

安全なレーザー実験のために

1. はじめに

レーザーは、多くの科学研究、産業で使われるようになってきており、また、その出力も年々高くなってきている。ここでは、レーザー実験を安全に行うための基礎的な知識、対策などを述べている。JISなどの規格、法令などは変わる可能性もあるが、ユーザーからみた基本的な考え方、取り組み方に変化はあまりないので、ここに書かれた情報をベースに考えることは可能である。

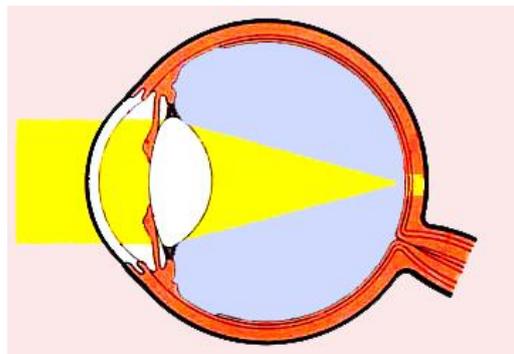
一般に、レーザーを安全に取り扱うためには、人体への障害の危険性をまず考え、その取扱い、安全対策を考えることが多い。人体への障害の代表的なものは以下にあげる眼障害と皮膚などのいわゆるやけどになる。この中で、眼障害は水晶体を通った光により視細胞が障害を受けると復活できないことからもっとも深刻に考えられ、レーザーのクラス、それにとまなう安全対策は、この想定事故に対して作られていると考えてよい。簡単に言えば、目の水晶体を透過する波長帯では目の瞳内に光が入り視細胞まで到達した場合、眼底における単位面積当たりの強度が障害の閾値をこえないように対策することになる。

以下ではこのことを解説し対策例などを紹介しているので、内容を理解し、使用者全員が安全に対する意識をもって作業を行うことが重要である。

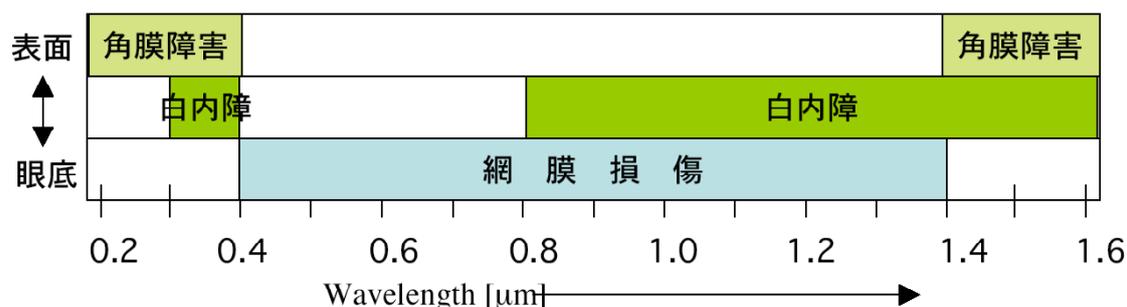
2. レーザーによる障害

2-1. 眼障害

レーザー光は、指向性に優れ、通常の光に比べ、高いエネルギー密度をもつ。現在使用されているレーザーは、生体に対する透過力は低く、レーザー光の人体に与える影響は目または上皮組織に限られる。下表は、過度のレーザー光による眼障害をまとめたものである。**眼障害のうち、最も深刻なものは網膜損傷など、眼底に及ぶものであり、これは400nmから1400nmの波長域の可視光または近赤外光により誘発される。**この波長の光は、眼球を透過し、水晶体のレンズ作用により集光されるため、眼底に大きな影響を及ぼす。眼底障害には光化学的なものと熱的なものがあり、波長、パルス幅などにより異



なった状況になる。400nmより短波長の紫外光や1400nmより長波長の赤外光は、殆どのエネルギーが角膜表層に吸収されるため、角膜障害の原因となりうる。



2-2. 皮膚障害

レーザー光照射による皮膚障害には、熱反応、非熱反応がある。前者はレーザーエネルギーにより皮膚温度が上昇し、皮層に発赤や炭化などの反応（火傷）が生じることである。非熱反応には、紫外線照射による色素沈着などが含まれる。また、320nm以下の波長の光は発ガン性をもっと考えられている。

2-3. その他の障害

レーザー装置には、高圧電源が用いられているものもあるので、感電等に注意が必要である。また、例えばエキシマーレーザーにはレーザー媒質としてハロゲンガス（フッ素ガスなど）が使用され、色素レーザーには有害な有機物質が色素として用いられている。これらの有害物質の取り扱いにも十分な注意が必要である。

3. レーザーの危険度

3-1. 危険度による分類

通常的环境下で、人体に有害な影響を与えることが無いレーザー光のレベルの最大値を、最大許容露光量という。この最大許容露光量を基準にして、個々のレーザーから放出されるレーザー光の危険度が評価され、それに従いレーザーが以下の1、2、3、4のラベルがついた7つのクラスに分類される。（[]内のワット数は大体の目安である）

これらクラス分けは、基本的にはレーザーメーカーがつけるべきものであり、すべてのレーザー機器（クラス1であっても）においてはラベル（レーザー放射、

光学器具で直接ビームを見ないこと、クラス 1 レーザ製品 などが表記されたもの) の表示が義務付けられている。

ユーザーの場合、レーザーが組み込まれた完成品となっている装置をそのまま使用する場合には、対策が行われているものとして安全に使うことができると思うが、その場合でも、機器の故障、外壁の破損、光学路が変わった場合、などが起きた場合に製品から強い光が漏れてくることもあるので、以下のことを知識として持つておくべきである。ユーザーがこれら製品レベルのレーザーを使って、自らの装置を組み上げる場合、増幅させる場合、波長変換させる場合などは、危険度が変わる場合があり、自分で判断し対策を施す必要がある。

1で紹介したように、レーザーの危険度は眼障害でまることが多い。その中でクラス 1 は完全に目に直接光が入っても安全なものを表しており、この条件（例えば400nmの波長で39 μ W程度）が他のクラスや自分で光学系を組む場合の安全に対する基準になる。

クラス 1 : [およそ出力39 μ W以下（400nmの波長の場合）のもの] 180 nm ~1 mm の波長範囲に対して適用される。平行ビーム条件、発散ビーム条件、走査ビーム条件のいずれの場合でも通常の動作条件では全く危険がないと考えられる機器。

クラス 1 M : 302.5 nm ~4 000 nmの波長範囲にあるもので、平行ビーム条件、もしくは発散ビーム条件のどちらかでクラス 1 の基準を超えるが、後述するクラス 3 B以下であり、走査ビーム条件ではクラス 1 の範囲にある機器。

クラス 2 : [およそ1mW以下] 目に長時間照射すると障害を起こすが、目を閉じる等の回避反応があるため、危険度は低い。目の回避応答時間は0.25秒程度と考えており、この時間内であればレーザーが目に入った場合でも許容できると考えられる機器。

クラス 2 M : クラス 1 M同様に平行、発散ビーム条件のいずれかではクラス 2 の基準を超えるがクラス 3 B以下であり、走査条件ではクラス 2 の基準になっているもの。

クラス 3 R : [5mW以下] 直接光を、レンズ等を用いて集光して瞳内に入れた場合、障害のおそれがあるもの。可視光ではクラス 2 の5倍以下（400~700nmの波長）、可視

光以外ではクラス1の5倍以下 (302.5nm以上の波長) の出力が基準となる。なお、クラス3以上のレーザーには始動に鍵が必要になる。

クラス3B : [0.5W以下] 直接光または鏡による反射光を目に入れた場合、障害につながるもの。保護眼鏡を使用しなければならない。拡散光に対しては安全に観測できるばあいがあるもの。

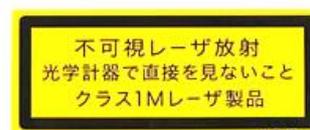
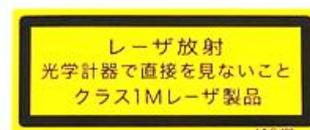
クラス4 : 直接光はもとより、拡散、散乱、反射光でも障害を与える。また、火災を起こす危険性もある。保護眼鏡を使用しなければならない。

各クラスに対して管理上行うべき項目の主なものを以下の表にまとめている。

項目/クラス		クラス4	3B	3R	2M	1M
レーザー機器管理者の選任		○	○	○		
管理区域の設置		○	○			
レーザー機器に対して	キーコントロール	○	○			
	緊急停止スイッチ	○	○			
	警報装置	○	○	○		
	シャッター	○	○			
	インターロック	○	○			
	光放出口の表示	○	○	○		
作業管理	保護メガネ	○	○	○		
	保護衣	○	○			
	前眼部検査	○	○	○		
掲示	管理者氏名	○	○	○		
	設置の表示	○	○			
	危険性表示	○	○	○	○	○

(注)海外には似ているが異なる名称のクラスが存在するため、製品によってはクラス名が異なる場合がある。また、国内製品においても古い装置では少し異なるクラス名で書かれているものもある。ただし、数字で示される大まかな状態は同じなので、混乱することは少ない。

3-2. 危険度の表示



レーザー装置には、危険度に応じて警告ラベル、説明ラベル、開口ラベル等が貼りつけられている。(典型的には右図のようなもの)

4. 安全の確保

4-1. 一般注意事項

レーザーの使用に当たり、以下のような注意が必要である。

1. レーザーを使用する前に教官、熟練者から安全教育を受け、レーザーのクラス(危険度)、レーザーの構造、レーザーの使用方法等について、十分に熟知していること。
2. レーザー光の光路は**目の高さを避ける**。もしくは、**目をレーザー光の光路の高さまで下げない**。また、腕時計や宝飾品等で**鏡面反射を起こすものを、実験室に持ち込まない**。
3. 予期せぬ方向にレーザー光が飛ばないように、光路の終端、擬似反射ビームの光路にはダンパ(遮蔽物:不燃物で鏡面反射が起こらないもの)を設置する。
4. アライメントは、レーザー光の強度を弱めて行う。また、可能な限り明るさを確保する。(暗闇で瞳孔が大きく開くのを避けるため)
5. クラス3B、4のレーザーを使用する際には、**必ずそのレーザーの波長に合った保護眼鏡を着用する**。保護眼鏡としては、目の横や上からもレーザー光が入らないようなものが望ましい。保護眼鏡の、Optical Density (OD) 値を注意すること。一部透過型や、完全吸収型のものがある。**保護眼鏡を装着しても、絶対にレーザービームをのぞき込んでいけない**。
6. レーザーを使用する部屋のドアには、警告のためのサイン等を掲げ、周囲の人、外部からの来訪者に注意を喚起する。

4-2. 不可視光レーザーの取扱いについて

最近報告されているレーザー事故の大部分は、YAGレーザーによる眼障害である。この原因の一つは、波長が1064nmで不可視領域赤外線であることが挙げられる。YAGレーザーは大出力であることが多く、その取り扱いには、4-1で述べた一般的な注意のほかに、以下のような注意も合わせて必要である。

1. アライメント調整は、できるだけ弱い可視光を用いて行う方がよい。

2. IRビューアー、IRフォスファなどを利用して、可視化して不可視レーザー光路を調べることができる。これらを利用して、実験者はレーザーの光路、ダミー光路、などを把握すること。

参考：レーザー製品の安全基準 JIS C 6802