

レーザガス

(発振用ガス・アシストガス)

Ⅲ. レーザ発振器の種類

レーザ発振器には下表のように多くの種類がありますが、レーザの分類名は使用する媒質（例えば CO₂ レーザの CO₂）の名称が使われています。特に金属加工分野（切断、溶接市場）では「気体レーザである CO₂ レーザ」と「固体レーザである YAG レーザ」が大半を占め使用されていますが、最近では自動車ボデーの溶接に固体レーザである半導体レーザが採用されだしたようです。

レーザの分類		媒 質	励 起 源	発振波長
固体レーザ	YAG	Nd³⁺Y₃Al₃G₁₂ (*)	フラッシュランプ方式	赤外線レーザ (1.06 μ m)
	ルビー		//	
	ガラス	Nd ³⁺	//	
	半導体	ガリウム・ヒ素をドーピング。	電流方式	赤外線レーザ (650~905nm)
気体レーザ	混合気体	CO₂	放電方式	赤外線レーザ (10.6 μ m)
		He-Ne	//	(630 nm)
		Ar	//	
		Kr (クリプトン)	//	
	エキシマ	ArF, KrF, XeCl, XeF	//	紫外線レーザ (193 nm)
液体レーザ	色素(ダイ)	炭素と水素を成分とする高分子。	フラッシュランプ方式	(330~1300nm)

(*) **Nd³⁺Y₃Al₃G₁₂**: Y(イットリウム)・A(アルミニウム)・G(ガーネット)の結晶構造(固体)に、Nd³⁺(ネオジウムイオン)と言われる発光素子をドーピングしたもの。この結晶のサイドから光(フラッシュランプ)を当てることで励起状態になる。

IV. レーザの発振原理

1. 基底状態

すべての物質は、原子と呼ばれる小さな粒子で構成されている。原子は中心に原子核を持ち、その回りにいくつもの電子が取り巻いている。図のような、原子が持つ量子力学的な系の定常状態のうち、最低エネルギーでもっとも安定した状態のことを**基底状態**という。



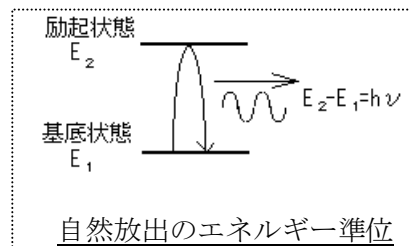
2. 励起 (ポンピング)

上図の基底状態にある原子に光や電子などのエネルギーを与えると、電子がより外側の軌道に移り、基底状態より高いエネルギー状態となる。このことを「原子がエネルギーを得て励起 (ポンピング) され、**励起状態**になる」という。



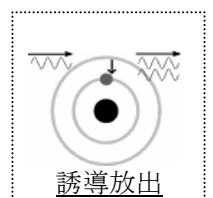
3. 自然放出

励起された原子は不安定なので、すぐに元の軌道に戻ろうとする。このときにエネルギーを光として放出する。この光の波長は原子の励起準位 (軌道からどれだけ離れたか) による。このときに、基底状態のエネルギー準位を E_1 、励起状態のエネルギー準位を E_2 とすると、光の粒子 (光子、photon) のエネルギーは、 $E_2 - E_1 = h\nu$ 、となる。



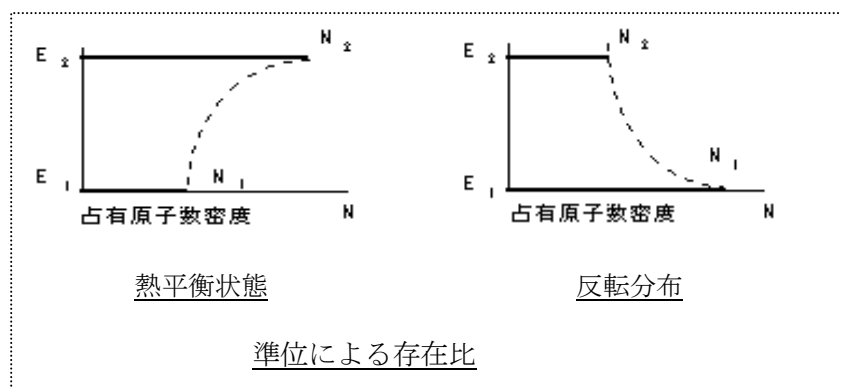
4. 誘導放出

この自然放出光が他の励起状態にある原子に入射すると、その原子は自然放出光に刺激されて基底状態に戻る。このときに発生する光を誘導放出光といい、**入射光と同じ向きにエネルギーが2倍になるように増幅される**。



5. 光増幅

励起エネルギーを強くすると、励起状態の原子数が基底状態のそれより多くなる。この状態のことを通常の熱平衡状態では成立しないことから「**反転分布**」という。この状態でレーザの媒質中を自然放出光が進むと、誘導放出過程により光の増幅が行われる。この増幅光が二枚の反射鏡から形成される光共振器の間を往復すると、さらに誘導放出による光の増幅が行われる。この増加エネルギーが光共振器内の損出エネルギーを超えると、レーザ発振が起こってレーザ光が放出される。



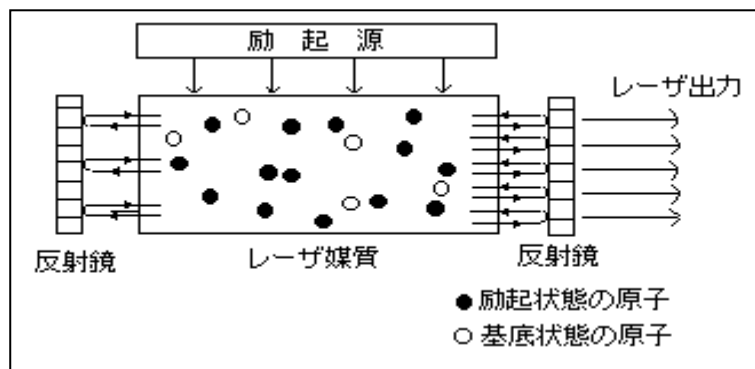
V. CO₂ レーザ発振器の構成

レーザ発振器には下表の通り、1.レーザ媒質・2.励起源・3.共振器の構成でレーザ光を作り出します。固体レーザである YAG レーザも参考に記述しておきました。YAG レーザは炭酸ガスレーザの次に多く採用されています。

* 構 成	CO ₂ レーザ	YAG レーザ
1 レーザ媒質	レーザガス (He+N ₂ +CO ₂ ・ He+N ₂ +CO ₂ +CO 等の混合ガス)	Y・A・G の結晶構造を持つ個体に、Nd+をドーピングしたもの。
2 励起源	グロー放電方式	フラッシュランプ方式
3 共振器	反射鏡 2 枚 (全反射・半反射) でレーザ媒質をはさんだもの。	

発振器の原理 (下図参照)

- (1) レーザ媒質を鏡 (全反射鏡) と鏡 (半反射鏡) で挟み、励起源からエネルギーを与える。
- (2) レーザ媒質の電子が励起源のエネルギーに反応し励起状態になる。
- (3) 励起状態となって放出された光が、反射鏡の間で共振し増幅される。
- (4) 増幅された光が一定のレベルを超えると、鏡 (半反射鏡) の側から光線となって発振される。



VI. レーザガス

レーザガスには、CO₂ レーザ発振器に使用される「発振器用ガス」と、金属の加工に使用される「アシストガス」があります。レーザ発振器用ガスは、CO₂ レーザ発振器用のガスが大半を占めていますので、CO₂ レーザ発振器用ガスについて説明します。YAG レーザは固体の媒質を使用しますので発振器用ガスは使用しません。

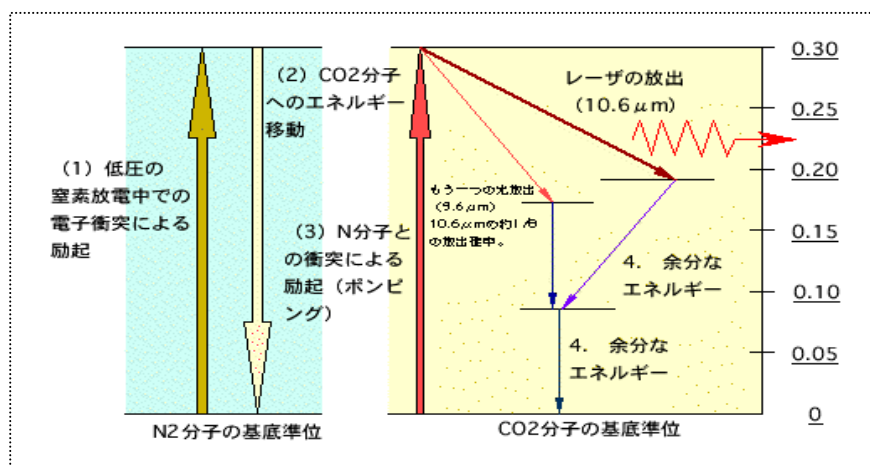
発振器用ガス		アシストガス(加工用ガス)		
発振器の機種	CO ₂ レーザ発振器	使用レーザ機種	金属の加工をする全機種	
発振器用ガス	混合ガス ・ He+N ₂ +CO ₂ ・ He+N ₂ +CO ₂ +CO ・ He+N ₂ +CO ₂ +H ₂ ・ He+N ₂ +CO ₂ +H ₂ +Xe 等 混合組成はレーザメーカーの指示に従う。	切断用ガス	酸化切断 無酸化切断	・ 酸素(O ₂) ・ 窒素(N ₂)
		溶接	シールドガス	・ アルゴン(Ar) ・ ヘリウム(He) ・ 混合ガス (Ar+He)

1. CO₂ 発振器用レーザガスの役割

CO₂ レーザ発振器用ガスは、CO₂ レーザ発振器の媒質として使用され、下記のような内容でレーザ光を作り出します。

- 1) レーザガスを低圧力（40～120Torr）で発振管に循環ポンプで高速に送り込みます。
- 2) 発振管の両極には放電回路が接続され、高電圧をこの電極に印加してグロー放電を発生させる。
- 3) その結果、グロー放電で生じた高速の電子が、N₂分子を励起して高エネルギー準位に上げます。
- 4) この励起された N₂ 分子が、CO₂ 分子に衝突して CO₂ 分子にエネルギーを与えて励起させ、エネルギー準位を上げます。その際、N₂ はエネルギー準位が下がります。
- 5) 反転分布した CO₂ 分子は共振器内で増幅されレーザ光を誘導放出します。
- 6) He は冷却効果があり、ガスの温度上昇を抑止するとともに、レーザ発振に関係しない下位レベルの分子を衝突で基底状態に戻す作用をします。つまり、N₂ は CO₂ のエネルギー準位を上げ、He は逆に安定状態に下げる役割をします。

下図は炭酸ガスレーザの発振原理で、10.6 μm を放出するのに N₂ 分子の力を借りている状態図です。



2. CO₂ レーザ発振器メーカーと CO₂ レーザ発振器用ガス

下表は代表的な CO₂ レーザ発振器メーカーと、その発振器に使用されるレーザガスです。レーザガスの混合組成は発振器メーカーが決めており、混合精度（含む不純物）も厳しい範囲に決められております。それはレーザ光の出力に影響するからです。

その他に多くの発振器メーカーがありますが、レーザガスの依頼があった場合、必ず混合組成を発振器メーカー或いは関係者に確認しなければならない。

発振装置メーカー	CO ₂ レーザ発振器用ガス（媒質）
松下産業・ファナック他	He+N ₂ +CO ₂
三菱電機製	He+N ₂ +CO ₂ +CO
三菱電機製	He+N ₂ +CO ₂ +CO+H ₂
オプテカル・エンジニアリング製	He+N ₂ +CO ₂ +H ₂
	He+N ₂ +CO ₂ +H ₂ +Xe(キセノン)

3. アシストガスの役割

アシストガスは、レーザ加工機で金属の加工(切断、溶接)をする場合に使用されます。レーザの機種は金属材料が加工できる機種であればすべて使用できます。

1) 切断の場合

a) 酸化切断

- ・酸化切断とは：レーザ光で溶かした金属と酸素(O₂)を酸化反応させて切断する方法。
- ・アシストガス：酸素(O₂)
- ・特徴：1) アシストガスである酸素の供給圧力が低くてよい。
2) アシストガスである酸素を使用する量が少なくすむ。
3) 切断速度が早いし、切断面精度が良い。
- ・用途：鉄(Fe)の切断が殆どで、ステンレスの切断でも使われる場合もある。

b) 無酸化切断

- ・無酸化切断：レーザ光で溶かした金属を窒素の圧力で吹き飛ばして切断する方法。
- ・アシストガス：窒素(N₂)
- ・特徴：1) 切断面が酸化しないので、その金属のままの色である。
2) 窒素の供給圧力が酸素の倍以上必要である。
3) 窒素を使用する量が酸素に比し数倍多い。
- ・用途：1) ステンレス鋼板
2) 表面処理鋼板
(酸素を使用すると表面処理剤が燃焼し、噴煙が多量に出、作業環境を悪くする。)
3) 鉄
(殆どが酸素を使用するが、切断面の酸化を嫌う場合に使用。)

2) 溶接の場合

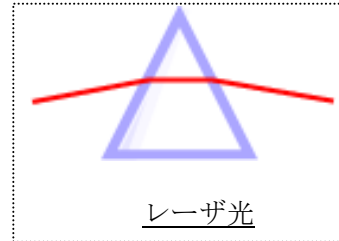
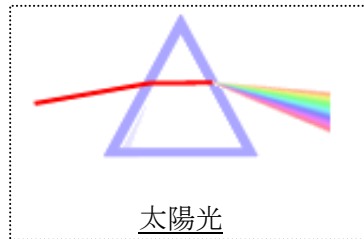
- ・アシストガスの役割：光で高温にさらされる熔融金属を大気(空気)から遮断し、熔融部の酸化や窒化を防止する。
- ・アシストガス：アルゴン(Ar)、アルゴン(Ar)+ヘリウム(He)混合ガス、ヘリウム(He)。
- ・アルゴンを使用した場合、光に与える影響：
レーザ溶接の場合、熱源が高温の光であるのでアルゴンガスを使用した場合は、光の回りにプラズマが発生し、光の出力が低下し設定した出力が出ない状況になるので、混合ガス(アルゴン+ヘリウムの混合)か、単独にヘリウムガスを推奨されている。

VII. レーザ光の特徴

(レーザー光と普通の光を比較)

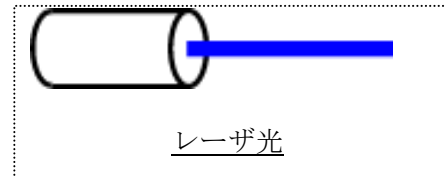
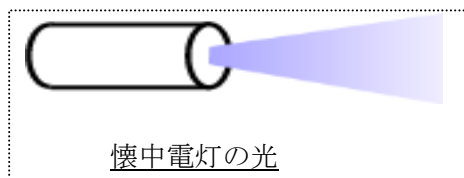
1) 単色性

太陽光をプリズムに通すと 7 色の光に分解される。これは、太陽光が様々な波長の光が混ざり合ったものであるからである。一方、レーザーは単一波長の光の集まりなので、分解されることがない。この特徴を**単色性**と呼んでいる。



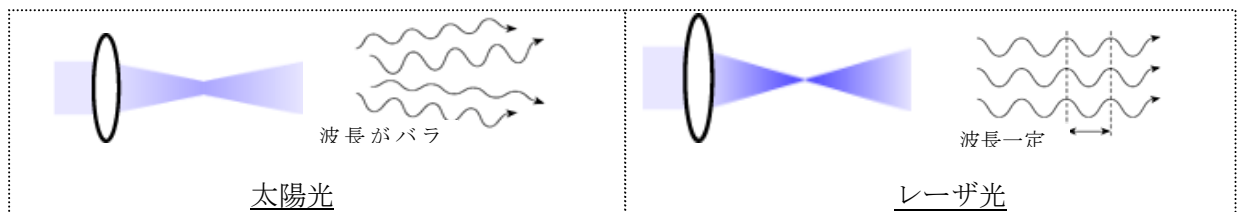
2) 指向性

ランプなどの通常の光線はあらゆる方向に分散するのに対して、レーザーは直進しほとんど広がらない。このことを**指向性が良い**という。



3) エネルギー密度

太陽光をレンズを用いて光を**収斂**(しゅうれん レンズで光を集める)させるとする。太陽光はいろいろな波長から成り、平行光でないため鋭く焦点に集めることが出来ない。しかし、レーザーは普通の光と異なって、位相が良く揃い収束性も良いので、**狭い面積にきわめて高密度の光エネルギーを集中**でき、焦点温度を数万度まで上げることが出来る。



4) コヒーレント (可干渉性)

コヒーレントな光とは一つの定まった波長を持つ光で、**連続的に続いていて光の山と山、谷と谷が一致する規則正しい光のことである**。レーザーの光はこのコヒーレント性を持っているが、自然光はこのような性質を持っていないので**インコヒーレント**な光と呼ばれている。

