

LASA 安全講習

LASA 安全基準 策定の経緯

レーザー安全に関する規格であるJIS C 6802は、1988年の制定以来、2025年までに6回改訂されました。その間、人体に対するレーザーの安全基準としてMPE（最大許容露光量）が用いられている点に変更はありません。

2005年に初めて、IEC TC76の扱うIEC60825-1に、レーザーライトショー／ディスプレイについての項目がガイダンスとして追加されました。このガイダンスは、数回の改訂を重ねた後、2007年にIECの規格として受託されました。これらの動向を反映し、「LASAレーザーライトショー安全基準」は、「LASA安全基準」として、改訂されました。

2025年に改訂された JIS C 6802において以下のように記述されております。

JA.3.1.5 レーザの実演及びディスプレイ

管理されていない区域でのレーザーの実演、ディスプレイ又はエンタテインメントでは、クラス1、クラス2又は可視クラス3R レーザー製品だけを用いることが望ましい。このような目的にその他のクラスのレーザーを用いるのは、以下の場合だけに認めることが望ましい。

- a) 事前に、必要な保護管理対策を決定するためのリスクアセスメントを完了しておく
- b) レーザ運転が、経験豊かな訓練を受けた操作員の管理下にある場合、又は観客を該当する最大許容露光量（MPE）を超えるレベルの露光から防止している場合。

多くの国がレーザーディスプレイ及びショーに独自の国内指針を公表しているが、IEC TR 60825-3 は、実演用レーザー製品などの安全な使用に関する具体的な手引きを与えている。

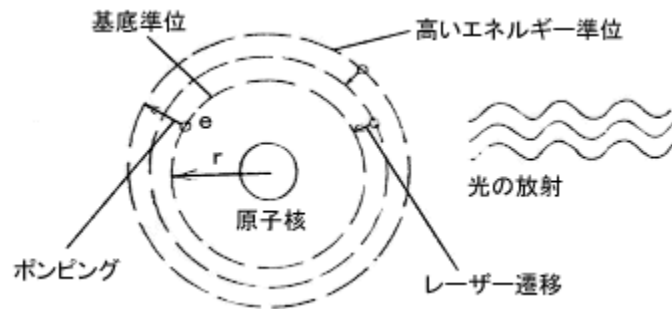
LASA 安全管理責任者資格認定（LSA ライセンス）について

LASA では、レーザー機器を安全に利用するための技術と知識を備えた人材を育成する目的で、1985 年よりレーザー安全講習を定期的実施しています。2008 年からは、高度な技術力を認定するための「LASA 安全管理責任者試験」も実施しています。さらに、この試験に合格し登録された方には、「LASA 安全管理責任者証（LSA ライセンス）」を発行しています。

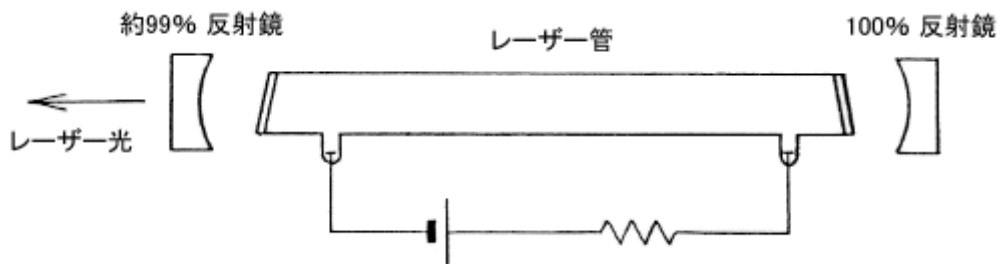
レーザーとは

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

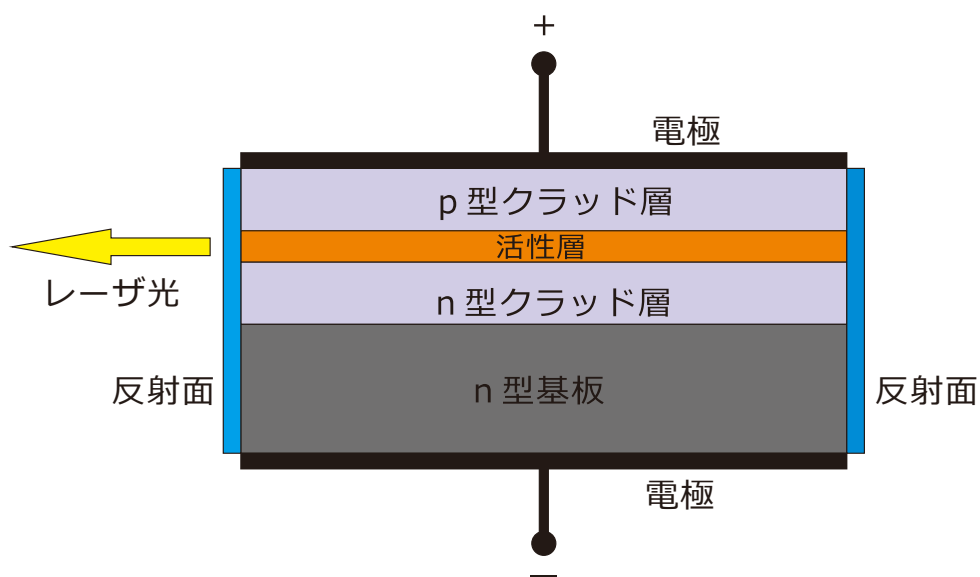
放射線の誘導放出による光増幅



【図.原子】



【図.ガスレーザーの構造】



【図.ダイオードレーザーの構造】

レーザー光線の特徴

単色性

レーザーの発振は、原子の離散的なエネルギー準位間の遷移によって生じる。そのため、発振条件を満たした原子固有のエネルギー準位間でのみ発振が可能となる。つまり、発生するレーザーの波長は、そのレーザーの種類によって決まっている。

指向性

レーザー光は、位相が揃った乱れの少ない波であるため、遠距離へ進んでも広がりが極めて少ないビームとなる。この広がりの少なさを指向性という。

干渉性

位相が整然と揃った規則正しい電磁波であり、この波を合成することで振幅の大きな波を得ることができる。この性質をコヒーレンス（可干渉性）と言う。。

レーザーの種類

媒体による分類

ガスレーザー

半導体レーザー

ダイオードレーザー

発振状態（エネルギー放出の仕方）による分類

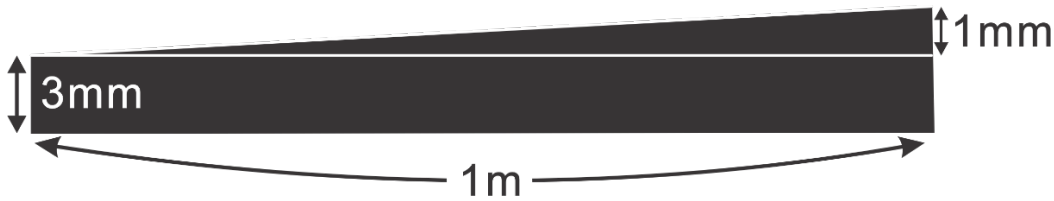
連続波発振

パルス発振

レーザービームの性質

ビーム広がり

$$\text{ビーム径} = \text{広がり角} \times \text{距離} + \text{元のビーム径}$$



ビームの直径 3mm、広がり角 1mrad(1 ミリラジアン)の場合、1m離れた所ではビームの直径が 4mm になる。

※広がり角 1mrad とは、レーザー光が 1 メートル進むごとに 1 ミリメートル広がる角度のことです。

単位

放射エネルギー	ジュール
放射出力	ワット
イラディアン	単位面積当たりのワット
放射露光	単位面積当たりのジュール

エネルギーと出力の関係

$$\text{エネルギー} = \text{出力} \times \text{時間}$$

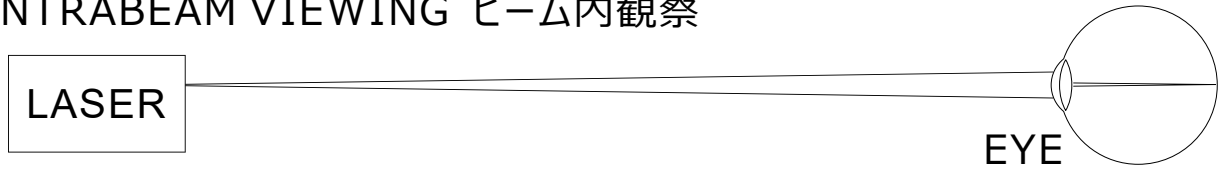
$$1 \text{ ジュール} = 1 \text{ ワット} \times 1 \text{ 秒}$$

反射

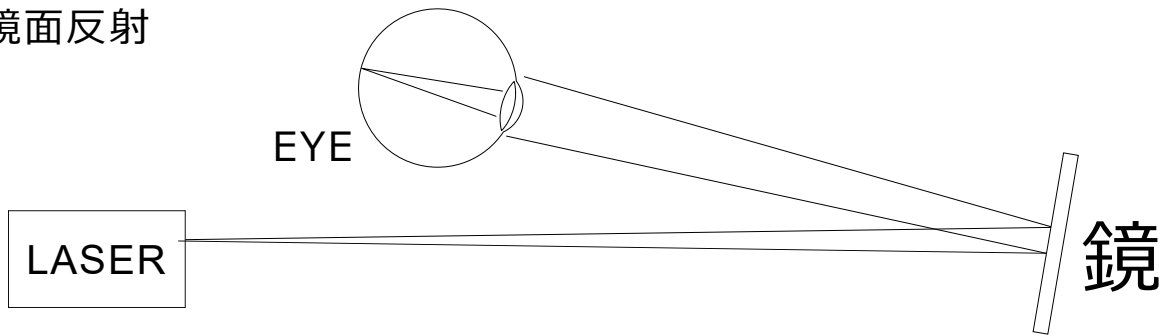
鏡面反射 平面 曲面 散乱面

ビームの観察

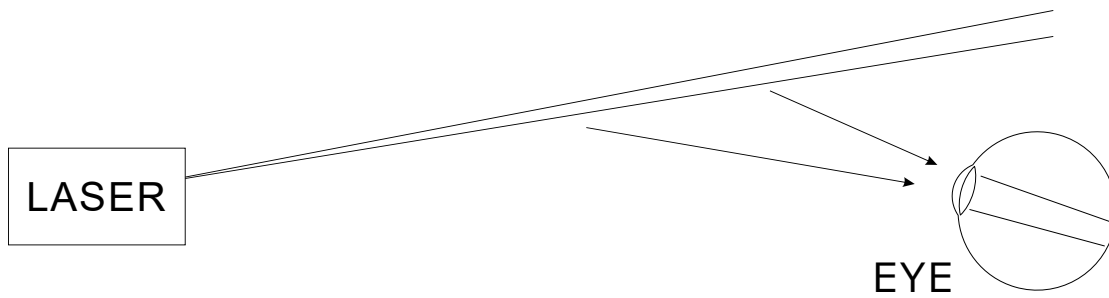
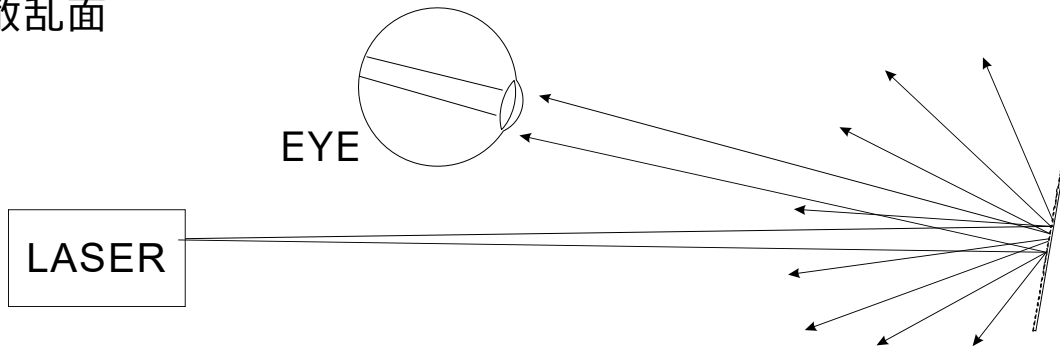
INTRABEAM VIEWING ビーム内観察



鏡面反射



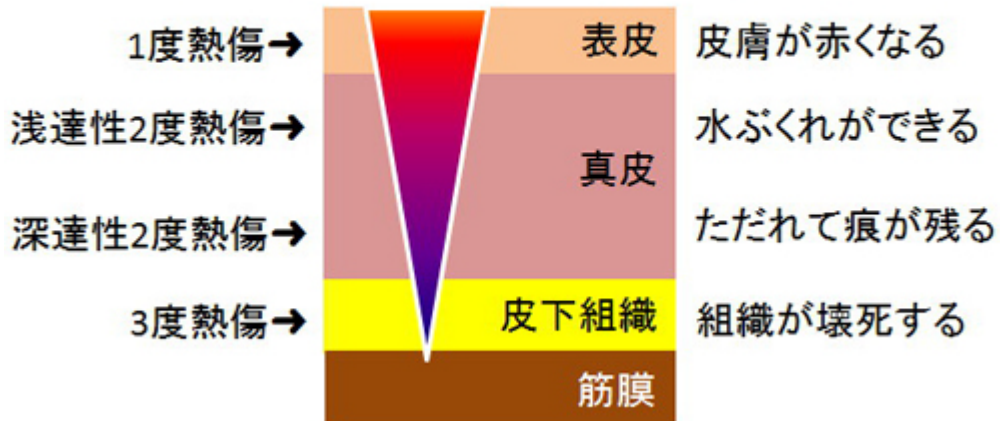
散乱面



障害の種類

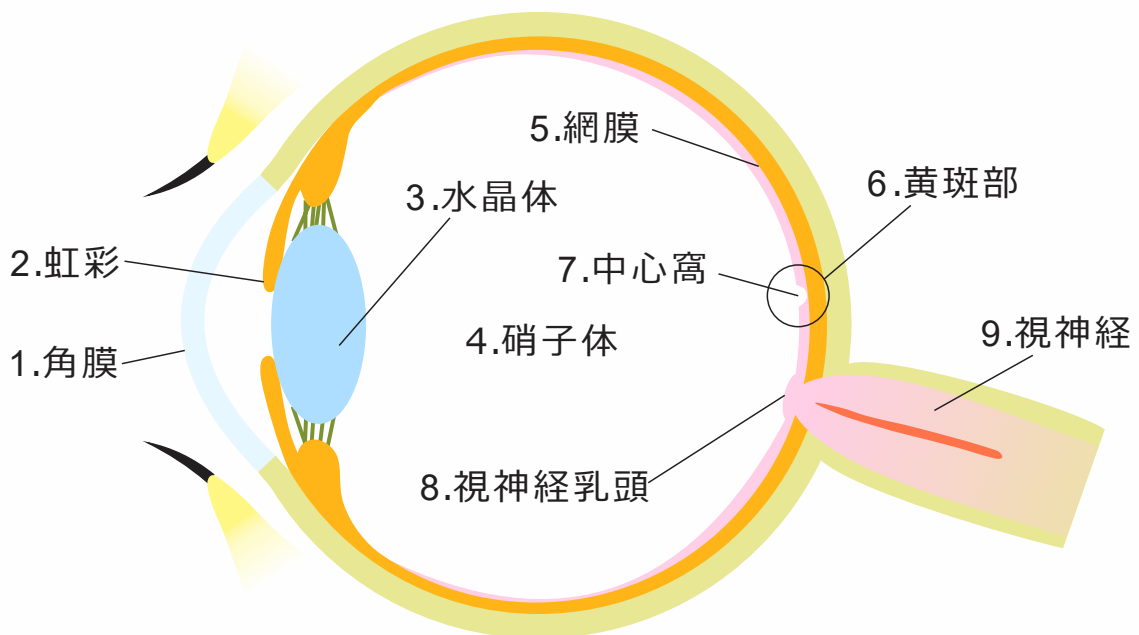
皮膚の傷害

高温によるやけど



目への傷害

眼球の構造



1.角膜 角膜が透明なのは、結合組織（主にコラーゲン）が規則正しく配列しているからである。

2.虹彩（こうさい）は、角膜と水晶体の間にある薄い膜。瞳孔の大きさを調節して網膜に入る光の量を調節する役割を持つ。

3.水晶体 目の瞳の奥にある直径 9mm、厚さ 3.5mm ほどの凸レンズ状の透明な組織。カメラのレンズと同じように、外から入ってきた光を目の奥の網膜にピントを合わせる働きがある。厚さを自由に変えることにより、遠くのものも近くのものも同じように焦点を合わせて見ることができる。

4.硝子体（しょうしたい）は、眼球の器官の一つで、水晶体の後方にあり、内腔をうめる透明なゼリー状の組織。ガラス体とも呼ばれる。タンパク質（コラーゲン）からできている。

5.網膜 6.黄斑部 7.中心窩 網膜は厚さ 0.2-0.3mm、直径 40mm 前後である。網膜の中心部は視力に最も関係している部位であり、黄褐色に見えるため、黄斑部と呼ばれる。さらに黄斑の中央部は網膜が 0.05mm 程度と薄くすり鉢状に凹んでおり、中心窩（ちゅうしんか）と呼ばれる。領域にすると網膜の 1%にも満たないが、脳の視覚皮質での面積は 50%以上を占める。

8.視神経乳頭（盲点）眼の中の視神経の束が集まって、眼の外へ出ていく出口の部分。

9.視神経 眼球の後ろから脳に向かって伸びている神経の束であり、物の形や光の明るさ、色など、網膜で受けた情報を脳に伝える役割をしています。

錐体細胞（すいたいさいぼう）色覚の基礎、感度が低いため十分な光量を必要とする。

桿体細胞（かんたいさいぼう）色覚にはほぼ関与しないが、感度が高い。

目への傷害

眼球の構造

盲点

盲点テスト

片目で行います。下の図を自分の正面で開いている目と反対の図形(右目でテストするなら●)を見つめながら、距離を変えていきます。このプロセスの中で、特定の図形が視界から消えることがあります。



中心窩の重要性

中心窩とは

- 網膜の中心に位置する極めて小さい領域
- 高精細な視覚を担う部位
- 視覚機能の中核（解像度の中心）

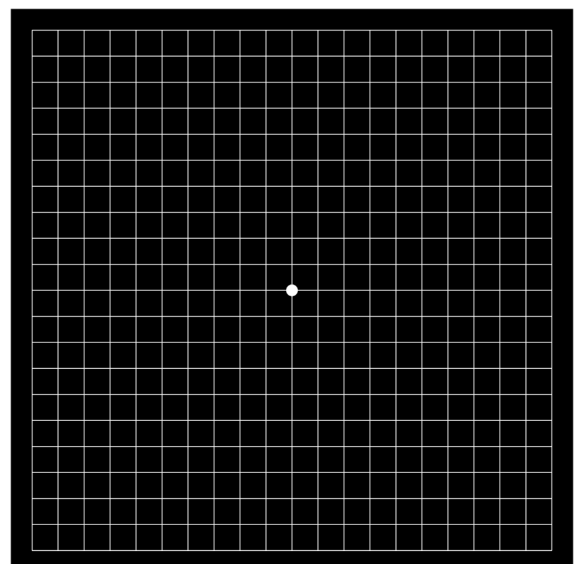
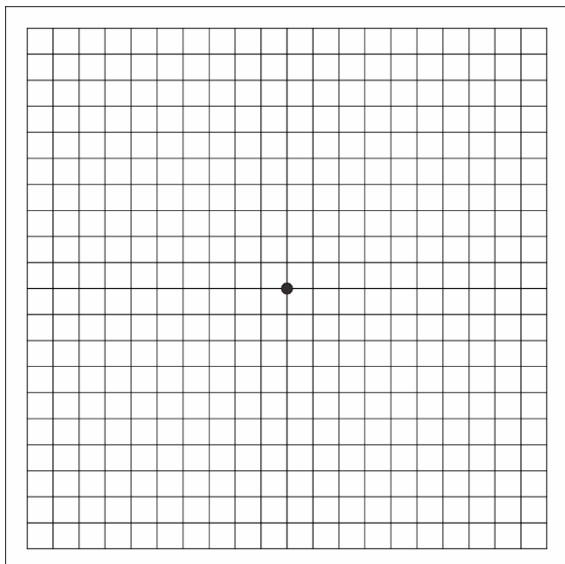
視力の中核

- 錐体細胞が超高密度に集中
- 細部を識別する能力を担う
- 細かく見る力は中心窩に依存する

認知

- 文字の読解
- 人の顔の識別
- 高精度な視覚行動を担う

アムスラーグリッド



光の透過と吸収

400nm～1400nm を透過。900nm～1400nm は透過率が低い

可視光線の中でも短波長（青と緑）は網膜での吸収率が高い

可視光線と近赤外線は角膜から水晶体までを通り網膜に焦点を結ぶ

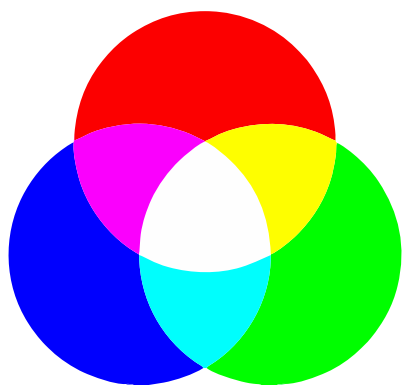
315nm～390nm の近紫外線は角膜と水晶体までの間で吸収される

1400nm 以上の遠赤外線と 180nm～315nm の紫外線は角膜上の水分で吸収される

光化学反応によるダメージ

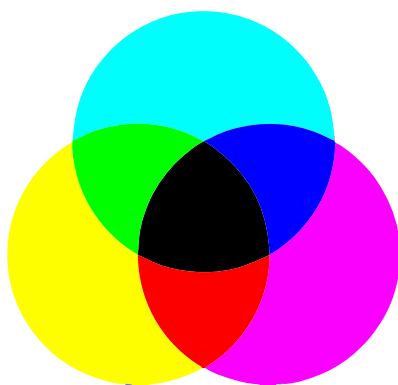
ブルーライト 溶接時のフラッシュ 400nm ～ 550nm の可視光線の長時間露光

三原色

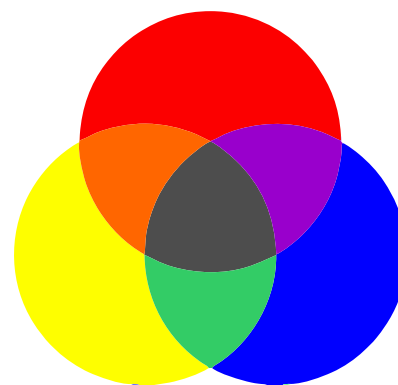


光の三原色

加法混色

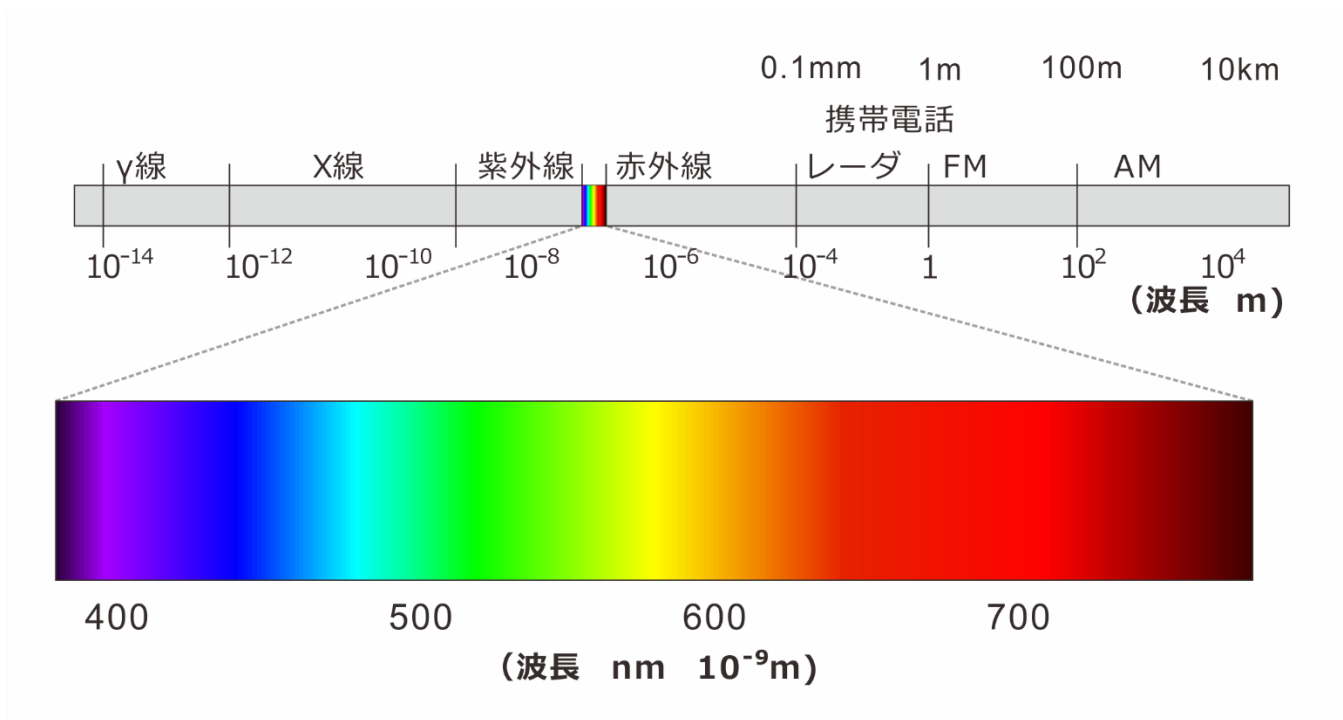


色の三原色



色の三原色

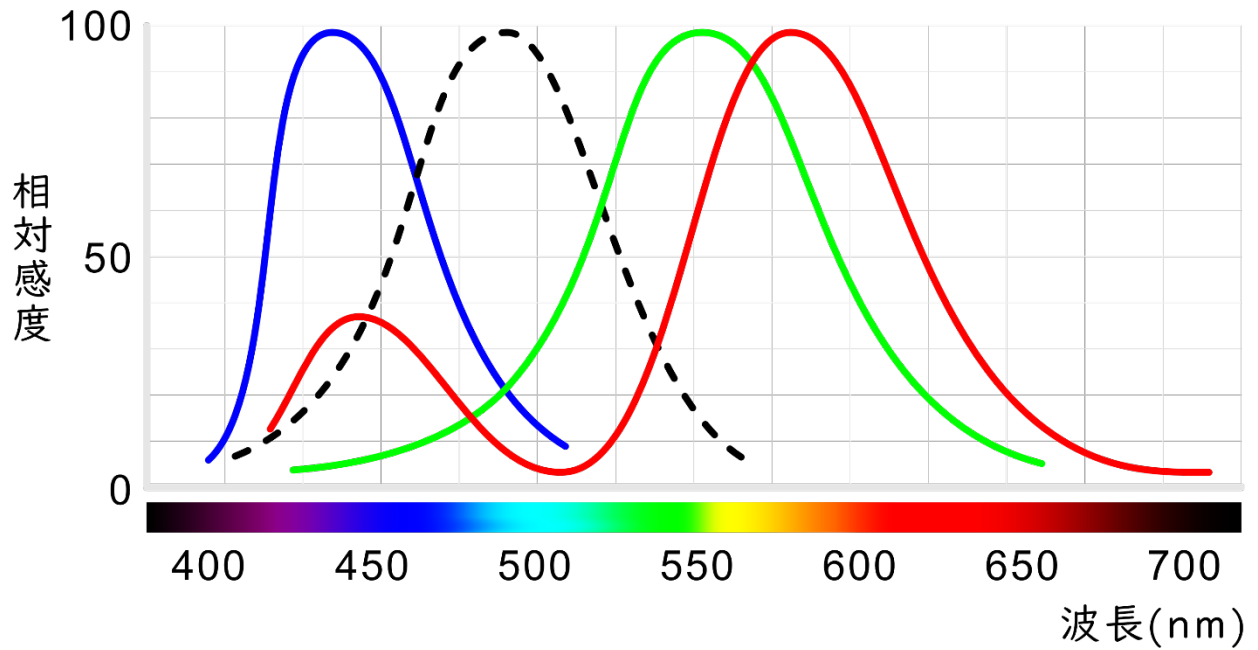
波長と色の関係



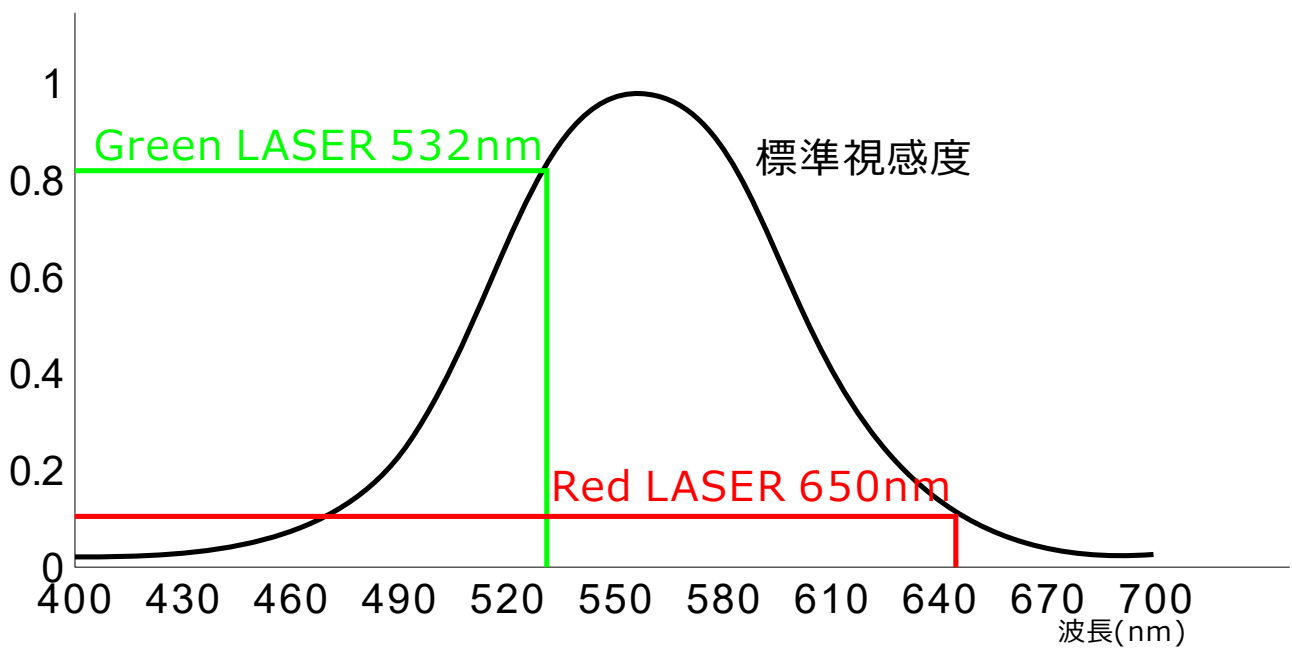
光の種類

- 紫外線 400nm 以下
- 可視光 400nm ~ 700nm
- 赤外線 700nm 以上

錐体細胞と桿体細胞の感度



視感度



レーザークラス分けの概念

Accessible Emission Limit (AEL) 被ばく放出限界（被曝放出限界）

「各クラスで許される、最大の被曝放出レベル」と定義。

クラス1

何も問題ない 意識する必要がない

クラス2

目に対しては人間が反応すれば（0.25 秒以内の露光であれば）クラス1 と同等

クラス3

目に対して人間が反応しても危険がある

クラス4

皮膚、火災にも注意

平成 28 年 11 月レーザープロジェクトが起因とする火災が報告されております。ビーム経路上に可燃物や引火性の高い物が無いかご注意ください。（特に射出口付近）

レーザークラス分け

(1) クラス 1

合理的に予測できる運転条件下において安全であるレーザー。この条件には、使用者がビーム光路上で光学器具を使用する場合を含む。

いかなる使用方法でも人体に安全なレベルのレーザー機器、レーザーライトショーではクラス 1 のレーザーは用いられていない。

0.39 μ W 以下

(2) クラス 1 M

合理的に予測できる運転条件下において安全であるが、使用者がビーム光路上で 光学器具を使用する場合には、危険となり得る。

通常は安全レベルのレーザー光でも、レンズ等を用いて観察すると危険なレベルのレーザー機器

(3) クラス 1 C

皮膚又は眼部以外の組織に接触させて運転するように明確に設計されたもので、次のいずれも満たす全てのレーザー製品。

– 運転中の目の危険を技術的手段によって防止している、すなわち、アプリケーション

(**applicator** : レーザー 出射部) が皮膚又は眼部以外の組織との接触から解放されると、被ばく放出が停止するか、又はクラス **1** の **AEL** 以下に減少する。

– 運転中、皮膚又は眼部以外の組織に接触しているときに限り、意図した治療法の要件に応じて、放射 照度又は放射露光レベルが皮膚の **MPE** を超える可能性がある。

– 適用可能な製品安全規格に準拠している。

注記 1 適用可能な製品安全規格の中で規定した要求事項の考察なしに、この規格だけでクラス **1C** として製品をクラス分けすることは不適切である。

注記 2 放出されたレーザー放射が適用される皮膚の **MPE** を超える可能性があるため、クラス **1C** レーザーの出力は、目標組織に対して潜在的に危険である。接触条件下での被ばく放射の適切な制限の定義、例えば、起こり得るまぶた（瞼）との接触に対しては、この規格の適用範囲外であり、適用可能な製品安全規格で規定される。

注記 3 製品のクラス分けの決定に必要な試験は、運転中の試験に限られるので、組込形レーザー製品の場合、製品によっては、アクセスパネルのインタロックが解除されたとき、又は製品が開かれたか若しくは分解されたとき、クラス **1** の **AEL** を超えた放射が、保守又は サービス中に、被ばく状態になり得る。

(4) クラス 2

まばたきを含む回避行動によって目が保護される 400nm～700nm の波長範囲の可視光を放出するレーザー。まばたき回避行動により、光学器具の使用を含めた合理的に予測できる運転条件下において十分に目が保護される。

出力 1mW 以下のレーザーポインタ等の機器がこれにあたる。

(5) クラス 2M

まばたきを含む回避行動によって目が保護される 400nm～700nm の波長範囲の可視光を放出するレーザー。しかしながら、使用者がビーム光路上で光学器具を使用する場合には、レーザー光の観察が危険となり得る。

(6) クラス 3 R

光路上で直接ビームを観察することは潜在的に危険であるが、その危険性はクラス 3B レーザーよりも低い。

このクラスのレーザーでは、製造に対する要求及び使用者に対する規制対策が、クラス 3B レーザーに比べて緩和されている。被ばく放出限界 AEL は、400nm～700nm の波長範囲では、クラス 2 の AEL の 5 倍以内であり、他の波長に対しては、クラス 1 の AEL の 5 倍以内である。

出力 5mW 以下の可視域レーザー機器などがこれに含まれる。

(7) クラス 3 B

直接のビーム露光が通常危険となるレーザー。拡散反射の観察は、通常安全である。

5mW を超え、500mW 以下のレーザー光のレーザー機器

(8) クラス 4

危険な拡散反射を引き起こし得るレーザー。これらは、皮膚損傷を起こすだけでなく、火災発生の危険もあり得る。これらの使用には細心の注意が必要である。

500mW を超えるレーザー機器。レーザーライトショーの場合、クラス 4 のレーザー機器がほとんどである。

クラス 1M 及びクラス 2M における“M”の由来は、拡大用観察器具 (magnifying optical viewing instruments) である。

クラス 3R における“R”の由来は、例えば、キースイッチ、ビーム終端器又は減衰器、及びリモートインタロックコネクタを不要とするなど、製造業者及び使用者への要求事項の削減 (reduce) 又は緩和 (relax) である。クラス 3B における“B”は、この規格の旧版である JIS C 6802:2005 が発行される以前 JIS C 6802:1997 及び追補 1:1998 において、現在のクラス 1M 及びクラス 2M に類似する意味をもっていた、クラス 3A というものが存在していたという歴史的な経緯に由来している。

安全の尺度 (MPE)

- MPE (Maximum Permissible Exposure)
- 最大許容露光量 (単位面積当たりのジュール)
- ビーム内観察と皮膚に対する許容量である
- MPE 値は定数ではなく公式にて求める
- MPE 値は露光時間と波長により公式が異なる
- MPE 値は繰り返し露光される場合は補正が必要

露光時間の分類

- 3 万秒 8 時間労働環境
- 600 秒 装置の組み立て調整作業
- 0.25 秒 明るい光線に対する人間の反射的回避行動を想定
- 10 秒 一般的な動作で期待できる回避行動にかかる時間を想定
- 24 時間 紫外線などに適用

JIS C 6802 : 2025 表 A.1 – 放射照度又は放射露光で表記した $C_6 = 1$ の場合の角膜における最大許容露光量(MPE) より

波長 λ (nm)	露光時間 t (s)										
	$10^{-13} \sim 10^{-11}$	$10^{-11} \sim 10^{-9}$	$10^{-9} \sim 10^{-7}$	$10^{-7} \sim 5 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6} \sim 13 \times 10^{-6}$	$13 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3} \sim 10$	$10 \sim 10^2$	$10^2 \sim 10^3$	$10^3 \sim 3 \times 10^4$	
180~302.5	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$								
302.5~315	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		熱的障害 ⁴⁾ $(t \leq T_1)$ $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	光化学的障害 ⁴⁾ $(t > T_1)$ $C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			
315~400	$3 \times 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			$C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
400~450	$1 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$18t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$C_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
450~500	$1 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$18t^{0.75} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$100C_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ 及び ⁴⁾ $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
500~700	$1 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$18t^{0.75} C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
700~1 050	$1 \times 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2 \times 10^{-3} C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$18t^{0.75} C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10C_4 C_7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1 050~1 400 ⁴⁾	$1 \times 10^{-3} C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2 \times 10^{-2} C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$90t^{0.75} C_7 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$10C_4 C_7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1 400~1 500	$10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$5 600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$1 000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$			
1 500~1 800	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$5 600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
1 800~2 600	$10^{13} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$			$5 600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$						
2 600~ 10^6	$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5 600 t^{0.25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$								

注^{a)} 補正係数 ($C_1 \sim C_7$, C_6 及び C_7)、並びに接点 T_1 については、表 9 を参照。MPE 値と比較する露光レベルは、適切な開口面積 (表 A.6) で平均化する。

注^{b)} 露光時間が 10^{-9} 秒より短く、波長が 400 nm 未満又は 1 400 nm を超える場合の MPE は、 10^{-9} 秒での放射露光限界と同等の放射照度として算出することによって得られる。露光時間が 10^{-13} 秒より短い場合の MPE は、 10^{-13} 秒での MPE の放射照度値と等しく設定する。

注^{c)} 450 nm~500 nm の波長範囲の場合、2 種類の限界を適用するが、露光はいずれの適用限界も超えてはならない。

注^{d)} 繰り返しパルス紫外レーザーの場合、いずれの限界も超えない方がよい。

注^{e)} 1 250 nm~1 400 nm の波長範囲の場合、この表に示す網膜損傷が生じない限界値は、前眼部 [角膜及びこう (虹) 彩] に対しては十分に安全が確保されるわけではなく、注意を払う必要がある。露光量が皮膚の MPE 値を超えていない場合は、前眼部に対する懸念はない。

$$18t^{0.75} \text{ J/m}^2$$

安全の尺度（イラディアンズ）

イラディアンズは、単位面積あたりのレーザービーム出力です。

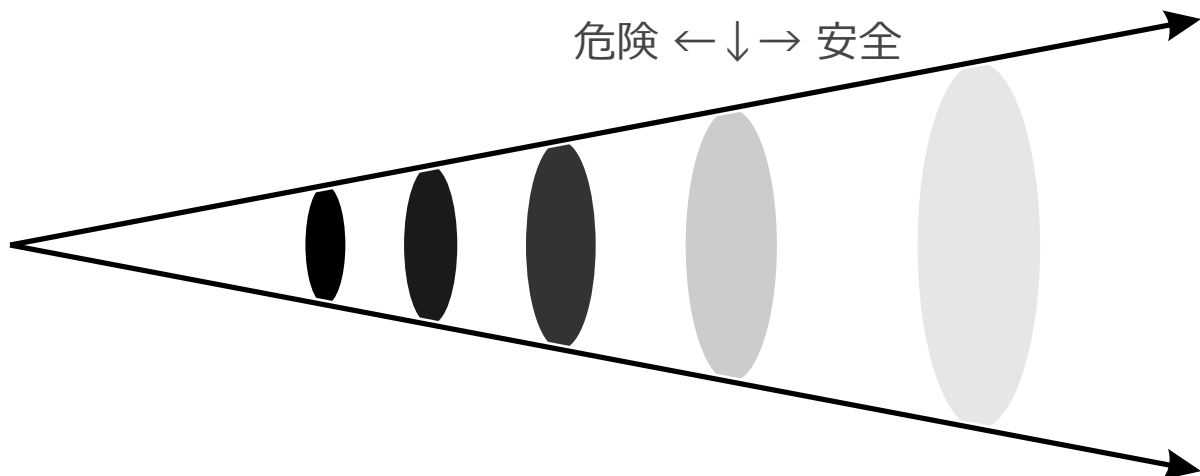
JIS においては放射輝度と呼ばれています。

イラディアンズの単位は W / cm^2

NOHD : Nominal Ocular Hazard Distance 公称眼障害距離

ビーム放射照度又は放射露光が角膜上の MPE に等しいところまでの出力開口からの距離。

レーザー光と言えども、拡がり角を持っているので、遠方に行くほど広がり、その結果単位面積あたりに入るエネルギーは小さくなり、発射地点では危険なレベルでも遠方に行くと MPE 以下のいわゆる安全なレベルになる。



事故の種類

調整中の予期しない照射

光学部品の調整ミス

保護メガネの不装着

機器の故障

高電圧部の正しくない取り扱い

故意による照射

知識のないものによる装置の操作

周知されていない補助関係者

保守不良機器の使用

正しい手続きを踏まない操作

機器使用中の偶発的な目または皮膚への露光

272 件の事故例中 4%がレーザーショー関係（従事者）

業界を守るために

LASA 会員の責務

レーザーディスプレイによる事故が発生、特に観客への被害が発生した場合、業務に大きな影響が出るだけでなく、間接的被害も膨らみます。事故を起こした企業のみでは無く、業界全体の存亡に関わることになる恐れもあります。

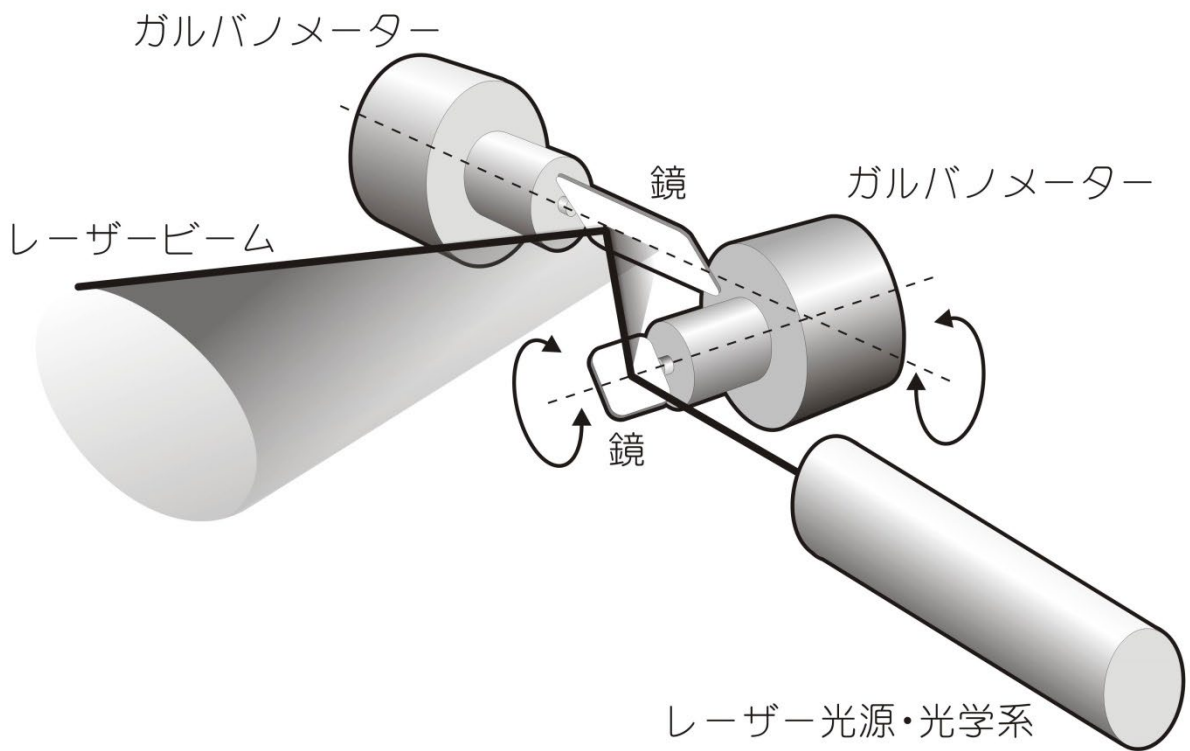
安全基準を守ることは、観客の安全を守るだけではなく、オペレータ自身、ひいては業界団体を守ることにあります。

レーザーディスプレイ種類

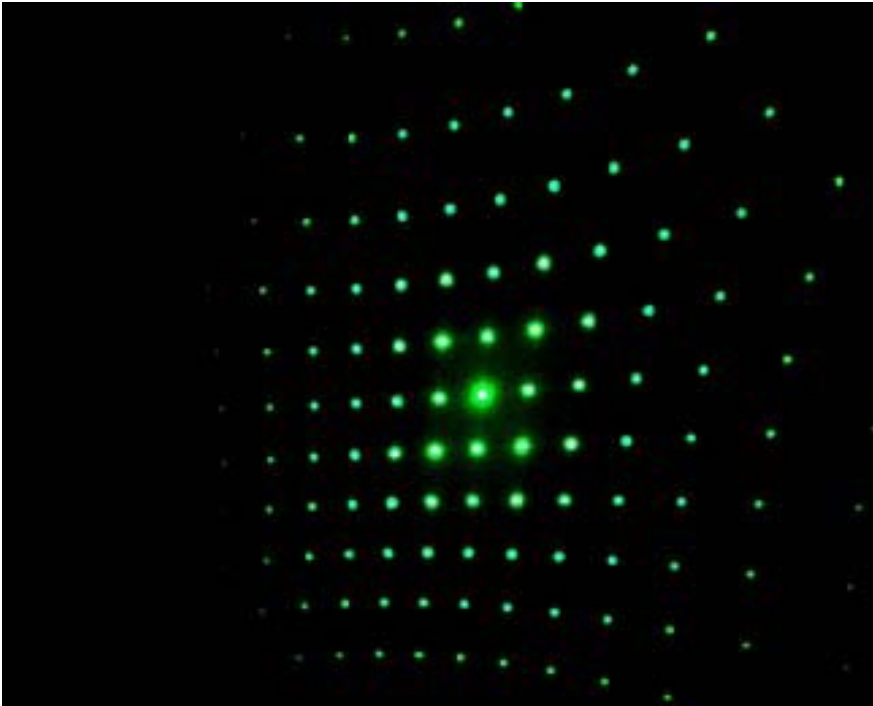
方式による分類

スキャニング

光線の向きが制御装置によって変化

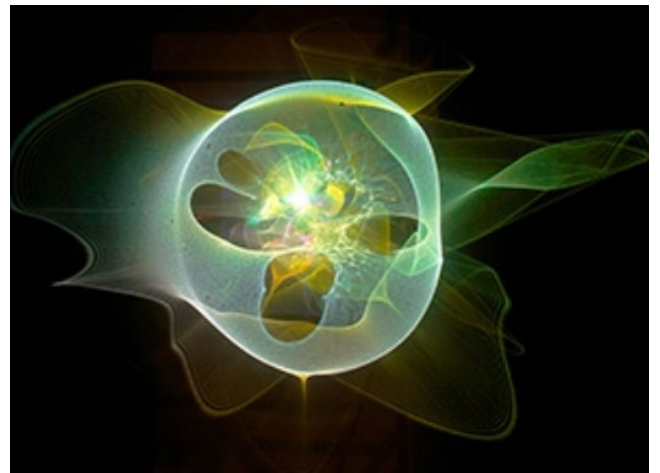


非スキャニング グレーティング、ルミアなど



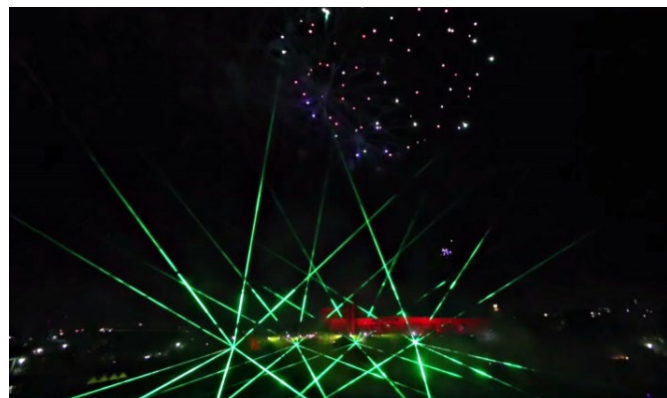
演出による分類

グラフィックス スキャニング、非スキャニング



空間効果

スキャニング



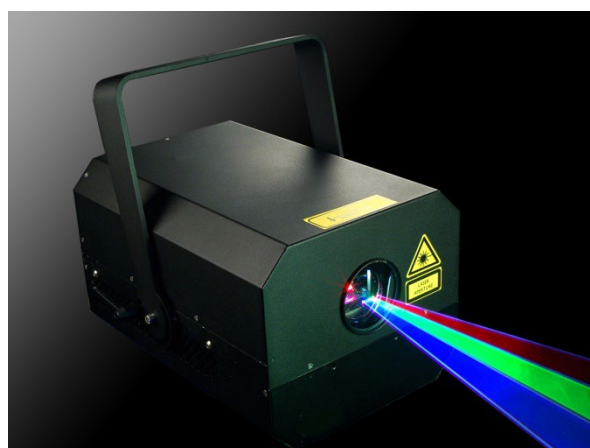
レーザーディスプレイ機材

プロジェクタ

コントローラ (PC 上のソフトウェアを含む)

反射ミラー スクリーン

プロジェクタ



コントローラ

Laserworld Showeditor



Lasergraph DSP compact dual



Pangolin QuickShow



反射ミラー

