

# 知 識 編

# I. レーザ加工の原理

## 1. レーザ加工の発展

### (1) レーザ加工の発展と背景

レーザーが発明されてから¼世紀が経過し、この間に百種類以上のレーザーが発明されている。しかし加工用に用いられるレーザーは大出力を必要とし数種類に限定される。

1960年メイマンにより初めてレーザーの発振に成功したところから、材料加工へのレーザー適用が提唱されてきたが、初期の時代には生産現場の要求を必ずしも満足させることができなかった。60年後半から70年前半にかけてはレーザー発振器の完成度が低く（小出力、安定度、信頼性に欠ける）、周辺技術（加工技術、制御システム）の未熟さ、初期コストの高さなどの問題もあり、他の加工法ではできないようなダイヤモンドダイスや時計の軸受用ルビーの穴加工、あるいはIC基板上の抵抗トリミングやセラミックスのスクライビングなどの特殊加工に実用化が限定されていた。

しかし、70年代後半には産業界を取りまく社会情勢が変化し、下記の要求への対応が必要となってきた。

- ① 電子部品を代表とする高精度・微細加工の要求増大
- ② 多種少中量生産に対応できるフレキシブルな加工法
- ③ 高強度、高硬度材料あるいはセラミックス、FRPなどの新材料への加工
- ④ 切り粉を少なくした歩止まりのよい省エネルギー加工の要求

レーザー光は微小なスポット（YAGレーザーの場合0.01～0.02mmの直径まで絞り込める）に従来の加工法では不可能な高いエネルギー密度を得ることができる。制御性に優れ、被加工物を蒸発・熔融・加熱など広い用途に適用できるレーザー加工はその豊かなフレキシビリティの故にこれからの新しい社会情勢にマッチした加工法として大きくクローズアップされ、今や各種生産現場に不可欠な工作機械として位置づけられつつある。

### (2) レーザ加工の実用化への歴史

- 1960年 Maiman (hughs Aircraft)
  - ルビーレーザーの0.694 $\mu$ m発振成功、赤色パルス状レーザーで数Wの出力を取り出す。
  - ・'65にはダイヤモンドダイスの穴明けに実用されるようになった。（6分/穴）
  - ・'68には時計用軸受の加工に実用  
(2.5ヶ/秒)
- 1961年 Snitzei (American Optical)
  - ガラスレーザーの1.06 $\mu$ mのパルス出力発振成功
- 1962年 Hellwarth & McClung (Hughs Aircraft)
  - Qスイッチによるジャイアントパルスレーザーに成功。ガラスレーザーにQスイッチを組込んで尖頭値の高いパルス取り出しに実用され始めた。

- 1964年 J.E.Geusic (Bell Tel Lab)  
YAGレーザの $1.06\mu\text{m}$ 発振成功
  - ・'70にはシリコンウェハのスクライビングに実用。(コンピュータとのカップリング)
  - ・'71には厚膜用ICの抵抗トリミングに実用
  - ・'73にはダイヤモンドダイスの穴明け実用。(3秒/穴)
  - ・'74には時計用軸受の加工に実用。(12ヶ/秒)
  - ・'75にはタービン羽根の空気冷却穴( $0.5\phi\times 3.1\text{mm}$ 深さ)加工に実用。  
(1ヶ/7秒)
- 1964年 Patel (Bell Tel Lab)  
CO<sub>2</sub>レーザの $10.6\mu\text{m}$ の連続出力発振成功。
  - ・'66哺乳瓶のゴム口の3つの穴あけに実用。100W
  - ・'70ダイボードカッティングに実用。(N/Cとのカップリング)200W~500W  
(現在国内で約40台)
  - ・'71洋服地の裁断に実用。(コンピュータとのカップリング)250W~500W  
(現在国内で約20台)
  - ・'74パワーステアリングギヤハウジング内面焼入実用。  
(フェライト可鍛鉄)500W~1000W(現在GM社にて17台)
  - ・'74円筒状鉛電池の突き合せ溶接に実用。
  - ・'77~'85国内で通産省工業技術院の大型プロジェクト「超高性能レーザ応用複合生産システムの研究開発」推進、26.5kWの大出力CO<sub>2</sub>レーザおよび600WのYAGレーザの発振に成功。
  - ・'80頃から国内において板金の切断システムの導入が本格化。350W~1500W
- 1970年 A.J.Beaulieu  
TEACO<sub>2</sub>レーザの $10.6\mu\text{m}$ パルス発振に成功。
  - ・'83国内においてもICを対象に毎秒10個程度の高速マーキングの実用。
- 1971年 Basov  
液体Xe(キセノン)を電子ビーム励起して $0.176\mu\text{m}$ のエキシマレーザ発振に成功。
  - ・その後各種のハロゲンガスと希ガスの組合せにより、平均出力数10Wから100W程度までの発振器が実現、LSIの露光などへの適用が研究されている。

## 2. レーザの原理と特徴

L A S E Rの語源はLight Amplification by Stimulated Emission of Radiationの頭文字を組み合わせたもので、“ふく射（放射）の誘導放出による光の増幅”と言う意味である。レーザー発振の理論は量子力学に基づくところが多いが、ここでは簡単な概念のみを説明する。

### (1) レーザ発振器の基本構成

レーザーの基本構成は図1に示すごとく、レーザー材料（原子・分子など）、レーザー材料にエネルギーを供給するためのエネルギー源（励起手段）および光の位相を揃えるための共振器から構成される。

レーザー材料としては、ルビー、ガラス、YAG (Yttrium Aluminium Garnet)、などレーザーの発光中心となる各種のイオンを含んだ固体や、Ar、He-Ne、CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-Heなどの気体あるいは色素レーザーなどに用いられる液体など100種類以上の材料がある。

励起手段としては、ランプ等による光、気体の放電、電子ビーム、化学的な熱エネルギーなどである。

共振器は全反射ミラーと部分反射ミラーの2枚で構成された安定形共振器と呼ばれる形式のものだが、加工用レーザーとしては多く使われる。

1つの鏡の近くから出た共振器の光軸に沿って進む光は、もう1方の端の鏡に到達するまでに、光の増幅空間を進み、誘導放出により、より大きなエネルギーをもった光に成長する。光が共振器間を1往復する間の利得（増幅度）が、部分反射ミラーから取り出されたエネルギーより大きくなれば、定常的な発振（レーザーの取り出し）が可能となる。

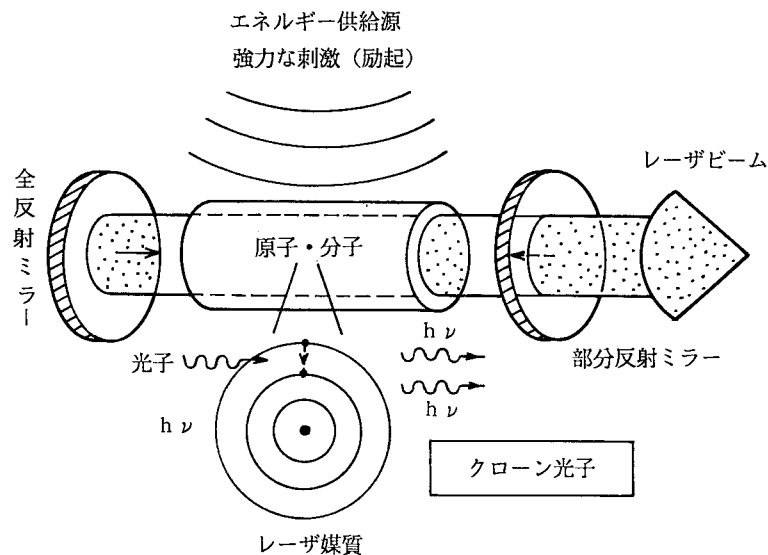


図1 レーザの原理構成図

## (2) レーザの発振原理

レーザー材料内の原子・分子は通常エネルギー準位が低い基底状態にあるが、外部からエネルギーを吸収すると、エネルギー準位の高い励起状態になる。励起状態の原子または分子は、ある時間（励起寿命）を経過すると光子を放出して基底状態に戻る。

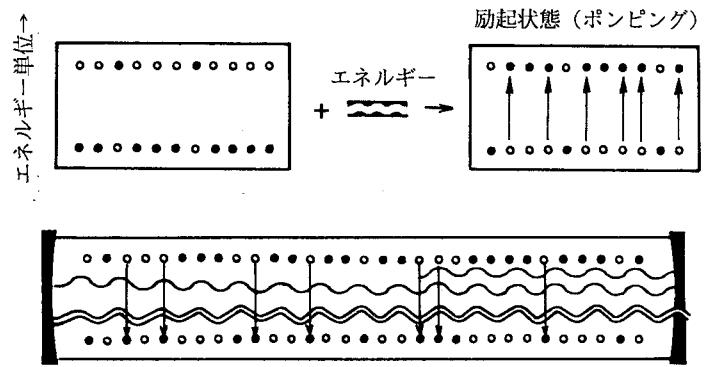


図2 レーザ発振の原理

レーザー発振の基礎は、物質（原子、分子）による光子（電磁波）の吸収と放出である。放出には自然放出と誘導放出がある。

自然放出とは、励起された原子（分子）が寿命とともに、下位準位へ落ちる際光子を放出することである。自然放出光の周波数は $\gamma$ は、次のボーアの振動条件で決定される。

$$\gamma = (E_2 - E_1) / h \quad (= C / \lambda)$$

$E_2$  : 上位準位のエネルギー

$E_1$  : 下位 " "

$h$  : プランクの定数

$$(6.629 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s})$$

$$= 4.141 \times 10^{-15} \text{ eV}$$

$C$  : 光速 ( $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s e c}$ )

$\lambda$  : 波長

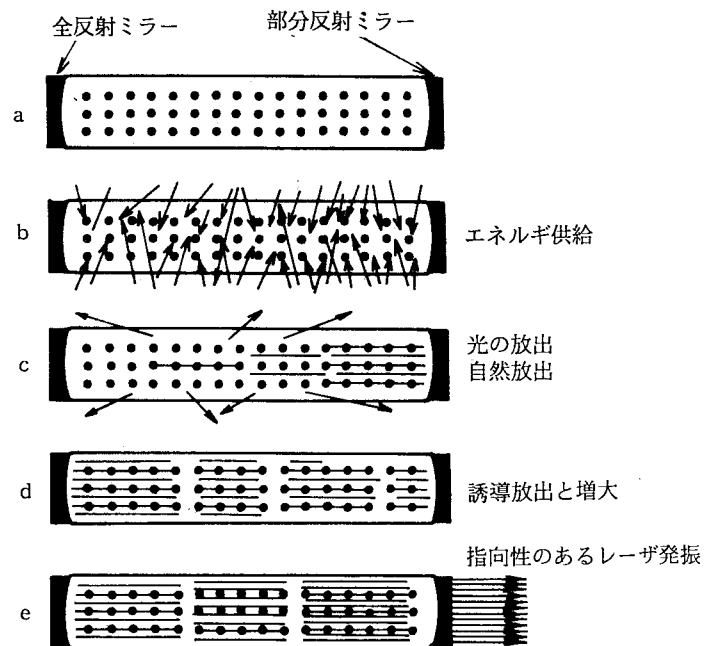


図3 レーザ発振が形成されるまで

誘導放出とは、外部から与えられた光子（電磁波）に、励起状態にある原子（分子）が刺激（誘導）されて光子（電磁波）を放出することである。

上位のエネルギー準位の原子、分子数が下位のエネルギー準位の数より多くなっている状態を反転分布と呼ぶ。

反転分布が形成されている媒質（レーザー媒質）を挟み、対向して全反射ミラーと部分反射ミラーとを設置し、レーザー媒質内の光をミラーで共振器光軸方向にのみフィールドバックしてやると、2枚のミラーで構成された光共振器内に定在波が形成され、部分反射ミラーからレーザー光線が射出す

る。この現象がレーザーの原理の基本で、図3に発振までの過程を示す。

レーザーで重要なことは、物質の固有なエネルギー準位で決まる単一波長の光であること、また共振器の光軸にほぼ平行な指向性のある光であること、および共振器間で定在波が立ち誘導増幅された位相のそろった光であることである。

### (3) レーザ光の特徴

太陽の光はいろいろな波長の光が混在しているため、図4に示すごとくプリズムによって虹色に分けられ、それぞれの光は別方向へ進むが、レーザー光はプリズムを通しても色が分かれることはない。それはレーザー光は波長が1種類つまり一つの色しかないからである。このことをレーザー光の“単色性”とよぶ。

またレーザー光は、指向性が優れており、一定の波の形で同じ方向に進み、位相がそろっているため、レーザー光をレンズで集光すると普通の光よりもずっと小さな点に集光することができる。

たとえば、CO<sub>2</sub>レーザーの1kWの光をレンズで、0.1mmの円に絞ったときのエネルギー密度は12700kW/cm<sup>2</sup>となり、金属でも一瞬に蒸発させたり、溶かしたりすることができる。

太陽光線をレンズで集光しても金属を溶かしたり蒸発させたりできないのは、レンズを通り抜ける光のエネルギーが太陽光線の場合、数mWと小さいうえ多色光であるので、赤のように屈折率の小さい光は遠くに焦点を結び、紫のように屈折率の大きな光は近くに焦点を結ぶため、一点に光を集めることができないからである。(図5)

また、電燈の光のように、いろいろな向きの光が混じり合っている光でも、一点に焦点を結ぶことはできない。(図6)

この点、レーザー光は、その波長を一つしか持たない光のため、また光がみな同じ方向に進む性質のため、ほぼ一点に焦点を結ぶことができ、微小なスポットにエネルギーを集中することができる。

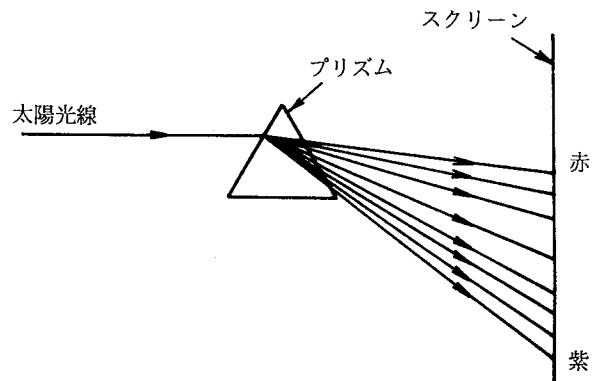


図4 プリズムによる分光

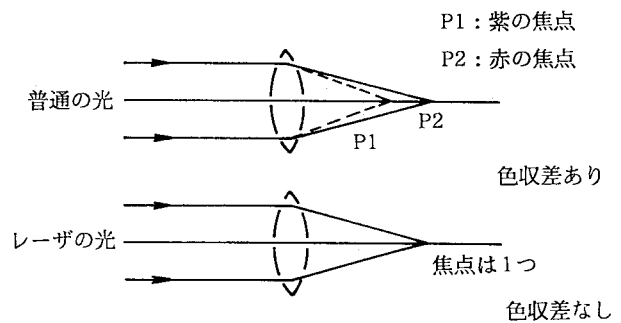


図5 レーザ光と普通の光の焦点

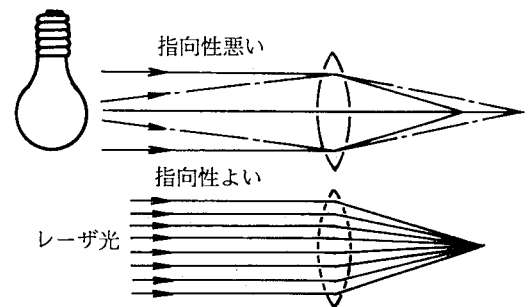


図6 レーザ光の焦点と電燈光の焦点

#### (4) 各種の加工用レーザ

今日までに数多くのレーザが発明され色々な用途に実用されているが、材料加工に使用されるレーザは大きな出力を必要とし、今のところ表1に示されるものに限られている。このなかでもCO<sub>2</sub>レーザは他のレーザに比べ、大出力を連続的に取り出すことができ電気入力からレーザ出力へのエネルギー変換効率も10%以上に高めることができる（他のレーザでは2~4%程度）ので加工用熱源として大きなエネルギーを必要とする加工には最適である。

但しCO<sub>2</sub>レーザは他のレーザに比べ1桁波長の長い10.6μmの遠赤外領域の光で、ほとんどの非金属には良く吸収されるが、常温の金属材料では高い反射があり、5~15%の低い吸収率であることに留意して金属加工をする場合には吸収率を高めるための配慮をしなければならない。

表1 加工用レーザの種類と特性

レーザの種類		波長(μm)	発振形式	平均出力(W)	励起方式	用途
固体	ルビ	0.694	単一パルス	.	キセノンランプ	(穴あけ・スポット溶接)
	YAG	1.06	連続・繰り返しパルス ジャイアントパルス	~600	キセノンランプ クリプトンランプ	トリミング・スクライビング マーキング・穴あけ・ 溶接・はんだ付・切断
	ガラス	1.06	単一パルス		キセノンランプ	スポット溶接・穴あけ
	アレクサンドライト	0.70 ~ ~0.82	繰り返しパルス ジャイアントパルス	~70	キセノンランプ クリプトンランプ	穴あけ
気体	CO <sub>2</sub>	10.6	連続・繰り返しパルス	~20000	放電 電子ビーム(制御)	切断・溶接・表面熱処理 微少除去加工
	Ar	0.488 0.514	連続波	~18	放電	半導体加工 製版
気体	ニキシマ	ArF	パルス	40	UF予備励起放電 電子ビーム(直接) 電子ビーム(制御)	材料の高純度精製 半導体の表面処理 材料合成
		KrF		200		
		XeCl		60		
		XeF		15		

今日国内で生産に実用されているレーザはCO<sub>2</sub>レーザとYAGレーザの2種類に絞られる。そこで、この二つのレーザのビーム特性の違いを加工の観点から比較してみる。

表2にその特性比較表を示すが、第一の違いは波長である。YAGレーザは1桁小さく、集光スポット径も10~50μm程度に絞り込むことが可能でより微細な加工が可能である。CO<sub>2</sub>レーザは100μm以上の集光スポット径となるが、遠赤外域の光であり、ほとんどの非金属材料によく吸収され、金属はもちろんのこと紙・布・木・アクリル・セラミックスなど広い範囲の材料加工に適用することができる。

第2の違いは連続発振時の最大出力である。CO<sub>2</sub>レーザではYAGレーザに比べ1~2桁大きな出力を取り出すことが出来、エネルギーを多く必要とする厚板の切断、深い溶込みの溶接、焼入、クラディングの用途には独壇上である。

第3の違いは出力パルス制御形態である。CO<sub>2</sub>レーザでは放電電流制御により出力パルス化を計っており、パルスせん頭値は連続出力時の2~5倍程度が最大であるのに対し、YAGレーザでは

超音波光変調素子を共振器内に入れてQスイッチパルス（ジャイアントパルス）等のせん頭値が数mWにいたるパルスを取り出すことができる。但しこの場合はパルスの出力の維持時間は非常に短くなる。

表2 YAGレーザとCO<sub>2</sub>レーザの特性比較

	Y A G レーザ	C O <sub>2</sub> レーザ
波 長	1.06 μm	10.6 μm
連続発振出力	600 W (最大)	26.5kW (最大)
パルス出力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連続励起方式</li> <li>  超音波Qスイッチパルス</li> <li>    せん頭値~20kW</li> <li>    繰返し~50kHz 以下</li> <li>    パルス幅 150 ~ 200 ns</li> <li>・パルス励起方式</li> <li>  ポッケルスQスイッチパルス</li> <li>    せん頭値~10mW</li> <li>    繰返し~50 pps</li> <li>    パルス幅 10~ 40 ns</li> <li>  ノーマルパルス</li> <li>    せん頭値~数kW</li> <li>    繰返し~50~200 pps</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・パルス放電励起方式</li> <li>  (エンハンストパルス)</li> <li>    せん頭値 2.5~4 kW</li> <li>    繰返し 1~5 kHz 以下</li> <li>    パルス幅 100 μs ~連続</li> <li>・TEA CO<sub>2</sub> レーザ</li> <li>  せん頭値 1~2 MW</li> <li>  繰返し 200~300 pps</li> <li>  パルス幅 100 ~ 200 ns</li> <li>  平均出力 ~ 300W最大</li> </ul>
発 散 角	~1mrad. (TEM <sub>00</sub> モード) ~数mrad. (マルチモード)	1 ~ 2mrad. (TEM <sub>00</sub> , リングモード) ~数mrad. (マルチモード)
集光スポット径	20~50 μm	50~500 μm

### 3. レーザ加工の原理と種類

#### (1) 加工の原理と特徴

太陽光をレンズで集め、焦点位置に紙・布・木などをもっていくと、そこに穴を明けることができるのをだれもが経験していると思う。レーザ加工も光のエネルギーによる加工で、原理はそれとほぼ同じである。

図7に加工ヘッドの1例を示す。発振器から出たレーザ光は、反射鏡により加工位置まで伝送され、そこでレンズ等の集光系により、加工に必要なエネルギー密度の得られる微小スポットに集束される。

加工ヘッドの機能は光を集光させ、高いエネルギー密度を得ること、加工される雰囲気、(蒸発物の除去、光の吸

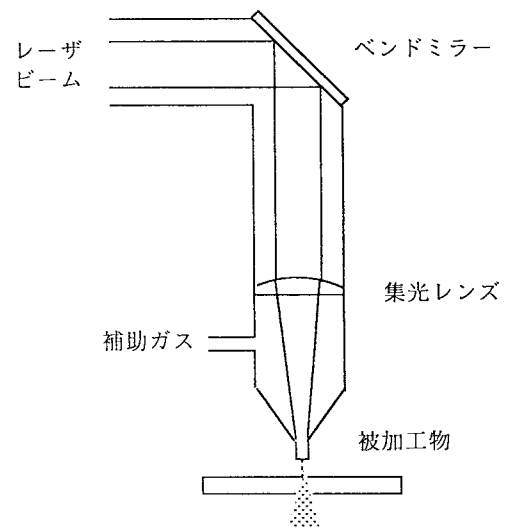


図7 レーザ加工の原理図



収の増加、加工部のシールドおよび冷却)を制御する補助ガス(アシストガス)を供給すること、および集光されたビームの焦点を被加工物上に合わせることである。

太陽光を直径約1センチのレンズで集光する場合、レンズには数10mW程度のエネルギーしか入らない。また焦点での光のスポット径もφ1mm程度にまでしか集束することができない。

レーザー光の場合は同一径のレンズを使用しても1KW程度のエネルギーが入れられるし、焦点のスポット径も、CO<sub>2</sub>レーザーの場合でφ0.1mm程度にまで集束できる。

したがって焦点位置での照射部分のエネルギー密度(単位面積当りに入るエネルギー)は太陽光の場合の10<sup>6</sup>倍以上にもなり、10<sup>7</sup>~10<sup>8</sup>W/cm<sup>2</sup>に到達する。このエネルギー密度は我々が手に入れることのできる最も高い範中で、瞬時にして金属などの材料も溶融・蒸発できるのである。

#### ① [熱エネルギーとしての特長]

- 高エネルギー密度熱源であり、用途に応じて10<sup>3</sup>~10<sup>8</sup>W/cm<sup>2</sup>のエネルギー密度範囲で利用されることが多い。(1台のレーザーで穴あけ、切断、溶接、表面改質など多くの加工に使用できる)
- 非接触加工であり、材料の硬さ、もろさにとらわれず、各種の材料の加工が可能。
- 空気中でミラーによってエネルギーを伝搬できる。(フレキシブルなエネルギー伝搬)
- レーザの発振方法にもよるが、10<sup>-6</sup>秒程度のパルスから連続出力まで作用時間を選択できる。

#### ② [施工上の特徴]

- 低ひずみに加工できる。(高精度な加工)
- 大気中で加工することができる。
- 加工の自動化が容易である。
- 微小な点、線の加工ができる。(従来の機械加工ではできなかったような微細加工)
- 低入熱に加工できる。(変質層の少ない加工)

### (2) 集光特性

レーザー光の集光にはレンズが用いられることが多い。CO<sub>2</sub>レーザーに使われるレンズは、10.6μmの波長の光の吸収が少ないZnSe、GaAs、KClなどの材料でできたプラノコンベックスと呼ばれる平凸レンズや、メニスカスと呼ばれるコンケイブ、コンベックスレンズが用いられる。これらの材料のうち、高出力炭酸ガスレーザー加工装置用レンズ材としては、ZnSe、KClが多く用いられているが、KClは潮解性があるため、吸湿しないように対策しなければならない。

(KClはほとんど用いられない)

メニスカスレンズは平凸レンズに比べ、レンズの球面収差を少なくしたもので、集光スポットを幾分か小さくできる。(図8)

レーザー光は集光性がよく、位相もそろっているので、レンズで集光すると非常に小さなスポットに集光されるが光



図8 レンズ形状

である以上発振器から離れるにしたがって回折によって  
ビームが広がる。

この広がり角を発散角<sup>\*</sup>といい、全角または半角で $\theta$  (rad) であらわされる。炭酸ガスレーザーでは、 $\theta$ は全角で数mrad以下である。(図9)

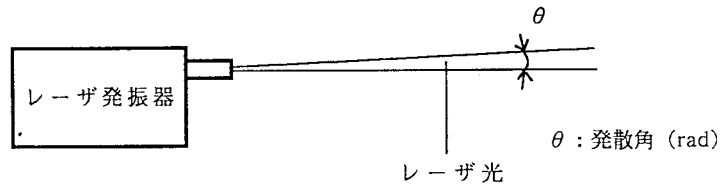


図9 レーザの発散角

この発散角が小さいほど、集光されたスポット径は小さくなるが、回折理論により集光スポット径  $d_f$  は

TEM<sub>00</sub> (シングルモード) の場合

$$d_f = f \theta \quad (\theta : \text{全角} \quad f = \text{焦点距離})$$

であらわされる。(但し、球面収差を無視した場合)

仮りに  $f = 5.0$  インチ = 127mm の焦点距離のレンズを用い、発散角 2.0 mrad ではレンズから 127mm の位置でのスポット径  $d_f$  は、

$$d_f = 127 \times 2 / 1000 = 0.254 \text{ mm となる。}$$

\*注) 例えばレーザー発振器から、1 m 遠ざかるごとにビーム径が 2 mm ずつ大きくなるようなレーザーでは、発散角 (全角) は約 2 mrad であり、3 mm ずつ大きくなる場合は、約 3 mrad となる。

$d_f$  はレンズの焦点距離  $f$  でのレーザービームのスポット径であるが、 $d_f$  は必ずしも最小スポット径とは限らない。最小スポット径  $d_0$  が得られるレンズからの距離は、実際には  $f$  から幾分ずれるが、ずれる距離は発振器の種類によって異なる。

最小スポット径を  $d_0$  とすると、同様に焦点距離  $f$  の収差の無視できる光学系によって集光するときの最小スポット径  $d_0$  は TEM<sub>00</sub> では、

$$d_0 = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{D} \cdot f = 1.27 \frac{\lambda}{D} f \dots\dots\dots \textcircled{1} \text{ で与えられる。}$$

$$\lambda = 10.6 \mu\text{m} = 10.6 \times 10^{-3} \text{ (mm)}$$

$$D \text{ (a t c}^{-2}\text{)} \dots \text{ビーム直径 (mm)}$$

$$f \text{ はレンズの焦点距離 (mm)}$$

図10に  $f = 7.5$ " のレンズを使用した場合の入射ビーム径毎の集光部近傍のビーム径変化を示す。

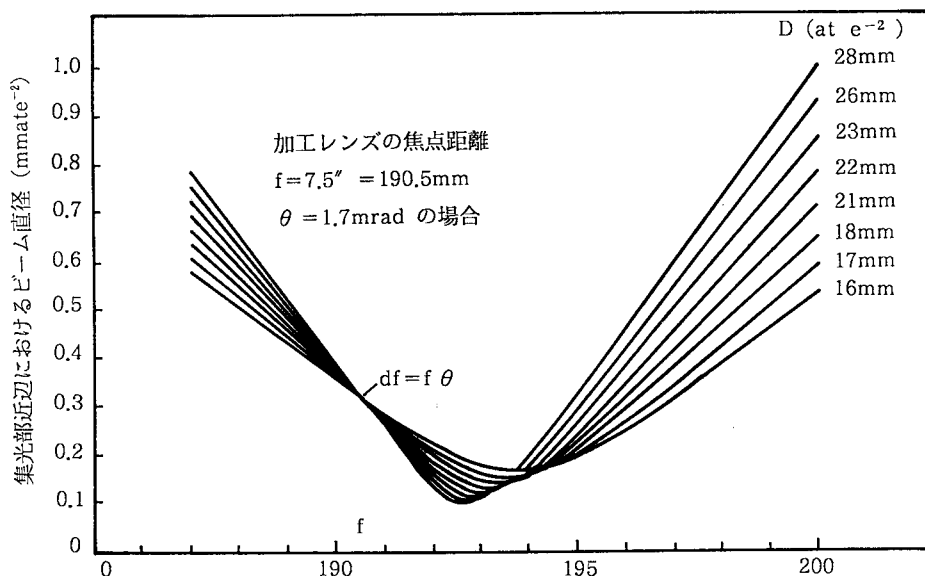


図10 シングルモードにおける入射ビーム径による集光部近傍のビーム系の変化の一例

なおDはレーザー光の発散角 ( $\theta$ ) のため、発振器からの距離が長いほど大きくなる。

従ってレンズの焦点距離が半分になるか、Dが2倍になれば  $d_0$  は  $\frac{1}{2}$  に小さくできることになる。よって  $\frac{f}{D}$  はレーザービームの集光特性を評価するうえで重要な値である。

前式は、TEM<sub>00</sub>モード (シングルモード) の場合であるが、TEM<sub>m n</sub>モード (マルチモード) の場合の最小スポット径  $d_{m n}$  は、

$$d_{m n} = 0.27 C_{m n} \cdot \frac{\lambda f}{D_{m n}} \dots \dots \textcircled{2}$$

ここに  $C_{m n}$  は表3に与えられる値をとる。

①式および②式はレンズの球面収差を無視した式であるが、 $f$  が一定の場合、Dが大きくなると、光学系の球面収差が上記の回折限界を上回るため、集光性能はDが、ある値をこえると低下してくる。

表3 異なったモードに対する広がり角係数

モード	$C_{m n}$
TEM <sub>00</sub>	1.0
TEM <sub>01</sub>	1.5
TEM <sub>10</sub>	1.9
TEM <sub>11</sub>	2.2

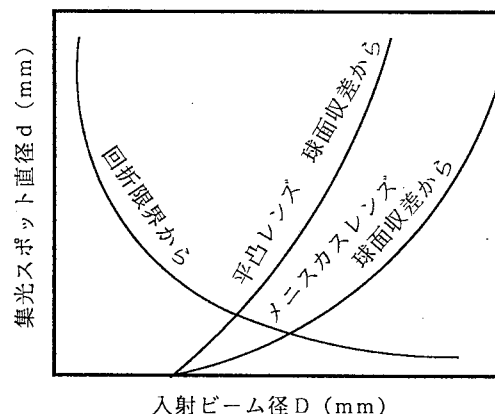


図11 球面収差の相違

メニスカスレンズでは、この球面収差を小さくしたレンズであり、平凸レンズよりも小さなスポット径にできる。

球面収差が集光スポット直径に影響を与える度合いを図1.1に示す。

焦点深度について

レンズで集光された最小スポット径が $d_0$ であるとする、スポット径が $\sqrt{2d_0}$ となる範囲 $l$ が通常焦点深度である。

TEM<sub>00</sub>=モードでは、 $l$ は次式であらわされる。

$$l = 2\pi\lambda \left(\frac{2f}{D}\right)^2 \dots \dots \textcircled{3}$$

上式によればDが一定の場合fが大きいほうが焦点深度が長くなる。(図1.2参照のこと)

最小スポット径 $d_0$ はfが小さいほど小さくなり、集光部のエネルギー密度を高めるには有利である。反面焦点深度は小さくなるので加工物と、レンズとの距離が変化した場合、加工への影響が大きくなる。

逆に長焦点レンズでは、 $d_0$ が大きいのでエネルギー密度を高めるには不利であるが、焦点深度が長い、加工物とレンズとの距離の変化に対して短焦点レンズほど敏感ではない。また、切断加工では板厚が厚くなると焦点深度の長い、長焦点レンズが有利となる場合が多い。

一例としてレンズへの入射ビーム径が10.6mmの場合、使用レンズの焦点距離により集光ビーム径の変化がどうなるかを図1.2に示す。

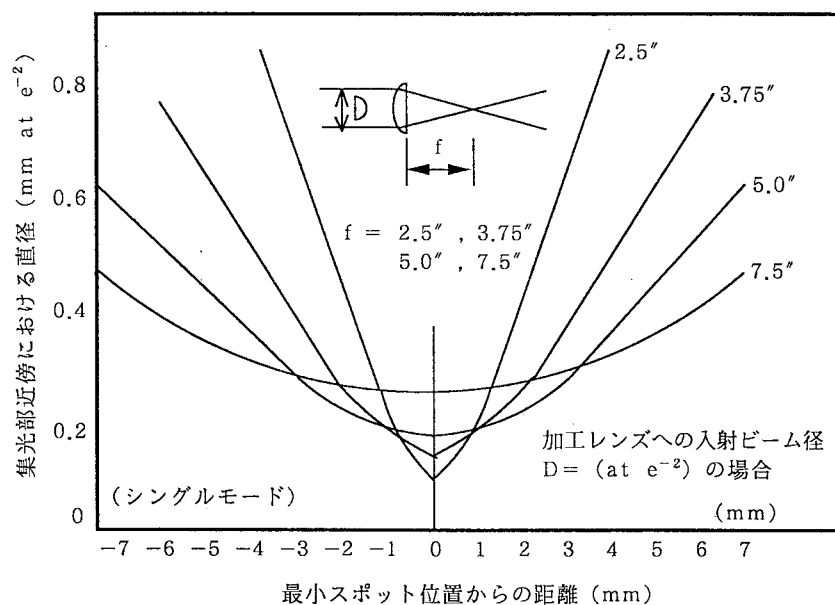


図12 加工レンズの焦点距離と集光部近傍のビームスポット径の一例

### (3) 各種材料の加工性

#### ① 金属材料

レーザは光であるため、材料に照射されると、一部が反射する。この反射率はレーザの波長によって異なり、遠赤外領域にあるCO<sub>2</sub>レーザは固体状態の金属表面で90%以上反射される。(図13を参照のこと)

ところがCO<sub>2</sub>レーザは液体状態の金属や、金属の酸化物にはよく吸収されるので金属の切断ではO<sub>2</sub>ガスを補助的にビームと同軸状に加工物に吹きつけることによって、比較的小さな出力でも切断が可能である。

レーザによる溶接では通常、不活性ガスでシールドするため酸化によって吸収率を増加することは不可能であり、金属表面を溶融させ得るエネルギー密度以上に、レーザ出力を高めるか、スポット径を小さくする必要がある。

また熱処理では照射パワー密度を低くして加工する必要があるため、金属表面ではほとんどレーザは反射されるので、黒化处理等の表面処理が必要である。

レーザ加工においては、レーザ吸収率を高めることが重要であるが、現状では光の反射率、電気伝導度が高くしかも酸化反応がおきにくい金、銀、はCO<sub>2</sub>レーザではほとんど切断、溶接することができないが、銅およびアルミ(合金)は、1KW程度の出力で、1~4mm厚さ程度の薄板であれば切断できるようになった。

#### ② 非金属材料

CO<sub>2</sub>レーザは金属材料に対して、反射率が高いが、ほとんどの非金属材料に良く吸収され、300W程度の出力でも高速切断が可能である。

しかしガラスのように熱膨張係数が大きく割れやすいものや、熱変質したり炭化したりする材料には、レーザ加工が適用できないものも多い。

表4に各種材料のCO<sub>2</sub>レーザ加工性を示す。

表4 各種材料のCO<sub>2</sub>レーザ加工性(主として切断加工)

金属	レーザ光の吸収きわめて小	Au, Ag, Cu, Al, Bs.....	加工は一般にむずかしいが、Cu, Al Bsは1~4mmの薄板は切断できる。
	レーザ光の吸収大	高融点材-W, Mo, Cr, Ta, Zr, Ti.....	低速で加工すれば薄いものは加工できる。Ti, ZrなどはアシストガスとしてArを用いる。
		上記外材料-Fe系, Ni, Pb, Sn.....	比較的加工しやすい。
非金属	有機材料	白熱光透過材-アクリル, ポリエチレン, ポルプロピレン... テフロン, ポリエステル 白熱光不透過材-皮, 木, 布, ゴム, 紙 ガラスエポキシ, ベークライト.....	低出力で切断できるものが多いが、可燃性のため切断面が炭化されやすい。アクリル, ポリエステルは炭化されにくい。通常はN <sub>2</sub> ガスまたは乾燥空気をアシストガスとして用いる。
	無機材料	熱膨張大-ガラス, ガラスファイバー..... 熱膨張小-セラミックス, 石英ガラス, アスベスト..... マイカ, 磁器	ガラス, セラミックス, 磁気などは加工中あるいは加工後に割れやすい。石英ガラスは2mmまでは良好。

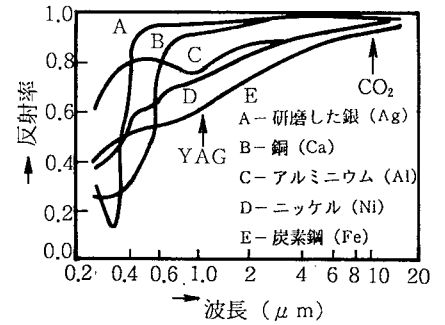


図13 金属の反射特性

#### (4) レーザ加工の種類

レーザを照射すると被加工物の表面温度は図14に示すようになり、さまざまな相変化を示す。

すなわち、比較的パワー密度が低く照射時間が長い場合には、表面が加熱されるが溶融は生じない。パワー密度を上げてゆくと、レーザ照射部の温度は上昇し、融点をこえるようになり、さらにパワー密度をあげると溶融部は沸点以上に温度上昇して、蒸発現象が生じるようになる。

レーザ加工をレーザのパワー密度と照射時間で整理すると、図15のようになる。

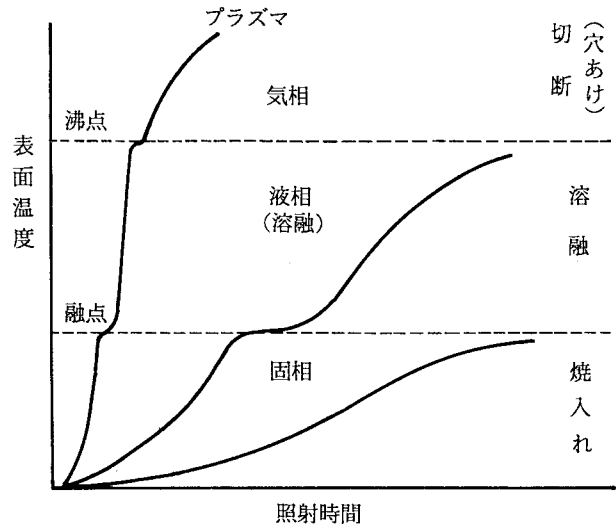


図14 レーザ照射による温度上昇と相変化

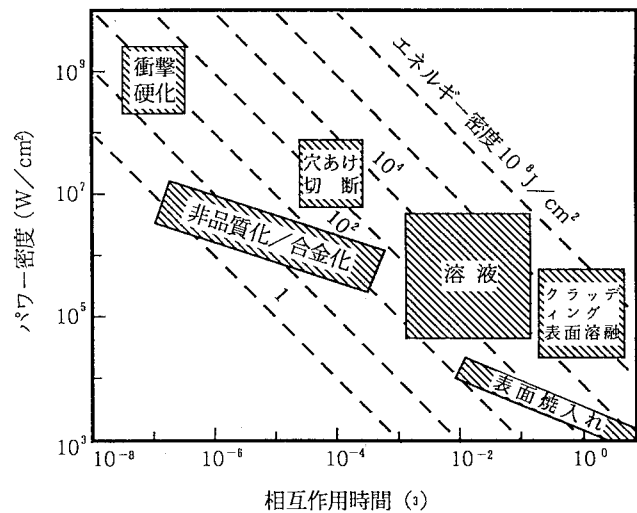
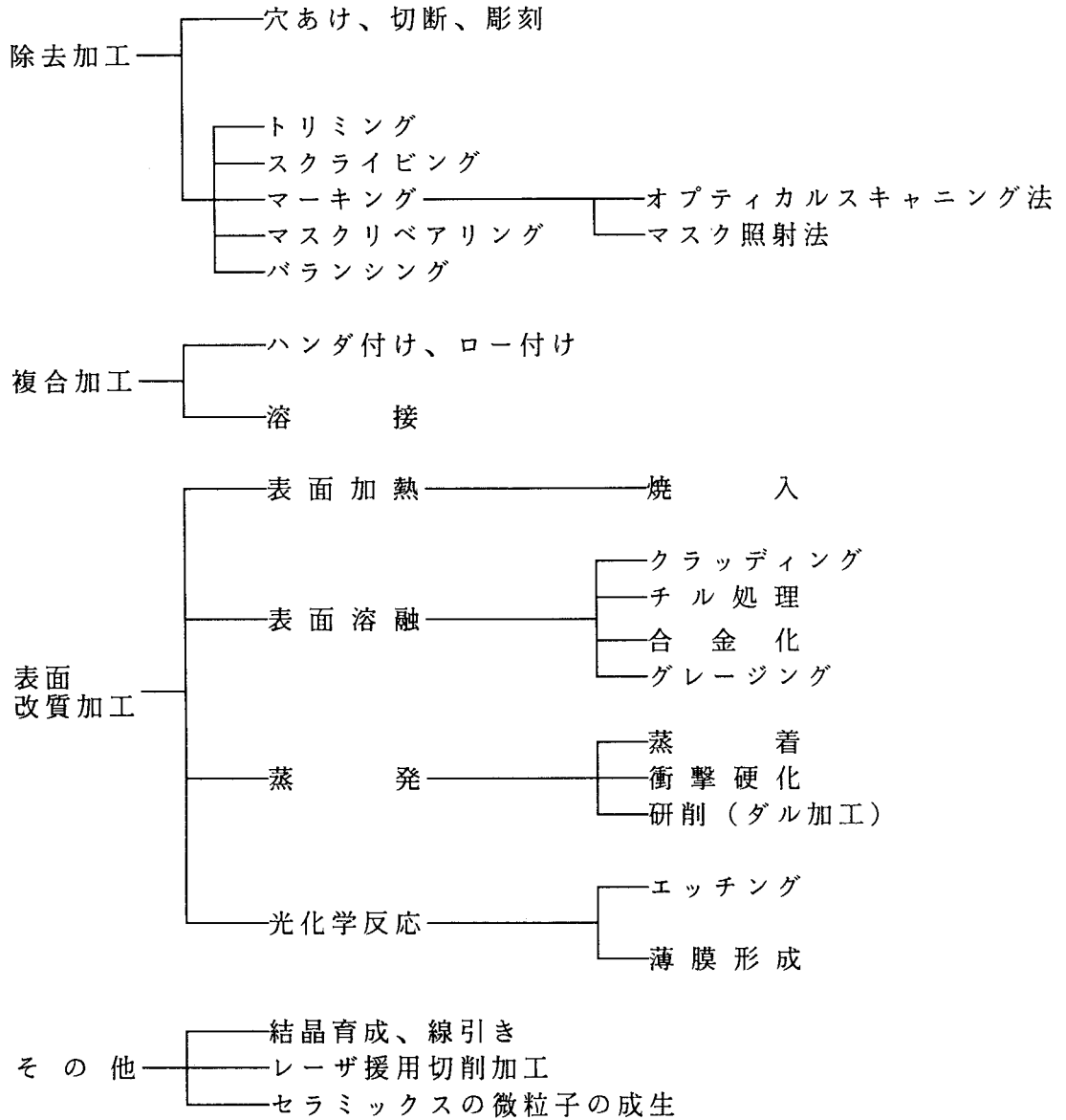


図15 レーザ加工の種類と照射条件

また、表5にレーザ加工の種類分類を示す。

表5 レーザ加工の種類



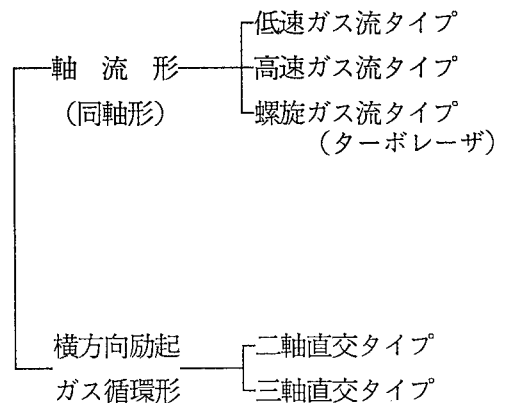
#### 4. CO<sub>2</sub>レーザ発振器

##### (1) CO<sub>2</sub>レーザ発振器の各種構造と特徴

加工用に使用されるCO<sub>2</sub>レーザの代表的な構造を図16に示すが、構造上からは右のごとく分類することができる。

また放電励起形態から分類すると、①直流グロー放電、②交流無声放電、③直流グロー放電と高周波放電の併用、④電

表6



子ビームや無声電子の予備機能付直流グロー放電などに分類できる。

軸流形の構造ではガスの出口側で放電によるガス温度上昇が大きくなり、レーザ発振に有効な回転分布を常に大きく保つことができなくなり発振効率が低くなるので、出口でのガス温度があまり高くない範囲でしか放電電力を注入することはできない。低速ガス流タイプではガス温度を上げないようにするため、ガラス管を2重とし外側のガラス管に冷却流体を流し、熱伝導によりガスの冷却を計っているがこの方式ではガラス管1m当り50W～90W程度の出力取出しが限界となる。この方式で大出力を取り出すにはガラス管を何本もつないで放電長を長くすればよいが、共振器長が長くなり、複雑な構造となって光軸のアライメントがむつかしくなる。そのため同軸形でガス温度上昇を低くする方法として、ガス流速100m/sec以上とし、放電空間でのガス温度上昇を低くする高速ガス流タイプや、ガスを放電空間と冷却空間に交互に流す螺旋ガス流タイプのレーザが考え出されている。

横方向励起ガス循環レーザではレーザの取り出し方向と直角にガスを流すので、ガスの放電部通過経路が短くでき、単位放電空間に高い放電電力を注入することが可能となり、大出力のレーザも容易に実現できる。

現在実用されているレーザ発振器の代表的構成は、図16(b)に示すようなガス流とレーザ発振光軸と放電方向が同一で、レーザ管内のレーザガスを高速(200m/s程度)で流す高速軸流型と、(e)に示すようなガス流方向とレーザ発振光軸と放電方向が互いに直交した三軸直交型がある。

高速軸流型レーザの特徴は、断面が円形の放電空間から円形ビームを取り出すために発振効率が良く、装置がコンパクトになることであるが、反面、レーザガス流速が高いので放電部圧損が大きく、ガス流量に制限があるため、放電入力によりガス温度が高温(約200℃)となり、高出力時の発振効率が顕著に低下し、いわゆる発振効率の頭打ち現象が起こる。この発振出力特性の折れ曲がり方は、ガス温度やプロウ流量変動により変化し、高出力時の出力は不安定となる。レーザ出力パルス発振時のレーザ出力波形(パルス波形)はピーク出力がCW(連続)出力定格以下のノーマルパルスでは、放電入力波形とレーザ出力波形が一致するが、ピーク出力がCW定格を超えるようなハイピークパルスの場合では、パルスのON時間が長くなるとレーザガスに過度の放電電力が投入されて、レーザガスの高温化を招き、レーザ発振効率の極度の低下が起こるため、レーザガスが放電部を通過する時間よりも長いパルスON時間にすることができない。又、パルス波形は三角状となる。したがって、パルス出力の制御範囲が限られたものとなる。

三軸直交型レーザは、装置のコンパクト性では高速軸流型に一步譲るものの、容易にガス流量を増大できるため、放電部通過後のガス温度が低く(80～100℃)、高出力の範囲まで直線状の発振出力特性が得られる。このため、高出力時の出力安定性に優れているとともに、ハイピークパルス時においても投入電力波形に応じた(矩)形のパルス波形が得られる。精密レーザ切断加工では、出力のパルス制御は不可欠であり、パルスピーク出力、パルス周波数、デューティにより加工性能が左右され、その制御性が加工性能上必要不可欠である。したがって、精密な入熱制御が必要なレーザ加工用途に対しては、三軸直交型が優れているといえる。



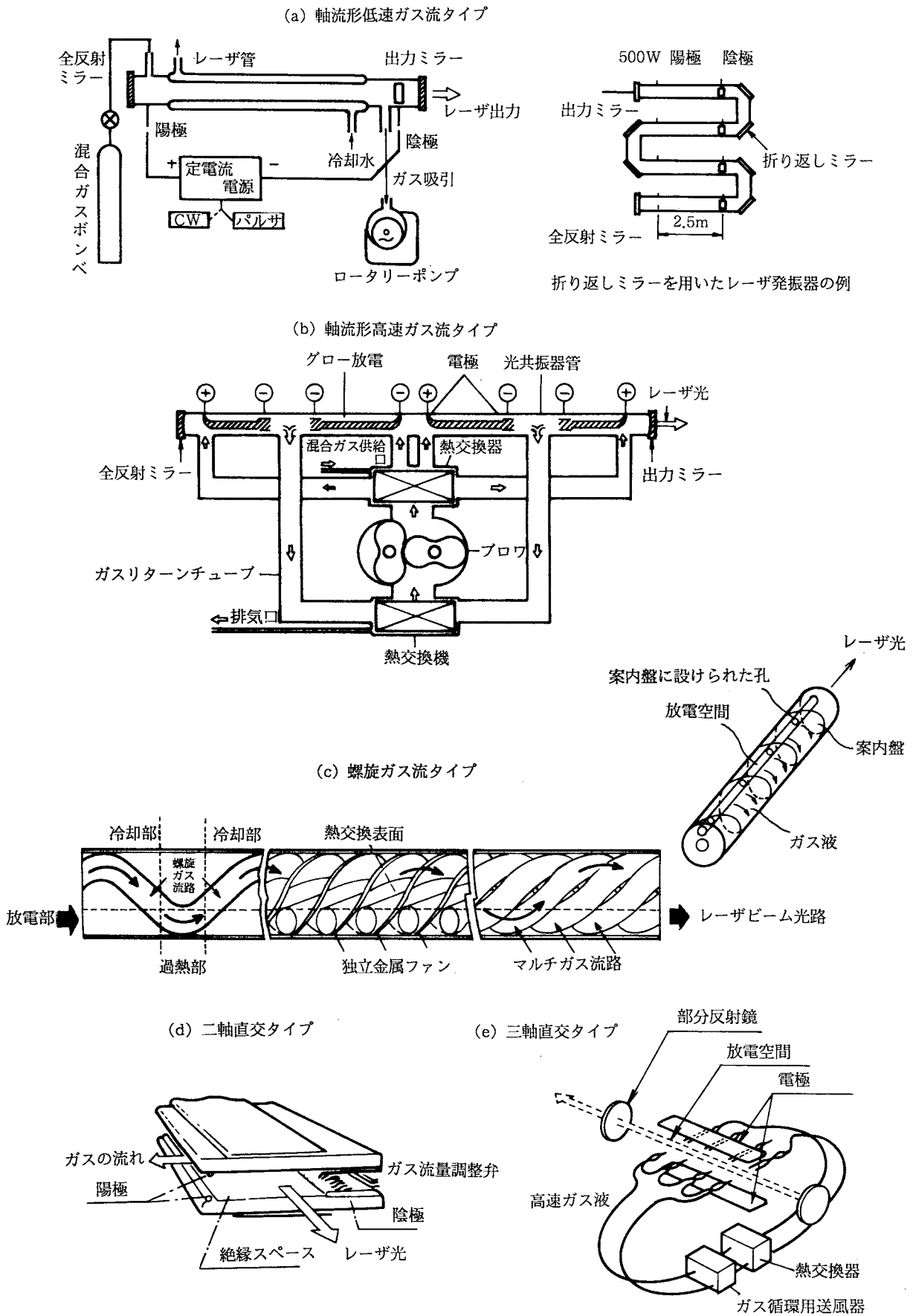


図16 各種CO<sub>2</sub>レーザー発振器の構造

## (2) SD方式のレーザ発振器の構造

現在、CO<sub>2</sub>レーザの励起方式としては一般的に直流電源によるグロー放電方式が採用されているが、パルス化などの出力の高速制御が困難である。また、多くのバラスト抵抗が必要、かつ金属電極の劣化が生じる、構造が複雑で効率が悪いなどの問題点がある。これらの問題を解決するために、最近レーザ発振器は、直流放電方式から交流の高周波励起への動きが生れている。高周波励起によるSD (silent Discharge) 放電方式の発振器の構造および電極構造を図19に示す。電極は誘電体被覆となっており、シンプルな構成となっている。

直流放電方式の問題を解決したSD放電方式は、従来0.5~2.5kWクラスまで採用されていたが、現在では、5kWクラス以上についても、電源の著しい開発が進み、0.5~10kWまでのSD放電方式の発振器が商品化されている。

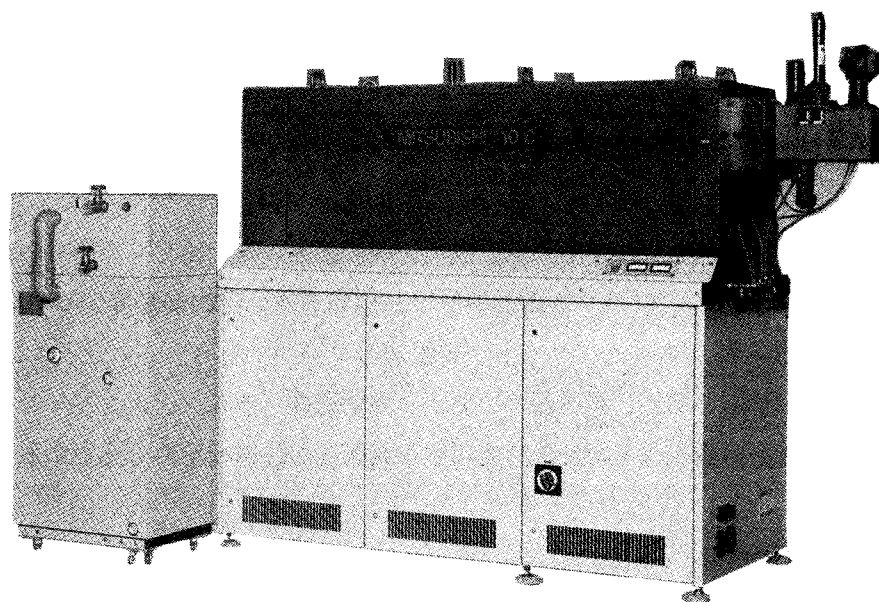


図17 SD式レーザ発振器

電源は図18に示す如くパルス発振器、高周波インバータ、及び高周波トランスで構成している。インバータには超高速スイッチング機能を有する電力スイッチング素子を採用している。パルス発振器からの信号で高周波電流を変調し、更にトランスで昇圧して電極に印加している。標準仕様として放電電流のピーク値  $I_p$ 、ベース値  $I_s$ 、周波数  $f_p$ 、放電デューティ  $D$  を任意に設定できる機能をもたせている。この電

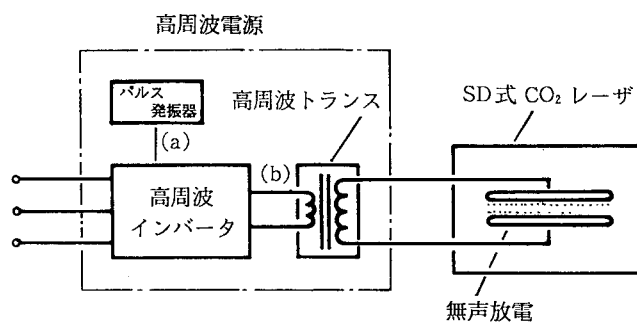


図18 電源の基本構成

源の総合効率は約90%で電子管制御方式に比べ極めて高い水準になっている。

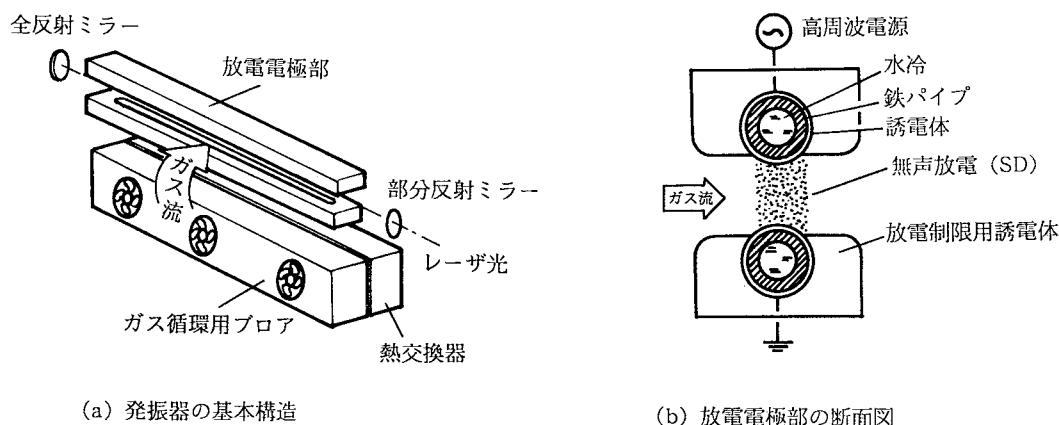


図19 SD方式のレーザー発振器

## 5. 加工用CO<sub>2</sub>レーザー発振器の重要な性能

レーザー発振器の性能を評価するには、出力の変換範囲のほかにビームのモード、パルス出力と連続出力の切替可能性およびパルス出力の形状、偏光形態、出力安定度、ビーム径および発散角、レーザー媒質を含んだランニングコスト、発振器のコンパクトさ、メンテナンスの容易さなどがある。加工目的（切断、溶接、熱処理等）および稼働形態（ライン・オフライン・生産技術開発）により、どの性能を最重視するかを決め使用する発振器の仕様を定める必要がある。

### (1) ビームモード

レーザーの発振モードには発振周波数を主として決める縦モードと、発振ビームの空間的強度分布を決める横モードがある。

ビーム断面上の横方向の電磁界分布状態を横方向モード (transverse Electromagnetic Mode) と呼びTEM<sub>m</sub>nで表現する。ここで添字m, nはビームの次数を示す値でX, Y方向のスプリット数を示す整数となる。図20に代表的なビームモードを示す。

ビームモードは共振器構成（ミラーの種類、曲率半径、共振器長など）および励起空間の制限により決まり、TME<sub>00</sub>モード（シングルモード）が1番低次のモードで、集光性が最も優れたものでビームセンターにエネルギーのピーク値があり、周辺になるにつれガウス分布的にエネルギーが小さくなる。

TME<sub>00</sub>モードを得るには共振器内に単一モード以外のすべての高次モードに対して発振を抑止するに十分な回折損失を与える絞りを設けることにより可能となる。しかし数kW以上の大出力でシングルモードを得ることは、共振器ミラーの耐光強度の面からも無理があり、大口径のビームにして、ミラーの単位面積あたりの光強度を小さくする必要がある。この場合はマルチモードとなる。

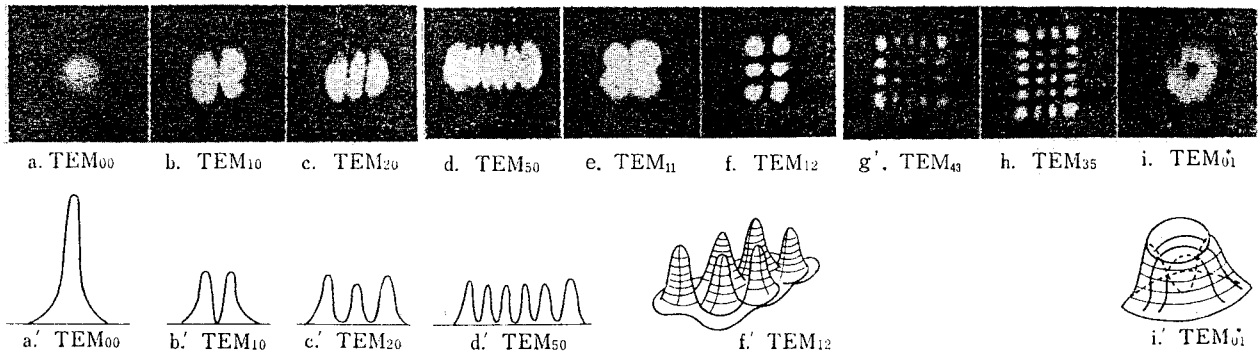


図20 各種ビームモード  
 a~iはビーム進行方向に垂直な断面のエネルギー分布。  
 a'~d'は座標-強度曲線で、f'とi'はその鳥瞰図である。

大出力レーザで集光特性の優れたビームモードを得るためには、安定型共振器にかわり、大口径で基本モードの単一発振が容易に実現され、回折限界の発散角が得られるアニュラー（リング）モード用の不安定型共振器を用いることも多い。

図2 1 各種の発振器の共振器構成とビームモードおよび集光性を示す。加工目的により集光特性が重要か、出力の大きさが重要か、ビームの均質性が重要かが異なるので、加工目的に適したビームモードを選ぶ必要がある。

	シングルモード	マルチモード	マルチモード	アニュラー（リング）モード	
ビーム プロ ファ イル	(ガウシアン分布) TEM <sub>00</sub>	一例として TEM <sub>02</sub>	一例として TEM <sub>25</sub>	ニャーフィールド (近視野) $M = \frac{r_1}{r_2}$	ファーフィールド (遠視野)
共振器 構成	アパーチャ TR PR (安定型共振器)	TR PR (安定型共振器)	ウインド (不安定型共振器)		

図21 共振器構成とビームモード

出力の大きなCO<sub>2</sub>レーザでは、木材、アクリル板などにビームを照射して、焼けた跡を見てモードを調べるのが一般的におこなわれているが、実験室ではφ0.5~1.5mmのピンホールを走査させて

ビームのエネルギー分布を測定することもおこなわれている。図22にはビームモードとそれに適した加工用途の範囲を示す。

レーザービーム出力分布		加工の種類		
		切 断	溶 接	熱 処 理
安 定 型 共 振 器  (小中出力用)	(シングルモード)	◎ 集光特性が最もよく、切断に適し、小出力でも切断可能である。	◎ P/Wが最もよい  △ 突合せギャップ裕度がおとる	× 単純なディフォーカス  ◎ ビームオシレータ × インテグレーションミラー
		(マルチモード)	○ 集光特性がシングルモードよりおとるので金属の切断にはあまり用いられない。非金属では使用できるものが多い。	◎ (低次マルチモード) 溶込み特性、ギャップ裕度も良好である  × (高次マルチモード) 溶込みが浅く適さない
	(リングモード)			△ 現状では切断には使用するケースはほとんどない。  (厚板のみ)

(◎:最適 ○:良 △:可能 ×:不可能)

図22 加工用途と適正なビームモード

## (2) パルス出力

CO<sub>2</sub>レーザーは他のレーザーに比べ連続波(CW)にて大出力を高効率に取り出せるのが特徴であるが、微細加工(精密微小形状の切断、マイクロ溶接等)にはレーザー光の被加工物への入熱コントロール(被加工物の加工位置周辺の温度上昇を押える)が重要となってくる。

パルス出力を得るためにはCO<sub>2</sub>レーザーの場合、放電電力をON-OFFすることにより得られる。電源のスイッチング可能速度および、ガスの励起寿命が数μsecであることからパルス周波数は1sec間に数千回まで可能である。パルス波形の形状は放電電力のスイッチング方式あるいはパルス時のみ重量電源を印加させるかによって変わるが、現在使われている波形は図23の如く大別することができる図24にその代表的な観察波形を示す。

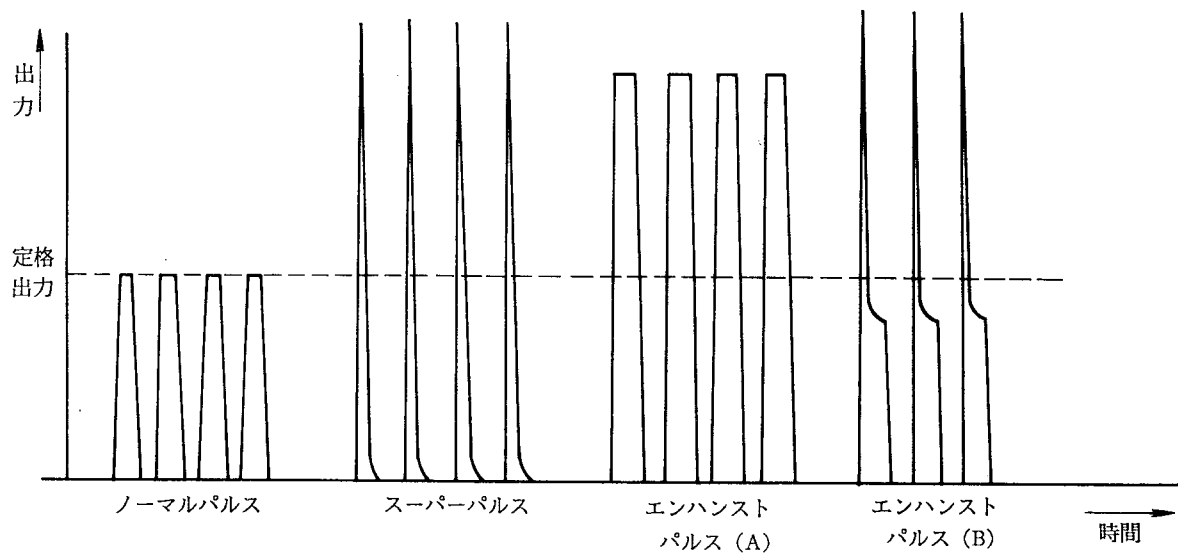


図23 CO<sub>2</sub>レーザーのパルス形態

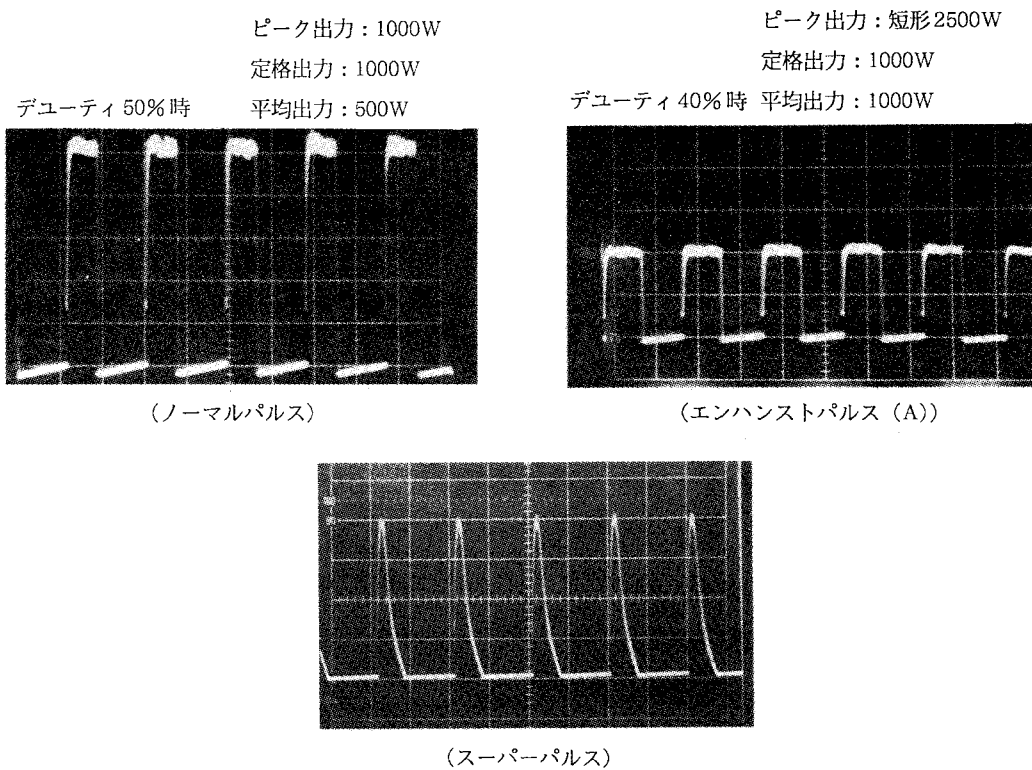


図24 パルス波形

### (3) 偏光

光は進行方向と直角に振動する電磁波であり、電界ベクトルEが光の進行に対して変化する様子を偏光と呼ぶ。図25に示す如く、光の進行方向から見た時のEベクトルの形状により、(b)円偏光、(c)楕円偏光、(d)直線偏光などに分類される。

被加工物に入射する光を考えた場合、入射面と平行なベクトル光をP波、入射面に直角なベクトル光をS波と呼ぶが、通常反射率はS成分の方が大きく透過率はP成分の方が大きい。

金属の切断において円偏光されたビームで加工する場合は、切断方向に関係なく、良質な切断面が得られるが、楕円偏光あるいは直線偏光では、切断方向によりP波、S波のベクトル強度が変わり、反射率、透過率が異なるので切断幅や、切断面の傾斜が変わり均質な切断が得られない。偏光による切断面の状態を図26に示す。共振器の構造により、直線偏光の出力を取り出せるものと、ランダム偏光と呼ばれる時間と共にP波、S波のベクトル強度の割合が変化する出力が出るものがある。図27にそれらの共振器構造の代表的な例を示す。

切断方向にかかわらず、一様な切断性能を得るには円偏光のレーザー光を使用しなければならないが、図28に示される固定偏光面をもっている方式のもののみその対策が可能である。

一般的には全反射鏡と部分反射鏡1対の共振器だけでは直線偏光は取り出せないで、図29に示す如く共振器内に90°に折り曲った全反射のビームベンダーを設け、共振器内で反射率の高いS波のみを増幅取り出すことにより直線偏光で発振させる。つぎにこの光を外部にてリターダと呼ばれる1/4波長板をもちいてベクトル成分のうち一方を位相をずらすことにより円偏光化を計る。

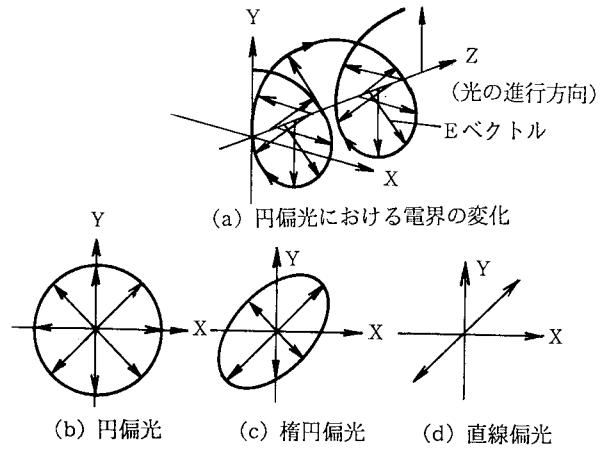


図25 偏光

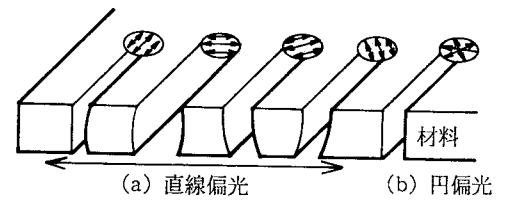


図26 偏光による切断面の状態

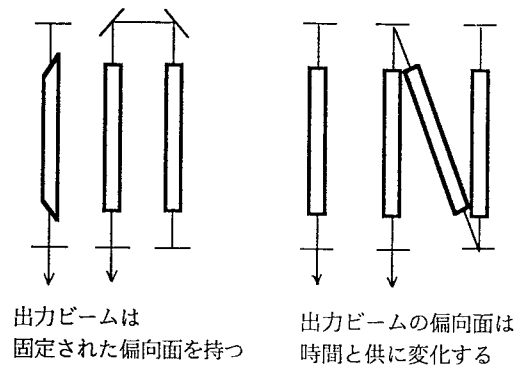


図27 共振器構造と偏光

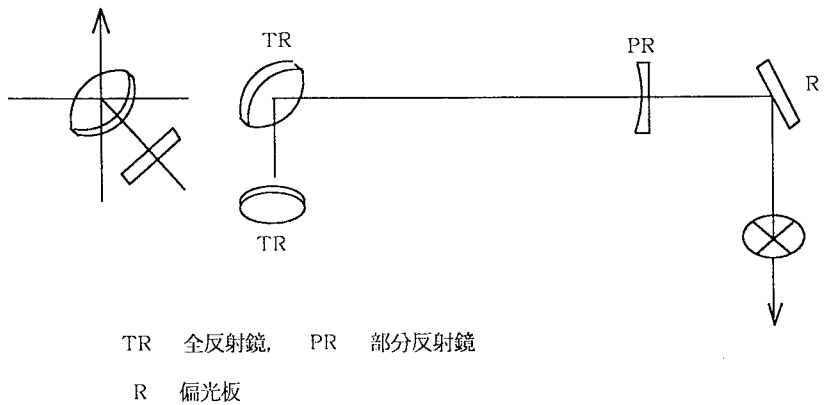


図28 円偏光の方法

#### (4) 加工性能の向上

1970年代後半のレーザー切断機では軟鋼板の切断においては微細加工ではできなかったが、1980年代に入ってエンハンストパルスや円偏光対策が計られるようになって切断の方向性のない微細な加工が可能となり、今日ではプレス加工ではできないような細かい形状の切断もレーザーで可能となってきた。

表7 レーザ切断技術の進歩

世 代	I	II	III	IV
出 力 形 態	C W	C W ・ パルス 両用	C W ・ パルス 両用	C W ・ パルス ・ ハイパルス両用
偏 光	直線/楕円	直線/楕円	円	円
面 粗 度 (SPC1.6tの場合)	~20 μm	10~20 μm	5~10 μm	5~10 μm
切断可能な板厚 (TEM <sub>00</sub> 500 W)	3.2 mm	4.5 mm	4.5 mm	6 mm
微 細 な 加 工	不 良	良	良	極めて良好
加工の方向性	良	やや有	皆 無	皆 無

## 6. レーザ加工機の構成

### (1) 加工機の構成要素

レーザー加工は図29に示すような各種技術に基づいており、安定に高性能な加工をおこなうには、加工に適したビーム特性が得られる安定性の優れた発振器を使用しなければならないことはもちろんであるが、発振器から取り出されたレーザー光を適確に高いエネルギー密度にして照射する伝搬、集束技術や被加工物を正確に位置決め制御する機械、制御技術も重要であり、効率よく加工をおこなう施行技術も確立していなければならない。

特に生産現場で使用されるレーザー加工機はこれらのすべての技術がバランスよく有機的に結合され、使い易さ、ランニングコストなどで従来の加工法に比べ十分な

メリットを発揮できるシステムでなければならない。図30にレーザー切断機の例を示すが、数多くの任意2次元形状切断を目的とするためNC装置により制御される。

NC装置は高精度に被加工物の移動、位置決め制御するとともに加工に必要な出力、加工速度、アシストガスの開閉および出力のON・OFFなどの指令を与える。

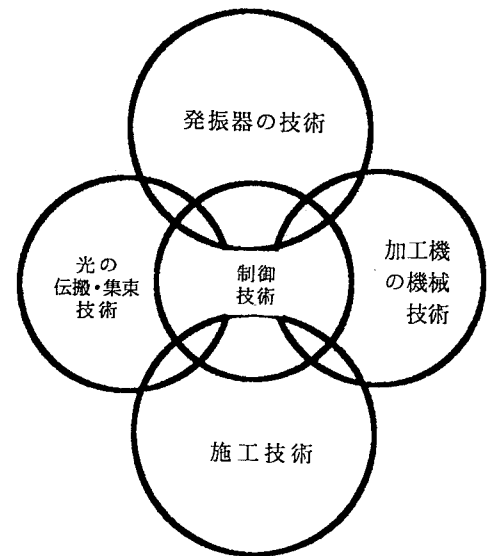


図29 レーザ加工機に必要な技術



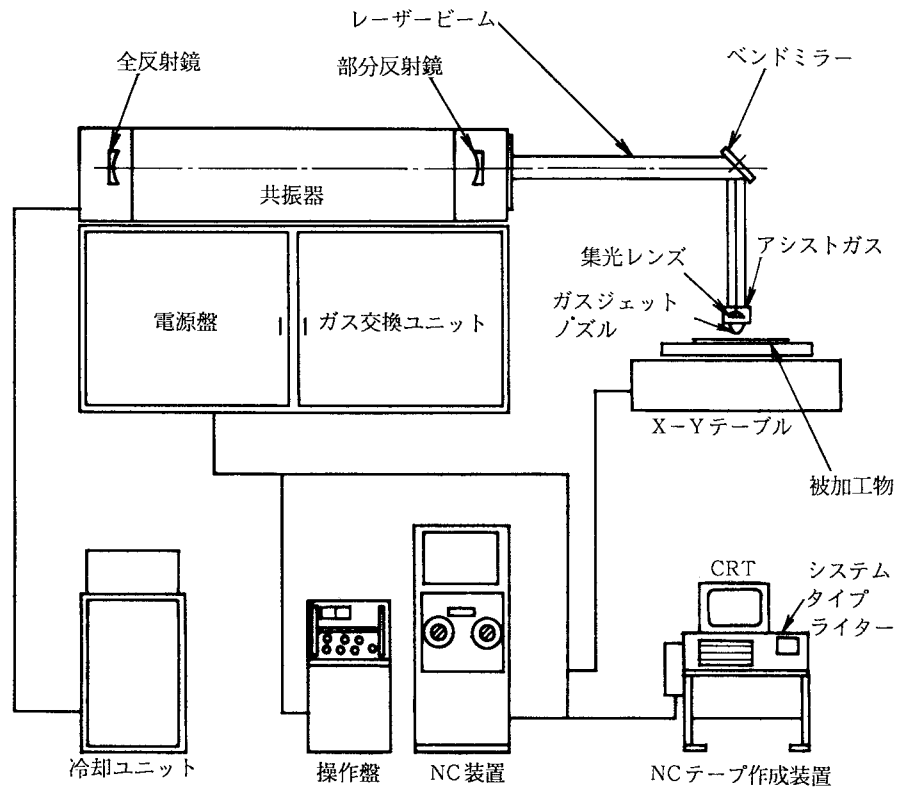


図30 レーザ切断機システム構成

操作盤では発振器の運転準備、加工条件の設定およびビーム取り出し指令をおこなうとともに発振器、機械の正常運電保持、作業者を安全に保護するための各種インターロックおよび異常表示機能が組み込まれている。簡単な図形の切断プログラムはNC盤のMDI機能により指令することができるが、複雑な図形のプログラム作成には熟練と時間を要するので、図面の座標計算機能のあるミニコンを内蔵したテープ作成装置を使うのが効果的である。

## (2) 各種のテーブル駆動方式

図31にレーザー切断機として使用されている各種の駆動方式を一覧して示す。大きな被加工物を切断する場合には、被加工物を移動させると、移動物の慣性が大きくなり位置決め制御性が悪くなる。また床面積も広がる欠点があるので、被加工物は固定しておき反射ミラーを被加工物上でXYに移動する光移動方式のテーブルが有利である。タレパンテーブル形はレーザー切断とタレットパンチプレスを複合化したものもあり、この方式は小径の穴明加工をプレスでおこない、外形および複雑な形状のスロット加工をレーザー切断でおこなえるので小穴明加工の多い加工には最適である。しかし非剛性体や軟かい非金属材料の被加工物への適用ができないという制限がある。

使用する反射鏡の数の差こそあれ、いずれの方式も発振器から出たレーザー光は反射鏡を組合わせ加工ヘッドまで導かれている。反射鏡には、研磨あるいはダイヤモンド切削により $\lambda/20$ 以下の表粗度に加工された銅、アルミあるいはシリコンを用い、表面には反射率を高めたり保護をおこなうためのコーティングを施すのが一般的である。伝送距離が長い場合には凹面鏡や凸面鏡を組合わ

せたビームコリメータと呼ばれるビーム径補償光学機構を用い、加工位置によるビーム径の変化を防ぐことが多い。

レーザ光の伝送方式にはフレキシブルな光ファイバーを用いることも考えられるが、現在CO<sub>2</sub>レーザ用には100W以下の小出力用のものしかなく加工用としてはほとんど用いられていない。しかしYAGレーザに対しては石英系ファイバーで300W程度までの出力の伝送に成功している。

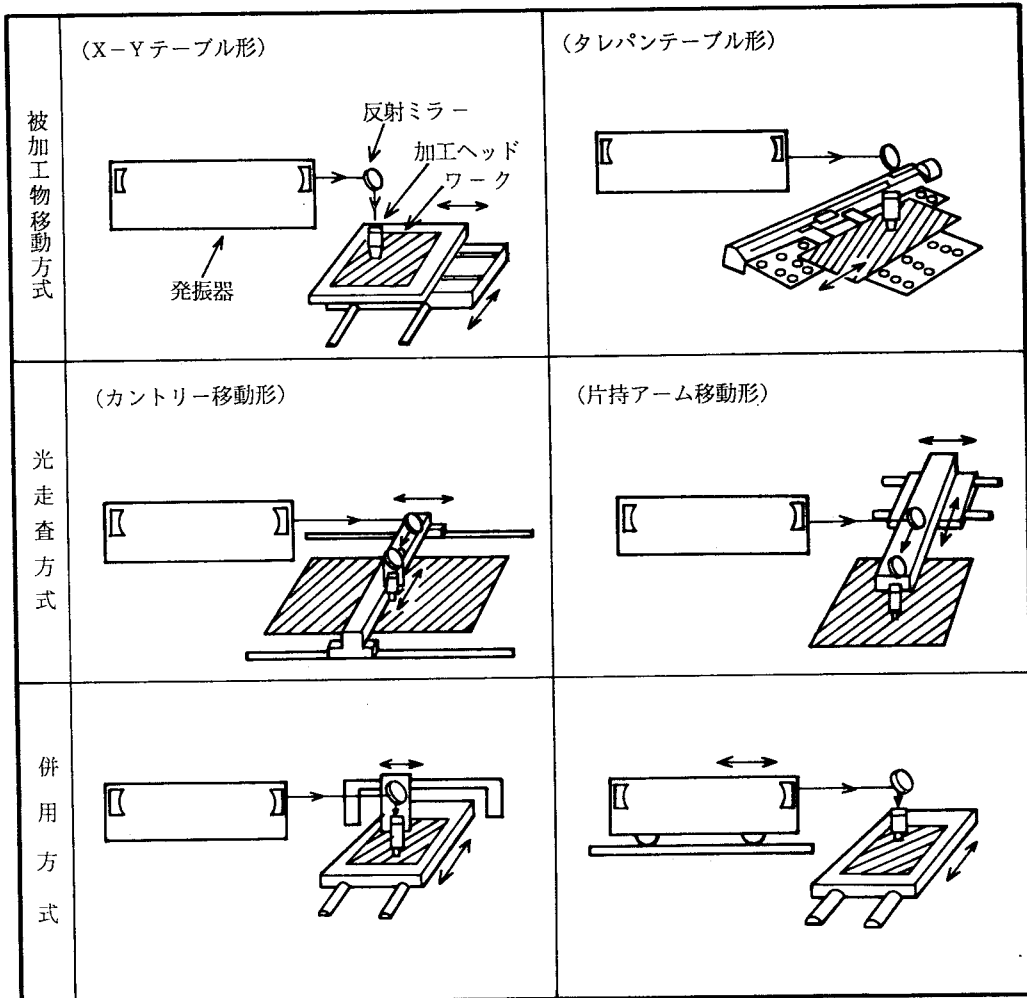


図31 レーザ切断機の種類駆動方式

## II. CO<sub>2</sub>レーザ加工機用パソコンCAD/CAMの操作

### 1. はじめに

近年、レーザ加工機のニーズの高度化（プログラム作成時間を含む、加工時間の一層の短縮および加工品質の一層の向上）に伴ない、従来のAPT言語方式（図32参照）から、CAD入力方式を用いたパソコンCAD/CAMシステムへの移行がなされて来た。

パソコンCAD/CAMシステムとは、CAD（computer Aided Design, コンピュータ支援による設計）機能を用いて入力した加工形状を元に、NC加工機用指令データ（NCデータ）を作成（CAM（Computer Aided Manufacturingコンピュータ支援による製造））する為のコンピュータと、そのソフトウェアで構成されている。

本テキストは、このパソコンCAD/CAMシステムの一例として、LA45について述べる。

```

LIST
0010 P0001 =X -5.0000 /Y 0.0000
0020 L0001 =LX ,D /D 5.0000
0030 L0002 =LY ,R /D 10.0000
0040 L0003 =LX ,U /D 5.000
0050 MODE /ABS .....アブソリュート指定 (G90)
0060 FROM /P1.....座標系設定 (G92)
0070 FEED /1 ; .....送り速度 1 m/min
0080 BEAM .....ビームON
0090 OFST /R ; .....オフセット右 (G42)
0100 CUTD /1 ; .....オフセットナンバーH1
0110 P0000
0120 LY
0130 R 0.0000 .....
0140 L0001
0150 R 0.0000
0160 L0002
0170 R 0.0000 .....経路定義文
0180 L0003
0190 LY
0210 P0000
0220 BEND.....ビームOFF
0230 OFST /C .....オフセットキャンセル (G40)
0240 REWI.....リセットアンドリワインド (M30)
0250 MEMO.....パートプログラムエンド
    
```

図形定義文

R寸法の指定が無く  
最小R (MINR) の  
指定も無い場合はR 0.2  
が自動的に入る。

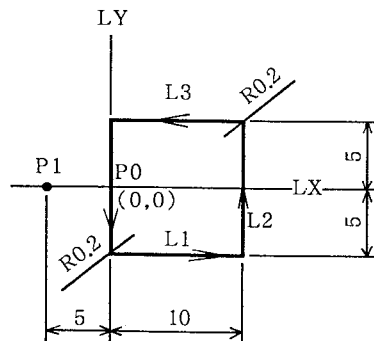


図32 APT入力方式のプログラム例

## 2. システムの概要

### (1) システムの特徴

本システム（CAD/CAM LA45）の主な特徴を以下に示す。

- ① 初心者でも容易に、しかも速く図形入力可能な対話式CAD入力方式を採用。CAD画面のメニューをマウスで選択すると、メッセージが表示され、その問いかけに答える対話方式のため、図形入力が容易で、NC言語を覚える必要が全くない。
- ② 定形パターン呼出し機能により、さらに入力時間の短縮を実現。使用頻度の高い図形については、システムにあらかじめ登録してあるサブパターン図形を呼び出すことにより、入力時間の一層の短縮を可能にしている。
- ③ 板金曲げ図面も、書き直すことなく、展開図の作成が可能。曲げ図面に対し、展開図をあらかじめ作成しなくても、各面の形状をCRT画面上に作図し、対話により、各図形を合成して展開図を作成することができる。
- ④ レーザ加工の知識が無くても、最適な加工条件付NCデータが作成できる。  
加工材の材質、板厚を入力するだけで、内蔵ハードディスクに登録された条件が自動的にNCデータに付加されるため、レーザ加工を知らない作業者でも加工条件付NCデータが作成できる。
- ⑤ ユーザのノウハウを加工条件データベースとして蓄積でき、自動設定に使用できる。加工条件は、標準の材質、板厚に対するデータが登録されているが、ユーザの最適加工に対するノウハウを、同様に加工条件自動設定用データベースとして追加、修正ができる。
- ⑥ 既存のNCテープを入力して、CAD上で形状を追加・修正できる。  
リピー加工を想定して保存するデータは、NCテープの場合が多いが、このNCテープまたは、フロッピーシート内のNCデータを入力し、CADモードで図形として表示し、形状の追加、修正ができる。また、加工条件が再設定でき、既存NCデータの再利用を可能にしている。
- ⑦ テープレスで、作成したNCデータをNC装置に高速転送が可能。本システムとNC装置を光ファイバーで接続することにより、NCデータを本システム側の操作だけで、レーザ加工機が稼動中でも高速に、しかも双方向の転送が可能である。

### (2) ハードウェア構成

本システムの外観および、ハードウェア構成を図33、図34に示す。外観よりわかるように、専用テーブルに各機器をコンパクトに組込んだ一体型システムである。また、ノイズキラー機能を備えた電源スイッチにより全機器の電源入切が可能で、起動時のわずらわしさを解消している。

本体は、16ビットのCPUに20MBのハードディスク、3.5インチのフロッピーディスク装置を搭載したパーソナル・コンピュータで、プリンタと紙テープ・リーダーパンチャーを標準装備している。

### (3) ソフトウェア構成

本システムのソフトウェアは、主に図35のメインメニューに示すように、5つのプログラムから構成されている。また、各プログラムは、図34のデータフローに示すような関係で、データ処理を行なっている。

主なデータフローを示すと、まず「1. CAD入力」では、キーボードおよびマウスを用いて図形データを入力し、NCデータAを作成する。次に「2. 加工条件設定」では、あらかじめ「3. 加工条件登録」により登録された加工条件データから材質と板厚を指定して、加工条件付NCデータBを作成する。このデータを「4. NCデータ出力」により、NCテープを出力する。または「5. NCリンク」により、NC装置にオンラインでデータを転送する。



図33 レーザ用CAD/CAMシステムの外観

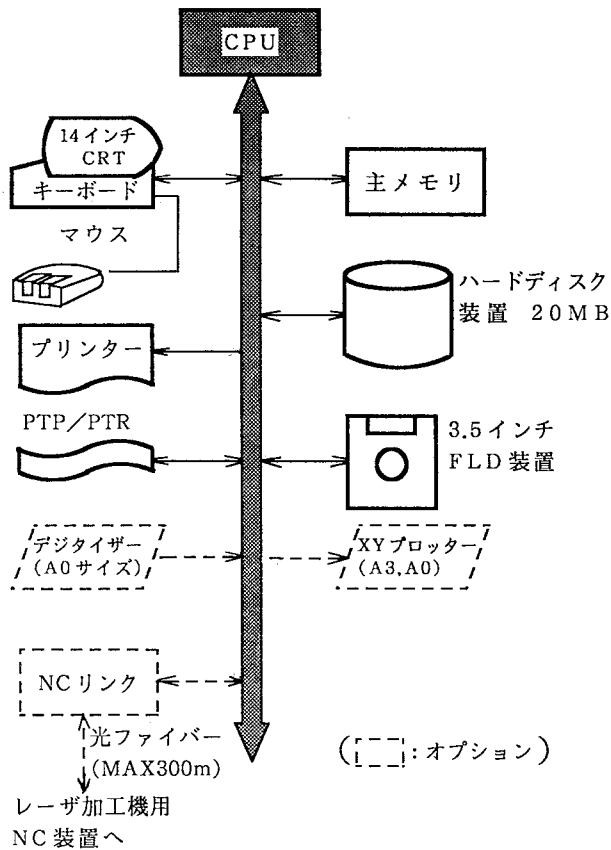


図34 ハードウェア構成

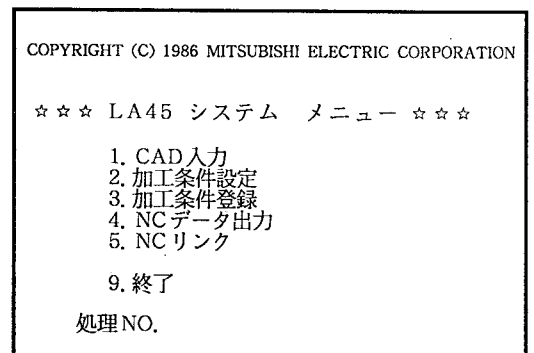


図35 メインメニュー

### 3. システムの機能

以下に、本システムの各機能を説明する。

#### (1) CAD入力機能

CAD入力操作手順の概要を図37に示す。CAD入力の基本思想として、選択メニューは画面右の22個のみで、各メニューをマウスで選択後はメッセージに従い入力する対話方式としているため、誰にでも容易に習得が可能である。

LA45は従来のAPT言語方式とは異なり、CAD/CAM方式を基本にしているため、作図順序は無関係であり作図途中で追加・修正は自由である。

加工図形の作図には、終点を連続的にテンキーから入力して作図する対話入力機能と補助図形を使用して作成した補助点をマウスにより順次指示して作図する機能がある。

##### ① 対話入力機能（連続直線作図機能）

加工図形を作成する時に使用する対話入力機能で、終点を絶対座標また相対座標で入力し、直線・半円等を作成する。これは、補助図形を必要としないためテンキーからの入力だけで行なえ、時間短縮が可能になる。また、本機能中で、丸めR・面取C・電卓機能・原点移動・バッククリア等も行なえる。

##### ② 補助図形による交点計算機能（作図モードと作業モード）

加工図形を作成する際に、複数の図形要素（点・線・円）が関係した図形を求める場合、補助図形（補助点・補助線・補助円）を使用して求める機能

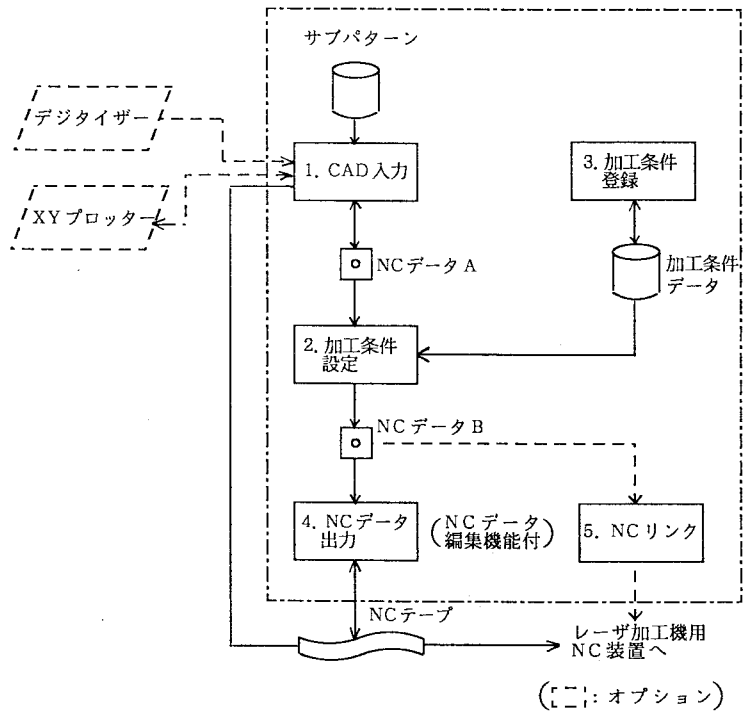


図36 ソフトウェア構成

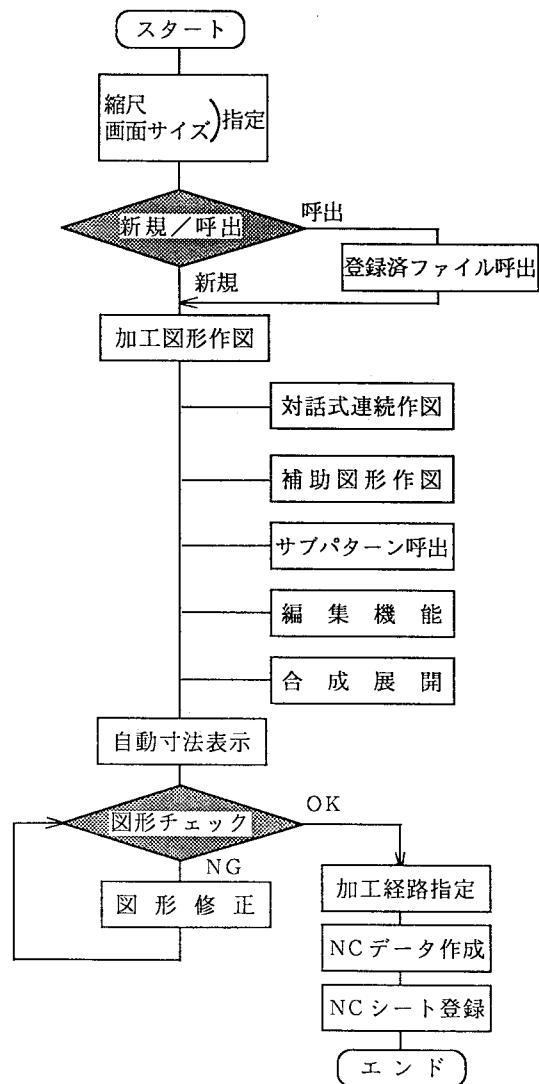


図37 CAD入力操作手順

である。各補助図形に対して、点・線・円各々12種、11種、11種の定義が可能であり、どんな図形でもこの組み合わせにより対応できる。操作は、各要素をマウスで選択後メッセージに従って数値を入力する方式のため習得が容易である。

この様に作業モードで作成した補助図形（ピンクの波線で表示）を作図モードにより、加工する線を順次指定して、加工形状を完成する。（加工線は、グリーンの実線で表示される。）

### ③ 定形パターン呼出し機能

丸穴・長穴等の形状パターン7種、配列パターン4種、ねじ下穴14種をサブパターンとして備えている。

### ④ レーザ特有機能

加工スタートライン（ピアス線）およびマイクロジョイントを自由に、追加作成できる。

### ⑤ 合成展開機能

合成展開機能の概略を図40に示す。板金曲げ図面から直接、展開図を作成する場合、初心者でも簡単に行えるようにしたのが、合成展開機能である。図面から内寸または外寸で各面の図形を個別に作成し、合成する面と合成方向をマウスで指示し、曲げ代等を入力すると、面と面が合成され展開図が表示される。

### ⑥ その他の機能

複写・移動等の編集機能や寸法チェック機能等、通常のCAD機能も備えている。

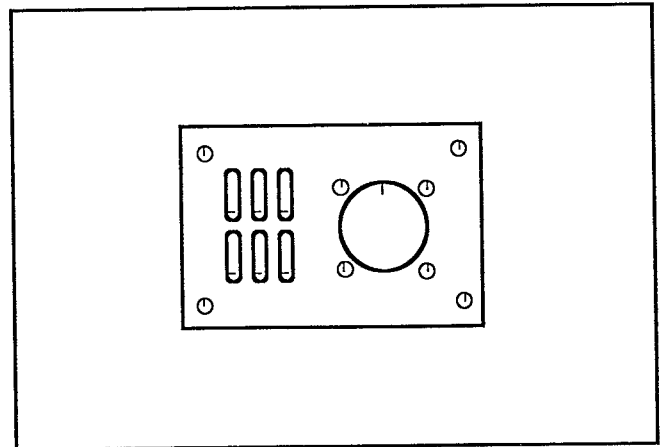
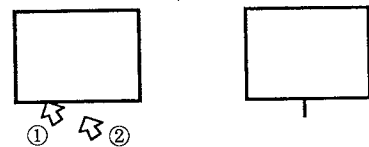


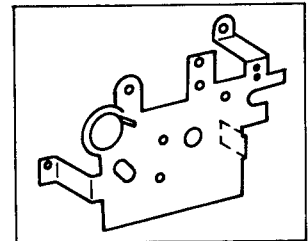
図38 サブパターン呼出し例



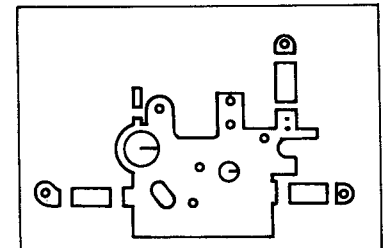
- ① ピアス線を付ける線、円弧をヒット
- ② ピアス点をヒット

図39 ピアス線の追加

〈立体図〉



〈作成手順〉



〈寸法チェック〉

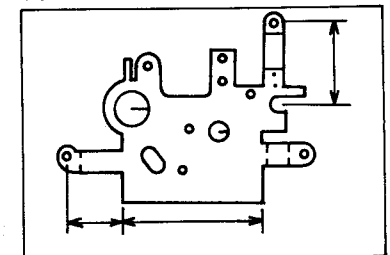


図40 合成展開の操作例

## (2) 加工条件設定機能

この加工条件設定プログラムは、あらかじめ登録した加工条件データ群の中から、板質と板厚を指定することにより、1種類の加工条件データファイルを選択し、CAD入力で作成したNCデータの各移動ブロックごとに、直線移動距離または、移動半径を算出し、それに適した加工条件を自動的に付加する。なお、設定時には、直線条件のみ、または直線と円弧条件ごとの切替等が選択可能となっている。

加工条件データは、出力がSコード、周波数がBコード、デューティがTコード等のコードとして、NCデータに付加され、レーザ加工時に全自動での加工条件切替を可能にしている。

図41は、加工条件を設定したNCデータ例で、移動距離および半径ごとに加工条件を切替えていることがわかる。また、図41に示すように、鋭角部についても、加工データを自動的に分割して、それぞれに最適加工条件を付加し、鋭角部の熱集中による溶け落ちを防止している。

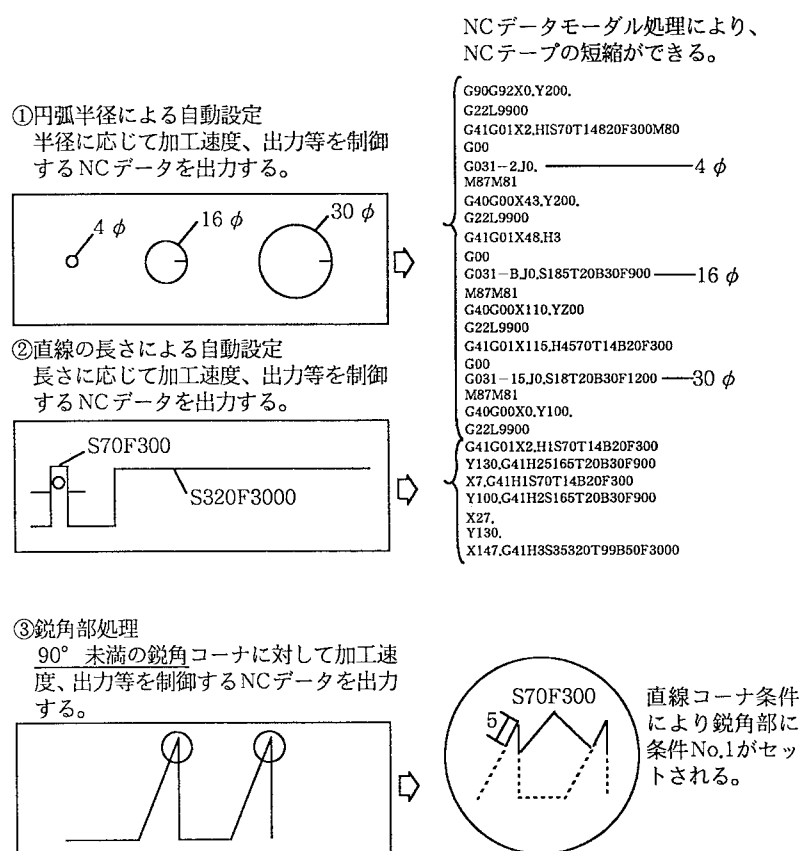


図41 形状と加工条件NCデータ

## (3) 加工条件登録機能

レーザ加工の特徴の1つに、加工できる材質が多いことがあげられるが、それだけ、加工条件の登録数が将来的に増える可能性が高い。また、加工できる条件が、各パラメータ（加工速度、レーザ出力、周波数、デューティ、ガス圧等）の組み合わせにより何通りもあることから、ユーザ側で加工条件データを容易に追加、修正できることが必須となる。

この加工条件登録プログラムは、1画面内に1種類の板質・板厚の加工条件データを表示し、ス



クリーンエディターを操作するイメージで、データの追加、修正が可能となっている。データは図42に示すように、直線移動距離ごとに3種、円弧半径ごとに6種の加工条件が登録可能となっている。

(4) NCデータ出力機能

加工条件を付加したNCデータは、3.5インチフロッピーシートに登録されるが、NC装置にデータを送る方法として、紙テープ出力が標準でサポートされている。この「NCデータ出力」プログラムでは、フロッピーシート内のプログラム呼出し、紙テープ読み込みの他、スクリーンエディター機能も備え、NCデータの編集・修正を容易にしている。

SPC 1.01 データ・ファイル

***** 加工条件 データ表*****											
材質: SPC		板厚: 1.0 (mm)				備考: 10E3					
ピッシング条件		出力	デューティ	周波数	時間	ガス	H (0)	マクロ条件 No.			
		: S (W)	T (%)	B (×10Hz)	I (秒)	圧	M (1)				
		: 165	20	30	0.5	L	L (2)	A.サイズ>B (mm)			
条件 No.	長さ)	出力	デューティ	周波数	速度	ガス	オフセット	丸穴	0.*****0		
	(mm)	S (w)	T (%)	B (×10Hz)	F (mm/m)	圧	H	長穴	0.*****0		
1	L 5:	70	14	20	300	H	1	角穴	0.*****0		
1	L50:	165	20	30	900	H	2	R穴	0.*****0		
1	:	320	CW	CW	3000	H	3	S/WD0.	*****0		
円弧	半径)	出力	デューティ	周波数	速度	ガス	オフセット	内側、外周設定			
	(mm)	S (w)	T (%)	B (×10Hz)	F (mm/m)	圧	H	内側、条件NO. 2			
4	R 2:	70	14	20	300	H	1	外周条件No. 9			
5	R 4:	70	14	20	500	H	2	*****			
6	R 8:	185	20	30	900	H	3	直線コーナー条件			
7	R15:	185	20	30	1200	H	4	角度(度).45			
8	R30:	250	30	30	2000	H	5	長さ(mm).5			
9	:	450	CW	CW	3000	H	6	条件No. 1			

図42 加工条件登録画面

(5) NCリンク機能

加工データの作成時間を短縮してもNC装置にNCデータを入力する方法としては、従来、紙テープを用いていた。本システムでも標準で紙テープリーダーパンチャーを装備しているが、このNC装置 (MELDAS-M2) であれば、LA45と光ファイバーにて接続し、高速で、データ転送が可能である (NCへの送信、NCからの受信、およびデータ比較の3つのモードを持つ)。この機能により、平均的なテープ長でのデータ入力時間は、およそ20分の1以下に短縮できる。また、このNCリンクの最大の特徴は、操作が全てLA45側だけで良く、NC側はいっさいの操作が不要で、加工中でもデータの転送が可能である。

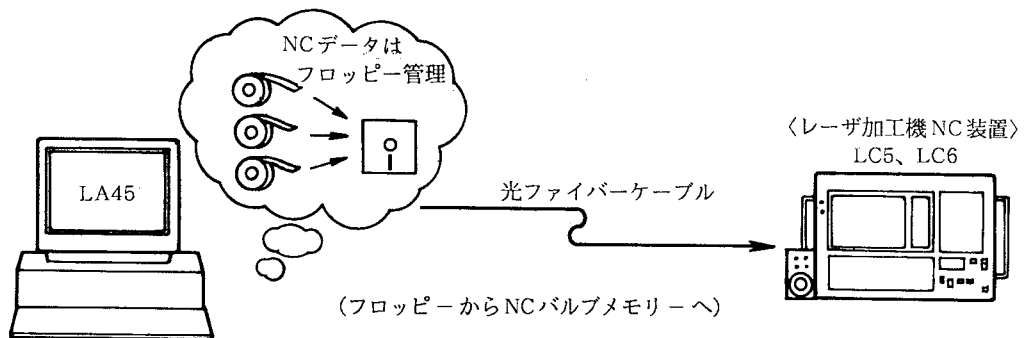


図43 NCリンクによるNCデータの転送

## 資料1. 保守・点検

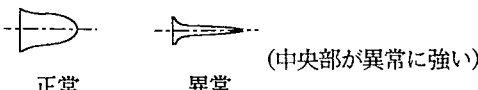
下記項目に従って、十分なメンテナンスを行う

表8. 日常点検（始業点検）

点 検 項 目		内 容	チェック
発 振 器 本 体	放 電 状 態	発振器本体ノズキ窓より放電状態を確認する (1) 異常放電（雷状放電等）がないこと。 (2) 放電色が異常に赤くないこと。	
	レ ー ザ ガ ス 圧 力	ガス封入時 100Torrであること。	
	パ ワ ー メ ー タ 指 示 値	発振器出口のパワーをパワープローブで測定し、操作盤の指示値と同一であること。	
	冷 水 導 電 度	操作盤の故障表示「31」がでないこと。 基準値 1 $\mu$ S/cm以下	
冷 却 ユ ニ ツ ト	冷 却 水 ・ 冷 水 ポ ン プ 圧 力	圧力計にて 1.0kg/cm <sup>2</sup> ~ 2.0kg/cm <sup>2</sup>	
	熱 交 換 器 用 フ ァ ン 動 作	回転むら等の動作不良がないこと。	
	冷 水 出 口 温 度	7 ~ 12 °C	
	冷 却 水	35°C以下（通常気温+5°C以下）	
操 作 盤	押ボタン・スイッチ類・ランプ類の確認	動作及び機能が確実であること。	
	直流電流計・電圧計・出力計の指針	指針計の動作が確実であること。	
そ の 他	1 冷却水（クリーニングタワー）等の確認	1 次冷却水の流量・温度の確認 温度10~32°C、圧力 2kg/cm <sup>2</sup> 、流量 3m <sup>3</sup> /H r	
	ビ ー ム 光 路	発振器より出たレーザービーム光路にて、光路の異常加熱等がないこと。	
	安 全 対 策	加工室、光路等の安全対策の動作確認	

表9. 1ヶ月点検

下記項目を1ヶ月毎に点検する

点 検 項 目		内 容	チェック
発 振 器	ビームモードの確認	発振器出口でアクリルバーンパターンを採取し、ビームモードを確認する。 (1) 納入時と近似であること。 (2) シングルモード時は、下記の異常モードでないこと。  ※異常時にはPRミラーの清掃が必要	
	ミラーの清掃	リターダ等のミラー清掃及び上記現象がある時は、共振器ミラーの清掃を「ミラー清掃要領」を参照の上、実施する。 (清掃後は光軸の調整を実施する。)	
本 体	Vベルトの張り	緩みがないことを確認する。	
	真空ポンプ オイル量	レベルゲージにて中央部であること。	
	オイルの汚れ	汚れがないこと。	
	導電度検出器の汚れ	検出器端に汚等が付着していないかを確認する。	
	冷却水ホースの損傷	ホースの損傷及び漏れがないことを確認する。	
冷 却 ユ ニ ツ ト	イオン交換樹脂の元栓の確認	イオン交換樹脂がわずかに動く程度にバイパス量を元栓にて調整する。	
	配管及びホース	配管及びホースの破損、漏れがないことを確認する。	
そ の 他	レーザガス関係	ポンベの1次圧、及び2次圧の確認 (レギュレータ動作)	
	置換ガス関係	” ”	

## 資料2. 用語解説

- レーザー…………… Light Amplification by Stimulated Emission of Radiationの頭文字の組合せよりできた言葉で“ふく射（放射）の誘導放出による光の増幅”と言う意味。自然光と異なり、時間的にも空間的にも位相のそろった、単色光の光である。
- ルビーレーザー…………… 最初に発明されたレーザーで、 $\text{Cr}^{3+}$ イオンをドーピングしたピンクルビーのロッドにキセノン（Xe）フラッシュランプで光励起してやり、レーザー光をとり出す固体レーザーの1つ。YAGレーザーが実用化される前の段階では、穴あけ加工などの材料加工の分野でも使われてきたが、現在ではパルス出力の繰返し速度の遅さや、出力の不安定のため、ほとんどYAGレーザーによって置き換えられている。
- ガラスレーザー…………… Nd：ガラスはNd：YAGなどの結晶に比べて大きな形状のレーザー媒質を、高い光学的均質性で比較的安価に作れる。このためパルス動作の高出力・高エネルギーレーザーシステムに非常に適している。出力エネルギーが10J程度の装置が、既に加工用などに使用されているが、発振効率・パルス出力の繰返し速度でYAGレーザーに劣り、一般には発振器-増幅器の組合せで使用され複雑な構造となるので未だ一般には普及していない。最近レーザー核融合用に数十KJの大形ガラスレーザーシステムが開発され、実験に使用されている。
- Qスイッチ…………… レーザー発振器の共振器内に電気光学素子（electro-optical element）や音響光学素子（acousto-optical element）を挿入し、共振を数十KHzの高速でON-OFFさせる動作。
- ジャイアントパルス… 発振器に電気光学素子などのQスイッチを組み込み、発振を高速度にON-OFFさせることにより、発振休止期間に共振器内部で蓄積されたエネルギーを発振時に増幅してとりだすパルス出力形態で10nsオーダのパルス幅で、ピーク出力値が数MW以上のパルス光を得ることもできる。
- YAGレーザー…………… イットリウム・アルミニウム・ガーネット（Yttrium Aluminum Garnet）の略で、 $\text{Nd}^{3+}$ をレーザー活性媒質として使うための母体結晶として発明されたものである。YAGの分子は $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ であらわされ、可視光において透明の硬い結晶のロッドをアークランプあるいはフラッシュランプで光励起してレーザー光をとり出す固体レーザーの一種で、現在加工用固体レーザーのうちもっとも実用化されている。

- TEA CO<sub>2</sub> レーザ… Transversely Excited Atmospheric pressureの略で“横方向励起大気圧”レーザの意味で、約1気圧のCO<sub>2</sub>ガスを主体とした混合ガスを放電し、パルス出力で数J/パルスの大出力を得るレーザである。現在マスクを使用した高速度なレーザマーキングなどの用途に使われはじめた。
- エキシマレーザ……… 希ガス (Xe、Kr、Ar) や、希ガスハライド (KrF、XeF、XeClなど) は、励起状態にある原子と基底状態にある原子が、エキシマと呼ばれる励起状態の分子をつくり、これが解離するとき短波長の光を発信させることが出来る。紫外線領域の短波長域の光を取り出せるので、 $\mu\text{m}$ 程度の集光スポット径が得られ超微細な加工領域、例えばLSIのリソグラフィなどの用途に期待されている。
- アレクサンドライト…  
レーザ… アレクサンドライト (BeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>Cr<sup>3+</sup>) は波長可変、高温動作、高貯蔵エネルギーなどの特徴があり、ルビーとYAGの長所を併せもつといわれている固体レーザの1つ。
- スクライビング……… シリコンなどの半導体基板、アルミナなどのセラミック基板が、半導体デバイスあるいは集積回路において用いられる。スクライビングは一枚のこれら基板を、一つの部品に必要な大きさに分割する工程において、基板を割れやすくするため、分割線上に沿って切れ目(割れ目)を入れることである。レーザによるスクライビングのほか、ダイヤモンドポイント、ダイヤモンド砥石、超音波、エッチングなどによる方法がある。
- トリミング……… 集積回路上の抵抗膜の一部を除去して、抵抗値を精密に調整したり、あるいは水晶振動子の振動数を合わせるために1部を除去したりすること。レーザによる方法以外に砂消しゴム法、ダイヤモンド円周刃法、超音波加工法、電子ビーム加工法などがある。
- 基底状態……… 分子・原子などの定常状態のうちで最もエネルギーの低いエネルギー固有状態。
- 励起状態……… 基底状態以外のエネルギーの高い状態。
- 反転分布……… エネルギーの高い準位の占有粒子数(分子・原子)がエネルギーの低い準位の占有粒子数よりも大きい状態。
- エネルギー準位……… 量子力学系のエネルギーの固有値、またはそのエネルギーをもつ固有状態。

- 共振器…………… レーザ発振をおこすために用いられる共振器。高反射率の2枚の鏡を対向させたものをファブリペロー共振器という。
- 励起…………… 外部からエネルギーを与えることにより、原子・分子などにより高いエネルギー単位へ遷移させること。
- プランクの定数…………… 量子論で基本的な意味を持つ定数、熱放射の理論において、振動子のエネルギー  $E$  が振動数  $\nu$  と定数  $h$  との積  $h\nu$  の整数倍をとるとして、プランクにより初めて導入された。
- モード…………… 共振器のもつ境界条件に応じて、レーザ断面内に一定の電磁界分布を生ずる。共振器の光軸方向のモードを縦モード (longitudinal mode)、光軸に垂直な方向のモードを横モード (transverse mode) という。集光性能はモードにより大幅に変わる。TEM<sub>m</sub>n (transverse electromagnetic mode) でモードパターンを示す。添字  $m$ 、 $n$  はそれぞれモードパターンの  $x$ 、 $y$  軸上のエネルギーの低い谷の数を示し、TEM<sub>1,2</sub> とゆうのは、 $x$  軸方向に谷が1つ、 $y$  軸方向に谷が2つということになる。TEM<sub>0,0</sub> では、 $x$ 、 $y$  両軸方向に谷がなく、山1つということになり、切断によいモードである。熱処理に良いといわれている長方形モード (TEM<sub>m</sub>n 高次モード)、カマボコモード (TEM<sub>0</sub>n) といったものもある。
- クラディング…………… 金属材料 (母材) の表面のきわめて薄い層をレーザで溶かすとともに、耐摩・耐蝕性に優れた、母材が持っていない特性の金属材料を線状あるいは粉末状でレーザ照射部に供給してやり母材表面に溶融、凝固させ、材料の表面のみ異種金属で覆う表面改質法。
- グレージング…………… 金属材料表面に  $10^5 \sim 10^7 \text{ W/cm}^2$  のエネルギー密度になるようレーザのスポットを調整し、高速でスキャンさせ、表面に薄い溶融層を形成させると超微細組織あるいは、アモルファスが得られ、耐食性、耐摩性あるいは疲労特性の優れた材料とすることができる。
- 衝撃硬化……………  $10^9 \text{ W/cm}^2$  以上の高エネルギーをもつレーザにより、金属材料の薄い表面層を急激に蒸発させそれに伴って、材料に伝わる爆発的な衝撃波によって材料の加工硬化を行わせようとするものである。Al および Al 合金などの実験により蒸発による衝撃波のピーク圧力がある一定値を越えると表面が硬化することがわかっている。

チル化…………… 鑄鉄の表面を溶かすまで過熱し、急冷することにより非常に硬度の高いチル層を形成する加工法で、摩耗抵抗を改善する。自動車のカムシャフトなどに0.5~1.0mm程度の厚さの硬化層を形成するのにレーザを応用したチル化が検討されている。

グロー放電…………… 数十Torrの低ガス圧気体で直流高電圧をかけてやると蛍光灯の如き安定した放電がおこる。火花（アーク）をともしない安定なこの放電状態をいう。

バラスト抵抗…………… 数本の放電管に1つの直流電源により並列に電圧を加えて、同時にグロー放電を得ようとするとき、ガス圧・ガス流速・インピーダンスの差などにより、1部の放電管のみに多くの電流が流れないように、各放電管とシリーズに負荷抵抗を設け、均一な放電電流がどの放電管にも流れるようにする抵抗。

誘電体…………… ガラス・ホウロウなどの材質で、高周波電源で電圧をかけられた金属電極表面を誘電体膜でコーティングすると、広い面で均一な無声放電（SD放電）が得られる。

デューティ…………… パルス出力を下図のように考えた場合、周波数は $\frac{1}{T_1}$ （/sec）となり、 $\frac{T_2}{T_1} \times 100$ （%）がデューティである。

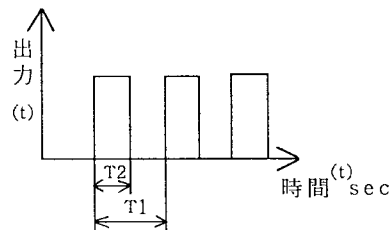


図44