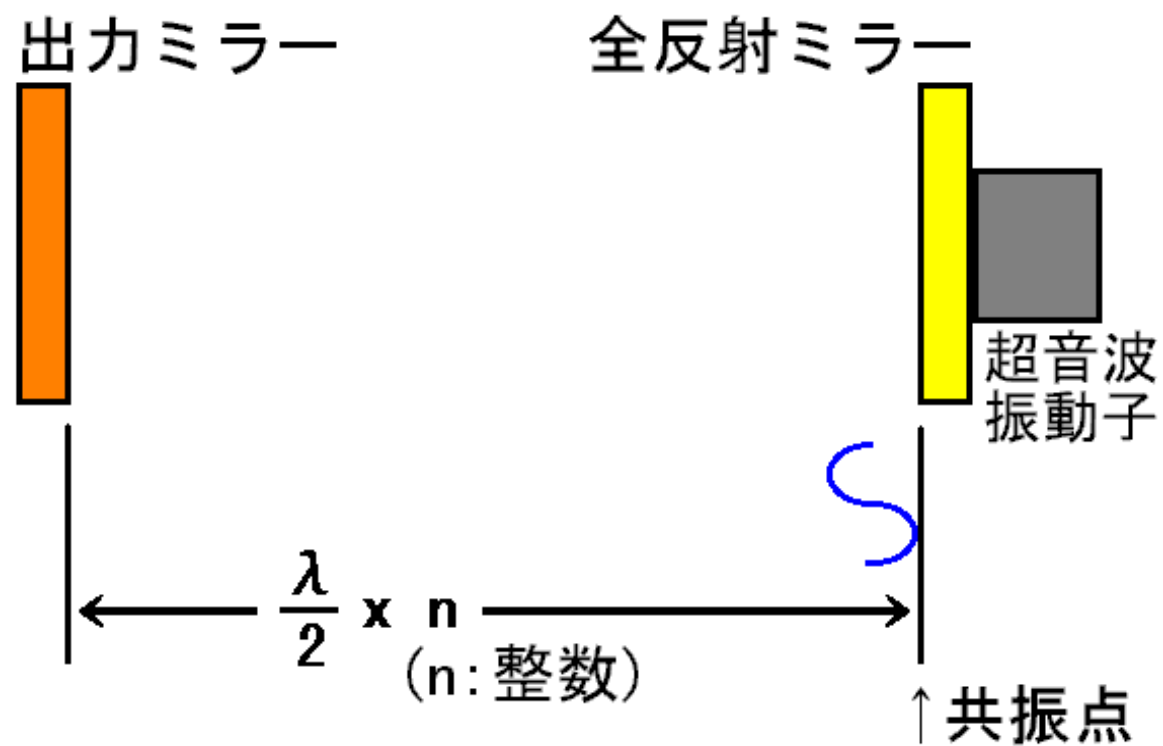
軸流型炭酸ガスレーザ

- ・装置の構成が簡単
- ・良好なビームを得られる

研究目的

連続発振型の軸流型炭酸ガスレーザの短パルス化・繰返し周波数の広帯域化

超音波振動子によるパルス化



研究内容

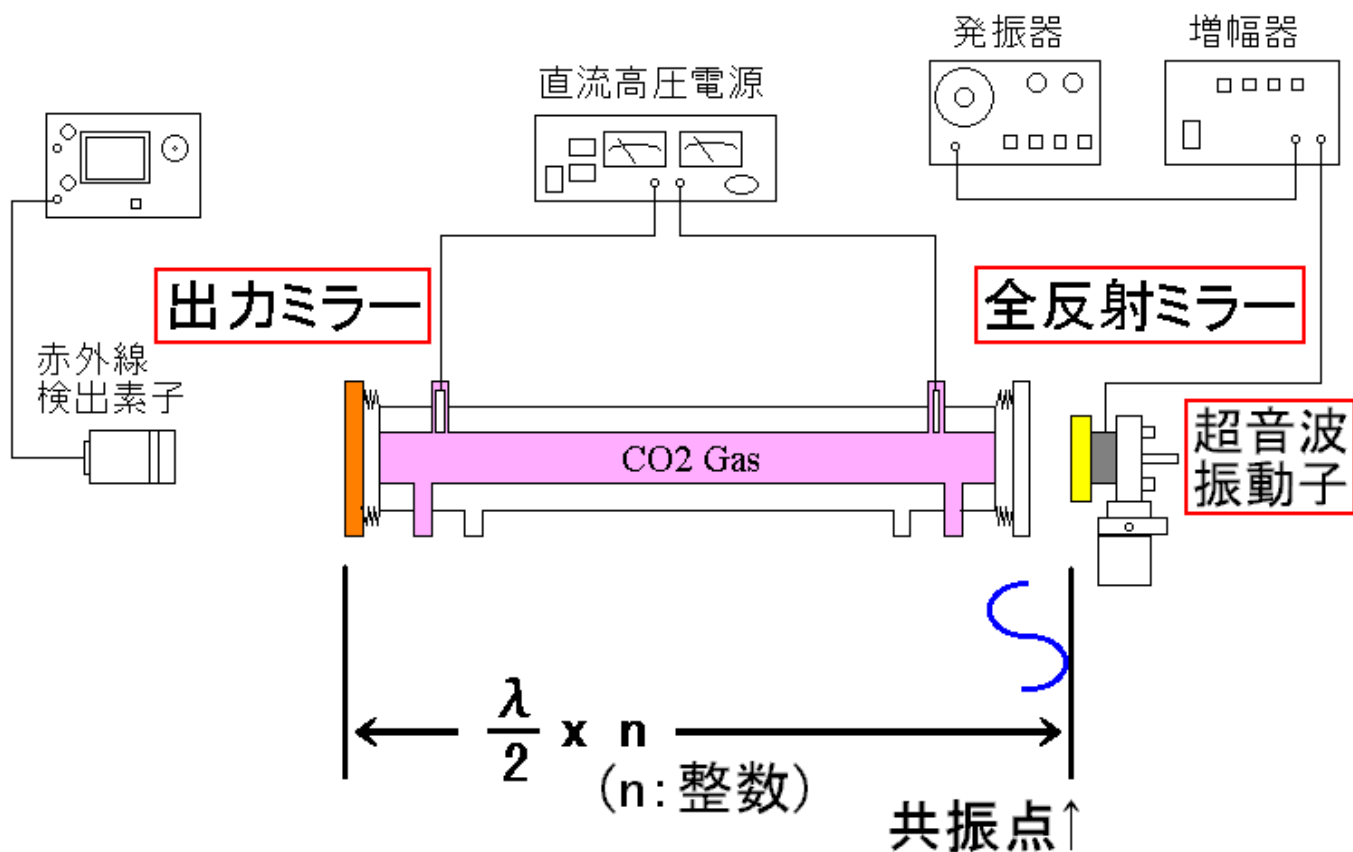
出力ミラーの反射率がパルス出力に与える影響

ファブリ・ペロー共振器の透過帯域幅は、ミラーの反射率が高いと狭くなることが知られている。透過帯域幅が狭くなると、利得の変化が大きくなりパルス幅の短いパルスを得られると考え、パルス出力に与える出力ミラーの反射率の影響を調べた

共振器長の三角波状振動

10kHz以下の繰返し周波数のパルスを得るために振動子に印加する信号を、振動速度を大きくでき、かつ振動速度の大きさを求めやすい三角波に変化させた

実験装置



レーザ管

内径 10mm

放電長300mm

PYREX製・水冷

共振器

全反射ミラー: 反射率99%

出力ミラー: 反射率85%

共振器長: 450mm

炭酸ガス

CO₂:N₂:He=1:2:7

超音波振動子

振動変位量: 300nm

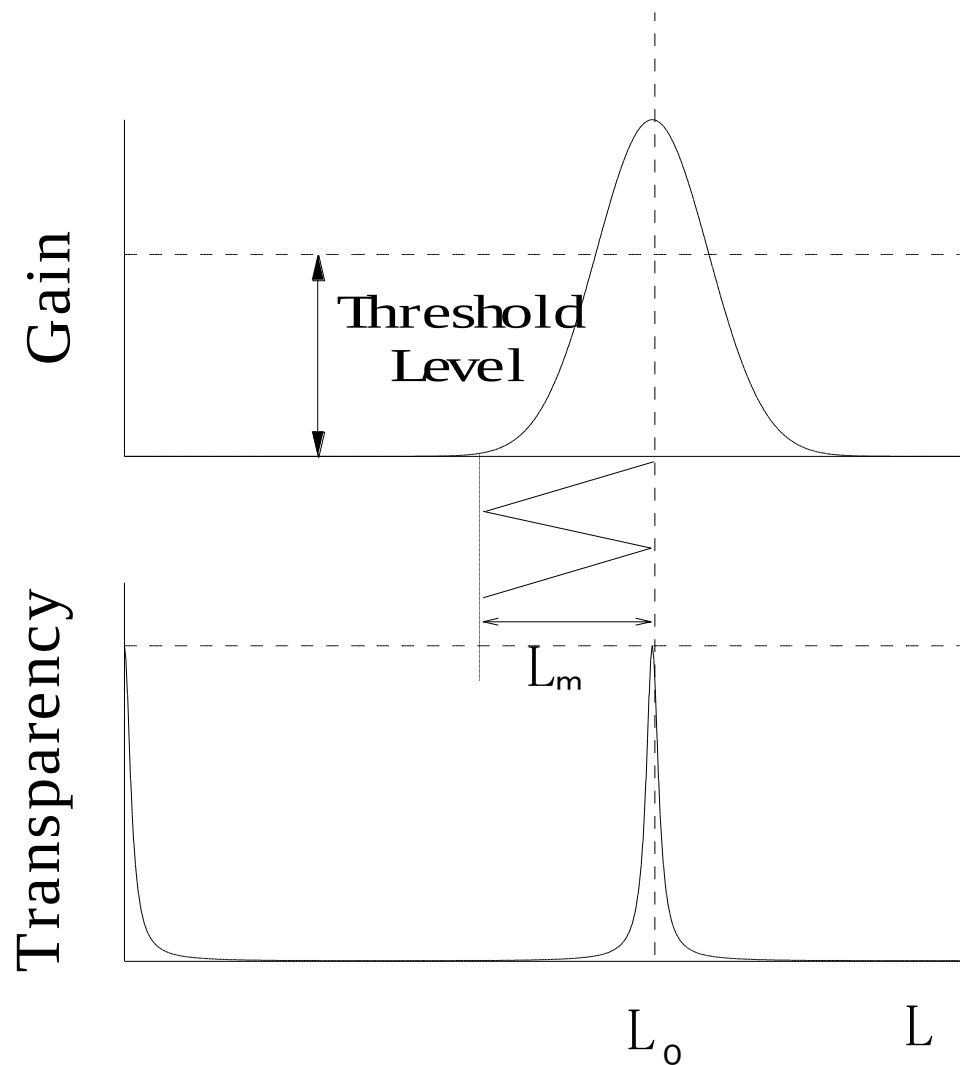
規格共振周波数: 60kHz

放電条件

管内気圧: 10Torr

放電電流: 10mA

パルス化の原理



透過帯域幅 : W

$$W = \frac{2(1-R)}{\sqrt{R}} \cdot \frac{c/2L}{2\pi}$$

$$R = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$$

光速 : c

共振器長 : $L=0.45\text{m}$

全反射ミラーの反射率 : $R_1=0.99$

出力ミラーの反射率 : R_2

$R_2=0.75$ のとき $W=15.8\text{MHz}$

$R_2=0.85$ のとき $W=9.2\text{MHz}$

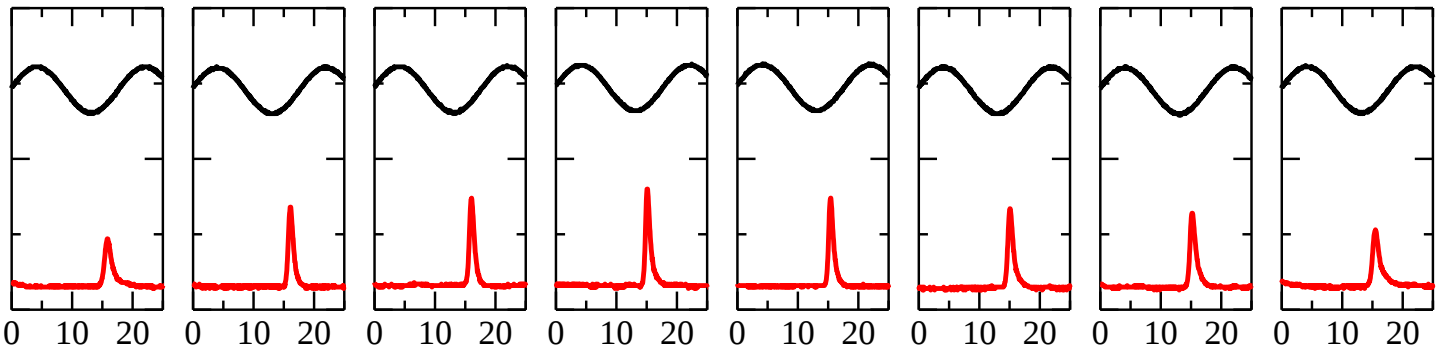
測定波形

パルス化の条件：振動周波数60kHz, 振動変位量300nm
管内気圧：10Torr

反射率75%

超音波振動子
印加電圧

パルス出力

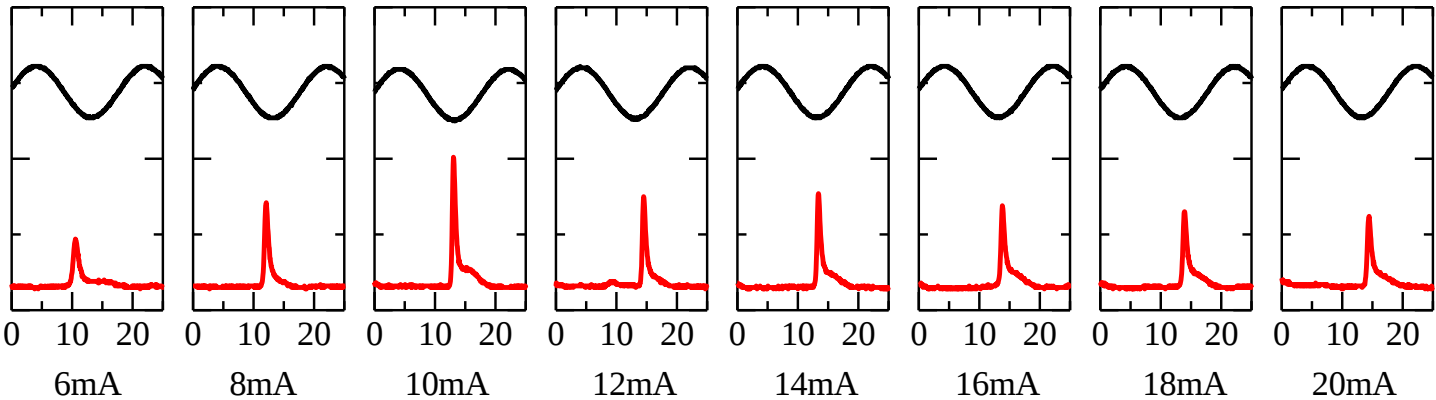


反射率85%

超音波振動子
印加電圧

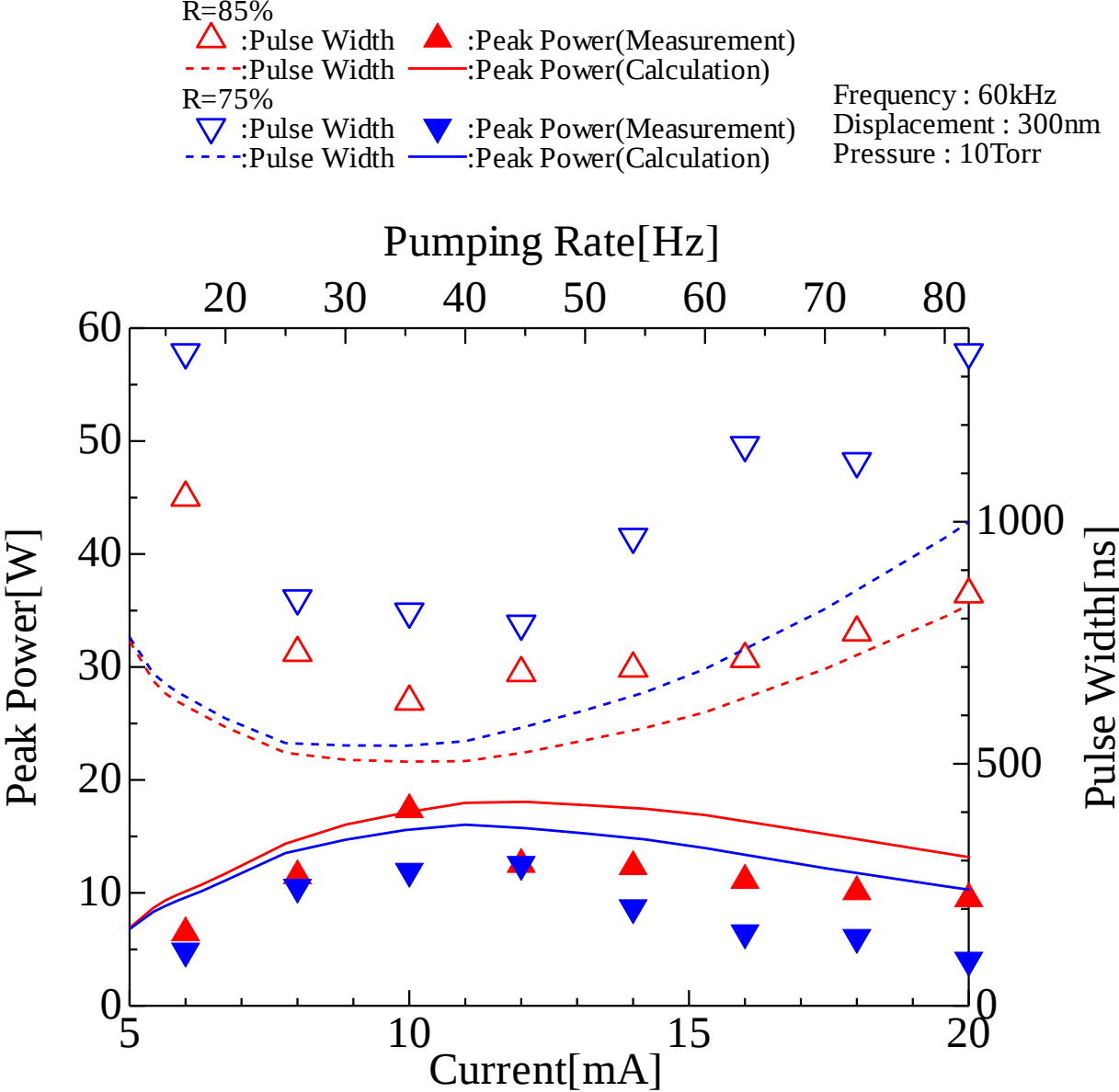
パルス出力

放電電流



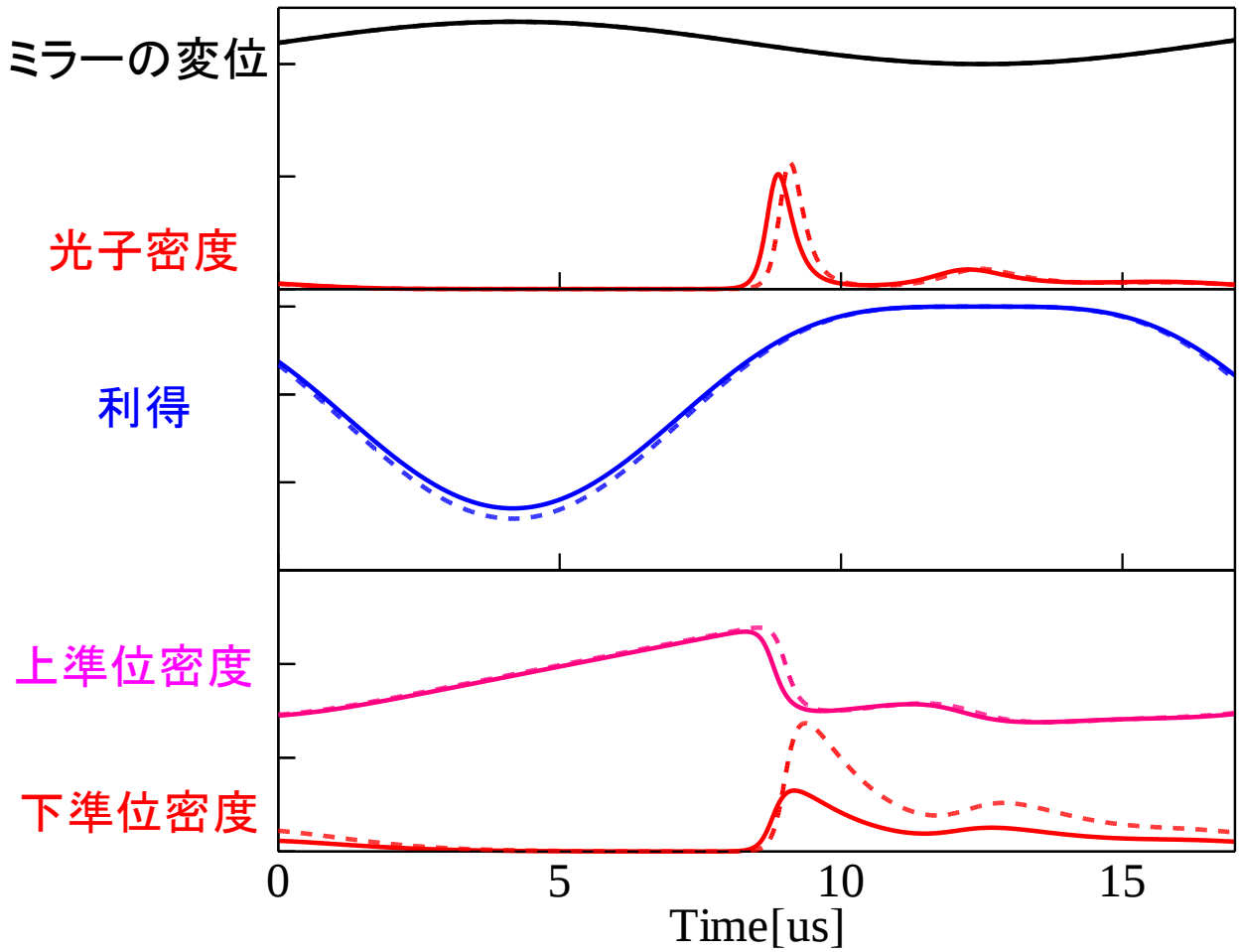
X-axis:Time[μ s],
Y-axis:Intensity

実験結果

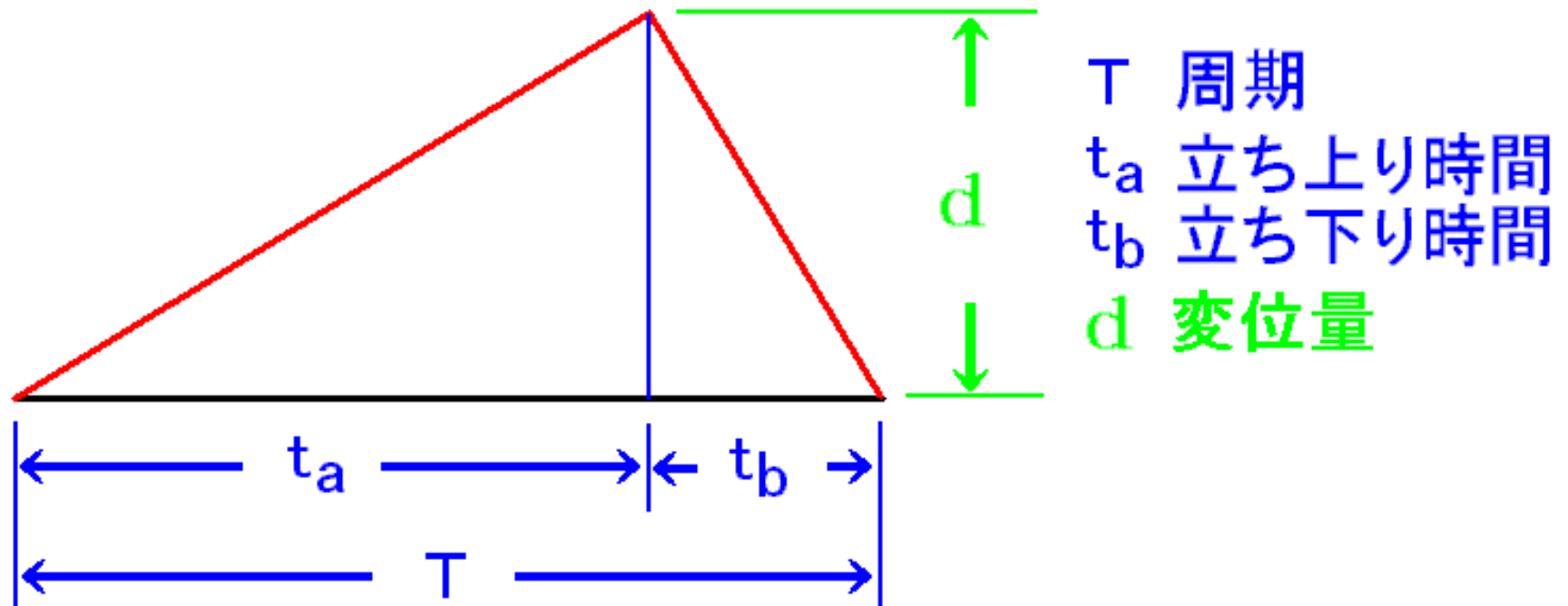


出力ミラーの反射率の違い

出力ミラーの反射率
実線 : 75%
破線 : 85%

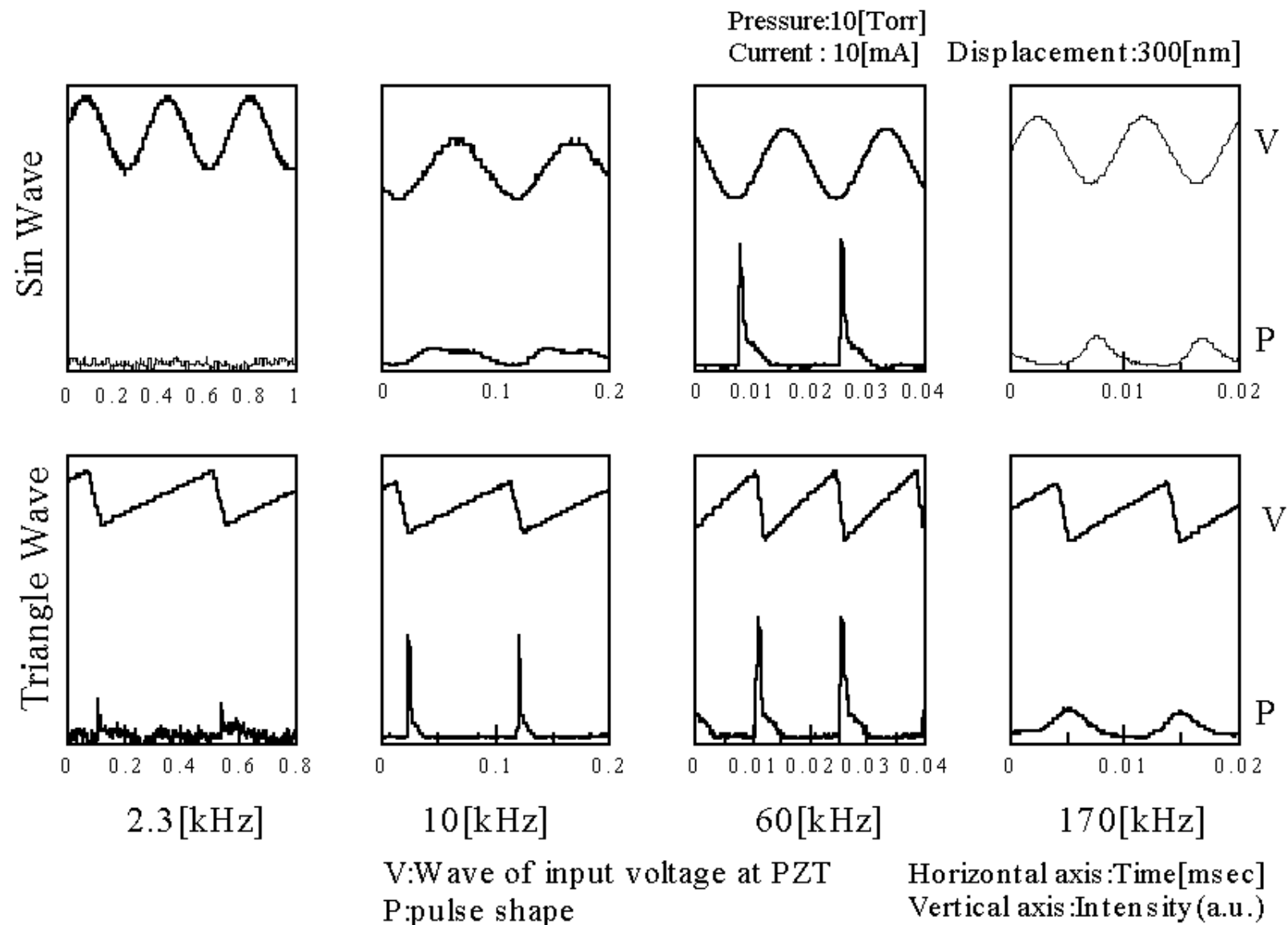


三角波・シンメトリの定義

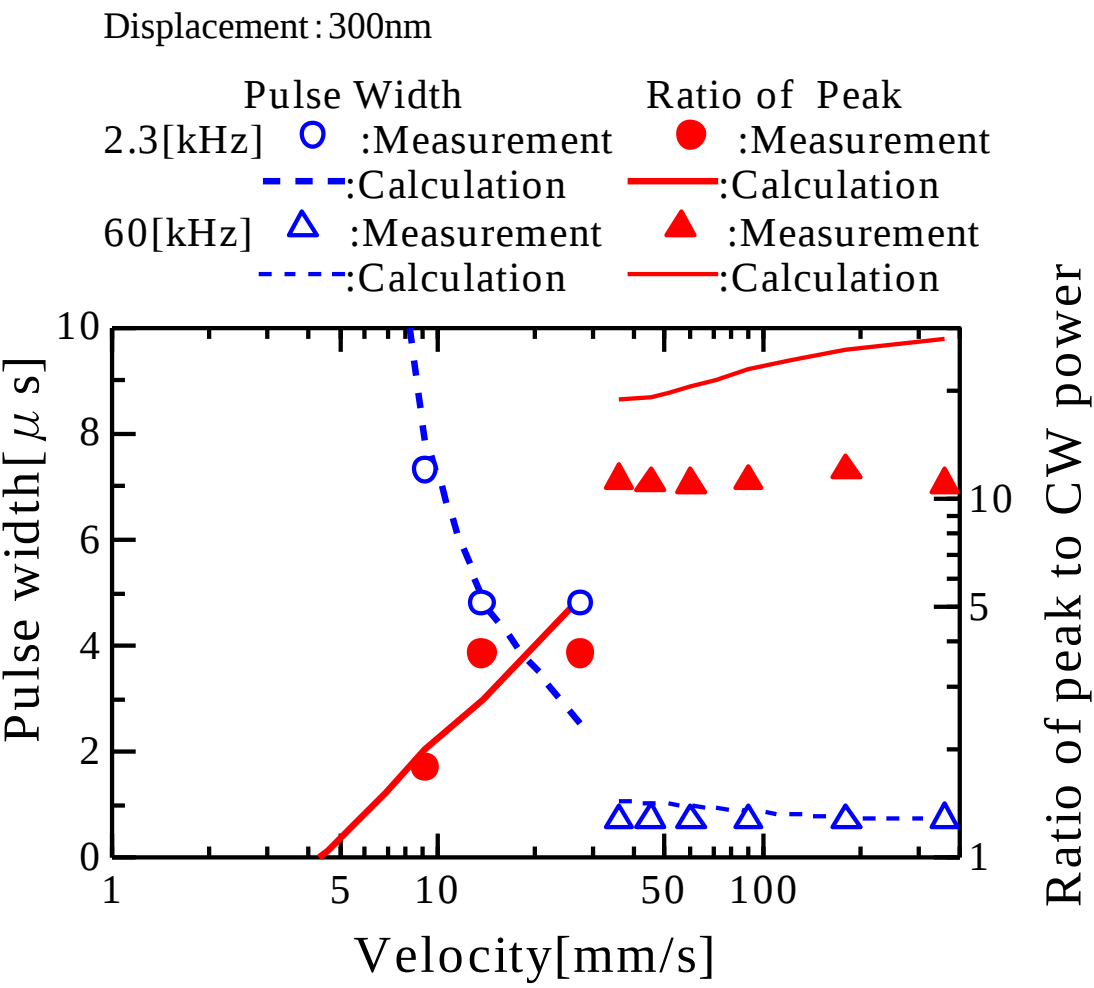


$$\text{Symmetry factor} = \frac{t_a}{T}$$

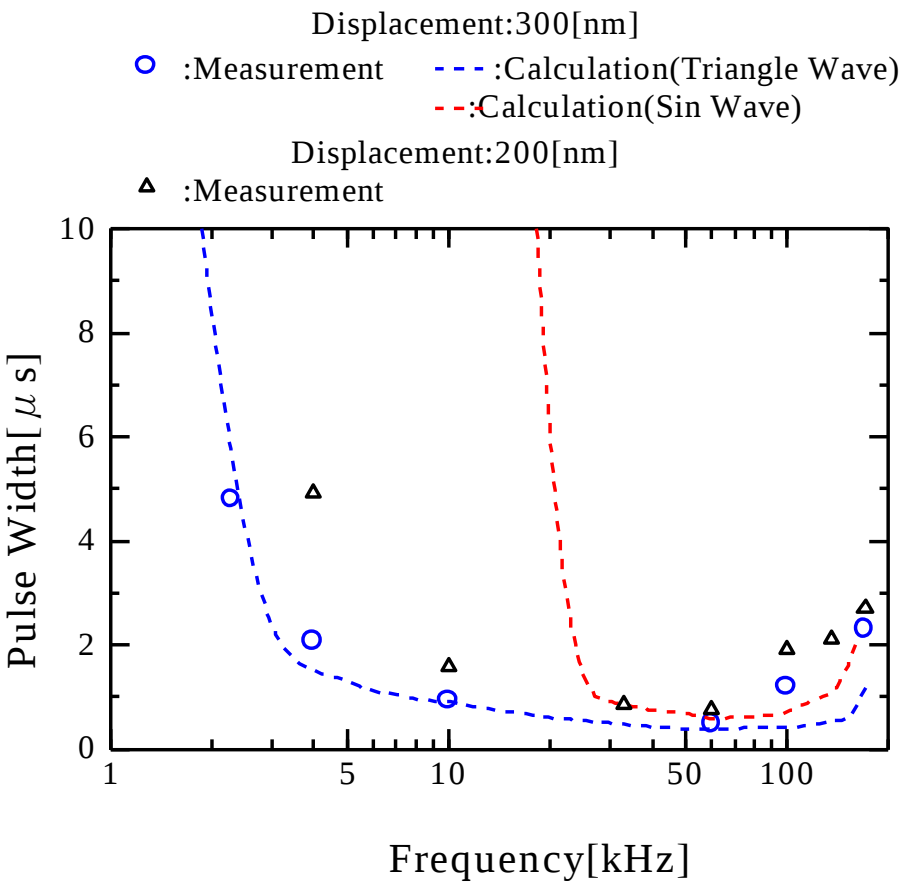
測定波形



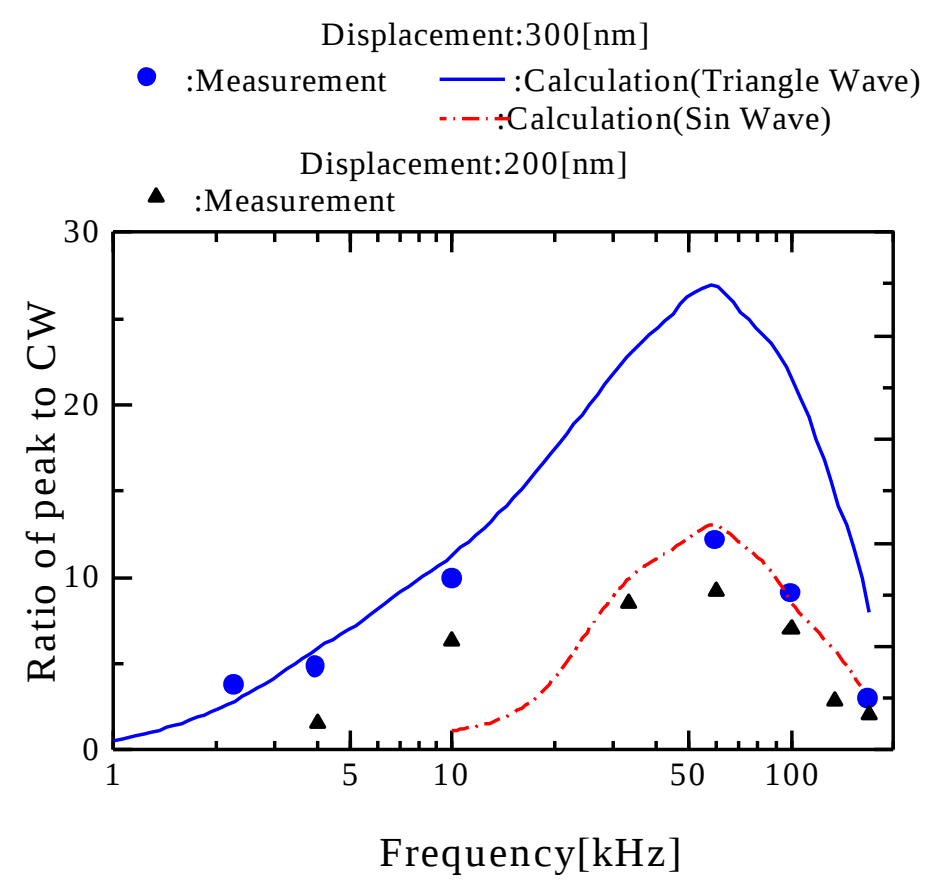
共振器長の変位速度とパルス出力



三角波振動時のパルス出力の周波数による変化

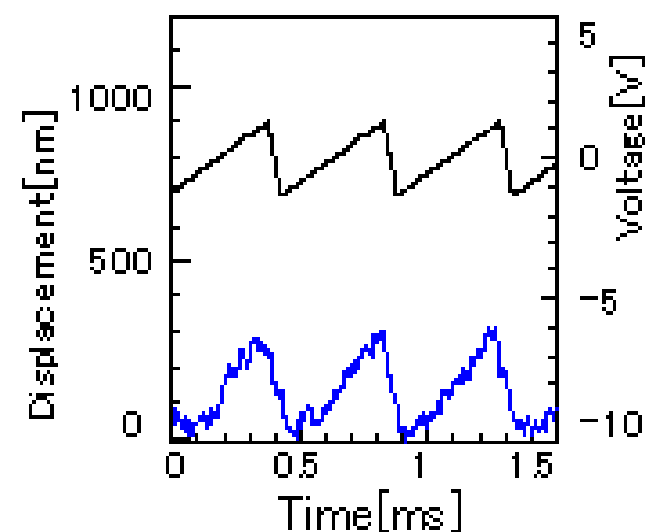


パルス幅

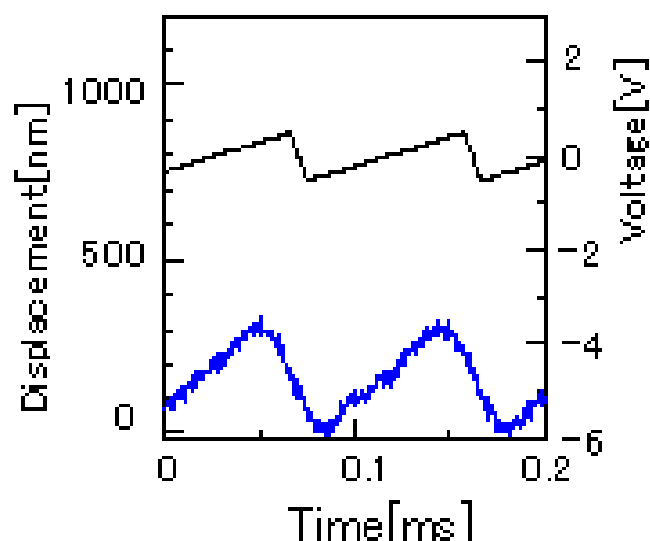


波高値

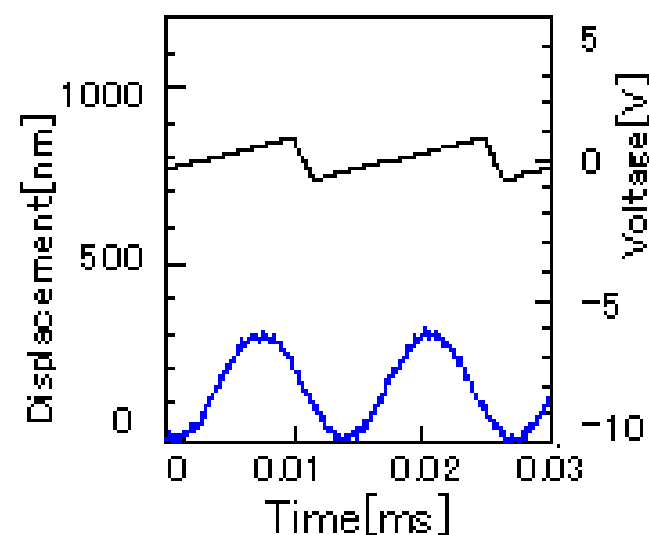
超音波振動子の応答



Symmetry factor: 0.9
Frequency: 2.3[kHz] の場合



Symmetry factor: 0.9
Frequency: 10[kHz] の場合



Symmetry factor: 0.9
Frequency: 60[kHz] の場合

まとめ

出力ミラーの反射率がパルス出力に与える影響

出力ミラーの反射率75%より85%の方が短パルス幅・高波高値

→反射率75%のとき814ns

→反射率85%のとき628ns

反射率高い方が利得変化大きく, 大きな反転分布を形成

共振器長の三角波状振動

共振器長の振動速度とパルスの関係

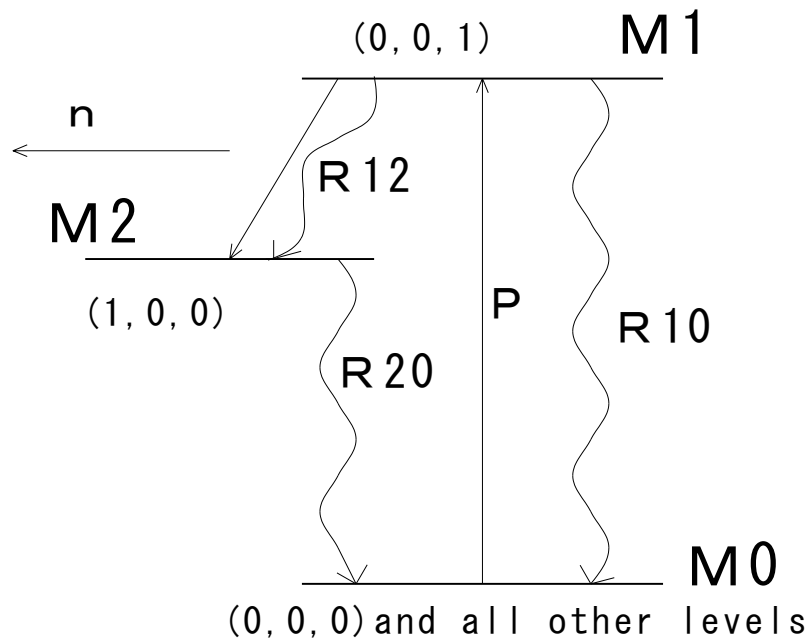
→10mm/s以下でパルス幅広くなる, 6mm/s以下で波高値CWと同程度

10kHz以下の低周波域でパルスを得られた

→2.3kHzにおいて, パルス幅4.8 μ s, 波高値3.8倍

60kHz以上ではシミュレーションと不一致

→超音波振動子が印加電圧波形に追従せずsin波振動するため



$$\frac{dn}{dt} = Bn(M_1 - M_2) + AM_1 - kn \quad (1)$$

$$\frac{dM_0}{dt} = R_{10}M_1 + R_{20}M_2 - (P + R_{02})M_0 \quad (2)$$

$$\frac{dM_1}{dt} = -Bn(M_1 - M_2) + PM_0 - (R_{10} + R_{12})M_1 + R_{21}M_2 \quad (3)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = Bn(M_1 - M_2) + R_{12}M_1 + R_{02}M_0 - (R_{20} + R_{21})M_2 \quad (4)$$

n : 光子密度

M_i : 各エネルギー準位にある炭酸ガス分子密度

$M (=M_0 + M_1 + M_2)$ 炭酸ガス分子の全分子密度

k : 管内損失確率

p : ポンピング確率

A : 自然放出率の実行分

B : 誘導放出確率

R_{ij} : i 準位から j 準位への遷移確率

(低いエネルギー準位から高いエネルギー準位への遷移確率 R_{01} , R_{02} , R_{21} はその逆過程の値

シミュレーション パラメータ

Pumping rate	P	15 - 80 Hz
Rate of the vibration relaxation(0,0,1)-(0,0,0)	R10	2.5 kHz
Rate of the vibration relaxation(0,0,1)-(1,0,0)	R12	50 Hz
Rate of the vibration relaxation(1,0,0) -(0,0,0)	R20	870 kHz
Total molecule density	M	3.5 GHz
Cavity-loss rate	K	56.1 MHz
Coefficient of spontaneous emission	A	0 Hz