

1 特徴はいろいろ

高パワー密度の熱源で
種々の加工に利用

レーザー(Laser)は、「Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation」というレーザーの発振原理を表す英単語の頭文字から作られた造語です。人工の光であり、地球上の自然界には存在しません。

レーザーは、一般的に波長が1つの光で、遠方まで拡がらずに進むことができ、光の波が干渉して強め合ったり弱め合ったりしますが、一点に集中させることが可能です。これらを、専門用語ではそれぞれ単色性、指向性、可干渉性(時間的・空間的)「 coherence」および集光性が優れると表現します。

レーザーを、レンズがミラーで集光させると、小さく絞られた場所では高パワー密度の熱源になります。このため、レーザーは金属やセラミックスなどの材料を容易に加熱、溶融、蒸発させることができ、工具によ

る加工が困難な硬い材料や脆い材料でも加工でき、レーザーほど優れた熱源は他にありません。

レーザーは、種々の雰囲気中や真空中でもほとんど減衰せず、遠く離れた位置から照射して非接触での加工が可能です。大きな形状物でも加工できます。また光エネルギーを利用してため、プラスチック、ガラスなどの加工や透明体内部の加工も可能です。その加工結果は電気や磁気に影響されません。

特に、波長の短いレーザーは光子エネルギーが大きく、励起された原子または分子の解離やイオン化と化学反応の促進が可能です。穴あけや光化学反応処理を行うことができます。非熱的な蒸発・気化をアブレーションと呼びますが、短波長レーザーとパルス時間の極めて短い超高ピークパワーレーザーは、アブレーション加工を行うことができます。

これまでに、レーザーによる焼入れ、クリーニング、クラッピング(肉盛)、溶接、ソルダーリング(はんだ付)、

ブレイジング(ろう付)、切断、穴あけなどの各種加工が実用化されてきています。

レーザーの特徴

比較項目	自然光	レーザー	応用、その他
① 単色性	<p>いろいろな波長の光が含まれている</p> <p>長波長 赤 緑 紫 短波長</p> <p>プリズム</p> <p>波長に応じて分光される</p>	<p>もともと1つの波長</p> <p>プリズム</p> <p>分光しても一つの波長(一つの振動数)</p>	<p>分光分析 同位体分離</p>
② 指向性	<p>拡散しやすい</p> <p>リフレクター 光源</p>	<p>レーザービーム</p> <p>レーザー発振器</p> <p>ビームが一方方向へ直進する</p>	<p>光通信 レーザスキャナ 光ディスク レーザレーダー</p>
③ 可干渉性	<p>いろいろな光が出る</p> <p>光源</p>	<p>波長と位相が一致する</p> <p>1 波長 山 谷 位相が揃う 位相が揃う</p>	<p>ホログラフィ 干渉縞による精密測定</p>
④ 集光性・高輝度(高エネルギー密度)	<p>長波長 短波長</p> <p>集光レンズ 試料</p>	<p>集光レンズ</p> <p>試料</p>	<p>レーザー加工 レーザメス レーザ兵器</p>

要点BOX

- 単色性・指向性に優れている
- 可干渉性が強く、集光性が良い
- いろいろな加工ができる

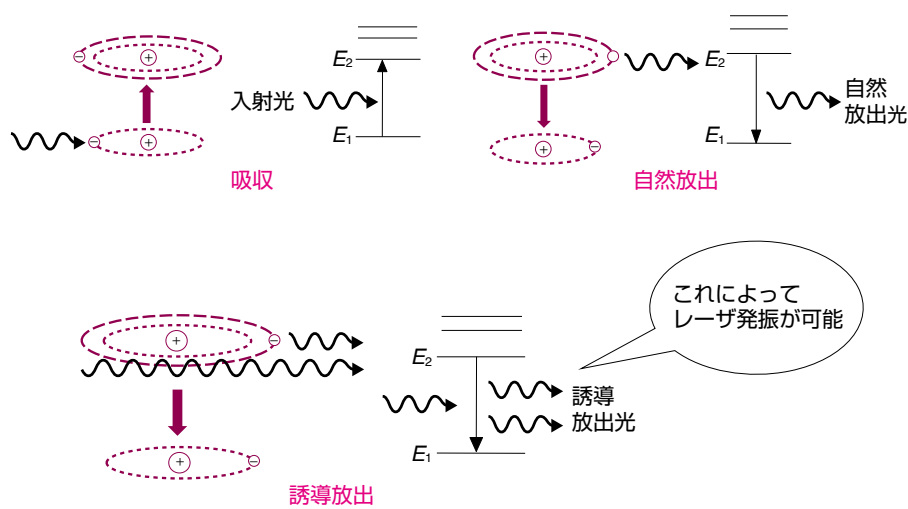
2

レーザが発振する原理

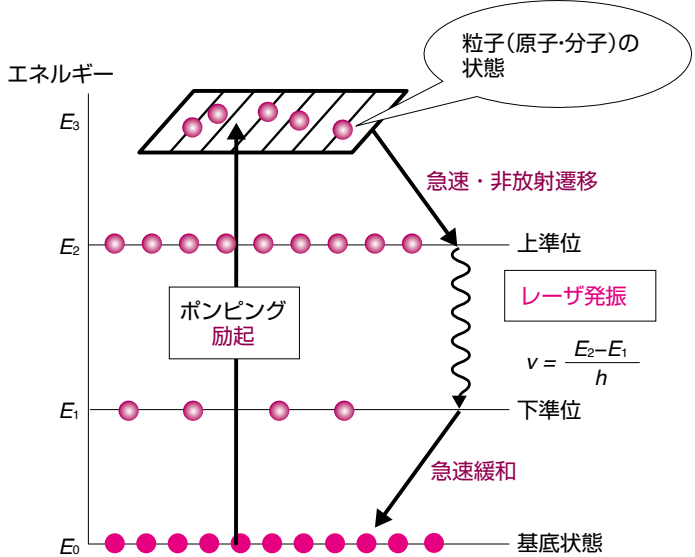
原子は、主に陽子と中性子からなる原子核と、そこからある距離だけ離れて飛び飛びの軌道を自転しながら回るいくつかの電子から構成されています。このため、原子のエネルギー状態は、電子の数と軌道によって飛び飛びの値になります。一方、分子は二つ以上の原子から構成され、原子間の距離と角度が一定で安定な基底状態と、原子間の距離や角度が変動するエネルギーの高い状態があります。

飛び飛びのエネルギー状態の原子・分子などのミクロな物質に、プラズマや電子、光を照射してエネルギーを与えると、高いエネルギー状態になります。これが吸収です。一方、高いエネルギーの物質は不安定で、自然に低いエネルギー状態に移ります。これが自然放出です。特に、高いエネルギー準位の物質に特定の振動数を持ったフォトンが照射すると、それを引き金として同等のフォトンが放出され、フォトン数が増加していきます。これが誘導放出です。

光の吸収、自然放出および誘導放出



4エネルギー準位におけるレーザ発振



自然放出と誘導放出では、エネルギー差(ΔE)により(γ)で決まる特定の振動数νを有するフォトン(光子)を発生します。

レーザ発振のためには、3、4つのエネルギー準位の物質と、2枚のミラーからなる共振器が必要です。4準位系の場合、基底状態にある物質をプラズマや光でエネルギー準位E₃より高い状態に励起します。その状態から準位E₂へは、光を出さずに急速に遷移し、E₂準位の物質数が多くなります。一方、E₁準位の物質はE₀基底準位へ瞬時に遷移し、E₁準位の物質数が速く減少します。この結果、E₂準位の物質数(N₂)がE₁準位の物質数(N₁)より多くなり、E₂準位からE₁準位への移行時にレーザが発振するのです。N₂ > N₁の状態を反転分布と呼びます。

共振器では、1つのミラーの反射率を100%とし、他方のミラーの反射率を小さくして、反射率の小さいミラーからレーザを取り出し発振させます。

レーザ発振には3以上のエネルギー準位と共振器が必要

- 要点BOX**
- レーザ発振には誘導放出と反転分布が関与
 - 3以上のエネルギー準位が必要
 - 2個以上のミラーが不可欠

3

レーザとレーザ加工が
発展してきた歴史

レーザは人の英知・信念のもとに作られた人工光線

1960年5月16日、セオドア・エ・メイマンによってルビーレーザ(波長:694nm)が真つ赤に極短時間光ったことで、世界で初めてレーザの発振が確認されました。その後、数年間にHe・Neレーザ、Nd:ガラスレーザ、Arイオンレーザ、半導体レーザ、炭酸ガス(CO₂)レーザ、連続発振YAGレーザ、ファイバレーザ、銅蒸気レーザ、ピコ秒パルスレーザ、有機色素レーザなどの発振が報告されています。現在、1000種類以上のレーザが開発されていますが、材料加工に使われるレーザは10種類程度です。

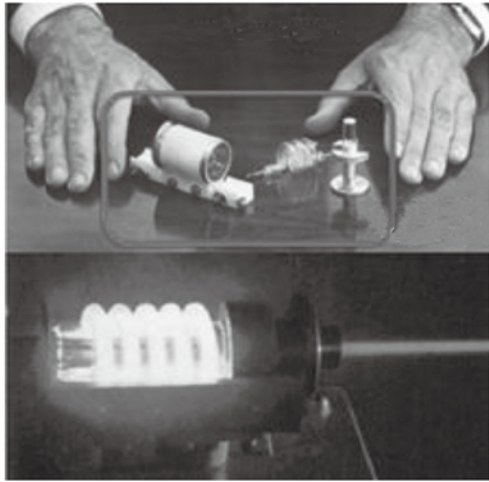
開発初期は、パルス発振のルビーレーザやNd:YAG(ネオジウム・ヤグ)レーザが、金属材料やダイヤモンドの穴あけに利用されました。Nd:YAGレーザは、パルス照射時の繰返し安定化とパワー制御性の向上が図られ、連続発振が可能になったことから、微細穴あけやスポット溶接、シーム溶接など微細加工に利用されました。一方、連続発振のCO₂レーザは高パ

ワー化が図られ、焼入れ、溶接や切断、一部クラックディングに適用されました。次に、短波長のエキシマレーザの高パワー化が図られ、樹脂やセラミックスの穴あけや切断に使われ、半導体製造のリソグラフィにも利用されています。

近年、パルス発振で波長9・6μmのCO₂レーザはプリント基板の穴あけに活用され、携帯電話の小型・高性能化を支えています。YAGレーザの短波長化が図られ、有害ガスを用いるエキシマレーザの代替に使われています。一時期、高パワーのCO₂レーザ(波長約5μm)やヨウ素レーザ(波長約1μm)が開発されましたが、実用化には至りませんでした。

21世紀に入り、電気からレーザに変換する効率の高い半導体レーザ、ディスクレーザおよびファイバレーザの高パワー化と高輝度化が実現し、これらのレーザによる各種加工法が検討され、各レーザとも種々の産業分野に導入され、実用化が進んでいます。

メイマンが世界で最初にレーザを発振



レーザの歴史

1863	マックスウェル:「電磁波の方程式」発表
1917	アインシュタイン:「放射の量子論について」発表(レーザの理論的基礎を確立)
1953	タウンズら: アンモニアガスによる分子発振器(MASER:メーザと命名)を開発
1955	プロホロフとパソフ: 反転分布のため多準位系の光ポンピング法を示唆
1958	シャウロウとタウンズ:「光メーザ(光増幅)の可能性」論文発表
1960	メイマン: (赤色パルス状)ルビーレーザ発振に成功
1960	ジャパン: ヘリウム・ネオンガスレーザによる連続発振に成功
1962	レディから、ホール、ホロニアックら多数のグループ: 半導体レーザ発振を発表
1964	多数のグループ: YAGレーザ発振を発表
1964	パテル: 炭酸ガス(CO ₂)レーザ発振を発表
1970	パソフ: エキシマレーザ発振に成功
1970	ティファニ社: 高速軸流型CO ₂ レーザを開発
1972	UTRC社: 循環型20 kWCO ₂ レーザを開発
1990	東芝, NEC: 高出力YAGレーザ(2 kW級)を市販 ←日本
1999	ギーセン: デイスクレーザを開発
2001	レーザーライン社: 高出力半導体レーザ(4 kW)を開発・市販
2002	IPG社: 高出力ファイバレーザ(0.7 kW; 2010年 100 kW)を開発・販売
2005	超短パルスレーザの開発が進展
2010	テラダイオード社、ダイレクトホトニクス社: 高輝度半導体レーザを開発・販売

要点
BOX

- レーザは20世紀最大の発明
- 広範囲に応用されるレーザ
- レーザ加工は魅力がいっぱい